14. national 2. international environmental engineering congress

climate crisis & environmental policies

PROCEEDINGS

09-10-11 december 2021

www.ucmk.org

ISBN: 978-625-00-9520-1

UCTEA
Chamber of Environmental Engineers

ORGANIZED BY

UCTEA
Chamber of Environmental Engineers

SPONSORED BY

İSTANBUL BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ | İSKİ

İZAYDAŞ | Temiz Çevre Sağlıklı Toplum

KUZU GRUP

TAYÇED
Tüm Atık ve Çevre Yönetimi Derneği

sütaş

istaç

POLAT® MAKİNA SAN. ve TİC. A.Ş.

meta mühendislik

AKÜDER

İSTANBUL BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ | İPA İstanbul Planlama Ajansı

ve

Çevre Hareketleri Platformu
Çevre Mühendisliği Öğrenci Kulüpleri
Katılımları ile

Committees

Organisation Comitee

İlden KİBAR	Merkez
Ahmet Avni ATAYOL	Merkez
Emine Su TURAN	Adana Şube
Serpil SİNAN	Adana Şube
Müge KARAMUSTAFA	Ankara Şube
Güray DOĞAN	Antalya Şube
Songül YILDIZ	Aydın Temsilciliği
Selnur UÇAROĞLU	Bursa Şube
Çiğdem TEBER	Denizli Temsilciliği
Zozan KETENALP	Diyarbakır Temsilciliği
Mehmet BOZKURT	Gaziantep Temsilciliği
Tarkan Kılıç	İstanbul Şube
Hakan DULKADİROĞLU	İstanbul Şube
Örgen Uğurlu	İstanbul Şube
Meryem KAYAN	İstanbul Şube
Medet GÜNEY	İstanbul Şube
Cevahir Efe AKÇELİK	İstanbul Şube
Barış Doğru	İstanbul Şube
Funda CİHAN	İstanbul Şube
Nilay Elginöz Kanat	İstanbul Şube
Zeynep Çetecioğlu Gürol	İstanbul Şube
Orhan Taner Can	İstanbul Şube
Yiğithan KAZANCI	İzmir Şube
Efem BİLGİÇ	İzmir Şube
Bahar YÜNYELİ	Kocaeli Şube
Murat Çelebi	Konya Temsilciliği
Yasin ÖZAY	Mersin Şube
Adalet ÖNER	Muğla Temsilciliği
Semih DUMAN	Muğla Temsilciliği
Kübra KÜÇÜK	Samsun Şube
Sinan TAŞ	Trabzon Temsilciliği
Demet YARŞI	Trakya Temsilciliği

Scientific Comitee

Prof. Dr. Abdurrahman Bayram	Dokuz Eylül Üniversitesi
Prof. Dr. Ali Kerem Saysel	Boğaziçi Üniversitesi
Doç .Dr. Ali Rıza Dinçer	Namık Kemal Üniversitesi
Prof. Dr. Alper Elçi	Dokuz Eylül Üniversitesi
Doç. Dr. Alper Sarıoğlan	İstanbul Teknik Üniversitesi
Doç. Dr. Aslı Seyhan Çığgın	Akdeniz Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Aşkın Birgül	Bursa Teknik Üniversitesi
Doc. Dr. Atakan Öngen	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Doç. Dr. Ayça Erdem Ünşar	Akdeniz Üniversitesi
Prof. Dr. Aykan Karademir	Kocaeli Üniversitesi
Prof. Dr. Ayla Arslan	Kocaeli Üniversitesi
Prof. Dr. Ayla Uysal	Süleyman Demirel Üniversitesi
Prof. Dr. Aysen Erdinçler	Boğaziçi Üniversitesi
Prof. Dr. Ayşe Muhammetoğlu	Akdeniz Üniversitesi
Prof. Dr. Ayşenur Uğurlu	Hacettepe Üniversitesi
Prof. Dr. Barış Çallı	Marmara Üniversitesi
Prof. Dr. Beril Salman Akın	Gazi Üniversitesi
Doç. Dr. Beyza Taşkın	İstanbul Teknik Üniversitesi
Doç. Dr. Bilgehan İlker Harman	Süleyman Demirel Üniversitesi
Doç. Dr. Burçak Kaynak Tezel	İstanbul Teknik Üniversitesi
Doç. Dr. Çiğdem Moral	Akdeniz Üniversitesi
Doç. Dr. Deniz Akgül	Marmara Üniversitesi
Prof. Dr. Deniz Dölgen	Dokuz Eylül Üniversitesi
Doçent Didem Okutmaan Taş	İstanbul Teknik Üniversitesi
Doç. Dr. Diğdem Güven	
Prof. Dr. Doğanay Tolunay	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Doç. Dr. Edip Avşar	Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi
Prof. Dr. Elçin Güneş	Tekirdağ Namık Kemal Üni.
Prof. Dr. Emine Beyza Üstün	
Prof. Dr. Emine Çokgör	İstanbul Teknik Üniversitesi
Doç. Dr. Emine Sayılgan	Süleyman Demirel Üniversitesi
Öğr. Üye. Enver Yaser Küçükgül	DEÜ
Doç. Dr. Ercan Arpaz	Kocaeli Üniversitesi
Doç. Dr. Erhan Gengeç	Kocaeli Üniversitesi
Doç. Dr. Evrim Çelik Madenli	Süleyman Demirel Üniversitesi
Prof. Dr. F. Olcay Topaç	Bursa Uludağ Üniversitesi
Prof. Dr. Fatoş Germirli Babuna	İstanbul Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Feza Karaer	Bursa Uludağ Üniversitesi
Dr. Öğr. Üye. Firdes Yenilmez	Akdeniz Üniversitesi
Prof. Dr. Fuat Ercan	Mimar Sinan Üniversitesi
Dr. Öğr. Üye.Gamze Doğdu Okçu	Bolu Abant İzzet Baysal Üni.
Prof. Dr. Goksel N. Demirer	Central Michigan Universitesi
Prof. Dr. Gökhan Civelekoğlu	Akdeniz Üniversitesi
Dr. Öğrt. Üye. Gönül Tuğrul İçemer	Akdeniz Üniversitesi
Prof. Dr. Güleda Engin	Yıldız Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Gülfem Bakan	Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Doç. Dr. Gülsüm Emel Zengin Balcı	İstanbul Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Günay Yıldız Töre	Tekirdağ Namık Kemal Üni.
Prof. Dr. H. Duygu Bilgen	Mersin Üniversitesi
Prof. Dr. Habib Muhammetoğlu	Akdeniz Üniversitesi
Doç. Dr. Hakan Çelebi	Aksaray Üniversitesi
Dr. Öğr. Üye. Hakan Dulkadiroğlu	Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üni.
Doç. Dr. Hasan Koçyiğit	Aksaray Üniversitesi
Dr. Öğr. Üye. Hasan Sarptaş	Ege Üniversitesi
Doç. Dr. Hatice Şengül	Hacettepe Üniversitesi
Doç. Dr. Hülya Özkoç	Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Prof. Dr. İlda Vergili	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Prof. Dr. İlhan Talınlı	İstanbul Teknik Üniversitesi
Dr. Öğr. Üye. İlker Balcılar	Eskişehir Teknik Üniversitesi
Doç. Dr. İsmail Özbay	Kocaeli Üniversitesi
Prof. Dr. Levent Kurnaz	Boğaziçi Üniversitesi
Dr. Öğr. Üye. Kağan Cenk Mızrak	Uşak Üniversitesi
Prof. Dr. M. Necdet Alpaslan	Dokuz Eylül Üniversitesi
Doç. Dr. Mahnaz Gümrükçüoğlu Yiğit	Sakarya Üniversitesi
Doç. Dr. Mehmet Ali Kurt	Mersin Üniversitesi
Prof. Dr. Mehmet Ali Mazmancı	Mersin Üniversitesi
Prof. Dr. Mehmet Kitiş	Süleyman Demirel Üniversitesi
Prof. Dr. Melike Gürel	İstanbul Teknik Üniversitesi
Dr. Öğr. Üye. Meltem Kaçıkoç	Süleyman Demirel Üniversitesi
Prof. Dr. Mete Tayanç	Marmara Üniversitesi
Prof. Dr. Mihriban Şengül	İnönü Üniversitesi
Doç. Dr. Murat Eyvaz	Gebze Teknik Üniversitesi
Dr. Öğr. Üye. Murat Varol	Akdeniz Üniversitesi
Doç. Dr. Nesimi Özkurt	TÜBİTAK Marmara Araşt. Merk.
Dr. Öğr. Üyesi Nevin Atalay Gengeç	Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi
Doç. Dr. Nevin Yağcı	İstanbul Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Nevzat Özgü Yiğit	Süleyman Demirel Üniversitesi
Dr. Nilay Elginöz Kanat	IVL Swedish E. Research Institute
Prof. Dr. Nurdan Büyükkamacı	Dokuz Eylül Üniversitesi
Prof. Dr. Nuri Azbar	Ege Üniversitesi
Prof. Dr. Nusret Karakaya	Bolu Abant İzzet Baysal Üni.
Prof. Dr. O. Alp Ergör	Dokuz Eylül Üniversitesi
Doç. Dr. Orhan Gündüz	Dokuz Eylül Üniversitesi
Prof. Dr. Orhan Taner Can	Bursa Teknik Üniversitesi
Doç. Dr. Oylum Gökkurt Baki	Sinop Üniversitesi
Doç. Dr. Örgen Uğurlu	Kocaeli Üniversitesi
Doç. Dr. Pelin Pinar Giritlioğlu	Istanbul Universitesi
Prof. Dr. S. Sinan Keskin	Marmara Üniversitesi
Doç. Dr. Saadet Aydın	Bolu Abant İzzet Baysal Üni.
Doç. Dr. Selnur Uçaroğlu	Bursa Uludağ Üniversitesi
Dr. Öğr. Üye. Sema Arıman	Samsun Üniversitesi
Asst. Prof. Dr. Serkan Girgin	University of Twente
Prof. Dr. Seval Sözen	İstanbul Teknik Üniversitesi
Dr. Öğr. Üye. Sevgi Tokgöz Güneş	Dokuz Eylül Üniversitesi
Prof. Dr. Süreyya Meriç Pagano	Tekirdağ Namık Kemal Üni.
Prof. Dr. Şükrü Aslan	Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üni.
Prof. Dr. Tuğba Ölmez Hancı	İstanbul Teknik Üniversite
Doç. Dr. Ulaş Tezel	Boğaziçi Üniversitesi
Dr. Öğr. Üye. Vedat Yılmaz	Artvin Çoruh
Prof. Dr. Yasemin Kaya	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Prof. Dr. Yunus Pamukoğlu	Süleyman Demirel Üniversitesi
Dr. Zeki Bozkurt	Çukurova Üniversitesi
Doç. Dr. Zeynep Cetecioglu Gurol	KTH Royal Institute of Technology
Dr. Zubeda Ukundimana	University of Rwanda

Aim and Scope

The whole world is going through a difficult time due to the pandemic. The global climate crisis, on the other hand, shows its effects more and more every day. It is clear that environmental problems and policies are among the main causes of this and many other important problems we face, directly or indirectly, and that these problems can only be overcome by scientific studies in this field. The days we are going through reveal our need for science much more clearly.

As stated in the main regulation of the Chamber of Environmental Engineers of TMMOB, congresses and similar studies are among the aims of the establishment of the Chamber of Environmental Engineers, in order to contribute to the increase of theoretical and practical knowledge by opening the developments in the field of environment and environmental engineering for discussion and presenting them to the attention and knowledge of the public and colleagues. make is included. In line with these purposes, Environmental Engineering Congress has been held 13 times, starting from 1992, once every two years.

The congress, which was held in the previous Gebze/KOCAELİ, is planned to be held online this year as the 14th National and 2nd International Environmental Engineering Congress due to pandemic conditions. Based on the current problems mentioned at the beginning, the main topic of this year's congress was determined as "Climate Crisis and Environmental Policies". Academicians, students, and all stakeholders from the public and private sectors, who work on environmental issues from home and abroad, come together to share, discuss and exchange the latest scientific and technological studies and developments in the field of ecology, environment and environmental engineering, including but not limited to the main topic. and to develop collaborations.

Congress Topics

- Climate Crisis
- Environmental Policies
- Environmental Aspects of the Covid-19 Pandemic
- Water Pollution and Managemnt
- Soul Pollution and Management
- Basin and Water Quality Management
- Solid, Industrial and Hazardous Waste Management
- Control of Air Pollution and Odor Emissions
- Water- Wastewater Treatment, Product and Energy Recovery and Sludge Management
- Wastewater Epidemiology
- Environmental Management Systems, Application and Tools
- Digital Solutions in Environmental Engineering: Measurement, Analysis. Monitoring and Evaluation
- Environmental Engineering Education
- Organization and Interdisciplinary Relations in Environmental Engineering
- Environmental and Engineering Ethics
- Environmental Economics
- Environmental Management and Law
- Environmental Impact (EIA) and Risk Assessment
- Environmental Security: Water, Food, Air, Energy Security
- Noise Pollution and Management
- Light pollution
- Preventive Environmental Management, Cleaner Production and Pollution Prevention
- Natural Resource Management
- Urban Transformation and Local Administrations
- Nature-Oriented Solutions in Urbanization
- Lifecycle Management

PROGRAM
DAY 01

9.12.2021 THURSDAY	
HALL 1	
Opening Program	
Opening Ceramony	
09:30	Açılış
09:45	Meryem KAYAN- Kongre Düzenleme Kurulu Başkanı
10:00	Ahmet Dursun KAHRAMAN-TMMOB Çevre Mühendisleri Odası Yönetim Kurulu Başkanı
Opening Session:	
10:30	Prof. Dr. Beyza ÜSTÜN
11:10	Dr. İmre TAKACS
11:50	Fotoğraf Sergisi-''Ekolojik Yıkım''

HALL 1		HALL 2	
Session 1: Atıksu Arıtımı		Session 1: İklim Krizi	
Session Chair: Dr. Imre TAKACS		Session Chair: Prof. Dr. Semra CERİT MAZLUM	
13:00	27 - TREATMENT OF OLIVE MILL WASTEWATER BY FENTON PROCESS (Burcu Şimşek Uygun - Elçin Kahraman)	13:00	73 - İklim Değişikliği Kapsamında Yerel Yönetimlerin Azaltım ve Uyum Stratejilerinin Değerlendirilmesi (Ece Gizem Çakmak - Tuğba Doğan Güzel)
13:15	50 - HARVESTING OF CHLORELLA VULGARIS BY ELECTROCOAGULATION METHOD USING Fe ELECTRODES (Halima Al-Thawr - Özlem Özden Üzmez - Masoud Derakhshandeh - Ümran Tezcan Ün)	13:15	74 - KARBON VERGİSİNİN ULAŞTIRMA KAYNAKLI SERA GAZI EMİSYONLARI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ: İSTANBUL ÖRNEĞİ (Tuğba Doğan Güzel - Ece Gizem Çakmak - Kadir Alp)
13:30	84 - Biosorption of Remazol Brilliant Blue R (RBBR) and Basic Red 18 (BR18) Using Dead Fungi Biomass Agaricus augustus and Russula brevipes (Zelal Işık - Ceren Arslantaş - Sadin Özdemir - Serpil Gonca - Nadir Dizge)	13:30	87 - IŞIK KİRLİLİĞİNİN İKLİM KRİZİNE ETKİSİ (Örgen Uğurlu - Özge Özarabacı)
13:45	86 - Green Synthesis of Iron Nanoparticles Using Centaurea solstitialis and Dye Remove Activity (Zelal Işık - Ceren Arslantaş - Sadin Özdemir - Serpil Gonca - Nadir Dizge - Hüdaverdi Arslan)	13:45	118 - BÜYÜK MENDERES HAVZASI'NDA İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN SU BÜTÇESİ ÜZERİNDE ETKİLERİ: FARKLI İKLİM MODELLERİ VE YANLILIK DÜZELTME YÖNTEMLERİ (İbrahim Zülküf Erkol)
14:00	33 - ATIKSU GERİ KAZANIMININ PİŞİRİCİ CİHAZ ÜRETİMİ YAPAN BİR ENDÜSTRİNİN SU AYAK İZİNE ETKİSİ (İpek Ceren Uçan- Emine Ubay Çokgör - Fatoş Germirli Babuna - Güçlü İnsel)	14:00	104 - İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN ÇORUH VADİSİ MİKROKLİMA ALANINDA ZEYTİN TARIMINA ETKİLERİ (Cemil İrdem - İmren Alkan)
14:15	103 - Impact of Tetracycline on biological wastewater systems using two different types of respirometry (Nooshin Entezari Heravi - İlke Pala Özkök)	14:15	97 - DIRECT AND INDIRECT CLIMATE IMPACTS OF LANDFILL GAS EMISSIONS (Derek Manheim - James Hanson - Nazlı Yeşiller)
14:30	92 - Turşu Endüstrisi Atıksularının PHA Üretiminde Kullanılabilirliğinin Değerlendirilmesi (Didem Güven - Gülsüm Emel Zengin - Didem Okutman - Gökşin Özyıldız - Ayşe Güven Türk - Dilara Öztürk - Ezgi Ayışığı - Güçlü İnsel - Emine Ubay Çokgör)		

HALL 1		HALL 2	
Session 2: Hava Kirliliği ve Koku Emisyonlarının Kontrolü		Session 2: Atıksu Arıtımı	
Session Chair: Doç. Dr. Didem GÜVEN		Session Chair: Dr. Öğr. Üyesi Hakan DULKADİROĞLU	
15:15	35 - Gebze İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisinde Oluşan Koku Emisyonlarının Ünite Bazlı Olarak İncelenmesi ve Çevre Havasında Koku Problemi Oluşturabilecek Sıcak Noktaların AERMOD Atmosferik Dağılım Modeli ile Belirlenmesi (İlker Akmırza - Baran Sayğan)	15:15	9 - ETANOL ÜRETİM ENDÜSTRİSİ ATIK SUYUNDA GELİŞTİRİLEN Rhizopus oligosporus'DAN KİTİN ELDESİNDE ALKALİ ÖN İŞLEM ŞARTLARININ ETKİSİNİN BELİRLENMESİ (H. Duygu Bilgen)
15:30	39 - Investigation of particulate matter from agricultural burning in South-Eastern Turkey with remote sensing (Merve Eke - Burçak Kaynak)	15:30	54 - ENDÜSTRİYEL ATIKSU ile BESLENEN BAKTERİ HÜCRESİNDEN SÜPERKRİTİK CO2 ile PHA EKSTRAKSİYONU (Tülin Y. Nayır -Selver Konuk - Havva Nur Çiftci - Serdar Kara)
15:45	42 - COVİD-19 KARANTİNASININ MARMARA BÖLGESİ HAVA KALİTESİ (NO2 KONSANTRASYONU) ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN UZAKTAN ALGILAMA YÖNTEMLERİ İLE İZLENMESİ (Dilek K. Matcı - Fırat Erdem - Nuri Erkin Öçer - Gordana Jovanovska Kaplan - Uğur Avdan)	15:45	55 - DERİ SANAYİ ATIKSULARINDA AKTİF KARBON ADSORPSİYONU İLE KROM(VI) GİDERİMİ (Elçin Genç)
16:00	49 - Uzaktan Algılama ile Türkiye'de Amonyak (NH3) Kirleticisinin Zamansal ve Mekânsal Dağılımı (Seda Tokgöz - Burçak Kaynak)	16:00	46 - TELON RED A2R BOYARMADDESİNİN UV-LIGHT - ELEKTROOKSİDASYON SİSTEMİNDE GİDERİMİNE ELEKTROLİT TÜRÜNÜN ETKİSİ (Orhan Taner Can - Ayşe Nur Canbaz - Ahmet Öztürk)
16:15	60 - Understanding the relationship between urban development and air pollution for the mega-city Istanbul with remote sensing NO2 measurements (Ali Osman Çeker - Fulya Çingiroğlu - Ezgi Akyüz - Burçak Kaynak)	16:15	5 - Ti/RUO2-IRO2 VE Ti/RUO2-TiO2 ANOT ARDIŞIK REAKTÖR SİSTEMİNDE ASTRAZON BLACK FDL BOYA ÇÖZELTİSİNDEN RENK GİDERİMİ (Orhan Taner Can - Ahmet Öztürk)
16:30	61 - SO2 Pollution from Yeniköy, Kemerköy and Yatağan Power Plants (Sümeyye Sena Değer - Ezgi Akyüz - Fulya Cingiroglu - Burçak Kaynak)	16:30	30 - DENİTRİFİYE ANAEROBİK METAN OKSİDASYONU (DAMO)'NUN FARKLI AŞI ÇAMURU KAYNAKLARINDA VARLIĞININ VE ETKİNLİĞİNİN İNCELENMESİ (Dilan Laçin - Tuba H. Bayramoğlu)
16:45	69 - ZnO Adsorpsiyonu ile H2S Giderimi Sonrasında CO Beslenmesi ile COS Oluşumuna Su içeriğinin ve Sıcaklığın Etkisi (Cevdet Doğan - Banu Çetin - Stefan Martini - Stefan Retschitzegger)	16:45	59 - Effect of Ultrasound Pretreatment on Particle Size Distrubution in Dairy Wastewaters (Hakan Dulkadiroğlu - Selan Lale)
17:00	11 - Petrol Kaynaklı Toprak ve Yeraltı Suyu Kirliliğinin Karakterizasyonu, İstanbul Ambarlı Örneği (Yunus Serhat Erzeybek)	17:00	107 - NANO–BOYUTTA ALÜMİNYUM PARTİKÜLÜ VE ULTRASES PROSESİNİN VICTORIA BLUE R GİDERİMİNE ETKİSİ (Burcu İleri)

DAY 02

10.12.2021 FRIDAY

HALL 1

Session 3: Hava Kirliliği ve Koku Emisyonlarının Kontrolü; Toprak ve Yeraltısuyu Kirliliği

Session Chair: Doç. Dr. Burçak KAYNAK TEZEL

09:00	123 - ENDÜSTRİYEL TESİSLERDEN KAYNAKLANAN HAVA KİRLİLİĞİNİN MODELLENMESİ (Tuğçe Kes)
09:15	77 - TÜRKİYE'DE İMALAT SANAYİ VE İNŞAAT KAYNAKLI CO2 EMİSYONUNUN ZAMAN SERİSİ İLE ANALİZİ (Mehmet Emin Tabar - Serkan Özel)
09:30	88 - GA VE S KONSANTRASYONLARININ TAKİBİNDE BAZI AĞAÇLARIN BİYOMONİTÖR OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI (Kaan Işınkaralar)
09:45	117 - HAVADAKI BTX DÜZEYLERİNİN GELİBOLU FERİBOT İSKELESİ ÇEVRESİNDEKİ DÜZEYLERİ (Müge Aydın - Sibel Menteşe)
10:00	102 - ERDEMLİ (MERSİN) KIYI AKİFERİ SU KALİTESİNİN ARAŞTIRILMASI (Fatma Ece - Mehmet Ali Kurt - Umit Yıldırım - Cüneyt Güler - Onur Güven)
10:15	14 - The GRACE-based assessment of the spatio-temporal variability of terrestrial and ground water storage over Turkey (Orhan Gündüz - Behnam Khorrami)

HALL 2

Session 3: Atıksu Arıtımı

Session Chair: Doç.Dr. Ali Rıza DİNÇER

09:00	62 - YENİ NESİL ÇÖZÜNMÜŞ HAVA FLOTASYONU (DAF) UYGULAMALARI (Yasemin Özdemir)
09:15	85 - Yanıt Yüzey Metodolojisi ve Yapay Sinir Ağı ile Tekstil Atık Sularının Grafit Elektrotlarla Elektrokimyasal Oksidasyonunun Optimizasyonu (Zelal Işık - Rabia Yıldırım - Mohammed Saleh - Ahmet Karagündüz - Bülent Keskinler - Nadir Dizge)
09:30	95 - HASTANE ATIKSULARININ ARITIMI VE YÖNETİMİ (Muharrem Barış Pekcan)
09:45	91 - Yüzey Yanıt Metodu Kullanılarak Pirinç Kavuzundan Silika Ekstraksiyonu ve Safranin Boyasının Adsorpsiyonu (Melis Gün - Hüdaverdi Arslan - Muhammed Saleh - Mutlu Yalvaç - Nadir Dizge)
10:00	108 - Süt Endüstrisi Atıksularının sAnMBR ile Arıtılabilirliğinde Çamur Yaşının Etkisi (Samet Özcan - Hasan Koçyiğit)
10:15	6 - ELECTROOXIDATION of 2-NAPHTHOL the PRESENCE of NaCl USING BDD AND MMO ELECTRODES (Orhan Taner Can - Zubeda Ukundimana - Leyla Gazigil)
10:30	96 - AYRIK TOPLANMIŞ İDRARDAN GÜBRE AMAÇLI AZOT GERİ KAZANIMI SÜRECİNDE KARBON GİDERİMİ (Yasemin Akdağ - Bilsen Beler Baykal - Mahmut Altınbaş)

HALL 1

Session 4: Kentleşmede Doğa Odaklı Çözümler; Atık Yönetimi

Session Chair: Doç. Dr. Örgen UĞURLU

11:15	26 - BEST, YEŞİL BİNA DERECELENDİRME SİSTEMİ, SERTİFİKASYONUNUN DÜŞÜK MALİYET İLE ELDE EDİLMESİNE YÖNELİK OPTİMİZASYON UYGULAMASI (Bengisu Uğurlu - Aysegul Aksoy)
11:30	124 - BETON ÜRETİM SANTRALLERİNDE SIFIR ATIK UYGULAMALARI VE ÖNERİLERİ (Serkan Gür)
11:45	66 - DÖNGÜSEL ŞEHİR KONSEPTİNDE ATIKSUDAN KAYNAK GERİ KAZANIMI İÇİN BİR KARAR YÖNTEMİ OLARAK SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ENDEKSİNİN (SI) GELİŞTİRİLMESİ (Emel Topuz - İrem Öztürk)
12:00	101 - YEŞİL BİNALAR VE YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ DAVUTPAŞA KAMPÜSÜ'NÜN YEŞİL BİNAYA DÖNÜŞTÜRÜLMESİ ÇALIŞMASI (Gözde Tınaz - Emel Koçak)
12:15	28 - SIFIR ATIK YÖNETİMİ'NİN ÇEVRESEL ETKİLERİ: İTÜ AYAZAĞA KAMPÜSÜ'NÜN SIFIR ATIK ENDEKSİ (Kadriye Elif Maçin - Osman Atilla Arıkan)

HALL 2

Session 4: Havza ve Su Kalitesi Yönetimi

Session Chair: Dr. Öğr. Üyesi Sevgi TOKGÖZ GÜNEŞ

11:15	67 - Otonom su devrilmesi izleme-uyarı-müdahale sistemi (Özge Yücel Bilen - Ayşegül Aksoy)
11:30	79 - EFFECT OF TOTAL AND DISSOLVED ORGANIC CARBON FROM WASTEWATER DISCHARGE ON SURFACE AND GROUNDWATER IN GEDİZ ALAŞEHİR-SALIHLİ SUB-BASIN (Sevgi Tokgöz Güneş)
11:45	80 - FIRTINA DERESİ HAVZASINDA GEFC METODU KULLANILARAK ÇEVRESEL SU İHTİYACI TAHMİNİ (Ceren Bozkurt - Nusret Karakaya - Ömer Genç - Haluk Fidan)
12:00	81 - QUANTIFICATION OF STREAM METABOLISM AS A RESULT OF CARBON AND NITROGEN DYNAMICS: NORTHEAST TURKEY (Kadir Yıldız - Fatih Evrendilek - Şeref Kılıç - Ayfer Özdemir - Eslem Çınar - Nusret Karakaya)
12:15	89 - MONITORING AND REMOVAL METHODS OF PRIORITY CONTAMINANTS IN SURFACE WATER RESOURCES (Enes Özgenç - Süreyya Meriç Pagano)
12:30	68 - Karbon Fiber Esaslı Perovskit Kompozitlerin Fotokatalitik Aktivitelerinin İncelenmesi (Senem Aksoy)
12:45	41 - OZON BAZLI İLERİ OKSİDASYON PROSESLERİ İLE SULU ÇÖZELTİLERDEN TRİKLOSANIN ARITIMI (TREATMENT OF TRICLOSAN FROM AQUEOUS SOLUTIONS BY OZONE BASED ADVANCED OXIDATION PROCESSES) (Eylem Topkaya - Ayla Arslan)

HALL 1

Session 5: Katı, Endüstriyel ve Tehlikeli Atık Yönetimi

Session Chair: Prof. Dr. İlhan TALINLI

14:00	19 - MİKROPLASTİK VE BİYOKATI VARLIĞINDA TOPRAKTA NİKEL TOKSİSİTESİNİN BELİRLENMESİ (Emel Topuz - Fatma Cansu Ulutuğ)
14:15	71 - ARITMA ÇAMURLARININ KOMPOSTLANMASINDA TAVUK GÜBRESİNİN ETKİSİ (Büşra Özbek - Selnur Uçaroğlu)
14:30	75 - TOPRAK VE KOMPOST ŞARTLARINDA BİYOPLASTİKLERİN BİYOBOZUNMALARININ DEĞERLENDİRİLMESİ (Şeyma Erkul - Selnur Uçaroğlu)
14:45	113 - İÇME SUYU ARITMA TESİSİ ÇAMURUNDAN ELDE EDİLEN ADSORBAN MALZEME İLE ARSENİK GİDERİMİ (Berna Kavacık - Deniz Dölgen)
15:00	90 - ARITMA ÇAMURUNUN TERMAL KURUTMA ÖNCESİ YAPIŞKANLIK YAPISININ DEĞERLENDİRİLMESİ (Emine Ubay Çokgör - Güçlü İnsel - Didem Güven - Gülsüm Emel Zengin - Didem Okutman - Gökşin Özyıldız - Ece Sağır Kurt - Ezgi Atlı)
15:15	106 - Elektrikli ve Elektronik Atıklardan Değerli Metallerin Geri Kazanımının Değerlendirilmesi (Melisa Nur Şener - Mehmet Sinan Bilgili)
15:30	57 - DEMİR ÇELİK ÜRETİMDEN KAYNAKLANAN BACA GAZI TOZUNUN STABİLİZASYON/SOLİDİFİKASYON YÖNTEMİYLE DÜZENLİ DEPOLAMA SAHALARINDA BERTARAF EDİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI (Bekir Tombul - Merve Özgel - Gurdal Kanat)

HALL 2

Session 5: Havza ve Su Kalitesi Yönetimi

Session Chair: Prof. Dr. Melike GÜREL

14:00	63 - KÜÇÜK MENDERES NEHİR HAVZASINDAKİ YAYILI KİRLİLİK YÜKLERİNİN SWAT MODELİ İLE TAHMİN EDİLMESİ (Dilara Temel - Alper Elçi - Selma Ayaz)
14:15	16 - Türkiye Geneli için Uzun Dönem Ortalama Toplam Yağış Dağılımının Tahmini için Kullanılan Yüzeysel İnterpolasyon Tekniklerinin Kantitatif Analizi (Behnam Khorrami - Orhan Gündüz)
14:30	34 - MARMARA DENİZİ 2021 YÜZEY MÜSİLAJ ÖRNEKLERİNİN KARAKTERİZASYONU (Berat Z. Haznedaroğlu - Engin Bayram - Fahri Koray Sakarya - Duygu Özçelik - Arca Yılmaz - Emren Borhan - Dila Hocaoğlu - Zeynep Şahin - İrem Karamollaoğlu)
14:45	44 - KENT PLAJLARINDA DENİZ SUYU VE PLAJ KUMUNA COVİD 19 PANDEMİ ETKİSİNİN DEĞERLENDİRMESİ (Gönül Tuğrul İçemer - Merve Tan - Ulukan Şimşek)
15:00	48 - HAVZA YÖNETİMİNDE TÜRKİYE'DE UYGULANAN MODELLER (Solmaz Garan - Arife Şimşek - Gülfem Bakan)

HALL 1		HALL 2	
Session 6: Katı, Endüstriyel ve Tehlikeli Atık Yönetimi		**Session 6: Önleyici Çevre Yönetimi, Temiz Üretim ve Risk Değerlendirme**	
Session Chair: Doç. Dr. Selnur UÇAROĞLU		**Session Chair: Prof. Dr. Orhan Taner CAN**	
16:15	10 - İNSAN SAÇI ÖRNEKLERİNDE CİVA MEVCUDİYETİNİN ÇEŞİTLİ FAKTÖRLER AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ (Merve Özkaleli Akçetin - Beyda Sönmez - Hatice Kübra Gül - Perihan Kurt Karakuş)	**16:15**	31 - BİR KESİMHANENİN ÇEVRESEL ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ (Nur Seda Şahin)
16:30	56 - TÜRKİYE'DE ENTEGRE KİRLİLİK ÖNLEME VE KONTROLÜ UYGULAMALARININ DEĞERLENDİRİLMESİ (İpek Gevinç - Selnur Uçaroğlu - Sami Giray Doğrultucu)	**16:30**	93 - ENDÜSTRİYEL ÇEVRE KİRLİLİĞİ KONTROLÜNDE ÇEVRE ETİKETİ UYGULAMALARI-TURİZM SEKTÖRÜ ÖRNEĞİ (Serkan Atay)
16:45	64 - DETERMINATION OF BEST AVAILABLE RECOVERY STRATEGY FOR CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTES BY USING ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS (Ezgi Özdemir)	**16:45**	12 - Kozloduy Nükleer Güç Santralinde Yaşanacak Olası Bir Kazanın Türkiye'de Yaratacağı Radyolojik Risklerin Değerlendirilmesi (Efem Bilgiç - Orhan Gündüz)
17:00	112 - Fethiye İlçesi Katı Atık Yönetimi Optimizasyonu (Mualla Elif Engin - Mehmet Sinan Bilgili)	**17:00**	58 - BURSA'DA YER ALAN ÇOCUK PARKI TOZLARINDA CİVA SEVİYELERİ VE SAĞLIK RİSK DEĞERLENDİRMESİ (Hatice Kübra Gül -Ozan Veli Kaya - Özge Korkusuz - Perihan Binnur Kurt Karakuş)
17:15	120 - ARTVİN (MERKEZ) KATI ATIK TOPLAMA TAŞIMA SİSTEMİNİN COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ İLE DESTEKLENMESİ VE GERİ KAZANIM UYGULAMALARI (Özlem Uçar - Semra Çoruh)	**17:15**	105 - GEMİLERDEN KAYNAKLI ATIKLARIN MONTE CARLO YÖNTEMİ KULLANILARAK RİSK DEĞERLENDİRMESİ (Ömer Harun Özkaynak - Gönül Tuğrul İçemer)
17:30	121 - Ara Depolama Tesisi Verileri Kullanılarak Tehlikeli Atıkların İncelenmesi (Beril Akkuş - Nezih Kamil Salihoğlu)		

11.12.2021 SATURDAY

HALL 1		HALL 2	
Session 7 : Yenilenebilir Enerji		**Session 7: Su Kirliliği ve Yönetimi - Mikroplastikler**	
Session Chair: Meryem KAYAN		**Session Chair: Prof. Dr. H. Güçlü İNSEL**	
09:30	7 - AYDIN İLİ JEOTERMAL ENERJİ SANTRALLERİNDEN ÇIKAN ATIK ISININ ŞEHİR ISITMADA KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI (Çağatay Kahriman - Kamil Erkan)	**09:30**	119 - Poşet Çaylarda Kullanılan Dokumasız Kumaşların Mikroplastik Fiber Salımının İncelenmesi (Merve Kuriş - Meral Yurtsever)
09:45	29 - MISIR SÖMEĞİ İLE DİGESTAT'IN BİRLİKTE-ÇÜRÜTÜLMESİ: HİDROTERMAL ÖN İŞLEMİN METAN ÜRETİMİNE ETKİSİ (Tuğba Çelik Çağlar - Tuba H. Bayramoğlu)	**09:45**	22 - MICROPLASTIC POLLUTION IN KIZILIRMAK (Hakan Dulkadiroğlu - Beyza Ozkor)
10:00	43 - Environmental Controling of Hydropower Plants with Legislations in Turkey (Fatma Aysun Kaplan - Hikmet Polat)	**10:00**	36 - DETERMINATION OF THE IMPACT MICROPLASTICS IN GREYWATER ON WATER STABLE AGGREGATE RATIO (Derya Ayral Çınar - Betül Balcı)
10:15	83 - İLETKEN MADDELER YARDIMIYLA KONVANSİYONEL ANAEROBİK ÇÜRÜTME SİSTEMİNİN PERFORMANSININ ARTIRILMASI (Yasin Odabaş - Dilşad Yılmazel)	**10:15**	37 - DETERMINATION OF THE EFFECT OF POLYPROPYLENE MICROPLASTICS ON NICKEL ADSORPTION IN SOIL AT DIFFERENT HUMIDITY CONDITIONS (Derya Ayral Çınar - Dilara Büşra Bartan)
10:30	90 - ARITMA ÇAMURUNUN TERMAL KURUTMA ÖNCESİ YAPIŞKANLIK YAPISININ DEĞERLENDİRİLMESİ (Emine Ubay Çokgör)	**10:30**	47 - SU VE SEDİMAN ORTAMINDAKİ MİKROPLASTİKLERİN AKIBETİ VE ETKİLERİ: SAMSUN KIYI ŞERİDİ ÖRNEĞİ (Burak Özpolat - Arife Şimşek - Mehmet Ak - Gülfem Bakan)
10:45	23 - START-UP PERIOD OF BIOGAS PLANTS - A CASE STUDY (Hakan Dulkadiroğlu- Emre Avcu)	**10:45**	99 - EVSEL/KENTSEL NİTELİKLİ ATIKSULARDA MİKROPLASTİK KİRLİLİĞİ (Neriman Baylan - Pelin Koyuncuoğlu - Gulbin Erden)
		11:00	20 - OCCURRENCE AND MEASUREMENT OF MICROPLASTICS IN WASTEWATER (M. Dilara Hatinoğlu, İrem Şimşek, Göksu Yurtseven, F. Dilek Sanin)

HALL 1		HALL 2	
Session 8: Çevre Mühendisliği Eğitimi		**Session 8: Eğitim Komisyonu (Kapalı Oturum)**	
Session Chair: Ahmet Dursun KAHRAMAN			
13:00	38 - ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ AKIŞKANLAR MEKANİĞİ DERSİNDE AKTİF ÖĞRENME METODU OLARAK DERS İÇİ ETKİNLİKLERİN KULLANILMASI (Derya Ayral Çınar)	**13:30:00-15:30**	Eğitim Komisyonu Toplantısı
13:15	25 - Türkiye'de Çevre Mühendisliği Programlarının Genel Durumlarının İncelenmesi (2021) (Kamil B. Varınca)		
13:30	İSKİ Ataköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi ve İSTAÇ Biyometanizasyon Tesisi Online Teknik Gezisi		
15:30	Komisyon Raporunun Okunması ve Kapanış		

INDEX

SESSION 1A: Atıksu Arıtma

PAGE	
14-18	27 - TREATMENT OF OLIVE MILL WASTEWATER BY FENTON PROCESS Burcu Şimşek Uygun - Elçin Kahraman
19-23	50 - HARVESTING OF CHLORELLA VULGARIS BY ELECTROCOAGULATION METHOD USING Fe ELECTRODES Halima Al-Thawr - Özlem Özden Üzmez - Masoud Derakhshandeh - Ümran Tezcan Ün
24-29	84 - Biosorption of Remazol Brilliant Blue R (RBBR) and Basic Red 18 (BR18) Using Dead Fungi Biomass Agaricus augustus and Russula brevipes Zelal Işık - Ceren Arslantaş - Sadin Özdemir - Serpil Gonca - Nadir Dizge
30-34	86 - Green Synthesis of Iron Nanoparticles Using Centaurea solstitialis and Dye Remove Activity Zelal Işık - Ceren Arslantaş - Sadin Özdemir - Serpil Gonca - Nadir Dizge - Hüdaverdi Arslan
35	33 - ATIKSU GERİ KAZANIMININ PİŞİRİCİ CİHAZ ÜRETİMİ YAPAN BİR ENDÜSTRİNİN SU AYAK İZİNE ETKİSİ İpek Ceren Uçan- Emine Ubay Çokgör - Fatoş Germirli Babuna - Güçlü İnsel
36	103 - Impact of Tetracycline on biological wastewater systems using two different types of respirometry Nooshin Entezari Heravi - İlke Pala Özkök
37	92 - Turşu Endüstrisi Atıksularının PHA Üretiminde Kullanılabilirliğinin Değerlendirilmesi Didem Güven - Gülsüm Emel Zengin - Didem Okutman - Gökşin Özyıldız - Ayşe Güven Türk - Dilara Öztürk - Ezgi Ayışığı - Güçlü İnsel - Emine Ubay Çokgör

SESSION 1B: İklim Krizi

PAGE	
39-47	73 - İklim Değişikliği Kapsamında Yerel Yönetimlerin Azaltım ve Uyum Stratejilerinin Değerlendirilmesi Ece Gizem Çakmak - Tuğba Doğan Güzel
48-57	74 - KARBON VERGİSİNİN ULAŞTIRMA KAYNAKLI SERA GAZI EMİSYONLARI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ: İSTANBUL ÖRNEĞİ Tuğba Doğan Güzel - Ece Gizem Çakmak - Kadir Alp
58	87 - IŞIK KİRLİLİĞİNİN İKLİM KRİZİNE ETKİSİ Örgen Uğurlu - Özge Özarabacı
59-72	118 - BÜYÜK MENDERES HAVZASI'NDA İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN SU BÜTÇESİ ÜZERİNDE ETKİLERİ: FARKLI İKLİM MODELLERİ VE YANLILIK DÜZELTME YÖNTEMLERİ İbrahim Zülküf Erkol
73	104 - İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN ÇORUH VADİSİ MİKROKLİMA ALANINDA ZEYTİN TARIMINA ETKİLERİ Cemil İrdem - İmren Alkan
74	97 - DIRECT AND INDIRECT CLIMATE IMPACTS OF LANDFILL GAS EMISSIONS Derek Manheim - James Hanson - Nazlı Yeşiller

SESSION 2A: Hava Kirliliği ve Koku Emisyonlarının Kontrolü

PAGE	
76	35 - Gebze İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisinde Oluşan Koku Emisyonlarının Ünite Bazlı Olarak İncelenmesi ve Çevre Havasında Koku Problemi Oluşturabilecek Sıcak Noktaların AERMOD Atmosferik Dağılım Modeli ile Belirlenmesi İlker Akmırza - Baran Sayğan
77-86	39 - Investigation of particulate matter from agricultural burning in South-Eastern Turkey with remote sensing Merve Eke - Burçak Kaynak
87	42 - COVİD-19 KARANTİNASININ MARMARA BÖLGESİ HAVA KALİTESİ (NO_2 KONSANTRASYONU) ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN UZAKTAN ALGILAMA YÖNTEMLERİ İLE İZLENMESİ Dilek K. Matci - Fırat Erdem - Nuri Erkin Öçer - Gordana Jovanovska Kaplan - Uğur Avdan
88-97	49 - Uzaktan Algılama ile Türkiye'de Amonyak (NH_3) Kirleticisinin Zamansal ve Mekânsal Dağılımı Seda Tokgöz - Burçak Kaynak
98-107	60 - Understanding the relationship between urban development and air pollution for the mega-city Istanbul with remote sensing NO_2 measurements Ali Osman Çeker - Fulya Çingiroğlu - Ezgi Akyüz - Burçak Kaynak
108-116	61 - SO_2 Pollution from Yeniköy, Kemerköy and Yatağan Power Plants Sümeyye Sena Değer - Ezgi Akyüz - Fulya Cingiroglu - Burçak Kaynak
117-121	69 - ZnO Adsorpsiyonu ile H_2S Giderimi Sonrasında CO Beslenmesi ile COS Oluşumuna Su içeriğinin ve Sıcaklığın Etkisi Cevdet Doğan - Banu Çetin - Stefan Martini - Stefan Retschitzegger
122	11 - Petrol Kaynaklı Toprak ve Yeraltı Suyu Kirliliğinin Karakterizasyonu, İstanbul Ambarlı Örneği Yunus Serhat Erzeybek

INDEX

PAGE — SESSION 2B: Atıksu Arıtımı

124-127 9 - ETANOL ÜRETİM ENDÜSTRİSİ ATIK SUYUNDA GELİŞTİRİLEN Rhizopus oligosporus'DAN KİTİN ELDESİNDE ALKALİ ÖN İŞLEM ŞARTLARININ ETKİSİNİN BELİRLENMESİ
H. Duygu Bilgen

128-131 54 - ENDÜSTRİYEL ATIKSU ile BESLENEN BAKTERİ HÜCRESİNDEN SÜPERKRİTİK CO2 ile PHA EKSTRAKSİYONU
Tülin Y. Nayır -Selver Konuk - Havva Nur Çiftci - Serdar Kara

132-138 55 - DERİ SANAYİ ATIKSULARINDA AKTİF KARBON ADSORPSİYONU İLE KROM(VI) GİDERİMİ
Elçin Genç

139-145 46 - TELON RED A2R BOYARMADDESİNİN UV-LIGHT - ELEKTROOKSİDASYON SİSTEMİNDE GİDERİMİNE ELEKTRO LİT TÜRÜNÜN ETKİSİ
Orhan Taner Can - Ayşe Nur Canbaz - Ahmet Öztürk

146-153 5 - Tİ/RUO2-IRO2 VE Tİ/RUO2-TİO2 ANOT ARDIŞIK REAKTÖR SİSTEMİNDE ASTRAZON BLACK FDL BOYA ÇÖZELTİ SİNDEN RENK GİDERİMİ
Orhan Taner Can - Ahmet Öztürk

154-158 30 - DENİTRİFİYE ANAEROBİK METAN OKSİDASYONU (DAMO)'NUN FARKLI AŞI ÇAMURU KAYNAKLARINDA VARLIĞININ VE ETKİNLİĞİNİN İNCELENMESİ
Dilan Laçin - Tuba H. Bayramoğlu

159 59 - Effect of Ultrasound Pretreatment on Particle Size Distrubution in Dairy Wastewaters
Hakan Dulkadiroğlu - Selan Lale

160 107 - NANO–BOYUTTA ALÜMİNYUM PARTİKÜLÜ VE ULTRASES PROSESİNİN VICTORIA BLUE R GİDERİMİNE ETKİSİ
Burcu İleri

PAGE — SESSION 3A: Hava Kirliliği ve Koku Emisyonlarının Kontrolü;Toprak ve Yeraltısuyu Kirliliği

162-167 123 - ENDÜSTRİYEL TESİSLERDEN KAYNAKLANAN HAVA KİRLİLİĞİNİN MODELLENMESİ
Tuğçe Kes

168-171 77 - TÜRKİYE'DE İMALAT SANAYİ VE İNŞAAT KAYNAKLI CO2 EMİSYONUNUN ZAMAN SERİSİ İLE ANALİZİ
Mehmet Emin Tabar - Serkan Özel

172-178 88 - GA VE S KONSANTRASYONLARININ TAKİBİNDE BAZI AĞAÇLARIN BİYOMONİTÖR OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI
Kaan Işınkaralar

179-182 117 - HAVADAKI BTX DÜZEYLERİNİN GELİBOLU FERİBOT İSKELESİ ÇEVRESİNDEKİ DÜZEYLERİ
Müge Aydın - Sibel Menteşe

183-192 102 - ERDEMLİ (MERSİN) KIYI AKİFERİ SU KALİTESİNİN ARAŞTIRILMASI
Fatma Ece - Mehmet Ali Kurt - Umit Yıldırım - Cüneyt Güler - Onur Güven

193-207 14 - The GRACE-based assessment of the spatio-temporal variability of terrestrial and ground water storage over Turkey
Orhan Gündüz - Behnam Khorrami

PAGE — SESSION 3B: Atıksu Arıtma

209-215 62 - YENİ NESİL ÇÖZÜNMÜŞ HAVA FLOTASYONU (DAF) UYGULAMALARI
Yasemin Özdemir

216-221 85 - Yanıt Yüzey Metodolojisi ve Yapay Sinir Ağı ile Tekstil Atık Sularının Grafit Elektrotlarla Elektrokimyasal Oksidasyonunun Optimizasyonu
Zelal Işık - Rabia Yıldırım - Mohammed Saleh - Ahmet Karagündüz - Bülent Keskinler - Nadir Dizge

222 95 - HASTANE ATIKSULARININ ARITIMI VE YÖNETİMİ
Muharrem Barış Pekcan

223-234 91 - Yüzey Yanıt Metodu Kullanılarak Pirinç Kavuzundan Silika Ekstraksiyonu ve Safranin Boyasının Adsorpsiyonu
Melis Gün - Hüdaverdi Arslan - Muhammed Saleh - Mutlu Yalvaç - Nadir Dizge

235 108 - Süt Endüstrisi Atıksularının sAnMBR ile Arıtılabilirliğinde Çamur Yaşının Etkisi
Samet Özcan - Hasan Koçyiğit

236-243 6 - ELECTROOXIDATION of 2-NAPHTHOL the PRESENCE of NaCl USING BDD AND MMO ELECTRODES
Orhan Taner Can - Zubeda Ukundimana - Leyla Gazigil

244 96 - AYRIK TOPLANMIŞ İDRARDAN GÜBRE AMAÇLI AZOT GERİ KAZANIMI SÜRECİNDE KARBON GİDERİMİ
Yasemin Akdağ - Bilsen Beler Baykal - Mahmut Altınbaş

INDEX

PAGE — SESSION 4A: Kentleşmede Doğa Odaklı Çözümler; Atık Yönetimi

246-252 — 26 - BEST, YEŞİL BİNA DERECELENDİRME SİSTEMİ, SERTİFİKASYONUNUN DÜŞÜK MALİYET İLE ELDE EDİLMESİNE YÖNELİK OPTİMİZASYON UYGULAMASI
Bengisu Uğurlu - Aysegul Aksoy

253-260 — 124 - BETON ÜRETİM SANTRALLERİNDE SIFIR ATIK UYGULAMALARI VE ÖNERİLERİ
Serkan Gür

261-263 — 66 - DÖNGÜSEL ŞEHİR KONSEPTİNDE ATIKSUDAN KAYNAK GERİ KAZANIMI İÇİN BİR KARAR YÖNTEMİ OLARAK SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ENDEKSİNİN (SI) GELİŞTİRİLMESİ
Emel Topuz - İrem Öztürk

264-270 — 101 - YEŞİL BİNALAR VE YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ DAVUTPAŞA KAMPÜSÜ'NÜN YEŞİL BİNAYA DÖNÜŞTÜRÜL MESİ ÇALIŞMASI
Gözde Tınaz - Emel Koçak

271-277 — 28 - SIFIR ATIK YÖNETİMİ'NİN ÇEVRESEL ETKİLERİ: İTÜ AYAZAĞA KAMPÜSÜ'NÜN SIFIR ATIK ENDEKSİ
Kadriye Elif Maçin - Osman Atilla Arıkan

PAGE — SESSION 4B: Havza ve Su Kalitesi Yönetimi

279-284 — 67 - Otonom su devrilmesi izleme-uyarı-müdahale sistemi
Özge Yücel Bilen - Ayşegül Aksoy

285-292 — 79 - EFFECT OF TOTAL AND DISSOLVED ORGANIC CARBON FROM WASTEWATER DISCHARGE ON SURFACE AND GROUNDWATER IN GEDİZ ALAŞEHİR-SALİHLİ SUB-BASIN
Sevgi Tokgöz Güneş

293-302 — 80 - FIRTINA DERESİ HAVZASINDA GEFC METODU KULLANILARAK ÇEVRESEL SU İHTİYACI TAHMİNİ
Ceren Bozkurt - Nusret Karakaya - Ömer Genç - Haluk Fidan

303-309 — 81 - QUANTIFICATION OF STREAM METABOLISM AS A RESULT OF CARBON AND NITROGEN DYNAMICS: NORTHE AST TURKEY
Kadir Yıldız - Fatih Evrendilek - Şeref Kılıç - Ayfer Özdemir - Eslem Çınar - Nusret Karakaya

310-330 — 89 - MONITORING AND REMOVAL METHODS OF PRIORITY CONTAMINANTS IN SURFACE WATER RESOURCES
Enes Özgenç - Süreyya Meriç Pagano

331 — 68 - Karbon Fiber Esaslı Perovskit Kompozitlerin Fotokatalitik Aktivitelerinin İncelenmesi
Senem Aksoy

332-341 — 41 - OZON BAZLI İLERİ OKSİDASYON PROSESLERİ İLE SULU ÇÖZELTİLERDEN TRİKLOSANIN ARITIMI (TREATMENT OF TRICLOSAN FROM AQUEOUS SOLUTIONS BY OZONE BASED ADVANCED OXIDATION PROCESSES)
Eylem Topkaya - Ayla Arslan

PAGE — SESSION 5A: Katı, Endüstriyel ve Tehlikeli Atık Yönetimi

342-344 — 19 - MİKROPLASTİK VE BİYOKATI VARLIĞINDA TOPRAKTA NİKEL TOKSİSİTESİNİN BELİRLENMESİ
Emel Topuz - Fatma Cansu Ulutuğ

345-346 — 71 - ARITMA ÇAMURLARININ KOMPOSTLANMASINDA TAVUK GÜBRESİNİN ETKİSİ
Büşra Özbek - Selnur Uçaroğlu

347-348 — 75 - TOPRAK VE KOMPOST ŞARTLARINDA BİYOPLASTİKLERİN BİYOBOZUNMALARININ DEĞERLENDİRİLMESİ
Şeyma Erkul - Selnur Uçaroğlu

349-357 — 113 - İÇME SUYU ARITMA TESİSİ ÇAMURUNDAN ELDE EDİLEN ADSORBAN MALZEME İLE ARSENİK GİDERİMİ
Berna Kavacık - Deniz Dölgen

358-359 — 90 - ARITMA ÇAMURUNUN TERMAL KURUTMA ÖNCESİ YAPIŞKANLIK YAPISININ DEĞERLENDİRİLMESİ
Emine Ubay Çokgör - Güçlü İnsel - Didem Güven - Gülsüm Emel Zengin - Didem Okutman - Gökşin Özyıldız - Ece Sağır Kurt - Ezgi Atlı

360 — 106 - Elektrikli ve Elektronik Atıklardan Değerli Metallerin Geri Kazanımının Değerlendirilmesi
Melisa Nur Şener - Mehmet Sinan Bilgili

361-370 — 57 - DEMİR ÇELİK ÜRETİMDEN KAYNAKLANAN BACA GAZI TOZUNUN STABİLİZASYON/SOLİDİFİKASYON YÖNTE MİYLE DÜZENLİ DEPOLAMA SAHALARINDA BERTARAF EDİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI
Bekir Tombul - Merve Özgel - Gurdal Kanat

PAGE — SESSION 5B: Havza ve Su Kalitesi Yönetimi

372-380 — 63 - KÜÇÜK MENDERES NEHİR HAVZASINDAKİ YAYILI KİRLİLİK YÜKLERİNİN SWAT MODELİ İLE TAHMİN EDİLME Sİ
Dilara Temel - Alper Elçi - Selma Ayaz

381-391 — 16 - Türkiye Geneli için Uzun Dönem Ortalama Toplam Yağış Dağılımının Tahmini için Kullanılan Yüzeysel İnterpolasyon Tekniklerinin Kantitatif Analizi
Behnam Khorrami - Orhan Gündüz

392-396 — 34 - MARMARA DENİZİ 2021 YÜZEY MÜSİLAJ ÖRNEKLERİNİN KARAKTERİZASYONU
Berat Z. Haznedaroğlu - Engin Bayram - Fahri Koray Sakarya - Duygu Özçelik - Arca Yılmaz - Emren Borhan - Dila Hocaoğlu - Zeynep Şahin - İrem Karamollaoğlu)

397-399 — 44 - KENT PLAJLARINDA DENIZ SUYU VE PLAJ KUMUNA COVİD 19 PANDEMİ ETKİSİNİN DEĞERLENDIRMESİ
Gönül Tuğrul İçemer - Merve Tan - Ulukan Şimşek

400-407 — 48 - HAVZA YÖNETİMİNDE TÜRKİYE'DE UYGULANAN MODELLER
Solmaz Garan - Arife Şimşek - Gülfem Bakan

INDEX

SESSION 6A: Katı, Endüstriyel ve Tehlikeli Atık Yönetimi

PAGE	
409	10 - İNSAN SAÇI ÖRNEKLERİNDE CİVA MEVCUDİYETİNİN ÇEŞİTLİ FAKTÖRLER AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ Merve Özkaleli Akçetin - Beyda Sönmez - Hatice Kübra Gül - Perihan Kurt Karakuş
410-411	56 - TÜRKİYE'DE ENTEGRE KİRLİLİK ÖNLEME VE KONTROLÜ UYGULAMALARININ DEĞERLENDİRİLMESİ İpek Gevinç - Selnur Uçaroğlu - Sami Giray Doğrultucu
412-414	64 - DETERMINATION OF BEST AVAILABLE RECOVERY STRATEGY FOR CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTES BY USING ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS Ezgi Özdemir
415	112 - Fethiye İlçesi Katı Atık Yönetimi Optimizasyonu Mualla Elif Engin - Mehmet Sinan Bilgili
416-424	120 - ARTVİN (MERKEZ) KATI ATIK TOPLAMA TAŞIMA SİSTEMİNİN COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ İLE DESTEKLENMESİ VE GERİ KAZANIM UYGULAMALARI Özlem Uçar - Semra Çoruh
425-434	121 - Ara Depolama Tesisi Verileri Kullanılarak Tehlikeli Atıkların İncelenmesi Beril Akkuş - Nezih Kamil Salihoğlu

SESSION 6B: Önleyici Çevre Yönetimi, Temiz Üretim ve Risk Değerlendirme

PAGE	
436	31 - BİR KESİMHANENİN ÇEVRESEL ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ Nur Seda Şahin
437-438	93 - ENDÜSTRİYEL ÇEVRE KİRLİLİĞİ KONTROLÜNDE ÇEVRE ETİKETİ UYGULAMALARI-TURİZM SEKTÖRÜ ÖRNEĞİ Serkan Atay
439-446	12 - Kozloduy Nükleer Güç Santralinde Yaşanacak Olası Bir Kazanın Türkiye'de Yaratacağı Radyolojik Risklerin Değerlendirilmesi Efem Bilgiç - Orhan Gündüz
447	58 - BURSA'DA YER ALAN ÇOCUK PARKI TOZLARINDA CİVA SEVİYELERİ VE SAĞLIK RİSK DEĞERLENDİRMESİ Hatice Kübra Gül -Ozan Veli Kaya - Özge Korkusuz - Perihan Binnur Kurt Karakuş
448-455	105 - GEMİLERDEN KAYNAKLI ATIKLARIN MONTE CARLO YÖNTEMİ KULLANILARAK RİSK DEĞERLENDİRMESİ Ömer Harun Özkaynak - Gönül Tuğrul İçemer

SESSION 7A: Yenilenebilir Enerji

PAGE	
457-465	7 - AYDIN İLİ JEOTERMAL ENERJİ SANTRALLERİNDEN ÇIKAN ATIK ISININ ŞEHİR ISITMADA KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI Çağatay Kahriman - Kamil Erkan
466	29 - MISIR SÖMEĞİ İLE DİGESTAT'IN BİRLİKTE-ÇÜRÜTÜLMESİ: HİDROTERMAL ÖN İŞLEMİN METAN ÜRETİMİNE ETKİSİ Tuğba Çelik Çağlar - Tuba H. Bayramoğlu
467-475	43 - Environmental Controling of Hydropower Plants with Legislations in Turkey Fatma Aysun Kaplan - Hikmet Polat
476-480	83 - İLETKEN MADDELER YARDIMIYLA KONVANSİYONEL ANAEROBİK ÇÜRÜTME SİSTEMİNİN PERFORMANSININ ARTIRILMASI Yasin Odabaş - Dilşad Yılmazel
481-482	90 - ARITMA ÇAMURUNUN TERMAL KURUTMA ÖNCESİ YAPIŞKANLIK YAPISININ DEĞERLENDİRİLMESİ Emine Ubay Çokgör
483	23 - START-UP PERIOD OF BIOGAS PLANTS - A CASE STUDY Hakan Dulkadiroğlu- Emre Avcu

SESSION 7B: Su Kirliliği ve Yönetimi - Mikroplastikler

PAGE	
485-497	119 - Poşet Çaylarda Kullanılan Dokumasız Kumaşların Mikroplastik Fiber Salımının İncelenmesi Merve Kuriş - Meral Yurtsever
498	22 - MICROPLASTIC POLLUTION IN KIZILIRMAK Hakan Dulkadiroğlu - Beyza Ozkor
499	36 - DETERMINATION OF THE IMPACT MICROPLASTICS IN GREYWATER ON WATER STABLE AGGREGATE RATIO Derya Ayral Çınar - Betül Balcı
500	37 - DETERMINATION OF THE EFFECT OF POLYPROPYLENE MICROPLASTICS ON NICKEL ADSORPTION IN SOIL AT DIFFERENT HUMIDITY CONDITIONS Derya Ayral Çınar - Dilara Büşra Bartan
501-508	47 - SU VE SEDİMAN ORTAMINDAKİ MİKROPLASTİKLERİN AKIBETİ VE ETKİLERİ: SAMSUN KIYI ŞERİDİ ÖRNEĞİ Burak Özpolat - Arife Şimşek - Mehmet Ak - Gülfem Bakan
509-520	99 - EVSEL/KENTSEL NİTELİKLİ ATIKSULARDA MİKROPLASTİK KİRLİLİĞİ Neriman Baylan - Pelin Koyuncuoğlu - Gulbin Erden
521	20 - OCCURRENCE AND MEASUREMENT OF MICROPLASTICS IN WASTEWATER M. Dilara Hatinoğlu, İrem Şimşek, Göksu Yurtseven, F. Dilek Sanin

INDEX

SESSION 8A: Çevre Mühendisliği Eğitimi

PAGE	
530-538	25 - Türkiye'de Çevre Mühendisliği Programlarının Genel Durumlarının İncelenmesi (2021) Kamil B. Varınca
539	38 - ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ AKIŞKANLAR MEKANİĞİ DERSİNDE AKTİF ÖĞRENME METODU OLARAK DERS İÇİ ETKİNLİKLERİN KULLANILMASI Derya Ayral Çınar
540	65- INVESTIGATION OF THE IMPACT OF RAIN GARDENS ON HYDRAULIC PERMEABILITY AND CONTRIBU

14. national 2. international environmental engineering congress

climate crisis & environmental policies

SESSION 1A: Atıksu Arıtma

Paper ID:

27 **TREATMENT OF OLIVE MILL WASTEWATER BY FENTON PROCESS**
Burcu Şimşek Uygun - Elçin Kahraman

50 **HARVESTING OF CHLORELLA VULGARIS BY ELECTROCOAGULATION METHOD USING Fe ELECTRODES**
Halima Al-Thawr - Özlem Özden Üzmez - Masoud Derakhshandeh - Ümran Tezcan Ün

84 **Biosorption of Remazol Brilliant Blue R (RBBR) and Basic Red 18 (BR18) Using Dead Fungi Biomass Agaricus augustus and Russula brevipes**
Zelal Işık - Ceren Arslantaş - Sadin Özdemir - Serpil Gonca - Nadir Dizge

86 **Green Synthesis of Iron Nanoparticles Using Centaurea solstitialis and Dye Remove Activity**
Zelal Işık - Ceren Arslantaş - Sadin Özdemir - Serpil Gonca - Nadir Dizge - Hüdaverdi Arslan

33 **ATIKSU GERİ KAZANIMININ PİŞİRİCİ CİHAZ ÜRETİMİ YAPAN BİR ENDÜST RİNİN SU AYAK İZİNE ETKİSİ**
İpek Ceren Uçan- Emine Ubay Çokgör - Fatoş Germirli Babuna - Güçlü İnsel

103 **Impact of Tetracycline on biological wastewater systems using two different types of respirometry**
Nooshin Entezari Heravi - İlke Pala Özkök

92 **Turşu Endüstrisi Atıksularının PHA Üretiminde Kullanılabilirliğinin Değerlen dirilmesi**
Didem Güven - Gülsüm Emel Zengin - Didem Okutman - Gökşin Özyıldız - Ayşe Güven Türk - Dilara Öztürk - Ezgi Ayışığı - Güçlü İnsel - Emine Ubay Çokgör

TREATMENT OF OLIVE MILL WASTEWATER BY FENTON PROCESS

Burcu ŞİMŞEK UYGUN[1,*],Elçin KAHRAMAN[2]

[1] Eskişehir Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, ESKİŞEHİR bsimsek1@eskisehir.edu.tr*

[2] Eskişehir Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, ESKİŞEHİR elcinkahraman010@gmail.com

Özet

Dünyada zeytin ve zeytinyağı üretiminde Türkiye oldukça önemli bir yere sahiptir. Ülke ekonomisinde çok önemli bir yere sahip olan zeytincilik sektöründe, zeytin ve zeytinyağı üretimi esnasında karasu olarak adlandırılan atıksular oluşmaktadır. Karasular içeriğindeki yüksek kirlilik yükü, yılın sadece belli zamanında gerçekleşen hasat zamanında üretimi ve üretim yapılan tesislerin geniş alanlara yayılması nedeniyle çevresel açıdan risk oluşturmaktadır. İçeriğinde bulunan fenolik bileşikler, organik maddeler, askıda katı maddeler, yağ-gres gibi parametreler oldukça yüksektir. Bu nedenle, karasuların güvenli depolanması, arıtımı ve bertarafı gerekmektedir. Çevre üzerindeki olumsuz etkilerini önlemek ve yüksek kirlilik içeren bu atıksuları arıtmak için pek çok arıtma yöntemi araştırılmış ve geliştirilmiştir. Bu çalışmada karasu örneği Çanakkale iline bağlı Küçükkuyu Beldesi'nde bulunan bir zeytinyağı fabrikasından alınmıştır. Alınan karasu arıtımı için ileri oksidasyon arıtım tekniklerinden fenton prosesi uygulanmıştır. Fenton arıtım tekniği ile yüksek organik madde giderimi yapılmış ve giderim veriminin yüksek olduğu optimum demir sülfat ($FeSO_4$), optimum hidrojen peroksit (H_2O_2) dozları ve optimum pH belirlenmiştir.

Abstract

Turkey has a very important place in olive and olive oil production in the world. In the olive growing sector, which has a very important place in the country's economy, wastewater, called olive mill, is formed during olive and olive oil production. Due to the high pollution load in the territorial waters, the production at harvest time only at certain times of the year, and the spread of the production facilities to large areas, it poses an environmental risk. Parameters such as phenolic compounds, organic substances, suspended solids, oil-grease in its content are quite high. Therefore, safe storage, treatment and disposal of territorial waters are required. Many treatment methods have been researched and developed to prevent their negative effects on the environment and to treat these highly polluted wastewater. In this study, the olive mill wastewater sample was taken from an olive oil factory in Küçükkuyu town of Çanakkale province. Fenton process, which is one of the advanced oxidation treatment techniques, was applied for the olive mill wastewater treatment. High organic matter removal was measured with Fenton treatment technique and optimum iron sulfate ($FeSO_4$), hydrogen peroxide (H_2O_2) doses and optimum pH were determined with high removal efficiency.

Keywords: Olive oil production, treatment of olive mill wastewater, fenton process

1. INTRODUCTION

Olive is an industrial food source that has an important place in the world. Since olives must be processed in order to be consumed, agricultural activities and industrial processes must be carried out. Turkey is a country

that has a very important place among the olive oil producing countries. Aydın, İzmir, Muğla, Balıkesir, Bursa, Manisa, Çanakkale, Gaziantep and Mersin are among the leading provinces.

As a result of processing olive and olive oil with traditional or technological methods, wastewater called olive pomace and olive mill wastewater is formed. The parameters of the wastewater generated are considerably higher than the discharge standards due to its high organic and phenolic substance content. It poses an environmental risk when mixed with soil and water bodies [1]. Although many studies have been carried out on different processes for its disposal, there is still no fully applicable system in our country.

The processes used in the treatment of black water are thermal methods (evaporation and incineration), evaporation in the lagoon or use for irrigation, dilution, flotation/precipitation, membrane filtration, aerobic and anaerobic biological treatment, chemical and electrochemical treatment, use as animal feed, adsorption, electrolysis and advanced oxidation processes [2].

There are many studies on the treatability of black water both in our country and in the world. Sarika et al., (2005), in most of the samples they tested, were able to reduce the total solids content without pretreatment, while also reducing the BOD and COD values [3]. Rivas et al., (2001) determined the optimum pH range for Fenton reactions as 2.5-3 in their study [4]. The temperature of the system showed that it was an exothermic reaction. It is stated that process efficiency depends on pH, reaction temperature, concentrations of chemicals, and content and amount of organic load [5]. Kestioğlu et al., (2005) reported the same COD and total phenol removal efficiency (94-95% COD removal and 90-91% total phenol removal) in the study where Al_2SO_4 and $FeCl_3$ were used chemically [6]. Since 2006, Bettazi et al. have achieved a total efficiency of 70%, with 60% removal in the fenton process before biological treatment [7]. Ginos et al., (2006) achieved 60% COD removal efficiency in their fenton study [8]. Rizzo et al., (2008) investigated the effect of combined treatment with advanced oxidation steps. In chemical fenton, AKM removal was 81% under pH 4.3 with the optimum dose of 400 mg/L coagulant [9]. In the study carried out by Amor et al., (2015), Fenton was designed as a pretreatment. While the removal efficiency was 82% in polyphenols, the efficiency in COD was 17% contrary to expectations [10].

In this study, the olive mill wastewater sample was taken from an olive oil factory in Küçükkuyu town of Çanakkale province. Fenton process, which is one of the advanced oxidation treatment techniques, was applied for the olive mill wastewater treatment.

2. MATERIAL AND METHODS

Olive production is done once a year, seasonally, usually in November-February in Turkey. Since intensive production is made and water is used directly in the processes, the amount of wastewater is quite high. With the amount of olive mill water formed, the pollution load is high, making treatment difficult [11]. The wastewater is violet-brown and has a pungent odor [12].

Although no products other than water and olive oil are used as additives in the olive oil production process, the high organic load, phenolic and vegetable oil content, suspended solids amount, and high pH value of olive mill water are the main factors that should be considered in treatment [13].

Today, Fenton process is applied to increase the removal efficiency of wastewater with high organic content. Fenton process covers the reactions between peroxides and iron ions, especially hydrogen peroxide. It is simple and cost effective [14]. It converts organic pollutants in the structure of wastewater into CO_2, water and inorganic salts that will not pose a risk. In this method, the iron ion reacts with the oxidant as a catalyst in an acidic environment and produces a hydroxyl radical. Iron is one of the most important metals that provides oxygen transfer. It is a reduction reaction as the metal ion gains electrons. The combination of iron and hydrogen peroxide is called "Fenton Reagent" [10].

In this study, olive mill wastewater was obtained from a facility located in Küçükkuyu town of Çanakkale province. Jar Tests were carried out to determine the optimum pH and optimum dosage in order to apply the Fenton process.

The chemicals required for the Fenton process were added. H_2O_2 concentration was kept constant, and $FeSO_4$ has been added in different concentrations. The samples were mixed in the jar test rapidly for 15 minutes, then

slowly for 45 minutes, and allowed to settle, then COD analysis was done. The optimum $FeSO_4$ dosage was determined to be 300 mg/L. Then, $FeSO_4$ dosage was kept constant, H_2O_2 was added at different dosages, the optimum H_2O_2 dosage was found as 75 mg/L according to COD analysis. Besides, $FeSO_4$ and H_2O_2 dosage were kept constant, pH was changed and optimum pH is determined.

3. RESULTS

In order to determine the optimum amount of $FeSO_4$, $FeSO_4$ solutions at different concentrations were prepared. The concentrations of the prepared solutions are 225, 300, 450 ve 600 mg/L, respectively. Solutions of this concentration were added to the 200 mL oil mill water samples, respectively. 5 mL of hydrogen peroxide was also added. Then, the samples were mixed at 100 rpm for 15 minutes and at 40 rpm for 45 minutes. After mixing, the samples were left to settle for 2 hours, after that COD analysis has done. The COD values were 185000, 4400, 167200, 10500 mg/L, respectively. Treatment efficiencies according to COD values are shown in Figure 8.1 below. According to the graph, it was determined that the optimum $FeSO_4$ dosage was 300 mg/L.

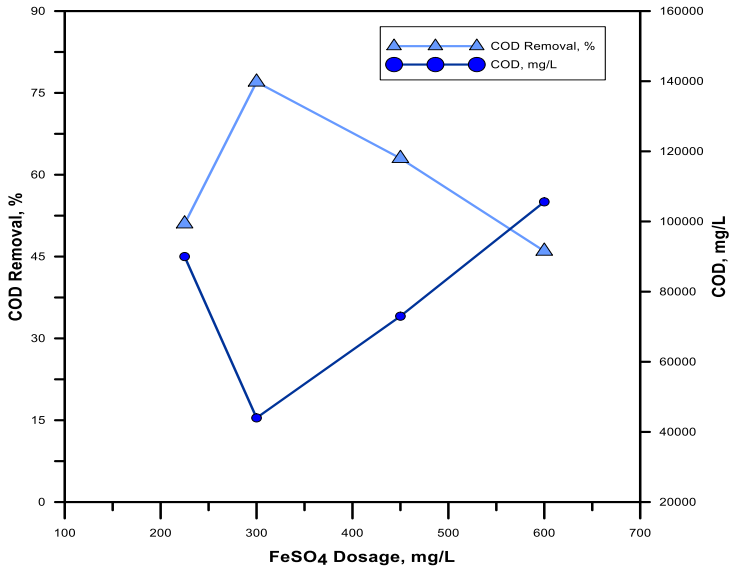


Figure 1. Optimum $FeSO_4$ dosage

To each of the 200 mL blackwater samples, H_2O_2 was added at concentrations of 15, 37.5, 52.5, and 75 mg/L, respectively. Then, according to the data obtained from the experiments performed in the first step, the optimum amount of $FeSO_4$ (300 mg/L) was kept constant and 10 mL was added to the samples. It was mixed fast for 15 minutes and slow for 45 minutes. The COD was measured by taking samples from the samples that were left to settle for 2 hours. Calculations of COD removal efficiency percentages of different concentrations are available as given below. As seen in the Figure 2, optimum H_2O_2 dosage is 75 mg/L.

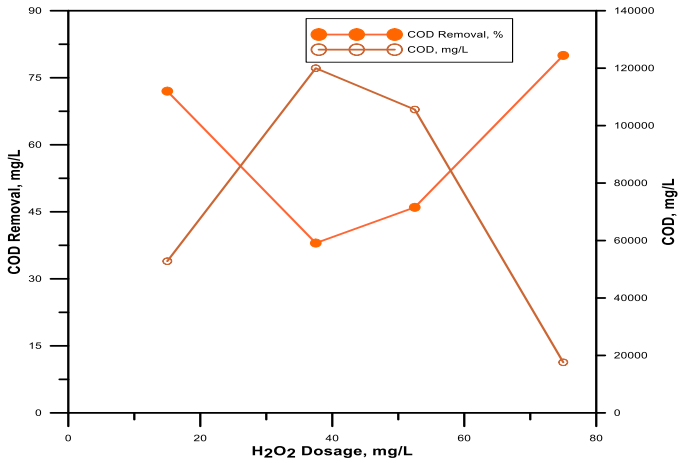


Figure 2. Optimum H_2O_2 dosage

After adding optimum $FeSO_4$ and H_2O_2 to mill wastewater, acid or base is added to adjust this pH value to 1, 3, 6 and 9, respectively. After 15 minutes of fast mixing and 45 minutes of slow mixing, it was left to settle for 2 hours. COD measurement was performed again. The optimum pH value was determined as 3 (Figure 3).

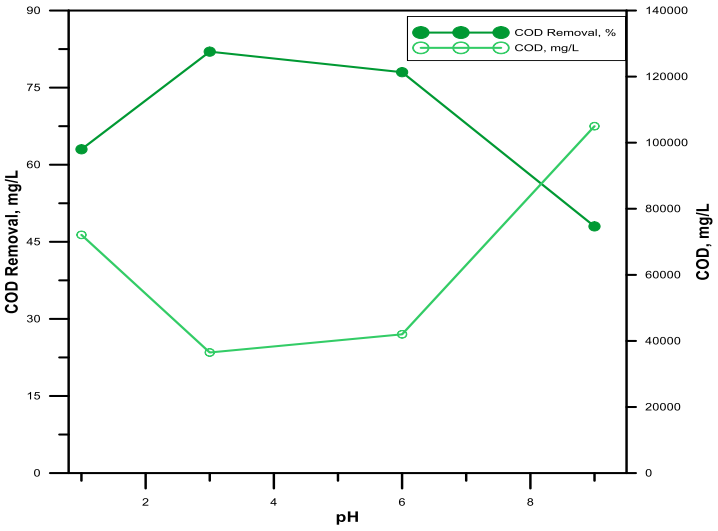


Figure 3. Optimum pH

Comparisons were made with chemicals at different concentrations in order to determine the optimum dosages. The effect of treatability studies was observed with the COD parameter. While the initial COD amount of the olive mill wastewater was 195000 mg/L, the removal efficiency was 77% with the optimum amount of $FeSO_4$, while efficiencies such as 75% were obtained with the optimum hydrogen peroxide dosing. It has been observed that if all these dosing takes place at the pH 3, a very high removal efficiency of 80% will be achieved. As a result of all the studies, it was determined that it is possible to treat olive mill wastewater with Fenton reactions and the best conditions for the highest removal efficiencies.

References

[1] Gömeç Ç.Y., Erdim E., Turan I., Aydin A.F., Ozturk I., (2007). Advanced oxidation treatment of physicochemically pre-treated olive mill industry effluent, Journal of Environmental Science and Health Part B, 42(6), 741-747.

[2] Şengül, F., Özer, A., Çatalkaya, E., Oktav, E., Evcil, H., Çolak, O., Sağer, Y. (2003) Zeytin Karasuyu Arıtımı Projesi: EBSO Projesi Kapsamındaki Zeytinyağı İşletmeleri İçin Durum Tespiti, Karasu Karakterizasyonu, Karasu Arıtılabilirlik Çalışmaları ve Sonuçları, İzmir.

[3] Sarika, R., Kalogerakis, N., Mantzavinos, D. (2005). Treatment of olive mill effluents Part II. complete removal of solids by direct flocculation with poly-electrolytes, Environment International, 31, 297-304.

[4] Rivas, F.J., Beltran, F.J., Gimeno, O., Frades, J., (2001). Treatment of olive oil mill wastewater by Fenton's reagent. J. Agric. Food Chem., 49, 1873-1880.

[5] Arslan Alaton, I., Gürses, F. (2004). Penisilin prokain G antibiyotik formülasyon atıksuyunun fenton-benzeri ve foto-fenton-benzeri ileri oksidasyon prosesleri ile arıtılabilirliginin incelenmesi. Su Kirlenmesi ve Kontrolü Dergisi, 1(14): 11-16.

[6] Kestioğlu, K., Yonar, T., Azbar, N. (2005) Feasibility of physico-chemical treatment and advanced oxidation processes (AOPs) as a means of pretreatment of olive mill effluent (OME), Process Biochemistry, 40, 2409-2416.

[7] Bettazzi, E., Morelli, M., Caffaz, S., Caretti, C., Azzari, E., Lubello, C. (2006). Olive mill wastewater treatment: an experimental study. Water Science&Technology, 54(8), 17-25.

[8] Ginos, A., Manios, T., Mantzavinos, D. (2006). Treatment of olive mill effluents by coagulation-flocculation-hydrogen peroxide oxidation and effect on phytotoxicity. Journal of Hazardous Materials, B133, 135-142.

[9] Rizzo L., Lofrano G., Grassi M., Belgiorno V., (2008). Pre-treatment of olive mill wastewater by chitosan coagulation and advanced oxidation processes. Separation and Purification Technology, 63, 648-653.

[10] Amor C., Lucas M. S., Garcia J., Dominguez J. R., Heredia J. B., Peres J. A., (2015). Combined treatment of olive mill wastewater by Fenton's reagent and anaerobic biological process. Journal of Environmental Science and Health, Part A 50, 161–168.

[11] Kul, S., Nuhoğlu, A. ve Değermenci, N. (2014). Zeytin Karasuyunun Respirometrik Analizi. Iğdır Üniveristesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 4(3), 35-40.

[12] Çetin, M. (2009). Zeytin Karasuyunun Aerobik Stabilizasyonunda Biyo-Ayrışma Kinetiğinin Belirlenmesi. Yayımlanmamış Yüksek Lisan Tezi. Balıkesir: Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

[13] Oktav, E., Çatalkaya, E. ve Şengül, F. (2003). Zeytinyağı Endüstrisi Atıksularının Kimyasal Yöntemlerle Arıtımı. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 5 (1), 11-21.

[14] Babuponnusami, A., Muthukumar, K., (2014). Journal of Environmental Chemical Engineering. India: Elsevier.

HARVESTING OF CHLORELLA VULGARIS BY ELECTROCOAGULATION METHOD USING Fe ELECTRODES

Halima Al-Thawr [1,*], Özlem Özden Üzmez [2], Masoud Derakhshandeh [3], Ümran Tezcan Ün [4]

[1,*] *Eskişehir Technical University, Department of Environmental Engineering, 26555 Eskişehir, Turkey*
h.althawr77@gmail.com
[2] *Eskişehir Technical University, Department of Environmental Engineering, 26555 Eskişehir, Turkey* *oozden@eskisehir.edu.tr*
[3] *İstanbul Gelişim University, Department of Civil Engineering, 34310 İstanbul, Turkey*
mderakhshandeh@gelisim.edu.tr
[4] *Eskişehir Technical University, Department of Environmental Engineering, 26555 Eskişehir, Turkey* *utezcan@eskisehir.edu.tr*

Özet

Mikroalgler, çeşitli uygulamalar için umut verici bir hammaddedir ve son yıllarda daha da önem kazanmıştır. Mikroalgal biyokütle hasadı ile ilgili yüksek maliyetler, büyük ölçekli uygulamalarını engellemektedir. Verimli ve düşük maliyetli bir hasat yönteminin kullanılması, uygulanabilir bir süreç elde etmek için önemlidir. Bu nedenle, bu çalışmada Chlorella Vulgaris sp. için kültür ortamından mikroalg biyokütlesi elde etmek için hasat yöntemi olarak elektrokoagülasyon (EC) tekniği kullanılmıştır. EC deneylerinde elektrik akımı, çökelme süresi ve pH parametreleri ele alınmıştır. Hasat verimliliği, enerji tüketimi ve işletme maliyeti incelenmiştir. Elektrokoagülasyon deneyleri, başlangıç pH değerleri 4, 7 ve 12 olarak ayarlanmış Fe elektrotları ile gerçekleştirilmiştir. 0,2 A, 0,5 A ve 0,8 A gibi üç farklı elektrik akımı uygulanmış ve ayrıca 30 dakika ve 24 saat olmak üzere iki ayrı çökelme süresinde deneyler yapılmıştır. Sonuçlar, elektrik akımı ve çökelme süresindeki artışın, hasat verimliliğinin artmasına yol açtığını göstermiştir. Hasat verimliliği 0,8 A elektrik akımı ile 30 dakika çökelme süresinden sonra % 63 ve 24 saatlik çökelme süresinden sonra % 88'e ulaşmıştır. Hasat verimliliği pH 4 değeri ile yüksek elde edilmiştir ve 30 dakika çökelme süresinden sonra % 100'e ulaşmıştır. Uygulanan akımın artmasıyla güç ve enerji tüketimi artmış ve bu da işletme maliyetlerinde artışa neden olmuştur. Ayarlanan pH değerleri ile tek elektrik akımı (0,5 A) uygulandığı için maliyet değerleri birbirine yakın elde edilmiştir. Elektrokoagülasyon tekniğinde Fe elektrotları ile yüksek verim değerlerine ulaşılmıştır ve bundan dolayı umut verici bir hasat yöntemi olduğu görülmüştür.

Abstract

Microalgae is a promising feedstock for various applications and it has gained appreciation in recent years. The high costs related with microalgal biomass harvest hinder its large-scale applications. The application of an efficient and low cost harvesting method is fundamental for achieving a viable process. For this reason, in this study electrocoagulation (EC) technique was used as a harvesting method to obtain microalga biomass from culture medium for Chlorella Vulgaris sp. Electric current, settling time and pH parameters were investigated in EC experiments. The harvesting efficiency, energy consumption and operating cost were also investigated. Electrocoagulation was tested with Fe electrodes with initial pH values and adjusted values of 4, 7 and 12. Three different electric currents such as 0.2 A, 0.5 A and 0.8 A were applied and also experiments were carried out at two settling times such as 30 minute and 24 hours. The results showed that the increase of electric current and settling time led to a rise of the harvesting efficiency. The harvesting efficiency reached to 63 % after 30 min settling time and 88% after 24 h settling time with electric current of 0.8 A. The harvesting efficiency was high with a pH 4 value and reached 100% after 30 min of settling time. The power and energy consumption rose with an increase of the applied current thereby increasing the operating costs. With the adjusted pH values the cost values were close to each other because a single electric current (0.5 A) was applied. The electrocoagulation technique achieved high efficiency values with Fe electrodes and appear to be a promising harvesting method.

Keywords: Microalgae, *Chlorella Vulgaris*, Harvesting, Electrocoagulation.

1. INTRODUCTION

In the recent years, the world has started to look for renewable energy sources to mitigate the risk of increased greenhouse gases (GHGs) and researches tend to investigate various renewable energy sources. Nowadays, bioenergy is seen as a clean and sustainable alternative to gradually replace fossil dependent energy. Microalgae represent a diverse range of living organisms and are considered a promising raw material for many applications, like production of food, cosmetics, medicines, carbon dioxide fixation, and biofuel production [1]. Before taking any advantage of microalgae biomass, they must be harvested in an efficient and economical way. Microalgae harvesting means to separate microalgae cells from its aqueous growth medium [2]. The methods for harvesting of microalgae vary between chemical, biological, electrical and mechanical or combination of different harvesting techniques [3]. Electrocoagulation (EC) is a simple technique that relies on metal electrodes commonly made of iron or aluminum and few amounts of electricity in specific time is applied [4]. Electrocoagulation includes three phases, namely the consistence of coagulants, destabilization of the suspended matters, and the gathering of destabilized suspended matters to form the flocs that settle and deposit by gravity [5]. Since microalgae have a negative surface charge, they can be neutralized by coagulant ions that are generated in the situ where the anode electrode dissolves to stabilize the biomass later and can be harvested [4]. In this study, harvesting of *Chlorella vulgaris sp.* was performed by application of electrocoagulation method. Electric current, settling time and pH parameters were investigated in EC experiments. The harvesting efficiency, energy consumption and operating cost were also investigated.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Microalgae Species and Cultivation

Chlorella vulgaris sp. was looked under the light microscope to verify (Figure 1). It is green freshwater photosynthetic microalgae and spherical unicellular (2-10 μm diameter) eukaryotic having a thick cell wall [6]. The culture was purified and transferred to one liter flasks as photobioreactor. Cell growth of *Chlorella vulgaris sp.* was determined by measuring absorbance capacity of the microalgae sample every day at 680 nm via absorbance spectrophotometer. Microalgae species in 1 L erlenmeyer flasks were transferred to the 10 L sterilized flasks filled with autoclaved BG11. A calibration curve was obtained to convert optical density to biomass density.

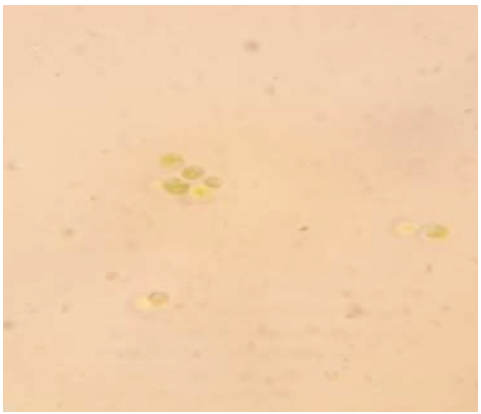


Figure 1. Microscopic view of Chlorella vulgaris sp. scale bar 100 (oil immersion).

2.2. Electrocoagulation (EC) Experiment

Electrocoagulation experiment was performed with different electric currents such as 0.2 A, 0.5 A and 0.8 A. The EC cell consisted of a 500 mL beaker equipped with Fe electrodes connected to a DC power. Each sample was left to settle for 30 min before reading optical density (OD), also was later left 24 h for more settling time before testing OD. The three first runs of the experiment were performed with the initial values of pH medium and the harvesting efficiency was calculated for each sample by Eq. 1

$$\text{Harvesting efficiency } \% = (OD_{initial} - OD_t / OD_{initial}) \times 100 \quad (1)$$

where $OD_{initial}$ is the initial optical density of sample before the harvesting experiment, OD_t is the optical density of microalgae concentration after 30 min or 24 hour settling time. The fourth, fifth, and sixth runs were done with adjusted pH values such as 4, 7 and 12 at 0.5 A as an average point. The electrode consumption for Fe electrodes was calculated by Faraday 's law [7]:

$$W = I \times t \times M / n \times F \quad (2)$$

where W is dissolved metal (gram of Fe), I is electric current (A), t is time of electrolysis (seconds), M is molecular weight of Fe electrodes (55.8450 g mol^{-1}), F is Faraday's constant (96.487 C mol^{-1}) and n is the number of electrons transferred for Fe (2).

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Microalgae Species and Cultivation

The growth rate of *Chlorella vulgaris sp.* was significantly high due to the optimal cultivation conditions and increased with time. Figure 2 shows the growth rate in 20 days for 1 L.

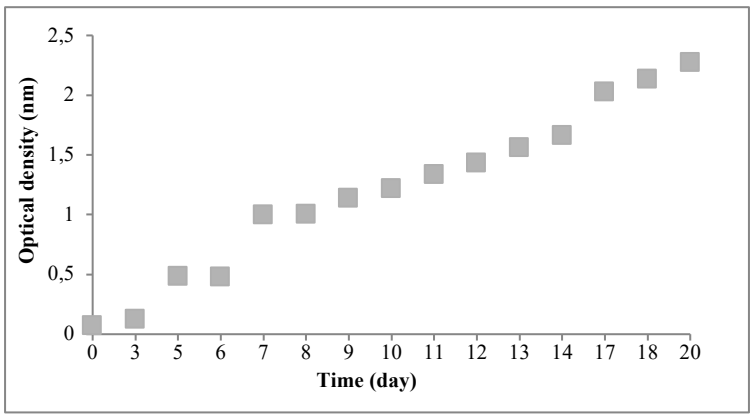


Figure 2. The growth rate of Chlorella Vulgaris in 20 days for 1 L.

3.2. The Effect of the Electric Current and Time

The EC experiments were applied with different voltages, pH values and run times. In the present study, visual observation of the mixture through the EC experiment showed a greenish-brownish color of insoluble hydroxides precipitates with Fe electrodes. The green-brown precipitates were formed and it was proposed that Fe^{2+} ions rather than Fe^{3+} were released during EC experiment. Figure 3 shows the linear relationship between the applied electric current and the harvesting efficiency with operating time 30 min and 24 h of settling time with Fe electrodes for *Chlorella Vulgaris sp.* As an example, the current 0.2 A with the Fe electrodes showed lower harvesting efficiency after 30 min and higher harvesting efficiency values were found after 24 h settling time. In the study of Golzary et al. [8], similar results were found. The harvesting efficiency at electric applied 0.8 A with *Chlorella Vulgaris sp.* was high compared to 0.2 A and 0.5 A. The increase of the settling time after the EC experiment led to a rise of the harvesting efficiency. According to Faraday's Law (Eq. 2), the electric current has a direct effect on the rate of dissolution of the anode and has a significant impact on the performance of the EC experiment [8]. Therefore, with an increase in the electric current, the amount of coagulant ions increases, and therefore the microalgae isolation rate increases [9]. In order to increase the efficiency of the microalgae harvesting, the electric current is increased. The time of the applied current was an effective parameter in the EC experiment. Based on Faraday's Law (Eq. 2), the amount of the dissolved electrodes is proportional to the time of the reaction [10]. It has been noticed that the increase of the electric current and reaction time led to an increase of the efficiency and energy consumption as found in some literature studies [8, 11].

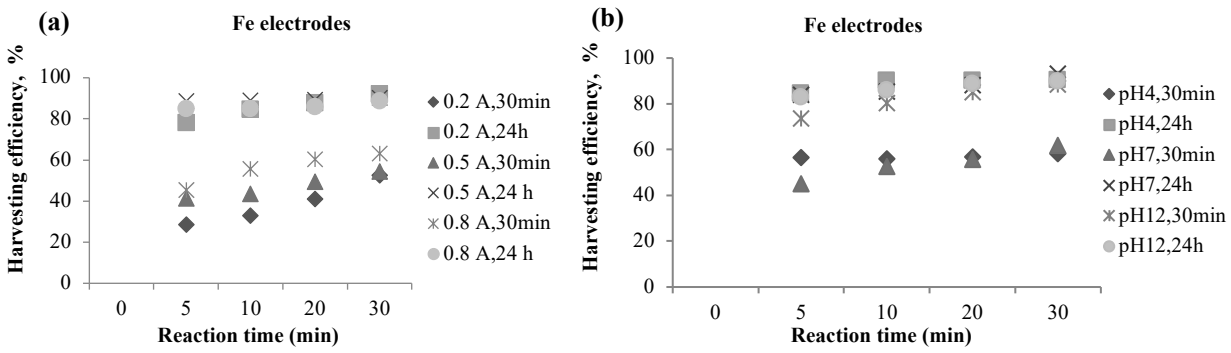


Figure 3. Harvesting efficiency of Chlorella Vulgaris sp with Fe electrodes in EC experiment, 30 min of reaction time and 24 h of settling time. (a): original pH and (b): adjusted pH values 4, 7 and 12.

3.3. The Effect of the pH

The pH of the medium plays a significant role in the performance of the EC experiments [12]. In this study it was noticed that the effect of the original pH compared to the current and time had a significant effect on the efficiency of harvesting. The harvesting efficiency was high with pH 4 value and reached 100% after 10 min with 30 min of settling time. For pH 7, the results were close to that of pH 4 values. The pH 12 value had also high efficiency values that reached to 100%. The conductivity and pH values were increased with the increasing applied current and run times in original pH values of the cultures with Fe electrodes. All the results of harvesting efficiencies for 24 h settling time were higher than harvesting efficiency values for 30 min (Fig. 3) which can be explained that the electrocoagulation experiment is more efficient with the increase of settling time.

3.4. Energy Consumption

Experimental results showed that high harvesting efficiencies could be obtained by applying a high electric current (0.8 A) and Fayad et al. [13] noticed the same result. For example, it was found that the harvesting efficiency reached to the highest value of 100% for *Chlorella Vulgaris sp.* at the electric currents of 0.5 A and 0.8 A after 30 min. Energy per microalgae mass (j/g) was calculated and it was found that increasing the applied current increased the consumed energy and microalgae mass and the highest values were obtained after 30 min of reaction time (Fig. 4). It was found that the consumed energy was lower when low electric current was applied and the same result was found by Vandamme et al. [14].

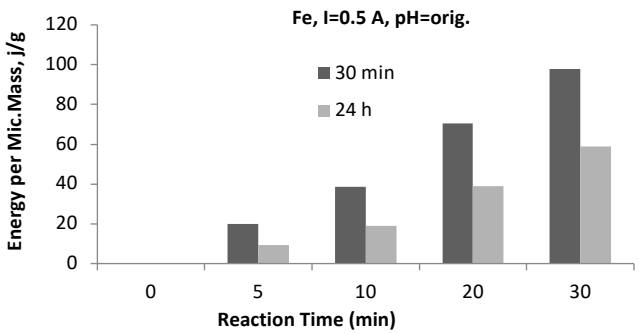


Figure 4. Consumed energy per obtained grams of microalgae (j/g) with Chlorella Vulgaris sp., I= 0.5 A, original pH, after 30 min of reaction time and 24 h of settling time.

4. CONCLUSION

In this study, EC experiments were performed with Chlorella Vulgaris sp. using Fe electrodes. Harvesting efficiency was investigated with different electric current, pH and settling time values. Experimental results showed that higher harvesting efficiencies were related with the higher applied electric currents. Also, the electrocoagulation experiment was more efficient with the increase of settling time. Additionally, higher harvesting efficiency values were obtained with adjusted pH values of 4 and 12. It can be concluded that the adjusted pH on electrocoagulation was a successful method on harvesting of microalgae and the harvesting efficiency reached to 100% with less energy consumption and costs. It is important to find a less energy consumed and high efficient harvesting method and EC harvesting method is very promising for the future use.

REFERENCES

[1]. Dominguez, H. (Ed.). (2013). Functional Ingredients from Algae for Foods and Nutraceuticals 1st Edition.
[2]. Kim, S. K. (Ed.). (2015). Handbook of Marine Microalgae. Amsterdam [u.a.] Elsevier AP 2015. https://doi.org/10.1016/c2013-0-19117-9.
[3]. Mathimani, T., & Mallick, N. (2020). A comprehensive review on harvesting of microalgae for biodiesel – Key challenges and future directions. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 91(August 2017), 1103–1120. https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.083.
[4]. Yin, Z., Zhu, L., Li, S., Hu, T., Chu, R., Mo, F., Hu, D., Liu, C., & Li, B. (2020). A comprehensive review on cultivation and harvesting of microalgae for biodiesel production: Environmental pollution control and future directions. Bioresource Technology, 301 (January), 122804. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122804
[5]. Mollah, M. Y. A., Morkovsky, P., Gomes, J. A. G., Kesmez, M., Parga, J., & Cocke, D. L. (2004). Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation. 114, 199–210. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2004.08.009.
[6]. Ru, I. T. K., Sung, Y. Y., Jusoh, M., Wahid, M. E. A., & Nagappan, T. (2020). Chlorella vulgaris: a perspective on its potential for combining high biomass with high value bioproducts. Applied Phycology, 1(1), 2–11. https://doi.org/10.1080/26388081.2020.1715256.
[7]. Gao, S., Yang, J., Tian, J., Ma, F., Tu, G., & Du, M. (2010). Electro-coagulation-flotation process for algae removal. Journal of Hazardous Materials, 177(1–3), 336–343. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.12.037
[8]. Golzary, A., Imanian, S., Abdoli, M. A., Khodadadi, A., & Karbassi, A. (2015). A cost- effective strategy for marine microalgae separation by electro-coagulation- flotation process aimed at bio-crude oil production: Optimization and evaluation study. Separation and Purification Technology, 147, 156–165. https://doi.org/10.1016/j.seppur.2015.04.011
[9]. Kumar, Mayank, Ponselvan, F. I. A., Malviya, J. R., Srivastava, V. C., & Mall, I. D. (2009). Treatment of bio-digester effluent by electrocoagulation using iron electrodes. Journal of Hazardous Materials, 165(1–3), 345–352. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.10.041
[10]. Martínez-Villafañe, J. F., Montero-Ocampo, C., & García-Lara, A. M. (2009). Energy and electrode consumption analysis of electrocoagulation for the removal of arsenic from underground water. Journal of Hazardous Materials, 172(2–3), 1617–1622. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.08.044.
[11]. Uduman, N., Bourniquel, V., Danquah, M. K., & Hoadley, A. F. A. (2011). A parametric study of electrocoagulation as a recovery process of marine microalgae for biodiesel production. Chemical Engineering Journal, 174(1), 249–257. https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.09.012.
[12]. Nanseu-Njiki, C. P., Tchamango, S. R., Ngom, P. C., Darchen, A., & Ngameni, E. (2009). Mercury(II) removal from water by electrocoagulation using aluminium and iron electrodes. Journal of Hazardous Materials, 168(2–3), 1430–1436. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.03.042.
[13]. Fayad, N., Yehya, T., Audonnet, F., Vial, C., & Al, A. (2017). Harvesting of microalgae Chlorella vulgaris using electro-coagulation- flocculation in the batch mode. Algal Research, 25, 1–11. https://doi.org/10.1016/j.algal.2017.03.015.
[14]. Vandamme, D., Pontes, S. C. V., Goiris, K., Foubert, I., Pinoy, L. J. J., & Muylaert, K. (2011). Evaluation of electro-coagulation-flocculation for harvesting marine and freshwater microalgae. Biotechnology and Bioengineering, 108(10), 2320–2329. https://doi.org/10.1002/bit.23199.

BİOSORPTİON OF REMAZOL BRİLLİANT BLUE R (RBBR) AND BASİC RED 18 (BR18) USİNG DEAD FUNGİ BİOMASS *AGARİCUS AUGUSTUS* AND *RUSSULA BREVİPES*

Ceren Arslantaş[1,*], Zelal Işık[2] , Sadin Özdemir[2] , Serpil Gonca[2] , Nadir Dizge[2]

[1], Gebze Teknik Üniversitesi, Biyomühendislik Bölümü 41400 , Gebze/KOCAELİ*
c.arslantas@gtu.edu.tr
[2] Mersin Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 33343 , Yenişehir/MERSİN
nadirdizge@gmail.com

Özet

Biyosorpsiyon, belirli biyokütlede doğal olarak meydana gelen ve kirleticileri hücresel yapısına pasif olarak konsantre etmesine ve bağlamasına izin veren fizyokimyasal bir süreç olarak tanımlanabilir. Bu çalışmada, Remazol Brillant Blue R (RBBR) ve Basic Red 18 boyalarının sulu bir çözeltiden ölü mantar biyokütlesi Aparicus Augustus ve Russulla Brevipes üzerinde biyosorpsiyon yoluyla uzaklaştırılması incelenmiştir. Remazol Brillant Blue R'nin Basic Red 18'den daha fazla adsorplanabilir olduğu bulunmuştur. Biyosorbentler, BR18 (%84) ve RBBR (%96) için yüksek giderim verimliliği göstermiştir. BR18 biyosorpsiyonu için optimum koşullar, orijinal pH'da, biyosorbent miktarı 1g/L'de, boya konsantrasyonu 10 mg/L'de ve reaksiyon süresi 60 dakika olarak bulunmuştur. RBBR biyosorpsiyonu için, optimum koşullar orijinal pH'da, biyosorbent miktarı 0,5 g/L'de, boya konsantrasyonu 10 ve 25 mg/L'de ve reaksiyon süresi 60 dakika olarak belirlenmiştir. Bu çalışmanın sonuçları, Aparicus Augustus ve Russulla Brevipes'in ölü biyokütlelerinin, sulu bir çözeltiden boyayı çıkarmak için bir biyosorbent olarak büyük bir potansiyele sahip olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Biyosorpsiyon, Fungal Biyokütle, Remazol Brillant Blue R, Basic Red 18, Aparicus Augustus, Russula Brevipes

Abstract

Biosorption can be defined a physiochemical process that occurs naturally in certain biomass which allows it to passively concentrate and bind contaminants onto its cellular structure. In this study, removal of a dyes, Remazol Brillant Blue R (RBBR) and Basic Red 18, from an aqueous solution by biosorption on the dead fungal biomass Aparicus Augustus and Russulla Brevipes were studied. Remazol Brillant Blue R was found to be more adsorbable than Basic Red 18. The biosorbents showed relatively high removal efficiencies for BR18 (84%) and RBBR (96%). Optimum conditions for BR18 biosorption were found at original pH, biosorbent amount at 1g/L, dye concentration at 10 mg/L and reaction time 60 minutes.For RBBR biosorption, optimum conditions were determined at the original pH, biosorbent amount at 0.5 g/L, dye concentration at 10 and 25 mg/L, and reaction time 60 minutes. Results of this study demonstrated that the dead biomasses of Aparicus Augustus and Russulla Brevipes has a great potential as a biosorbent to remove dye from an aqueous solution.

Keywords: Biosorption, Fungal Biomass, Remazol Brillant Blue R, Basic Red 18, Aparicus Augustus, Russula Brevipes

1. Giriş

Tekstil endüstrisi yıllardır ilerlemesine ve ana ekonomik endüstri olarak öne çıkmasına rağmen, toplumun ürünlerine yönelik artan talebini karşılama gerekliliği nedeniyle toksik atıklarıyla başa çıkma konusunda hala önemli bir problemdir (Dos Santos et al. , 2007) ve toksik bileşimi nedeniyle endüstriyel atıksular arasında en kirletici atık olarak sınıflandırılmaktadır (Sen ve diğerleri., 2003; Ben Mansour ve diğerleri, 2012). Bu atık su çevreyi, faunayı, florayı ve hatta insan sağlığını etkilemektedir (Kao ve diğerleri, 2001). Tekstil atıksuları, çeşitli toksik bileşiklerin kaynağıdır; ağır metal, ağartma reaktifleri, sterilizatör, boya vb. (Correia ve diğerleri 1994).

Boya, tekstil üretimindeki temel bileşendir ve endüstriyel atıksularan çıkarılması gereken en toksik ve sert elementlerden biridir (Zollinger ve diğerleri, 1987; Carneiro ve diğerleri, 2007). Bu tür boyalar insan sağlığı için tehdit oluşturur, oldukça toksik (Gita ve diğerleri, 2017; Rawat ve diğerleri, 2018), kanserojen, ksenobiyotik (Bhaskar ve diğerleri, 2003) ve genotoksiktir. Bu nedenle tekstil atıksularının deşarjından önce boyaların uzaklaştırılması bir zorunluluktur. Aktif çamur (Osman ve diğerleri, 2004), aktifleştirilmiş kil (Hsu ve diğerleri, 1997), kimyasal ve fiziksel işlemler (Collivignarelli ve diğerleri, 2019) ve oksitleyici ajanlar kullanılarak Gelişmiş Oksidasyon Prosesleri (AOP), (Shiavello ve diğerleri, 1987) ve fotokatalitik oksidasyon (Pelin ve diğerleri, 2020) prosesleri tekstil atıksularının arıtılmasında kullanılan başlıca proseslerdir.

Tekstil endüstrisinden kaynaklanan atıksuların arıtılmasında biyosorpsiyon, yeşil kimya kavramına değer veren en uygun süreç gibi görünmektedir (Robinson ve diğerleri, 2001). Biyosorpsiyon sadece boya emilimi için değil, aynı zamanda çeşitli organik kirleticiler, ağır metaller için de etkili bir yöntemdir (Ju ve diğerleri, 1997; Walker ve diğerleri, 2000; Schiewer ve diğerleri, 2000). Bu amaçla, bakteri, alg ve mantar gibi çeşitli mikroorganizma türleri, genel olarak endüstrinin atık sularından (Ju ve diğerleri, 1997; Fu ve diğerleri, 2000) ve özellikle tekstil atık sularından (Jamee ve diğerleri) gelen sentetik boyaların renklerinin giderilmesi için kullanılabilmektedir(Kumari ve diğerleri, 2007; Geethakarthi ve diğerleri, 2011; Pankaj ve diğerleri, 2011).

Bu çalışmada, tekstil atıklarından Basic Red 18 (BR18) ve Remazol Brilliant Blue R (RBBR) biyosorpsiyonunun etkinliğini değerlendirmek için üç mantar (*Russula brevipes, Agaricus augustus ve Fomes fomentarius)* kullanılmıştır. Bu boyalar tekstil üretiminde en yaygın olarak kullanılan endüstriyel toksik boyalardır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyaller

Basic Red 18 (BR18) ve Remazol Brillant Blue R (RBBR), Sigma–Aldrich'ten elde edilmiştir. *Rus brevipes (Rb), Agaricus augustus (Aa)* ve *Fomes fomentarius (Ff),* Mersin Üniversitesi, Türkiye Ç Biyoteknoloji Laboratuvarı'ndan temin edilmiştir.

2.2. Deneysel Aşama

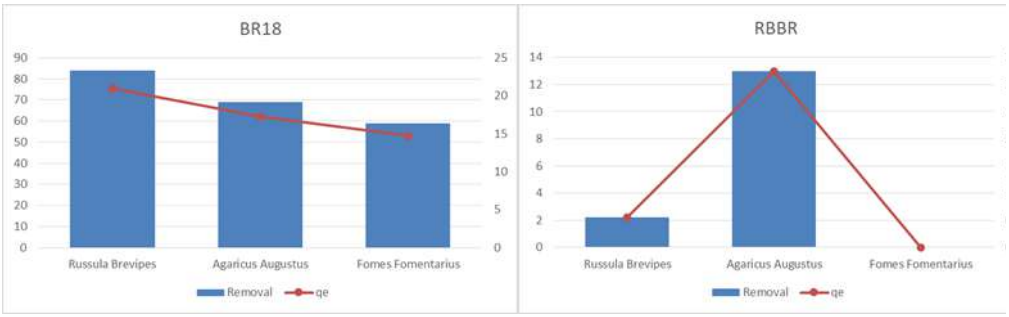
Boyaların biyosorpsiyonu için biyosorbent olarak ölü mantar biyokütlesi kullanılmıştır. Başlangıçta biyosorbent *Rb, Aa* ve *Ff* ve iki boya BR18 ve RBBR kullanılarak biyosorbent seçim çalışmaları yapılm Deneyler, 50 mL çözelti içeren 100 mL'lik erlenler kullanılarak yapılmış ve boya çözeltilerine aynı dozl (1g/L) biyosorbentler eklenmiştir. Reaksiyon, oda sıcaklığında 60 dakika boyunca 150 rpm'de çalkalan gerçekleştirilmiştir. İkinci aşamada, başlangıç pH etkisi (2 ila 10), 25 mg/L'lik başlangıç boya konsantrasy kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, en iyi biyosorbent dozajının etkisi 0,50 ile 2,00 g aras değerlendirilmiştir. Son olarak, 25, 30 ve 35°C'lik farklı sıcaklıklarda sıcaklığın etkileri incelenmiştir.

2.3. Biyosorbentin Karakterizasyonu

Biyosorbentlerin yüzey morfolojisini analiz etmek için Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) kullanılmı yüzeyde bulunan elementlerin karakterizasyonu Enerji Dağılım Spektrometresi (EDS) ile eş zamanlı ol analiz edilmiştir.

3.Bulgular ve Tartışma

3.1 Biyosorbent Seçim Çalışmaları

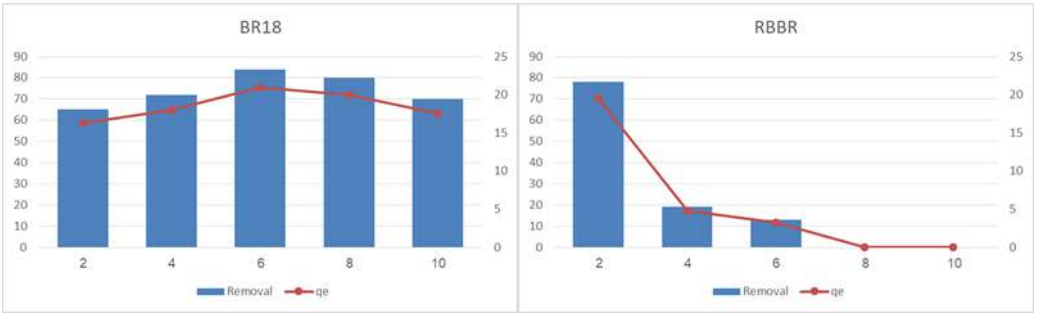


Şekil 1. *Rb, Aa, Ff* biyokütleleri için (A) BR18 (B) RBBR boyaları için uzaklaştırma verimlilikler biyosorpsiyon kapasiteleri (Deney Koşulları: pH 6, başlangıç konsantrasyonu 25 mg/L, biyosorbent mi 1g/L ve reaksiyon süresi 60 dakika).

Biyosorbent seçim çalışmalarında BR18 için, elde edilen boya giderim verimleri *Rb*, *Aa* ve *Ff* için sıra %84, %69 ve %59 olarak belirlenmiştir. (Şekil 1. A). *Aa* biyokütlesi biyosorbent olarak kullanıldığı RBBR için maksimum giderim verimliliği ve biyosorpsiyon kapasitesi elde edilmiştir(Şekil 1.B). Çalışm sonucunda, BR18 biyosorpsiyonu için *Rb*, RBBR biyosorpsiyonu için *Aa* kullanılarak sonraki aşam geçilmiştir.

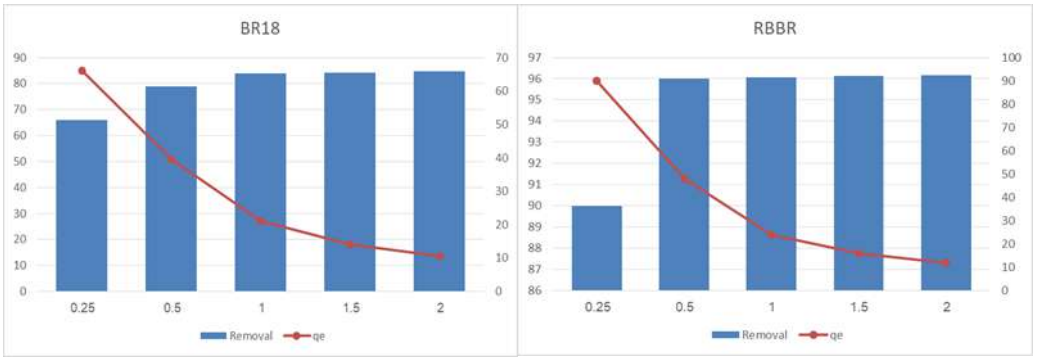
3.2. pH'ın Optimizasyonu

Çalışmanın bu aşamasında pH'ın biyosorpsiyon kapasitesi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. BR18 ve RBBR için pH'ın biyosorpsiyon kapasitesi ve giderim verimliliği üzerindeki etkileri sırasıyla Şekil 2A ve Şekil 2B'de gösterilmektedir.



Şekil 2. (A) BR18 (B) RBBR boyaları için giderim verimleri ve biyosorpsiyon kapasiteleri üzerinde pH'ın etkileri (Deney koşulları: Başlangıç konsantrasyonu 25 mg/L, biyosorbent miktarı 1g/L ve reaksiyon süresi 60 dakika).

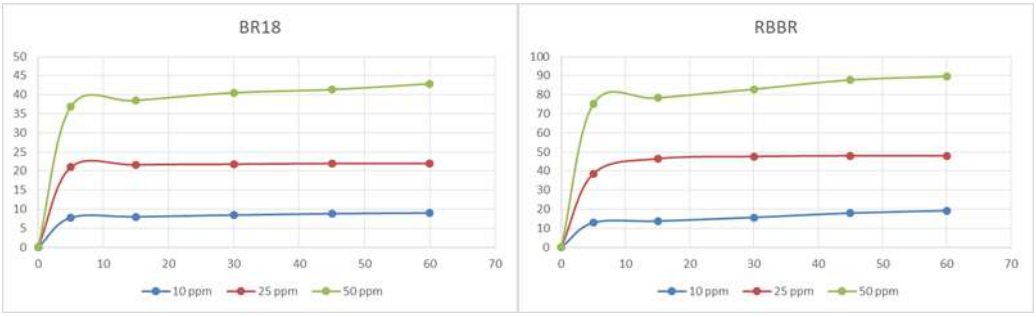
3.3. Biyosorbent Miktarı



Şekil 3. Biyosorbent dozunun (A) BR18 (B) RBBR boyalarının giderim verimleri ve biyosorpsiyon kapasiteleri üzerindeki etkileri (Deneysel koşulları: Başlangıç konsantrasyonu 25 mg/L, BR18 için pH 6 ve RBBR için 2 ve reaksiyon süresi 60 dakika).

3.4.. Başlangıç Konsantrasyonunun ve Reaksiyon Süresinin Etkileri

Her iki biyosorbent için de ilk 5 dakikadan sonra boya giderim verimleri keskin bir şekilde artmıştır. 10, 25 ve 50 mg/L boya içeren çözeltilerde giderim verimleri, BR18 için 5 dakika sonra sırasıyla %78, %84 ve %74'e ulaşmıştır. Aynı başlangıç konsantrasyonlarında 5 dakika sonra RBBR için, giderim verimleri 5 dakika sonra sırasıyla %65, %77 ve %75 olarak elde edilmiştir.



Şekil 4. (A) BR18 (biyosorbent miktarı 1g/L ve pH 6) (B) RBBR (biyosorbent miktarı 0,5g/L ve pH 2) için ilk konsantrasyonun ve reaksiyon süresinin giderim verimleri ve biyosorpsiyon kapasiteleri üzerindeki etkileri

4. Kaynaklar

Bhaskar M, Gnanamani A, Ganeshjeevan RJ, Chandrasekar R, Sadulla S, Radhakrishnan G. Analyses of carcinogenic aromatic amines released from harmful azo colorants byStreptomyces sp. SS07. J Chromatogr 2003; (1018)117–123

Ben Mansour H, Houas I, Montassar F, Ghedira K, Barillier D, Mosrati R, Chekir- Ghedira L. Alteration of in vitro and acute in vivo toxicity of textile dyeing wastewater after chemical and biological remediation. Environmental science and pollution research, 2012; (19) 2634-2643.

Carneiro PA, Nogueira, RFP, Zanoni, MVB. Homogeneous photodegradation of C.I.Reactive Blue 4 using a photo-Fenton process under artificial and solar irradiation. Dyes and Pigments 2007;(74)127-132.

Collivignarelli M.C, Abbà A, Miino M.C, Damiani S. Treatments for color removal from wastewater: State of the art, J. Environ. Manage. 2019; (36) 727-745.

Correia VM, Stephenson T, Judd SJ. Characterization of textile wastewaters: a review. Environ Technol 1994; (15) 917–919.

Dos Santos AB, Cervantes FJ, van Lier JB. Review paper on current technologies for decolourisation of textile wastewaters: Perspectives for anaerobic biotechnology. Bioresource Technology 2007; 98 (12) 2369-2385.

Fu Y, Viraraghavan T. Removal of dye from an aqueoussolution by the fungus Aspergillus niger. Water Quality Research Journal Canada 2000; 35, 95–111.

Geethakarthi A, Phanikumar B.R. Industrial sludge based adsorbents/ industrial by-products in the removal of reactive dyes- A review. Int J. Water Res. Environ. Eng. 2011; () 1-9.

Gita S, Hussan A,. Choudhury T.G. Impact of textile dyes waste on aquatic environmentsand its treatment, Environ. Ecol.2017; (35) 2349–2353.

Hsu Y.C, Chiang C.C, Yu M.F. Adsorption Behavior of Basic Dyes on Activated Clay, Separation Science and Technology,1997; (15)2513-2534.

Jamee R , Siddique R. Biodegradation of synthetic dyes of textile effluent by microorganisms: An environmentally and economically sustainable approach, Eur. J. Microbiol. Immunol. 2019. (9) 114-118.

Ju Y.H, Chen T.C, Liu J.C. A study on the biosorption of lindane. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 1997; (9)187–196.

Kao CM, Chou MS, Fang WL, Liu BW, Huang BR. Regulating colored textile wastewater by 3/31 wavelength ADMI methods in Taiwan. Chemosphere 2001; (44)1055–1063

Kumari K, Abraham T.E. Biosorption of anionic textile dyes by non-viable biomass of fungi and yeast. Bioresource Technology 2007; (98) 1704-1710.Walker G.M., Weatherley L.R. Biodegradation and biosorption of acid anthraquinone dye. Environmental Pollution 2000; (108) 219– 223.

Osman G, Aysenur K, Fatih M, Burhan A, sorption of basic dyes from aqeuous solution by activated sludge, J. Hardouzous materials 2004; 83-188,.

Pelin G, Zeynep B, Yasin O, Serdar Y. H. Cengiz Y, Nadir D. Synthesis and characterization of bismuth oxide ternary compounds for photocatalytic decolorization of BR 18, Materials Letters 2020; (275) 128086.

Pankaj S, Harleen K. A review on applicability of naturally available adsorbents for the removal of hazardous dyes from aqueous waste. Environ Monit Assess 2011; (183) 151-195.

Rawat D, Sharma R.S, Karmakar S, Arora L.S, Mishra V, Ecotoxic potential of a presumably non-toxic azo dye, Ecotoxicol. Environ. Saf. 2018; (148) 528–537.

Robinson T, McMullan G, Marchant R, Nigam P. Remediation of dyes in textile effluent: a critical review on current treatment technologies, 2001.

Sen S, Demirer GN. Anaerobic treatment of real textile wastewater with a fluidized bed reactor. Water Research 2003; 37 (8) 1868-1878.

Schiewer S, Wong M.H. 2000. Ionic strength effects in biosorption of metals by marine algae. Chemosphere 2000; (1–2), 271–282.

Shiavello, M. Photocatalysis and Environment: Trends and Applications, NATO ASI Series G, 1987. 238. Kluwer Academic Publishers, London.

Zollinger H. Synthesis, Properties of Organic Dyes and Pigments. In: Color Chemistry.New York, USA: VCH Publishers 1987; 92-102.

GREEN SYNTHESİS OF IRON NANOPARTİCLES USİNG *CENTAUREA SOLSTİTİALİS* AND DYE REMOVE ACTİVİTY

Ceren Arslantaş[1*],Hüdaverdi Arslan[2], Zelal Işık[2], Sadin Özdemir[2], Serpil Gonca[2], Nadir Dizge[2]

[1] Gebze Teknik Üniversitesi, Biyomühendislik Bölümü 41400 , Gebze/KOCAELİ*
[2] Mersin Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 33343 , Yenişehir/MERSİN

Özet

Bu çalışmada, *Centaurea solstitialis* yaprağı (*Cs*) indirgeyici ve stabilizatör olarak kullanılarak demir nanoparçacıklar üretilmiştir. *Cs* ve *Cs* kaplı Fe Nps (*Cs*-FeNps) karakterize edilmiştir. Elde edilen nanopartiküller daha sonra Basic Red 18 (BR18) ve Reactive Red 180 (RR180) boyaları içeren sulu çözeltilerin renklerinin giderilmesi için Fenton benzeri bir katalizör olarak kullanılmıştır. Sulu solüsyondaki boya konsantrasyonları, ultraviyole-görünür (UV-vis) spektroskopisi kullanılarak izlenmiştir. Boyaların uzaklaştırılması, (BR18 ve RR180) 100 mg/L için tamamen gerçekleştirilmiştir. Boyaların tamamen uzaklaştırılması, BR18 için pH 2 değerinde ve 250 mg/L dozunda 60 dakika sonra ve RR180 için pH 3 değerinde ve 250 mg/L dozunda 60 dakika sonra meydana gelmiştir. Kimyasal prosesler ile üretilen demir nanoparçacıkları ile karşılaştırıldığında, yeşil sentez nanoparçacıkları, hem kinetik hem de yüzde uzaklaştırma açısından Fenton benzeri bir katalizör olarak daha etkili yetenek göstermiştir.

Abstract

In this study, iron nanoparticles were produced by using *Centaurea solstitialis* leaf (*Cs*) as a reducer and stabilizer. *Cs* and *Cs* coated Fe Nps (*Cs*-FeNps) were characterized. The obtained nanoparticles were then utilized as a Fenton-like catalyst for decolorization of aqueous solutions containing Basic Red 18 (BR18) and Reactive Red 180 (RR180) dyes. The concentrations of dyes in aqueous solution were monitored using ultraviolet–visible (UV–vis) spectroscopy. The remove of dyes (BR18 and RR180) was completely realized for 25 mg/L. The complete remove of dyes occurred for BR18 at the pH 2 value and a dose of 250 mg/L after 60 min and for the RR180 at the pH 3 value and a dose of 250 mg/L after 60 min. Compared with iron nanoparticles produced by chemical process, green synthesis nanoparticles demonstrated more effective capability as a Fenton-like catalyst, both in terms of kinetics and percentage removal.

Anahtar Kelimeler: Fenton Oksidasyon, Remazol Brillant Blue R, Basic Red 18
Keywords: Fenton Oxidation, Remazol Brillant Blue R, Basic Red 18

1. Giriş

Türkiye bitki çeşitliliği ve yaklaşık 12000 damarlı bitkiden oluşan florası (Wagenitz, 1975; Alper vd. 2021) ve birçok bitkinin kullanımı açısından önemi ile floristik açıdan dünyanın en zengin ülkelerinden biridir. Sarı yıldız devedikeni veya goblin devedikeni olarak da bilinen *Centaurea solstitialis*, Asteraceae familyasından gelir. *Centaurea solstitialis*, Akdeniz bölgesine özgü olmasına rağmen altı kıtaya yayılmıştır (Hierro ve diğerleri 2009; Dukes ve diğerleri 2011). Sarı veya pembe çiçeklerle 60 cm boylanabilen tek yıllık otsu bir bitkidir. Bu bağlamda, *Centaurea solstitialis*, tüm dünyada bol miktarda bulunması ve ucuz maliyet etkinliği nedeniyle yeşil sentez üretimi için önde gelen bir alternatif hammadde olabilir.

Nanoteknoloji, atomik ve moleküler düzeyde malzemelerin geliştirilmesini, üretilmesini ve karakterizasyonunu amaçlayan bir bilim dalıdır (Karaman ve diğerleri. 2021). Son yıllarda hayatın her alanında faaliyet gösteren nanoteknolojik çalışmalar ile nanoyapılara ilgi artmaya başlamış ve bu yapılar büyük malzeme bileşenlerine ve sistemlerine yerleştirilerek yeni ürün ve malzemeler geliştirilmiştir. Metal oksitler fizik, kimya, malzeme bilimi gibi birçok alanda önemli bir yere sahiptir (Taherkhani vd. 2014; Alavi-Tabari vd. 2018). Demir oksit nanoparçacıkları (FeONP'ler) farklı polimorf (α-Fe_2O_3, γ-Fe_2O_3, Fe_3O_4 ve FeO) yapılarına sahiptir (Kumar ve ark. 2020). Diğer tüm metal nanopartiküller arasında, FeONP malzemeleri fotokatalistler, sensörler, ince seramikler, bitki büyüme düzenleyicileri, su arıtma, tıbbi uygulamalar, veri depolama malzemeleri, pigmentler, antikorozif maddeler ve fotoelektrokimyasal hücreler gibi alanlarda geniş çapta çalışılmıştır (Rostamizadeh et al. .2020).

Fenton oksidasyon prosesi, kirleticileri veya atık suyu oksitlemek için katalizör olarak demirli bileşiklerin (tipik olarak demir(II) sülfat, $FeSO_4$) ve hidrojen peroksitin (H_2O_2) kullanıldığı prosestir. Proses, organik bileşikleri yok etmek için kullanılabilir. Demir(II), hidrojen peroksit tarafından demir(III)'e oksitlenir ve reaksiyonda bir hidroksil radikali ve bir hidroksit iyonu oluşturur.

Bu çalışmada, *Centaurea solstitialis* (*Cs*) yaprak ekstresi kullanılarak demir oksit nanoparçacıklarının sentezlenmesi amaçlanmıştır. Farklı bitki ekstraktlarından sentezlenen nanopartiküller karakterize edilmiş ve RR180 ve BR18 boyalarının giderimi için Fenton reaksiyonunda katalizör olarak kullanılmıştır. Ayrıca sentezlenen nanopartiküllerin antibakteriyel aktivitesi de incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Malzemeler ve Kimyasallar

Kullanılan sentetik boyalar (Basic Red 18, Reactive Red 180), Demir (III) klorür ($FeCl_3$), Hidroklorik asit (HCl), Sodyum hidroksit (NaOH) ve Hidrojen peroksit (H_2O_2) Sigma Aldrich'ten temin edilmiştir. Demir kaynağı olarak $FeCl_3$ kullanılmıştır. *Cs*, Mersin, Türkiye'den toplanmıştır. *Cs* birkaç kez safsu ile yıkanmış ve öğütüldükten sonra laboratuvarda kullanılıncaya kadar oda sıcaklığında saklanmıştır.

2.2. Demir Oksit Nanopartiküllerin Nanopartiküllerin Sentezi

Cs ekstraktını hazırlamak için 250 mL saf suya 1 g *Cs* ilave edilmiş ve 4 saat 70°C'de çalkalanmıştır. Bir sonraki adım olarak, özüt bir huniden süzülerek nihai özü elde edilmiş ve çalışmaya devam etmek için kullanılmıştır.

2.3. Demir Oksit Nanopartiküllerin Karakterizasyonu

Fe-NP'lerin (SEM, Zeiss Supra 55, Almanya) yüzey morfolojisini gözlemlemek için taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve nanopartiküllerin yüzeylerinde bulunan elementlerin bileşimini ölçmek için enerji dağıtıcı X-ışını spektroskopisi (EDX) kullanılmıştır.

2.4. Fenton Deneyleri

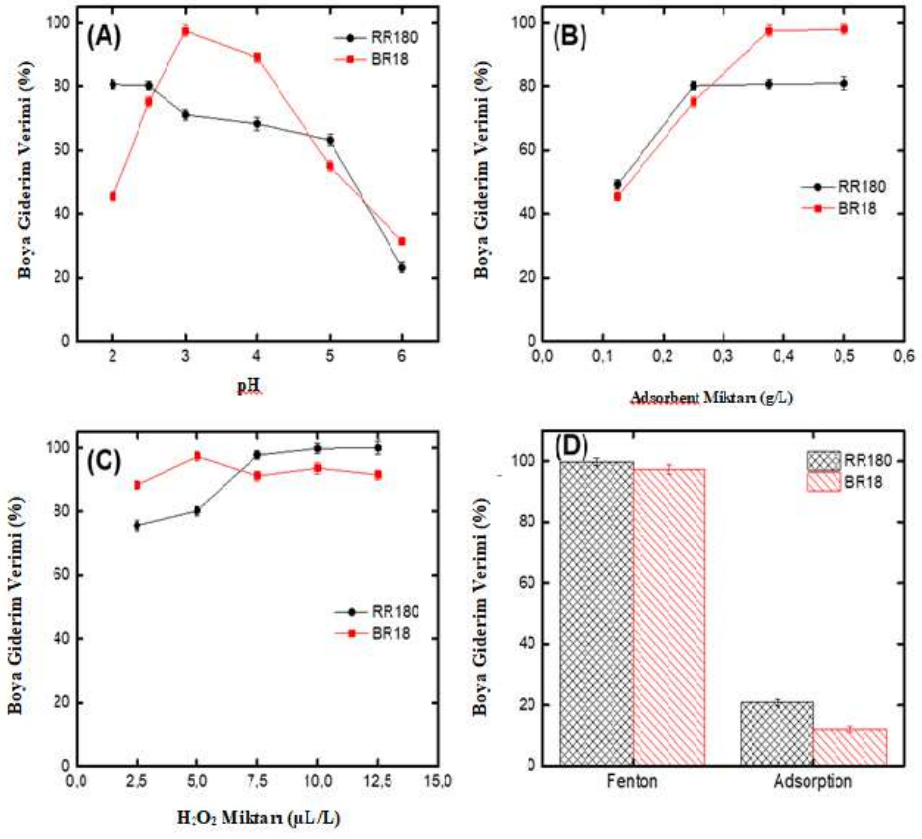
Fe-NP'lerin Fenton benzeri deneyleri, 50 mL boya çözeltisi içeren erlenlerde gerçekleştirilmiştir. Tüm deneyler, 25±1°C'de 60 dakika boyunca sabit çalkalama (150rpm) altında gerçekleştirilmiştir. Daha sonra boya çözeltileri santrifüjlenmiş (6000 rpm, 5dk.) ve çözeltideki boya konsantrasyonu bir UV-vis spektrofotometre kullanılarak ölçülmüştür. pH, nanopartikül konsantrasyonu ve H_2O_2 konsantrasyonu parametrelerinin boyaların giderim verimi üzerine etkileri araştırılmıştır.

2.5. Antimikrobiyal Etkinlik

Yeşil sentezlenmiş Fe-NP'lerin antimikrobiyal özelliklerini test etmek için mikro seyreltme deneyi kullanıldı. Test için Gr +, Gr- suşlar ve mantar suşları kullanılmıştır. Yeşil sentezlenmiş nanopartikül çözeltileri ile analizler yapılmış ve mikrobiyal büyümeyi engelleyen en düşük konsantrasyon olarak tanımlanan minimum inhibisyon konsantrasyon (MIC) değerleri ile antimikrobiyal aktivite değerlendirilmiştir

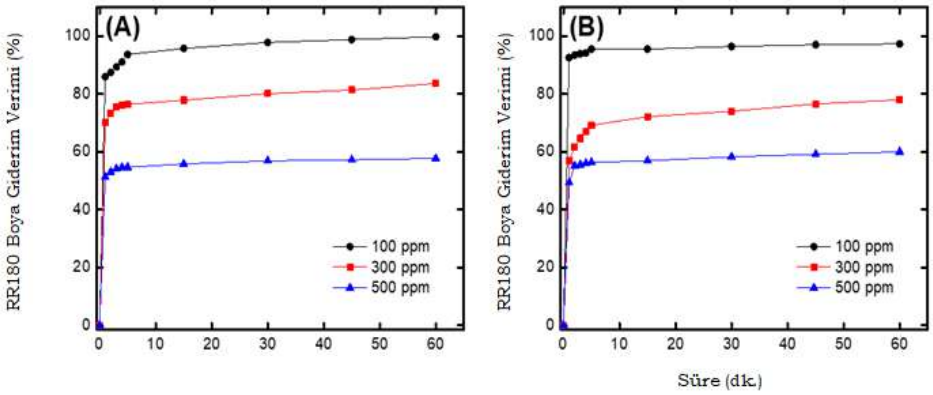
3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Fenton Deneyleri



Şekil 1. Sudan üretilen demir oksit nanopartiküller kullanılarak Fenton deneyleri için parametrelerin optimizasyonu (Deneysel koşullar: (A) Boya konsantrasyonu: 100 ppm; katalizör miktarı: 0.25 g/L; H_2O_2 miktarı: 5 µL/L; zaman : 60 dakika (B) Boya konsantrasyonu: 100 ppm; çözelti pH: RR180 için 2.5 ve BR18 için 3.0; H_2O_2 miktarı: 5 µL/L; süre: 60 dakika (C) Boya konsantrasyonu: 100 ppm; katalizör miktarı : RR180

için 0,25 g/L ve BR18 için 0,125 g/L solüsyon pH: RR180 için 2,5 ve BR18 için 3,0 Süre: 60 dakika (D) Boya konsantrasyonu: 100 ppm katalizör miktarı: RR180 için 0,25 g/L ve BR18 için 0.125 g/L; çözelti pH: RR180 için 2.5 ve BR18 için 3.0; süre: 60 dak.



Şekil 2. Sudan elde edilen demir oksit nanopartiküller kullanılarak yapılan Fenton deneylerinde boya konsantrasyonunun etkisi (Deneysel koşullar: Katalizör miktarı: 0.25 g/L; çözelti pH: RR180 için 2.5 ve BR18 için 3.0; H_2O_2 miktarı: 10 µL/ RR180 için L ve BR18 için 5 µL/L; süre: 60 dk.

3.5. Antimikrobiyal Etkinlik

Tablo 1, *Cs*'nin su ve metanol kullanılarak elde edilen özütünden yeşil sentezlenmiş demir nanoparçacıkların MIC değerlerini göstermektedir. Tablo 1'de görüldüğü gibi yeşil sentezlenmiş demir nanoparçacıkların antimikrobiyal etkisi oldukça iyi gözlemlenmiştir. Bu sonuçlara göre *E. hirae* ve *S. aureus* bitkinin su kullanılarak elde edilen ekstraktından üretilen demir nanopartiküllerin yeşil sentezlenmesine karşı en duyarlı bakterilerdir.

Tablo 1. Test mikroorganizmalarının minimum inhibisyon konsantrasyonu (MIC)

	MICs(mg/L)	
Microorganisms	**1***	**2****
E. coli	256	128
P. aeruginosa	256	128
L. pneumophila subsp.*pneumophila*	256	256
E. hirae	128	64
E. fecalis	128	128
S. aureus	128	64
C. parapisilosis	256	128
C. tropicalis	128	128

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, *Centaurea solstitialis* yaprağı (*Cs*) indirgeyici ve stabilizatör olarak kullanılarak demir nanoparçacıklar üretilmiştir. *Cs* ve *Cs* kaplı Fe Nps (*Cs*-FeNps) karakterize edilmiştir. Elde edilen nanopartiküller daha sonra BR18 ve RR180 boyaları içeren sulu çözeltilerin renklerinin giderilmesi için Fenton benzeri bir katalizör olarak kullanılmıştır. Boyaların uzaklaştırılması, (BR18 ve RR180) 100 mg/L için tamamen gerçekleştirilmiştir. Boyaların tamamen uzaklaştırılması, BR18 için pH 2 değerinde ve 250 mg/L dozunda 60 dakika sonra ve RR180 için pH 3 değerinde ve 250 mg/L dozunda 60 dakika sonra meydana gelmiştir. Kimyasal prosesler ile üretilen demir nanoparçacıkları ile karşılaştırıldığında, yeşil sentez nanoparçacıkları, hem kinetik hem de yüzde uzaklaştırma açısından Fenton benzeri bir katalizör olarak daha etkili yetenek göstermiştir Yeşil sentezlenmiş Fe-nanopartiküller ayrıca Gram-negatif Gram-pozitif bakterilerin ve mikro mantarların büyümesini engelleyen iyi antibakteriyel aktivite sergilemiştir. Bu araştırmadan elde edilen sonuçların, antimikrobiyal çalışmalar için faydalı olacağı öngörülmektedir.

5. Kaynaklar

Alper M, Özay C, Güneş H. Mammadov R. Assessment of Antioxidant and Cytotoxic Activities and Identification of Phenolic Compounds of Centaurea solstitialis and Urospermum picroides from Turkey. Brazilian Archives of Biology and Technology. 2021; Vol.64: e21190530. doi.org/10.1590/1678-4324-2021190530.

A. Taherkhani, T. Jamali, H. Hadadzadeh, H. Karimi-Maleh, H. Beitollahi, M. Taghavi, K. Fatemeh. ZnO nanoparticle-modified ionic liquid-carbon paste electrode for voltammetric determination of folic acid in food and pharmaceutical samples. Ionics, 20 (2014), pp. 421-429

C. Karaman, O. Karaman, N. Atar, M.L. Yola. Tailoring of cobalt phosphide anchored nitrogen and sulfur co-doped three dimensional graphene hybrid: boosted electrocatalytic performance towards hydrogen evolution reaction. Electrochim. Acta, 380 (2021), pp. 138-262

Dukes JS, Chiariello NR, Loarie SR, Field CB (2011) Strong response of an invasive plant species (Centaurea solstitialis L.) to global environmental changes. Ecol Appl. https://doi.org/10.1890/11-0111.1

Hierro JL, Eren Ö, Khetsuriani L et al (2009) Germination responses of an invasive species in native and non-native ranges. Oikos. https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2008.17283.x

Kumar R. Chavan, Somnath D. Bhinge, Mangesh A. Bhutkar, Dheeraj S. Randive, Ganesh H. Wadkar , Sachin S. Todkar, Mukund N. Urade, Characterization, antioxidant, antimicrobial and cytotoxic activities of green synthesized silver and iron nanoparticles using alcoholic Blumea eriantha DC plant extract Materials Today Communications, 24 2020, 101320

Rostamizadeh, K., Shajari, M., Shapourid, R., Taghavi, L., Eco-friendly curcumin-loaded nanostructured lipid carrier as an efficient antibacterial for hospital wastewater treatment, Environmental Technology & Innovation, Volume 18, May 2020, 100703

S.A.R. Alavi-Tabari, M.A. Khalilzadeh, H. Karimi-Maleh. Simultaneous determination of doxorubicin and dasatinib as two breast anticancer drugs uses an amplified sensor with ionic liquid and ZnO nanoparticle. J. Electroanal. Chem., 811 (2018), pp. 84-88

Wagenitz G (1975). Centaurea solstitialis L., Şu eserde: Davis PH (ed.), Flora of Turkey and the East Aegean Islands, Edinburgh University Press, Edinburgh, 5: 542.

ATIKSU GERİ KAZANIMININ PİŞİRİCİ CİHAZ ÜRETİMİ YAPAN BİR ENDÜSTRİNİN SU AYAK İZİNE ETKİSİ

İpek Ceren Uçan*, Emine Çokgör, Fatoş Germirli Babuna, Güçlü İnsel

İstanbul Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 34469, Sarıyer/İstanbul ipekcerenn@gmail.com

Özet

İklim krizi, plastik kirliliği gibi su kıtlığı da evrensel bir sorundur. Yaşamın temel gerekliliklerinden biri sudur. Canlıların yaşamlarını sürdürmesi, üretimin devam etmesi ve doğal döngülerin kırılmaması için kullanılan suyun sürdürülebilir ilkeler çerçevesinde kaynaklara geri dönmesi sağlanmalı ve bu politika ile doğal koşullara uyum sağlamaya devam edilmelidir.

Suların deşarj edildiği nehirler, açık su kaynakları ise özümseme kapasitelerini aşan sınır değerlerine yaklaşarak kirlenmeye devam ediyor. Bu nedenle kullanılan her damla suyun nasıl kullanıldığı ve yolculuğunu nerede tamamladığı önem arz ediyor. Kullandığımız ve görülen su kadar aslında ham madde, üretim ve tedarikte de görünmeyen su kullanımı bulunmaktadır. Sanal su olarak adlandırılan su; doğrudan su kullanımı ve tükettiğimiz mal ve verilen hizmetlerin sağlanması, işlenmesi için gereken suyu temsil eder. Herhangi bir ürünün veya malzemenin üretiminde kullanılan ama ürün veya malzeme kapsamında görülmeyen veya fark edilemeyen gizli su kullanımı bulunmaktadır. Bu kavram dahilinde bir bölgede üretilen veya verilen hizmet başka bölgelere transfer edilerek, suyun sanal olarak taşınması sağlanır. Bir ürünün su kapsamını düşünürken doğrudan ve dolaylı suyun tamamı hesaplamaya katılmalıdır.

Su kullanımının ürün, malzeme, bölge veya kişi bazında hesaplanarak birim başına düşen su miktarına "Su Ayak İzi" denir. Su ayak izi kısaca su tüketiminin ve su kirliliğinin hacimsel bir ölçüsüdür. Su ayak izi hesaplaması süreçler, ürünler, şirketler, endüstri sektörleri, bireysel tüketiciler, tüketici grupları, coğrafi olarak belirlenmiş alanlar için gerçekleştirilebilir. Su ayak izi hesaplamasında 3 ana bölüm vardır. Bunlar yeşil, mavi ve gri su ayak izidir. Yeşil su ayak izi, sistem sürecinde tüketilen yağmur suyu hacmidir. Mavi su ayak izi, yer altı veya yüzey suyu sisteminden çekilen suyun hacmini bu hacimden sisteme geri dönen suyun hacmini çıkararak ölçer. Bu nedenle, sistem süreci sırasında buharlaşan su akışının, bir ürüne dahil edilen suyun ve başka bir havzada bırakılan suyun toplamını ifade eder. Gri su ayak izi, proses adımıyla ilişkilendirilebilecek tatlı su kirliliği derecesinin bir göstergesidir. Kirletici yükünü doğal arka plan konsantrasyonlarına ve mevcut ortam suyu kalite standartlarına göre asimile etmek için gereken tatlı su hacmi olarak tanımlanır.

Bu çalışmada pişirici cihaz üretimi yapan bir endüstrinin atıksu arıtma sisteminde iki farklı yıl için su ayak izi ürün başına hesaplanmıştır. İki yıl arasındaki en büyük fark, endüstrinin atıksu arıtma sisteminde su geri kazanımı gerçekleştirilmesi olmuştur. Çalışmanın ana hedefi, sistem kapsamında su ayak izi hesaplaması ve geri kazanım yapılan bir endüstride bu uygulamanın sisteme etkisini ölçmektir. Çalışma kapsamında sistemde kullanılan doğrudan su kaynakları ve dolaylı su kaynakları dikkate alınmıştır. Kullanılmak üzere kaynaklardan çekilen su kadar dolaylı olarak elektrik ve kimyasallar üzerinden harcanan su da hesaplamaya dahil edilmiştir. Çalışma, aslında bir endüstrinin atıksu arıtma tesisi için tüm detaylarıyla her alandaki su kullanımının hesaplamasını ve değerlendirmesini içermektedir.

IMPACT OF TETRACYCLINE ON BIOLOGICAL WASTEWATER SYSTEMS USING TWO DIFFERENT TYPES OF RESPIROMETRY

Nooshin Entezari Heravi[1*], Diana Tran[2*], Daniel Basiry[3*], Krista Michelle Kaster[4*], Ilke Pala-Ozkok[5*]

[1]Faculty of Science and Technology, Institute of Chemistry, Bioscience and Environmental Engineering, University of Stavanger, Stavanger, Norway nooshin.entezariheravi@uis.no

Abstract

Antibiotic substances are the most powerful tools available for the treatment of infectious diseases by inhibition/prevention of bacterial cell growth. In addition to being used for the treatment of infections in human patients and farm animals, antibiotics are also routinely given to healthy farm animals to promote growth and proactively prevent disease outbreaks. However, wide, and irresponsible use of antibiotics promoted the development of antibiotic resistance, which is the ability of bacteria to overcome and resist exposure to antibiotic substances. Therefore, there is an urgent need to control the antibiotic pollution in the wastewaters and in the wastewater treatment plants, which serve as the final barrier before the antibiotic resistant determinants are discharged into the receiving environments. The study aimed to provide insights into the behaviour and effects of tetracycline, one of the frequently discovered antibiotics in wastewaters and in the activated sludge treatment systems. In order to determine the inhibitory concentration for tetracycline on the activated sludge biomass static respirometry has been run, Test results revealed that the biomass was resistant to up to 20 mg/L tetracycline addition. The result obtained from static respirometry was then used to determine the oxygen utilization rate profiles of the activated sludge biomass. It could be seen that the biomass was slightly affected from the addition of 20 mg/L tetracycline. The maximum growth rate was not affected however, qualitative analysis showed that the endogenous decay and hydrolysis were impacted by the addition of tetracycline. Moreover, antibiotic resistance gene analysis also showed that the sludge obtained from the wastewater treatment plant contained tetracycline resistant genes that are coded on the DNA resulting in a more resilient activated sludge community against tetracycline.

Keywords: antibiotics, wastewater treatment, antibiotic resistance

TURŞU ENDÜSTRISI ATIKSULARININ PHA ÜRETIMINDE KULLANILABILIRLIĞININ DEĞERLENDIRILMESI

Gülsüm Emel Zengin[1], Didem Güven[2], Didem Okutman-Taş[1], Gökşin Özyıldız[1], Ayse Guventurk[1], Dilara Ozturk[3], Ezgi Ayisigi[1], Güçlü Insel[1], Emine Çokgör[1]

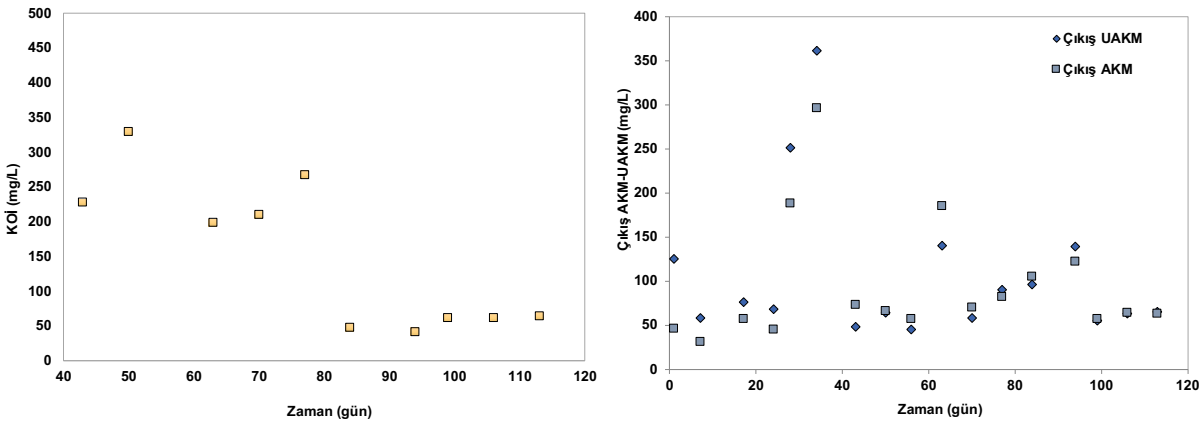
[1]*İstanbul Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 34469, Sarıyer/İstanbul ubay@itu.edu.tr*

[2]*Istanbul Teknik Universitesi, NOVA TTO, 34469, Istanbul.*

[3]*Gebze Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 41400, Gebze/KOCAELİ.*

Özet

Polihidroksialkanoatlar (PHA'lar), çeşitli mikroorganizmalar tarafından karbon ve enerji kaynağı olarak kullanılmak üzere hücre sitoplazmasında biriktirilen biyolojik polimerlerdir. Biyolojik olarak parçalanabilen bu polimerler günümüzde kullanılan petrol bazlı polimerlere benzer mekanik özelliklere sahip ve yenilenebilir kaynaklardan üretilebilir olması sebebiyle petrol bazlı polimerlere alternatiftirler. Gıda endüstrisi atıksu akımlarının yüksek ve nispeten saf organik içeriği, gıda atıklarını PHA, biyoyakıtlar ve çeşitli katkı maddesi hammadde kimyasalları gibi farklı katma değerli biyo-ürünlerin üretimi için iyi bir aday haline getirir. Bu şekilde çevresel açıdan yüksek kirlilik yüküne sahip gıda endüstrisi atıksularının kirletici etkileri azaltılırken PHA üretimi için uygun ve ucuz karbon kaynağı olarak değerlendirilmesine imkan sağlanmış olur. Gıda işleme endüstrileri arasında turşu endüstrisi, biyolojik arıtma için zorluklara sebep olan tuzlu proses atıksuyu ürettiği (yaklaşık %2-10 tuz) için özel ilgiyi hak etmektedir. Yüksek organik asit içeriği nedeniyle, turşu endüstrisi atık suyu, PHA üretimi için petrol bazlı polimerlere olası alternatiflerden biri olarak kabul edilebilir. Literatürde, tuzlu su atıksuları, özellikle turşu endüstrisi atıksuları üzerine araştırmalar çok sınırlıdır. Bu bağlamda, bu çalışmada turşu endüstrisi atıksuları kullanılarak zenginleştirilmiş mikrobiyal kültür ile PHA üretiminin araştırılması amaçlanmıştır. Turşu endüstrisinden farklı dönemlerde toplanan kompozit atıksu numunelerde KOİ, Cl^-, AKM, UAKM, TKN, TP, pH parametrelerinin sırasıyla 2.650± 565 mg KOİ/L, 5.400± 2.238 mg Cl^-/L, 251± 80 mg AKM/L, 28 ± 26 mg TP/L, 101± 59 mg TKN/L ve pH 4±0.6 aralığında olduğu belirlenmiştir. Atıksuyun AKM muhtevasının yaklaşık %50'sinin organik maddeden oluştuğu tespit edilmiştir. HPLC ile gerçekleştirilen analizlerde turşu atıksuyunun organik asit içeriği 549-748 mg asetik asit/L, 1279-1974 mg laktik asit/L, 784-932 mg propiyonik asit/L olarak belirlenmiştir. Turşu atıksuyunun KOİ içeriğinin büyük bölümünün organik asitlerden oluştuğu görülmüştür. Laboratuvar ölçekli bir ardışık kesikli reaktör (AKR), aerobik dinamik besleme koşulları altında, toplam döngü süresi 24 saat ve 8 günlük çamur yaşında turşu endüstrisi atıksuları ile beslenerek 120 gün süreyle çalıştırılmıştır. Bu süre zarfında reaktör içinde AKM, UAKM, pH ve PHA parametreleri, reaktör çıkışında KOİ, AKM ve UAKM parametreleri izlenmiştir. **Şekil 1**'de sunulan çıkış KOİ profilinden anlaşıldığı üzere aşı çamurunun yüksek tuz içeriğine sahip turşu endüstrisi atıksuyuna alışması yaklaşık 80 günü bulmuştur. 80. günden itibaren reaktör KOİ çıkış değerleri 50 mg/L mertebesine indiği görülmektedir. Sürekli işletilen AKR'den elde edilen sonuçlara göre PHA içeriğinin biyokütlede %44'e tekabül eden 1.820 mgKOİ/L olduğunu göstermiştir.



Şekil 1. Turşu suyu ile beslenen AKR'de çıkış KOİ, AKM, ve UAKM profilleri

14. national 2. international environmental engineering congress

climate crisis & environmental policies

SESSION 1B: İklim Krizi

Paper ID:

73 **İklim Değişikliği Kapsamında Yerel Yönetimlerin Azaltım ve Uyum Stratejileri nin Değerlendirilmesi**
Ece Gizem Çakmak - Tuğba Doğan Güzel

74 **KARBON VERGİSİNİN ULAŞTIRMA KAYNAKLI SERA GAZI EMİSYONLARI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ: İSTANBUL ÖRNEĞİ**
Tuğba Doğan Güzel - Ece Gizem Çakmak - Kadir Alp

87 **IŞIK KİRLİLİĞİNİN İKLİM KRİZİNE ETKİSİ**
Örgen Uğurlu - Özge Özarabacı

118 **BÜYÜK MENDERES HAVZASI'NDA İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN SU BÜTÇESİ ÜZERİNDE ETKİLERİ: FARKLI İKLİM MODELLERİ VE YANLILIK DÜZELTME YÖNTEMLERİ**
İbrahim Zülküf Erkol

104 **İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN ÇORUH VADİSİ MİKROKLİMA ALANINDA ZEYTİN TARIMINA ETKİLERİ**
Cemil İrdem - İmren Alkan

97 **DIRECT AND INDIRECT CLIMATE IMPACTS OF LANDFILL GAS EMISSIONS**
Derek Manheim - James Hanson - Nazlı Yeşiller

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ KAPSAMINDA YEREL YÖNETİMLERİN AZALTIM VE UYUM STRATEJİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Ece Gizem ÇAKMAK[1,*], Tuğba DOĞAN GÜZEL[1]

[1,] TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü, 41470, Gebze/KOCAELİ gizem.cakmak@tubitak.gov.tr, tugba.dogan@tubitak.gov.tr*

Özet

İnsanoğlunun bu yüzyılda karşılaştığı en önemli krizler arasında yer alan iklim değişikliğinin, sıcak hava dalgaları, kuraklık, aşırı yağış ve seller gibi çeşitli iklim risklerinin şiddetini artırması beklenmektedir. Küresel sera gazı emisyonlarının yaklaşık olarak %60'ını oluşturduğu tahmin edilen şehirler, emisyonların azaltımına yönelik küresel çabalara önemli ölçüde katkıda bulunabileceğinden kritik öneme sahiptir. Ülkemizde nüfusun yaklaşık %70'inin kentsel alanlarda yaşadığı bilinmekte birlikte, yakın gelecekte bu oranın iklim değişikliğine bağlı risklerle birlikte kentsel altyapıları zorlayacak şekilde artması beklenmektedir. İklim değişikliğinin etkileriyle mücadele amacıyla yerel yönetimlerce hazırlanan Yerel İklim Değişikliği Eylem Planları (YİDEP), hem kentin iklim değişikliğine katkılarını hızlı ve adil bir şekilde durdurmaya hem de kentin iklim değişikliğine uyum kapasitesini arttırmaya yönelik hedefler içermektedir. Ülkemizde bu zamana kadar 9 büyükşehir belediyesi için YİDEP hazırlanmış olup, bunlardan yalnızca 4 tanesi hem uyum hem de azaltım konularında eylemler içermektedir. Bu çalışma kapsamında erişim sağlanabilen YİDEP belgeleri, hem azaltım hem de uyum eylemleri açısından incelenerek, planlar, oluşum süreci, emisyon envanteri, eylemlerin belirlenmesi, planın uygulanması, izleme ve değerlendirme başlıkları altında belirlenen temel göstergeler üzerinden değerlendirilmiştir. Değerlendirilen pek çok planda baz yılı için emisyon envanterinin oluşturulduğu ve genel emisyon azaltım hedeflerinin belirlendiği tespit edilirken, daha az sayıda planda eylem bazında bilgi verilmiştir. Pek çok plan iklim değişikliğine uyum konusunu kapsamına dahil etmezken, planın uygulanmasına ilişkin idari yapı, kurumsal düzenleme ve farkındalık arttırılması konularına kısıtlı seviyede değinmiştir. Bu çalışma kapsamında belirlenen göstergeler önümüzdeki dönemde hazırlanacak eylem planlarının birbirleri ile karşılaştırılması açısından, iklim değişikliği eylem planlaması sürecinde yerel yönetimlere ışık tutacaktır.

Anahtar kelimeler: İklim değişikliği, azaltım, uyum, eylem planı, yerel yönetim

Abstract

Climate change, as one of the key challenges that humankind facing within current century, is expected to increase severity of climate hazards such as heat waves, draughts, heavy precipitation and floods. The vital importance of cities has already been referred to, as cities are estimated to account for 60% of the global greenhouse gases (GHG) emissions and can therefore contribute substantially to the global efforts of mitigating GHG emissions. In Turkey, almost 70% of population lives in urban areas and it is expected to increase in near future which will challenge infrastructures in combination with the climate change related risks. Local Climate Change Action Plans (LCCAP), prepared by local governments in order to combat the effects of climate change, include targets for both mitigating the city's contributions to climate change immediately and fairly, and increasing the city's capacity to adapt to climate change. In Turkey, LCCAPs have been prepared for 9 metropolitan municipalities so far, only 4 of them include actions on both adaptation and mitigation. Within the scope of this study, the LCCAP documents that can be accessed were examined in terms of both mitigation and adaptation actions, and were evaluated through the basic indicators determined under major themes: development procedure, emission inventory, goal setting, implementation of the plan, monitoring and evaluation. In many of the evaluated plans, it was determined that an emission inventory was created for the base year and general emission reduction targets were determined, while in a few plans action-based information was provided. While many plans do not cover adaptation to climate change, there are limited information on the administrative structure, institutional arrangement and awareness raising in relation to the implementation of the plan. The indicators determined within the scope of this study will provide insights to the local governments during the climate change action planning process in terms of benchmarking between action plans to be prepared in the upcoming period.

Keywords: Climate change, mitigation, adaptation, action plan, local government

1. GİRİŞ

İklim değişikliği, kentsel yaşamı önemli ölçüde etkilemesi beklenen küresel bir problemdir. Artan küresel sıcaklıklar deniz seviyelerinin yükselmesine neden olmakta, sel, kuraklık ve fırtına gibi aşırı hava olaylarının sayısını artırmakta ve tropikal hastalıkların yayılmasını hızlandırmaktadır. İklim değişikliği ile mücadelede, temel olarak ülkelerin sera gazı emisyonlarının sınırlandırılması ve küresel sıcaklık artışının 2°C'nin üzerine çıkmamasını hedefleyen Paris Anlaşması, 2015 yılında 196 ülkenin katılımıyla gerçekleştirilen 21. Taraflar Konferansı'nda hazırlanmış ve Kasım 2016'da yürürlüğe girmiş olup, ülkemizde ise 6 Ekim 2021'de Türkiye Büyük Millet Meclisi'nde onaylanmıştır. Anlaşmanın uygulanmasına yönelik müzakereler devam etmekle birlikte, anlaşmayı onaylan ülkelerin sera gazı salımlarının azaltılması yönündeki katkılarını beyan etmeleri ile yakın ve uzun vadede olmak üzere hedeflerini belirli periyotlarda güncellemeleri, yutak alanların ve biyoçeşitliliğin korunmasına yönelik çalışmalar yapmaları, gelişmiş ülkelerin gelişmekte olan ülkelere hem sera gazı emisyonlarının azaltımı hem de iklim değişikliğine uyum noktalarında finansman, teknoloji transferi ve kapasite geliştirme açılarından destek sağlaması, iklim değişikliği nedeniyle ortaya çıkan kayıp ve zararların azaltımı ve telafisi amacıyla destek ve işbirliğinin arttırılması, 5 yılda bir tüm alanlarda gerçekleşen ilerlemelerin değerlendirilmesi gerekmektedir [1].

Kentsel faaliyetler küresel sera gazı emisyonlarının yaklaşık %60'ından, enerji kullanımının ise %78'inden sorumludur [2]. Dünya genelinde şehirlerin karbon ayak izi sıralamasında İstanbul 26., Ankara ise 80. sırada iken, listenin ilk üçünde Seul, Guangzhou ve Newyork bulunmaktadır [3]. Kentler aynı zamanda iklim değişikliği sonucu gerçekleşmesi beklenen sıcaklık artışı, deniz seviyesinin değişmesi ve yağış rejiminin bozulması gibi etkiler karşısında da hassas yapıları bünyelerinde barındırmaktadırlar. Yerel yönetimlerce hem sera gazı salımlarının azaltılması, hem de iklim değişikliğine uyum konusunda yapılacak çalışmalar büyük öneme sahiptir. Paris Anlaşması'nın hedeflerine ulaşabilmesi de ancak küresel, bölgesel, ulusal ve yerel düzeylerde koordineli bir çalışma ile sağlanabilir. Bu nedenle, kentlerin iklim değişikliğiyle mücadelede çözümün ayrılmaz bir parçası haline getirilmesi oldukça önemlidir.

Yerel yönetimlerce hazırlanacak iklim değişikliği eylem planları, hem kentin iklim değişikliğine katkılarını (sera gazı emisyon salımlarını) hızlı ve adil bir şekilde durdurmaya hem de kentin iklim değişikliğine uyum kapasitesini arttırmaya yönelik hedefler içermelidir. Bu çerçevede ülkemizde de 2023 yılında 30 Büyükşehir Belediye'sinde yerel iklim değişikliği eylem planlarının hazırlanmış olmasını ve diğer il ve ilçe belediyelerinde de hazırlanmış eylem planı sayısını arttırmayı hedefleyen "Yerel İklim Değişikliği Eylem Planı Yönetmeliği"nin hazırlığına yönelik çalışmalar devam etmektedir. Halihazırda il ve ilçe belediyeleri bünyesinde Yerel İklim Değişikliği Eylem Planları (YİDEP) hazırlanmasına yönelik çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Bu kapsamda uluslararası mecrada gönüllülük esaslı çeşitli girişimler bulunmakta olup, bunlar arasında en önemlilerinden biri olan "Belediye Başkanları Küresel İklim ve Enerji Sözleşmesi" (Covenant of Mayors Europe-CoM), ülkemizden 10'u büyükşehir olmak üzere 32 belediye tarafınca imzalanmıştır. 2008 yılında Avrupa Komisyonu bünyesinde başlatılan bu girişim ile hem iklim ve enerji hedeflerine ulaşılması noktasında yerel yönetimlerin desteklenmesi, hem de sözleşme çerçevesinde belirlenen hedefleri uygulamak isteyen pek çok şehir ve bölgenin bir araya getirilmesi hedeflenmektedir. Sözleşmeye taraf olan belediyeler sera gazı emisyon azaltımı ve iklim değişikliğine uyum noktalarında hayata geçirmeyi planladıkları önlemleri içeren Sürdürülebilir Enerji ve İklim Eylem Planları (Sustainable Energy and Climate Action Plan-SECAP)'nı hazırlamakla yükümlüdürler [4]. Yerel yönetimlerin uluslararası düzeyde iklim değişikliği ile mücadele amacıyla kurdukları bir diğer girişim "Uluslararası Sürdürülebilir Kentler Birliği" (Local Governments for Sustainability-ICLEI)'dir. Temel amacı, sürdürülebilirlik teması altında yerel yönetimler bazında kapasite geliştirme ve işbirliğinin arttırılması olan bu birliğin, 15'i ülkemizden olmak üzere 2.500'ün üzerinde üyesi bulunmaktadır [5].

CoM bünyesinde hazırlanan SECAP'lar Avrupa Komisyonu Ortak Araştırma Merkezi tarafından değerlendirilerek, sonuçlar sonraki senelerde hazırlanacak planlara yol göstermesi açısından raporlanmıştır [6]. Öte yandan yine bölgesel bazda hazırlanan yerel iklim eylem planlarının değerlendirilmesine yönelik çeşitli çalışmalar bulunmaktadır [7] [8] [9] [10] [11] [12] [13] [14].

Bu çalışma kapsamında, ülkemizden 9 büyükşehir belediyesi için hazırlanmış olan Yerel İklim Değişikliği Eylem Planları (YİDEP) hem azaltım hem de uyum eylemleri açısından incelenerek, planlar, oluşum süreci, emisyon envanteri, eylemlerin belirlenmesi, planın uygulanması, izleme ve değerlendirme başlıkları altında belirlenen temel göstergeler üzerinden değerlendirilmiştir. Bu çalışma ile ülkemizde yayınlanmış yerel eylem planları ilk kez bir sistematik çerçevesinde değerlendirilmiş olup, gelişmeye açık alanlar tespit edilerek, belirlenen göstergeler vasıtasıyla iklim eylem planlaması sürecinde karar vericilere katkı sağlanması amaçlanmıştır.

2. YÖNTEM

Çalışma kapsamında internet üzerinden erişim sağlanabilen 9 büyükşehir belediyesi için hazırlanmış olan ve detayları Tablo 2.1'de verilen YİDEP belgeleri incelenmiştir. Eylem planı incelenen illerin nüfusları toplamı Türkiye'nin %36'sına tekabül etmekte olup, bu illerden sadece üç tanesinin (Hatay, Kahramanmaraş ve Trabzon) CoM üyeliği bulunmamaktadır. İncelenen eylem planlarının başlıkları ortak olarak "iklim değişikliği eylem planı" ifadesini içermekte iken, planlar genel olarak danışmanlık firmaları tarafından hazırlanmıştır. Listedeki en eski plan 2013 yılına ait iken, bazı iller için daha önceki senelerde hazırlanan planların güncellendiği de görülmektedir.

Tablo 2.1 Çalışma kapsamında değerlendirilen yerel iklim eylem planlarına ilişkin genel bilgiler

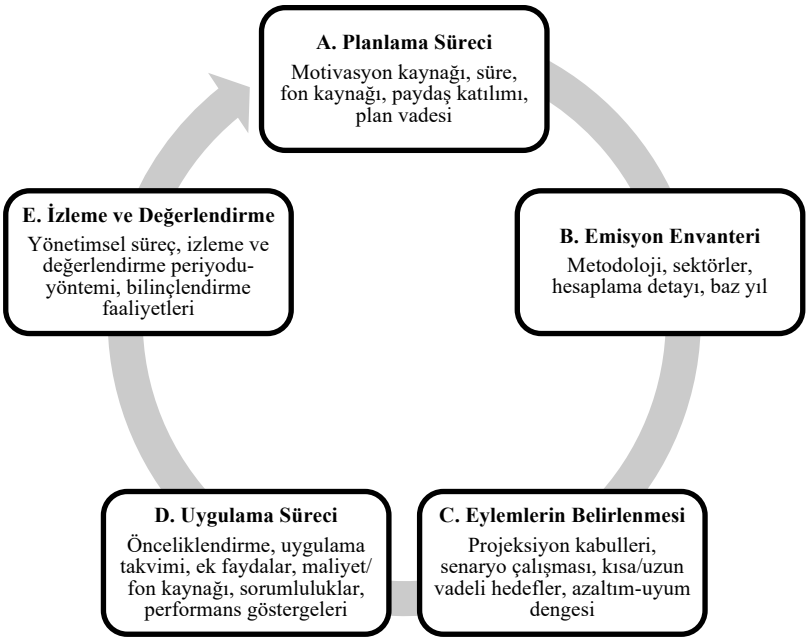
İl	Yıl	Plan vadesi	Azaltım hedefi	Kaynak
İstanbul*	2018	2050	2030 yılında referans senaryoya göre yaklaşık 27,6 milyon tCO_2e azaltım (%33), 2050 yılında 41,8 milyon tCO_2e azaltım (%36)	[15]
Kocaeli	2018	2030	2030 yılında öngörülen salımlardan %21 azaltım (8,8 milyon tCO_2e azaltım)	[16]
Trabzon*	2019	2030	2016 yılına kıyasla 2030 yılında toplam emisyonlarda %14,3, kişi başı emisyonlarda ise %31 azaltım (1,5 milyon tCO_2e azaltım)	[17]
Denizli*	2019	2030	2030 yılında öngörülen salımlardan %21 azaltım (2,51 milyon tCO_2e azaltım)	[18]
Antalya	2013	2020	2020 yılında 2012 seviyesine göre %23 mutlak azaltım (toplam 1,98 Mton CO_2e azaltım)	[19]
Bursa*	2017	2030	2030 yılında 2014 seviyesine göre %28 mutlak azaltım (toplam 5,93 Mton CO_2e azaltım)	[20]
Gaziantep	2016	2023	2023 yılında öngörülen salımlardan %20 azaltım (2.795 kt CO_2e)	[21]
Hatay	2019	2030	2030 yılı projeksiyon emisyonlarına kıyasla yaklaşık %23 oranında azaltım (2,48 milyon tCO_2e/yıl)	[22]
Kahramanmaraş	2017	2030	2030 yılında böyle gelmiş böyle gider senaryosuna göre % 26 azaltım (742 kt CO_2e)	[23]

*Hem sera gazı emisyonlarının azaltımı hem de iklim değişikliğine uyuma yönelik eylemler içermektedir.

Belgelerin incelenmesi amacıyla öncelikle literatürde gerçekleştirilmiş benzer çalışmalar ve eylem planlaması için üretilmiş kılavuz dokümanları doğrultusunda bir değerlendirme çerçevesi belirlenmiştir. CoM bünyesinde hazırlanmakta olan SECAP dokümanları için Avrupa Komisyonu Ortak Araştırma Merkezi tarafından yayımlanan kılavuzlara göre, SECAP strateji, emisyon envanteri, iklim değişikliği risk ve kırılganlık değerlendirmesi ve son olarak azaltım ve uyum eylemleri başlıkları altında oluşturulmalıdır. Yine aynı kılavuzda başarılı bir eylem planı oluşturulabilmek için tanımlanan temel elementler şu şekildedir [24]:

- Planlama sürecinin belediye meclisi (veya eşdeğer karar alma organı) tarafından resmi olarak kabul edilmesi
- Azaltım ve uyum hedeflerinin net bir şekilde ortaya konması
- Yerel durumun bilimsel temeller çerçevesinde değerlendirilmesi (emisyon envanteri ve risk ve kırılganlık analizi)
- Kenti ortaya koyan ana sektörlerin detaylı bir şekilde ele alınması
- 2030 yılına kadar tamamlanması gereken strateji ve aksiyonların net bir şekilde belirlenmesi
- Belediyenin ilgili tüm birimlerinin seferber edilmesi
- Halkın ve diğer paydaşların sürece katılım sağlaması
- Finansal kaynakların tanımlanması
- Planın izlenmesi ve değerlendirilmesine yönelik çerçevenin oluşturulması

Bu bilgiler ışığında belirlenen değerlendirme metodolojisi kapsamında, plan oluşum süreci, emisyon envanteri, eylemlerin belirlenmesi, planın uygulanması ve izleme ve değerlendirme olmak üzere beş başlık altında soru ve kriter listesi oluşturulmuştur (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 İklim eylem planı değerlendirme çerçevesi

Planların incelenmesinde kullanılmak üzere beş kategori altından gruplanan yaklaşık 35 nicel ve nitel kriter için değerlendirmeler kaydedilmiştir. Sonrasında değerlendirmeye alınan her bir eylem planı için bu soru ve kriterler yazarlar tarafından cevaplanarak bir veritabanı oluşturulmuştur. Soru ve kriterlerin belirlenmesinde yoruma dayalı olabilecek içerikler yerine açıkça tanımlanabilecek içerikler tercih edilmiştir. Veri kalitesinin arttırılabilmesi ve potansiyel tutarsızlıkları kontrol edebilmek amacıyla oluşturulan veritabanı her iki yazar tarafından çapraz olarak incelenmiştir.

3. SONUÇ

Bahsedilen beş kategori altında belirlenen soru ve kriterler sonucu ulaşılan değerlendirmelere bu başlık altında yer verilmiştir.

3.1. Planlama Süreci

Planlama sürecinin ilk adımı gerçekçi ama yine de iddialı bir vizyonun belirlenmesidir. Bu çerçevede incelenen tüm planlarda motivasyon kaynağı net bir şekilde belirtilmiş olup, "düşük karbon", "iklim dostu şehir" ve "sürdürülebilirlik" öne çıkan temalar olmuştur. Sadece bir eylem planı, CoM bünyesindeki sorumluluğuna atıfta bulunmuştur. Öte yandan kısıtlı sayıda eylem planında, planın oluşturulma sürecindeki bilgilere (fon kaynağı, uygulayıcılar, süre ve maliyet) yer verilmiştir. Eylem planlarının genelinde, paydaş katılımı çalıştaylar düzenlenerek ve/veya anket çalışmaları vasıtasıyla sağlanmış olup, sadece bir planda bu kapsamda bilgi verilmemiştir. Sektör uzmanları, belediyenin farklı birimlerinden uzmanlar, sivil toplum örgütleri, akademisyenler ve özel sektör temsilcileri genel olarak hedeflenen paydaşlar olarak ön plana çıkmıştır. Planlar vadeleri açısından değerlendirildiğinde ise sadece İstanbul için hazırlanan eylem planında uzun vadede (2050) hedeflerin belirlendiği görülmekte iken, diğer eylem planlarında genel olarak yakın vade hedefler yer almıştır. 6 eylem planı 2030 yılını, bir plan 2023 yılını hedef yıl olarak belirlerken, en eski eylem planı olan Antalya ili planı 2020 yılını eylem planı vadesi olarak göstermiştir.

3.2. Emisyon Envanteri

Şehirler bünyesinde sera gazı emisyon envanterinin hazırlanması amacıyla genel olarak kullanılan metodoloji Yerel Sera Gazı Salımları Küresel Protokolü (Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories-GPC)'dür [25]. GPC protokolü, C40 Şehirleri İklim Liderliği Grubu (C40), ICLEI ve Dünya Kaynakları Enstitüsü (World Resources Instiute-WRI) tarafından 2014 yılında hazırlanmış olup, emisyonları 3 kapsam ile sabit kaynaklar, ulaşım, atık, endüstriyel prosesler ve ürün kullanımı, tarım,

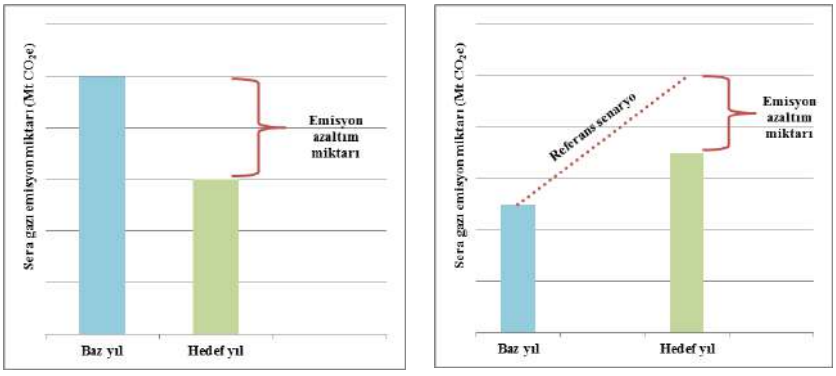
ormancılık ve arazi kullanımı olmak üzere 5 sektör altında sınıflandırmaktadır. Eylem planları kapsamında tüm iller için sera gazı emisyon envanteri hazırlanmış olup, GPC metodolojisi ortak olarak takip edilmiştir. Sadece bir planda metodoloji belirtilmemiştir. Öte yandan 4 eylem planında belediye bünyesinde işletilen ulaşım araçları, belediye binalarındaki enerji tüketimi, sokak aydınlatması ve trafik ışıkları gibi kategorileri ele alan kurumsal sera gazı emisyon envanteri de oluşturulmuştur. Bu envanterlere göre belediyelerin faaliyetleri ile doğrudan ilişkilendirilen emisyonlar kentin toplam emisyonlarına oranı %1,6'sı ila %2,4'ü aralığında değişmektedir.

Sera gazı emisyon envanterlerinin oluşturulmasında kullanılan metodolojinin yanı sıra, veri toplama süreci, veri kaynakları ve hesaplamada yapılan kabuller hem envanter güncelleme sürecinin devamlılığı açısından hem de paydaşların bilgilendirilmesi açısından, detaylı bir şekilde raporlanmalıdır. İncelenen 9 eylem planında sadece 4'ünde envanter oluşturulma sürecinde yapılan varsayımlar ve veri kaynakları detaylı bir şekilde yer almıştır. Envanter baz yılı genel olarak eylem planının hazırlandığı yıl ile ilişkili olmakla birlikte 4 planda 2016 yılı baz yıl olarak belirlenmiştir. Genel olarak verilere erişim kolaylığı açısından eylem planının yayımlandığı tarih ile envanterin oluşturulduğu tarih arasında 3 yıl fark olmakla birlikte, sadece Antalya ve Kahramanmaraş illeri için hazırlanan envanter ile eylem planı yayımlanma tarihi arasında 1 yıl bulunmaktadır. Bu durum ilgili eylem planlarının hazırlanması sürecinin hızına ilişkin fikir vermektedir. Envanterlerin genelinde konut ve ticari binalar, sanayi ve ulaştırma sektörlerinde enerji tüketimi kaynaklı oluşan sera gazı emisyonlarına yer verilmekle birlikte, daha kısıtlı sayıda envanterde tarım, ormancılık ve arazi kullanımına ilişkin emisyonlar/yutaklar değerlendirilmiştir. Öte yandan envanterde dikkate alındığı belirtilen sektörler için de kenti ne oranda temsil ettiğine ilişkin değerlendirmeler yapılmamıştır.

3.3. Eylemlerin Belirlenmesi

Eylem planında hedeflerin belirlenmesi sürecinde ilk adım kentin sosyoekonomik göstergeler ışığında envanter vadesi sürecinde geçireceği değişimin tahmin edilmesidir. Bu amaçla ülke geneli için beklenen değişimler, ilde meydana gelebilecek sosyal dönüşümler gibi çeşitli faktörler dikkate alınarak, baz yıl için hesaplanan sera gazı emisyonlarının projeksiyonlarının yapılması gerekmektedir. Eylem planlarında emisyon projeksiyonları büyüme hızı gibi farklı parametreler için alternatifli olarak oluşturulabilmektedir. Çalışma kapsamında incelenen 9 eylem planından sadece 3 tanesinde farklı büyüme hızları için senaryo bazlı değerlendirme yapılmış ve seçilen bir büyüme senaryosu referans senaryo olarak belirlenmiştir. Genel olarak tüm eylem planlarında referans senaryonun oluşturulması aşamasında ulusal plan/politika belgeleri ile bölgede hayata geçirilmesi planlanan yenilenebilir enerji uygulamalarının dikkate alındığı görülmektedir.

Sera gazı emisyon azaltım hedeflerinin belirlenmesinde kullanılan, mutlak azaltım ve referans senaryoya kıyasla azaltım olmak üzere iki temel yöntem mevcuttur [25]. Genellikle gelişmekte olan ekonomiler, büyüme durumlarını da göz önüne alarak referans senaryoya kıyasla azaltım hedefleri belirlemektedir. Şekil 3.1'de de görüldüğü üzere mutlak azaltım hedefi, belirli sektörlerde emisyonların sıfırlanması ya da yutak alanların arttırılması gibi daha iddialı hedeflerin ortaya konmasını gerektirmektedir. İncelenen tüm eylem planlarında azaltım hedefleri referans senaryoya kıyasla ortaya konmuş olup, Kocaeli ve Denizli için hazırlanan planlarda ülkemiz ulusal katkı beyanı ile uyumlu olması adına %21 azaltım oranı benimsenmiştir. Hem yüzde hem de miktar olarak bakıldığında en yüksek azaltım hedefi %33 ile İstanbul'a aittir (Tablo 2.1).



Şekil 3.1 Mutlak azaltım ve referans senaryoya göre azaltım gösterimi [25]

Azaltım hedeflerinin sayısallaştırılmasında eylem planlarında genel olarak iki yöntem tercih edilmiş olup, 3 plan tarafından tercih edilen ilk yöntemde toplam azaltım hedefinin sektörlere dağıtılması (top-down) ile sektörel azaltım oranları belirlenmiştir. Buna alternatif olarak 6 plan tarafından uygulana ikinci yöntemde ise sayısallaştırılabilecek her eylem için azaltım miktarı hesaplamış (bottom-up) ve eylem fişlerinde bu miktarlar performans göstergesi olarak belirtilmiştir. Eylem planının takibi açısından ikinci yöntemin daha uygulanabilir olduğu değerlendirilmektedir.

Eylem planlarında ayrıca kişi başına düşen emisyonlar açısından da değerlendirmelere yer verilmiş olup, baz yıl açısından bakıldığında emisyonların en düşük olduğu ilin Bursa olduğu görülmüştür (Tablo 3.1). Ancak, envanter kapsamlarının farklılık göstermesinin de böyle bir sonuca sebebiyet verebileceği unutulmamalıdır. Dünya genelinde 167 şehrin sera gazı emisyon envanterini inceleyen bir çalışmada kişi başı emisyon salımlarının 0.15–34.95 tCO_2e aralığında değiştiği ve gelişmiş ülkelerde değerlerin daha yüksek seyrettiği gösterilmiştir [26]. Buna göre Kocaeli 13,71 tCO_2e/kişi emisyon miktarı ile emisyon yoğunluğu yüksek şehirler arasında yer almakta olup, bu durumun enerji tüketimi yüksek sanayi sektörlerinin bu ilimizde yoğunlaşması nedeniyle oluştuğu düşünülmektedir.

Tablo 3.1 İl bazında toplam ve kişi bazı sera gazı emisyon miktarları

İl	Toplam sera gazı emisyon salımı - Mton CO_2e					Kişi başı emisyon salımı - tCO_2e/kişi				
		Referans senaryo		Azaltım senaryosu			Referans senaryo		Azaltım senaryosu	
	Baz yıl	Kısa vade hedef	Uzun vade hedef	Kısa vade hedef	Uzun vade hedef	Baz yıl	Kısa vade hedef	Uzun vade hedef	Kısa vade hedef	Uzun vade hedef
İstanbul	47,3	84,7	117,9	57,1	76,1	3,23	4,74	5,56	3,19	3,59
Kocaeli	25,1	41,9	-	33,1	-	13,71	15,80	-	12,40	-
Trabzon	3,1	4,1	-	2,6	-	3,93	4,27	-	2,72	-
Denizli	7,5	11,9	-	9,4	-	7,46	10,00	-	8,00	-
Antalya	5,8	7,5	-	4,5	-	2,79	3,58	-	1,80	-
Bursa	6,9	10,9	-	5,0	-	2,48	3,24	-	1,48	-
Gaziantep	10,1	14,0	-	11,2	-	5,32	6,19	-	4,95	-
Hatay	6,4	10,8	-	8,3	-	3,20	4,86	-	3,73	-
Kahramanmaraş	9,2	10,6	-	9,9	-	8,58	7,51	-	5,59	-

Kaynak: [15] [16] [17] [18] [19] [20] [21] [22] [23]

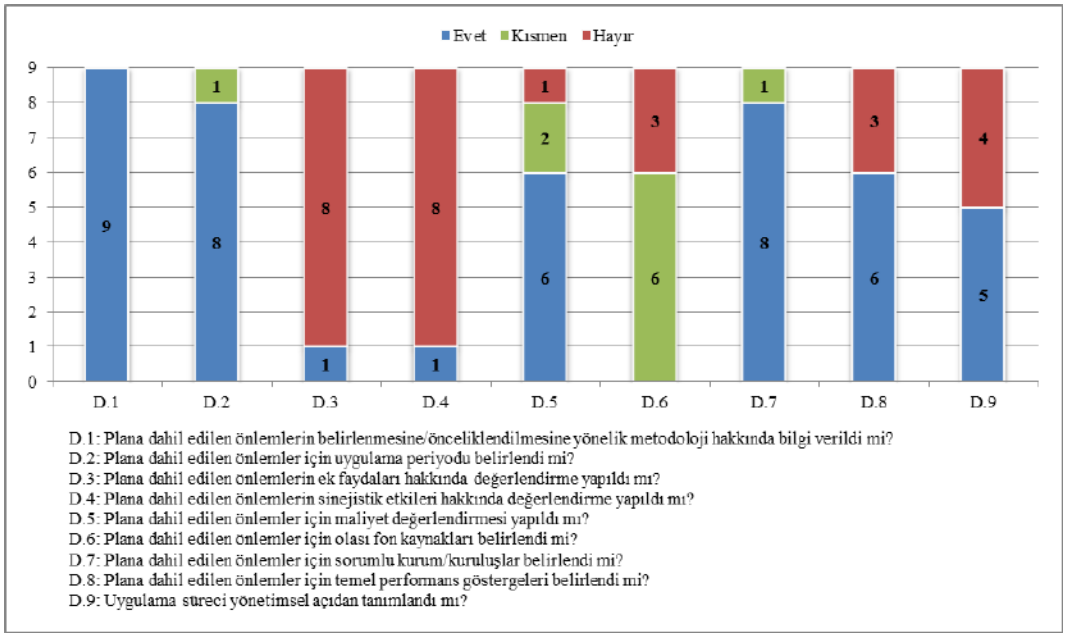
Yenilenebilir enerji teknolojilerinin kullanımı kapsamında eylem planlarında özellikle çöp gazı ve hayvansal atıkların yakılması yada biyogaz eldesi öncelikle değerlendirilen azaltım hedefleri arasında yer alırken, konut ve ticari binalar ile tarımsal sulamada güneş enerjisinin kullanımı da hemen hemen tüm eylem planlarında değerlendirilmiştir. Ulaşımda sera gazı emisyonlarının azaltımı kapsamında ise, raylı sistemler, bisiklet yolları ve metrobüs hatları gibi uygulamalar vasıtasıyla toplu ulaşımın yaygınlaştırılması ön plandadır. Belediye taşıt filosunun elektrikli hale getirilmesi de birçok eylem planında değerlendirilmiş, özel taşıtların kullanımına yönelik olarak şarj istasyonlarının kurulumu da 3 eylem planında hedef olarak yer almıştır.

Binalarda enerji verimliliğin arttırılması da tüm planlarda yer almış hedeflerden biri olarak, ısı yalıtımı uygulamaları ve kentsel dönüşüm uygulamaları ile binaların enerji tüketim performansının arttırılması, enerji kimlik belgesine sahip bina sayısının arttırılması, etkin aydınlatma seçeneklerinin yaygınlaştırılması ve elektrikli ev aletlerinin daha düşük enerji tüketen alternatifleri ile değiştirilmesi konularını kapsamıştır.

İklim değişikliği sonucunda meydana gelmesi beklenilen doğal afetlerden hidrolojik (taşkın-ani taşkın, aşırı rüzgar/kıyı taşkını; kütle hareketi-kaya düşmesi, toprak kayması, göçük gibi), meteorolojik (kasırga gibi) ve iklimsel (ekstrem sıcaklıklar, kuraklık, yangın gibi) tehlikeler, kentleri meydana getiren sistemlerin varlığını tehdit etmektedir. Bu nedenle kentin iklim değişikliğine uyum kapasitesinin arttırılmasına yönelik eylemlerin belirlenmesi de önem arz etmektedir. Değerlendirilen 9 eylem planı arasında 4 tanesi iklim değişikliğine uyuma yönelik hedefler içermektedir. Deniz seviyesinin yükselmesi, su kaynaklarının tükenmesi, kentsel ısı adalarının oluşması, hava kalitesinin düşmesi, altyapının ekstrem hava olayları nedeniyle hasar görmesi ve sağlık etkilerinin görülmesi kent ölçeğinde iklim değişikliğinden etkilenebilirliğin yüksek olması beklenen alanlar arasındadır. Bu çerçevede planlarda, iklim değişikliğine uyum noktasında öncelikle değerlendirilen sektörler, halk sağlığı, arazi kullanımı, ormancılık, tarım, biyoçeşitlilik, altyapı ve su kaynakları yönetimi olarak sıralanmıştır. Tüm planlarda eylemlerin belirlenmesi öncesinde etkilenebilirlik ve kırılganlık değerlendirmesi ve risk analizi çalışmalarının gerçekleştirildiği belirtilmiştir.

3.4. Uygulama Süreci

Planlarda belirlenen eylemlerin uygulanması aşaması, uygulama periyodu, sorumluluklar, maliyet ve fon kaynağı, performans göstergeleri, eylemin ek faydaları, azaltım-uyum eylemleri arasındaki ilişkiler, eylemlerin önceliklendirilmesi ve uygulama sürecinde takip edilecek yönetimsel prosedürler kapsamında oluşturulan 9 soru/kriter çerçevesinde değerlendirilmiştir. Şekil 3.2'de detayları verilen bu analize göre, eylemlerin belirlenmesi ve önceliklendirilmesi tüm planlarda paydaşların çalışmaya dahil edildiği çalıştaylar, anketler ve odak grup toplantıları vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.2 Belirlenen eylemlerin uygulama süreci kapsamında değerlendirilmesi

Öte yandan 9 eylem planından 8'inde önlemler kısa, uzun ve orta vadede bölünen bir uygulama takvimine yerleştirilerek, eylemin tamamlanma tarihleri belirtilmiştir. Ayrıca bir planda sadece önceliklendirilen (hâlihazırda projelendirilmiş) eylemler için 2030 yılına kadar uygulama takvimi belirlenmiştir. Eylemlerin sosyal, ekonomik, iş alanı yaratma, hava kalitesi sağlık vb. alanlarda oluşturabileceği ek faydaların ve azaltım ve uyum eylemleri arasındaki ilişki eylemlerin seçilmesi ve önceliklendirilmesi aşamasında göz önüne alınması önem arz etmekte olup, değerlendirilen 9 plan arasında yalnızca 1 planda bu parametreler dikkate alınmıştır. Eylemlerin olası maliyetlerinin belirlenmesi noktasında, yaklaşık olarak planların %70'inde eylem bazında aralıklar halinde değerlendirmeler yapılmıştır. Buna karşın fon kaynaklarının belirlenmesi amacıyla eylem fişlerinde "yatırımcı" ve "belediye katkısı" başlıkları altında oldukça genel değerlendirmelere yer verilmiştir.

Eylem planlarının genelinde, sorumlu kurumlar ve paydaşlar eylem bazında belirtilmiş olup, sadece bir planda önceliklendirilen (hâlihazırda projelendirilmiş) eylemler için sorumlu kurumlar belirlenmiştir. Toplam azaltım hedefinin sektörlere dağıtıldığı (top-down) yöntemi benimseyen 3 planda, eylem bazında sayısal performans göstergeleri de belirlenmemiştir. Bu durum eylemlerin takibini zorlaştırabilecek bir etmen olarak değerlendirilmektedir. Eylem planının uygulanması aşamasında yönetimsel sürecin tanımlanması da planın başarısı açısından önemli bir parametre olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çerçevede 5 planda, belediye bünyesinde kurumsal çerçevenin oluşturulması ve insan kaynakları açısından kurumsal kapasitenin arttırılması konularına değinilerek olası seçenekler ortaya konmuştur.

3.5. İzleme ve Değerlendirme

Eylem planlarının başarısı açısından bir diğer önemli kriter de izleme yönteminin tanımlanmış olmasıdır. Eylem bazından ilerlemelerin tespit edilmesi amacıyla, veri toplama yöntemleri, zamanlamanın (ne sıklıkta veri toplanacak) ve sorumlunun (kim tarafından veri toplanacak) belirlenmesi gerekmektedir. Bu çerçevede değerlendirilen 9 planın yalnızca ikisinde izleme ve değerlendirme süreci net bir şekilde ortaya konmuştur. Bu planlarda eylemlerin değerlendirilmesine ve sonuçların paydaşlar ile paylaşılmasına yönelik zaman

aralıkları belirlenirken, değerlendirme aşamasında kullanılmak üzere parametre listesinin oluşturulması da önerilmiştir. Bunlara ek olarak bir planda sera gazı emisyon envanterinin güncellenmesine ilişkin periyotlar tanımlanmış ancak eylem planı ile ilişkisi kurulmamıştır.

Eylem planının çıktıları hakkında halkın ve diğer paydaşların bilgilendirilmesi sadece 4 planda göz önüne alınmıştır. Bu planlarda sonuçların yaygınlaştırılması ve farkındalık yaratma konularına odaklanılmış, seminer ve çalıştaylar vasıtasıyla bilinçlendirme çalışmalarının yürütülmesi hedef olarak belirlenmiştir.

4. TARTIŞMA

Günümüzde iklim değişikliği kapsamında şehir planlama süreçlerinin karşı karşıya olduğu en önemli zorluklardan biri, bir yandan kentte meydana gelen sera gazı emisyonlarını azaltırken, diğer yandan da kentsel alanlar ve altyapı sistemlerini iklim değişikliğinin beklenen etkilerine karşı dayanıklı olacak şekilde uyarlamaktır. Zira küresel ısınmanın 1,5°C ile sınırlandırılmaya çalışıldığı bir süreçte, önümüzdeki birkaç on yıl içinde iklim değişikliğinin gerçekleşmesini engelleyebilecek bir azaltım önlemi mevcut değildir. Öte yandan, azaltıma yönelik çabaların tamamen durdurulması da bir sonraki süreçte uyuma ilişkin sosyal ve ekonomik zararların artmasına sebep olacaktır. Bu nedenle iklim değişikliğine uyum ve azaltım hedefleri arasındaki sinerjinin korunduğu, farklı paydaşların koordinasyonunda hazırlanan plan çalışmaları önem kazanmaktadır.

Çalışma kapsamında değerlendirilen planların %44'ünde iklim değişikliğine uyuma yönelik eylemler belirlenmiş olup, Avrupa Komisyonu tarafından CoM bünyesinde hazırlanan SECAP'ların değerlendirildiği çalışmada da uyuma yönelik hedefler içeren eylem planlarının %46-54 seviyesinde kaldığı görülmüştür [6]. Bu durum, iklim değişikliğine uyum konusunun azaltıma kıyasla daha çok son yıllarda gündeme gelmesi, uyuma yönelik eylemlerin çok daha geniş bir çerçevede ele alınabilmesi ve uyum eylemlerinin sonuçlarının bölgesel düzeyde faydalar sağlaması gibi etmenlerle açıklanabilir.

Eylem planlarının oluşturulmasında genel olarak paydaş katılımının anket çalışmaları, çalıştaylar ve odak grup toplantıları vasıtasıyla sağlandığı görülmekle birlikte, özellikle eylem planı sonuçlarının yaygınlaştırılması noktasında halkın katılımı ve bilinçlendirilmesine yönelik hedeflerin/faaliyetlerin eksik kaldığı tespit edilmiştir. Özellikle azaltım hedeflerinin eylemlere dönüştürülmesi amacıyla kullanılan önceliklendirme metodolojisi hakkında kısıtlı sayıda planda bilgi verilirken, eylem bazında sayısal hedeflerin yer almadığı planlar için, planın izleme ve değerlendirilmesine yönelik önemli bir eksiklik oluşmaktadır.

Genel olarak, iklim değişikliğine yönelik hazırlanan eylem planları ile çözüm yolunda ilk adım atılmakla birlikte, belirlenen eylemler için sorumlulukların ve performans göstergelerinin net bir şekilde ortaya konmaması, eylemlerin diğer fayda ve etkilerinin ele alınmaması, eylemlerin uygulanmasına ve finansmanına yönelik takvimin oluşturulmaması sürecin başarısına sekte vurabilecek önemli problemler olarak değerlendirilmektedir. İklim eylem planlarının önem kazanacağı önümüzdeki dönemde, planlama süreci ve minimum gereklere ilişkin ulusal bazda yönlendirme dokümanlarının/araçların oluşturulması hem yeni planlar hem de mevcut planların güncellenmesi açısından faydalı olacaktır. Planlama sürecinde yerel yönetimler arası tecrübe ve bilgi paylaşımının arttırılması da planlama süreci üzerindeki fikir birliğini arttırarak, kapsam ve kalite açısından seviyenin yükseltilmesine katkı sağlayacaktır.

5. KAYNAKÇA

[1] UNFCCC, «What is the Paris Agreement?,» 2021. [Çevrimiçi]. Available: https://unfccc.int/process-and-meetings#:a0659cbd-3b30-4c05-a4f9-268f16e5dd6b.

[2] UN, «Cities and Pollution,» United Nations, 2021. [Çevrimiçi]. Available: https://www.un.org/en/climatechange/climate-solutions/cities-pollution.

[3] GGMCF, «Carbon Footprints of World Cities,» Global Gridded Model of Carbon Footprints, 2021. [Çevrimiçi]. Available: https://citycarbonfootprints.info/.

[4] COM, «EU Covenant of Mayors for Climate & Energy,» 2021. [Çevrimiçi]. Available: https://www.covenantofmayors.eu/en/.

[5] ICLEI, «Local Governments for Sustainability,» 2021. [Çevrimiçi]. Available: https://iclei.org/en/Home.html.

[6] Bertoldi, P., Rivas, S., Kona, A., Hernandez, Y., Barbosa, P., Palermo, V., Baldi, M., Lo Vullo, E., Muntean, M., «Covenant of Mayors: 2019 Assessment,» Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2020.

[7] S. Wheeler, «State and Municipal Climate Change Plans: The First Generation,» Journal of the American Planning Association, no. 74:4, pp. 481-496, 2008.

[8] Tang, Z., Brody, S.D., Quinn, C., Chang, L., Wei, T., «Moving from agenda to action: Evaluating local climate change action plans,» Journal of Environmental Planning and Management, no. 53:1, pp. 41-62, 2010.

[9] Reckien, D., Salvia, M., Heidrich, O., Church, J.M., Pietrapertosa, F., Gregorio-Hurtado, S.D., D'Alonzo, V., Foley, A., Simones, S.G., Lorencova, E.K., Orru, H., Orru, K., Wejs, A., Flacke, J., Olazabal, M., Geneletti, D., Feliu,

E., Vasilie, S., et.al., «How are cities planning to respond to climate change? Assessment of local climate plans from 885 cities in the EU-28».
[10] Pietrapertosaa, F., Khokhlov, V., Salvia, M., Cosmi, C., «Climate change adaptation policies and plans: A survey in 11 South East European countries,» Renewable and Sustainable Energy Reviews, no. 81, p. 3041–3050, 2018.
[11] M. Mendez, «Assessing local climate action plans for public health co-benefits in environmental justice communities,» Local Environment, no. 20:6, pp. 637-663, 2015.
[12] Walsh, C.L., Dawson, R.K., Hall, J.W., Barr, S.L., Batty, M., Bristow, A.L., Carney, S., Dagoumas, A.S., Ford, A.C., Harpham, C., Tight, M.R., Watters, H., Zanni, A.M., «Assessment of climate change mitigation and adaptation in cities,» Urban Design and Planning, no. 164, pp. 75-84, 2011.
[13] Bassett, E., Shandas, V., «Innovation and Climate Action Planning Perspectives from Municipal Plans,» Journal of the American Planning Association, no. 76:4, pp. 435-450, 2010.
[14] S. Alexander, «Harnessing the opportunities and understanding the limits of state level climate action plans in the United States,» Cities, no. 99, 2020.
[15] İstanbul Büyükşehir Belediyesi, «İstanbul İklim Değişikliği Eylem Planı, Final Raporu,» https://www.iklim.istanbul/raporlar/, İstanbul, 2018.
[16] Kocaeli Büyükşehir Belediyesi, «Kocaeli Sera Gazı Envanteri ve İklim Değişikliği Eylem Planı,» https://rec.org.tr/wp-content/uploads/2018/09/Kocaeli_SGE_IDEP_Final.pdf, Kocaeli, 2018.
[17] Trabzon Büyükşehir Belediyesi, «Trabzon'un Sürdürülebilir Enerji Eylem ve İklim Uyum Planı - Sürdürülebilir Kentler ve Toplumlar,» https://www.trabzon.bel.tr/uploads/FCK_SAYFALAR/4524.pdf, Trabzon, 2019.
[18] Denizli Büyükşehir Belediyesi, «Denizli İklim Değişikliği Eylem Planı,» https://rec.org.tr/wp-content/uploads/2020/01/Denizli_IDEP_Raporu_10_07.pdf, Denizli, 2019.
[19] Antalya Büyükşehir Belediyesi, «Antalya Sürdürülebilir Enerji Eylem Planı,» http://matchupantalya.org/Uploads/d9eda15f80eb4a7ca36376ea568ba8aa.pdf, Antalya, 2013.
[20] Bursa Büyükşehir Belediyesi, «Bursa Sürdürülebilir Enerji ve İklim Degişikligi Uyum Planı,» https://www.bursa.bel.tr/dosyalar/birimek/190306101119_Bursa-Surdurulebilir-Enerji-ve-iklim-Degisikligi-Uyum-Plani-BUSECAP-2017.pdf, Bursa, 2017.
[21] Gaziantep Büyükşehir Belediyesi, «Gaziantep İklim Değişikliği Eylem Planı Yönetici Özeti,» https://www.gaziantep.bel.tr/uploads/2020/07/gaziantep-ccap-tr-final-20111102.pdf, Gaziantep, 2016.
[22] Hatay Büyükşehir Belediyesi, «Hatay İli Sera Gazı Emisyon Envanteri ve İklim Değişikliği Eylem Planı,» http://matchupantalya.org/Uploads/0e0677f19cf544e584e5545819062bd3.pdf, Hatay, 2019.
[23] Kahramanmaraş Büyükşehir Belediyesi, «Kahramanmaraş Büyükşehir Belediyesi İklim Değişikliği Eylem Planı,» http://matchupantalya.org/Uploads/1ae0084fb8e74bcd80b5d00c82a0fc88.pdf, Kahramanmaraş, 2017.
[24] B. P., «Guidebook 'How to develop a Sustainable Energy and Climate Action Plan (SECAP)',» Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2018.
[25] GPC, «Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories An Accounting and Reporting Standard for Cities,» C40, ICLEI, WRI, 2014.
[26] Wei T., Wu J., Chen S., «Keeping Track of Greenhouse Gas Emission Reduction Progress and Targets in 167 Cities Worldwide,» Frontier Sustainable Cities, no. 3:696381, 2021.

KARBON VERGİSİNİN ULAŞTIRMA KAYNAKLI SERA GAZI EMİSYONLARI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ: İSTANBUL ÖRNEĞİ

Tuğba DOĞAN GÜZEL[1], Ece Gizem ÇAKMAK[1], Kadir ALP[2]

[1] *TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi 41470, Gebze/KOCAELİ tugba.dogan@tubitak.gov.tr, gizem.cakmak@tubitak.gov.tr*

[2] *İstanbul Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 34469, Maslak/İSTANBUL kalp@itu.edu.tr*

Özet

Günümüzde küresel ölçekteki en önemli problemlerden biri olan iklim değişikliğinin olumsuz etkilerine karşı küresel düzeyde çözüm bulunabilmesi amacıyla çeşitli adımlar atılmakta, ülkeler sera gazı emisyon azaltım hedeflerini belirlemektedir. Küresel sera gazı salımlarının azaltılmasına katkı sağlayacak en önemli bileşenlerden birini ulaştırma sektörü oluşturmaktadır. Ülkemizde ulaştırma sektörü gün geçtikçe gelişim göstermekte, ulaşım talebindeki artışa bağlı olarak sera gazı emisyonları da gün geçtikçe artmaktadır. Bu doğrultuda, bu çalışma kapsamında İstanbul'da ulaştırma sektörünün iklim değişikliğine olan etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Türkiye'de trafik yoğunluğunun en fazla olduğu şehirlerinden biri olan İstanbul için ulaştırma sektörü kaynaklı sera gazı emisyonlarının mevcut durum için hesaplanması ve ileriye yönelik sera gazı emisyonu projeksiyonlarının yapılmasının yanı sıra, karbon vergisi senaryoları oluşturulması ve bu senaryoların gelecekte sera gazı emisyonları üzerinde ne gibi etkileri olacağının değerlendirmesi yapılmıştır. Karbon vergisi senaryoları ile karbon emisyonlarına getirilecek bir vergi ile teknoloji yatırımlarının ne yönde değişeceği, yakıt tüketimleri ve emisyon azaltım miktarlarının ne olacağının belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu kapsamda, karbon vergisi senaryoları 2030 yılı itibariyle emisyon maliyeti ton başına 5$, 10$ ve 20$ olmak üzere üç farklı şekilde incelenmiştir. Çalışmada TIMES (The Integrated MARKAL-EFOM System) Modeli kullanılmış olup, sera gazı salımı açısından en büyük paya sahip olan karayolu ulaşımına ek olarak kent içi raylı ulaşım, ulusal havayolu ve denizyolu ulaşımı ele alınmıştır. Çalışma sonucunda, ton başına 5$, 10$ ve 20$ karbon vergisi getirildiğinde 2055 yılında baz senaryoya oranla sırasıyla yakıt tüketimlerinde %12, %14 ve %16, sera gazı emisyon salımlarında ise %13,6, %15 ve %16,3 oranında azaltım elde edilmiştir.

Abstract

Various actions are taken to find solutions for the negative impacts of climate change, which has become one of the most important problems on a global scale in recent years while countries are defining their greenhouse gas emission reduction targets. In this sense, the transportation sector constitutes one of the important components contributing to the mitigation of global greenhouse gas emissions. In Turkey, the transportation sector is developing day by day and greenhouse gas emissions are increasing due to the increase in transportation demand. In this direction, within the scope of this study, it is aimed to examine the impact of the transportation sector on climate change in Istanbul which is one of the cities with the highest traffic density in Turkey. Greenhouse gas emissions originating from the transportation sector of Istanbul for the current situation were calculated, greenhouse gas emission projections were completed and the impacts of different carbon tax scenarios on future greenhouse gas emissions were evaluated. It is aimed to determine how the technology investments will change with the tax to be imposed on carbon emissions, in addition to fuel consumptions and emission reductions. In this context, carbon tax scenarios have been analyzed in three different ways, with emission costs of $5, $10 and $20 per ton by 2030. TIMES (The Integrated MARKAL-EFOM System) Model was used within the scope of the study. The transportation sector in model covers urban railway, national aviation and water-borne navigation, in addition to road transportation, which has the largest share in terms of greenhouse gas emissions. As a result of the study, when the carbon tax of $5, $10 and $20 per ton is introduced, compared to the baseline scenario in 2055, 12%, 14% and 16% reductions in fuel consumption and 13.6%, 15% and 16.3% reductions in greenhouse gas emissions were achieved, consecutively.

Keywords: Climate change, greenhouse gas emissions, carbon tax, transportation, Istanbul

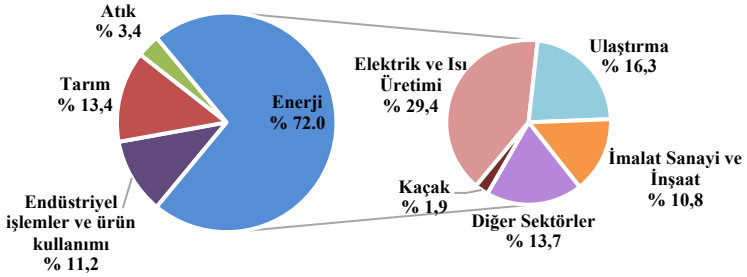
1. GİRİŞ

Günümüzde küresel ölçekteki en önemli problemlerden biri iklim değişikliği olup; son yıllarda kuraklık ve çölleşme, yağış rejiminde anormal değişimler ve aşırı hava olayları, orman yangınlarında artış ve buzulların erimesi gibi iklim değişikliğinin sonucu olarak meydana gelen olaylardaki artış dikkat çekmektedir. Güneşten gelen radyasyon oranının değişmesine bağlı olarak küresel sıcaklığın artması, dünyanın prezisyon etkisi ve El Nino hareketi gibi etkenler iklim değişikliğinin doğal sebeplerini, hızlı nüfus artışı, tüketim eğiliminin artması, sanayileşme, enerji üretimi ve fosil yakıtların kullanılması gibi etkenler ise antropojenik sebepleri oluşturmaktadır. Özellikle fosil yakıtların yanması nedeniyle sanayi öncesi dönemden bu yana, küresel ortalama yüzey sıcaklığında 1°C artış olmuştur. Öte yandan, İnsan faaliyetleri, günümüzdeki atmosferik CO_2 konsantrasyonunu sanayi devrimi öncesi seviyenin neredeyse %50 üzerine çıkarmıştır. 1850 yılında 280 ppm olarak ölçülen konsantrasyon 2021 yılında 416 ppm seviyesine ulaşmıştır [1].

Sera gazı emisyon salımlarının devam etmesi sonucu iklim sisteminin tüm bileşenlerinde daha fazla ısınma ve uzun süreli değişiklikler meydana gelecek olup, insanlar ve ekosistemler için ciddi, yaygın ve geri döndürülemez etkilerin olma ihtimali artacaktır (IPCC, 2014). Gelecekteki durumun hayali olarak ortaya konması veya alternatif senaryoların değerlendirilmesi amacıyla yapılan modelleme çalışmaları [2] ile, iklimde meydana gelebilecek değişimler ve bu değişimlerin etkilerinin doğru saptanabilmesi amaçlanmaktadır. Türkiye için iklim projeksiyonları, ülkemizin iklim değişikliğinden gelecekte nasıl etkileneceğinin belirlenmesi amacıyla Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından geliştirilmektedir. Yapılan güncel çalışmada RCP4.5 senaryosuna göre 2016-2099 döneminde Türkiye yıllık ortalama sıcaklıklarının ortalama olarak 1,5-2,6°C aralığında, RCP8.5 senaryosuna göre ise 2,5- 3,7°C aralığında artması beklenmektedir. Yağışlarda genel olarak azalma beklenmekle birlikte sürekli bir artış ya da azalış trendi olmadığı ve yağış düzensizliklerinin artma eğiliminde olduğu sonucuna varılmıştır [3].

İklim değişikliğinin olumsuz etkilerine karşı küresel düzeyde çözüm bulunabilmesi amacıyla uluslararası müzakere süreçleri sürdürülmekte ve çeşitli adımlar atılmaktadır. Küresel ısınmanın sanayi öncesi seviyelere kıyasla 2°C'nin çok altında, tercihen 1,5°C derece ile sınırlandırılmasını hedefleyen Paris Anlaşması, 12 Aralık 2015 tarihinde Paris'te gerçekleştirilen 21. Taraflar Konferansı'nda kabul edilmiş ve 4 Kasım 2016 tarihinde yürürlüğe girmiştir. 22 Nisan 2016 tarihinde Anlaşma'yı imzalayan Türkiye, 6 Ekim 2021 tarihi itibariyle Türkiye Büyük Millet Meclisi'nde onaylamıştır. Ülkeler, kendi yerel koşulları ve yeteneklerini dikkate alarak hazırladıkları sera gazı emisyonlarını azaltım hedeflerini BMİDÇS Sekreteryası'na iletmektedir. Ülkemiz de sera gazı emisyonlarında 2030 yılında artıştan %21 oranında azaltım katkısı hedeflediğini beyan etmiştir. Bu hedefe ulaşılmasında önem arz eden sektörlerden biri de ulaştırma sektörüdür.

Ülkemizde ulaştırma sektörünün 2019 yılı birincil enerji tüketimi 27,7 milyon TEP ile sektörel tüketimler arasında toplam sanayi tüketiminden sonra ikinci sırada yer almaktadır. Ulaştırma sektörü birincil enerji tüketiminin yaklaşık %93'ünü karayolları, %4,2'sini havayolları, %1,4'ünü denizyolları, %1'ini boru hatları ve %0,7'sini demiryolları oluşturmaktadır [4]. Öte yandan ulaştırma sektörü kaynaklı sera gazı emisyon miktarı 82,4 MtonCO_2e ile toplam salımların %16,3 ve enerji sektörü salımlarının %23'ünü kapsamaktadır (Şekil 1). Ulaştırma sektörünün özellikle son yıllarda göstermekte olduğu büyük gelişim ile birlikte kaynak tüketimi ve sera gazı salımları artmaya devam etmektedir.



Şekil 1. Sera gazı emisyonunun sektörlere göre dağılımı.

Ulaştırma sektörünün 2010 yılına göre sera gazı salımlarında yaklaşık %82 gibi önemli bir artış söz konusudur. Alt kategori bazında sera gazı emisyonlarının %93'ünü oluşturan karayolu kaynaklı sera gazı emisyonları %92 ile en fazla artışı göstermiş, %23 ile havayolu takip etmiştir. Demiryolu ve denizyolu kaynaklı sera gazı emisyon miktarında ise sırasıyla %23 ve %28 azalma olmuştur [5].

Ulaştırma sektörü kaynaklı sera gazı emisyonlarının azaltılması noktasında elektrikli ve hibrit araçların yaygınlaştırılması, toplu ulaşımın etkinleştirilmesi, bisiklet kullanımının arttırılması, raylı ulaşım hatlarının arttırılması ve akıllı ulaşım sistemleri gibi hedef ve eylemler önem arz etmektedir. Öte yandan, dünya ülkelerinde de benzer seçenekler ele alınmakta ancak bunlara ek olarak karbon vergisi ya da fosil yakıtlı araçların kullanımının sınırlandırılması gibi köklü değişikliklere gidilmektedir. Karbon fiyatlandırması, karbondioksit emisyonlarına bir ücret veya bir üst sınır getirerek atmosfere salınan karbondioksit miktarını azaltmayı amaçlamaktadır. Ulaştırma sektörü için karbon fiyatlandırması genellikle yakıtlarının yakılması için geçerli olup; yakıt fiyatlarını yükselterek daha temiz araçların (elektrikli araçlar gibi) ve alternatif seyahat yöntemlerinin (toplu taşıma gibi) kullanılmasını teşvik etmektedir. Karbon vergileri, diğer birçok enerji tasarrufu ve emisyon azaltma stratejisinden daha fazla toplam fayda sağlama eğilimindedir, çünkü aynı zamanda daha az trafik sıkışıklığı, yol ve park maliyetleri ve kazalar gibi yan faydalar da sağlamaktadır. Bir karbon fiyatının yakıt ekonomisi değişimi üzerindeki etkisi, seçilen karbon fiyatının katılığı (vergi oranı veya tavan seviyesi) ve araç filosunun bileşimi dahil olmak üzere birçok faktöre bağlı olmaktadır. Karbon fiyatı ne kadar yüksek olursa, yakıt ekonomisi değişimini o kadar fazla etkilemektedir [6]. Mevcut durumda, küresel sera gazı emisyonlarının %5,6'sını temsil eden ve aralarında Arjantin, Şili, Kanada, Danimarka, Fransa, Letonya, Norveç, Polonya, Birleşik Krallık ve Japonya'nın da bulunduğu 32 ülke karbon vergisi uygulamaktadır [7]. İsveç 139 ABD$/$tCO_2$e ile en yüksek karbon vergisini uygulayan ülke olup, 101 ABD$/$tCO_2$e ile İsviçre ve 77 ABD$/tCO_2e ile Finlandiya takip etmektedir. Norveç, Fransa, İzlanda ve Danimarka için karbon vergileri sırasıyla 64, 55, 36 ve 29 ABD$/$tCO_2$e'dir. Portekiz, Şili, Estonya, Polonya gibi ülkelerde ise karbon vergileri 10 ABD$/$tCO_2$e altındadır [8].

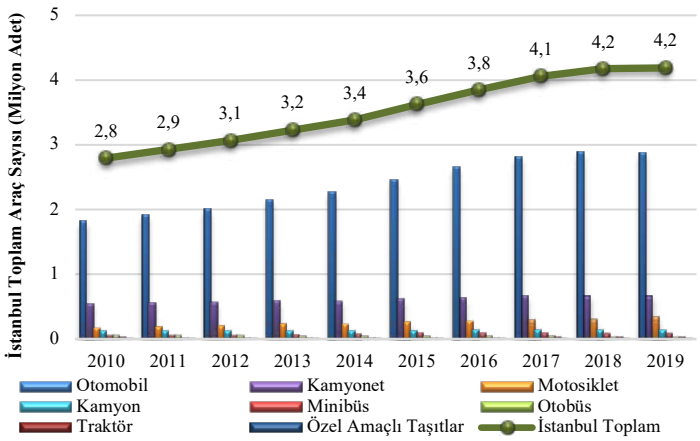
Bu doğrultuda, Türkiye'de trafik yoğunluğunun en fazla olduğu şehirlerinden biri olan İstanbul için ulaştırma sektörünün iklim değişikliğine olan etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Ulaştırma sektörü kaynaklı sera gazı emisyonlarının mevcut durum için hesaplanması ve ileriye yönelik sera gazı emisyonu projeksiyonlarının yapılmasının yanı sıra, karbon vergisi senaryoları oluşturulması ve bu senaryoların gelecekte sera gazı emisyonları üzerinde ne gibi etkileri olacağının değerlendirmesi yapılmıştır.

2. MATERYAL METOD

2.1. Çalışma Alanı

Türkiye'nin kuzeybatısında Marmara Bölgesi'nde yer alan ve Avrupa ile Asya kıtalarını birbirine bağlayan İstanbul, Tekirdağ ve Kocaeli illeri ile komşudur. Uluslararası bir su yolu olan İstanbul Boğazı, Asya ile Avrupa kıtalarını birbirinden ayırmakta ve Marmara Denizi ile Karadeniz'i birbirine bağlamaktadır. Uluslararası deniz taşımacılığının yapılabildiği en dar geçit olma özelliğini taşıyan Boğaz üzerinde 15 Temmuz Şehitler Köprüsü, Fatih Sultan Mehmet Köprüsü ve Yavuz Sultan Selim Köprüsü olmak üzere 3 adet asma köprü bulunmaktadır [9,10]. Ülke yüzölçümünün yalnızca %0,7'sini oluşturan İstanbul, 15,52 milyon nüfusu ve 15.285 ABD Doları kişi başı gayri safi yurtiçi hasıla (GSYİH) değeri ile Türkiye'nin en büyük ve en gelişmiş metropol şehridir [11].

İstanbul'da şehir içi ulaşım karayolu, raylı sistem ve denizyolu ile sağlanmaktadır. İstanbul Boğazı şehir içi ulaşımda olduğu kadar uluslararası ulaşımda da önemli bir rol oynamaktadır. Anadolu ve Avrupa Yakası'nda toplamda 2 adet havalimanı olan İstanbul, stratejik konumu sebebiyle dünyanın en önemli havacılık merkezlerinden biri olarak hizmet etmektedir. Özel ulaşımın ve araç sahipliğinin önemli derecede etkin olduğu ilde karayolu ulaşımı, ulaşım ağında en önemli paya sahiptir. İstanbul'daki toplam motorlu kara taşıtı sayısı 2010 yıldan bu yana %50 oranında artış göstererek 4,2 milyona ulaşmış olup (Şekil 2), araçların yaklaşık %69'unu otomobiller oluşturmaktadır [12].



Şekil 2. İstanbul motorlu kara taşıtı sayısının değişimi.

Ülke genelinde iniş-kalkış yapan uçak sayısının %45'i, yolcu sayısının %50'si ve taşınan yükün %73'ü İstanbul'da bulunan havalimanlarında gerçekleşmektedir. İniş-kalkış yapan uçak sayısı 2010 yılından beri %79 artış göstermiş olup, 2019 yılı uçuşlarının %66'sını uluslararası dış hat uçuşları oluşturmuştur. [12]. Öte yandan, 2019 yılında %56'sı Türk bayraklı olmak üzere İstanbul limanlarına toplamda 5264 gemi uğramış olup; bu değer bir önceki yıla göre %46, 2011 yılına göre %54 oranında azalma göstermiştir. Öte yandan, İstanbul Boğazı'ndan 38,4 bin gemi geçişi olmuştur. Boğazlardan geçiş yapan gemi sayısı 2010 yılına göre %25 oranında azalmıştır [13]. Gemi geçiş sayılarındaki azalmanın temel sebebinin gemi boyutlarının büyümesi olduğu düşünülmektedir.

Diğer bir yandan, nüfus yoğunluğun ve kentiçi hareketliliğin fazla olması sebebiyle İstanbul'da toplu ulaşım özellikle trafik tıkanıklığının azaltılması açısından büyük önem arz etmektedir. İstanbul'da toplu ulaşım otobüs, metrobüs, minibüs, taksi, dolmuş, servisler, metro, tramvay, teleferik, füniküler, Marmaray, yolcu vapurları ve deniz otobüsleri ile sağlanmaktadır. Toplu taşımada en yüksek pay %77,1 ile karayoluna aittir. Bu oranı sırasıyla %18,6 ile raylı sistem ve %4,3 ile denizyolu ulaşımı izlemektedir [14].

2.2. TIMES Modeli

Optimizasyon modelleri, çeşitli teknik, finansal ve çevresel kısıtlamalar ile amaç fonksiyonuna dayalı olarak teknoloji konfigürasyonlarını dikkate almakta ve enerji sistemlerinin en düşük maliyetle işlemesini sağlayacak optimum çözümleri bulmayı amaçlamaktadır. Temelden yukarı modelleme yaklaşımında en fazla kullanılan araçlar olup, uzun dönemli değerlendirme yapma imkanı sunmaktadırlar. Çalışma kapsamında kullanılan TIMES (The Integrated MARKAL-EFOM System) modeli bir optimizasyon modeli olup, uzun dönemde yerel, ulusal veya çok bölgeli bir enerji sistemindeki dinamiklerin tahmini için teknoloji açısından zengin bir temel sunmaktadır. Genellikle tüm enerji sektörünün analizinde kullanılmakta olan TIMES, aynı zamanda tek bir sektörün incelenmesi için de uygulanabilmektedir. Nihai enerji talepleri kullanıcı tarafından tahmin edilmektedir. Kullanıcı tarafından modele girilen mevcut ve gelecekteki teknolojilerin özellikleri ile mevcut ve gelecekteki birincil enerji arzı kaynakları ve potansiyellerine ilişkin tahminler, TIMES modeli tarafından girdi olarak kullanılmaktadır. Model, eşzamanlı olarak ekipman yatırım ve işletme, birincil enerji arzı ve enerji ticareti kararları verme yoluyla çevresel kriterleri de dikkate alarak minimum küresel maliyette enerji hizmetleri tedarik etmeyi amaçlamaktadır. Modelin kapsamı, tamamen enerji odaklı konuların ötesinde, çevresel emisyonların temsiline kadar uzanmaktadır. TIMES modeli senaryo yaklaşımını ele almakta olup, farklı senaryolar altında enerji sektörünün gelecekteki olası durumunun araştırılmasına olanak sağlamaktadır [15].

TIMES modelleri, birincil kaynaklardan enerji hizmetlerinin tedarikine kadar tüm adımları kapsamaktadır. Enerji arzı tarafı, yakıt madenciliği, birincil ve ikincil üretim ile ithalat ve ihracatı kapsamaktadır. Çeşitli enerji taşıyıcıları aracılığıyla enerji, sektörel olarak konut, hizmet, tarım, ulaşım ve sanayi şeklinde yapılandırılmış talep tarafına ulaştırılmaktadır. Enerji arz tarafının aracıları üreticiler, enerji talep tarafının aracıları ise tüketiciler olup, bu üreticiler ile tüketiciler arasındaki matematiksel, ekonomik ve mühendislik ilişkileri, TIMES modellerinin temelini oluşturmaktadır. Tüm TIMES modelleri teknolojiler, emtialar ve emtia akışları olmak üzere üç temel elemandan oluşmakta olup, kaynaktan nihai talebe kadar olan enerji

sistemini gösteren bir ağ diyagramını ifade eden Referans Enerji Sistemi (RES) esas alınarak düzenlenmektedir [16]. TIMES modelinde amaç, sistem maliyetini en aza indirmek olup, amaç fonksiyonunda tüm maliyet unsurları kullanıcı tarafından seçilen yıla uygun şekilde indirgenmektedir. TIMES modelinin eş zamanlı karar verme sürecinde kullandığı temel denklem (1) şu şekildedir:

$$NPV = \sum_{r=1}^{R} \quad \sum_{y \in YEARS} \left(1 + d_{r,y}\right)^{REFYR-y} . ANNCOST(r,y) \qquad (1)$$

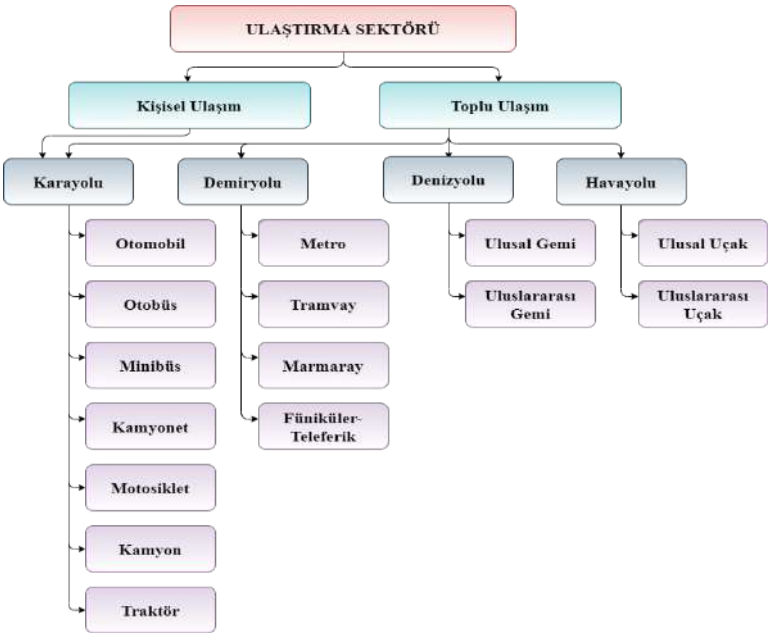
Denklemde;

- NPV: Tüm bölgeleri için toplam maliyetin net bugünkü değeri (TIMES amaç fonksiyonu)
- ANNCOST(r,y): r bölgesinde ve y yılındaki toplam yıllık maliyet
- dr,y: Genel iskonto oranı
- REFYR: İskonto referans yılı
- YEARS: Maliyetlerin olduğu yıllar grubu
- r: çalışma alanı bölgeler
- R: çalışma alanındaki bölgeler kümesidir.

2.3. Ulaştırma Sektörü Model Yapısı

TIMES modelindeki ulaştırma sektörü karayolu, demiryolu, denizyolu ve havayolu olmak üzere dört alt kategoride değerlendirilmekte olup, her bir kategoride toplu ulaşım araçları ayrı olarak değerlendirilmiştir. Bu kapsamda, karayolu ulaşımında temel araç kategorileri, otobüs, otomobil, minibüs, motorsiklet, metrobüs, kamyon, kamyonet ve traktör olarak belirlenmiştir. Demiryolu için tramvay, metro, marmaray ve füniküler-teleferik, havayolu için ulusal ve uluslararası uçak ve denizyolu için gemi araç kategoriler ele alınmıştır. Modelin ulaştırma modları Şekil 3'te görülmektedir.

Modelde temelde üç tip emtia tanımlanmıştır. Bunlar, emisyonlar, talepler ve teknoloji girdilerini oluşturan yakıtlardır. Sera gazı emisyonları karbondioksit (CO_2), metan (CH_4) ve nitröz oksit (N_2O) emisyonlarından oluşmaktadır. Öte yandan, karayoluna ilişkin talepler milyar araç kilometre (Bv-km) olarak, demiryolu, denizyolu ve havayolu ulaşımı talepleri ise petajul (PJ) olarak hesaplanmıştır. Modelde tanımlanan yakıt türleri ise benzin, dizel, LPG, CNG, fuel-oil, hidrojen, jet yakıtı ve elektrik şeklindedir.



Şekil 3. Çalışmada ele alınan ulaştırma modları

2.4. Talep Tahminleri ve Model Girdilerinin Belirlenmesi

Karayolu ulaşımı talep tahminleri belirlenirken yapılan hesaplamalar çok sayıda alt bileşen içermektedir. Karayoluna ilişkin hesaplamalarda Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) istatistikleri, Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) Trafik ve Ulaşım Bilgileri, İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) Ulaşım Raporları, İstanbul Elektrik Tramvay ve Tünel İşletmeleri (İETT) Raporları vb. birçok veri kaynağı kullanılmıştır. Araç sayısı projeksiyonunun belirlenmesinde 15-64 yaş arası çalışabilir nüfus ve gayri safi yurtiçi hasıla (GSYİH) verileri kullanılarak regresyon analizi yapılmış ve 2055 yılı için 1000 kişi başına düşen araç sayısı 550 olarak belirlenmiştir. Toplam motorlu kara taşıtı sayısı ise 13.765.038'dir. Karayolu kategorisinde araç türleri resmi istatistiklerle uyumlu olacak şekilde; otomobil, minibüs, otobüs, kamyonet, kamyon, motosiklet, özel amaçlı taşıtlar ve traktör olmak üzere sekiz sınıfa ayrılmıştır. Bu sınıflandırmaya göre İstanbul araç sayıları yıllara sari olarak 2018 yılına kadar TÜİK'ten elde edilmiş ve her bir araç türünün toplam içerisindeki oranları belirlenmiştir. Otomobiller benzin ve dizel yakıtlı araçlar için emisyon sınıflarına ayrılmıştır. Tüm araçların ortalama araç-km değerleri kullanılarak karayolu talep tahminleri hesaplanmıştır.

Denizyolu ulaşımı talep tahminleri için gemi geçiş istatistikleri ve ulusal envanter raporunda yer alan yakıt tüketimi verileri kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır. Havayolu alt kategorisi için yine aynı şekilde uçuş istatistikleri ve yakıt tüketimi verilerinden talep tahminleri hesaplanmıştır. Demiryolu taşımacılığında metro, tramvay, füniküler ve teleferik hatlarına ait yolcu sayıları ve raylı sistemlere ilişkin yıllara sari elektrik tüketim verilerinden yolcu başına elektrik tüketimi elde edilmiş ve yolcu sayısı projeksiyonundan toplam talep yıllara sari olarak elde edilmiştir. Tüm alt kategorilere ilişkin toplam talep tahminleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Ulaşım sektörü talep tahminleri

Yıl	Karayolu (Bv-km)	Denizyolu (PJ)	Havayolu (PJ)	Demiryolu (PJ)
2016	399	9,1	20	1,2
2020	560	9,0	23	1,3
2025	618	10,4	28	1,5
2030	651	11,5	33	1,5
2035	731	12,0	38	11,4
2040	822	12,6	43	11,9
2045	926	13,1	48	12,5
2050	1087	13,7	53	13,0
2055	1271	14,1	58	13,5

Emisyon faktörleri, yakıt tüketim vb. aktivite verilerinin emisyonlara dönüştürülmesini sağlayan katsayılardır. Ulaştırma sektörünün ülkemize özgü emisyon faktörlerine ilişkin güncel veriler mevcut değildir. Bu sebeple, yapılan bu çalışmada IPCC emisyon faktörleri veya literatürde yer alan çalışmalardan derlenen verilerden (yakıt tüketimi, verimlilik, yakıtların yoğunluk ve kalori değerleri) hesaplanan emisyon faktörleri kullanılmıştır.

Maliyet, model için en kritik parametrelerden biri olup, çalışma kapsamında her bir teknoloji için ilk yatırım maliyeti ile işletme ve bakım maliyeti tanımlanmıştır. Maliyet parametreleri her bir alt sektör bazında talep birimine göre modele girilmiştir. Karayolu için Milyon $/Bv-km biriminde verilen maliyetler havayolu, demiryolu ve denizyolu için Milyon $/PJ biriminde olacak şekilde hesaplanmıştır. İskonto oranı model genelinde %10 olarak alınmıştır.

2.5. Senaryolar

Mevcut Durum Senaryosu

Mevcut durum senaryosu, mevcut plan ve politikaların sürdürüldüğü, emisyon azaltımına yönelik yeni önlemlerinin alınmadığı ve mevcut eğilimin devam ettiği senaryo olarak tanımlanmaktadır. Çalışmada baz yıl olarak 2016 yılı seçilmiştir. Teknolojilere ait verimlilik değerleri ve emisyon faktörlerinin baz yıl ile aynı olacağı varsayımı yapılmış, yıllara sari iyileştirme yapılmamıştır. Ayrıca, teknolojilere ait maliyet verileri dolar bazında modele girilmiş olup, yıllara göre değişiklik yapılmamıştır. Mevcut durum senaryosu modelde "BASE" olarak tanımlanmıştır.

Karbon Vergisi Senaryoları

Karbon vergisi senaryoları ile karbon emisyonlarına getirilecek bir vergi ile teknoloji yatırımlarının ne yönde değişeceği, yakıt tüketimleri ve emisyon azaltım miktarlarının ne olacağının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, karbon vergisi senaryoları üç farklı şekilde incelenmiş olup bu senaryolar aşağıda sıralanmıştır:

- CARBON_TAX_5: 2030 yılı itibariyle emisyon maliyeti ton başına 5$ olacak şekilde bir karbon vergisi tanımlanmıştır.
- CARBON_TAX_10: 2030 yılı itibariyle emisyon maliyeti ton başına 10$ olacak şekilde bir karbon vergisi tanımlanmıştır.
- CARBON_TAX_20: 2030 yılı itibariyle emisyon maliyeti ton başına 20$ olacak şekilde bir karbon vergisi tanımlanmıştır.

3. SONUÇ

Bu çalışmada sonuçlar, detayları bölüm 2'de açıklanan farklı senaryolar altında yakıt tüketimi, sera gazı emisyonları ve maliyet bazında değerlendirilmiştir.

3.1. Yakıt Tüketimi

Mevcut durum senaryosu ve karbon vergisi senaryolarına ilişkin alt kategori bazında yakıt tüketimi sonuçları Tablo 2 ve toplam yakıt tüketimi sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 4'te verilmiştir. Mevcut durum senaryosu için 2016 yılında toplamda 167 PJ olan yakıt tüketimi 2055 yılında 3,2 kat artış ile 533 PJ'a yükselmiştir. Yakıt tüketiminin büyük çoğunluğunu %82 ile karayolunun oluşturduğu görülmektedir. Bu oranı % 12 ile havayolu ve %5 ile denizyolu takip etmektedir. Demiryolu kaynaklı elektrik tüketimi ise %1 ile en düşük paya sahiptir.

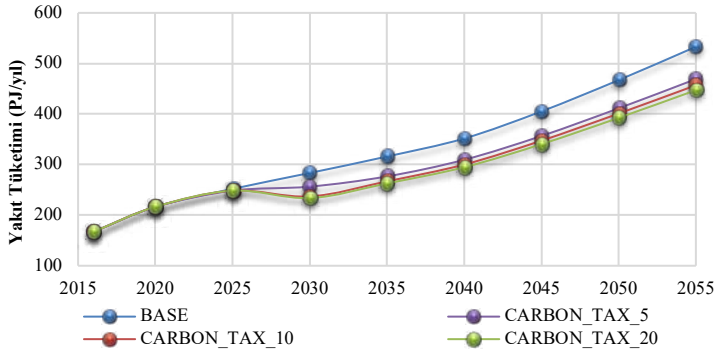
Tablo 2. Yakıt tüketimi sonuçları, PJ/yıl

BASE	**2016**	**2020**	**2025**	**2030**	**2035**	**2040**	**2045**	**2050**	**2055**
Havayolu	20	23	28	33	38	43	48	53	58
Karayolu	137	183	212	237	264	294	342	398	459
Demiryolu	1,2	1,3	1,5	1,7	1,8	1,9	1,9	2,0	2,1
Denizyolu	9,1	9,0	10,4	11,5	12,0	12,6	13,1	13,6	14,1
CARBON_TAX_5	**2016**	**2020**	**2025**	**2030**	**2035**	**2040**	**2045**	**2050**	**2055**
Havayolu	20	23	28	33	38	43	48	53	58
Karayolu	137	183	209	210	225	252	293	343	395
Demiryolu	1,2	1,3	1,5	1,7	1,8	1,9	1,9	2,0	2,1
Denizyolu	9,1	9,0	10,4	11,5	12,0	12,6	13,1	13,6	14,1
CARBON_TAX_10	**2016**	**2020**	**2025**	**2030**	**2035**	**2040**	**2045**	**2050**	**2055**
Havayolu	20	23	28	33	38	43	48	53	58
Karayolu	137	183	209	191	215	243	284	332	383
Demiryolu	1,2	1,3	1,5	1,7	1,8	1,9	1,9	2,0	2,1
Denizyolu	9,1	9,0	10,4	11,5	12,0	12,6	13,1	13,6	14,1
CARBON_TAX_20	**2016**	**2020**	**2025**	**2030**	**2035**	**2040**	**2045**	**2050**	**2055**
Havayolu	20	23	28	33	38	43	48	53	58
Karayolu	137	183	209	188	211	237	277	324	373
Demiryolu	1,2	1,3	1,5	1,7	1,8	1,9	1,9	2,0	2,1
Denizyolu	9,1	9,0	10,4	11,5	12,0	12,6	13,1	13,6	14,1

Yakıt türlerine göre sonuçlar irdelendiğinde dizel tüketiminin mevcut durumda oldukça baskın olduğu ve yıllar itibariyle toplam yakıt tüketimi içerisindeki payının da arttığı tespit edilmiştir. 2016 yılında toplam yakıt tüketiminin %66,4'ünü oluşturan dizel tüketim oranı, 2055 yılında %68,7'ye çıkmıştır. Öte yandan, benzin tüketimi oranı ise %13,5'ten %12,10'a gerilemiştir. Toplam yakıt tüketiminin %41'ini otomobiller oluşturmaktadır. Bu değeri %17 ile kamyonet, %12 ile otobüs ve uçak takip etmektedir.

Karbon vergisi uygulamasının her üç senaryoda da karayolu ulaşımı kaynaklı yakıt tüketimini etkilemiştir. Bunun başlıca sebebi, modelin karayolu alt kategorisinde daha esnek bir yapıya sahip olmasıdır. Örneğin; baz senaryoda 2055 yılında 7 PJ olan CNG tüketimi karbon vergisi getirilmesi durumunda 42 PJ üzerinde çıkmıştır.

Genel olarak üç senaryoda da karbon vergisinin getirildiği 2030 yılında dizel tüketiminde bir düşüş olmuş, karbon vergisinin en yüksek olduğu senaryoda LPG tüketimi sıfırlanmış ve benzin tüketiminde de ciddi oranda düşüş yaşanmıştır. Model diğer fosil yakıtlar yerine daha düşük emisyon faktörü olan CNG yakıtlı araçlara yönelmiş olup, 2055 yılında CARBON_TAX_20 senaryosunda optimum koşulları LPG ve benzini azaltıp, dizel ve CNG'yi arttırarak yakalamıştır.



Şekil 4. Toplam yakıt tüketimlerinin karşılaştırılması

Ton başına 5$, 10$ ve 20$ karbon vergisi getirildiğinde 2055 yılında baz senaryoya oranla sırasıyla %12, %14 ve %16 oranında yakıt tüketimlerinde azalma olmuştur.

3.2. Sera Gazı Emisyonları

Mevcut durum senaryosu ve karbon vergisi senaryolarına ilişkin alt kategori bazında sera gazı emisyon sonuçları Tablo 3 ve toplam sera gazı emisyon sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 5'te verilmiştir. Sera gazı emisyon sonuçları karbondioksit eşdeğeri olarak verilmiş olup, bu hesaplamada kullanılan küresel ısınma potansiyeli metan için 25 ve diazotmonoksit için 298 olarak alınmıştır. 2016 yılında toplamda 12,3 Mton CO_2e olan sera gazı emisyon miktarı yakıt tüketimi sonuçları ile paralel olarak 2055 yılında 3,2 kat artış sonucu 39,3 Mton CO_2e'ye yükselmiştir. Alt kategori bazında sera gazı emisyonu sonuçlarına göre karayolu kaynaklı SGE salımı 2016 yılında %83 ve 2055 yılında %87 ile en yüksek paya sahiptir. İkinci sırada gelen havayolunun sektör kaynaklı toplam emisyonlar içerisindeki payı ise %11 olarak belirlenmişir.

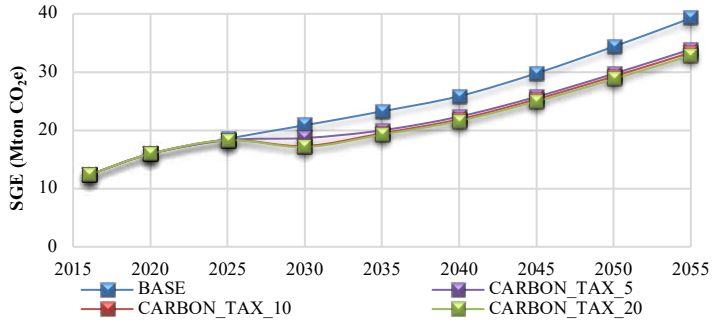
Tablo 3. Sera gazı emisyon sonuçları, Mton CO_2e/yıl

BASE	**2016**	**2020**	**2025**	**2030**	**2035**	**2040**	**2045**	**2050**	**2055**
Havayolu	1,4	1,6	2,0	2,4	2,7	3,1	3,4	3,8	4,2
Karayolu	10,2	13,6	15,8	17,6	19,6	21,8	25,4	29,5	34,0
Demiryolu	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Denizyolu	0,7	0,7	0,8	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,1
CARBON_TAX_5	**2016**	**2020**	**2025**	**2030**	**2035**	**2040**	**2045**	**2050**	**2055**
Havayolu	1,4	1,6	2,0	2,4	2,7	3,1	3,4	3,8	4,2
Karayolu	10,2	13,6	15,5	15,5	16,4	18,3	21,3	24,9	28,7
Demiryolu	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Denizyolu	0,7	0,7	0,8	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,1
CARBON_TAX_10	**2016**	**2020**	**2025**	**2030**	**2035**	**2040**	**2045**	**2050**	**2055**
Havayolu	1,4	1,6	2,0	2,4	2,7	3,1	3,4	3,8	4,2
Karayolu	10,2	13,6	15,5	14,1	15,9	17,9	20,9	24,4	28,1
Demiryolu	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Denizyolu	0,7	0,7	0,8	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,1
CARBON_TAX_20	**2016**	**2020**	**2025**	**2030**	**2035**	**2040**	**2045**	**2050**	**2055**
Havayolu	1,4	1,6	2,0	2,4	2,7	3,1	3,4	3,8	4,2
Karayolu	10,2	13,6	15,5	13,9	15,6	17,6	20,5	24,0	27,6
Demiryolu	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Denizyolu	0,7	0,7	0,8	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,1

Yakıt tüketimi ile uyumlu olarak emisyonların büyük çoğunluğu %68,5 ile dizel yakıtlardan kaynaklanmıştır. Bu değeri %13,5 ile benzin ve %11,4 ile jet yakıtı takip etmektedir. LPG, CNG ve Fuel-Oil kaynaklı emisyon oranları ise sırasıyla %4,8, %1 ve %0,8 olarak belirlenmiştir. Toplam sera gazı emisyonunun %40'ını otomobiller oluşturmaktadır. Bu değeri %17 ile kamyonet, %12 ile otobüs ve %11 ile uçak takip etmektedir.

Yakıt tüketiminde olduğu gibi sera gazı emisyonlarında da karbon vergisi uygulaması karayolu ulaşımı kaynaklı tüketim üzerinde değişiklik yaratmıştır. Genel olarak üç senaryoda da karbon vergisinin getirildiği 2030 yılında daha yüksek emisyon faktörüne sahip fosil yakıt kaynaklı emisyonlarda bir düşüş yaşanmıştır. Model maliyet optimizasyonu temeline dayanmaktadır. Bu çerçevede, 2055 yılında CARBON_TAX_20 senaryosunda optimum koşullar LPG ve benzinin azalıp, dizel ve CNG'nin artmasıyla yakalanmıştır. Burada

karbon vergisine ek teknolojilerin ilk yatırım ve işletme maliyetleri de model tarafından göz önüne alınmaktadır.

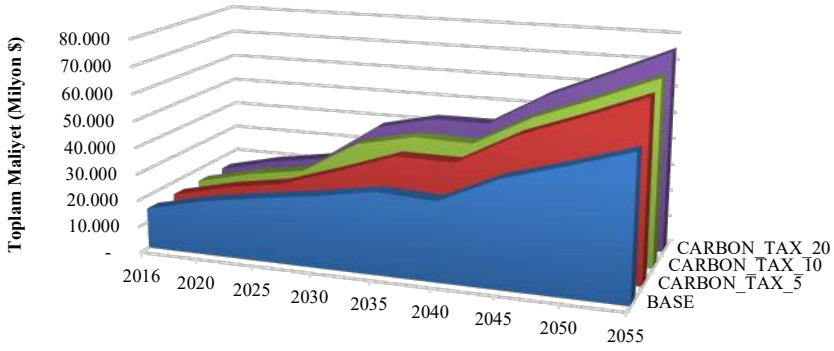


Şekil 5. Toplam sera gazı salımlarının karşılaştırılması

Ton başına 5$, 10$ ve 20$ karbon vergisi getirildiğinde 2055 yılında baz senaryoya oranla sırasıyla %13,6, %15 ve %16,3 oranında emisyon azaltımı olmuştur.

3.3. Maliyet

Modelde elde edilen maliyet sonuçları, birim talebin karşılanması için gerekli maliyetler olup, doğrudan satınalma veya işletme ve bakım maliyetlerini yansıtmamaktadır. Şekil 6'da 2035-2040 yılları arasında düşük verimliliğe sahip, emisyon kontrol teknolojisi bulunmayan araçların veya Euro1-Euro4 araçların trafikten çekilmesi ile 2040 yılı maliyetlerinde düşüş yaşandığı ya da önemli derecede artış olmadığı görülmektedir.



Şekil 6. Toplam maliyet sonuçlarının karşılaştırılması

Bu kapsamda mevcut durum senaryosu 2055 yılına gelindiğinde karbon vergisi senaryolarının maliyetleri baz senaryoya oranla CARBON_TAX_5, CARBON_TAX_10 ve CARBON_TAX_20 için sırasıyla %26, %31 ve %42 artış göstermiştir.

4. TARTIŞMA

Ulaştırma sektörü, enerji yoğun fosil yakıtların ikame edilmesinin yüksek maliyetlerine bağlı olarak karbonsuzlaştırmanın önündeki kilit bir engel olarak tanımlanmaktadır. Bu sebeple, ulaştırma sektörü kaynaklı karbon salımının azaltılması, küresel ve ulusal hedeflere ulaşmak için önemi giderek artan bir bileşen haline gelmiştir. Mevcut durumda yaygın olarak kullanılan fosil yakıtlı araçların günden güne daha verimli hale getirilmesi ile emisyonların bir miktar azaltılması mümkün olabilmekte ancak uzun vadeli hedeflere ulaşılmasına sınırlı katkı sağlamaktadır.

Bu çalışma kapsamında, İstanbul için ulaşım sektörü incelenmiş ve farklı karbon vergisi senaryolarının sera gazı emisyon azaltımını etkileyip etkilemediği araştırılmıştır. Çalışma sonucunda, ton başına 5$, 10$ ve 20$ karbon vergisi getirildiğinde 2055 yılında baz senaryoya oranla sırasıyla yakıt tüketimlerinde %12, %14 ve %16, sera gazı emisyon salımlarında ise %13,6, %15 ve %16,3 oranında azaltım elde edilmiştir.

TIMES modelleme sisteminin kullanıldığı ve 2012-2052 yılları için Türkiye'nin Enerji Sistemi'nin incelendiği bir çalışmada, karbon vergisinin sera gazı emisyonları üzerinde meydana getireceği azaltım miktarının değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Ton emisyon başına 10$, 20$ ve 30$ karbon vergisi uygulaması senaryoları ele alınmış olup, tüm enerji sistemin için sırasıyla %22,5, %24 ve %27,4'lük sera gazı emisyon potansiyeli öngörülmüştür. En yüksek azaltım toplamda %80'i oluşturacak şekilde elektrik üretim sektörü ve endüstri sektörlerinde görülmekte olup, ulaştırma sektörü kaynaklı sera gazı emisyon azaltım oranlarının bu çalışma kapsamında elde edilen azaltım oranları ile uyumlu olduğu anlaşılmaktadır [17].

Karbon vergisi uygulayan ülkeler ile Türkiye'nin çevresel performansları ele alındığında, 2018 yılı çevresel performans endeksi verilerine göre ülkemiz yaklaşık 53 puan ile 180 ülke arasında 108. sırada yer almaktadır. Hindistan dışındaki karbon vergisi uygulayan ülkelerin 70-85 puan aralığı ile ilk 30 ülke içerisinde yer aldığı görülmektedir. Dolayısıyla karbon vergisi uygulamasının çevresel performans açısından önemli bir gösterge olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca, alt başlıklar altında ele alındığında iklim ve enerji kategorisinde Türkiye yaklaşık 40 puanla 136. sırada yer almakta olup, karbon emisyonlarının azaltılmasına yönelik uygulamalara geçiş yapılması gerektiği değerlendirilmektedir [18].

Öte yandan, karbon vergileri sera gazı emisyonlarını azaltmada maliyet etkin bir yol olarak düşünülse de daha popüler hale gelmesi ve etkili bir politika seçeneği olarak uygulanması için çevre bilincinin artması önemlidir.

Son olarak, ulaştırma sektörü bazında İstanbul için gerçekleştirilmiş olan bu çalışmanın önemli çıktılar oluşturduğu düşünülmekte ve benzer çalışmalara örnek teşkil etmesi beklenmektedir.

5. KAYNAKÇA

[1]. NASA. (2021). Facts-Vital Signs. 23 Nisan 2021 tarihinde Global Climate Change- Vital Signs of the Planet: https://climate.nasa.gov/vital-signs/carbon-dioxide/ adresinden alındı.

[2]. Demircan, M., Gürkan, H., Arabacı, H., & Coşkun, M. (2017). Türkiye İçin İklim Değişikliği Projeksiyonları. 16. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı. Ankara: TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası.

[3]. MGM. (2015). Yeni Senaryolar ile Türkiye İklim Projeksiyonları ve İklim Değişikliği. Ankara: Meteoroloji Genel Müdürlüğü..

[4]. EİGM. (2021). Enerji Denge Tabloları. 21 Mart 2021 tarihinde http://www.eigm.gov.tr/tr-TR/Denge-Tablolari/Denge-Tablolari adresinden alındı.

[5]. TÜİK. (2021a). National Inventory Report-Turkish Greenhouse Gas Inventory 1990-2021. Ankara: Tükiye İstatistik Kurumu..

[6]. RFF. (2020). Carbon Pricing 202: Pricing Carbon in the Transportation Sector. 9 Mayıs 2021 tarihinde Resources for the Future: https://www.rff.org/publications/explainers/carbon-pricing-202-pricing-carbon-transportation-sector/#:~:text=When%20covering%20the%20transportation%20sector,(such%20as%20public%20transit). adresinden alındı.

[7]. WB. (2020). Key Statistics for 2020 on Initiatives Implemented or Scheduled for Implementation. 9 Mayıs 2021 tarihinde The World Bank-Carbon Pricing Dashboard: https://carbonpricingdashboard.worldbank.org/map_data adresinden alındı

[8]. WB. (2018b). State and Trends of Carbon Pricing 2018. Washington DC: World Bank Group.*FLEXChip Signal Processor (MC68175/D)*, Motorola, 1996.

[9]. <http://www.istanbul.gov.tr/>, erişim tarihi 02.02.2021.

[10]. <https://istanbul.ktb.gov.tr/>, erişim tarihi 02.02.2021.

[11]. TÜİK. (2021b). Nüfus ve Domografi. 7 Mayıs 21, 2021 tarihinde Türkiye İstatistik Kurumu: https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=nufus-ve-demografi-109&dil=1 adresinden alındı.

[12]. *TÜİK. (2021c). Ulaştırma ve Haberleşme İstatistikleri. 7 Mayıs 2021 tarihinde Türkiye İstatistik Kurumu: https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=ulastirma-ve-haberlesme-112&dil=1 adresinden alındı*.

[13]. DGM. (2021). Denizcilik İstatistikleri. Mayıs 2021 tarihinde T.C.Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı-Denizcilik Genel Müdürlüğü: https://denizcilikistatistikleri.uab.gov.tr/ adresinden alındı.

[14]. İETT. (2021). İstanbul`da Toplu Ulaşım. 12 Mayıs 2021 tarihinde İETT: https://iett.istanbul/tr/main/pages/istanbulda-toplu-ulasim/95 adresinden alındı.

[15]. Loulou, R., Goldstein, G., Kanudia, A., Lettila, A., & Remme, U. (2016). Documentation for the TIMES Model-Part I. Energy Technology Systems Analysis Programme.

[16]. ETSAP. (2017). Overview of TIMES Modelling Tool. International Energy Agency. 10 Haziran 2017 tarihinde The Energy Technology Systems Analysis Program (IEA-ETSAP): http://www.iea-etsap.org/web/Times.asp adresinden alındı.

[17]. Kumbaroğlu, G., Or, İ., Işık, M. (2017). Karbon Vergisi ile Sera Gazı Emisyonlarının Azaltımı: Türkiye Vakası. Uluslararası İlişkiler,14, 149-174.

[18]. Balı, S., & Yaylı, G. (2019). Karbon Vergisinin Türkiye'de Uygulanabilirliği. Üçüncü Sektör Sosyal Ekonomi Dergisi, 54/1, 302-319.

IŞIK KİRLİLİĞİNİN İKLİM KRİZİNE ETKİSİ

Örgen UĞURLU [1], Özge ÖZARABACI[2]

[1] Doç. Dr., Kocaeli Üniversitesi İİBF, Siyaset Bilimi ve Kamu Yönetimi Bölümü, Kentleşme ve Çevre Sorunları Anabilim Dalı. 41380 İzmit/KOCAELİ orgen.ugurlu@kocaeli.edu.tr.

[2] Doktora, Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Siyaset Bilimi ve Kamu Yönetimi Anabilim Dalı, 38039 Melikgazi / KAYSERİ o ozubal@gmail.com

Özet

Işık kirliliği; yanlış yerde, yanlış miktarda, yanlış yönde ve yanlış zamanda ışığın kullanılmasıdır. Dünya nüfusunun %83'ünden, Avrupa ve Amerika nüfusunun %99'undan fazlası ışık kirliliği altında yaşamaktadır. Türkiye için bu oran %97,8 düzeyinde tahmin edilmektedir. Kamaşan ışık, dikine ışık, ışık taşması, aşırı miktarda ışıklandırma biçimlerinde hatalı aydınlatmalar sonucunda meydana gelen ışık kirliliği aslında boşa giden enerjidir. Örneğin 2016 verilereine göre Amerika Birlişik Devletlerinde yılda 3,3 milyar dolar, İngiltere'de ise yılda 53 milyon sterlin tutarında enerjinin boşa gittiği tahmin edilmektedir. Kent ışıkları güneş ışıkları gibi, atmosferi temizleyen kimyasalları, örneğin NO_3 düzeylerini yaklaşık olarak % 7 oranında azaltarak ozon kirlenmesini % 5 oranında artırmaktadır. Tüm Dünyada tüketilen toplam elektrik enerjisi içinde aydınlatmanın payı %19 civarındadır ve bu 1,9 milyar ton CO_2'e eşdeğerdir. Yalnız elektrik enerjisi üretmek için atmosfere bırakılan sera gazları ile değil, bu gazların önemli yutaklarından olan yeşil alanlar ve biyolojik çeşitliliğin yaşam döngüsünde de kalıcı etkilere neden olduğu için ışık kirliliği doğrudan ve dolaylı olarak iklim krizi problemine eklemlenmektedir. Bu çalışma ile ışık kirliliği ve hatalı aydınlatma türleri tanımlanmak üzere ışık kirliliğinin yerküre üzerindeki canlılara verdiği zararlar ile küresel ısınma ve iklim değişikliği problemindeki payı irdelenecektir. Işık kirliliği nedeniyle bazı bitki ve hayvan türlerinin soyu tükenme tehlikesi ile karşı karşıya kalmaktadır. Dolayısıyla ışık kirliliği de diğer kirlilik türleri (hava-su-toprak-gürültü kirlilikleri) gibi çevre mühendisliği alanında tartışılması, politika ve strateji oluşturulması gereken alanlardan biridir.

Anahtar kelimeler: Işık kirliliği, İklim krizi, Çevresel Etki

Abstract

Light pollution is the use of light in the wrong place, in the wrong amount, in the wrong direction, and at the wrong time. More than 83% of the world's population and more than 99% of the population of Europe and America live under light pollution. For Turkey, this rate is estimated at 97.8%. Light pollution, which occurs as a result of faulty lighting in the form of glare, skyglow, light trespass, and clutter are wasted energy. For example, according to 2016 data, it is estimated that 3.3 billion dollars of energy per year in the United States and 53 million pounds per year in the UK are wasted. Urban lights, such as sunlight, reduce atmosphere-cleaning chemicals, for example NO_3 by approximately 7%, increasing ozone pollution by 5%. The rate of lighting in the total electrical energy consumed all over the world is around 19% and this is equivalent to 1.9 billion tons of CO_2. Light pollution is directly or indirectly added to the problem of climate crisis, not only with the greenhouse gases released into the atmosphere to produce electrical energy, but also because it causes permanent effects on the life cycle of green areas and biological diversity, which are important sinks of these gases. In this study, light pollution and bad lighting types will be defined, and the damage caused by light pollution to living things on earth and its share in the problem of global warming and climate change will be examined. Some plant and animal species are in danger of extinction due to light pollution. Therefore, light pollution, like other types of pollution (air-water-soil-noise pollution), is one of the areas that should be discussed in the field of environmental engineering, and policy and strategy should be formed.

Keywords: Light pollution, Climate crisis, Environmental Impact

BÜYÜK MENDERES HAVZASI'NDA İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN SU BÜTÇESİ ÜZERİNDE ETKİLERİ: FARKLI İKLİM MODELLERİ VE YANLILIK DÜZELTME YÖNTEMLERİ

***Zülküf İbrahim ERKOL*[1,*]*, İrem DALOĞLU ÇETİNKAYA*[2,*]**

[1],* Boğaziçi Üniversitesi, Çevre Bilimleri Enstitüsü

Özet

Büyük Menderes Havzası, Türkiye'nin en büyük havzalarından biridir. Hâlihazırda bir yandan havza alanının neredeyse yarısı tarımsal amaçlı kullanılırken, havzadaki tarım alanlarına ayrılan su miktarı havzadaki toplam su kullanımının %80'ine tekabül etmektedir. Dolayısıyla, iklim değişikliğinin Büyük Menderes Havzası'ndaki su temini üzerindeki etkisi oldukça önemli olacaktır. Bu çalışma, iklim değişikliğinin Büyük Menderes Havzası'nın su bütçesi (su arz ve talep dengesi) üzerindeki etkilerini Su ve Değerlendirme ve Planlama (WEAP) programını kullanarak modellemiştir. Havza için gelecekteki yağış, sıcaklık ve buharlaşma verileri, RCP 4.5 ve RCP 8.5 iklim senaryoları için CNRM-CM5.1 ve GFDL-ESM2M bölgesel dolaşım modelleri (BDM) ve HadGEM2-ES küresel dolaşım modelinin (KDM) çıktılarından elde edilmiştir. BDM'lerin ve KDM'lerin ham/işlenmemiş çıktıları için farklı istatistiksel yanlılık düzeltme yöntemleri (Lineer Ölçekleme (LS), Dağılım Haritalama (DM), Yerel Yağış Ölçeklendirme (PLIS), Yağışların Güç Dönüşümü (PTP)) uygulanmış ve WEAP modeli kullanılarak öngörülen iklim verilerindeki değişikliklerin havzanın hidrolojisine etkisini analiz edilmiştir.

Bu çalışmada, yanlılık düzeltmesi işlemlerinin etkisini ve farklı yanlılık düzeltme yöntemleri arasındaki farklılıkları anlamak için Büyük Menderes Havzası'ndaki 12 rezervuar (Erkol, 2020) için kalibrasyon ve validasyon süreçlerinden başarıyla geçmiş WEAP modelinden yararlanılmıştır. Rezervuar hacim değişimlerini incelediğimizde BDM olan CNRM-CM5.1 ve GFDL-ESM2M ve KDM HadGEM2-ES modellerinin birbirlerine benzer sonuçlar verdiği gözlemlenmektedir. HadGEM2-ES modeli ile elde edilen sonuçlar ise, toplam rezervuar hacimlerinde en fazla azalma oranlarına işaret etmektedir.

HADGEM2-ES modeli çıktıları ile elde edilen sonuçlar, farklı yanlılık düzeltme yöntemlerine bağlı olarak önemli farklılıklar göstermektedir. RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları altında, simülasyon süresi boyunca ortalama rezervuar hacmindeki düşüşler (2005-2018 arası tarihsel ortalama rezervuar hacmine göre) %3 ile %7 arasında bir fark göstermektedir. Öte yandan, CNRM-CM5.1'in çıktıları aracılığıyla elde edilen sonuçlar %5 daha düşük bir rezervuar su hacmini göstermektedir. Benzer şekilde, GFDL-ESM2M çıktıları üzerinden elde edilen sonuçlar da simülasyon periyodu boyunca önemli bir değişiklik göstermemektedir. Düşüş oranı ortalama olarak %6 civarındadır. Ancak hem CNRM-CM5.1 hem de GFDL-ESM2M çıktıları için uygulanan yanlılık düzeltme yöntemlerinin türü sonuçlar üzerinde çok büyük bir etki sahibi değildir. Sonuç olarak, RCM tabanlı sonuçlar için kullanılan yanlılık düzeltme yöntemlerinin anlamlı bir fark yaratmadığı, ancak kullanılan yöntemin etkisinin GCM tabanlı sonuçlarda daha güçlü olduğu ortaya konmuştur.

Keywords: Büyük Menderes Havzası, iklim modelleri, WEAP, yanlılık düzeltme yöntemleri, su bütçesi

1. GİRİŞ

İklim değişikliği nedeniyle sel, kuraklık ve sıcak hava dalgaları gibi aşırı olayların sıklığı artmıştır. Bu nedenle, iklim değişikliğinin ekosistemler üzerindeki etkilerini özellikle yüzey suları üzerindeki etkileri modellemek daha hayati hale geldi. İklim değişikliği etkilerinin modellenmesindeki başarı ise iklim değişikliği projeksiyon verilerinin ne kadar tutarlı ve temsili olduğuna bağlıdır. İklim projeksiyon verileri için, iklim koşullarındaki değişiklikleri nicel olarak değerlendirmek amacıyla küresel dolaşım modelleri (KDM'ler) ve Bölgesel Dolaşım Modelleri (BDM'ler) kullanılmaktadır (Hagemann vd., 2011).

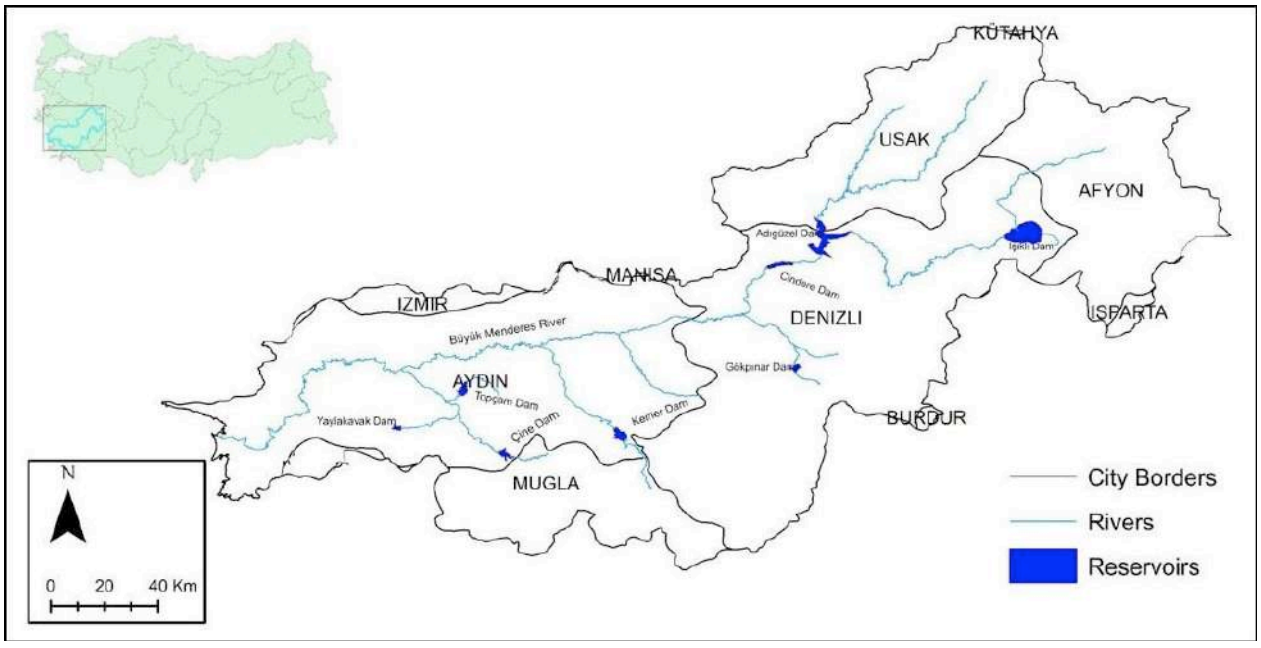
KDM'lerin çözünürlüğü 12 km ile 100 km arasında değişirken, ölçekleri küresel ve/veya bölgeseldir (Chen vd., 2019). KDM'lerin nispeten daha yüksek seviyedeki çözünürlükleri ve yine araştırma alanıyla karşılaştırıldığında büyük olan ölçekleri, hidrolojik modellerin ekseriyetle küçük ölçeklerde yapılması durumuyla çelişmektedir (Olsson vd., 2017, Yuan vd., 2020). Öte yandan, her ne kadar BDM'lerin çözünürlüğü ilerleyen hesaplama teknolojileri sayesinde ciddi oranda artsa bile, mevcut BDM'lerin en yüksek uzamsal çözünürlüğü en fazla 5 km'dir. Nitekim yüksek çözünürlüklü veriler de ODKA (Orta Doğu ve Kuzey Afrika) gibi bölgeler için mevcut değildir. (Rummukainen, 2016; Rockel vd., 2015). Bu nedenle, iklim değişikliği etkilerini daha küçük ölçeklerde incelemek için, KDM'lerin ve/veya BDM'lerin çıktılarına dayalı olarak yerel ölçekli ve daha yüksek çözünürlüklü iklim verisetleri oluşturmak için yanlılık düzeltme işlemlerinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir (Wilby, 2017). KDM ve BDM'lerin nispeten düşük çözünürlüğünün yanı sıra, gerçek dünyanın gerçek yapısının basitleştirilmesi (tüm modellerin kaçınılmaz bir özelliği olarak), iklim sistemi hakkındaki eksik bilgi ve model yanlılığının iklim değerlendirmeleri üzerindeki etkisi gibi faktörler iklim değişikliği etki modelleme çalışmaları için yanlılık düzeltme (YD) işlemlerinin uygulanmasını şart kılmaktadır. (Dierickx, 2019).

YD işlemleri için iki tür yöntem kullanılır: istatistiksel ve dinamik yanlılık düzeltme (Fowler vd., 2007). Her iki yöntemde de amaç, tarihsel dönem süresince gözlemlenmiş ve modellenmiş olan iki veri seti arasındaki ilişkiyi kullanarak gelecekteki simüle edilmiş modelin işlenmemiş çıktılarını dönüştürmek veya haritalamaktır (Lee & Singh, 2019).

YD işleminin iklim değişikliği etki çalışmalarındaki önemi göz önünde bulundurulduğunda, bu çalışma, kullanılan YD yönteminin farklı iklim değişikliği senaryoları ve modelleri altında BMH'nin su bütçesinin model sonuçları üzerindeki etkiyi ortaya koyacaktır.

2. Çalışma Alanı

BMH, Türkiye'nin en büyük 8. havzasıdır ve yaklaşık 25.000 km^2'lik bir alanı kaplar (DSİ, 2010). BMH'nin drenaj alanı ise Türkiye'nin yaklaşık %3'üne denk düşmektedir (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2016). Havza temel olarak ismini de almış olduğu ana nehir Büyük Menderes Nehri'nden oluşmaktadır. Şekil 1'de görüldüğü gibi nehir Afyon'un Dinar ilçesinden doğar ve Uşak, Denizli ve Aydın üzerinden Ege Denizi'ne dökülür (Büke vd., 2013). Hâlihazırda havza alanının neredeyse yarısı tarımsal amaçlı kullanılırken, havzadaki tarım alanlarına ayrılan su miktarı havzadaki toplam su kullanımının %80'ine tekabül etmektedir. 1975 ve 2009 yılları aralığı için alınan havza ortalama yaz sıcaklığının 20-22 °C ve ortalama kış sıcaklığı 6-8 °C civarında olduğunu göstermektedir. Yıllık toplam yağış oranı ise aynı tarihsel aralıkta yaklaşık 600 mm civarındadır. Havzanın üst kesimlerinde yer alan Uşak ve Denizli'ye kıyasla Aydın ve Muğla'da hem ortalama sıcaklık hem de yıllık toplam yağış oranları nispeten daha yüksektir (TÜBİTAK, 2010).



Şekil 1. Su arz kaynakları ve şehir sınırları ile BMH haritası.

3. WEAP

WEAP, değişen hidrolojik koşullar ve farklı politika senaryoları çerçevesinde havzaların su bütçesini tahmin etmek amacıyla kullanılan bir modelleme programıdır (Yates vd., 2005). WEAP şimdiye kadar hem iklim koşullarını hem de su kullanım davranışlarını entegre ederek havzanın su bütçesini oluşturmak için kullanılmıştır (Ougougdal vd., 2020; Yang vd., 2020). Bir su bütçesi modelleme aracı olarak WEAP, araştırmacılardan çalışma alanlarına ilişkin hem su arzı hem de talep veri setlerini talep eder. Bu veri setleri ile WEAP, farklı kaynaklardan (yani akiferler ve rezervuarlar) su temini ile sanayi, belediyeler, haneler ve tarımsal üretim gibi çeşitli kullanıcıların su talebinden oluşan bir su muhasebesi ortaya çıkarır. Havzanın su bütçesi kalibre edilip validasyon işlemine tabi tutulduktan sonra, bu modeller aynı zamanda tahmin amacıyla da kullanılır (Yates vd., 2005).

4. Yanlılık Düzeltme Yöntemleri

Literatürde iki tür YD yöntemi mevcuttur. Dinamik yanlılık düzeltme (DYK), Sınırlı Alan Modelleri gibi modeller aracılığıyla yerelleştirilmiş iklim veri setleri oluşturmak için KDM'lerin veya BDM'lerin çıktılarını yeniden analiz eder (Pielke vd., 2013). DYK işlemlerinin gerçekleştirilmesi sürecinde yağış ve sıcaklık gibi farklı iklim değişkenleri arasındaki etkileşimlerden yararlanılır. Bu nedenle, hesaplama açısından yoğundur ve nispeten daha uzun zaman gerektirir (Xu vd, 2018). Öte yandan istatistiksel yanlılık düzeltme (İYD) işlemleriyle öncelikle tarihsel ve/veya mevcut büyük ölçekli atmosferik ve yerel iklim değişkenleri arasındaki birtakım istatistiksel ilişkiler oluşturulur. Daha sonra, KDM'lerin ve BDM'lerin gelecek dönemler için gösterdikleri iklim değişkenleri, gelecekteki yerel iklim verilerini tahmin etmek için kullanılır (Trzaska & Schnarr, 2014). Literatürde yaygın olarak kullanılan İYD yöntemleri nicel haritalama (QM), delta değişim/düzeltme (DC) yaklaşımıdır. İstatistiksel Yanlılık Düzeltme Yöntemi (SDSM), doğrusal ölçekleme (LS), dağılım haritalama (DM), yerel yoğunluk ölçekleme (LOCI) ve yağış güç dönüşümü (PTR) (Chen vd, 2012, Faiz vd., 2018, Luo vd., 2018 Mendez vd., 2020,

Sharma vd., 2011). Bu çalışma, iklim projeksiyon verilerindeki iyileştirmeler açısından LS, PTR ve LOCI ve DM yöntemlerinin performanslarını karşılaştıracaktır.

LS, YD uygulanmış verilerin ortalamasını gözlemlenmiş olan verilerle eşleştiren istatistiksel bir yöntemdir (Shrestha vd., 2017). LS şimdiye kadar pek çok çeşitli iklim değişikliği etki çalışmalarında kullanılmıştır (Casanueva vd., 2016, Mahmood vd., 2018). Doğrudan KDM'lerden ve/veya BDM'lerden elde edilen verilerle birlikte gözlemlenen veriler arasındaki farktan yararlanan LS, aylık yanlılık düzeltme değerleriyle çalışır. Yağışlar çarpan terimi ile sıcaklık ise aylık bazda toplama terimi ile düzeltilir. Denklem 1 ve 2'de $P_{down,m,d}$ ve $T_{down,m,d}$ m. ayın d. gününde sırasıyla düzeltilmiş yağış ve sıcaklık değerlerini temsil etmektedir. Ayrıca $P_{raw,m}$ ve $T_{raw,m}$ ayların d'sinde sıralı olarak simüle edilmiş işlenmemiş yağış ve sıcaklık değerlerini ifade etmektedir. Son olarak, $\mu()$ beklenti fonksiyonunu gösterir. Örneğin, $\mu(T_{obs,m})$ m. ayında gözlemlenen sıcaklığın ortalama değerini temsil eder (Fang vd, 2015).

$$P_{down,m,d} = P_{raw,m} * \mu(P_{obs,m})/ \mu(P_{raw,m}) \quad (1)$$

$$T_{down,m,d} = T_{raw,m} * \mu(T_{obs,m})/ \mu(T_{raw,m}) \quad (2)$$

PTR işlemi, CMhyd ve Powertransformation v2.0 gibi literatürde mevcut olan çeşitli hazır paketler aracılığıyla gerçekleştirilebilir (AgriMetSoft 2018, Rathjens vd., 2016, Shrestha, 2015). Bu yöntemin temel avantajı, LS'den farklı olarak (sadece ortalamadaki yanlılıkları düzelterek), PTR'nin örnek standart sapması ile örnek ortalaması arasındaki oran olarak tanımlanan varyasyon katsayısını da düzeltmesidir (Leander & Buishand, 2007). PTR'nin YD işlemlerini gerçekleştirdiği algoritma, doğrusal olmayan bir dönüşüm üzerine oluşturulur. Denklem 3, dönüşümün gerçekleştiği işlemi tanımlamaktadır. İşlem sırasında, "b" üssü, bir kök bulma algoritması ile aralık merkezli 90 günlük bir pencere ile aylık olarak tahmin edilir. Sonuç olarak, P^b, aylık ortalama gözlemlenen yağışın, aylık ortalama güçlendirilmiş tahmini yağışa bölünmesiyle elde edilen katsayı ile çarpılır (Terink vd., 2010).

$$P^* = a * P^b \quad (3)$$

Yerel Yoğunluk Ölçekleme (LOCI) Yağış Yöntemi, yağışlı günlerin sıklıklarını ve yoğunluklarını değiştirir ve böylece az yağışlı günlerdeki işlenmemiş verileri iyileştirir (Scmidli vd., 2006). Bu yöntemde yağış şiddeti eşiği ($P_{thres,m}$) her ay için doğrulanır. Bu şekilde, simülasyon modeli için eşiği geçen gün sayısıyla, gözlem verilerinin yağışlı gün sıklığı arasında bir eşleşme sağlanır. Sonuç olarak, düzeltilmiş yağışın ortalaması gözlemlenen yağışın ortalamasına eşitlenerek bir ölçeklendirme faktörü (S_m) hesaplanır (Denklem 4 ve 5) (Fang vd., 2015).

$$S_m = \frac{\mu(P_{obs,m,d} \mid P_{obs,m,d} > 0)}{\mu(P_{raw,m,d} \mid P_{raw,m,d} > P_{thres,m})} \quad (4)$$

$$P_{cor,m,d} = \begin{cases} 0, & \text{eğer } P_{raw,m,d} < P_{raw,m,d} \\ P_{cor,m,d} = P_{raw,m,d} * S_m, & \text{eğer } P_{raw,m,d} \geq P_{raw,m,d} \end{cases} \quad (5)$$

Son olarak, DM, gözlem verilerinin dağıtım işlevini işlenmemiş verilerle eşleştirmek için öngörülen, bir başka YD yöntemidir (Yuan, 2016). DM, işlenmemiş model verileri ve gözlem verileri olmak üzere her iki veri setinin standart sapması, ortalama ve niceliklerini eşleştirir (Fang vd., 2015). Yağış için, α parametreli ve β ölçek parametreli bir gama dağılımı kullanılır (Denklem 6).

$$f(x \mid \alpha, \beta) = x^{\alpha-1} * 1/\beta^{\alpha} * e^{(-x/\beta)}; x \geq 0, \alpha, \beta > 0 \quad (6)$$

Sonuç olarak, LOCI yöntemindeki ıslak gün eşiği, DM uygulanmadan önce devreye girer, böylece az yağışlı günlerin etkileri (çiseleme etkileri) en aza indirilmiş olur. LOCI yöntemi için kullanılan eşik uygulandıktan sonra düzeltilmiş yağış değerleri elde edilmiş olur (Denklem 7). Formülasyondaki F_γ ve F_γ^{-1} sırasıyla Gama kümülatif dağılım fonksiyonlarını ve bunların tersini temsil eder (Luo vd., 2018).

$$P_{cor,m,d} = F_\gamma^{-1}(F_\gamma(P_{LOCI,m,d} \mid \alpha_{LOCI,m}, \beta_{LOCI,m}) \mid \alpha_{obs,m}, \beta_{obs,m} \quad (7)$$

5. BULGULAR

YD yöntemlerinin BMH'nin su bütçesi üzerindeki etkisi, havzanın kalibre edilmiş ve doğrulanmış WEAP modeline uygulanmaktadır (Erkol, 2020). Bu çalışma, CNRM-CM5.1 ve GFDL-ESM2M ve HADGEM2-ES'nin çıktıları kullanıldığında simülasyonlarla ne kadar farklı sonuçlar elde edileceğini anlamaya odaklanmaktadır. Tarihsel dönemde yapılan simülasyona göre BMH (2005-2018) toplam rezervuar hacminin ortalaması yıllık 1.073 milyar metreküptür (Erkol, 2020). Bu çalışma, üç dolaşım modelinin tümü ile 2019-2100 simülasyon dönemi için raporlama yapmakta ve rezervuarlardaki toplam su miktarındaki değişimleri (geçmiş ortalamaya kıyasla) öngörmektedir. Üç model arasında yağışlarda ve rezervuar hacimlerinde en büyük azalma HADGEM2-ES modelinin verilerinden gözlemlenmiştir. RCP4.5 ve RCP 8.5 senaryoları altında, HADGEM2-ES ile elde edilen sonuçlar, tarihsel ortalamadan %6-7 oranında düşüşe işaret etmektedir.

Ancak, farklı istatistiksel YD yöntemlerinin kullanılması, özellikle HADGEM2-ES modeliyle elde edilen sonuçlarda önemli ölçüde farklılıklar ortaya çıkarmıştır. HADGEM2-ES ile elde edilen sonuçlar, RCP4.5 senaryosu altında, simülasyon süresi boyunca, yıllık ortalama rezervuar hacminin uygulanan YD yöntemine bağlı olarak (ortalama tarihsel rezervuar hacmine göre) %3 ile %7 arasında değiştiğini göstermektedir. CNRM-CM5.1 çıktıları aracılığıyla elde edilen sonuçlar, rezervuarlarda tarihsel ortalama hacim oranlarına kıyasla %5'lik bir düşüş olduğuna işaret etmektedir. Ayrıca, farklı YD yöntemlerinin kullanılması, CNRM-CM5.1 ile elde edilen simülasyonun sonuçlarını önemli ölçüde değiştirmemektedir. Benzer şekilde, GFDL-ESM2M çıktıları üzerinden elde edilen sonuçlar da kullanılan YD yöntemlerinden çarpıcı bir derecede etkilenmemiştir. RCP4.5 senaryosu altında, sonuçlar tüm YD yöntemleri için yaklaşık %6'lık bir düşüş gösteriyor ve RCP8.5 senaryosu altında sonuçlar %8'lik bir düşüş gösteriyor. Sonuç olarak BDM tabanlı sonuçların, kullanılan YD yöntemlerinden önemli ölçüde etkilenmediği, ancak KDM tabanlı sonuçlar için kullanılan YD yöntemlerinin önemli olduğu açığa çıkarılmıştır (Tablo 1 ve 2).

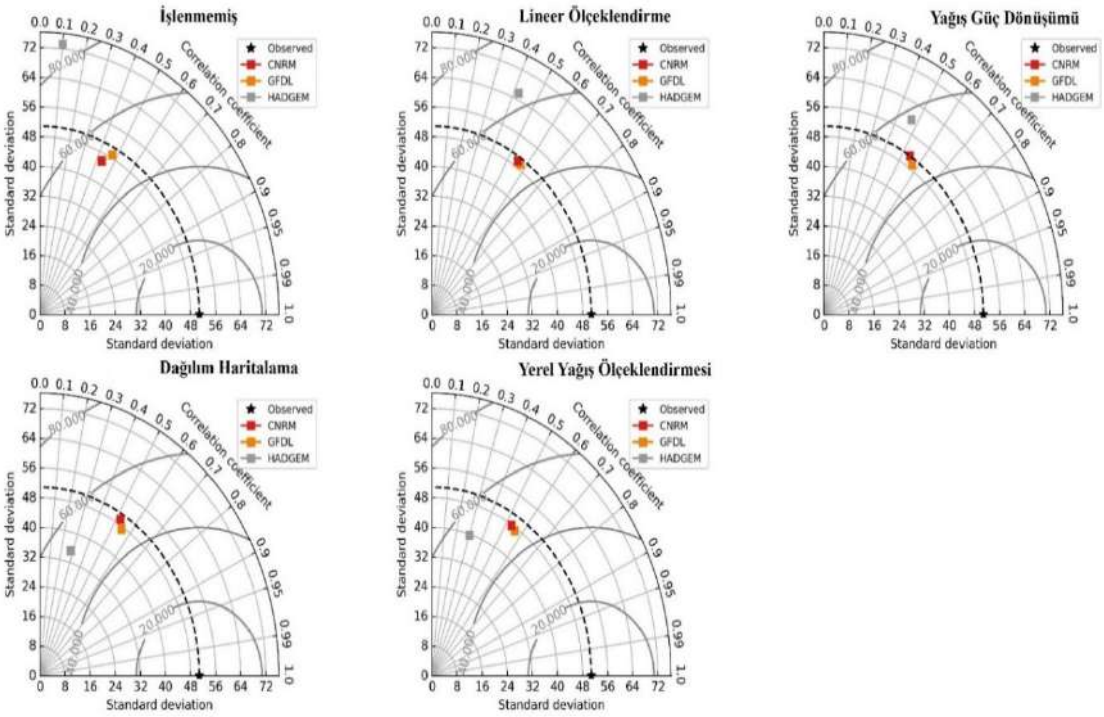
Tablo 1. RCP4.5 iklim değişikliği senaryosu ve farklı yanlılık düzeltme yöntemleri kapsamında simülasyon dönemi boyunca toplam rezervuar hacim oranlarındaki ortalama değişiklikler

	DM	LS	PLIS	PTP
CNRM-CM5.1	-5.43%	-5.22%	-5.80%	-5.05%
GFDL-ESM2M	-5.17%	-4.57%	-5.43%	-4.54%
HADGEM2-ES	-6.83%	-3.34%	-5.36%	-3.45%

Tablo 2. RCP8.5 iklim değişikliği senaryosu ve farklı yanlılık düzeltme yöntemleri kapsamında simülasyon dönemi boyunca toplam rezervuar hacim oranlarındaki ortalama değişiklikler

	DM	LS	PLIS	PTP
CNRM-CM5.1	-5.06%	-4.80%	-5.10%	-4.86%
GFDL-ESM2M	-6.51%	-5.48%	-6.09%	-5.71%
HADGEM2-ES	-6.95%	-4.09%	-5.87%	-4.19%

Taylor diyagramları, KDM/BDM'ler için farklı yanlılık düzeltme yöntemlerinin uygulanması sonucunda ilk başta işlenmemiş verilerde meydana gelmiş olan iyileştirme oranlarını göstermektedir (Şekil 2). HADGEM2-ES çıktıları için uygulanan yöntem oldukça etkindir. HADGEM2-ES modelinin işlenmemiş verileri ile gözlemlenen geçmiş yağış verileri arasındaki Pearson katsayısı 0,1 iken, farklı YD yöntemlerinin uygulanmasıyla bu katsayının değeri neredeyse 0,5 oranına kadar yaklaşmaktadır. Pearson katsayısındaki en yüksek iyileştirme Yağış Gücü Dönüşümü yönteminin uygulanmasıyla meydana gelmiştir. Ancak, CNRM-CM5.1 ve GFDL-ESM2M modellerinin çıktıları, HADGEM2-ES çıktıları kadar İYD operasyonlarından etkilenmez. Her iki modelin işlenmemiş BDM çıktıları ile gözlemlenmiş olan verileri arasındaki Pearson katsayıları, yaklaşık 0,4'tür ve düzeltme sonrasında bu katsayı en fazla 0,50 – 0,55 seviyesin çıkar.



Şekil 2. Yanlılık düzeltme işlemlerinden önce ve sonra gözlemlenen ve modellenen KDM/BDM çıktıları arasındaki istatistiksel ilişkiyi temsil eden Taylor diyagramı.

6. SONUÇ

İklim değişikliği mevcut tatlı su kaynaklarını tehdit etmekte, yönetim konularını karmaşık hale getirmekte ve birtakım uyum önlemlerinin tasarlanmasını gerektirmektedir. Aşırı olayların (sel, kuraklık) sıklığının artması, daha kesin gelecek projeksiyonlarına olan ihtiyacı artırmaktadır. Bununla birlikte, bir iklim değişikliği etki modelin güvenilirliğini etkileyen en önemli faktörlerden biri, iklim değişikliği projeksiyonu verilerinin doğruluğudur. Tatlı su sistemleri üzerindeki iklim değişikliği etki çalışmalarının ölçeğiyle karşılaştırıldığında, son on yıllardaki ilerlemelere rağmen iklim değişikliği verilerinin çözümleri hala nispeten daha düşük. Bu nedenle iklim değişikliği verilerinin ölçeklendirilmesi ve böylece çözünürlüklerinin artırılması modelleme çalışmalarının başarısını belirlemede önem taşımaktadır. Bu çalışma, seçilen yanlılık düzeltme yönteminin simülasyon sonuçları üzerindeki etkisini ortaya çıkarmayı amaçlamaktadır. Projeksiyon verilerinin çıktıları, BDM CNRM-CM5.1 ve GFDL-ESM2M ile birlikte KDM HADGEM2-ES'den alınmıştır. Ayrıca çalışma, ölçek küçültme yöntemleri olarak DM, LS, PLIS, PTP yöntemleri seçilmiş ve kullanılan yanlılık düzeltme yönteminin türünün en çok HADGEM2-ES'nin çıktılarını etkilediğini ortaya koymuştur. Kullanılan yanlılık yöntemine bağlı olarak, HADGEM2-ES çıktılarından elde edilen simülasyon sonuçları, tarihsel ortalama rezervuar hacmine göre %3 ila %7 arasında bir düşüş aralığındadır. Öte yandan, CNRM-CM5.1 çıktıları ile elde edilen sonuçlar, tarihsel ortalama hacim oranlarına kıyasla %5 daha düşük bir rezervuar su hacmine işaret etmektedir ve kullanılan yanlılık yöntemine göre ciddi bir farklılık arz etmemektedir.

7. KAYNAKÇA

Büke, A., Gültekin, M., Aksoy, M., Dıvrak, A., Göcek, B. B., Berke, Ç, Çeşmeci, H., 2013. Büyük Menderes Havza Atlası.

Casanueva, A., Herrera, S., Fernández, J., & Gutiérrez, J. (2016). Towards a fair comparison of statistical and Dynamical downscaling in the framework of the EURO-CORDEX INITIATIVE. Climatic Change, 137(3-4), 411-426. doi:10.1007/s10584-016-1683-4

Chen, H., Xu, C., & Guo, S. (2012). Comparison and evaluation of multiple GCMs, statistical downscaling and hydrological models in the study of climate change impacts on runoff. Journal of Hydrology, 434-435, 36-45. doi:10.1016/j.jhydrol.2012.02.040

Chen, C., Kalra, A., Ahmad, S. (2019). Hydrologic responses to climate change using downscaled GCM data on a watershed scale. Journal of Water and Climate Change, 10(1), 63–77. https://doi.org/10.2166/wcc.2018.147

Dierickx, F. (2019). Copernicus Climate Change Programme: User Learning Service content. Bookdown. Retrieved October 29, 2021, from https://bookdown.org/floriandierickx/bookdown-demo/.

DSI, 2010. Toprak ve Su Kaynakları. http://www.dsi.gov.tr/topraksu.htm. Haziran 2020 tarihinde ulaşıldı

Erkol, Z. İ. (2020). Modelling the Impacts of Climate Change on Water Supply and Demand Balance of Büyük Menderes Basin (tez).

Faiz, M. A., Liu, D., Fu, Q., Li, M., Baig, F., Tahir, A. A., . . . Cui, S. (2018). Performance evaluation of hydrological models using ensemble of general circulation models in the Northeastern China. Journal of Hydrology, 565, 599-613. doi:10.1016/j.jhydrol.2018.08.057

Fang, G. H., Yang, J., Chen, Y. N., & Zammit, C. (2015). Comparing bias correction methods in Downscaling meteorological variables for a hydrologic impact study in an arid area in China. Hydrology and Earth System Sciences, 19(6), 2547-2559. doi:10.5194/hess-19-2547-2015

Hagemann, S., Chen, C., Haerter, J. O., Heinke, J., Gerten, D., & Piani, C. (2011). Impact of a statistical bias correction on the projected hydrological changes obtained from three gcms and two hydrology models. Journal of Hydrometeorology, 12(4), 556–578. https://doi.org/10.1175/2011jhm1336.1

Leander, R., & Buishand, T. A. (2007). Resampling of regional climate model output for the simulation of extreme river flows. Journal of Hydrology, 332(3-4), 487-496. doi:10.1016/j.jhydrol.2006.08.006

Lee, T., & Singh, V. P. (2019). Bias Correction. In Statistical downscaling for hydrological and environmental applications (pp. 39-50). Boca Raton, Florida, US: CRC Press, Taylor & Francis Group.

Luo, M., Liu, T., Meng, F., Duan, Y., Frankl, A., Bao, A., & De Maeyer, P. (2018). Comparing bias correction methods used in downscaling precipitation and temperature from regional climate models: A case study from the Kaidu River basin in western China. Water, 10(8), 1–21. https://doi.org/10.3390/w10081046

Mahmood, R., Jia, S., Tripathi, N., & Shrestha, S. (2018). Precipitation extended linear scaling method for correcting gcm precipitation and its evaluation and implication in the transboundary jhelum river basin. Atmosphere, 9(5), 160. doi:10.3390/atmos9050160

Mendez, M., Maathuis, B., Hein-Griggs, D., & Alvarado-Gamboa, L. (2020). Performance evaluation of bias Correction methods for climate Change monthly Precipitation projections over Costa Rica. Water, 12(2), 482. doi:10.3390/w12020482

Olsson, T., Kämäräinen, M., Santos, D., Seitola, T., Tuomenvirta, H., Haavisto, R., & Lavado-Casimiro, W. (2017). Downscaling climate projections for the Peruvian coastal Chancay-Huaral Basin to support river discharge modeling with Weap. Journal of Hydrology: Regional Studies, 13, 26–42. https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2017.05.011

Ougougdal, H. A., Khebiza, M. Y., Messouli, M., Lachir, A. (2020). Assessment of future water demand and supply under IPCC climate change and socio-economic scenarios, using a combination of models in Ourika watershed, High Atlas, Morocco. Water, 12(6), 1–18. https://doi.org/10.3390/w12061751

Pielke, R. A. (2013). Examples of mesoscale models. International Geophysics, 427–500. https://doi.org/10.1016/b978-0-12-385237-3.00013-x

Rathjens, H., Bieger, K., Srinivasan, R., Chaubey, I., Arnold, J. G. (2016). CMhyd: User Manual.

Schmidli, J., Frei, C., and Vidale, P. L.: Downscaling from GC precipitation: A benchmark for dynamical and statistical downscaling methods, Int. J. Climatol., 26, 679–689, doi:10.1002/joc.1287, 2006

Rockel, B. (2015). The Regional Downscaling Approach: A brief history and recent advances. Current Climate Change Reports, 1(1), 22–29. https://doi.org/10.1007/s40641-014-0001-3.

Rummukainen, M. (2015). Added value in regional climate modeling. WIREs Climate Change, 7(1), 145–159. https://doi.org/10.1002/wcc.378

Sharma, M., Coulibaly, P., Dibike, Y. (2011). Assessing the need for downscaling RCM data for Hydrologic Impact Study. Journal of Hydrologic Engineering, 16(6), 534–539. https://doi.org/10.1061/(asce)he.1943-5584.0000349

Shrestha, M., Acharya, S. C., Shrestha, P. K. (2017). Bias correction of climate models for hydrological modelling are simple methods still useful? Meteorological Applications, 24(3), 531–539. https://doi.org/10.1002/met.1655

Shrestha M. (2015). Data analysis relied on Power Transformation of rainfall bias correction (V.2.0) Microsoft Excel file. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/301625702_Power_Transformation_V20_Microsoft_Excel_file.

T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü. (2016). Büyük Menderes Havzası Kirlilik Önleme Eylem Planı. Ankara.

Terink, W., Hurkmans, R. T., Torfs, P. J., & Uijlenhoet, R. (2010). Evaluation of a bias correction method applied to downscaled precipitation and temperature reanalysis data for the Rhine basin. Hydrology and Earth System Sciences, 14(4), 687-703. doi:10.5194/hess-14-687-2010

Trzaska, S., Schnarr, E. (2014). A Review of Downscaling Methods for Climate Change Projections. Ciesin. Retrieved November 12, 2021, from http://www.ciesin.org/documents/Downscaling_CLEARED_000.pdf.

Tübitak, 2010. Büyük Menderes Havzası Eylem Plan Raporu, https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/havza%20koruma%20eylem%20planlar%C4%B1/B.Menderes_Havzas%C4%B1.pdf. Data accessed July 2020.

Wilby, R. L., Wigley, T. M., Conway, D., Jones, P. D., Hewitson, B. C., Main, J., & Wilks, D. S. (1998). Statistical downscaling of general circulation model output: A comparison of methods. Water Resources Research, 34(11), 2995-3008. doi:10.1029/98wr02577

Yang, L., Hao, M., Cao, Q., Liu, K., Xiao, L., Pei, L., & Wu, X. (2020). Quantitative impact and research on Water Supply Management and demand in Beijing under the WEAP model. Earth and Environmental Science, 514, 1–18. https://doi.org/10.1088/1755-1315/514/2/022055

Yates, D., Sieber, J., Purkey, D., Huber-Lee, A., 2005. WEAP21—A Demand-, Priority-, and Preference-Driven Water Planning Model. Water International, 30, 487-500.

Yuan, X. (2016). An experimental seasonal hydrological forecasting system over the Yellow River basin – part2: The added value from climate forecast models. Hydrology and Earth System Sciences, 20(6), 2453–2466. https://doi.org/10.5194/hess-20-2453-2016

Yuan, S., Quiring, S. M., Kalcic, M. M., Apostel, A. M., Evenson, G. R., & Kujawa, H. A. (2020). Optimizing Climate Model Selection for Hydrological Modeling: A case study in the Maumee River basin using the Swat. Journal of Hydrology, 588, 125064. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125064

Zhao, T., Bennett, J. C., Wang, Q. J., Schepen, A., Wood, A. W., Robertson, D. E., Ramos, M.-H. (2017). How suitable is quantile mapping for postprocessing GCM precipitation forecasts? Journal of Climate, 30(9), 3185–3196. https://doi.org/10.1175/jcli-d-16-0652.1

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN ÇORUH VADİSİ MİKROKLİMA ALANINDA ZEYTİN TARIMINA ETKİLERİ

EFFECTS OF CLIMATE CHANGE ON OLIVE CULTIVATION IN THE ÇORUH VALLEY MICROCLIMATE AREA

İmren Alkan[1*], Cemil İrdem[2*]

[1]* *Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Coğrafya Anabilim Dalı, Merkez, KARABÜK* imrenalkan11@gmail.com

[2] *Karabük Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü, Merkez, KARABÜK* cemilirdem@karabuk.edu.tr

Özet

Türkiye'de ağırlıklı olarak Güney Marmara, Ege ve Akdeniz kıyılarında tarımı yapılan zeytin bitkisi Karadeniz Bölgesindeki Artvin ili sınırlarında yer alan Yusufeli, Ardanuç, Artvin Merkez ilçe mikroklima sahalarında da yetiştirilmektedir. Bu çalışmada sıcaklık ve yağış koşullarında gözlenen yıllar arası değişimler ve oluşturulan gelecek iklim değişikliği senaryoları dikkate alınarak Artvin mikroklima alanında zeytin tarımının durumu analiz edilmek istenmiştir. Meteorolojik veriler Meteoroloji Genel Müdürlüğünden, zeytin üretimine ilişkin veriler ise Türkiye İstatistik Kurumundan sağlanmıştır. Çalışma kapsamında ilk olarak araştırma sahasında zeytin verimi ile sıcaklık ve yağış koşulları arasındaki ilişkiler belirlenmiştir. Daha sonra zeytin veriminde yıllar arasında gözlenen değişiklikler analiz edilmiştir. Son aşamada ise sıcaklık ve yağış koşullarındaki değişim ve eğilimlerle zeytin veriminde gözlenen değişim ve eğilimler ilişkilendirilmiş, iklim değişikliği senaryoları dikkate alınarak zeytin tarımına olası etkileri değerlendirilmiştir. İstatistik hesaplamalarda Pearson Korelasyon Analizi ve Lineer Trend Yöntemi tercih edilmiştir. Araştırma alanında ocak-nisan dönemi ortalama sıcaklıkları ile verim arasında negatif, mayıs-aralık dönemi sıcaklıkları ile verim arasında ise genel olarak pozitif korelasyon söz konusudur. Yağışla verime arasındaki korelasyonlar genellikle negatiftir. Sıcaklıklar verim arasında en güçlü negatif korelasyon martta iken en güçlü pozitif korelasyon Temmuz'dadır. Yağışla verim arasında ise en güçlü negatif korelasyon martta iken en güçlü pozitif korelasyon mayıstadır. Araştırma alanında zeytin veriminde, analiz edilen dönemde, istatistik açıdan anlamlı olmayan bir azalma eğilimi söz konudur. Aynı dönemde yıllık ortalama sıcaklıklarda istatistik açıdan 0,01 güven düzeyinde anlamlı artış eğilimi, yıllık toplam yağışlarda ise anlamlı olmayan bir azalma eğilimi tespit edilmiştir. Tüm bu ilişkiler göz önüne alındığında İklim değişikliği senaryolarının işaret ettiği ısınma eğiliminin, incelenen mikroklima alanında zeytin veriminde düşüşlerin devam etmesine neden olması beklenebilir.

Abstract

The olive plant, which is mainly cultivated in the Southern Marmara, Aegean and Mediterranean coasts in Turkey, is also grown in the microclimate areas of Yusufeli, Ardanuç, and Artvin Central districts located in the borders of Artvin province in the Black Sea Region. In this study, the situation of olive agriculture in the Artvin microclimate area was analyzed by taking into account the inter-year changes in temperature and precipitation conditions and the future climate change scenarios created. Meteorological data were obtained from the General Directorate of Meteorology, and data on olive production were obtained from the Turkish Statistical Institute. Within the scope of the study, firstly, the relations between olive yield and temperature and precipitation conditions in the research area were determined. Then, the changes observed in olive yield between years were analyzed. In the last stage, the changes and trends in temperature and precipitation conditions were correlated with the changes and trends observed in olive yield, and their possible effects on olive agriculture were evaluated by considering climate change scenarios. Pearson Correlation Analysis and Linear Trend Method were preferred for statistical calculations. In the research area, there is a negative correlation between January-April period average temperatures and yield and a positive correlation between May-December temperatures and yield in general. Correlations between precipitation and yield are generally negative. While the strongest negative correlation between temperatures and yield is in March, the strongest positive correlation is in July. The strongest negative correlation between precipitation and yield is in March, while the strongest positive correlation is in May. There is a statistically insignificant decrease trend in olive yield in the analyzed period in the study area. In the same period, a statistically significant increase trend at 0.01 confidence level in annual average temperatures, and an insignificant decrease trend in annual total precipitation were determined. Considering all these relationships, it can be expected that the warming trend indicated by the climate change scenarios will lead to the continuation of decreases in olive yield in the microclimate area studied.

Keywords: Zeytin, Çoruh Vadisi, Mikroklima, İklim Değişikliği.

Olive, Çoruh Valley, Microclimate, Climate Change.

DIRECT AND INDIRECT CLIMATE IMPACTS OF LANDFILL GAS EMISSIONS

Derek C. Manheim[1,*], Nazlı Yeşiller[2*], and James L. Hanson[3]

[1] *Civil and Environmental Engineering Department, California Polytechnic State University, San Luis Obispo, CA 93407, U.S.A. dmanheim@calpoly.edu*

[2*] *Global Waste Research Institute, California Polytechnic State University, San Luis Obispo, CA 93407, U.S.A. nyesille@calpoly.edu*

[3] *Civil and Environmental Engineering Department, California Polytechnic State University, San Luis Obispo, CA 93407, U.S.A. jahanson@calpoly.edu*

Abstract

Landfills are one of the most significant sources of greenhouse gas (GHG) and ozone depleting substance (ODS) emissions to the atmosphere. The primary landfill gas methane is the second most important GHG leading to climate change. The objectives of this investigation were twofold: identify direct and indirect climate change effects of landfill gas including methane and trace constituents and identify the effects of landfill cover characteristics on the identified emissions. Emissions of 82 gases were determined at 5 landfills located in the state of California in U.S.A. over 2 seasons. Field tests were conducted using static flux chambers to establish cover-specific fluxes, which were then scaled up to whole-site emissions. Direct and indirect climate-forcing emissions were estimated through application of global warming (direct), atmospheric degradation (direct), tropospheric ozone forming (indirect), stratospheric ozone depleting (indirect), and secondary aerosol forming (indirect) potentials reported for the landfill gas constituents. Methane emissions were determined to generally control emissions accounting for 46 to 99% of the total direct climate-forcing emissions. Nitrous oxide and F-gases collectively accounted for 1 to 99% of the total direct climate-forcing emissions. Overall direct emissions accounted for 93 to nearly 100% of the total landfill emissions. Emissions decreased from daily to intermediate to final covers and were correlated to various cover soil mass-volume parameters as well as cover temperature.

Keywords: landfill, municipal solid waste, methane, climate change, landfill cover

14. national 2. international environmental engineering congress

climate crisis & environmental policies

SESSION 2A: Hava Kirliliği ve Koku Emisyonlarının Kontrolü

Paper ID:

35 **Gebze İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisinde Oluşan Koku Emisyonlarının Ünite Bazlı Olarak İncelenmesi ve Çevre Havasında Koku Problemi Oluşturabilecek Sıcak Noktaların AERMOD Atmosferik Dağılım Modeli ile Belirlenmesi**
İlker Akmırza - Baran Sayğan

39 **Investigation of particulate matter from agricultural burning in South-Eastern Turkey with remote sensing**
Merve Eke - Burçak Kaynak

42 **COVİD-19 KARANTİNASININ MARMARA BÖLGESİ HAVA KALİTESİ (NO_2 KONSANTRASYONU) ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN UZAKTAN ALGILAMA YÖNTEMLERİ İLE İZLENMESİ**
Dilek K. Matci - Fırat Erdem - Nuri Erkin Öçer - Gordana Jovanovska Kaplan - Uğur Avdan

49 **Uzaktan Algılama ile Türkiye'de Amonyak (NH_3) Kirleticisinin Zamansal ve Mekânsal Dağılımı**
Seda Tokgöz - Burçak Kaynak

60 **Understanding the relationship between urban development and air pollution for the mega-city Istanbul with remote sensing NO_2 measurements**
Ali Osman Çeker - Fulya Çingiroğlu - Ezgi Akyüz - Burçak Kaynak

61 **SO_2 Pollution from Yeniköy, Kemerköy and Yatağan Power Plants**
Sümeyye Sena Değer - Ezgi Akyüz - Fulya Cingiroglu - Burçak Kaynak

69 **ZnO Adsorpsiyonu ile H_2S Giderimi Sonrasında CO Beslenmesi ile COS Oluşumuna Su içeriğinin ve Sıcaklığın Etkisi**
Cevdet Doğan - Banu Çetin - Stefan Martini - Stefan Retschitzegger

11 **Petrol Kaynaklı Toprak ve Yeraltı Suyu Kirliliğinin Karakterizasyonu, İstanbul Ambarlı Örneği**
Yunus Serhat Erzeybek

GEBZE İLERI BIYOLOJIK ATIKSU ARITMA TESISINDE OLUŞAN KOKU EMISYONLARININ ÜNITE BAZLI OLARAK İNCELENMESI VE ÇEVRE HAVASINDA KOKU PROBLEMI OLUŞTURABILECEK SICAK NOKTALARIN AERMOD ATMOSFERIK DAĞILIM MODELI ILE BELIRLENMESI

Baran SAYĞAN[1], İlker AKMIRZA[1]*
Gebze Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye, akmirza@gtu.edu.tr

Özet

Günümüzde koku emisyonları insanları rahatsız edici özelliklerinin yanı sıra sağlık üzerinde zararlı etkileri bulunan bir çok bileşiği içermeleri sebebiyle önemli hava kirletici parametreler arasında yer almaktadır. Kentsel alanlarda ise koku oluşturan kaynakların başında atık bertaraf tesisleri gelmekte ve atıksu arıtma tesisleri doğası gereği, atıksuya verilen uçucu organik maddeler ve gerekse organik maddelerin tesiste mikrobiyal parçalanması neticesinde çevre havasında koku problemine sebebiyet vermektedir. Özellikle yerleşim yerlerine yakın olarak konumlandırılan tesislerde meteorolojik ve topografik etkiler neticesinde koku problemi tesisi çevreleyen bölgelerde artış göstermektedir. Bu problemin oluştuğu bölgelerde kirletici parametrelerin zaman ve mekanda dağılımını sürekli ve uzun süreli izleyebilmek deneysel zorluklardan ve yüksek maliyetinden ötürü her zaman uygun olamamakta ve atmosferik dağılım modelleri problemli bölgelerin hızlı ve etkin bir biçinde tespitine yönelik olarak günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında Gebze İleri Biyolojik Arıtma Tesisinde ortaya çıkan koku emisyonları tesiste ünite bazlı ve yüksel olarak incelenmiş ve tesiste ana koku kaynağını oluşturan hidrojen sülfür, amonyak ve UOM miktarları hesaplanarak tesisin mevcut durumda ve ileri projeksiyonda planlanan kapasite artışı çerçevesinde koku problemin oluşabileceği sıcak noktalar tespit edilmiştir. Elde edilen AERMOD modelleme sonuçları çerçevesinde hakim rüzgar yönünün tersinde bulunan Çayırova'da emisyon değerleri 1 ppm ve altında olarak modellenirken, en kötü senaryolarda tesise yakın ve hakim rüzgar yönünde bulunan Bayramoğlu ilçesindeki yerleşim yerlerinde 5 ppm değerinde hidrojen sülfür konsantrasyonları modellenmiş ve bu değerin koku eşik seviyesinin altında tutulabilmesi için tesiste yapılması gereken iyileştirme çalışmaları ile ilgili değerlendirmeler yapılmıştır.

INVESTIGATION OF PARTICULATE MATTER FROM AGRICULTURAL BURNING IN SOUTH-EASTERN TURKEY WITH REMOTE SENSING

Merve Eke [1,2], Burçak Kaynak [1*]

[1] School of Civil Engineering, Department of Environmental Engineering, Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey, burcak.kaynak@itu.edu.tr
[2] School of Engineering, Department of Environmental Engineering, Gebze Technical University, Gebze, Turkey, eke15@itu.edu.tr,

Özet

Anız yakma faaliyetleri toprak verimliliğinde azalmaya, vahşi hayvanların ölümüne ve hava kalitesi üzerinde olumsuz etkilere neden olmasına rağmen, çiftçiler araziyi daha az maliyetli ve daha az zaman alan bir şekilde ekebilmek için anızı yakmayı tercih etmektedirler. Araştırmamız, Türkiye'nin güneyinde 2018 yaz döneminde anız yakma faaliyetlerinin olduğunu ve bunun önemli bir partikül madde (PM) kaynağı olduğunu göstermiştir. Türkiye'deki yangın durumunu araştırılması için VIIRS enstrümanının Fire Radiative Power (FRP) ürünü ile Global Forest Watch yangın sayıları verileri kullanılmıştır. Adana ve Osmaniye'de yangın sayıları ve lokasyonları incelendiğinde CORINE arazi kullanımı tarım alanlarında 2018 yılı toplam yangınlarının sırasıyla %34 ve %58'inin Ağustos ayında meydana geldiği tespit edilmiştir. Tarım alanları bulunan Şanlıurfa, Mardin ve Gaziantep illerinde ise 2018 yılı yangınlarının %22-26'sının Haziran ayında gerçekleştiği tespit edilmiştir. Diyarbakır'da Temmuz-Ekim 2018 arasında süren yangın sezonunun yıllık yangınların %83'ünü oluşturduğu görülmüştür. MODIS aerosol optik derinliğinin (AOD), FRP'nin daha yüksek olduğu günleri Adana, Diyarbakır ve Şanlıurfa için hazırlanan FRP, yangın sayıları, AOD zaman serilerinde bazı yangın günleri artan toplam kolon yüksekliği ile gözlenmiştir. Anız yakma faaliyetlerinin etkisi ile yer PM_{10} ölçümleri üzerinde bir artış gözlemlenmemiştir. 12×12 km^2 gridli çalışma alanında aylık ortalama AOD verileri, anız yakma faaliyetlerinin etkilerini doğrudan göstermemekle birlikte il bazında günlük değişimlerde etkisi gözlenmiştir. MERRA-2 siyah karbon (BC) ürünü yangınların gerçekleştiği seçili iki günde Adana Osmaniye bölgesinde BC konsantrasyonunun artışını göstermektedir.

Anahtar kelimeler: *Anız yakılması, partikül madde, aerosol optik derinlik*

Abstract

Although agricultural residue burning activities result in reduction in soil productivity, death of wild animals, and negative impacts on air quality, farmers prefer to burn residues to cultivate the land easier in a cost-effective and less time-consuming way. Our research showed that there were agricultural residue burning activities in southern Turkey during the summer period of 2018 and it is an important source of particulate matter (PM). Global Forest Watch fire counts data and Fire Radiative Power (FRP) product of VIIRS instrument were used to investigate fire situation in Turkey. It was found with CORINE land cover that in agricultural fields of Adana and Osmaniye, 34% and 58% of total annual fires occurred respectively in August 2018. Şanlıurfa, Mardin and Gaziantep provinces where there are agricultural fields 22-26% of annual fires happened in June 2018. Diyarbakır fire season period was lasted from July to October 2018 which accounted for 83% of annual fires in the province. MODIS aerosol optical depth (AOD) data caught the days when FRP is higher with the increase in AOD total column height in Adana, Diyarbakır and Şanlıurfa when the time series of FRP, fire counts, AOD and ground PM_{10} measurements were investigated. Effect of residue burning activities on ground measurements were not observed significantly. Monthly AOD values on 12x12 km^2 gridded domain did not show the impacts of residue burning activities directly, but impacts were observed daily on a provincial basis. MERRA-2 black carbon (BC) product showed impact of fires with increase in BC concentration for selected two fire days in Adana Osmaniye region.

Keywords: *Agricultural residue burning, particulate matter, aerosol optical depth*

1. INTRODUCTION

Air pollution is a major environmental problem in Turkey that caused 32668 deaths in 2016 by pollutant concentrations above World Health Organization guidelines [1]. Particulate matter ($PM_{2.5}$) is an air pollutant with less than 2.5 μm diameter particles that can be in different forms and has a significant impact on human health due to exposure. Cohen (2017) found that, in global $PM_{2.5}$ caused 103.1 million years of healthy life loss and 4.2 million deaths in 2015. Akyuz (2020) concluded that $PM_{2.5}$ was related to 35000 deaths in Turkey and Iran in 2016. $PM_{2.5}$ has also impact on climate such as K^+ and Cl^- contribute radiation on earth with scattering properties, can be emitted from agricultural residue burning by the usage of fertilizer and herbicides [4].

Black carbon (BC) is an important component that contributes to total $PM_{2.5}$ mass mainly from biomass burning activities, and has negative impacts on respiratory and cardiovascular systems [5]. Saheb (2019) showed that BC is associated with anthropogenic emissions and its concentration peaks by the agricultural residue burning activities. Hossain (2012) also found that wood combustion causes considerable increase in BC concentration.

Ground and satellite-based measurements are methods that are used for air quality monitoring. Air pollution in Turkey can be monitored by the data provided by the Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change (MoEUCC). However, agricultural residue burning emissions can reach above ground level thus, ground measurements might not reflect the concentrations of pollutants caused by residue burning activities. For example, Saheb (2019) observed that PM caused by residue burning reaches up to1 km in Northern India. Furthermore, Vijayakumar (2016) stated that residue burning has an impact up to 3 km layer height. Since most of the monitoring stations are not close to agricultural fields, ground measurements are not sufficient to understand the impacts of residue burning in South-Eastern Turkey, our study area.

Agricultural residue burning has negative impacts on air quality with CO, CO_2, PM, NO_2, HCHO, and toxic volatile organic compounds (VOCs) such as polycyclic aromatic hydrocarbon (PAHs) and polychlorinated biphenyl (PCBs) emissions [9], [10]. Agricultural residue burning causes serious damages to the ecosystem like death of wild animals and beneficial microorganisms, and reduction in soil productivity. Although farmers think that agricultural residue burning affects air quality negatively, they focus on positive results such as gaining time and decrease in cost [11]. It is concluded that 99% and 49% of fires are related to agricultural fires in India [12] and China [13] respectively. In Heilongjiang, Chen (2017) resulted that there is a significant relation between $PM_{2.5}$ and fire activities on local scale. Also, a study in Punjab and Haryana where agricultural fields in India showed that the time when the highest fire counts and highest AOD concentrations observed were overlapped in November and October 2017 [15]. Saheb (2019) indicated that the impact of dust and smoke is observable with higher concentration of absorbing aerosols in pre-monsoon and post-monsoon seasons in India. Singh (2020) found that 137.16 Gg and 56.95 Gg emitted $PM_{2.5}$ caused by residue burning in Punjab and Haryana, respectively.

The study aims to investigate the impacts of agricultural residue burning by using satellite-derived data with a 12×12 km^2 gridded domain that covers Turkey and to examine temporal changes of fire intensities and PM concentrations. Monthly average concentrations were calculated from satellite-derived data and ground measurements, and total Fire Radiative Power (FRP) was used to understand the relation of pollution level and fire intensity. South-Eastern Turkey, where agricultural activities are widespread, was selected as the study area. June-October 2018 period was investigated because of significant increase observed in fire activities.

2. METHODS

In preliminary work, it was found that fire counts increase periodically in South-Eastern Turkey using Global Forest Watch fire counts data (Table 1). However, CORINE Land Cover 2018 data showed that the increase of fire counts happening in agricultural fields (Figure 1), thus it was concluded that there are agricultural residue burning activities in the South-Eastern part of Turkey. June-October 2018 period was selected for this study.

Table 1. Monthly fire counts in South-Eastern Turkey in 2018

	Adana	**Osmaniye**	**Şanlıurfa**	**Mardin**	**Gaziantep**	**Diyarbakır**
Jan-18	8	5	99	128	8	2
Feb-18	9	3	0	17	12	9
Mar-18	31	11	14	6	20	11
Apr-18	26	5	5	5	5	3
May-18	54	19	27	4	24	6
Jun-18	34	15	**142**	**140**	**98**	22
Jul-18	30	4	77	54	59	**101**
Aug-18	**184**	**183**	54	20	45	**64**
Sep-18	84	42	70	48	54	**121**
Oct-18	53	11	71	28	37	**108**
Nov-18	32	10	96	60	10	27
Dec-18	0	6	2	50	4	0
Total-18	**545**	**314**	**657**	**560**	**376**	**474**

2.1. Study Area

Agricultural activities constitute significantly to economy in Turkey with large available fields. For example, 522 320 and 367 593-hectare areas are used for crop production in Diyarbakır and Adana respectively that are provinces in South-Eastern Turkey in 2018 [17]. Furthermore, in some areas obtaining crop production twice a year is a prevalent application such as corn harvesting in April and September which results in more residue burning activities [18]. In this study, South-Eastern Turkey was selected where crop production is high, and increase in fires were observable in the summer or early fall months (Figure 1). The maximum fire observed period was changing due to meteorological conditions that are affecting the harvesting time for different provinces (Table 1).

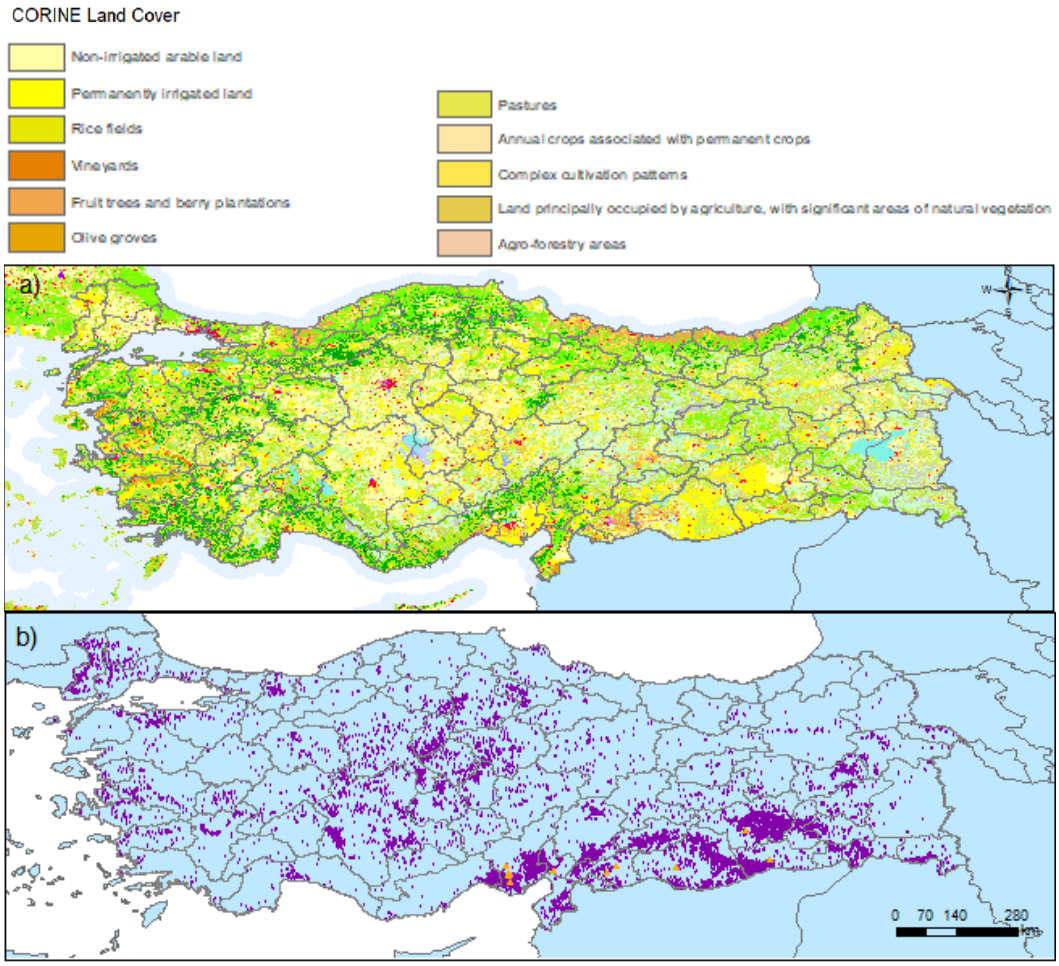


Figure 1. Study area with a) CORINE land cover, b) ground PM stations (orange triangles) and VIIRS July-October 2018 fire counts (purple dots)

2.2. Observations

Aerosol optical depth (AOD) data is available from MODIS, SeaWiFS, MAIAC, and MISR [3]. AOD is one of the most important products of MODIS instrument that is used widely with its 250 m resolution and 2330 km swath [19].

MERRA-2 is a combined model product that uses satellite-based AVHRR, MODIS, MISR, and ground-based AERONET measurements for AOD data [20].

VIIRS is an instrument of the Suomi-NPP satellite that can detect land surface temperature [21]. FRP is used to analyze fire intensities that can be detected by the VIIRS instrument with thermal anomalies [22].

Air pollution in Turkey can be monitored by air quality monitoring network of the MoEUCC [23].

2.2.1. Fire product

VIIRS S-NPP instrument supplies active fire data globally and captures smaller fires compared with MODIS C6 Level-2 fire product [22]. The crossing time of its satellite is 1:30 pm [24]. VIIRS NDEAF-L2 fire product data is taken from the NASA FIRMS archive [25], monthly summations are calculated and Fire Radiative Power (FRP) is spatially joined with 12×12 km^2 grids.

2.2.2. Ground PM observations

Hourly and daily ground-level PM_{10} and $PM_{2.5}$ measurements are taken from National Air Quality Monitoring Network provided by MoEUCC. Daily and monthly averages were calculated.

2.2.3. Satellite Aerosol Products

MODIS instrument which includes land, ocean, and aerosol features is launched with Terra satellite in 1999 followed by Aqua satellite in 2002 [26] which their crossing time is 10:30 am and 1:30 pm [27], respectively. MOD04_L2 (AOD) [28] product was used to investigate particulate matter in this study by converting file in Python, taking monthly averages, and spatially joining with 12×12 km^2 grids by using ArcGIS tools. AOD 550 nm Dark Target and Deep Blue combined data was chosen from product and quality assurance confidence flag (QAC) values which are the ones equal to 0 were eliminated from dataset. Finally, MERRA-2 BC monthly averaged results are taken from GES DISC [30].

To understand the impacts of residue burning, fire intensities compared with pollutant concentrations by using their spatial and temporal allocation. Also, ground and satellite-based data are compared by their monthly and daily correlation with FRP to understand the measurement that better relates to FRP.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Fire Counts and Fire Radiative Power

There was a significant increase in fire counts in Adana and Osmaniye in August 2018 (Table 1). We found that 34% and 58% of total fires happened in august in Adana and Osmaniye respectively. Additionally, monthly total FRP confirmed that FRP is higher in August 2018 in Adana and Osmaniye than the rest of the country at agricultural fields according to CORINE land cover. Thus, it can be concluded that there may be agricultural residue burning activities in the region. Highest FRP with a larger impacted area was observed in August 2018 with a value of 4405 MW around Adana and Osmaniye border (Figure 2c).

It can be observed from that highest FRP grids are located in Mardin, and also in Şanlıurfa with lower values but larger impacted areas. The maximum was reaching up to 3693 MW in June 2018. July values were lower, but the study region was still the highest values within the country. In August 2018, there was a noticeable positive change in Adana-Osmaniye region compared to other agricultural fields. In Diyarbakır signals were still significant and relatively close to Adana and Osmaniye during the July-October period. However, FRP values increased significantly in September period in Diyarbakır. In Gaziantep, values were not as high as the rest of the study area except June and July for the west of the province.

3.2. Particulate Matter Concentrations

3.2.1. MODIS AOD Data

The impact of agricultural burning was observed with the monthly average AOD values, but not with large signals (Figure 3). Şanlıurfa and Mardin border was investigated to see the impact of residue burning activities. Even though AOD value is higher around the border which also contains agricultural fields, the area where FRP is higher has lower AOD values. It was expected to see the effects in Diyarbakır and Şanlıurfa which FRP was still higher compared with other provinces. In Şanlıurfa there were missing data caused by QAC values, but it can be observed that AOD in some grids were higher which belong to the fire areas. FRP was highest in Adana and Osmaniye in August, yet only a few grids have higher values compared with all grids in the area.

Finally, it was possible to see the impact of fires, especially when specific regions were investigated. However, there is also a significant increase of AOD values on the south border of the country, especially in September and October (Figure 3d-e). It can be associated with other sources, such as desert dust transport from south.

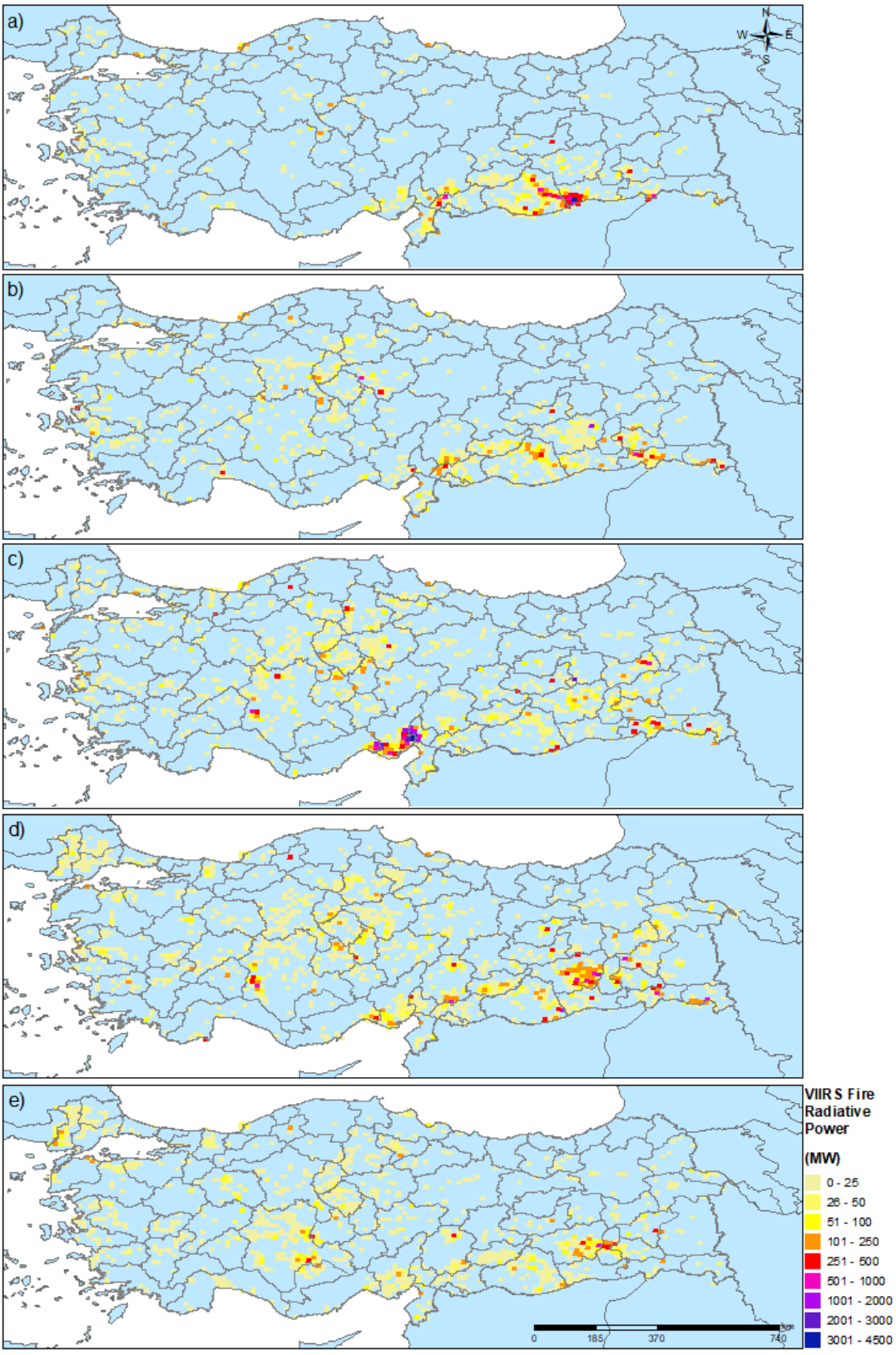


Figure 2. VIIRS FRP over Turkey in a) June b) July c) August d) September, and e) October 2018

When the spatial distribution of the monthly FRP and AOD values were taken into consideration, there could be several reasons for not observing the direct effect. Firstly, AOD shows the total column of aerosols, thus it does not only show the aerosols caused by biomass burning, but include from other anthropogenic and natural sources. In addition, since these maps showed the monthly average values, averaging may smooth out the signals from the fire days when AOD values were high. The meteorology and relatedly transport of the fire plumes from residue burning fields may also impact the results.

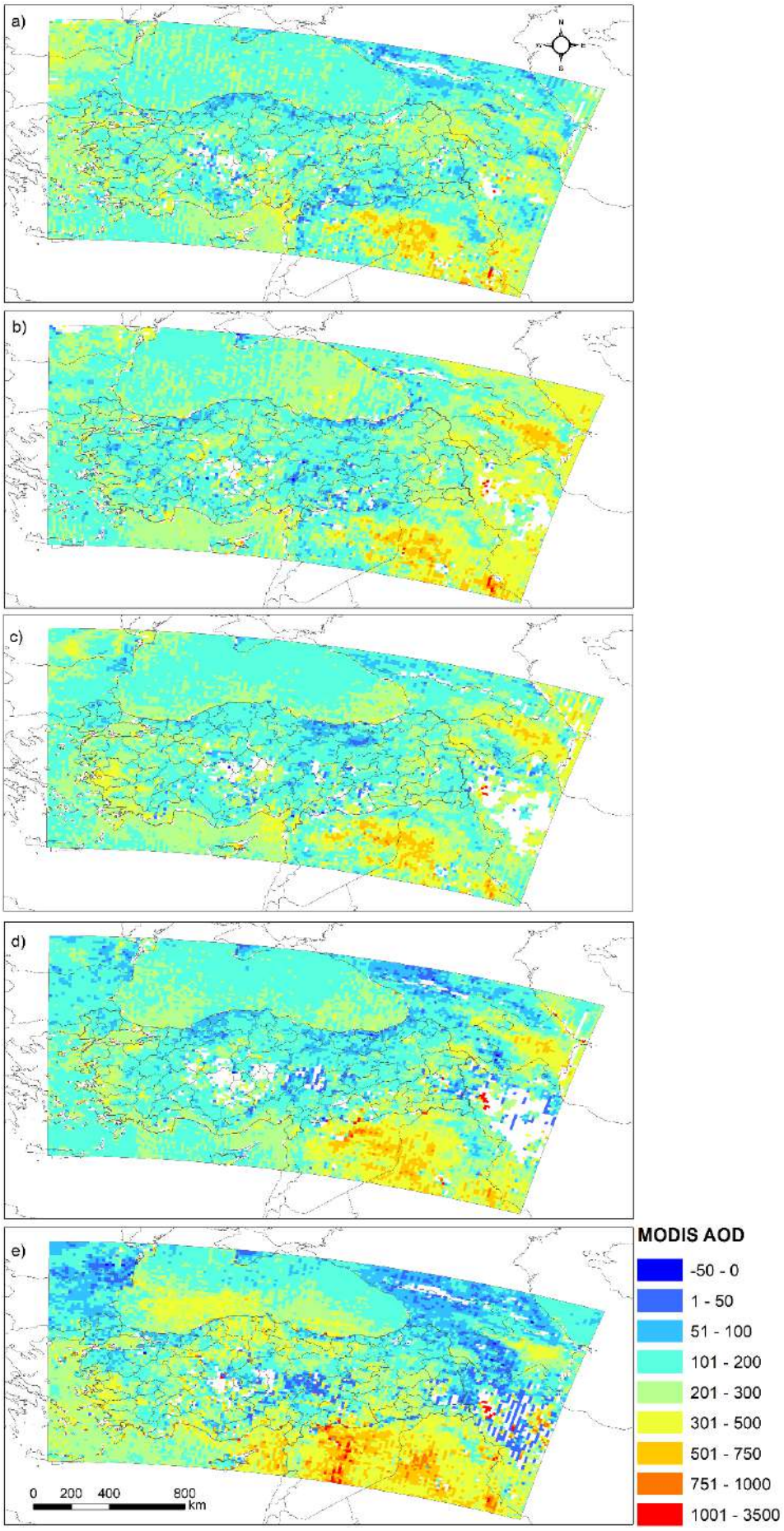


Figure 3. Monthly averaged AOD values in a) June, b) July, c) August, d) September, and e) October 2018

3.2.2. MERRA-2 Black Carbon

In addition to AOD, a specific biomass burning marker BC was investigated. Since AOD reflects total mass and can be associated with various different sources of particulate matter, MERRA-2 BC product was used to better understand the impact of residue burning. Specific days of 14th and 15th August with the highest number of fire counts for Adana and Osmaniye region were selected. MERRA-2 black carbon surface mass concentrations indicated highest values around the region indicating the impact of residue burning emissions clearly (Figure 4). On these days, when FRP was higher compared with the rest of the days of August, the signals were very strong in the grids that belong to the region. Black carbon concentrations reached up to 2 µg/m^3 on August 14th and almost 6 µg/m^3 on August 15th in Adana and Osmaniye region. BC concentration spread larger area with higher concentrations on August 15th that might be due to transportation of BC and continuing of fire events.

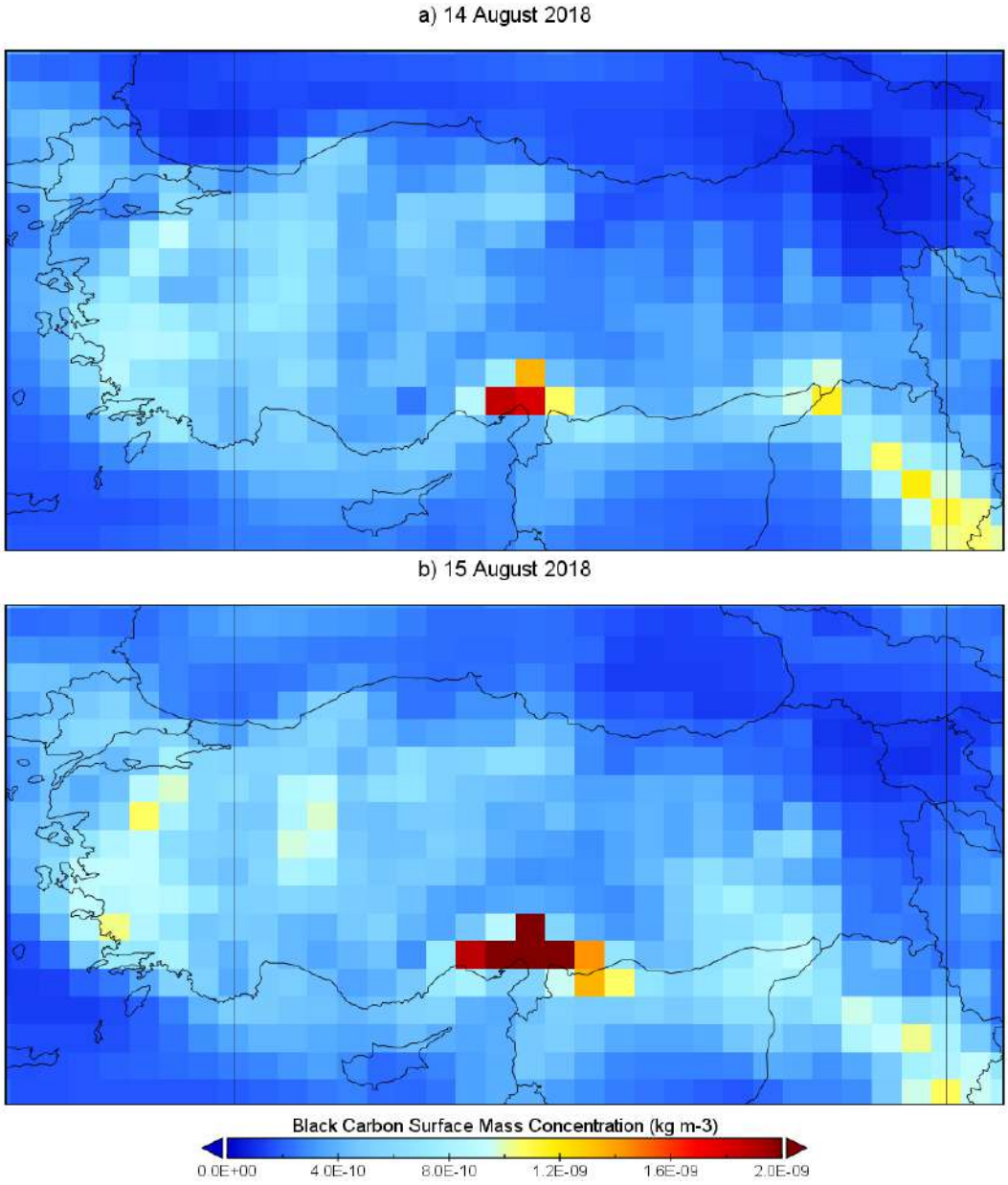


Figure 4. MERRA-2 BC Surface Mass Concentration on Fire Days a) !4 August, b) 15 August 2018

3.3. Assessment and Comparison

According to the time series that were created with FRP, fire counts, AOD, and ground PM_{10} measurements according to provinces, the impact of the fires can be observed in AOD values (Figure 5). For example, in Adana, there is a significant increase in FRP on the August 14th and 15th, and the increase between August 14th-15th can be observed with increase in August 16th-18th AOD with a delay. What is more, there is a similar rise in August 27-28th for AOD values that might be related with another small peak of FRP on the August 24th-26th. When the ground measurements were considered, daily changes were not seemed to be affected by the

increase in fires. The locations of these ground stations were generally selected within urban areas to better estimate the PM exposure, however give limited information on random time and location events such as fires.

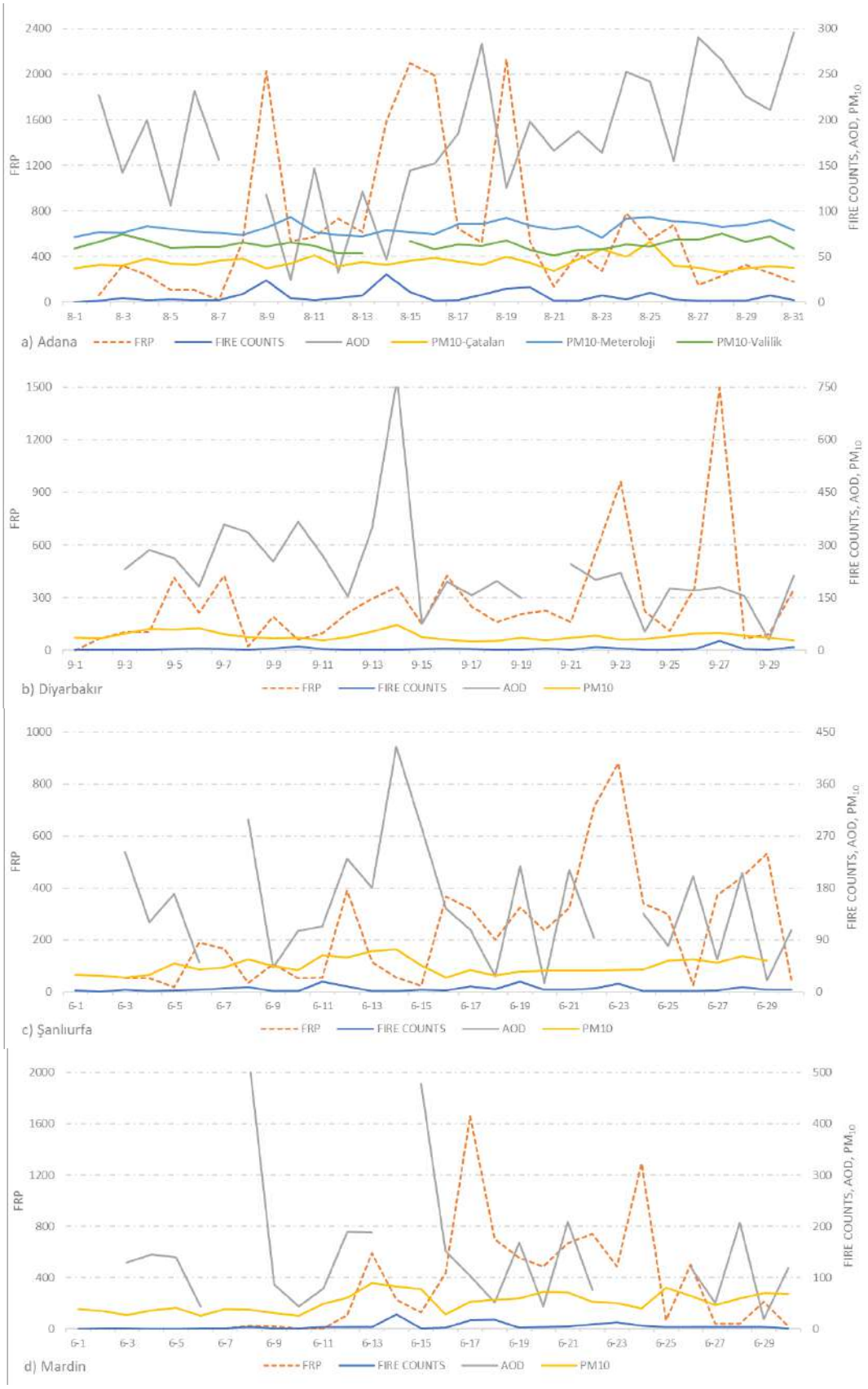


Figure 5. Comparison of fire counts, ground measurements and satellite retrievals for a) Adana, b) Diyarbakır c) Şanlıurfa, and d) Mardin

In Diyarbakır, the days when FRP increased were September 5th-7th, 14th, 23rd and 27th, AOD values were peaking on 13th and 14th. However, on the 23rd of September, one of the peak points of FRP is observed with a small rising AOD value that cannot be considered as impact of fires. The effect of FRP cannot be observed in the ground PM_{10} measurements in a similar way with Adana. In Şanlıurfa, the highest FRP is observed on the June 22nd -23rd, but due to missing AOD data, the impact could not be observed. The highest increase in AOD values observed on June 14th that might be due to contribution of higher FRP on June 12th.

4. CONCLUSION

Spatial matching of CORINE land cover information and fire locations showed vast amount of fires were happening in agricultural fields. We believe that even though it is illegal to burn agricultural residues, residue burning activities still continue on the southern parts of Turkey.

Ground measurements were less affected by FRP which might be because of the location of the stations, transportation of pollutants to the upper layer, and low representability of these random sources of fires. Most of the measurement stations were located outside of the fire regions. Thus, it can be inferred that these stations are not sufficient to make assessment for the impact of these residual burning activities, and satellite retrievals are required.

The impact of fires were somewhat observable with AOD values when the time series were taken into consideration. However, there were inconsistencies in FRP and AOD value relations. Since the crossing time of Terra and Suomi NPP satellites are different, there might be effects of delays in observations. Taking monthly averages of AOD dominated the impact of daily PM sources and makes it harder to distinguish the impact caused by fires. In addition, time series were made for whole provincial areas instead of grids with agricultural fields. Hence, better results can be observed with time series specifically for grids collocated with fires to amplify the impact of residue burning.

MERRA-2 BC provided a clearer signal to see the direct impact on the fire days by focusing on emissions caused by combustion sources. For future work, grids that dominated by fires will be selected to see the impact of agricultural residue burning with a spatial selection according to agricultural land use areas.

5. REFERENCES

[1] WHO, “Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease,” 2016. https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/250141/9789241511353-eng.pdf (accessed Nov. 15, 2021).

[2] A. J. Cohen *et al.*, “Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015,” *Lancet*, vol. 389, no. 10082, pp. 1907–1918, 2017, doi: 10.1016/S0140-6736(17)30505-6.

[3] E. Akyuz, M. Samavati, and B. Kaynak, “Spatial distribution of health risks associated with PM2.5 in Turkey and Iran using satellite and ground observations,” *Atmos. Pollut. Res.*, vol. 11, no. 12, pp. 2350–2360, 2020, doi: 10.1016/j.apr.2020.08.011.

[4] S. Sillapapiromsuk, S. Chantara, U. Tengjaroenkul, and S. Prasitwattanaseree, “Chemosphere Determination of PM10 and its ion composition emitted from biomass burning in the chamber for estimation of open burning emissions,” *Chemosphere*, vol. 93, no. 9, pp. 1912–1919, 2013, doi: 10.1016/j.chemosphere.2013.06.071.

[5] A. Vaishya, P. Singh, S. Rastogi, and S. S. Babu, “Aerosol black carbon quanti fi cation in the central Indo-Gangetic Plain : Seasonal heterogeneity and source apportionment,” *Atmos. Res.*, vol. 185, pp. 13–21, 2017, doi: 10.1016/j.atmosres.2016.10.001.

[6] D. Saheb *et al.*, “Impact of biomass burning on regional aerosol optical properties : A case study over northern India,” *J. Environ. Manage.*, vol. 244, no. April, pp. 328–343, 2019, doi: 10.1016/j.jenvman.2019.04.025.

[7] A. M. M. M. Hossain, S. Park, J. Kim, and K. Park, “Volatility and mixing states of ultrafine particles from biomass burning,” *J. Hazard. Mater.*, vol. 205–206, pp. 189–197, 2012, doi: 10.1016/j.jhazmat.2011.12.061.

[8] K. Vijayakumar, P. D. Safai, P. C. S. Devara, S. V. Bhaskara, and C. K. Jayasankar, “Effects of agriculture crop residue burning on aerosol properties and long-range transport over northern India : A study using satellite data and model simulations,” *Atmos. Res.*, vol. 178–179, pp. 155–163, 2016, doi: 10.1016/j.atmosres.2016.04.003.

[9] N. Thi *et al.*, “Characterization of gaseous and semi-volatile organic compounds emitted from fi eld burning of rice straw,” *Atmos. Environ.*, vol. 119, pp. 182–191, 2015, doi: 10.1016/j.atmosenv.2015.08.005.

[10] H. Ni *et al.*, “Emission characteristics of carbonaceous particles and trace gases from open burning of crop residues in China,” *Atmos. Environ.*, vol. 123, pp. 399–406, 2015, doi: 10.1016/j.atmosenv.2015.05.007.

[11] T. Liu, L. J. Mickley, S. Singh, M. Jain, R. S. Defries, and M. E. Marlier, “Atmospheric Environment : X Crop residue burning practices across north India inferred from household survey data : Bridging gaps in satellite observations,” *Atmos. Environ. X*, vol. 8, no. September, p. 100091, 2020, doi: 10.1016/j.aeaoa.2020.100091.

[12] T. Liu *et al.*, “Seasonal impact of regional outdoor biomass burning on air pollution in three Indian cities: Delhi, Bengaluru, and Pune,” *Atmos. Environ.*, vol. 172, no. October 2017, pp. 83–92, 2018, doi: 10.1016/j.atmosenv.2017.10.024.

[13] Y. Shen, C. Jiang, K. L. Chan, C. Hu, and L. Yao, “Estimation of field-level NOx emissions from crop residue burning using remote sensing data: A case study in Hubei, China,” *Remote Sens.*, vol. 13, no. 3, 2021, doi: 10.3390/rs13030404.

[14] Z. Chen *et al.*, “Examining the influence of crop residue burning on local PM2.5 concentrations in Heilongjiang province using ground observation and remote sensing data,” *Remote Sens.*, vol. 9, no. 10, 2017, doi: 10.3390/rs9100971.

[15] M. Nair, H. Bherwani, S. Kumar, S. Gulia, S. Goyal, and R. Kumar, “Assessment of contribution of agricultural residue burning on air quality of Delhi using remote sensing and modelling tools,” *Atmos. Environ.*, vol. 230, no. October 2019, p. 117504, 2020, doi: 10.1016/j.atmosenv.2020.117504.

[16] T. Singh, A. Biswal, S. Mor, K. Ravindra, V. Singh, and S. Mor, “A high-resolution emission inventory of air pollutants from primary crop residue burning over Northern India based on VIIRS thermal,” *Environ. Pollut.*, vol. 266, p. 115132, 2020, doi: 10.1016/j.envpol.2020.115132.

[17] TUIK, 2021. https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=92&locale=tr (accessed Nov. 05, 2021).

[18] MoAF, 2021. https://arastirma.tarimorman.gov.tr/ttae/Sayfalar/Detay.aspx?SayfaId=89). (accessed Nov. 15, 2021).

[19] D. T. and Y. J. K. Lorraine A. Remer1, “ALGORITHM FOR REMOTE SENSING OF TROPOSPHERIC AEROSOL FROM MODIS: Collection 5 Product ID: MOD04/MYD04,” 1996. https://modis-images.gsfc.nasa.gov/_docs/MOD04-MYD04_ATBD_C005.pdf (accessed Nov. 15, 2021).

[20] G. Modeling, A. Office, S. Systems, S. Applications, and I. Corporation, “The Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications ,” vol. 2, pp. 5419–5454, 2017, doi: 10.1175/JCLI-D-16-0758.1.

[21] M. D. Goldberg, H. Kilcoyne, H. Cikanek, and A. Mehta, “Joint Polar Satellite System : The United States next generation civilian polar-orbiting environmental satellite system,” vol. 118, no. September, pp. 463–475, 2013, doi: 10.1002/2013JD020389.

[22] F. Li, “Comparison of Fire Radiative Power Estimates From VIIRS and MODIS Observations,” no. November 2017, pp. 4545–4563, 2018, doi: 10.1029/2017JD027823.

[23] MoEUCC, 2021. https://sim.csb.gov.tr/STN/STN_Report/StationDataDownloadNew (accessed Nov. 15, 2021).

[24] X. Shao1, B. Zhang1, C. Cao2, and and Sirish Uprety, “Orbital Equator Crossing Time Variation for Suomi-NPP, MetOp and JPSS-1 Sun-synchronous Satellites,” 2021. https://cisess.umd.edu/assets/1/7/Xi_Shao_1.pdf (accessed Nov. 15, 2021).

[25] N. FIRMS, 2021. https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/download/ (accessed Nov. 15, 2021).

[26] N. MODIS, 2021. https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/missions-and-measurements/modis/ (accessed Nov. 15, 2021).

[27] N. EARTHDATA, 2021. https://nsidc.org/data/modis/index.html#:~:text=Aqua crosses the equator from,1%3A30 p.m. local time (accessed Nov. 15, 2021).

[28] L. DAAC, 2021. https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/search/imageViewer/1/MOD14A1--6, MOD04_L2--61 (accessed Nov. 15, 2021).

[29] Global Modeling and Assimilation Office (GMAO) (2015), MERRA-2 tavg1_2d_aer_Nx: 2d,1-Hourly,Time-averaged,Single-Level,Assimilation,Aerosol Diagnostics V5.12.4, Greenbelt, MD, USA, Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC), Accessed: [Nov. 15, 2021], 10.5067/KLICLTZ8EM9D

COVİD-19 KARANTİNASININ MARMARA BÖLGESİ HAVA KALİTESİ (NO_2 KONSANTRASYONU) ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN UZAKTAN ALGILAMA YÖNTEMLERİ İLE İZLENMESİ

Fırat ERDEM, Dilek KÜÇÜK MATCI, Nuri ERKİN ÖÇER, Gordana KAPLAN, Uğur AVDAN

[1]*Yer ve Uzay Bilimleri Enstitüsü, Eskisehir Teknik Universitesi, Eskisehir, Turkey*

Özet

Türkiye'de SARD-CoV-2 virüsünün yayılımını durdurmak amacıyla 15 Mart 2020 yılı ile 01 Mart 2021 tarihleri arasında kısmi ve tam kapanmalar uygulanmıştır. Ancak bu süre zarfında sanayi bölgesinde bulunan fabrikalar çalışmaya devam etmiştir. Bu durum popülasyon hareketliliğinin hava kalitesi üzerindeki etkilerini sınırlarken sanayi bölgelerinin hava kalitesi üzerindeki etkilerini ortaya çıkarmıştır.

Teknolojinin hızlı gelişimi ile birlikte uzaktan algılama sistemlerinde meydana gelen değişmeler çevresel verilerin hızlı ve ekonomik bir şekilde elde edilmesini sağlamıştır. Bu çalışmada, uygulanan kısıtlamaların Türkiye'de sanayinin en çok geliştiği bölge olan Marmara bölgesindeki NO_2 konsantrasyonları üzerindeki etkileri Sentinel-5P TROPOMI uydu verileri kullanılarak incelenmiştir. Bu amaçla bir uzaktan algılama aracı olan Google Earth Engine kullanılarak 2019, 2020 ve 2021 yıllarındaki NO_2 değerleri analiz edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde sanayideki hareketliliğin hava kalitesine (NO_2 konsantrasyonu) nasıl bir etki ettiği tespit edilmiştir.

Teşekkür: Bu çalışma 21GAP064 nolu Genel Amaçlı Projesi ile desteklenmiştir.

Abstract

In order to prevent the spread of the SARS-CoV-2 virus in Turkey, partial and total lockdowns were applied between 15 March 2020 and 01 March 2021. During this period, the factories in the industrial zone continued to operate. While this situation limited the effects of population mobility on air quality, it revealed the effects of industrial zones on air quality.

With the rapid development of technology, improvements in remote sensing systems have enabled environmental data to be obtained quickly and economically. In this study, the effects of the applied lockdowns on NO_2 concentrations in the Marmara region, where the industry is most developed in Turkey, were investigated using Sentinel-5P TROPOMI data. For this purpose, NO_2 values in 2019, 2020, and 2021 were examined using Google Earth Engine. The results reveal how the activity in the industry affects the air quality (NO2 concentration).

Keywords: NO2, Air Quality, SARS-CoV-2, Remote Sensing

UZAKTAN ALGILAMA İLE TÜRKİYE'DE AMONYAK (NH_3) KİRLETİCİSİNİN ZAMANSAL VE MEKÂNSAL DAĞILIMI

Seda TOKGÖZ [1], Burçak KAYNAK [1,*]

İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İSTANBUL
tokgozs20@itu.edu.tr, burcak.kaynak@itu.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, uydu verileri kullanılarak (MetOp B- IASI), NH_3 kirleticisinin zamansal ve mekansal değişimleri incelenmiş, Türkiye için genel bir değerlendirme yapılmıştır. 2018 yılı ilkbahar mevsimine ait üç aylık değişimlerde en yüksek konsantrasyonlar Mayıs ayında gözlenmiştir. Uydu verileri ve EMEP emisyon envanteri ile NH_3 kirleticisinin konsantrasyonlarının ve emisyonlarının alansal dağılımı kıyaslanmıştır. Yüksek NH_3 konsantrasyonları İzmir, Manisa, Aydın, Afyonkarahisar, Konya, Karaman, Aksaray, Balıkesir, Adana, Mersin ve Iğdır illerinde belirlenmiştir. NH_3 emisyonlarının yüksek olduğu iller ise şu şekildedir: Bolu, Sakarya, Karabük, Zonguldak, Kocaeli, Balıkesir, İzmir, Manisa, Adana ve Mersin. İzmir, Manisa, Balıkesir, Afyonkarahisar, Adana, Mersin alansal yoğunluğun yüksek bulunduğu ortak illerdir. İlçe bazında korelasyonlar incelendiğinde en yüksek ilişki (r^2=0.73) Mersin iline aittir. Emisyonlar ve konsantrasyonlar arasında tutarsızlık olan iller ise Aydın, Aksaray, Bolu, Karabük ve İstanbul'dur.

Anahtar kelimeler: *Amonyak, uzaktan algılama, tarım, ikincil partikül oluşumu*

Abstract

In this study, spatial and temporal changes of NH_3 concentration were examined and a general evaluation was made for Turkey using satellite data (MetOp B- IASI). According to, three-month changes of spring season of 2018 year, the highest concentrations were recorded in May. The areal density of NH_3 pollutantwas compared in distribution maps created with satellite data and EMEP emission inventory.High NH_3 concentrations were recorded in İzmir, Manisa, Aydın, Afyonkarahisar, Konya, Karaman, Aksaray, Balıkesir, Adana, Mersin and Iğdır provinces. The provinces with hish emissions are as follows: Bolu, Sakarya, Karabük, Zonguldak, Kocaeli, Balıkesir, İzmir, Manisa, Adana and Mersin.İzmir, Manisa, Balıkesir, Afyonkarahisar, Adana, Mersin are the common provinces were the density was determined and the highest correlation (r2=0.73) was determined for Mersin. The provinces with the inconsistencies are: Aydın, Aksaray, Bolu, Karabük and İstanbul.

Keywords: *Ammonia, remote sensing, agriculture, secondary particulate formation*

1. GİRİŞ

Nüfus artışı, günümüzde dünya genelinde arz-talep dengesinin sağlanması konusunda endişelere yol açar. Tarımsal profili güçlü olan ülkeler her ne kadar bu durumdan etkilenmiyor gibi gözükse de iklim değişikliğiyle beraber meydana gelen sıcaklık artışları, yağış rejimindeki dengesizlikler vb. gibi olaylar üretimin azalmasına ve elde edilen ürünlerin kalitesizleşmesine sebep olur [1]. Tam da bu sebepten, tarım kaynaklı kirliliğin araştırılması ve azaltılması için gerekli önlemlerin alınması önemlidir.

Amonyak (NH_3), atmosferde yoğun olarak bulunan ve oldukça reaktif bir gaz kirleticidir. NH_3 azot döngüsündeki rolü ile ötrofikasyon gibi çevresel olaylar ile ekosistem üzerinde etkilidir. Ayrıca NH_3, SO_2 ve NO_2 ile girdiği kimyasal reaksiyonlarla ikincil partikül madde oluşumunda da rol almaktadır. İkincil partikül maddenin kimyasal bileşenleri incelendiğinde önemli bir kısmının NH_3 kaynaklı ikincil inorganik bileşiklerden (SO_4^{-2}, NO_3^-, NH_4^+) oluştuğu görülmüştür [2, 3] İstanbul için yapılan bir çalışmada, bu inorganik maddelerin partikül maddeye katkısının önemi ve mevsimsel değişimi ortaya konmuştur [4]. Kriter

kirleticiler sınıflandırmasında yer alan partikül maddenin [5] hava kalitesi ve dolayısıyla insan sağlığı ve çevre üzerindeki etkileri düşünüldüğünde NH_3 kirleticisinin atmosferdeki takibi önemlidir.

Tarımsal aktiviteler (hayvancılık, gübreleme, gübre depolama) temel NH_3 emisyon kaynaklarını oluştururlar. 2018 yılı EMEP emisyon envanterine göre, Türkiye'nin toplam NH_3 emisyonu 728 bin tondur. Bu değerin 687 bin tonu tarım kökenlidir ve toplam değerin yaklaşık %95'ini oluşturmaktadır [6]. Avrupa Çevre Ajansı (EEA) 2021 verilerine göre, Avrupa ülkeleri için oluşturulmuş 2018 yılına ait NH_3 emisyonlarının yaklaşık %93'ü tarım kaynaklıdır [7]. Buradan hareketle, tarımsal faaliyetlerin yoğun olduğu alanlarda, atmosferik NH_3 konsantrasyonlarının da yüksek olması beklenmektedir.

Atmosferik NH_3 seviyelerinde gübreleme zamanı, gübre türü, toprak tipi gibi tarımsal pratikler önemlidir. Bunların yanı sıra, meteorolojik faktörlerin de NH_3 seviyeleri üzerinde önemli derecede etkisi olabilir. Sıcaklık, bağıl nem, yağış miktarı NH_3 için önemli parametrelerdir. Sıcaklığın yüksek olduğu zamanlarda, partikül madde gaz fazına geçtiği için atmosferde daha yoğun oranda NH_3 gözlenir. Bunun tam tersi olarak, fazla yağışın görüldüğü zamanlarda atmosferdeki NH_3 ıslak çökelme ile atmosferden uzaklaşır, dolayısıyla konsantrasyon ve yağış ters ilişkilidir [8, 9].

Uzaktan algılama, atmosferik kirleticilerin takibinde kullanılan etkili bir yöntemdir. Bu yöntemle, küresel kapsama alanı için ve yüksek çözünürlüklü veriler elde edilmektedir. Böylece, yer ölçümlerinin yetersiz olduğu durumlar uydu ölçümleri ile desteklenmekte ve kirleticilerin alansal ve zamansal değişimi incelenebilmektedir. Sürekli olarak yer ölçümleri yapılmayan NH_3 kirleticisi için, uzaktan algılama metodu ile izleme çalışmaları yapılmış ve etkili sonuçlar elde edilmiştir. Amerika'nın Colorado eyaletinde özellikle hayvan çiftliklerinin yoğun olduğu alanlarda yüksek konsantrasyon değerleri görülmüştür [10]. İtalya'nın Lombardiya bölgesi için yapılan başka bir çalışmada NH_3 emisyonlarının %97'sinin tarımsal kaynaklı olduğu belirtilmiştir [11]. Tarım dışında, biyokütle yakılması da ikinci önemli kaynak niteliği taşımaktadır. Özellikle Afrika ülkelerinde, Hindistan, Çin, Endonezya gibi ülkelerde dönemsel yanma faaliyetlerinin yüksek NH_3 konsantrasyonlarından sorumlu olduğu bulunmuştur [12].

Bu çalışmada uzaktan algılama ile Türkiye'deki NH_3 konsantrasyonunun zamansal ve mekânsal değişimi izlenecektir. Ayrıca NH_3 konsantrasyon dağılımı EMEP emisyon envanterinde rapor edilen NH_3 emisyonları ve CORINE arazı kullanımı ile kıyaslanacak ve alansal korelasyonları incelenecektir. Elde edilen konsantrasyon dağılımlarına göre, meteorolojik faktörlerin (sıcaklık, nem vb.) NH_3 konsantrasyonlarına etkisi araştırılacaktır. Özetle, bu çalışma Türkiye için NH_3 konsantrasyonu genel dağılımını ortaya koyarak alansal değişimini ve farklı faktörlerin etkisini incelemeyi amaçlamaktadır. Türkiye'de uzaktan algılama ile NH_3 kirletici tayini konusunda yapılmış ilk çalışma olacaktır.

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Tarım istatistikleri ve İklim

Türkiye yüzölçümünün (78535 km^2) büyük bir kısmı tarımsal arazi alanı (38328 km^2) olarak kullanılmaktadır. Dünyanın tarımsal üretim ve ihracat pazarında Türkiye'nin rolü büyüktür. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO)'ne göre Türkiye, tarımsal üretimde 7. sıradadır ve bazı ürünlerde en büyük üretici ülke olduğu tahmin edilmektedir [13, 14] .

Türkiye için bitkisel üretim verileri incelendiğinde, en fazla üretime sahip ilk 5 il Konya, Ankara, Şanlıurfa, Sivas, Yozgat'tır. Konya, Sivas ve Yozgat'ta en fazla üretilen ürün şekerpancarı; Ankara'da buğday ve Şanlıurfa'da pamuktur. Genellikle tahıl üretiminin fazla olduğu coğrafyamızda yaş sebze- meyve üretiminin en fazla gerçekleştiği bölgeler Ege ve Akdeniz Bölgeleri'dir [15]. Hayvancılık faaliyetleri de Türkiye tarımının önemli bir koludur. 2018 yılındaki canlı hayvan sayılarına göre (büyükbaş, küçükbaş) üretimin en fazla olduğu ilk beş il sırasıyla Konya, Van, Şanlıurfa, Diyarbakır ve Ankara'dır. Kümes hayvancılığında ilk sırada Manisa ili yer almaktadır [15].

2018 İklim değerlendirmesi raporuna göre 2018 yılı Türkiye sıcaklık ortalaması 15°C'dir. Mevsimsel sıcaklık değerleri uzun yıllar ortalamasının üzerindedir. Kış mevsimi ortalaması 6,4°C, ilkbahar 15°C, sonbahar 16,2°C 'dir. Yaz mevsimi için 26,4°C olan sıcaklık ortalamaları normalinden 1,2°C fazladır ve en yüksek sıcaklık Temmuz ayında (47,4°C) kaydedilmiştir [16]. Bölgelere göre sıcaklık ortalamalarına bakıldığında, Türkiye'nin Ege ve Marmara Bölgeleri dışındaki tüm bölgeler için, değerler tüm aylarda normallerinin üzerindedir [16].

Türkiye'nin 2018 yılındaki yağış miktarı 658,7 mm olarak kaydedilmiştir. Mevsimsel yağış ortalamalarına göre, kış mevsimi normalden daha düşük yağış almıştır. İlkbahar ve yaz mevsimlerinde uzun yıllar ortalamasının üzerinde gerçekleşen yağış miktarı, sonbahar mevsiminde önemli bir değişiklik kaydetmemiştir. 2018 yılında tüm bölgelerde yağışlar normal değerlerin üzerinde gerçekleşmiştir.

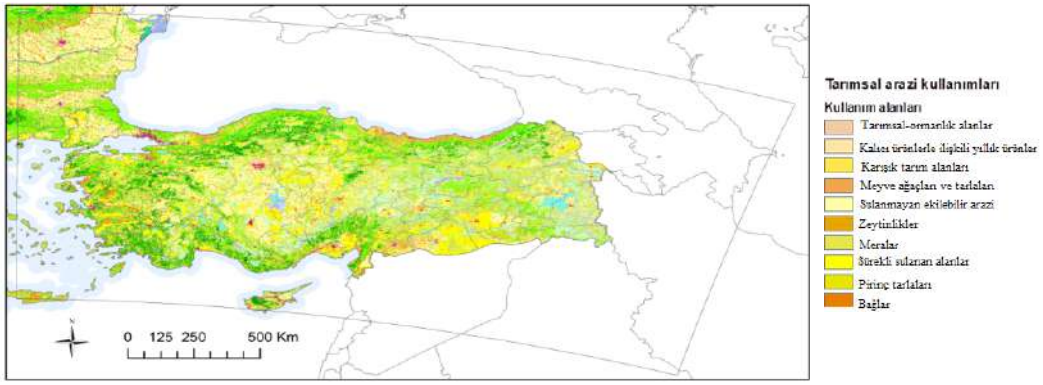
Karadeniz Bölgesi en fazla yağış alan bölge olurken, İç Anadolu Bölgesi'nin iç kesimleri, Şanlıurfa ve Iğdır en az yağış alan yerler olmuştur [16].

2.2. NH_3 Emisyonları

Bu çalışmada kullanılan NH_3 emisyonları Avrupa İzleme ve Değerlendirme Programı'ndan (EMEP) alınmıştır ve 2018 yılına ait emisyon değerleri kullanılmıştır [6]. Emisyonlar incelenirken toplam NH_3 emisyonlarının yanı sıra K ve L ile belirtilen *"Tarım-hayvancılık"* ve *"Tarım-diğer"* sektörleri seçilmiştir. EMEP emisyon envanteri Türkiye'yi de içine alan bir çalışma alanına sahip olup, 0.1 ×0.1° alansal çözünürlüğüne sahiptir. EMEP'in Türkiye ve yakın çevresindeki gridleri kıyaslama açısından kolaylık sağlaması için uydu verilerinin ortalama değerlerinin hesaplanmasında da altlık olarak kullanılmıştır [17].

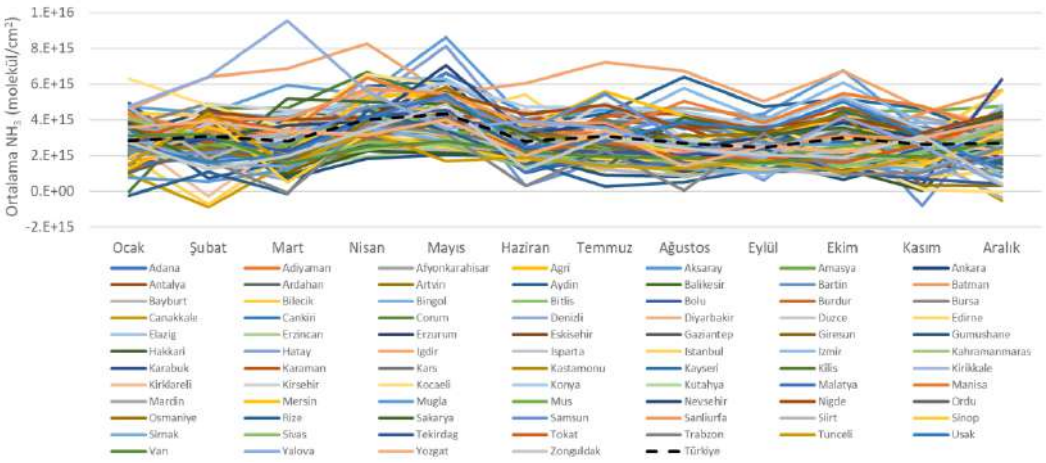
2.3. Çalışma Alanı ve Zaman Aralığı

EMEP emisyonları için tanımlanan 0.1 ×0.1° grid çözünürlüğüne sahip, Türkiye ve yakın çevresini kapsayan bölge (32-46° N, 24-52° E) çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Corine Arazi Kullanım ve Arazi Örtüsü verisi tarımsal alanların belirlenmesinde kullanılmıştır [18] (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma alanı ve CORINE arazi örtüsü

2018 yılı ilkbahar mevsimi 1971 yılından sonraki en yüksek sıcaklıkların kaydedildiği üçüncü ilkbahar mevsimidir. Bu sıcaklıkların NH_3 kirleticisinin gaz fazına geçmesinde etkili olduğu ve Türkiye'deki tarımsal aktivite yoğunluklarının (gübreleme, ürün hasadı vs.) bu dönemde hızlandığı düşünüldüğünde bu zaman aralığı için yüksek NH_3 konsantrasyon değerleri görüleceği öngörülmüştür. Bu sebeple Türkiye'nin 81 ili için ortalama NH_3 konsantrasyonları hesaplanmış, aylara göre değişim grafikleri hazırlanmıştır (Şekil 2). Aylık değişime göre, konsantrasyonların en yüksek olduğu aylar Mart, Nisan, Mayıs olarak belirlenmiş ve bu çalışmada ayrıntılı olarak incelenmiştir.



Şekil 2. 2018 yılı aylık il bazında ortalama IASI NH_3 konsantrasyonlarının değişimi

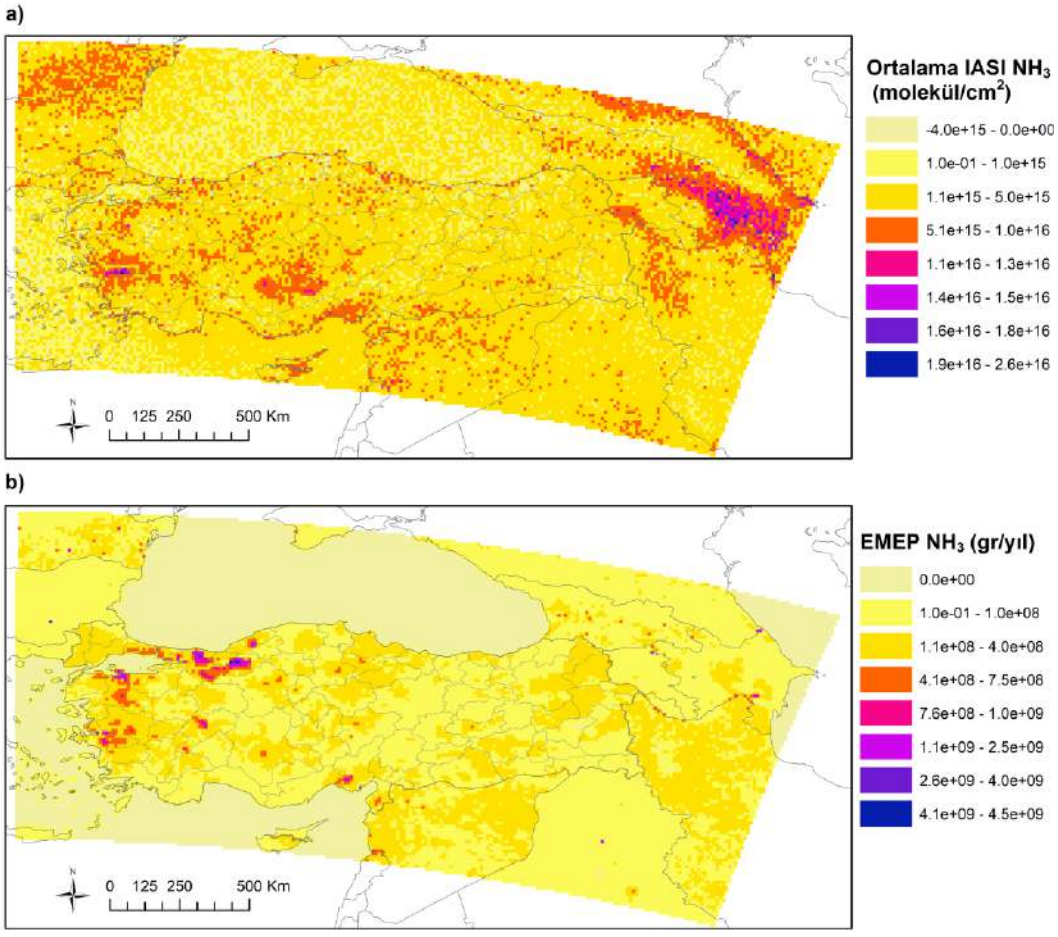
2.4. NH_3 Uydu Verileri

Bu çalışmada kullanılan IASI (Infrared Atmospheric Sounder Interferometer) MetOp uydusuna bağlı olarak veri sunan bir uzaktan algılama enstrümanıdır. İlk kez Metop-A uydusuna bağlı olarak 2006 yılında veri sunmaya başlayan IASI, 12×12km^2 çözünürlüğe sahiptir ve spektral aralığı 645-2760 cm^{-1}'dir. Günde iki kez 9:30 ve 21:30 saatlerinde veri sağlamaktadır [19, 20]. Günümüzde CO_2, O_3, CH_4 gibi sera gazlarının yanı sıra NH_3 takibinde de sıkça kullanılmaktadır. NH_3 kirliliğinin incelenmesi için bu enstrümanın seçilmesinde veri sağlama sıklığının yanı sıra, alansal çözünürlüğünün yüksek olması da etkili olmuştur.

Bu çalışma için öncelikle 2018 yılına ait MetOpB-IASI (Level 2) NH_3 verileri indirilmiştir [21]. Türkiye ve yakın çevresini kapsayacak koordinatlarda indirilen veriler arasından gerekli parametreler R programı kullanılarak işlenmiştir. Bu parametreler: NH_3 toplam kolon, NH_3 toplam kolon belirsizliği, güneş zenit açısı ve bulutluluktur. Toplam NH_3 kirleticisinin kolon verisi molekül/cm^2 cinsinden ifade edilmektedir. Veriler ArcGIS programı kullanılarak işlenerek alansal dağılım haritaları oluşturulmuş, işlenen veriler çalışma alanındaki EMEP gridleri ile alansal olarak kesiştirilerek EMEP gridleri için yıllık ve aylık ortalama konsantrasyon değerleri hesaplanmıştır.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Yıllık ortalama IASI NH_3 değerleri alansal dağılımın Ege Bölgesi'nde (İzmir, Manisa, Aydın, Afyonkarahisar); İç Anadolu Bölgesi'nde (Konya, Karaman, Aksaray); Akdeniz Bögesin'de (Adana, Mersin); Marmara Bölgesi'nde (Balıkesir) ve Doğu Anadolu Bölgesi'nde (Iğdır) yoğunlaştığını görülmüştür (Şekil 3a). Maksimum NH_3 konsantrasyonu Mersin'de (Bozyazı) ve en yüksek ortalama NH_3 konsantrasyonu İzmir'de (Tire, Ödemiş, Bayındır) gözlenmiştir. Türkiye'nin yakın çevresine bakıldığında, Ermenistan, Azerbaycan'da ve Kıbrıs'ta yüksek değerler görülmüştür (Şekil 3a).



Şekil 3. Yıllık a) Ortalama IASI NH_3 konsantrasyon dağılımı; b) EMEP toplam NH_3 emisyon dağılımı

Alansal NH_3 dağılımda yüksek değerlerin gözlendiği illerin ortak özellikleri tarımsal üretim potansiyellerinin yüksek olmasıdır. Konya, bitkisel ve hayvansal üretimde Türkiye'deki iller arasında ilk sırada yer almaktadır. Her iki üretim sektörü ilin neredeyse tamamında görülen yoğun kirliliğin sebebi olabilir. En yüksek ortalama konsantrasyon değerlerinin görüldüğü İzmir, Konya'dan sonra tahıl üretiminde ikinci sıradadır ve yaş sebze-meyve üretim potansiyeli yüksektir. Adana, Mersin, Aydın, Manisa illerinde sebze-meyve üretimi, Aksaray ve Balıkesir illerinde ise tahıl üretimi yoğun olarak gerçekleşmektedir. Iğdır ilinin tarımsal üretim olarak, diğer iller gibi öne çıktığı herhangi bir üretim sektörü yoktur. Bu nedenle burada görülen konsantrasyonun sebebinin komşu ülkelerden kaynaklanan kirlilik olabileceği düşünülmüştür. Ayrıca 2018 yılında Iğdır'da yağışın düşük olmasının da, atmosferdeki NH_3 birikimini tetikleyen başka bir faktör olabileceği düşünülmüştür.

EMEP NH_3 emisyon dağılımı haritasına göre (Şekil 3b), maksimum değerler Batı Karadeniz Bölgesi'nde bulunan Bolu (Merkez), Sakarya (Ferizli), Karabük (Yenice) illerinde gözlenmiştir. Bu bölgeden sonra en yüksek emisyon değerleri sırasıyla Balıkesir, Adana, İzmir, Afyonkarahisar illerinde görülmüştür. Adana ve İzmir dışındaki illerde, *"Tarım-hayvancılık"* sektöründen gelen emisyon yoğunlukları fazladır ve hayvansal üretim istatistiklerine göre kümes hayvancılığından gelen emisyon katkısının fazla olduğu söylenebilir.

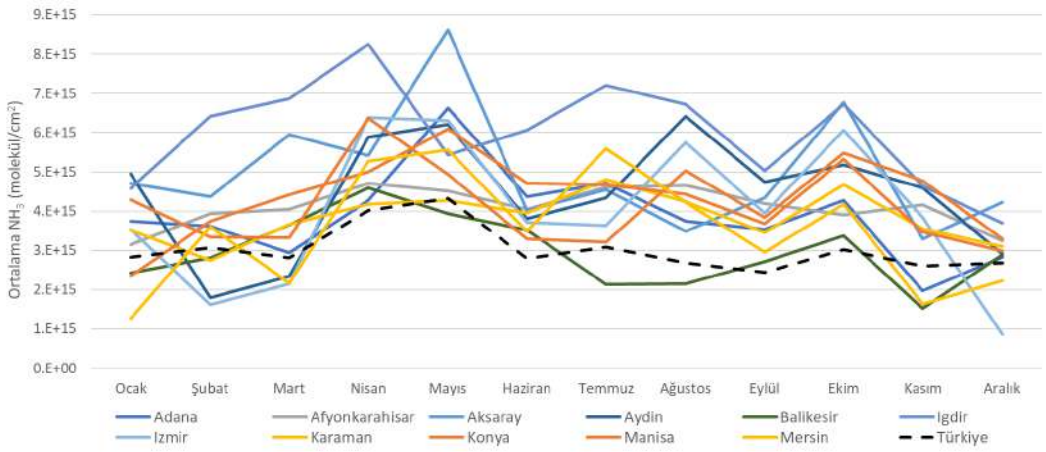
Afyonkarahisar (Başmakçı) ilçesinde oldukça büyük kapasiteli tavuk kümeslerinden gelen emisyonların buradaki yoğunluğun ana sebebi olabileceği küresel bir çalışmada daha önce de bahsedilmiştir [22].

NH_3 kirlilik ve emisyon dağılımları incelendiğinde; İzmir, Manisa, Balıkesir, Afyonkarahisar, Adana, Mersin her iki veri için alansal dağılımın yoğun olduğu ortak illerdir (Şekil 3a-b). Ancak Konya, Karaman, Aksaray, Iğdır illerinde görülen yüksek konsantrasyon sinyalleri (Şekil 3a), emisyon dağılımı ile kıyaslandığında aynı yoğunlukta görülmemiştir. EMEP toplam NH_3 emisyonlarının dağılımına göre en yüksek emisyonların olduğu Bolu, Sakarya, Karabük illeri (Şekil 3b), NH_3 uydu verilerinden elde edilen 2018 yılı ortalama kirlilik haritasında yüksek değerler göstermemiştir.

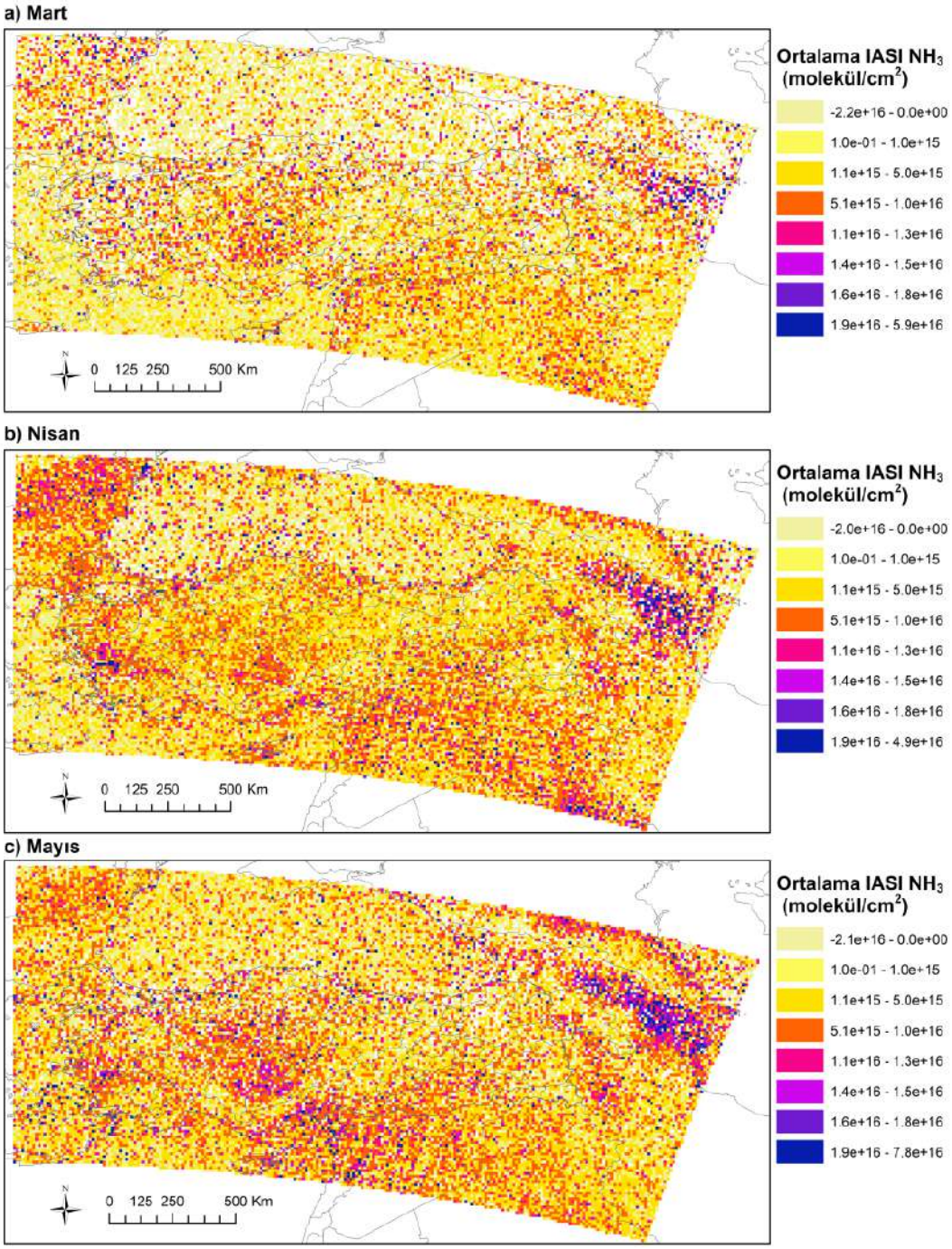
3.1. Zamansal değişim

Uydu verilerinde yüksek NH_3 konsantrasyon değerlerinin görüldüğü seçili iller için aylık değişim grafiği Şekil 4'te verilmiştir.

Grafiğe göre İzmir, Manisa, Afyonkarahisar Balıkesir ve Iğdır illeri Nisan ayında; Adana, Aksaray ve Konya Mayıs ayında; Karaman, Mersin Temmuz ayında ve Aydın ili Ağustos ayında en yüksek ortalama konsantrasyon değerlerine ulaşmıştır. Dolayısıyla seçilen bölgelerin çoğu için ilkbahar ayları önem taşır ve kirlilik yükünün bu aylarda daha fazla olacağı öngörülmüş ve Mart, Nisan, Mayıs ayları için ayrıca alansal dağılım haritaları oluşturulmuştur (Şekil 5a-c).



Şekil 4. Seçilmiş iller için 2018 yılı aylık il bazında ortalama IASI NH_3 konsantrasyonlarının değişimi



Şekil 5. Yıllık ortalama IASI NH_3 konsantrasyon dağılımları a) Mart; b) Nisan; c) Mayıs

Alansal dağılımı haritaları yorumlanırken, o bölgeye ait ortalama NH_3 konsantrasyonlarının veri sayısı miktarını önemlidir. Çünkü veri sayılarının yüksek ve zamansal kesintiye uğramadan mümkün olduğu kadar sürekli olması, o bölgedeki konsantrasyon yoğunluğunu daha güvenilir bir şekilde ifade etmektedir.

Bu amaçla, gerekli filtrelemeler yapılarak (tüm aylar için aylık maksimum veri sayısının %30'u ve üstü) yüksek veri sayımları ile yüksek ortalama konsantrasyonları gösteren iller ve ilçeler belirlenmiştir. Maksimum değerler her grid için o ay içerisindeki en yüksek değer olarak alınmıştır.

Mart ayı, Nisan ve Mayıs aylarına göre daha düşük ortalama konsantrasyon değerlerine ve daha az veriye sahiptir. Bu ayda maksimum konsantrasyon değeri ($4{,}68 \times 10^{16}$ molekül/cm^2) Kırklareli Demirköy'de belirlenmiştir. Mart ayı için belirlenen ortalama konsantrasyon değerlerinin en yüksek olduğu ilk beş il ve ilçeler şunlardır: İzmir (Tire), Iğdır (Aralık), Konya (Ereğli), Manisa (Köprübaşı), Adana (Karataş).

Mart ayına göre daha yüksek konsantrasyonların belirlendiği Nisan ayında, İzmir ilindeki alansal yoğunluk diğer aylara göre daha belirgindir ve maksimum konsantrasyon değeri ($5{,}76 \times 10^{16}$ molekül/cm^2) İzmir Ödemiş'e aittir. Bu ayda ortalama konsantrasyon değerlerinin en yüksek olduğu il beş il ve ilçeler şunlardır: İzmir (Ödemiş, Bayındır, Selçuk) İstanbul (Beykoz), Afyonkarahisar (Bolvadin), Muş (Hasköy), Şanlıurfa (Harran).

Mayıs ayı ortalama konsantrasyon değerlerinin en yüksek ve en fazla veriye sahip aydır. Bu ayda Konya, Karaman, Aksaray illerindeki alansal yoğunluk diğer aylara göre daha belirgindir ve maksimum konsantrasyon değeri ($6{,}47 \times 10^{16}$ molekül/cm^2) Samsun Asarcık'a aittir. Mayıs ayı için ortalama konsantrasyon değerlerinin en yüksek olduğu il beş il ve ilçeler şunlardır: İzmir (Ödemiş, Tire) Nevşehir (Gülşehir), Edirne (Merkez), Manisa (Saruhanlı), Adana (Kozan). Türkiye'nin yakın çevresinde bulunan Ermenistan ve Azerbeycan üzerindeki alansal yoğunluğun aslında hep belirgin olduğu; ancak Mart ayından Mayıs ayına gidildikçe en yüksek değerlerde olduğu görülmüştür.

2018 yılında ortalama sıcaklık değerleri Mart ayından Mayıs ayına kadar artış göstermiştir. Yağış miktarı ise en az Nisan ayında; en fazla Mayıs ayında gerçekleşmiştir. Mayıs ayında NH_3 konsantrasyonlarının fazla olması, sıcaklık değerlerinin NH_3 konsantrasyonları üzerindeki etkisinin, yağış etkisinden daha fazla olduğunu kanıtlar niteliktedir. Aynı şekilde yağış miktarı nispeten yüksek olan Mart ayındaki düşük konsantrasyon değerleri üzerinde yağış etkisinin daha fazla olduğu sonucuna ulaşılabilir.

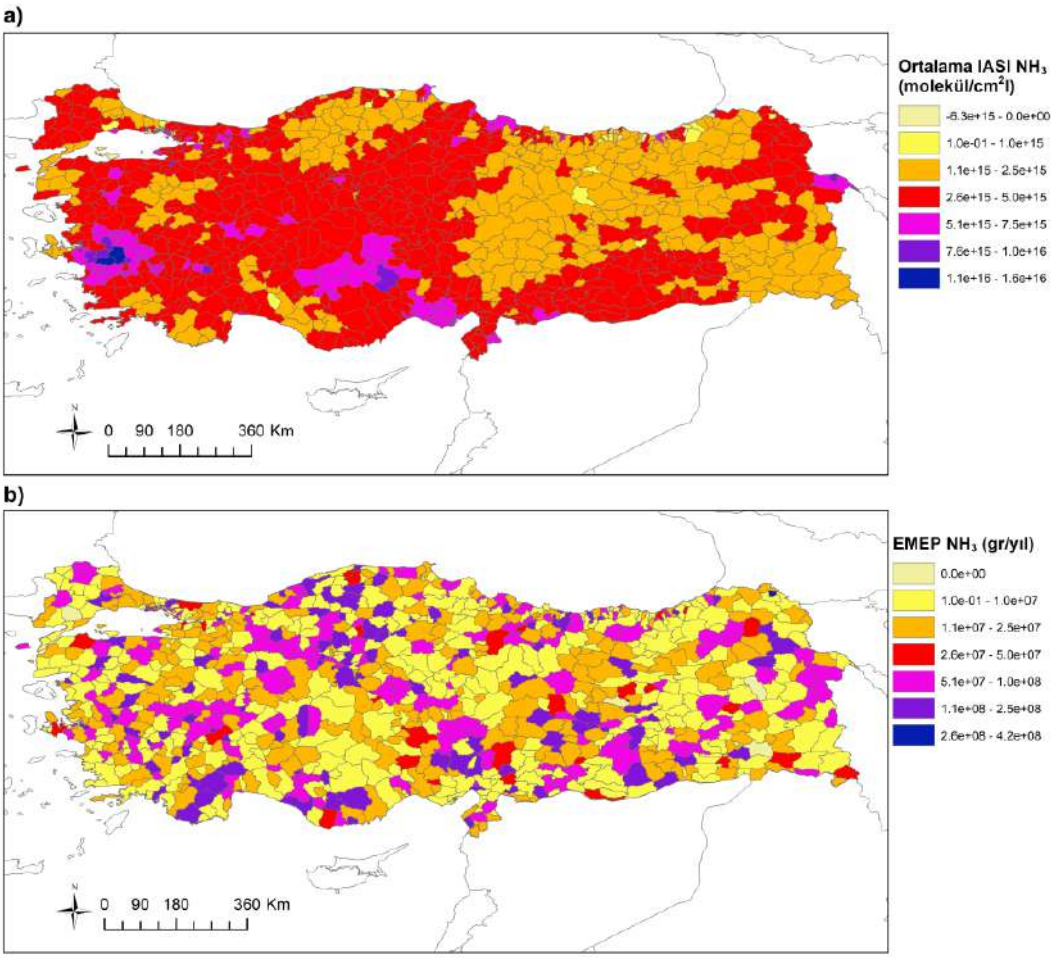
3.2. Mekânsal değişim

Ortalama IASI NH_3 konsantrasyon yoğunluklarının ilçelere göre değişimi Şekil 6a'da gösterilmiştir. En yüksek ortalama konsantrasyon değerleri İzmir iline bağlı Ödemiş ve Tire ilçelerinde belirlenmiştir. Iğdır (Karakoyunlu), Afyonkarahisar (Basmakçı), Manisa (Tugutlu), İzmir (Torbalı) ve Konya (Ereğli) en yüksek ikinci konsantrasyon skalasındaki il ve ilçelerdir ($\geq 7{,}5 \times 10^{16}$ molekül/cm^2).

Bu illerden sonra en yüksek ortalama NH_3 konsantrasyon değerlerinin görüldüğü 5 il ve ilçeleri şunlardır: Adana (Seyhan), Aydın (Efeler, Germencik, Söke), Manisa (Şehzadeler, Salihli), Konya (Karapınar, Çumra) İzmir (Kiraz) .

Genel olarak ortalama konsantrasyonların eğilimi ($2{,}5 \times 10^{16}$ - 5×10^{16} molekül/cm^2) arasındadır ve haritada kırmızı renk ile temsil edilmiştir. Bu konsantrasyon değerinden düşük eğilimler genellikle Doğu Anadolu Bölgesi'nin büyük bir kısmında ve Batı Karadeniz Bölgesi'nde görülmüştür. En düşük konsantrasyon değerleri ise genelikle Karadeniz Bölgesi'ndeki ilçelere aittir. Bu bölgenin yağış potansiyelinin, konsantrasyonlar üzerindeki etkisinin fazla olabileceği düşünülmüştür (Şekil 6a).

Toplam EMEP NH_3 emisyon envanterinin ilçelere göre dağılım haritasında (Şekil 6b) en yüksek emisyon değeri Ardahan'a (Damal) aittir ve haritada en yüksek skalaya sahip tek ildir (4.17×10^8 gr/yıl).Ardahan ilinden sonra en yüksek emisyonlar Eskişehir (Beylikova), İstanbul (Esenyurt), Isparta (Uluborlu) ve Sivas (Ulaş) görülmüştür ve tamamı *"Tarım-hayvancılık"* sektöründen kaynaklanmaktadır. Ortalama konsantrasyon haritasında yüksek değerlere sahip Konya, Karaman, Aksaray, Mersin, Adana, Iğdır illerindeki yoğunluk, emisyon haritasında net olarak seçilememiştir. EMEP emisyon haritasında yüksek değerlere sahip iller de, konsantrasyon haritasında belirgin değildir. Özellikle İstanbul gibi tarımsal aktiviteleri kısıtlı bir il için görülen bu yüksek değerin araştırılması önemlidir.



Şekil 6. a) Yıllık ortalama IASI NH_3 konsantrasyonlarının ve b) toplam EMEP NH_3 emisyonlarının ilçelere göre dağılımı

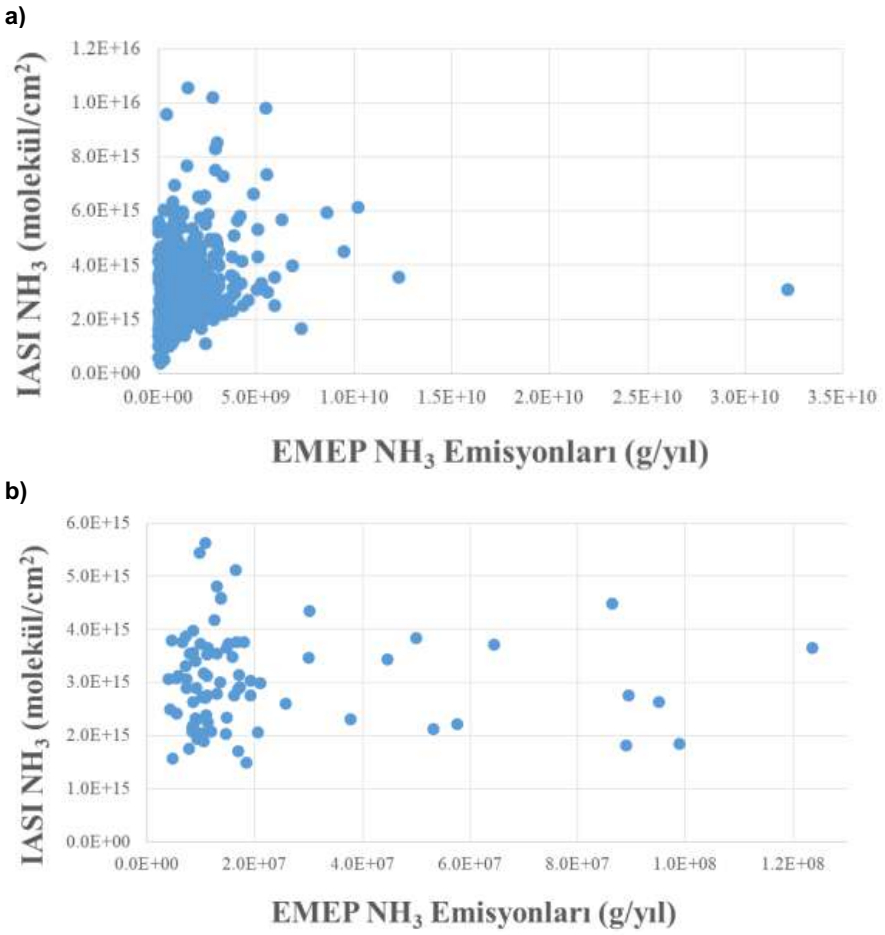
3.3. Korelasyonlar

2018 yılı NH_3 ortalama konsantrasyon ve EMEP NH_3 emisyon değerlerinin ilişkisini görmek amacıyla il ve ilçelerdeki korelasyonlarla bakılmıştır. Türkiye'nin 81 ili ve 944 ilçesi için oluşturulan dağılım grafiklerinde anlamlı bir ilişki görülmemiştir (Şekil 7a-b).

Korelasyonların il bazında yorumlanabilmesi için, bu çalışmada öne çıkan bazı illere ait korelasyon katsayıları şu şekilde verilmiştir: Konya (r^2=0.34), Karaman (r^2=0.22), Aksaray (r^2=0.02), İzmir (r^2=0.50), Manisa (r^2=0.03), Aydın (r^2=0.09), Afyonkarahisar (r^2= 0.22), Balıkesir (r^2=0.29), Mersin (r^2=0.73), Adana (r^2=0.33), Iğdır (r^2=0.72), Bolu (r^2=0.08), Sakarya (r^2=0.62), Karabük (0.14), Zonguldak (0.72), İstanbul (0.01).

4. TARTIŞMA

Bu çalışmada uzaktan algılama metodu ile Türkiye illeri ve ilçeleri için NH_3 kirleticisinin zamansal ve mekânsal değişimi izlenmiştir. NH_3 kirletici konsantrasyonunun zamansal değişimine göre, Mart ayı diğer aylar içerisinde en düşük konsantrasyonlara sahipken, maksimum konsantrasyonlar Mayıs ayında belirlenmiştir. Ancak, ilkbahar ayları için oluşturulan alansal dağılım grafikleri tüm yıl için temsil edici olmayabilir. Nitekim Türkiye'de sıcaklıkların maksimum olduğu Ağustos ayı ve ürün ekimlerinin gerçekleştiği Ekim ayında NH_3 konsantrasyonlarında artış görülmüştür. Dolayısıyla yılın tüm ayları için oluşturulacak grafikler kirlilik değişiminin tespiti için daha faydalı olacaktır.



Şekil 7. Ortalama IASI NH_3 konsantrasyonları ve toplam EMEP NH_3 emisyonları a) ilçeler; b) iller

NH_3 için rutin olarak yer ölçümlerinin yapılmaması, bu kirleticinin tayininde eksiklikler yaratır; çünkü uzaktan algılama verileri ile kıyaslanabilir herhangi bir doğrudan ölçüm sonucu yoktur. Bu noktada EMEP NH_3 emisyon envanterinden faydalanılmış ve toplam emisyon değerleri uydu verilerinden alınan ortalama konsantrasyon değerleriyle alansal olarak kıyaslanmıştır. Oluşturulan alansal dağılım grafiklerinde İzmir, Manisa, Balıkesir, Afyonkarahisar, Adana, Mersin yoğunluğun tespit edildiği ortak illerdir ve en yüksek ilişki Mersin iline (r^2=0.73) aittir. Türkiye'nin tarımsal potansiyeli en yüksek olan ili Konya'da nispeten daha zayıf bir ilişki (r^2=0.34) görülmüştür. Uydu verilerine göre en yüksek ortalama konsantrasyonların bulunduğu İzmir'de ortalama bir ilişki (r^2=0.50), ve EMEP'e göre en yüksek emisyonların bulunduğu Bolu'da ise zayıf ilişki (r^2=0.08) belirlenmiştir.

Türkiye'nin 2018 iklim verilerine göre, Türkiye için sıcaklık ve yağış değerlendirilmesi yapılmıştır; ancak kirletici konsantrasyonundaki değişimin doğru bir şekilde belirlenebilmesi için bu değerlerin il ve ilçe bazında incelenmesi önemlidir. Ayrıca, toprak tipi, gübre tipi, gübre miktarı vs. gibi tarımsal pratikler de kirletici konsantrasyonu üzerinde etkilidir. Bu sebeple, bu çalışmanın devamında meteorolojik faktörlerin yanı sıra, tarımsal pratiklerin de bilinmesi etkili olacaktır.

Bu çalışma Türkiye'de uzaktan algılama verileri kullanılarak NH_3 kirleticinin zamansal ve mekânsal tayini konusunda yapılan ilk çalışmadır. Gelecekte ikincil partikül madde oluşum potansiyeli yüksek olan bölgelerin belirlenmesi ve bu oluşuma NH_3 seviyelerinin etkisinin araştırılması için yardımcı bir kaynak niteliğindedir. Ayrıca, ana kaynağı tarım olan NH_3 kirletici konsantrasyonlarının değişimine bakılarak, emisyon azaltımı için tarımsal politikaların geliştirilmesi konusundaki çalışmalarda da faydalı olacağı düşünülmektedir.

5. KAYNAKÇA

[1] T. Ağaçayak ve L. Öztürk, "Türkiye ' De Tarim Sektöründen Kaynaklanan Sera GaziEmisyonlarinin," *İPM – Mercat. Notu*, sy. 3–15, 2017.

[2] X. Li *vd.*, "Significant influence of the intensive agricultural activities on atmospheric PM 2.5 during autumn harvest seasons in a rural area of the North China Plain," 2020.

[3] R. R. Rodelas, E. Perdrix, B. Herbin, and V. Ri, "Characterization and variability of inorganic aerosols and their gaseous precursors at a suburban site in northern France over one year (2015 – 2016)," sayı 200, no. November 2018, sy. 142–157, 2019.

[4] M. Koçak *vd.*, "Particulate matter (PM10) in Istanbul: Origin, source areas and potential impact on surrounding regions," *Atmos. Environ.*, sayı 45, no. 38, sy. 6891–6900, 2011.

[5] "U.S. Environmental Protection Agency | US EPA." https://www.epa.gov/ (16 Ekim 2021).

[6] "Reported emission data." https://www.ceip.at/webdab-emission-database/reported-emissiondata (16 Ekim 2021).

[7] "Ammonia (NH_3) emissions — European Environment Agency." https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/eea-32-ammonia-nh3-emissions-1/assessment-4 (29 Ekim 2021).

[8] C. Viatte *vd.*, "Atmospheric ammonia variability and link with PM formation: a case study over the Paris area," *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, sy. 1–39, 2019.

[9] Z. Meng *vd.*, "Role of ambient ammonia in particulate ammonium formation at a rural site in the North China Plain," *Atmos. Chem. Phys.*, sayı 18, no. 1, sy. 167–184, 2018.

[10] Y. Li *vd.*, "Temporal and spatial variability of ammonia in urban and agricultural regions of northern Colorado, United States," *Atmos. Chem. Phys.*, sayı 17, no. 10, sy. 6197–6213, 2017.

[11] D. Lovarelli, C. Conti, A. Finzi, J. Bacenetti, and M. Guarino, "Describing the trend of ammonia, particulate matter and nitrogen oxides: The role of livestock activities in northern Italy during Covid-19 quarantine," *Environ. Res.*, sayı 191, no. June, sy. 110048, 2020.

[12] J. X. Warner, Z. Wei, L. Larrabee Strow, R. R. Dickerson, and J. B. Nowak, "The global tropospheric ammonia distribution as seen in the 13-year AIRS measurement record," *Atmos. Chem. Phys.*, sayı 16, no. 8, sy. 5467–5479, 2016.

[13] "FAO Country Profiles:Turkey,":16 Ekim 2021. [Online]. Available: http://www.fao.org/countryprofiles/index/en/?iso3=TUR.

[14] "FAO Country Profiles: Turkey | Food and Agriculture Organization of the United Nations." https://www.fao.org/countryprofiles/index/en/?iso3=TUR (16 Ekim 2021).

[15] "TÜİK - Veri Portalı." https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=tarim-111&dil=1 (18 Ekim 2021).

[16] T. ve O. Bakanlığı, "2018 Yılı İklim Değerlendirmesi," 2019.

[17] "Gridded emissions." https://www.ceip.at/the-emep-grid/gridded-emissions (16 Ekim 2021).

[18] "CLC 2018 — Copernicus Land Monitoring Service." https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc2018?tab=download (20 Ekim 2021).

[19] C. Clerbaux *vd.*, "Monitoring of atmospheric composition using the thermal infrared IASI/MetOp sounder," *Atmos. Chem. Phys.*, sayı 9, no. 16, sy. 6041–6054, 2009.

[20] M. Van Damme *vd.*, "Global distributions, time series and error characterization of atmospheric ammonia (NH_3) from IASI satellite observations," *Atmos. Chem. Phys.*, sayı 14, no. 6, sy. 2905–2922, 2014.

[21] "NH_3 – IASI portal." https://iasi.aeris-data.fr/nh3/ (16 Ekim 2021).

[22] M. Van Damme *vd.*, "Industrial and agricultural ammonia point sources exposed," *Nature*, sayı 564, no. 7734, sy. 99–103, 2018.

UNDERSTANDING THE RELATIONSHIP BETWEEN URBAN DEVELOPMENT AND AIR POLLUTION FOR THE MEGA-CITY ISTANBUL WITH REMOTE SENSING NO_2 MEASUREMENTS

Ali Osman Çeker [1], Fulya Çingiroğlu [2], Ezgi Akyüz [2], Burçak Kaynak [1,*]

[1] *School of Civil Engineering, Department of Environmental Engineering, Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey,*
ceker19@itu.edu.tr, kaynakbu@itu.edu.tr
[2] *Eurasia Institute of Earth Sciences, Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey,*
cingiroglu@itu.edu.tr, akyuzezg@itu.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, kentsel göstergeler ile NO_2 kirliliği arasındaki ilişki karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma için T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın hava kirliliği yer ölçüm ve gözlem istasyonları ve en yeni uzaktan algılama teknolojisi olan TROPOMI enstrümanı kullanılmıştır. Çalışma, Türkiye'nin en kalabalık ve en gelişmiş şehri olan İstanbul'un ilçeleri bazında yapılmış olup, çalışmada 39 ilçe ile 31 yer ölçüm istasyonu verileri kullanılmıştır. Çalışma sonucunda 2019 yılı için İstanbul'un bazı ilçelerinde hem TROPOMI hem de yer ölçüm verilerinde yıllık ortalama yüksek kirlilik değerleri bulunmuştur (sırasıyla $6,44\times10^{15}$ molekül/cm^2 ve 94,12 $\mu g/m^3$). Ayrıca çalışmada yer istasyonları ile TROPOMI verileri arasında düşük korelasyon hesaplanmıştır. İlçelerin kentsel indikatörleri olan nüfus, doğalgaz kullanımı ile TROPOMI NO_2 arasında yüksek (R^2 sırası ile 0,65 ve 0,82) ve ilçelerin sosyo-ekonomik statüleri ile TROPOMI NO_2 verileri arasında düşük (R^2= 0,28) korelasyon bulunmuştur. Çalışmada İstanbul gibi sürekli büyüyen ve gelişen şehirlerin hava kirliliği trendlerinin anlaşılması için en önemli parametrelerden olan kentsel indikatörler incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: *NO_2, uzaktan algılama, kentsel kirlilik, kentsel indikatörler*

Abstract

In this study, the relationship between urban indicators and NO_2 was investigated. For this comparison, TROPOMI instrument, which is the newest remote sensing technology for air pollution measurements, and ground observation stations of Turkish Ministry of Environment and Urbanization were used. The study was conducted on the basis of districts of Istanbul which is the most populous and most developed city of Turkey. Analysis were made for 39 districts and 31 ground measurement stations. As a result of the study, high annual average pollution levels were found in both TROPOMI and ground measurements in some districts of Istanbul for 2019 (6.44×10^{15} molecules/cm^2 and 94.12 $\mu g/m^3$ and respectively). In addition, low correlation was found between ground stations and TROPOMI retrievals in the study. For urban indicators and NO_2 correlation was found between the population, natural gas use and TROPOMI (R^2 are 0.65 and 0.82), which are the urban indicators of the districts, and a low correlation between socio-economic status and TROPOMI (R^2 = 0.28). In the study, urban indicators, which are one of the most important parameters to understand the air pollution trends of constantly growing and developing cities such as Istanbul, have been investigated.

Keywords: *NO_2, remote sensing, urban pollution, urban indicators*

1. INTRODUCTION

The term *"urban"* is widely used to define areas with high-density population or with people who have social and economic interaction with each other. The term- *"urban indicators"* explain ways to measure the conditions and status of an urban area with a variety of factors. They differ from most types of indicators because they are connected to each other, with aspects of economic, environmental, and equity dimensions impacting and connecting to one another. In other words, it means the connection and interaction of the population and environment. But are larger and more densely populated cities better or worse places to live? Over the past centuries, the world has become increasingly urban as the benefits of metropolitan areas have drawn humans to large cities. The urbanization about economic circumstances on these benefits is vast, in order to predict the optimal balance and size of cities, robust evidence of the costs and benefits of agglomeration is required, and it appears that much less is known about the costs (Kahn 2010).

Access to clean air is a basic human right (WHO, 2021). The Organization for Economic Cooperation and Development (OECD, 2021) and the World Health Organization (WHO, 2021) rank air pollution among environmental problems as the leading cause of premature death and have concluded that by reducing air pollution since 2014, countries can reduce the burden of disease to can alleviate the benefits of both economic and public health (WHO, 2016). Ambient air pollution causes up to 10 million deaths per year and approximately 90% of the world's population lives in urban environments where air pollution exceeds the WHO guidelines (WHO, 2021). In regions where air pollutant concentrations are higher than the safety limit values for people who breathe polluted air than for groups living in a clean atmosphere. Anthropogenic sources of pollution from industrial and urban development lead to an accelerated deterioration of air quality and reduce the quality of life of its residents (Boubel, 1999). Awareness of the effects of air pollution on public health is increasing rapidly, especially in urban areas where legal air quality limits (QA) are frequently exceeded. This awareness has led lawmakers to minimize citizen exposure not only through direct legal control of emissions but also through the use of mobility restrictions to change traffic patterns and through the use of timed alerts to alert citizens about air pollution episodes.

The ambient levels of nitrogen oxides (NO_x = NO_2 + NO) are a good indicator of air quality in urban and industrialized areas. For nitrogen dioxide (NO_2) pollution, the most contributing indicators in urban areas are the number of working people, incomes of the people or population these indicators as important, as large point resources and number of vehicles in the region. Atmospheric NO_x levels in urban areas are directly related to human activities (fuel combustion of road traffic, residential and tertiary sectors, and industrial activities) (EPA, 2008). NO_x species are produced during combustion processes, therefore can act as a substitute for fossil fuel-based energy use, as well as emitted greenhouse gases, and other pollutants (Duncan et al. 2016). NO_x emissions are regulated in many countries (UNECE, 2007; Vestreng et al., 2009) because they are precursors for the formation of surface ozone, which also has harmful effects on human health and vegetation.

NO_x is measured at ground level using dispersed measurement networks. Measurements are sensitive to distance to sources such as main traffic routes. Pollutant distributions can be obtained through land-use models that interpolate between measurement stations, and this is achieved through the use of additional data (altitude, meteorology, inventories of pollution sources, etc.), whose reliability is uneven. Measurements of NO_2 columns from space are suitable for following NO_x emissions, since the lifetime of NO_2 is relatively short (from several hours to 1 day) (Beirle et al. 2006; Leue et al. 2001). This ensures that observations of relatively high levels of NO_2 in the boundary layer are close to the emissions, and therefore clearly indicate the sources.

The population of Istanbul in 2019 was 15,519,267 (TUİK, 2020). At this point, it should be noted that some cities and districts of the city of Istanbul have been divided or merged with one or more districts over the years for planning reasons. Therefore, the population dynamics could not be compared in pairs between 2007 and 2017. The five most populous districts were Ümraniye (897,260), Kadiköy (744,670), Üsküdar (582,666), Kartal (541.209), and Esenler (517,235) in 2007 and Esenyurt (846,492), Ümraniye (699.901), Üsküdar (533,570), Sultangazi (528,514) and Kartal (463,433) in 2019 (TÜİK, 2020).

We used the technologies that provide high-resolution data due to the crowdedness of the cities and the pollutant sources for better understand the effective indicators of NO_2 pollution at the sub-city level. Remote sensing of atmospheric gases provides wide spatial coverage with reasonable temporal resolution. Satellite retrievals are very useful for spatially capturing urban areas, whereas ground-based observations may have limitations due to meteorological and topographical factors.

In 2021, TROPOspheric Monitoring Instrument (TROPOMI) retrievals were used to understand NO_2 pollution changes and their relationship with ground observation stations over China, study showed 25% of the population of China were lived areas that exceed NO_2 limit values (40 $\mu g/m^3$) even in the COVID-19 pandemic which is the lowest emission time-line on whole two years of China. Also, the study found that TROPOMI retrievals and China's ground observations for NO_2 were correlated 85% (Wıiet al. 2021) Another study in 2020 was used TROPOMI retrievals for the same COVID-19 time-line but in different cities. The study showed in 2020 for USA (New York and Boston) and France (Madrid, Milan, and Paris) NO_2 levels decreased associated with the pandemic (8-19%) but most importantly study showed in highly developed urban areas, policies must be change in terms of environment, society and economic-growth because of the air pollution like NO_2 may decrease because of the pandemic but for a long term it is still a problem especially highly crowded and economically strong urban areas (Bar et al. 2020). TROPOMI retrievals also were used to investigate and try in order to find connection between tropospheric NO_2 over United Arab Emirates (UAE) and population. Results showed between UAE's most populated cities and NO_2 are highly correlated ($R^2 = 0.838$) and air quality index of UAE's ground observation of air pollution supported this relation around 70% (Bhatkar et al. 2020). Similarly, and much more grand scale research examined on United States, China and India (three most

populated countries in the world) and Europe. The correlation of Ozone Monitoring Instrument (OM1) NO_2 with population is significant for the three countries and one continent: United States (r=0.71), Europe (r=0.67), China (r=0.69) and India (r=0.59) (Lamsal et al. 2003). Another and recent study in India which is a middle-income country like Turkey showed Socioeconomic Status (SES) and NO_2 pollution had a relationship (R^2 = 0.535) with using Land Use Regression (LUR) / kriging model (Amruta et al. 2020). A global study which explained 16 years of NO_2 pollution and the World's economic relationship (including extreme events like COVID-19 lockdown) with using Principal Component Analysis (PCA) and total variability of the personalized series, and 40% of the variability in this mode can be attributed to the economy, especially for the United States and China, however, study also said there were more other indicators of NO_2 pollution such as traffic, meteorology, and urban habits (Andrey et al. 2021). For statistical analysis and progress, TROPOMI was used on a global scale for understand the hot points for NO_2 pollution with using several statistic methods and the study showed global tree based model for NO_2 (which was generated with high resolution TROPOMI dataset) obtained similar accuracy to national models but higher than traditional linear-based regressions which only used ground observations at day time. Study said TROPOMI datasets ranked as one of the most important variables in the statistics about air pollution (Lu et al. 2020).

In this study, TROPOMI NO_2 retrievals from the 2019 dataset with 3.5 × 7 km^2 resolution and ground observation from Turkish Ministry of Environment and Urbanization were used to determine the pollution levels over the districts of Istanbul, which is the most populated city, and one of the most industrialized urban areas in Turkey. Study has shown that between NO_2 pollution and urban indicators such as population and socioeconomic status are related.

2. METHODOLOGY

2.1. Study Area

Istanbul, with more than 16 million inhabitants, is the largest and most populous city in Turkey and Europe. Istanbul constitutes almost 25% of the entire population of Turkey. There are currently on average 2,904 people living per km^2 of the city. Istanbul can be summarized functionally with industry and dense population (TUIK, 2021).

The Istanbul Metropolitan Municipality web services of datasets were used (https://data.ibb.gov.tr/dataset) for urban indicators in this study. Number of residences who have a natural gas contract, annual natural gas usage, number of residences, average number of persons living per residence, population, sosyo-economic status SES score were obtained on district level and lastly Copernicus land cover dataset (https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover) for 2019 was used for better understand the change of NO_2 on district levels (Figure 1).

The growth of Istanbul continues day by day as a mega-city. The population increases in the districts with coast to the sea, but although the population growth in and around the Bosphorus is higher than the regions without a coast. Beside it is lower than the districts of having a coast to the Marmara Sea like Büyükçekmece and Maltepe this due to the historical structure of the Bosphorus (this is an obstacle to the establishment of new settlements) and high surface area of these two districts (especially Büyükçekmece). However, in Istanbul, the low surface area is not enough to inhibit the population like Beyoğlu, Güngören, and Maltepe which have low areas but high populations. Çatalca, Silivri -located in the northwest of the region- and Şile -located in the northeast of the region- have a high surface area but their natural gas usage and the average person in per residence values are low (for Silivri and Şile populations are also low). As can be understood from the Copernicus urbanization map, this is because the people in the region live non-continuously and generally prefer the districts in summer. In the southern part of the city, such as Pendik, Tuzla, Bakırköy, Küçükçekmece, and Bağcılar natural gas use is generally directly related to the population, and these districts have both industry and continuous urbanization density. The middle region of Istanbul (around the Bosphorus) is the region with the highest continuous urbanization, dense land, and both sea and road traffic, generally high natural gas use and districts like Esenler, Kadıköy, and Eyüpsultan which have a high socioeconomic score in regions with low population. Especially, Kadıköy shows it is the socioeconomic status of districts that have coast to Bosphorus with the highest natural gas use, the highest SES score, and low average person in per residence in this area.

2.2. Satellite Retrievals

Sentinel-5P TROPOMI Level 2 (L2) NO_2 retrievals downloaded (NASA, 2021) over Turkey for one year (2019) were processed. NO_2 data were filtered for QA value >0.5 (ESA, 2021). A domain covering Turkey with 1×1 km^2 grid resolution was used for spatial averaging (Figure 1). Gridded monthly NO_2 retrievals

(molecules/cm^2) were calculated for the study domain with spatial matching. Monthly and annual pollution distribution NO_2 retrievals and statistics were calculated with the weighted mean, which is a kind of average. Instead of each data point contributing equally to the final mean, some data points contribute more "weight" than others. If all the weights are equal, then the weighted mean equals the arithmetic mean (the regular "average" you were used to) because the weighted mean takes into account the relative importance or frequency of some factors like count in a dataset. When we used weighted mean for TROPOMI retrievals, annual means of NO_2 distribution on the sub-city level calculated more accurately with using counts of each grid cells.

2.3. Ground Observations

Hourly data of the surface NO_2concentrations in Turkey are available on the website of Turkish Ministry of Environment and Urbanization (https://www.havaizleme.gov.tr). In this study, hourly ground NO_2 data from January 1 to December 31, 2019, were collected for statistical analysis such as correlation with TROPOMI datasets. The hourly measurements were averaged to a daily scale and daily means with at least 75% of valid hourly data were retained. In Istanbul, 40 monitoring stations are active and 31 stations can measure NO_2.

2.4. Urban Indicators

SES is a combined economic and sociological measure of a individual's work experience and an individual's or family's economic access to resources and social position relative to others. When analyzing a family's SES, household income, the education and occupation of the winners, and their total income are examined, while for an individual's SES only their characteristics are evaluated. To get the most accurate results, many factors that will affect the SES score should be selected properly, scored and the results should be obtained with the survey method (Chakrabort et al. 2019). Values with all coefficients are selected and separated by the scoring method. For example, while unemployment is 1 point for occupations, having a "white collar" job means 10 points, or while the primary school graduates are 1 point in the household education score while graduate education graduates get 10 points. In addition, the income of household parameters such as owning a house, car, or the frequency of going on vacation have separate score coefficients.

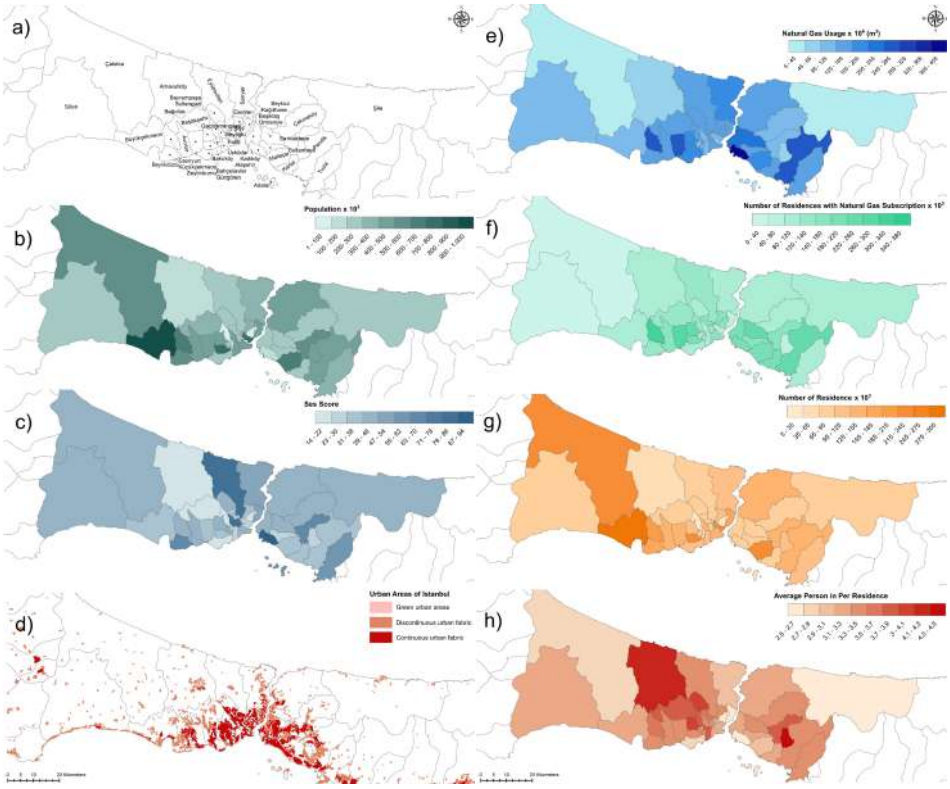


Figure 1. Study area with districts (a), and datasets for understanding the relationship between NO_2 and urban indicators: population (b), SES score (c), Copernicus land cover urban areas (d), natural gas usage (e), number of residences with natural gas subscription (f), number of residences (g) and number of people per residence (h). All datasets are for 2019.

If we combine them all, SES score is a combined score which uses standardized household income, education and profession score with specific coefficient. In this study, SES scores based on districts prepared by Istanbul Development Agency for Istanbul were used. (IDA, 2019)

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Seasonal Changes of NO_2

The relationship between the seasons and the NO_2 pollutant, which is known to be formed from all combustion processes, is especially can be measured at the big cities like Istanbul. The overall pollution over Turkey and the spatio-temporal distribution of the NO_2 were identified for 2019 and Istanbul was examined closely. Figure 2 shows that NO_2 pollution shows in two different months (the months with cleanest signals for both summer and winter seasons) in 2019 and the seasonal changes were observed. Due to the high spatial resolution of TROPOMI while we can see the districts in more detail for Istanbul, also interpret the whole of Turkey's NO_2 pollution. When looking at July (upper), it is possible to say that the pollution values for the whole of Turkey and Istanbul are low, besides, Istanbul is still the most polluted city in Turkey. In November (lower), pollution values increased in all cities with high populations, especially in Istanbul. As can be seen in the Figure 2, Istanbul's NO_2 pollution is quite high (around 6×10^{15} molecules/cm^2) but when combined with other similar polluted cities in Marmara (like Kocaeli which is adjacent to Istanbul from the east, have two major industrial zones in the Marmara Region) exposes the entire Marmara Sea and the Bosphorus with NO_2 pollution. Although there is no significant change in the population of the region or the number of vehicles between July and November, so the reason for the increase in pollution is that there is a direct relationship between domestic heating and NO_2. In addition, it is possible to say that the entire Marmara Sea is exposed to NO_2 in winter months when the dense traffic in Istanbul is combined with high natural gas and another source of heating using due to cold winters and high population and also with the dense maritime traffic in the Marmara Sea.

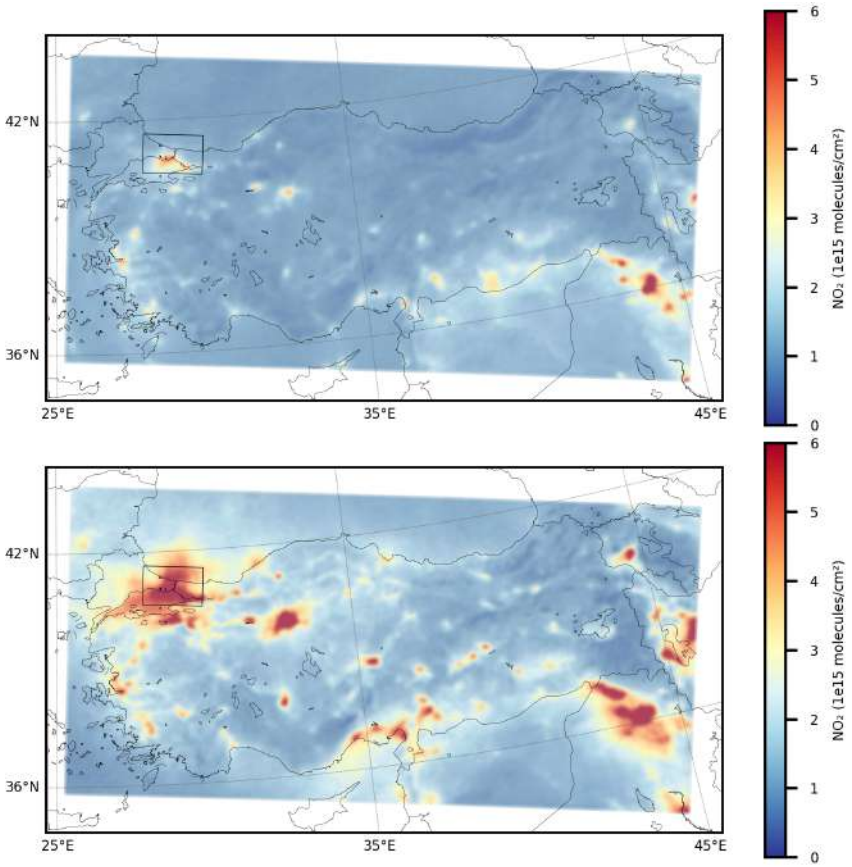


Figure 2. The monthly average of NO_2 (2019) July (upper) and November (lower) with 1×1 km^2 resolution of TROPOMI dataset. The black rectangle at the upper left corner represents the study area.

3.2. Relationship of District's NO_2 Pollution and Seasonality with TROPOMI Retrievals and Ground Station Observations

A heatmap is a graphical representation of data where values are represented by color. Heatmaps make it easy to visualize and understand complex data with the clustering method. In case of NO_2 pollution of Istanbul in 2019, we use heatmap to observe two different datasets with two different clustering methods (Figure 3). Both of TROPOMI and the ground observation dataset were clustered with months of 2019 and districts (or ground observation stations) and colored for their NO_2 pollution for the understand their relationship with each other. For TROPOMI retrievals, clustering of months is very seasonal, summer months (June, July and August) separated from others because of their low NO_2 profile all district's the lowest values are seen in one of these three months. High NO_2 profile months like February, November and December and all district's the highest values are seen in one of these three months for other six months of year May and September are medium-high and others are medium-low. Pollutions of NO_2 with TROPOMI generally clustered with their neighbor districts like Gaziosmanpaşa, Esenler, Beyoğlu and Bayrampaşa or Bahçelievler, Bağcılar, Zeytinburnu and Fatih. Çatalca, Silivri, and Şile generally have low profile in all months which we mentioned before they have high surface area and are highly populated in summer. Also, some clustered districts which are not related in terms of the population or location but have similar NO_2 pollution like Çekmeköy, Arnavutköy, and Büyükçekmece. AdditionalyBeykoz district not clustered with any districts because of their pollution while it is one of the highest in February but average in November.

When analyzed ground observations heatmap, clustering of months almost similar with TROPOMI's heatmap but for March, April and May some stations have very high values and those months clustered separately. Sancaktepe station has two NA months in 2019 (January and December) and Aksaray station (in Fatih district) values are extremely high especially in Spring season which we mentioned before not cold months that may be because of stations location (if near some main-roads) also Şirinevler MTHM station (in Bahçelievler district) have high values in spring. Şirinevler, Esenler, Mecidiyeköy (in Şişli district) and Beşiktaş (near districts with near road connection and population) have similar pollution levels almost every month with high profile and Şile, Sultanbeyli and Kumköy (in Sarıyer district) have similar pollution levels with low profile but there is no connection each other even Sultanbeyli much more polluted in TROPOMI retrievals.

The main difference between the two heatmaps is that, while seasonal changes can be easily distinguished on the TROPOMI heatmap (most districts behave in similar ways). It is difficult to say the same for ground stations heatmap, even though the months are clustered in the almost same way with TROPOMI heatmap nearly every station has a unique pattern.

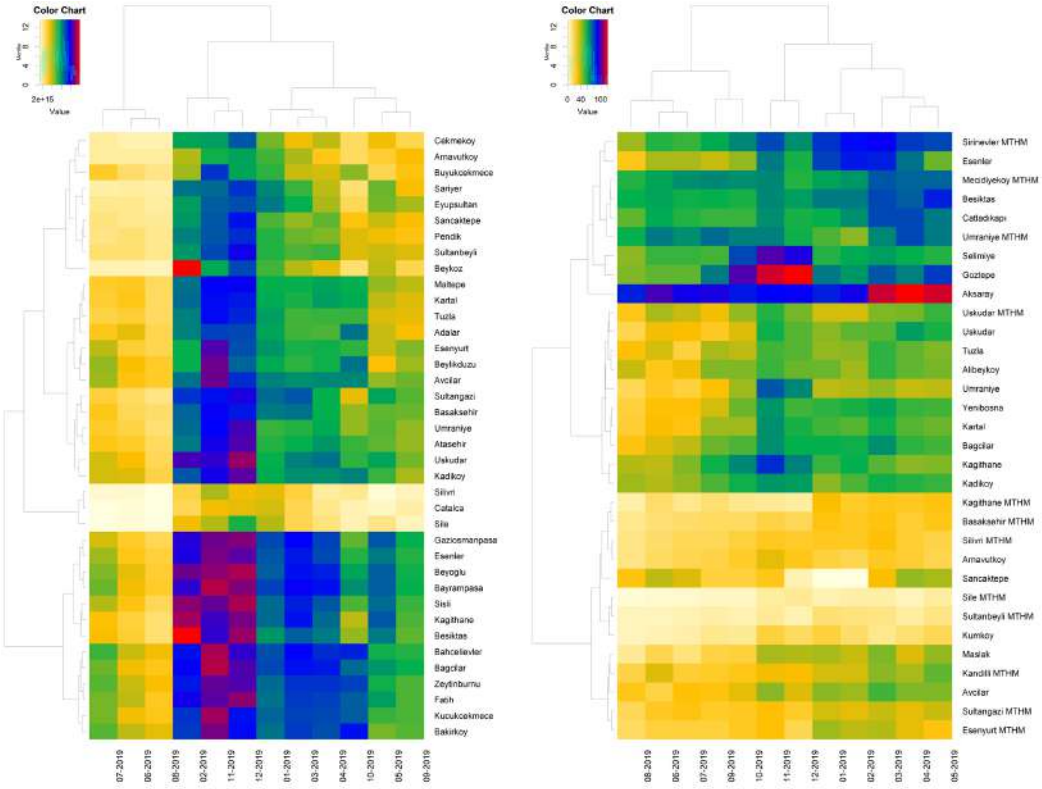


Figure 3. The monthly average of NO_2 for 2019, TROPOMI (left) and ground stations (right) with heatmaps

3.3. Spatiotemporal Relationship Between Ground and Tropospheric NO_2

Figure 4 shows the yearly average of NO_2 pollution in Istanbul with both TROPOMI retrievals and ground station observations the annual NO_2 pollution in figure, we can say that the pollution spreads in a regional and layered manner. While the Bosphorus and the surrounding districts (especially Bahçelievler, Zeytinburnu, and Bakırköy in the west) are exposed to intense pollution ($5.6 - 6.5\times10^{15}$ molecules/cm^2) pollution of NO_2 decreases to the west side of Istanbul. The main reason for this the residence and traffic decrease as you move away from the center of the city. However, for the east side of Istanbul, the pollution does not decrease and even increases again in the Kocaeli city. It is seen that the pollution increases towards the Marmara Sea and decreases towards the Black Sea with the effect of sea vehicles. Except for Esenler and Zeytinburnu districts, all districts with higher-than-average NO_2 pollution ($\sim3.8\times10^{15}$ molecules/cm^2) also have higher than average natural gas usage and population ($\sim$180,000,000 m^3/year and $\sim$450,000 people respectively). While Bahçelievler district has the highest value, Çatalca district has the lowest value (1.61 and 6.44 $\times$ 10^{15} molecules/cm^2 respectively).

When the annual averages of the ground measurement stations are examined and most of the observations are consistent with the TROPOMI data. While Aksaray station has the highest value, Şile station has the lowest value (94.12 and 8.51 µg/m^3, respectively). Only one of the two stations in the Şişli region (Mecidiyeköy MTHM) shows lower values than expected.

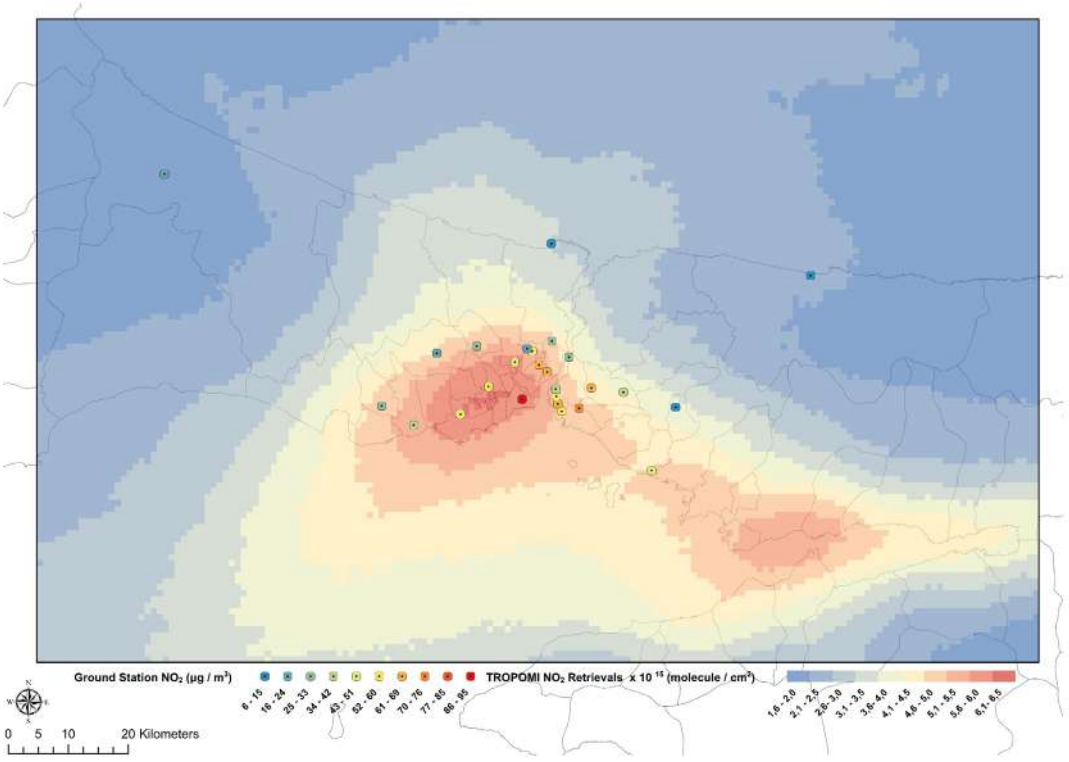


Figure 4. The yearly average of NO_2 pollution in Istanbul with both TROPOMI retrievals and ground station observations.

It is important to compare the newly released TROPOMI data with the data of ground NO_2 concentrations for understanding their relationship and missing parts. In Figure 5, measurements of all ground observation stations which can be measured NO_2 (except Sancaktepe station because of missing values) and their TROPOMI data of the 10 km^2 area were correlated to compared ground stations and TROPOMI retrievals performance with each other. Only the first square of each row on the left to down represents ground observations (bottom) and TROPOMI dataset (upper) correlation.

Maslak, Kartal, Kadıköy, Bağcılar, Kadıköy, Selimiye, Göztepe and Ümraniye stations which have high values (>45.5 µg/m^3) and Şile, Kumköy and Yenibosna which have low values (<45.5 µg/m^3) are highly correlated with TROPOMI dataset (R^2>0.8). Some extremely high (Aksaray, Mecidiyeköy) or extremely low (Ümraniye, Mecidiyeköy) stations have no or zero correlation with TROPOMI datasets and some stations like Üsküdar, Tuzla or Silivri are moderate or low corelated with TROPOMI datasets ($0.6 < R^2 < 0.3$).

3.4. Relationship Between TROPOMI NO_2 Retrievals and Urban Indicators

NO_2 pollution is highly related to human activities and habits. In Figure 5 (right), TROPOMI retrievals for each district and their urban indicators data are correlated with each other to show the relationship between them. TROPOMI retrievals are moderate-high correlated ($0.8> R^2>0.6$) with population, natural gas usage, and the number of residences that have a natural gas subscription and low correlated with SES score ($0.4> R^2>0.2$) it is mainly cause some district like Eyüpsultan has low population and natural gas usage but the high surface area and SES score and that cause low NO_2 pollution, on the other hand, some districts like Kadıköy and Beyoğlu have high NO_2 pollution, natural gas usage and SES score but low population because of low surface area. One should note that most of the districts which have low SES score than average have dense land and sea traffic because of marines and highways (Maltepe, Büyükçekmece, Sarıyer, Zeytinburnu).

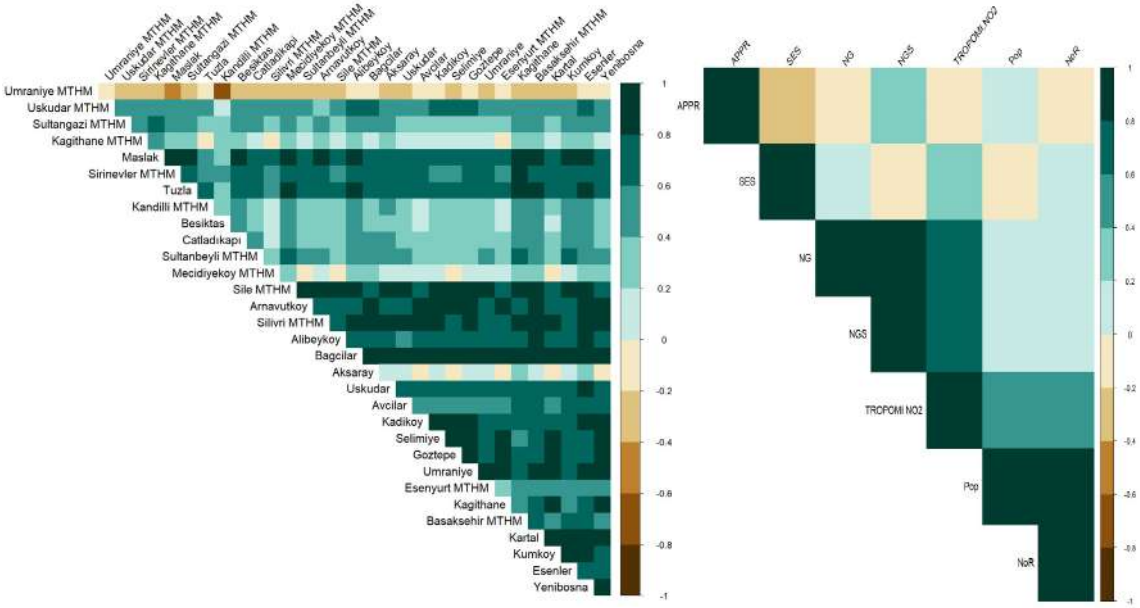


Figure 5. The correlation between ground observations and TROPOMI retrievals which cover 10 km² area of ground observation stations (left) and the correlation between TROPOMI retrievals and urban indicators (APPR: Average person in per residence, SES: SES score, NG: Natural gas usage, NGS: Number of residences which have natural gas subscription, Pop: Population of districts, NoR: Number of residences (right)

3.5. Discussion and Future Works

Daily NO_2 concentration is highly related to human activities and adversely affects the life of all living things. It causes irreversible damage to people living in dense and unplanned urbanization by air and causes millions of people to die every year. The first and most important step in analyzing this pollution and creating prevention strategies is to know what to look for. It is seen that urban indicators are an effective way to analyze the daily activities of people living in megacities and are an important parameter to avoid a pollutant directly related to human activity such as NO_2.

In this study, the relationship between NO_2 and urban indicators and the quality of the stations used for measurement NO_2 of were investigated with TROPOMI datasets, which is the newest and most technological remote sensing instrument. As a result of the study, a moderate-high correlation was found between the population and natural gas use of Istanbul districts and TROPOMI NO_2 measurements, and low correlation with the socioeconomic status of the districts. On the other hand, a high correlation was found between TROPOMI NO_2 measurements and ground observation stations of the regions with only very high and very low pollution, but negative or zero correlation was found in many regions. it was thought that the and ground observation stations were insufficient to represent the pollution of NO_2 in Istanbul and that improvements should be made. In addition to these, it was concluded that further development of the study would give more precise information about urban indicators and NO_2. For example, using satellite data corresponding to the most densely urbanized regions of the district instead of the whole district, expanding the study by making daily and monthly vehicle counts of the districts, or taking health parameters into the study.

4. REFERENCES

[1]. New Evidence on Trends in the Cost of Urban Agglomeration. In Kahn, M. (Ed.), Agglomeration Economies.: University of Chicago Press. Available: https://chicago.universitypressscholarship.com/view/10.7208/chicago/9780226297927.001.0001/upso-9780226297897-chapter-12.

[2]. WHO Air Quality Guidelines for Europe World Health Organization Regional Office for Europe, (2021) Available: https://apps.who.int/iris/rest/bitstreams/1371692/retrieve

[3]. OECD (2021) The cost of air pollution: health impacts. OECD. https://www.oecd.org/environment/environment-at-a-glance/Environment%20at%20a%20Glance%20In

[4]. WHO (2016) WHO global urban ambient air pollution database (update 2016). https://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/cities/en/

[5]. WHO Regional Office for Europe, OECD (2015) Economic cost of the health impact of air pollution in Europe: clean air, health and wealth. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen

[6]. World Health Organization Air pollution (2019) Available: https://www.who.int/health-topics/air-pollution

[7]. R.W. Boubel Fundamentals of Air Pollution (3a ed.), Academic Press (1994)

[8]. EPA, 2008: Integrated Science Assessment for Oxides of Nitrogen – Health Criteria, US Environmental Protection Agency EPA/600/R-08/071, July 2008.

[9]. Duncan, B. N., Lamsal, L. N., Thompson, A. M., Yoshida, Y., Lu, Z., Streets, D. G., Hurwitz, M. M., and Pickering, K. E. (2016), A space-based, high-resolution view of notable changes in urban NO_x pollution around the world (2005–2014), J. Geophys. Res. Atmos., 121, 976– 996

[10]. UNECE, 2007: Review of the Gothenburg protocol, report from the task force on integrated assessment Modelling of the UNECE Convention on long-range transboundary air pollution, available at: http://www.emep.int/

[11]. Vestreng, V., Ntziachristos, L., Semb, A., Reis, S., Isaksen, I. S. A., and Tarrasón, L.: Evolution of NO_x emissions in Europe with focus on road transport control measures, Atmos. Chem. Phys., 9, 1503–1520, https://doi.org/10.5194/acp-9-1503-2009, 2009.

[12]. Beirle, S., U. Platt, M. Wenig, T. Wagner, 2003: Weekly cycle of NO2 by GOME measurements: A signature of anthropogenic sources. Atmospheric Chemistry and Physics Discussions, European Geosciences Union, 3 (4), pp.3451–3467. hal-00301137.

[13]. C. Leue, M. Wenig, T. Wagner, O.K. Limm, U. Platt, B. Jahne Quantitative analysis of NOx emissions from global ozone monitoring experiment satellite image sequences J Geophys Res, 106 (D6) (2001), pp. 5493-5505

[14]. Turkish Statistics Institute (TÜİK) (2020) Population statistics. Available: https://data.tuik.gov.tr/Bulten/OpenPdf?p=kvEngrQPF71YKRYqC3UNndgznrYX7w/POwzxqag0UO11/0JKnTJPBXZYVxAUpKWdOJG1hx9v4jTNMKRab1uz0A7YuoDqx54BkUZoovD3GWU=

[15]. R. Bhatkar, S. R. N. A. Syamala and J. T. Varghese, "Impact of Population Count on the Presence of Nitrogen Dioxide in United Arab Emirates using Sentinel-5P Satellite Data," 2020 IEEE 15th International Conference on Industrial and Information Systems (ICIIS), 2020, pp. 231-235.

[16]. L. N. Lamsal, R. V. Martin, D. D. Parrish, and N. A. Krotkov Scaling Relationship for NO_2 Pollution and Urban Population Size: A Satellite Perspective Environmental Science & Technology 2013 47 (14), 7855-7861

[17]. Amruta Nori-Sarma, Rajesh K. Thimmulappa, G.V. Venkataramana, Azis K. Fauzie, Sumit K. Dey, Lalith K. Venkareddy, Jesse D. Berman, Kevin J. Lane, Kelvin C. Fong, Joshua L. Warren, Michelle L. Bell, Low-cost NO2 monitoring and predictions of urban exposure using universal kriging and land-use regression modeling in Mysore, India,

[18]. Atmospheric Environment, Volume 226, 2020, 117395, ISSN 1352-2310,

[19]. Andrey K. Savtchenko, Mohammad G. Khayat, NO2 anomalies - Economy attribution and rapid climate response, Atmospheric Environment, Volume 254, 2021,118351, ISSN 1352-2310,

[20]. NASA (2021), National Aeronautics and Space Administration Earth Data GES DISC. Available: https://disc.gsfc.nasa.gov/

[21]. ESA (2021), Sentinel-5 precursor/TROPOMI Level 2 Product User Manual Nitrogen Dioxide and Sulphur Dioxide. Available: https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/userguides/sentinel-5ptropomi/document-library

[22]. Sensen Wu, Bo Huang, Jionghua Wang, Lijie He, Zhongyi Wang, Zhen Yan, Xiangqian Lao, Feng Zhang, Renyi Liu, Zhenhong Du,Spatiotemporal mapping and assessment of daily ground NO2 concentrations in China using high-resolution TROPOMI retrievals,Environmental Pollution,Volume 273,2021,116456,ISSN 0269-7491.

[23]. Somnath Bar, Bikash Ranjan Parida, Shyama Prasad Mandal, Arvind Chandra Pandey, Navneet Kumar, Bibhudatta Mishra,Impacts of partial to complete COVID-19 lockdown on NO_2 and $PM_{2.5}$ levels in major urban cities of Europe and USA,Cities,Volume 117,2021,103308,ISSN 0264-2751,

[24]. Meng Lu, Oliver Schmitz, Kees de Hoogh, Qin Kai, Derek Karssenberg,Evaluation of different methods and data sources to optimise modelling of NO_2 at a global scale,Environment International,Volume 142,2020,105856,ISSN 0160-4120,

[25]. Liton Chakraborty, Horatiu Rus, Daniel Henstra, Jason Thistlethwaite, Daniel Scott,A place-based socioeconomic status index: Measuring social vulnerability to flood hazards in the context of environmental justice, International Journal of Disaster Risk Reduction, Volume 43, 2020, 101394, ISSN 2212-4209,

[26]. Istanbul Development Agency and Istanbul University Project of Mahallem Istanbul, https://www.istka.org.tr/media/131804/mahallem-%C4%B0stanbul.pdf.

SO_2 POLLUTION FROM YENİKÖY, KEMERKÖY AND YATAĞAN POWER PLANTS

Sümeyye Sena Değer [1], Ezgi Akyüz [2], Fulya Çingiroğlu [2], Burçak Kaynak [1*]

[1] *Istanbul Technical University, School of Civil Engineering, Department of Environmental Engineering, 34467, Maslak/Istanbul*

deger19@itu.edu.tr, burcak.kaynak@itu.edu.tr

[2] *Istanbul Technical University, Eurasia Institute of Earth Sciences, 34467, Maslak/Istanbul*

akyuzezg@itu.edu.tr, cingiroglu@itu.edu.tr

Özet

Bu çalışma, Muğla'daki üç büyük kömürlü termik santralin neden olduğu SO_2 kirliliğinin iki yıl boyunca (2019-2020) yüksek çözünürlüklü TROPOMI gözlemlerini kullanarak mekansal-zamansal değişikliklerine odaklanmakta ve gözlemler, elektrik üretimi ve yer ölçümleri arasında yüksek korelasyon bulmayı amaçlamaktadır. SO_2 uydu verileri Türkiye'deki büyük kapasiteli (>50 MW) kömürlü termik santrallerde yüksek sinyaller verirken, Muğla ili de kirliliğin en yüksek olduğu illerden biridir. Saatlik yer ölçümleri ve rüzgar verileri kullanılarak oluşturulan kirlilik gülü, santrallerden kaynaklanan yoğun SO_2 kirliliğinin meteorolojik ve arazi özelliklerinden dolayı sadece yaz-sonbahar aylarında Yatağan santralinden hava kalitesi ölçüm istasyonuna taşındığını, bununla birlikte SO_2 yer ölçümü zaman serileri, SO_2 konsantrasyonlarının yaz aylarında (Temmuz-Ağustos 2020 hariç) düşük olduğunu göstermektedir. Muğla ızgaralı aylık ortalamalara göre, kirlilik genellikle Kemerköy ve Yeniköy kömürlü termik santralleri çevresinde dağılmaktadır ve çoğunlukla hava kalitesi ölçüm istasyonuna taşınmamaktadır. Aylık haritalarda en yüksek kirlilik Kasım 2020'de ve ardından Nisan, Temmuz ve Ağustos 2020 aylarında görülmektedir. SO_2 ile elektrik üretimi arasındaki korelasyonlar, her bir santral için aylık ortalamalar kullanılarak hesaplanmış, korelasyon analizi için yeterli veri bulunmayan aylık ortalamalar (Ocak ve Aralık) değerlendirmeden çıkarılmıştır. En yüksek korelasyon Yatağan santralinde gözlendi. Hava kalitesi ölçüm istasyonu ve termik santral çevresinde yer ölçümleri ve uydu alımları karşılaştırıldı. Aylık korelasyonlar santral uydu gözlemleri ve hava kalitesi ölçüm istasyonu uydu gözlemleri için 0,54, santral uydu gözlemleri ve hava kalitesi ölçüm istasyonu yer ölçümleri için 0,18 olarak bulundu.

Anahtar kelimeler: *SO_2, kömür termik santralleri, uzaktan algılama*

Abstract

This study focuses on the spatio-temporal changes of SO_2 pollution caused by three large coal-fired power plants (CPPs) in Muğla for two years (2019-2020) using high-resolution TROPOMI retrievals, and aims to find high correlations between the retrievals, electricity production, and ground-based observations. While SO_2 retrievals show high signals on the large capacity (>50 MW) CPPs in Turkey, Muğla is one of the provinces with the highest pollution. Pollution rose, which was created using hourly ground-based measurements and wind data, shows that intense SO_2 pollution from power plants (PP) is only transported from Yatağan PP to Air Quality Monitoring Station in summer-autumn months due to meteorological and terrain characteristics, however, SO_2 ground measurement time series shows that low SO_2 concentrations occurs in summer (except July-August 2020). According to Muğla gridded monthly averages, pollution is generally distributed around Kemerköy and Yeniköy CPPs and is mostly not transported to Air Quality Monitoring Stations (AQMS). Monthly maps show the highest pollution in November 2020 and then hotspots in April, July and August 2020. Correlations between SO_2 and electricity generation were calculated using monthly averages for each PP. Then, monthly averages (January and December) were subtracted, for which there was not enough data for correlation analysis. The highest correlation was observed for the Yatağan PP. Ground measurements and satellite retrievals around the AQMS and PP were compared. Monthly correlations were found to be 0.54 for PP satellite observations and AQMS satellite observations, and 0.18 for PP satellite observations and AQMS ground measurements.

Keywords: *SO_2, coal-fired power plants, remote sensing*

1. INTRODUCTION

With the widespread use of remote sensing, the detection of atmospheric gases and particles has become easier. Satellite retrievals are useful for capturing large point sources with their high spatial resolution and temporal coverage. Ground-based observations, on the other hand have limitations due to meteorological factors and terrain characteristics. It is also possible to capture monthly or yearly changes in pollution levels over large areas using satellite retrievals.

A global SO_2 catalog was composed by detecting approximately 500 SO_2 point sources with the Ozone Monitoring Instrument (OMI) (Fioletov et al., 2016). Half of the anthropogenic emissions were included in the catalog due to emissions smaller than 30 kt/year, which could not be detected because of OMI's spatial resolution. In a similar study, half of the anthropogenic sources (400 sources) were identified by OMI (Liu et al. 2018).

A more recent three instrument (OMI, OMPS and TROPOMI) comparison showed similar global distributions around the world. With the TROPOMI instrument, 278 SO_2 pollution sources, including 150 power plants (PPs), 19 smelters, 41 oil and gas industries and 68 volcanoes, were identified (Fioletov et al., 2020). Some of these resources are large point sources in Turkey such as, large capacity coal-fired power plants (CPPs). In addition, Fıratlı and Kaynak (2015) examined SO_2 pollution on large CPPs in Turkey using OMI retrievals for the years 2005-2014. Similarly, in the previous study, large point sources of SO_2 and NO_2 pollution in Turkey were examined with TROPOMI retrievals with higher spatial resolution and pollution was associated with large capacity CPPs (Cingiroglu et al., 2021). In terms of SO_2 pollution, Muğla is the province with the highest pollution after Afşin Elbistan Power Plant.

Another recent study in South Africa with the TROPOMI instrument cited power plants (PPs) as the main cause of hotspots in Mpumalanga, Gauteng and Limpopo provinces (Shikwambana et al., 2020). With the effect of meteorological factors, which is one of the important factors in the dispersion of pollution, SO_2 and NO_2 plumes were limited to the main source of pollution in unstable atmospheric conditions (summer - autumn seasons), while NO_2 and SO_2 distributions were observed in stable atmospheric conditions (winter - spring seasons). Wind and terrain characteristics are significant for understanding the transport of pollution.

Turkey has significant amount of coal, especially lignite reserves. In fact, one third of the energy needs of population are met from the CPPs. The number of coal or lignite fired power plants in the country is quite high, and the total capacity of these PPs is 20,323 MW. Aside from contribution of residential heating and industrial coal use, the most important source of SO_2 is CPPs. There are three large CPPs in Muğla province; Yeniköy (420 MW), Kemerköy (653 MW), and Yatağan (630 MW), with a total capacity of 1703 MW. These CPPs started to be operated in 1986, 1993, and 1982, respectively and are located close to each other. While Kemerköy and Yeniköy CPPs are located in the coastal part, Yatağan CPP is located in the inland parts of the province (**Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**). Since Muğla is located in a tourism region, the population increases in summer and decreases in winter. In addition, seasonally mild winters limit the emissions from residential heating in the province. Therefore, there is no other significant source of SO_2 pollution in the region other than the mentioned PPs.

Although the CPPs in Muğla have dust and sulfur filters, they were among the PPs planned to be closed on 31 December 2019 due to high air pollution. The filters of these CPPs did not meet the new criteria. In addition, the SO_2 values measured at the Yatağan CPP are above the limit value. However, despite the lack of improvement, Kemerköy and Yeniköy CPPs continued their activities by obtaining environmental permits and Yatağan CPP receiving temporary operation certificate. The terrible fires started as of 29 July 2021 in various parts of Muğla and continued for days. In this process, the activities of CPPs in the region were stopped due to safety precautions.

The study aims to determine SO_2 pollution from CPPs in Muğla, and investigate the spatial distribution and the temporal changes for two years (2019-2020). The relationship between SO_2 pollution in the region and electricity generation of PPs was also investigated. Considering meteorological factors, terrain characteristics, looking at the correlation between ground measurements, satellite observations and electricity production, this study helps to understand how much the satellite and ground-based stations can capture these PPs' contribution to SO_2 pollution of the region.

2. METHODOLOGY

2.1. Study Area

The 14400 km^2 study area consisting of 1×1 km^2 grids covering the CPPs in Muğla was selected. Land cover (CORINE, 2018) and elevation data (CORINE, 2018) were processed for the study area (Figure 1). The study area generally consists of forested (green) and agricultural (yellow), and the residential areas (red-pink) (**Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.** (right)). As seen in the **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**, each of the PPs is located close to sea level and rural areas of the city. There are 30 stations measuring wind speed and direction in 2019-2020 and one Air Quality Monitoring Station (AQMS) (Musluhittin station) measuring the SO_2 pollution in the region. The AQMS is located in the city center and the closest meteorology station is Muğla meteorology station.

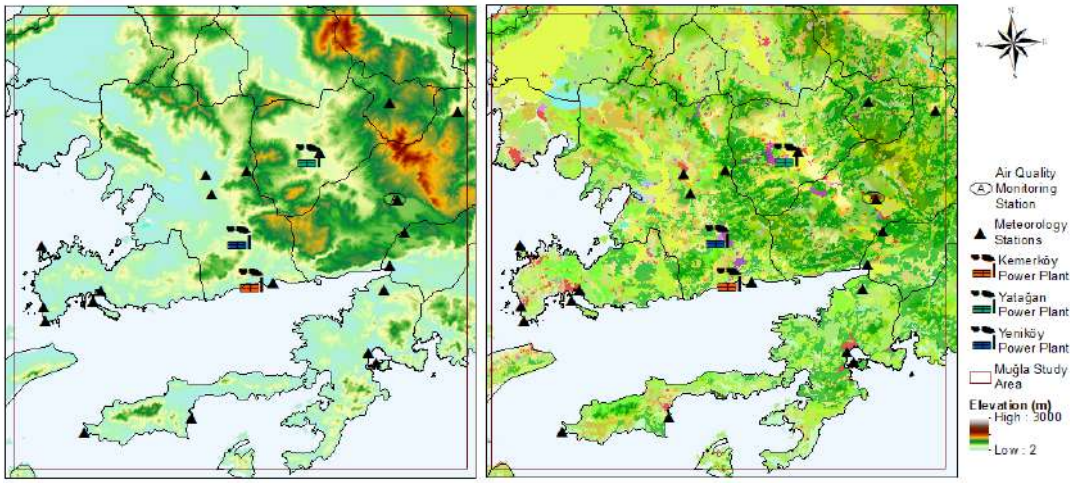


Figure 1. Elevation and land use maps of the study area.

2.2. Satellite Retrievals

Sentinel-5P TROPOMI Level-2 (L2) SO_2 retrievals (NASA, 2021) were used and processed for Turkey for two years (2019-2020). SO_2 retrievals were filtered according to given quality criteria, such as cloud fraction <0.3, solar zenith angle (SZA) <60°, snow ice flag <0.5, qa (quality assurance) value >0.5, sulfur dioxide total air mass factor polluted >0.1, sulfur dioxide total vertical column >-0.001 mol/m^2 (ESA, 2021). Gridded monthly average TROPOMI SO_2 column concentrations were calculated using oversampling method with 10 km radius (Fioletov et al., 2016). Monthly distribution maps and statistics were created for SO_2 retrievals.

2.3. Ground Observations

Although there are seven AQMS in Muğla, only Musluhittin station measured SO_2 in the 2019-2020 period. Musluhittin station is located in the city center, away from CPPs (Figure 1). Ground based observations of Musluhittin station (National Air Quality Monitoring Network, 2021) were used to calculate monthly statistics from hourly SO_2 ground measurements for 2019-2020.

Monthly and seasonal wind roses (Figure 2) and pollution roses (Figure 5) were created using hourly meteorological data obtained (MGM, 2021). Since there is no monthly change in the wind patterns, seasonal wind roses were created. Winds blowing from the northwest in summer-autumn and southeasterly in winter-spring are dominant according to the Muğla meteorology station (Figure 2). When the dominant wind direction in winter and spring is considered, the pollution cannot be measured, because the monitoring station is located behind the CPP. Although the wind direction is favorable in the summer-autumn months, only SO_2 pollution from Yatağan can be transported due to the terrain characteristics. Due to the location of the current AQMS it is expected to be insufficient to measure pollution most of the time.

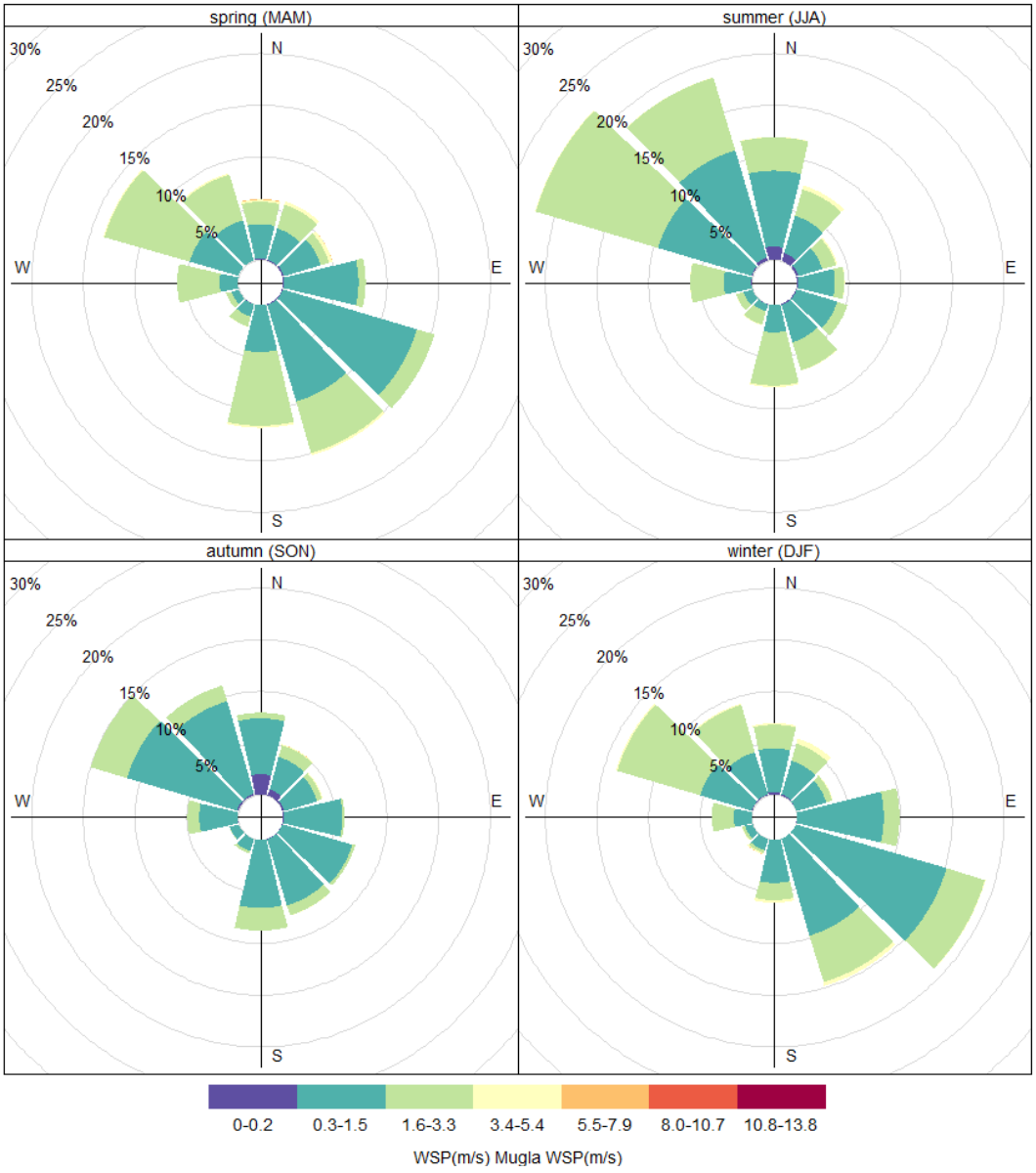


Figure 2. Seasonal wind roses of Muğla meteorology station.

2.4. Power Plants

Three large (>50 MW) CPPs located in Muğla province were selected for this study. Hourly electricity production (EP) for Yeniköy, Kemerköy, and CPPs were (EPIAS, 2021) used to estimate the monthly total electricity productions.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The spatial-temporal distribution of the overall SO_2 pollution over Turkey was determined using the high resolution TROPOMI instrument for the years 2019-2020. Gridded monthly average maps point that, Muğla is the region where the highest pollution is observed after Kahramanmaraş (*Figure 3*). Also, Muğla has the highest SO_2 hotspot in some months. Although these three CPPs in Muğla do not have the highest capacity, they are important sources of SO_2 pollution according to satellite retrievals. The spatial distribution of the month (July 2020) with the highest and cleanest signals for SO_2 pollution in Muğla is shown in *Figure 3*.

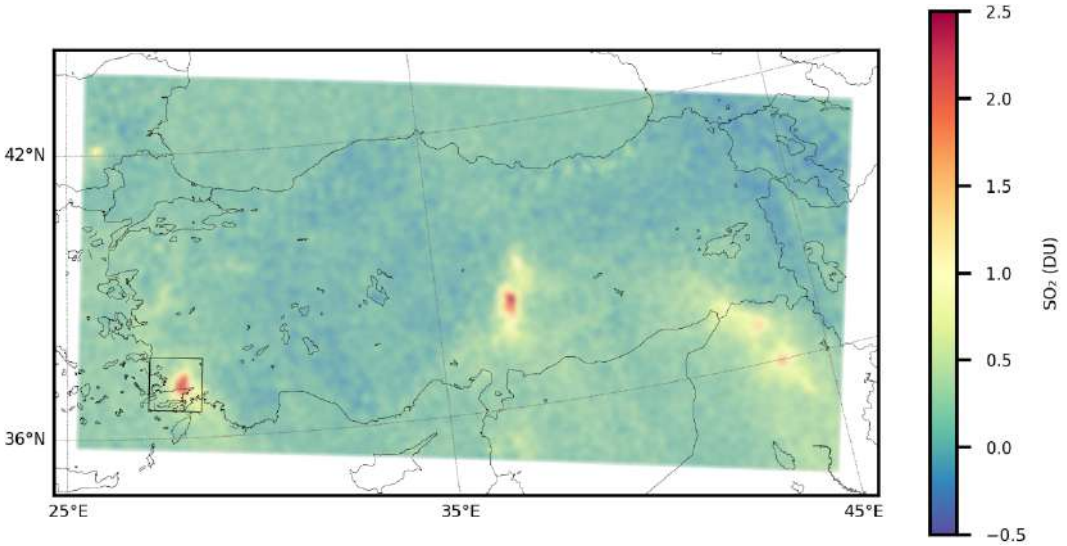


Figure 3. SO_2 pollution distribution across Turkey for June 2020 using TROPOMI retrievals (black square in the bottom left represents the study area).

For the same study period, the temporal variation of SO_2 ground observations in Musluhittin station of Muğla province was investigated (Figure 4). Highest SO_2 pollution levels were observed at noon. SO_2 pollution was high in winter and low in summer (except July-August 2020). In addition, there has been an increase in SO_2 levels in 2020 compared to the previous year, 2019. Considering the terrain characteristics (Figure 1) and meteorological factors (Figure 2), it is not possible to capture the pollution caused by all PPs due to the location of Musluhittin AQMS.

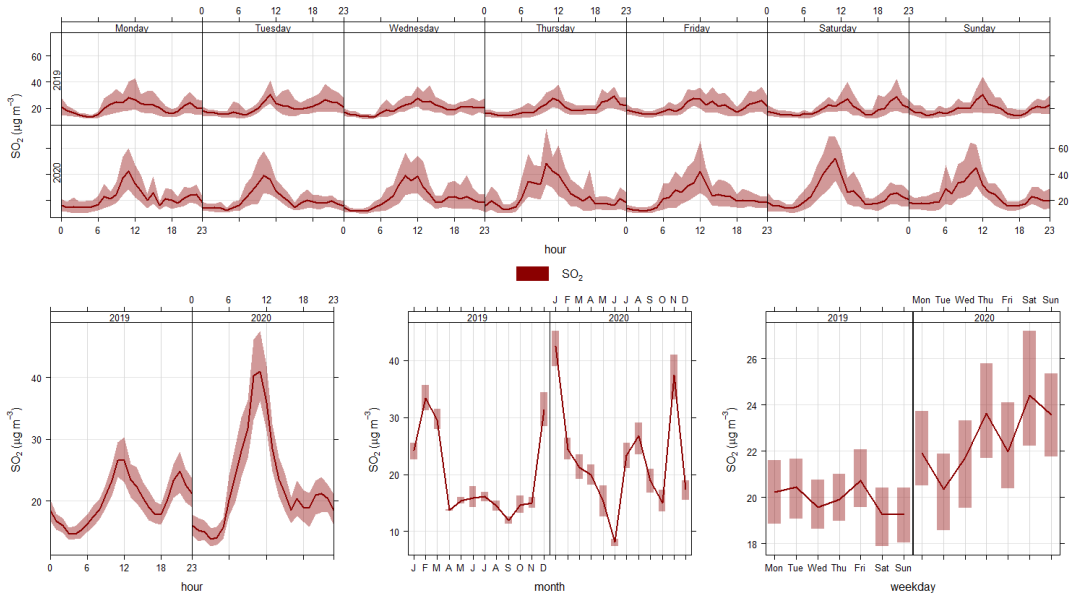


Figure 4. Diurnal, weekly, and monthly ground-level average SO_2 concentrations at Musluhittin AQMS.

The distribution of pollution around the AQMS was investigated by using ground measurements and the wind data of the nearest meteorological station (Figure 5). While the effect of CPPs on PM_{10} pollution is negligible, its effect on SO_2 concentration has been clearly determined. In the summer and autumn, heavy pollution will generally be transported to the southeast. However, high pollution will spread mostly in the opposite direction (northwestward) during the winter months. Therefore, SO_2 pollution from Yatağan CPP can only be partially transported to AQMS in summer and autumn. The high values measured in the AQMS in winter can be attributed to the wind blowing towards the AQMS on some days of heavy pollution.

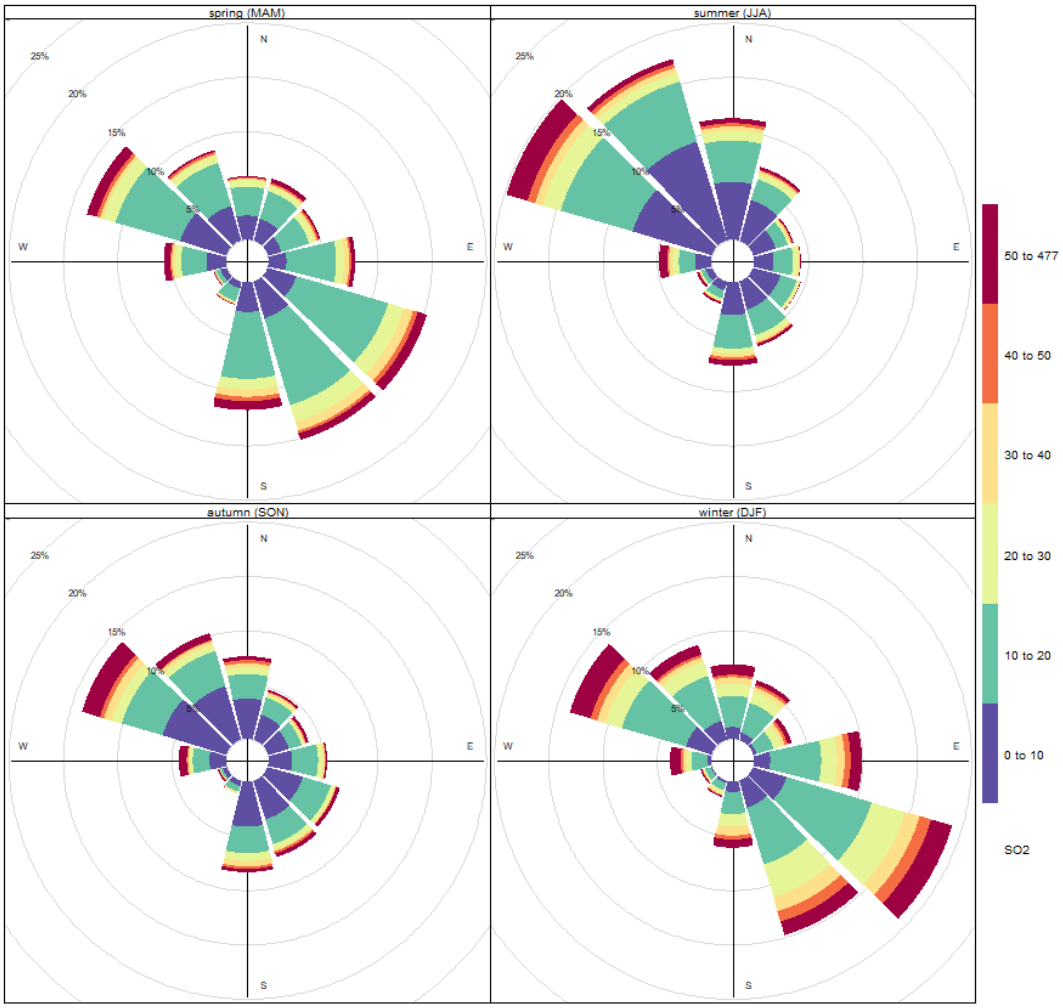


Figure 5. Seasonal SO_2 pollution rose for 2019-2020.

Spatio-temporal changes of the satellite retrievals in the study area were observed by examining the gridded monthly average maps for 2019-2020 (**Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**). The circles represent three CPPs and the triangle represents Musluhittin AQMS. The SO_2 pollution distribution is not clear due to the limited number of retrievals in December and January months of 2019-2020. However, SO_2 pollution distribution and transportation can be clearly seen in other months with the highest SO_2 concentrations are observed in November 2020. April, July and August 2020 are the other months with relatively high pollution, respectively. SO_2 concentrations have increased considerably in 2020 compared to 2019. In November 2020, pollution was transported in the large quantities especially towards the north and dispersed to many parts of the region. Hotspots are generally distributed around Kemerköy and Yeniköy PPs in the monthly distributions. However, in some months when pollution is high, such as April 2020, intense pollution around Yatağan CPP draws attention. Also, there is mostly no SO_2 pollution around Musluhittin AQMS, so it is clear that pollution is not carried to AQMS as expected due to wind and terrain characteristics.

In order to understand how much SO_2 pollution originating from the mentioned three large-capacity CPPs in Muğla can be detected by TROPOMI instrument and AQMS, the relationship between satellite retrievals, electricity generation, and ground-based observations was investigated (Figure 7). Due to the limited number of the satellite retrievals in the months, December and January data were not used. When the electricity generation for each CPP is compared with the satellite retrievals around 10 km (Fioletov et al., 2020), the highest correlation was found for Yatağan CPP (Figure 7 (upper)).

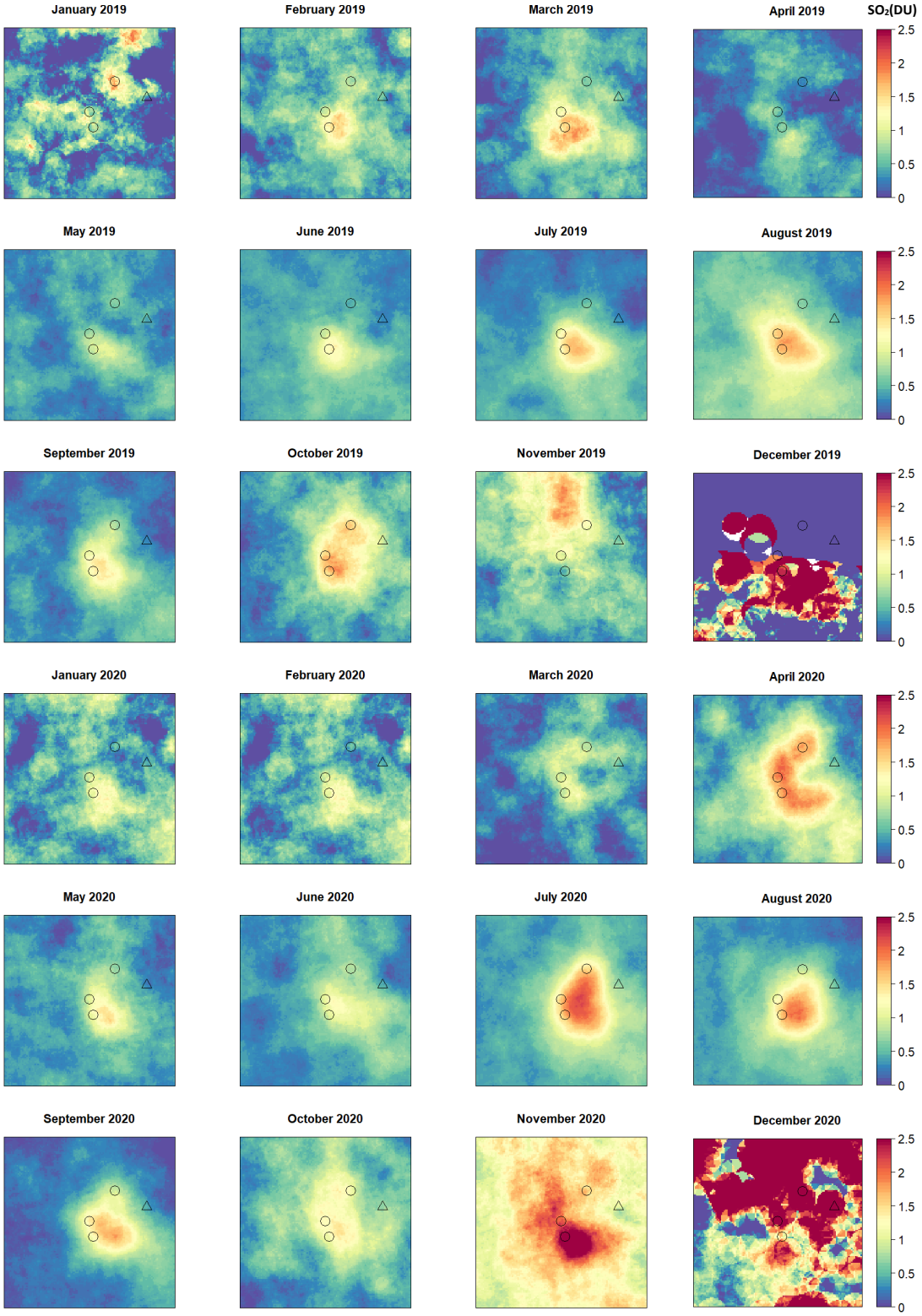


Figure 6. TROPOMI SO_2 (DU) monthly distribution maps (Circles represent Yatağan, Yeniköy and Kemerköy power plants, respectively from top to bottom, and the triangle represents Musluhittin AQMS).

High SO_2 concentrations observed in July-August, when electricity production for Yeniköy CPP is low, is associated with transportation from Kemerköy CPP, which causes intense pollution due to high electricity production in the same months. Since Kemerköy and Yeniköy CPPs are located in the same region, the effect of transportation is observed in most of the months. In November 2020, quite high concentrations are measured by TROPOMI instrument in the region due to the high electricity production at Kemerköy and Yatağan PPs.

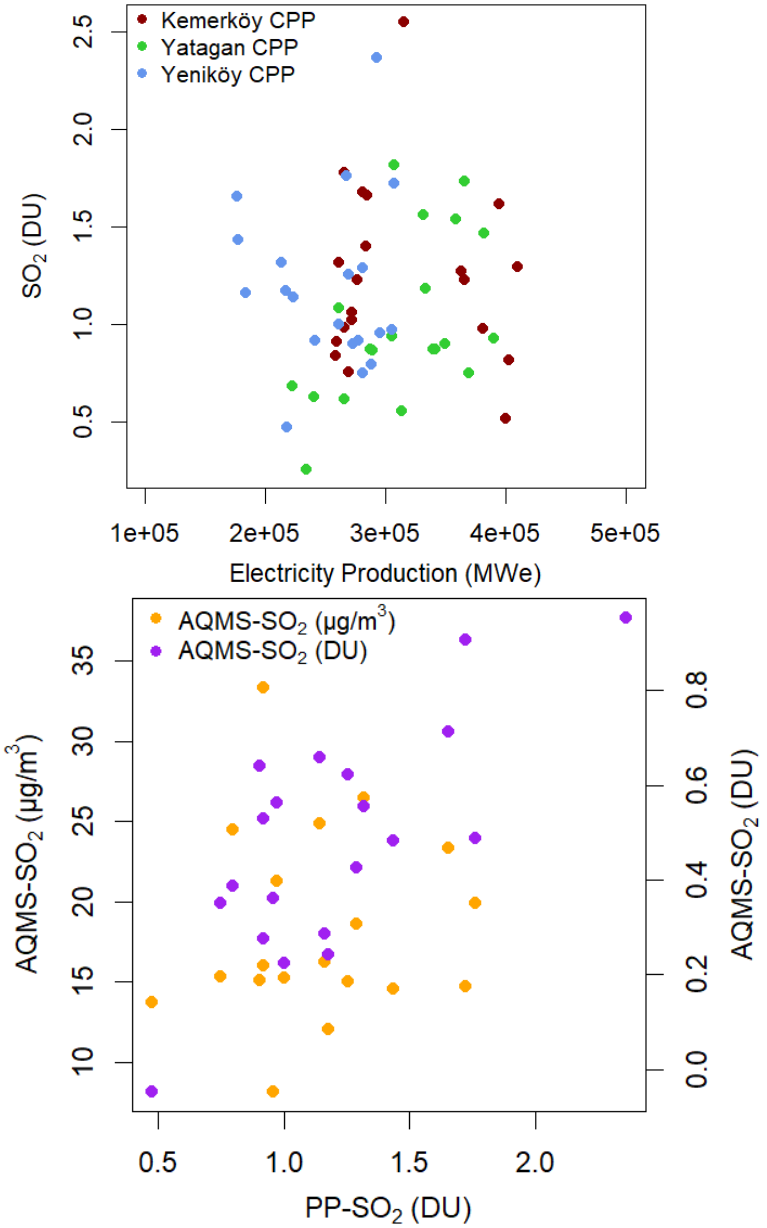


Figure 7. Scatter Plots of EP-PP SO_2 (upper), PP SO_2-AQMS SO_2 (lower)

There is a low correlation ($R^2 = 0.27$) between ground-based observations and satellite retrievals within 10 km of the AQMS. There is a correlation ($R^2 = 0.18$) between AQMS ground-based observations and PP SO_2 satellite retrievals, but it is not high because of the outliers in some months. For Yatağan CPP, a moderate correlation with $R^2 = 0.54$ was found between satellite retrievals around 10 km radius of CPP and AQMS (Figure 7 (lower)). TROPOMI was able to detect SO_2 pollution from the PPs better than the AQMS. In other words, the AQMS is sometimes insufficient to detect the pollution due to its location.

4. CONCLUSION

CPPs, which meet a significant part of the energy need in Turkey due to their high-capacity lignite usage, are the most important source of SO_2 pollution, apart from residential heating. In this study, the spatial and temporal distribution of SO_2 pollution was investigated in the two years (2019-2020) for three CPPs that cause high SO_2 pollution in Muğla. In order to examine the extent to which remote sensing and ground measurements can detect SO_2 pollution in the region, TROPOMI satellite retrievals, AQMS ground-based observations and electricity generation data of these PPs were used. Meteorological factors and terrain characteristics reveal that it is not possible for AQMS to measure pollution due to its location, but can only measure pollution be originating from Yatağan PP in summer-autumn months. Monthly gridded maps were created using satellite retrievals also show that there is a high level of pollution especially around Kemerköy and Yeniköy PPs in July-November, but this pollution was generally not carried towards AQMS. Ground measurements also support this, measuring low SO_2 concentrations only in the summer months of pollution, while measuring high values only in July-August 2020, when the pollution is intense.

Monthly maps show that the highest polluted month was November 2020, and pollution was higher in 2020 than 2019. When energy production for each PPs was compared with satellite measurements, Yatağan has the highest correlation. Satellite retrievals around the CPPs and the AQMS ($R^2 = 0.54$) were more correlated than satellite retrievals around the CPPs and ground measurements ($R^2 = 0.18$). Satellite and ground observations for AQMS are low correlated ($R^2 = 0.27$). In other words, TROPOMI satellite retrievals gave better results at measuring pollution compared to AQMS. This is related to the location of the AQMS, the wind and terrain characteristics in the region.

As of July 29, 2021, the terrible fires that started in many forested areas of Muğla continued for days. When the fire approached the CPPs in the region, the operations of Kemerköy and Yeniköy PPs were stopped due to security measures. In the future study, the effect of closure of CPPs on SO_2 pollution during fires in the summer of 2021 will also be examined.

5. REFERENCES

[1]. (2021) NASA, National Aeronautics and Space Administration Earth Data GES DISC. https://disc.gsfc.nasa.gov/
[2]. (2021) ESA, Sentinel-5 precursor/TROPOMI Level 2 Product User Manual Sulphur Dioxide. https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/sentinel-5p-tropomi/document-library
[3]. (2021) National Air Quality Monitoring Network. https://www.havaizleme.gov.tr/
[4]. (2021) EPIAS, EXIST Transparency Platform Electricity Production. https://seffaflik.epias.com.tr
[5]. (2018) CORINE Land Cover, Copernicus Land Monitoring Service - Corine Land Cover. https://land.copernicus.eu
[6]. (2021) MGM, TC Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü. https://mgm.gov.tr
[7]. Cingiroglu F., Deger S. S., Ceker A. O., Akyuz E. and Kaynak B., "TROPOMI NO_2 and SO_2 Temporal Changes over Large Point Sources and Their Relationship with Electricity Production", CEST 2021, Sept. 2021.
[8]. Fioletov V., Mclinden C. A., Griffin D., et al, "Anthropogenic and volcanic point source SO_2 emissions derived from TROPOMI on board Sentinel-5 Precursor: First results". Atmos Chem Phys, 20, 5591–5607, 2020.
[9]. Fioletov V. E., McLinden C. A., Krotkov N., et al, "A global catalogue of large SO_2 sources and emissions derived from the Ozone Monitoring Instrument". Atmos Chem Phys, 16, 11497–11519, 2016.
[10]. Firatli E., Kaynak B., "Evaluation of SO_2 emissions from large scale power plants using OMI SO_2 retrievals for Turkey". WIT Transactions on the Built Environment, 168, 677-688, 2015.
[11]. Kaynak B., Firatli E., "Estimating SO_2 emissions from a large point source using 10-year OMI SO_2 observations: Afsin Elbistan Power Plant". Geophysical Research Abstracts, 18, 9469, 2016.
[12]. Liu F., Choi S., Li C., et al, "A new global anthropogenic SO_2 emission inventory for the last decade: A mosaic of satellite-derived and bottom-up emissions". Atmos Chem Phys, 18, 16571–16586, 2018.
[13]. Shikwambanaa L., Mhangarab P., Nkanyiso M., "Trend analysis and first time observations of sulphur dioxide and nitrogen dioxide in South Africa using TROPOMI/Sentinel-5 P data". Int J Appl Earth Obs Geoinformation, 91, 2020.

ZNO ADSORPSİYONU İLE H_2S GİDERİMİ SONRASINDA CO BESLENMESİ İLE COS OLUŞUMUNA SU İÇERİĞİNİN VE SICAKLIĞIN ETKİSİ

Cevdet Doğan[1,*], Banu Çetin[2], Stefan Martini[3], Stefan Retschitzegger[4]

*[1]*Gebze Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 41400, Gebze/KOCAELİ,*
cevdetdogan@gtu.edu.tr
[2]Gebze Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 41400, Gebze/KOCAELİ
bcetin@gtu.edu.tr

[3]Bioenergy and Sustainable Technologies GmbH (BEST), 8010, Graz,

stefan.martini@best-research.eu

[4]Bioenergy and Sustainable Technologies GmbH (BEST), 8010, Graz,
stefan.retschitzegger@best-research.eu

Özet

Sentez gazı içinde bulunan sülfürlü bileşikler sonraki süreçte katalizörlerin yüzeyinde korozyona sebebiyet vermesi sebebiyle sorun oluşturmaktadır. Bu sebeple sentez gazının içindeki sülfürlü bileşiklerin arıtılması gerekmektedir. Arıtım için farklı yöntemler olmakla beraber yüksek sıcaklıklarda uygulanabilirliği sebebi ile en yüksek enerji verimliliğine sahip olan adsorpsiyon işlemidir. Adsorbant olarak seçiciliğinin iyi olması, yüksek sıcaklıklarda çalışabilmesi gibi özellikleri sebebiyle literatürde ZnO sıkça kullanılmaktadır. H_2S'in ZnO ile giderimi sonucunda ZnS oluşmaktadır. Sentez gazı içinde bulunan ve aktif bir gaz olan CO oluşan ZnS ile anlık olarak tepkimeye girerek COS oluşturabilir ve tutulan sülfürün salınmasına sebebiyet verebilir. Bu sebeple CO varlığında ZnS yüzeyindeki COS oluşum hızının belirlenmesi önem arz etmektedir. Bu çalışmada adsorpsiyon işlemi gerçekleştirilmiş ZnO adsorbentine 350 C'de CO, N_2 (CO 350) karışımı beslenerek oluşan COS miktarı ve hızı hesaplanmıştır. Daha sonra CO N_2 karışımına H_2O (CO+H2O 350) eklenmiştir ve son olarak da 400 °C (CO 400) 'de beslenerek sıcaklığın etkisi incelenmiştir. COS oluşum hızları büyükten küçüğe CO 350>CO 400 >CO+H2O 400 olarak bulunmuştur.

Abstract

Sulfur compounds in the syngas cause problems in downstream high temperature processes because they lead to irreversible degradation of the surface of the catalysts. For this reason, it is necessary to remove sulfur compounds in the syngas. Although there are different methods for purification, the adsorption process has the energetic benefits because it can be applied at high temperatures. ZnO is frequently used in the literature due to its good selectivity as an adsorbent and its ability to work at high temperatures. As a result of the removal of H_2S with ZnO, ZnS is formed. CO, which is present in the synthesis gas, can instantly react with the formed ZnS to form COS and cause the release of the adsorbed sulfur. For this reason, it is important to determine the rate of COS formation on the ZnS surface in the presence of CO. In this study, the amount and rate of formed COS was experimentally determined by feeding a mixture of CO and N_2, spiked with H_2S through a heated ZnO adsorption bed. Furthermore, the influence of H_2O and temperature in the range of 350 °C to 400 °C on the COS formation were investigated. COS formation rates were found to be CO 350>CO 400 >CO+H2O 400, from the biggest to the smallest.

Keywords: Gas purification, H_2S, COS, Syngas, treatment

1. GİRİŞ

Gazlaştırma işlemi sonucunda elde edilen sentez gazından enerji veya kimyasal madde elde edilmesi mümkündür. Proses tipine ve şartlarına bağlı olarak sentez gazı içeriği değişmekle birlikte CO, CO_2, H_2, N_2, H_2O ana bileşenlerden oluşmaktadır. Ayrıca sülfürlü bileşikler (H_2S ve COS), partiküler madde ve katran gibi safsızlıkları da içermektedir. Gazlaştırma şartlarında sülfürlü bileşikler H_2S ve COS olarak bulunmakla birlikte bir sonraki proseste korozyona sebebiyet vermesi sebebiyle arıtılması gerekmektedir. H_2S COS'a göre oran olarak daha fazla bulunduğu için [1] yapılan çalışmalarda daha çok H_2S giderimine odaklanılmıştır. H_2S giderimi için ise adsorpsiyon, sıvı ile yıkama (scubbing) ve Claus prosesi gibi işlemler bulunmaktadır. Bu işlemler içinde yüksek sıcaklıklarda gerçekleşebilmesi sebebi ile termokimyasal olarak en verimli olan adsorpsiyon prosesidir. Adsorpsiyon için farklı metal oksitler kullanılmakla beraber, yüksek adsorpsiyon hızı, iyi rejenarasyon verimi ve seçiciliğinin yüksek olması sebebi ile ZnO sıkça kullanılan bir adsorbent olmuştur [2,3,4]. H_2S ve COS'un ZnO adsorbenti ile arasındaki tepkimeler aşağıda 1 ve 2 numaralı denklemlerde verilmiştir.

$$ZnO(s) + H_2S(g) \leftrightarrow ZnS(s) + H_2O(g) \quad (1)$$
$$ZnO(s) + COS(g) \leftrightarrow ZnS(s) + CO_2(g) \quad (2)$$

1.ve 2. Denklemlerdeki tepkimelerde ZnS oluşmadan önce ZnS* şeklinde kararsız bir halde bulunmakadır. Bu ara tepkime 3 nolu denklemde gösterilmiştir.

$$ZnS^*(s) \leftrightarrow ZnS(s) \quad (3)$$

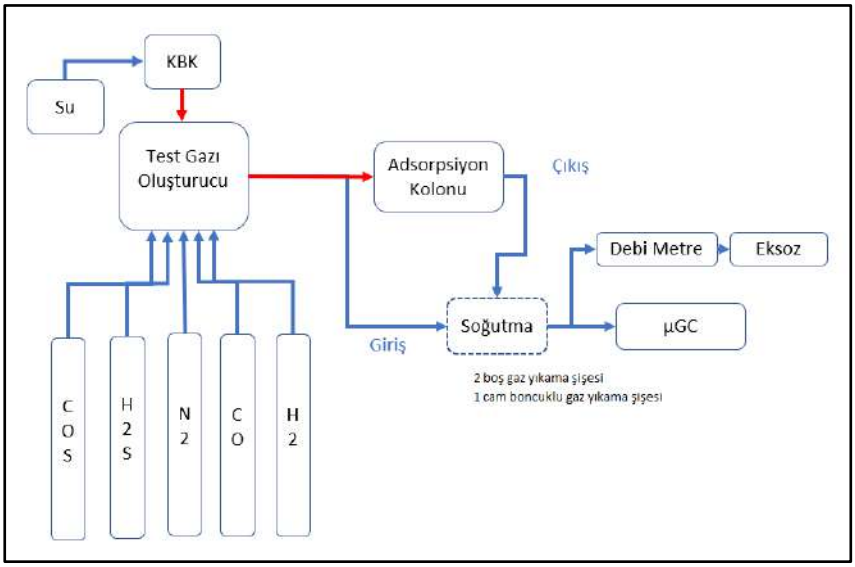
ZnS^* kararlı hale geçmiş olmadığı için sentez gazının içinde bulunun yüksek konsantrasyonlu gazlar ile tepkimeye girip tekrardan sülfürlü gaz oluşumuna sebebiyet verme riski vardır. Sentez gazı içinde bulunan en reaktif gazlardan olan CO'in 4 nolu denklemde gösterildiği gibi ZnS* ile tepkimeye girip COS oluşturma potansiyeli vardır. COS, H_2S'e göre ZnO üzerinde daha az aktif olan bir bileşiktir. Bu sebeple oluşan COS'in tekrardan 2 numaralı denklem ile tutulması daha zordur [5]. Bu sebeple CO varlığında COS'un salınım hızının bilinmesi gerekir. Ayrıca H_2O varlığında 5 numaralı denklemin gerçekleşerek COS oluşumunun baskılanıp H_2S oluşturması ve 1 numaralı denklem vasıtası ile tekrardan tutulması mümkün olabilir. Öte yandan H_2O'nun varlığı 1 numaralı denklemdeki dengenin sol tarafa kayıp H_2S oluşumuna sebebiyet verebilir. Bu sebeple geri salınım hızlarının belirlenmesi önem arz etmektedir.

$$ZnS^*(s) + CO(g) \leftrightarrow -Zn(s) + COS(g) \quad (4)$$
$$COS(s) + H_2O(g) \leftrightarrow CO_2(s) + H_2S(g) \quad (5)$$

Bu çalışmada H_2S ile beslenmiş adsorbente (ZnO) adsorpsiyon işlemi sonrasında iki farklı karşım (CO ve N_2) ve (CO, H_2O ve N_2) beslenip sülfürlü gazların geri salınım hızları ve miktarları incelenmiştir. Ayrıca CO ve N_2 karışımı için sıcaklığın etkisi incelenmiştir.

2. MATERYAL METOD

Geri salınım hızını belirlemek için kullanılan düzenek Şekil 1'de gösterilmiştir. Her gaz için ayrılmış Kütle Akış Kontrolörlerinden (Mass Flow Controler) oluşan Test Gazı Oluşturucu vasıtası ile istenilen debide ayarlanan gaz karışımı adsorpsiyon kolonuna beslenmektedir. Ayrıca Kontrollü Buharlaştırıcı ve Karıştırıcı (KBK) kullanılarak H_2O nun homojen bir şekilde gaz akışına eklenmesi mümkün olmaktadır. Oluşturulan gaz karışımları Tablo 1Şekil 1'de gösterilmiştir. Adsorbent olarak 0.5 g ZnO (0,5-1 mm) kullanılmıştır. Adsorpsiyon kolonu ve kolona gelen hat elektrikli olarak ısıtılmıştır. Desorpsiyon işleminden önce N_2 ve H_2S karışımı (220 ppm H_2S) beslenerek adsorpsiyon işlemi gerçekleştirilerek adsorbantın sülfüre doyurulması sağlanmıştır. Adsorpsiyon işlemi bittikten sonra ise H_2S beslemesi durdurulup, farklı kompozisyondaki gazlar 0.5 L/dakika debide beslenerek sülfürlü bileşiklerin salınımları ölçülmüştür. Gaz içerik ölçümleri Agilent marka 490 model Micro GC yardımı ile gerçekleştirilmiştir. Gaz debisi Ritter marka davul debimetre (Gaz Metre) ile ölçülmüştür.



Şekil 1 Kullanılan deney düzeneğinin şematik olarak gösterimi

Tablo 1 Desorpsiyon hızlarını belirlemek için kullanılan gaz karışımları ve işletme sıcaklıkları

Gaz	Sıcaklık	CO	H_2O	N_2
CO 350	350	36	-	64
CO+ H2O, 350	350	36	20	44
CO 400	400	36	-	64

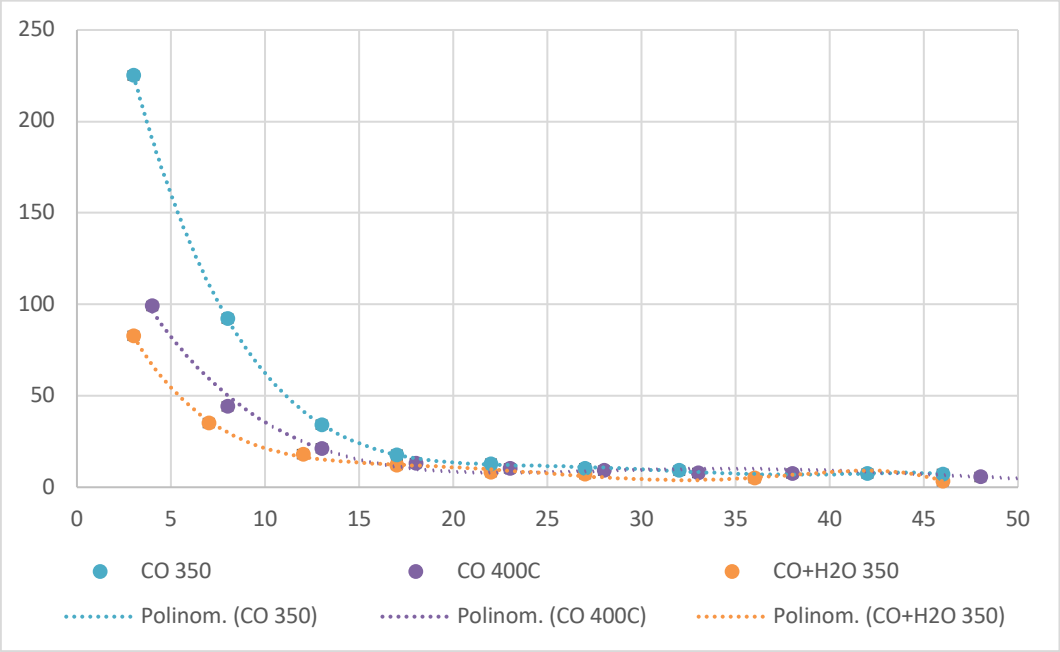
3. SONUÇ

H_2S beslenerek sülfür adsorpsiyonu gerçekleştirilen ZnO dolu kolona H_2S beslemesi durdurulmuştur ve Tablo 1'de gösterilen gaz karışımları beslenmiştir. Besleme sonucunda elde edilen kolon çıkış konsantrasyonları Şekil 2'de gösterilmiştir. Sülfürlü gaz oluşumu 18. Dakikadan sonra kararlı hale ulaştığı için salınım hızı için ilk 18 dakikadaki ölçümler baz alınarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Şekil 3'de salınım hızlarına ait eğriler gösterilmiştir, görüldüğü üzere elde edilen denklemlerin eğimleri CO 350< CO 400< CO+H2O 350 şeklinde sıralanmıştır. Salınım hızları aynı sıralama ile; $7.9x10^{-2}$, $3.59x10^{-2}$ ve $2.79x10^{-2}$ mg/dak şeklinde hesaplanmıştır. Eğrilerin altında kalan alanlar dikkate alınarak salınım miktarları hesaplanmıştır ve sırasıyla 1,31, 0,64 ve 0,47 mg olarak bulunmuştur. 350 °C'de CO ile yapılan desorpsiyon denemesinde (CO 350C) daha yüksek konsanrasyonlar ile salınım başlamış ve daha dik bir eğim ile kararlı hale geçmiştir. Bunun sebebi ilk 18 dakikada 4 nolu denklemin 2 nolu denkleme göre daha baskın olması şeklinde yorumlanabilir. Adsorbant üzerindeki ZnS^*'nin azalmasından dolayı da COS oluşum miktarı zamana bağlı azalmaktadır. Daha yüksek sıcaklıkta yapılan deneyde (CO 400) ise; 2 nolu denklem daha hızlı hale geldiği için 4 nolu denklemin etkisi azalmış veya 3 nolu denklemin sağa doğru kaymasından dolayı kararsız haldeki ZnS^*'in azalmasından dolayı COS oluşumu azalmış şeklinde yorumlanabilir. Miktar olarak CO 400 şartları için, CO 350C'nin yaklaşık yarısı kadar salınım gözlemlenmiştir. Buna karşın 350 °C'de H_2O eklenmesi ile salınım miktarı daha da düşerek CO350'in yaklaşık %37'si kadar olmuştur. Bunun sebebi 5 nolu denklemin 4 nolu denklemin etkisini azaltması olduğu şeklinde açıklanabilir. 4 nolu denklem sonucunda oluşması beklenen COS'un %63'ü 5 ve 1 nolu denklemler yoluyla önce H_2S e dönüşüp daha sonrasında da ZnS şekilinde tekrardan tutulduğu şeklinde yorumlanabilir.

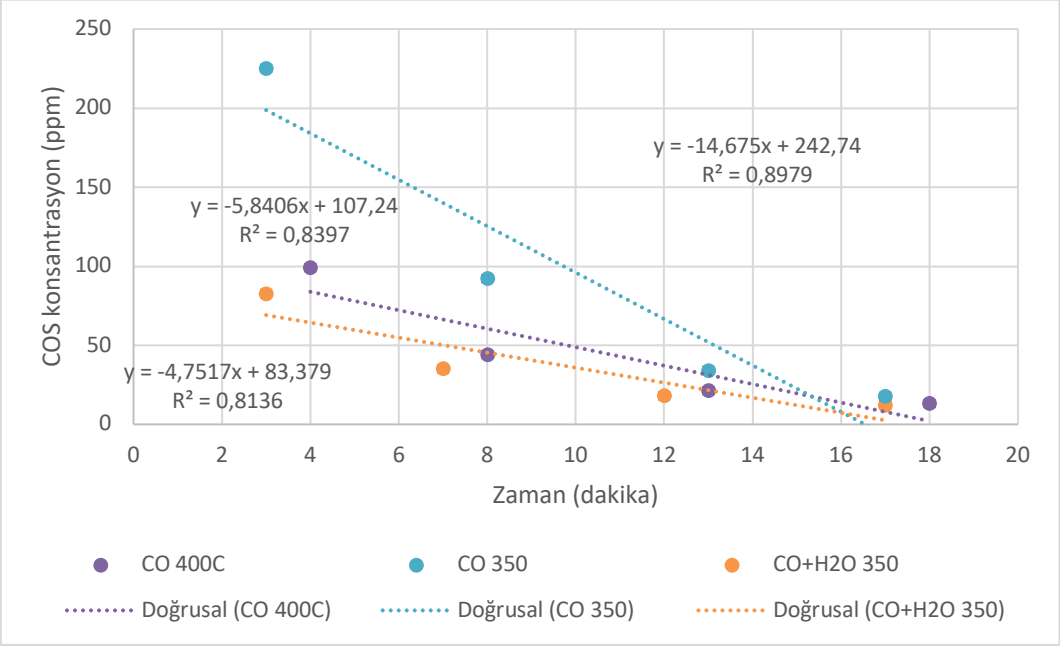
Desorpsiyon süresince salınan sülfür miktarı adsorpsiyon sırasında tutulan sülfür miktarının sadece %2,7'sidir. Bunun sebebinin ZnS^*'nin CO ile tepkimeye girmesinin daha kolay olması fakat kararlı ZnS haline geldikten sonra tekrardan CO ile tepkimeye girip COS oluşturmasının daha zor olması olduğu düşünülmektedir.

Ling vd., teorik olarak yaptıkları hesaplamalarda H_2S ve CO varlığında ZnO'nun katalizör gibi davranıp COS üretmesinin mümkün olabileceğini belirtmişlerdir [6]. Yaptığımız çalışmada ise H_2S olmasa bile ZnO üzerinde bulunan ZnS'in de CO mevcudiyetinde COS oluşumuna sebebiyet verebileceği görülmüştür. Bu durumda

sadece CO ve H_2S in homojen tepkimesinden dolayı değil aynı zamanda adsorbe olmuş ZnS üzerinde heterojen tepkimeler vasıtası ile de COS oluşumunun mümkün olduğu gösterilmiştir.



Şekil 2Desorpsiyon durumunda farklı şartlardaki COS konsantrasyon salınımları



Şekil 3 Desorpsiyon durumunda farklı şartlardaki COS konsantrasyon salınım hızları

4. TARTIŞMA

Sentez gazı içinde bulunan CO, ZnS yüzeyine beslendiği durumunda COS oluşumuna sebebiyet verdiği görülmüştür. Salınım miktarı zamanla azalmaktadır ve 18.dakikadan sonra kararlı hale gelmektedir. COS oluşumunda 4 nolu denklemdeki tepkimenin etkili olduğu düşünülmektedir. Bu etki sıcaklığın artmasıyla 2 nolu tepkimenin daha baskın olması ile azalmıştır. Ayrıca H_2O eklenmesi ile 5 ve 1 nolu denklemdeki tepkimelerin gerçekleşmesi ile sülfürlü gaz salınımı azaldığı gözlemlenmiştir. Bu etkilerin arıtılacak gazın içinde H_2S bulunması durumunda da nasıl değişeceğinin araştırılması önemlidir.

5. KAYNAKÇA

[1]. Song C., Ma X., Hydrogen and Syngas Production and Purification Technologies, Desulfurization Technologies, 2009, 219-310.
[2]. Uchida H., Hot gas desulphurization processes, Nenryo Kyokai-shi, 1983, 62, 792-802.
[3]. Westmoreland Phillip R., Harrison Douglas P., Evaluation of Candidate Solids for High-Temperature Desulfurization of Low-Btu Gases, Environmental Science and Technology, 1976, 10, 659-661.
[4]. Schrodt, J., Hilton T., Rogge G.B, , Charles A., High-temperature desulphurization of low-CV fuel gas, Fuel, 1975, 54, 269-272.
[5]. Sasaoka E., Characterization of reaction between zinc oxide and hydrogen sulfide, Energy & Fuels, 1994, 8, 1100-1105.
[6]. Ling L., Zhao Z., Wang B., Fan M., Zhang R., Effects of CO and CO2 on the desulfurization of H2S using a ZnO sorbent: a density functional theory study, Physical Chemistry Chemical Physics, 2016, 18, 11150.

6. TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK 2214 a desteği, Bio-CCHP projesi ve Bioenergy ERANET programları ile desteklenmiştir.

14. ULUSAL 2. ULUSLARARASI ÇEVRE MÜHENDISLIĞI KONGRESI 2021 TAM METİN TASLAĞI

Yunus Serhat Erzeybek[1,*]

Özet

Çalışma Kapsamında Avcılar-Ambarlı bölgesinde bir akaryakıt depolama terminalinde gerçekleştirilen faaliyetlere bağlı olarak Toprak Kirliliğinin Kontrolü ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahalara Dair Yönetmelik kapsamında, toprak ve yeraltı suyu kirliliğine ait karakterizasyon çalışmaları yapılması ve temizleme yöntemleri belirlenmesi amaçlanmıştır.

İnceleme alanında kirliliğin türünü, toprak ve yeraltısuyunda yayılımını ve durumunu belirlemek amacıyla gridleme yöntemi ile 20 noktada toprak ve yeraltı suyu örneklemesi çalışması yapılmıştır. Sahada yeraltısuyu derinliğini ve yeraltısuyu akım yönlerini belirlemek amacıyla 5 noktada açılan 6 m derinlikteki gözlem kuyularında dönemsel olarak yeraltısuyu seviye ölçümleri gerçekleştirilmiş, akifer malzemesinin hidrolik iletkenliği belirlemek amacıyla kuyularda slug testleri yürütülmüştür. Kirlilik karakterizasyon çalışmaları kapsamında alınan toprak ve yeraltısuyu örnekleri üzerinde TPH (Alifatik-Aromatik EC8-EC35), VOCs, BTEX, TOX, Yağ-Gress ve ağır metal analizleri Çevre ve Şehircilik Bakanlığı akreditasyonuna sahip laboratuvarlar tarafından gerçekleştirilmiştir. Ayrıca sahada belirlenen kirleticinin köken araştırması yapılması amacıyla belli noktalardan toprak numuneleri alınarak Çek Cumhuriyetinde finger print analizleri yaptırılmış ve kirliliğin güncel veya önceki dönem kaynaklı olup olmadığı ortaya konmuştur.

Karakterizasyon çalışmaları sonucunda kirlilik türleri TPH Alifatik-Aromatik EC8-EC35 aralığında ve köken analizlerine bağlı olarak motor yağı, asfalt ve hidrolik yağ türevi organik kontaminasyon türleri olduğu belirlenmiştir. Bunlarla birlikte sahadaki hakim litolojinin danişmen formasyonu olması ve hidrolik iletkenliğinin çok düşük olması nedeniyle kirliliğin tek kuyuda saptandığı ve temizleme yöntemi olarak yerinde ıslah yöntemleri ile temizleme ve sonrasında izleme çalışmaları ve yöntemleri yapılması önerilmiştir.

Keywords:

14. national 2. international environmental engineering congress

climate crisis & environmental policies

SESSION 2B: Atıksu Arıtma

Paper ID:

9 ETANOL ÜRETİM ENDÜSTRİSİ ATIK SUYUNDA GELİŞTİRİLEN Rhizopus oligosporus'DAN KİTİN ELDESİNDE ALKALİ ÖN İŞLEM ŞARTLARININ ETKİ SİNİN BELİRLENMESİ
H. Duygu Bilgen

54 ENDÜSTRİYEL ATIKSU ile BESLENEN BAKTERİ HÜCRESİNDEN SÜPERKRİ TİK CO2 ile PHA EKSTRAKSİYONU
Tülin Y. Nayır -Selver Konuk - Havva Nur Çiftci - Serdar Kara

55 DERİ SANAYİ ATIKSULARINDA AKTİF KARBON ADSORPSİYONU İLE KROM(VI) GİDERİMİ
Elçin Genç

46 TELON RED A2R BOYARMADDESİNİN UV-LIGHT - ELEKTROOKSİDASYON SİSTEMİNDE GİDERİMİNE ELEKTROLİT TÜRÜNÜN ETKİSİ
Orhan Taner Can - Ayşe Nur Canbaz - Ahmet Öztürk

5 Tİ/RUO2-IRO2 VE Tİ/RUO2-TİO2 ANOT ARDIŞIK REAKTÖR SİSTEMİNDE ASTRAZON BLACK FDL BOYA ÇÖZELTİ SİNDEN RENK GİDERİMİ
Orhan Taner Can - Ahmet Öztürk

30 DENİTRİFİYE ANAEROBİK METAN OKSİDASYONU (DAMO)'NUN FARKLI AŞI ÇAMURU KAYNAKLARINDA VARLIĞININ VE ETKİNLİĞİNİN İNCELEN MESİ
Dilan Laçin - Tuba H. Bayramoğlu

59 Effect of Ultrasound Pretreatment on Particle Size Distrubution in Dairy Was tewaters
Hakan Dulkadiroğlu - Selan Lale

107 NANO–BOYUTTA ALÜMİNYUM PARTİKÜLÜ VE ULTRASES PROSESİNİN VICTORIA BLUE R GİDERİMİNE ETKİSİ
Burcu İleri

ETANOL ÜRETİM ENDÜSTRİSİ ATIK SUYUNDA GELİŞTİRİLEN *Rhizopus oligosporus*'DAN KİTİN ELDESİNDE ALKALİ ÖN İŞLEM ŞARTLARININ ETKİSİNİN BELİRLENMESİ

H. Duygu BİLGEN

Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü 33343, MERSİN
hduygubilgen@gmail.com

Özet

Mısırdan kuru öğütme yöntemi ile etanol üreten tesislerde yüksek oranlarda açığa çıkan seyreltik dip suyu (thin stillage), önemli bir endüstriyel atıktır. Bu atık, yüksek karbon azot ve fosfor içeriği nedeni ile arıtılmadan alıcı ortama deşarjı mümkün olmayan bununla birlikte fungusların gelişimi için oldukça uygun bir substrat olarak karşımıza çıkmaktadır. Kitin ve kitinin deasetilasyonu ile elde edilen kitosan günümüzde kozmetik, tekstil ilaç, gıda gibi birçok endüstriyel alanda kullanıma sahip önemli bir biyopolimerdir. Fungusların hücre duvarında yer alan kitinin endüstriyel ölçekte üretimi için en temel sınırlayıcı faktör fermantasyon için uygun besileri maliyetidir. Dolayısı ile fungus üretiminde seyreltik dip suyunun kullanılması kitin üretim maliyetini düşürecektir. Bununla birlikte üretim koşullarının optimizasyonu için de özellikle en önemli adım olan protein uzaklaştırma aşamasını içeren alkali ön işlem şartlarının geliştirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada literatürde yer alan alkali ön işlem şartlarında kullanılan NaOH konsantrasyonunun etkisinin belirlenmesi için 5 farklı konsantrasyon (%3-%5-%10-%20-%40) çalışılmıştır. Bunun yanısıra zaman ve sıcaklıkla ilgili ortaya çıkan maliyeti düşürmek amacı ile alkali ön işlem aşamasında otoklavın kullanılabilirliği araştırılmış ve sonuçlar literatürde yer alan ön işlem şartları ile karşılaştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Etanol endüstrisi atıksuyu, Kitin, Kitosan, *Rhizopus oligosporus.*

Abstract

Thin stillage, which is released at high rates in plants that produce ethanol from corn by dry grinding method, is an important industrial waste. This waste, which cannot be discharged to the receiving environment without treatment due to its high carbon, nitrogen and phosphorus content, is a very suitable substrate for the inoculation of fungi. Chitin and Chitosan which obtained by deacetylation of chitin, is an important biopolymer that is used in many industrial areas such as cosmetics, textiles, pharmaceuticals, and food. The main limiting factor for the industrial-scale production of chitin in the cell wall of fungi is the cost of suitable media for fermentation. Therefore, the use of thin stillage for the growing of fungus will reduce the production cost of the total process. However, for the optimization of the production conditions, alkaline pre-treatment conditions including the protein removal step, which is the most important step, should be developed. In this study, 5 different concentrations (3%-5%-10%-20%-40%) were studied to determine the effect of NaOH concentration used in alkaline pre-treatment conditions in the literature. In addition, the usability of the autoclave in the alkaline pre-treatment phase was investigated in order to reduce the cost associated with time and temperature, and the results were compared with the pretreatment conditions in the literature.

Keywords: Ethanol Industry Wastewater, Chitin, Chitosan, *Rhizopus oligosporus.*

1.GİRİŞ

Son yıllarda atık arıtımının yerini atıktan değerli yan ürünler eldesi almıştır. Endüstriyel alanda kullanım olacağı bulunan ürünlerin atıklardan üretilmesi hem arıtım maliyetinden kurtulmayı hem de atıkların doğru yönetimini sağlamaktadır. Özellikle endüstriyel atıklardan çevre dostu biyopolimer üretimi son zamanlarda birçok araştırmacının ilgisini çekmiştir.

Kitin yeryüzünde selülozdan sonra en fazla bulunan doğal biyopolimer olarak bilinmektedir. Kitosan ise kitinin deasetilasyonu ile elde edilen doğal bir biyopolimerdir. Kitin ve kitosan, deniz kabuklularının kabuğunda, böceklerin ve yumuşakçaların dış iskeletlerinde ve ayrıca fungusların hücre duvarlarında bulunmaktadır [1-7].

Fiziksel ve kimyasal özellikleri nedeni ile kitin ve kitosan; tarım, tekstil, kozmetik, fotoğrafçılık, kağıt, mühendislik, ilaç ve gıda sanayi gibi çok çeşitli endüstriyel alanlarda geniş bir kullanıma sahiptir [8]. Bununla birlikte özellikle son yıllarda gıda endüstrisinde kullanılan biyoplastik ürünlerin ham maddesi ya da yardımcı madde olarak da kitosan tercih edilmeye başlanmıştır. Bunun temel nedeni ise kitosanın antioksidan ve antibakteriyel özelliğe sahip olmasıdır [9].

Fungal kitin ve kitosan üretim maliyetlerinin yüksek olması sebebi ile düşük üretim kapasitesine sahiptir. Funguslar normal gelişimlerini sağlayabilmek için karbon, azot ve fosfor kaynağı dışında çeşitli minerallerin de yer aldığı besiyerlerinde yetiştirilmektedirler. Endüstriyel atıksular kullanılarak bu besiyerlerinin maliyetlerinin düşürülmesi ise fungal kitin/kitosan üretim maliyetini düşürmenin en kolay yoludur.

Bu çalışmada *Rhizopus oligosporus* fungusunu geliştirmek için etanol endüstrisi atık suyu kullanılmıştır. Fungusun hücre duvarında yer alan kitinin ekstaksiyonuna farklı alkali ön işlem şartlarının etkisi araştırılmış ve toplam işletme maliyetinin optimize edilmesi için yöntem önerilmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal

Çalışmada kullanılan seyreltik dip suyu (thin stillage) mısırdan etanol elde eden tesisten alınmış ve 121ºC ve 1,2 atm de 15 dak süre ile otoklavlanarak steril edilmiş ve +4ºC de depolanmıştır.

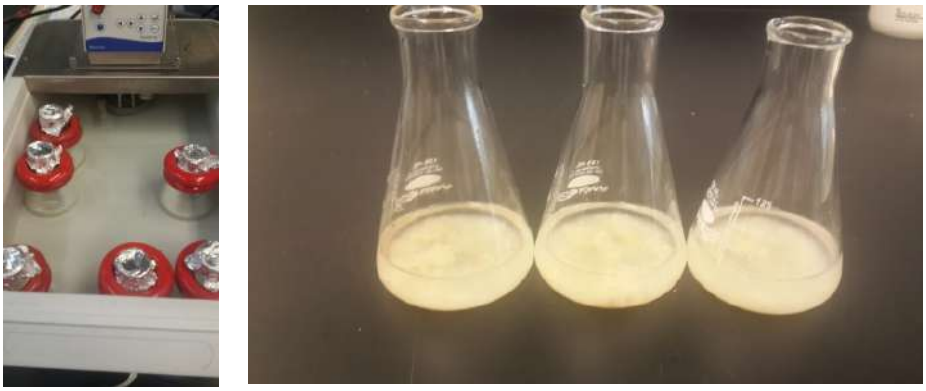
2.1. Yöntem

40 L etkin hacme sahip metal biyoreaktör otoklavda steril edilmiştir. Reaktöre, etanol endüstrisi atığı seyreltik dip suyu eklenmiş ve *Rhizopus oligosporus* ile aşılanmıştır. Reaktör fungusun optimum gelişme gösterdiği şartlarda 7 gün süre ile işletilmiş ve süre sonunda oluşan tüm biyokütle hasat edilmiştir. Hasat edilen biyokütle 60 mesh eleklerden geçirilerek susuzlaştırılmıştır. Elde edilen yaş örneklerden 10'ar g alınarak protein giderimi amacı ile 250 mL ilk erlenlerde alkali ön işleme tabi tutulmuştur.

Kuru biyokütle miktarının belirlenmesi amacı ile 5 adet 10'ar g yaş biyokütle sabit tartıma getirilmiş cam petri kapları içerisinde etüvde 60ºC de 24 saat süre ile kurutulmuş ve ardından tartılmıştır.

Alkali ön-işlem için iki yöntem kullanılmıştır:

Yöntem 1) Yaş biyokütle örnekleri üzerine 100'er mL NaOH çözeltileri eklenmiş ve örnekler 70ºC sıcaklıkta, 4 saat süre ile çalkalanmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. *Su banyosunda 70ºCde bir saat süre ile alkali ön işlem gerçekleştirilen örnekler*

Yöntem 2) Yaş biyokütle örnekleri üzerine 100'er mL NaOH çözeltileri eklenmiş ve örnekler 20 dakika süre ile 121ºC, 1,2 atm basınçta otoklavlanmıştır.

İşlemler sonrası oda sıcaklığına kadar soğutulan örnekler 10.000 rpm de 15 dakika süre ile santrifüjlenmiş, sıvı ve katı faz ayrılmış, katı faz pH'ı 7 ye ulaşana kadar saf su ile yıkanarak tekrar santrifüj edilmiştir.

Protein giderimi gerçekleştirilen katı örnekler tekrar erlenlere eklenmiş ve fungal yağın giderimi amacı ile 50 şer mL etanol ile 24 saat süre ile çalkalanmıştır. İşlem sonucunda santrifüj ile metanol ve fungal yağ içeren sıvı faz uzaklaştırılmış kalan katı kısım üzerine 100'er mL 65ºC de saf su eklenerek 2 saat süre ile çalkalama gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada kitin dışında biyokütle üzerinde kalan tüm kalıntıların uzaklaştırılması amaçlanmıştır. Ardından örnekler tekrar santrifüj edilerek 60ºCde 24 saat süre ile kurutulmuş ve katı kalıntı tartılmıştır.

3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışmada kullanılan yaş fungal biyokütleler Şekil 2 de gösterilmektedir. Elde edilen 10 g yaş fungal biyokütlenin kuru kısmı 2,6 g olarak saptanmıştır.

Çalışmada düşük konsantrasyonlarda NaOH (%3-5) ile alkali ön işlemin biyokütlede yer alan tüm proteini uzaklaştıramadığı, bununla birlikte %10 ve üzeri konsantrasyonların hem oldukça etkin olduğu hem de birbirlerine benzer etki gösterdiği belirlenmiştir (Tablo1). Bu nedenle sonraki çalışmalarda optimum değer olarak %10 luk NaOH konsantrasyonu kullanılmış ve NaOH konsantrasyonu sabit tutularak farklı iki alkali ön işlem birbiri ile karşılaştırılmıştır.

Deneysel çalışmalardan elde edilen kitin yüzdesi aşağıdaki formül kullanılarak belirlenmiştir.

% Kitin = KK*100/kuru biyokütle

Şekil 2. *Çalışmada kullanılan yaş fungal biyokütle*

Heriki alkali ön işlem yönteminde de yedi gün sure ile yetiştirilen kuru fungal biyokütlenin (Şekil 3), %9 oranında kitin içerdiği saptanmıştır. Bu durum otoklavla ön işlemin (basınç etkisi ile birlikte) literatürde yer alan alkali ön işlemle aynı etkiyi sağladığını göstermektedir. Her ne kadar sıcaklık 70ºC yerine 121ºC olarak kullanılmış olsa da reaksiyon süresinin 4saatten 20 dakikaya indirilmesi proses kolaylığı ve maliyet açısından tercih edilir görülmektedir.

Şekil 3*. Çalışma sonucunda elde edilen fungal kitin*

Tablo 1. *Etanol Endüstrisi Atıksuyunda geliştirilen funguslardan elde edilen kitin miktarlarının alkali ön işlem NaOH konsantrasyonuna bağlı değişimi*

NaOH konsantrasyonu (%)	KK* (g)
3	0,663
5	0,326
10	0,234
20	0,235
40	0,234

**KK: Katı Kalıntı (solid residue)*

Fungal kitin üretiminde Alkali ön işlem üretimin önemli bir basamağını oluşturmaktadır. Bu aşamada yüksek konsantrasyonlarda NaOH kullanımı tercih edilen bir yöntem olmakla birlikte, kullanılan NaOH miktarının optimizasyonu, proses maliyetini önemli ölçüde etkilemektedir. Bu çalışmada farklı NaOH konsantrasyonlarının etkileri karşılaştırılarak %10 luk NAOH konsantrasyonunun daha yüksek konsantrasyonlar ile aynı etkiyi gösterdiği saptanmıştır. Ayrıca sıcaklık ve basınç etkisini reaksiyon hızını arttıracağı öngörüsü ile ön işlem çalışmaları otoklav ortamında gerçekleştirilmiş ve yirmi dakikalık kısa bir sürede gerçekleştirilen ön işlemin literatürde yer alan alkali ön işlemler ile aynı etkinliği gösterdiği saptanmıştır.

4. KAYNAKÇA

[1] I.Tsigos, A.Martinou, D.Kafetzopoulos and V.Bouriotis, Chitin deacetylases:.new, versatile tool in biotechnology: Tibitech. 18, 305-312, 2000.

[2] M.M.Abo Elsoud, E.M. El Kady, Current trends in fungal biosynthesis of chitin and chitosan. Bull Natl Res Cent 43, 59. https://doi.org/10.1186/s42269-019-0105-y, 2019.

[3] T.Hahn, E. Tafi, A. Paul, R. Salvia, P. Falabellab, S.Zibeka, "Current state of chitin purification and chitosan production from insects", J Chem Technol Biotechnol, 95: 2775–2795, 2020.

[4] N.A.R Gow, J.P. Latge, C.A. Munro. The Fungal Cell Wall: Structure, Biosynthesis, and Function. Microbiol Spectr. May;5(3). doi: 10.1128/microbiolspec.FUNK-0035-2016. PMID: 28513415, 2017.

[5] M.Á. Curto, E. Butassi, J.C. Ribas, L.A. Svetaz, J.C.G. Cortés, "Natural products targeting the synthesis of β(1,3)-D-glucan and chitin of the fungal cell wall. Existing drugs and recent findings", Phytomedicine, Jul 15;88:153556,doi:10.1016/j.phymed.2021.153556, 2012.

[6] S.M. Bowman, S.J. Free, "The structure and synthesis of the fungal cell wall", Bioessays. Aug;28(8):799-808. doi: 10.1002/bies.20441. PMID: 16927300, 2006.

[7] J.Arroyo, V. Farkaš, A.B. Sanz, E..Cabib,"Strengthening the fungal cell wall through chitin-glucan cross-links: effects on morphogenesis and cell integrity", Cell Microbiol. Sep;18(9):1239-50. doi: 10.1111/cmi.12615. Epub 2016 Jun 16. PMID: 27185288, 2016.

[8] G. Kurtuluş, F.Vardar, Properties of Chitosan, Application Areas, Effects on Plant Systems. Int. J. Adv. Eng. Pure Sci. 32(3): 258-269, 2020.

[9] P. Kongkaoroptham, T. Piroonpan, W. Pasanphan, "Chitosan nanoparticles based on their derivatives as antioxidant and antibacterial additives for active bioplastic packaging", Carbohydrate Polymers, Vol.257, 117610, 2021.

ENDÜSTRİYEL ATIKSU ile BESLENEN BAKTERİ HÜCRESİNDEN SÜPERKRİTİK CO_2 ile PHA EKSTRAKSİYONU

Selver KONUK[1], Tülin YILMAZ NAYIR[2], Havva Nur ÇİFTCİ[3], Serdar KARA [4]

[1]*Gebze Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü 41400, Gebze/KOCAELİ skonuk@gtu.edu.tr*

[2]*Gebze Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 41400, Gebze/KOCAELİ tulinyilmaz@gtu.edu.tr*

[3]*Gebze Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 41400, Gebze/KOCAELİ n.ciftci2018@gtu.edu.tr*

[4] *Gebze Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 41400, Gebze/KOCAELİ kara@gtu.edu.tr*

Özet

Günümüzde her alanda kullanılması yaygınlaşan plastiklerin hammaddesi fossil hidrokarbonlar olması sebebiyle doğada biyolojik olarak parçalanamazlar. Düzenli depolama sahalarında ya da yakma işlemleri ile bertaraf edilebilirler. Son zamanlarda geri dönüşüm proseslerine verilen önem ve toplumda farkındalık oluşmasında rağmen, kullanılmaktan vazgeçilemeyen plastikler için doğaya dost alternatifler bulunması gereklidir. Bunlar arasında biyopolimerler yenilenebilir kaynaklardan (buğday, peyniraltı suyu, pirinç kepeği vb.) ya da atıklardan (arıtma çamuru, sızıntı suyu, zeytin kara suyu vb.) elde edilebilir olmaları sebebiyle ilgi uyandırmaktadır. Biyopolimer hammaddesi olarak polihidroksialkanoatlar (PHA) ise bakterilerin doğal yaşam süreçlerinde depolanabiliyor olmaları sebebiyle öne çıkmakta ve birçok çalışmaya konu olmaktadır. PHA'ların elde edilme prosesi; ön arıtma, üretim ve ekstraksiyon/saflaştırma olmak üzere üç temel aşamaya dayanmaktadır. Bu çalışmada ise maya endüstrisi atıksuyu ile beslenen biyokütleden, PHA'ların ekstraksiyonu için solvent ekstraksiyonuna alternatif bir yöntem olarak, süperkritik CO_2 ile ekstraksiyon yöntemi kullanılmıştır. Süperkritik akışkanlar gazlara göre yüksek yoğunluklu ve sıvılara göre ise daha düşük viskoziteye sahip olmaları sebebiyle ekstraksiyonda kullanıma uygundur. Süperkritik ekstraksiyonda ise CO_2, düşük toksisitesi, kritik sıcaklık ve basıncının kolay ayarlanabilmesi ve düşük maliyet özellikleri sebebiyle tercih edilmektedir.

Bu çalışmada laboratuvar ortamında, CO_2'in istenen basınca çıkarılabildiği sıcaklık kontrollü ekstraksiyon reaktörü ve ürün toplama bölümlerinden oluşan bir düzenek kullanılmıştır. Proses verimine, biyokütle miktarı (1-3 gr), sıcaklık (35-60ºC), basınç (100-300 bar) ve ekstraksiyon süresi (30-120 dk) parametrelerinin etkisi araştırılmıştır. Sonuç olarak; 1 gr biyokütle kullanılarak, 40°C, 300 bar koşullarında 120 dk süresince işletilen reaktörde, mg VSS başına %78 verimle PHB çıkarıldığı saptanmıştır.

Abstract

Since the raw material of plastics, which are widely used in every field today, is fossil hydrocarbons, they are not biodegradable in nature. They can be disposed in landfills or by incineration. Despite the importance given to recycling processes and awareness in society recently, it is necessary to find environmentally friendly alternatives for plastics that cannot be abandoned. Among them, biopolymers arouse interest because they can be obtained from renewable resources (wheat, whey, rice bran, etc.) or wastes (sludge, leachate, olive black water, etc.). As a biopolymer raw material, polyhydroxyalkanoates (PHA) stand out because they can be stored in the natural life processes of bacteria and are the subject of many studies. The process of obtaining PHAs; It is based on three basic stages: pre-increasing, production and extraction/purification. In this study, supercritical CO_2 extraction method was used as an alternative method to solvent extraction for the extraction of PHAs from biomass fed with yeast industry wastewater. Supercritical fluids are suitable for use in extraction because they have higher density than gases and lower viscosity than liquids. In supercritical extraction, on the other hand, CO_2 is preferred because of its low toxicity, easy adjustment of critical temperature and pressure, and low cost.

In this study, a setup consisting of a temperature-controlled extraction reactor and product collection sections, where CO_2 can be increased to the desired pressure, was used in the laboratory environment. The effects of biomass amount (1-3 gr), temperature (35-60°C), pressure (100-300 bar) and extraction time (30-120 min) parameters on the process yield were investigated. As a result; It was determined that PHB was extracted with a yield of 78% per mg of VSS in the reactor, which was operated at 40°C, 300 bar conditions for 120 minutes using 1 g of biomass.

Keywords: Biopolymer, Polyhydroxyalkanoat, supercritical CO_2 extraction.

1. GİRİŞ

Biyopolimerler 1925 yılında Bacillıs magateriumda poly (3-hydroxybutyrate) (PHB) formunda keşfedilmiştir ve günümüze kadar aerobik ve anaerobik koşullarda PHA üreten birçok gram negatif/pozitif bakteri tanımlanmıştır [1]. PHA'lar zincirdeki karbon sayılarına göre kısa, orta ve uzun (scl, mcl, lcl) zincirli olmak üzere 3 sınıfta incelenmektedir. 5 karbondan az olanlar scl, 5-14 karbonlular mcl, 14 karbondan fazla olanlar ise lcl olarak sınıflandırılmaktadır. 3-hidroksivalerat (PHV) ve 3-hidroksibütirat (PHB) scl-PHA'ya,3-hidroksidekanoat mcl-PHA'ya örnek verilebilir [1]. Mcl-PHA'lar ve scl-PHA'ların özellikleri birbiriden farklıdır. scl-PHA'lar kırılgan ve erime noktaları 173-180ºC arasında iken mcl-PHA'ların erime noktaları daha düşük 39-61ºC ve kristallikleri daha düşük olduğundan scl-PHA'lara göre daha esnektirler [2]**.**

PHA polimerleri termoplastiktir ve özellikleri kimyasal formlarına göre değişiklik gösterir. Genel özellikleri şöyle sıralanabilir **[3]**:Suda çözünmez ve hidrolik bozunmaya karşı dirençlidir; ultra viole direnci iyidir fakat asit-bazlara dayanıklı değildir; kloroform ve diğer klorlu hidrokarbonlarda çözünebilir; biyouyumlu olması sebebiyle medikal uygulamalara uygundur; toksik değildir; eridiğinde diğer polimerlere göre daha az yapışkandır.

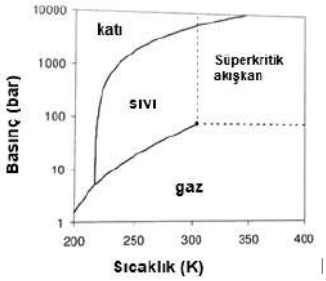
PHA'ların elde edilme prosesi üç temel aşamaya dayanmaktadır: ön artma, üretim ve ekstraksiyon/saflaştırma. Ön arıtma, PHA üretimi proseslerine başlanmadan önce kullanılacak karbon kaynağına bağlı olarak, genellikle atık maddeler kullanıldığında uygulanabilir. Bu sebeple atığı PHA üretimi için uygun koşullara getirmek için karbon konsantrasyonu, pH ve sıcaklık ayarlama, askıda katı madde giderimi gibi işlemler yapılabilir **[4]**.Üretim aşaması ise öncelikle kültürün ortama alıştırılması ve ortama alışan türlerin PHA depolaması evrelerinden oluşur. Bu aşamada genellikle bolluk/kıtlık prensibi uygulanır. Substrat varlığında mikroorganizmalar bu substratı depolama ya da üreme amaçları için kullanabilirler. Eğer ortam koşulları üreme için uygun değilse, örneğin; gerekli nütrientler ya da enzimler ortamda yoksa, substratı depolamaya başlarlar. Tüm substrat kaynakları bittiğinde ise depoladıklarını kullanmaya başlarlar.

PHA ekstraksiyonu için en yaygın kullanılan yöntem solvent ekstraksyonu yöntemidir. Solvent ekstraksiyonunda amaç önce hücre membranı geçirimliliğini değiştirmek sonra da PHA'yı çözmektir. Solvent ekstraksiyonunda ilk zamanlarda klorlu hidrokarbonlar (kloroform, 1,2 dikloetan, metilen klorür) ve bazı halkalı karbonatlar (propilen ve etilen karbonat) kullanılmıştır. Sonraki yıllarda halojenli solventlerin (kloroetan ve kloropropan) en iyi PHA geri kazanımını sağladığı görülmüştür **[5]**. Fakat bu proses solventin geri kazanılmaması durumunda oldukça pahalı bir işlemdir.

Solvent kullanımının çevreye zararları olması sebebiyle biyopolimer üretimi çalışmaları çoğunlukla laboratuvar ölçekli çalışmalarda sınırlı kalmaktadır. Solvent ekstraksiyonu dışında bir de yeni nesil, ekstraksyion süresini ve harcanan solvent miktarının azaltılmasını, yüksek ekstraksiyon verimi elde ederken enerji tüketiminin azaltılmasını sağlamak amacıyla kullanılmaya başlanan yeşil ekstraksiyon yöntemleri bulunmaktadır. Bunlara örnek olarak bu proje kapsamında da kullanılması planlanan süperkritik akışkan teknolojisi verilebilir.

1.1. Süperkritik CO_2 ekstraksiyonu

Akışkanlar kritik sıcaklık ve basınç koşulları altında süperkritik akışkanlar haline gelirler. Süperkritik akışkanlar bu şartlar altında sıvı-gaz özellikleri gösterirler ve karakteristik özellikleri değişir. Süperkritik ekstraksiyonda ise CO_2, düşük toksisitesi, kritik sıcaklık ve basıncının kolay ayarlanabilmesi ve düşük maliyet özellikleri sebebiyle tercih edilmektedir. Literatürde PHA'ların süperkritik CO_2 ile ekstraksiyonu ile ilgili makale az sayıdadır. Bunlardan biri, süperkritik CO_2 ile Ralstonia *eutropha* biyokütlesinden 40ºC sıcaklıkta, 200 atm basınç altında 100 dk uygulanmasıyla maksimum PHB geri kazanımı (%89) elde edilen çalışmadır **[6].** Diğeri ise PHA'nın saflaştırılması üzerine **Daly vd. (2018)** tarafından yapılan 50ºC ve 150 bar basınç altında %70 saflıkta PHA elde edilen, ilave bir miktar solvent kullanılarak ise bu değerin %93'e çıkarıldığı çalışmadır. *Şekil 1'de* saf CO_2'nin kritik sıcaklık ve basınç değerlerini gösteren faz diyagramı görülmektedir. CO_2'in kritik koşulları 31,1 C ve 71,9 bar olmasına rağmen PHB'nin CO_2'de çözünürlüğü *Tablo 2'de* görüldüğü gibi yüksek basınç ve sıcaklıklarda artmaktadır. Bu sebepledir ki yapılan çalışmalarda yüksek basınçlarda biyopolimer geri kazanımı artmaktadır.



Şekil 1**.Saf CO_2 için faz diyagramı **[8]

Bu çalışma kapsamında, maya endüstrisi atıksuyu ile beslenen biyokütleden, süperkritik CO_2 prosesi ile PHA ekstraksiyonu yapılmıştır.

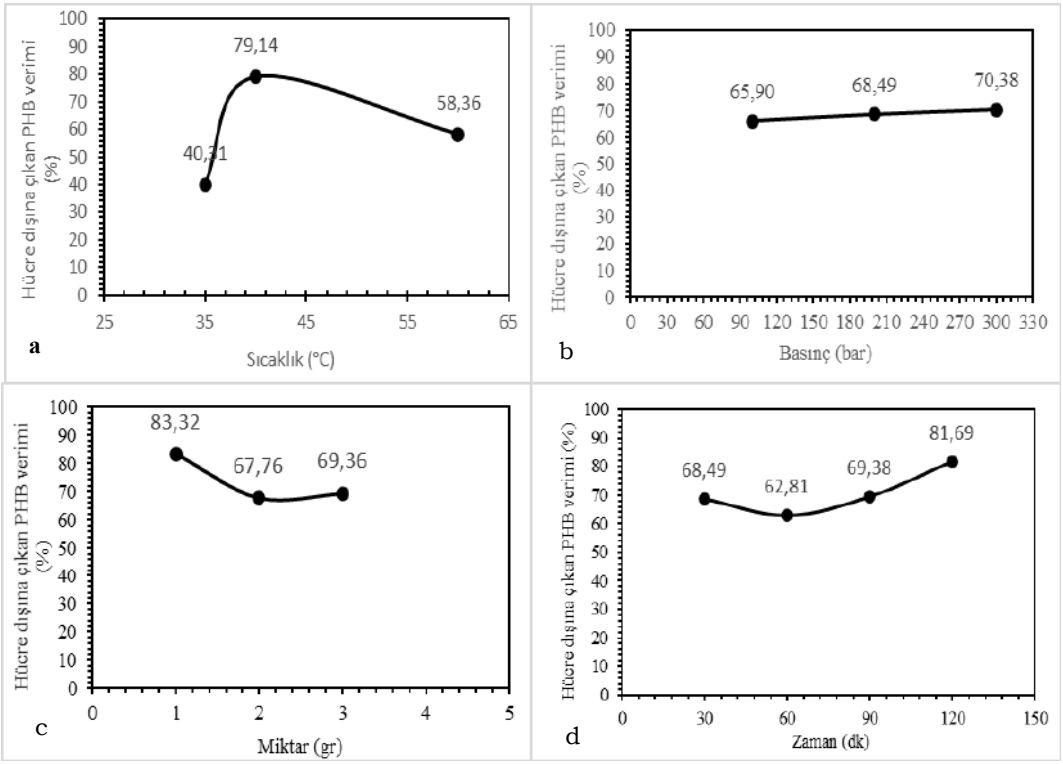
2. MATERYAL METOD

Biyokütlede bulunan PHB miktarı bir PHA türü olarak, GC-FID cihazı kullanılarak Tamang vd. (2019) [9] yöntemi ile belirlenmiştir. Bu yöntem, %3 (v/v) H_2SO_4 ve 20 mg benzoik asit içeren metanollü parçalama çözeltisi ile biyokütlenin parçalanması esasına dayanır.

Ekstraksiyon düzeneği paslanmaz çelik malzemeden 1 L hacminde, ısıtma ceketli bir ekstraktör, CO_2'i istenilen ekstraksiyon basıncına ayarlayabilmek için bir kompresör, ön ısıtıcı, ürünün toplanacağı bir hazne ve gaz akışı/basıncı ölçer ekipmanlarından oluşmaktadır. Ekstraksiyon prosesi kesikli sistem olarak işletilmiştir. Çalışmalar sonunda rektörden alınan biyokütle, parçalama yöntemi kullanılarak GC-FID'de analiz edilmiştir. Alınan sonuçlar biyokütlede başlangıçta bulunan PHB miktarından çıkarılarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar hücre dışına çıkan PHB verimi olarak verilmiştir. . Proses verimine, biyokütle miktarı (1-3 gr), sıcaklık (35-60ºC), basınç (100-300 bar) ve ekstraksiyon süresi (30-120 dk) parametrelerinin etkisi araştırılmıştır.

3. SONUÇ

Süperkritik CO_2 ile PHA extraksiyonu prosesinde sıcaklık etkisini incelemek amacıyla yapılan çalışma sonuçları Şekil 2a'da görülmektedir. Buna göre 40°C'de biyokütleden çıkarılabilen PHB miktarı mg VSS başına %79 olarak saptanmıştır. Şekil 2b'de ise basıncın etkisi görülmektedir. Buna göre basınç arttıkça yükselen verim 300 bar basınçta %70'e ulaşmaktadır. Biyokütle miktarı değiştirilerek yapılan çalışma sonuçları Şekil 2c'de verilmiştir. Biyokütle miktarı 1 gr'dan 3 gr'a arttırıldığında verimin %83'ten %69'a düştüğü görülmüştür. Proses süresinin artışı ise etkisini, verimde artış olarak göstermektedir (Şekil 2d). 120 dk sonunda %81 verim elde edilmiştir.



Şekil 2. a) Sıcaklığın sCO_2 proses verimi üzerine etkisi (P:200 bar, w:2 gr t:30 dk), b) Basıncın sCO_2 proses verimi üzerine etkisi (T:40°C, w:2 gr, t:30 dk) c) Biyokütle miktarının sCO_2 proses verimi üzerine etkisi (T:40°C, t:30 dk, P:300 bar) d) Sürenin sCO_2 proses verimi üzerine etkisi (T:40°C, w:2 gr, P:200 bar)

4. TARTIŞMA

Şekil 2a-Şekil 2d arasında verilen sonuçlar incelendiğinde basınç ve proses süresi arttıkça verimin arttığı, biyokütle artışı ile de azaldığı görülmüştür. Bu sebeple, yükselen verim sonuçlarının alındığı 40°C, 300 bar, 120 dk süresince 1 gr biyokütle kullanılarak, sCO_2 prosesi tekrar edilmiş ve biyokütleden %78 verimle PHB çıkarıldığı saptanmıştır. Bu sonuç literatürde Hejazi vd.(2003) [6] tarafından elde edilen %89 ve Darani vd.(2004) [10] tarafından elde edilen %81 verim sonuçları ile uyumlu görülmektedir.

5. KAYNAKÇA

[1] Raza, Z. A., Abid, S., Banat, I. M. 2018. "Polyhydroxyalkanoates: Characteristics, production, recent developments and applications. International Biodeterioration & Biodegradation", 126, 45-56.
[2] Mozejko-Ciesielska, J., Kiewisz, R. 2016. "Bacterial polyhydroxyalkanoates: Still fabulous?", Microbiological Research 192 (2016).
[3] Bugnicourt E., Cinelli P., Lazzeri A., Alvarez V. 2014. "Polyhydroxyalkanoate (PHA): Review of synthesis, characteristics, processing and potential applications in packaging", Express Polymer Letters Vol. 8, No.11, 791-808.
[4] Rodriguez-Perez, S., Serrano, A., Pantión, A. A., & Alonso-Fariñas, B. 2018. "Challenges of scaling-up PHA production from waste streams. A review", Journal of environmental management, 205, 215-230.
[5]Jacquel, N., Lo C.W., Wei Y.H.,Wu H.S., Wang S.S. 2008. "Isolation and purification of bacterial poly(3-hydroxyalkanoates)", Biochemical Engineering Journal 39 (2008) 15–27.
[6] Hejazi, P., Vasheghani-Farahani, E., Yamini, Y. 2003. "Supercritical fluid disruption of Ralstonia eutropha for poly(betahydroxybutyrate) recovery", Biotechnol. Prog. 19, 1519–1523.
[7] Sean Ryan Daly, Ali Fathi, Bahareh Bahramian, Iman Manavitehrani, Dale D. McClure,Peter Valtchev,Aaron Schindeler, Fariba Dehghani, John M. Kavanag, 2018. "A green process for the purification of biodegradable poly(β-hydroxybutyrate)", The Journal of Supercritical Fluids, 135 (85-90).
[8] Kemmere M. 2005. "Supercritical Carbon Dioxide for Sustainable Polymer Processes". Supercritical Carbon Dioxide in Polymer Reaction Engineering. Kemmere F.M. ve Meyer T. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH&Co.
[9] Tamang, P. et al. (2019) 'Comparative study of polyhydroxyalkanoates production from acidified and anaerobically treated brewery wastewater using enriched mixed microbial culture', Journal of Environmental Sciences (China). Elsevier B.V., 78, pp. 137–146. doi: 10.1016/j.jes.2018.09.001.
[10] Darani,K.K, et all, (2004) 'Effect of Process Variables on Supercritical Fluid Disruption of Ralstonia eutropha Cells for Poly(R-hydroxybutyrate) Recovery, Biotechnol. Prog., 20, 1757- 1765

6. TEŞEKKÜR

Bu çalışma 119Y027 nolu TÜBİTAK projesi ile desteklenmiştir.

DERİ SANAYİ ATIKSULARINDA AKTİF KARBON ADSORPSİYONU İLE KROM(VI) GİDERİMİ

Elçin GENÇ*

**İSTANBUL, elcingenc@gmail.com*

Özet

Bu çalışmada adsorpsiyon yöntemi ile krom(VI) giderimi incelenmiştir. Adsorban olarak iki farklı türde aktif karbon kullanılarak, bu aktif karbonların giderim verimleri karşılaştırılmıştır. Adsorbanlar, farklı dozlarda, farklı sürelerde ve farklı pH'larda atıksuya ilave edilmiş ve bu değişkenlerinde adsorpsiyon üzerine etkisi incelenmiştir. Çalışma sonucunda giderimin her iki adsorbanda yüksek olduğu pH=4'te, adsorban olarak granül aktif karbon ile yapılan adsorpsiyon sonucunda elde edilen giderim veriminin, hindistan cevizi aktif karbonuna göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Krom(VI) gideriminde 120 dk çalkalama sonrasında en yüksek adsorpsiyon verimine ulaşıldığından dönüm noktası 120 dk olarak tespit edilmiştir.

Abstract

In this study, chromium(VI) removal by adsorption method was investigated. The removal efficiencies of these activated carbons were compared by using two different types of activated carbon as adsorbent. Adsorbents were added to wastewater at different doses, at different times and at different pHs, and the effects of these variables on adsorption were investigated. As a result of the study, it was determined that the removal efficiency obtained as a result of adsorption with granular activated carbon as an adsorbent at pH=4, where the removal is high in both adsorbents, is higher than that of coconut activated carbon. In chromium(VI) removal, the turning point was determined as 120 minutes, since the highest adsorption efficiency was reached after 120 minutes of agitation.

Keywords: Krom(VI) Giderimi, Adsorban, Adsorpsiyon, Aktif Karbon

1. GİRİŞ

Bu çalışmada deri sanayi atıksularında adsorpsiyon yöntemi ile Cr^{+6}'nın giderimi amaçlanmıştır. Deneysel giderim çalışmalarının yapıldığı atıksu numunesi Türkiye´deki deri üretiminin önemli miktarını gerçekleştiren, ayakkabı, döşeme ve ayrıca kürk süet mamül deri üretiminde rol alan Karma Organize Sanayi Bölgesi'ne ait arıtma tesisi girişinden temin edilmiştir.

Atıksuda Cr^{+6} giderimi için Granül Aktif Karbon ve Hindistan Cevizi Aktif Karbon olmak üzere iki farklı aktif karbon türü, farkı dozlarda, farklı karıştırma sürelerinde ve farklı pH'larda atıksuya ilave edilmiş ve bu şekilde Cr^{+6} giderimi analiz edilmiştir. Çalışma kapsamında, farklı aktif karbon karakterizasyonunun, adsorpsiyon süresinin, kullanılan aktif karbon miktarının ve atıksuyun pH'sının giderime etkileri tespit edilmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Adsorpsiyon verilerinin analizleri Langmuir izotermine göre yapılmıştır. Langmuir İzotermi, katı yüzey üzerinde aktif adsorpsiyon bölgelerinde meydana gelen tutulumun fiziksel ya da kimyasal adsorpsiyon olup olmadığını, diğer izotermlere göre daha uygun açıklamaktadır. Langmuir izoterminde; adsorpsiyon, adsorban başlangıç konsantrasyonu ile birlikte lineer olarak artmaktadır. Maksimum doyma noktasında, yüzey tek tabaka ile kaplanmakta ve yüzeye adsorbe olmuş adsorban miktarı sabit kalmaktadır (Beyhan, 2003).

$$Ce\ (mg/l)\ /\ qe\ (mg/g)\ =\ 1/(Q0\ .KL)\ +\ (1/Q0\ (g))\ .Ce\ (mg/l)$$

Bu denklemlerde Ce (mg/l) değeri dengedeki çözeltideki Cr+6 konsantrasyonunu, qe (mg/g) değeri adsorbe olan Cr+6 miktarını, KL değeri Langmuir sabitini, Q0 (g) adsorbe edilebilecek olan maksimum Cr+6 miktarını vermektedir. Denklem Ce/qe ve Ce değerleri arasında bir doğru belirttiği için, doğrunun eğimi 1/Q0 değerini, doğrunun y ekseninde kestiği nokta ise 1/Q0.KL değerini vermektedir (Namasivayam vd.,2001).

Çalışmada kullanılan atıksu numunesine 0,5 g, 1 g ve 2 g aktif karbon ilave edilerek, 30 dk, 45 dk, 60 dk, 90 dk ve 120 dk sürelerinde, orbital çalkalayıcıda 150 rpm dönme hızında adsorpsiyon gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada kullanılan atıksu numunesinde Cr^{+6} tayini SM 3500-Cr:B metodu ile analiz edilmiştir. Cr^{+6} tespiti için örnek asit ile çözünürleştirilir, asit çözeltisinde difenil karbazid ile reaksiyon sonucu kalorimetrik olarak ölçülür. Kalorimetrik metot doğal ve arıtılmış sularda 100-1000 µg/L aralığındaki Cr konsatrasyonları için uygundur (Vitale vd., 2009).

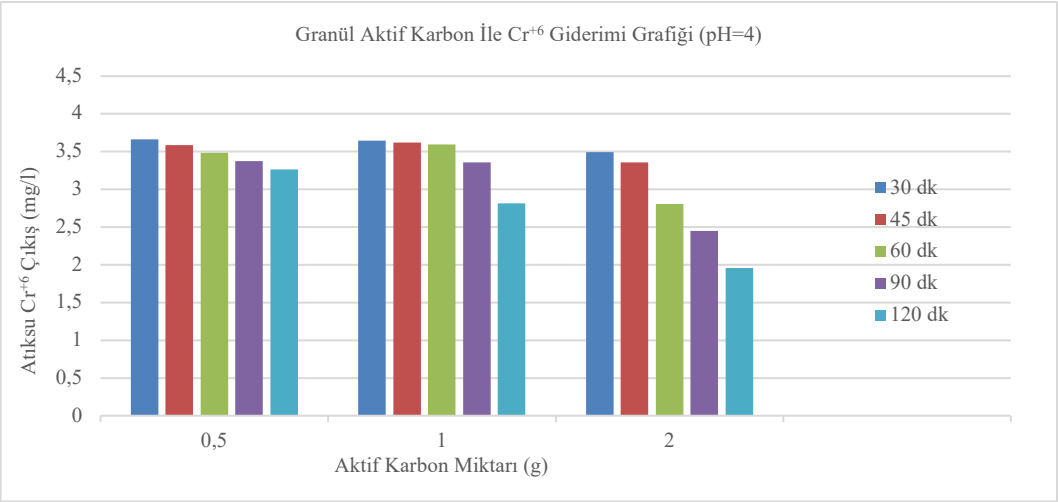
3. BULGULAR

Çalışmada kullanılan atıksu numunesinde adsorpsiyon süreci öncesi Cr^{+6} analizi yapılmış olup sonuç 4,582 mg/l olarak tespit edilmiştir.

Atıksuya 0,5 g, 1 g ve 2 g miktarlarında aktif karbon ilave edilerek çözeltiler hazırlanmıştır. 30 dk, 45 dk, 60 dk, 90 dk ve 120 dk sürelerinde orbital çalkalayıcıda adsorpsiyon gerçekleştirilmiştir. Adsorpsiyon sürecinin sonunda numunelerde krom(VI) tayini gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar aşağıda yer alan tablo ve şekillerde belirtilmiştir.

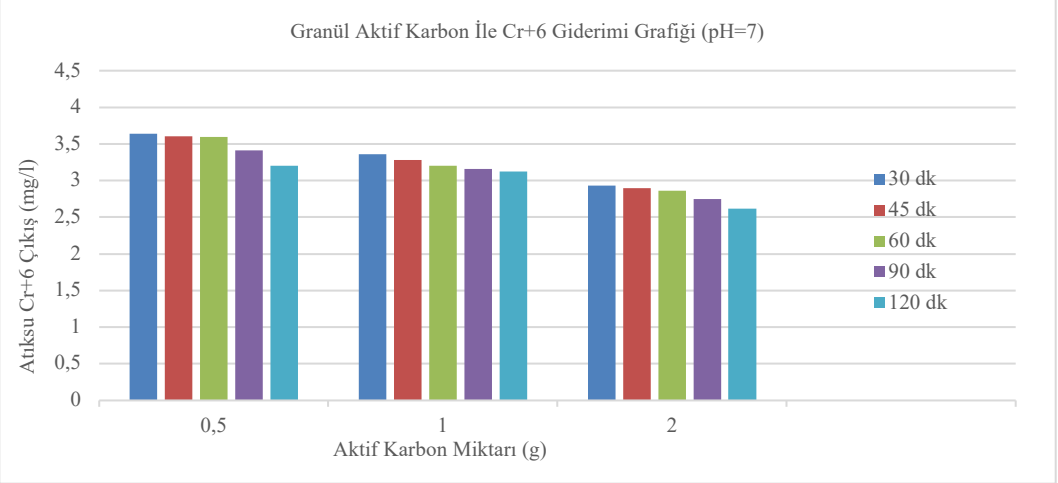
Tablo 1. Granül aktif karbon ile 30 dk, 45 dk, 60 dk, 90 dk ve 120 dk adsorpsiyon sonucunda elde edilen Cr^{+6} sonuçları

Cr^{+6} Sonucu 4,582 mg/L olan Atıksu Numunesinde Adsorpsiyon Sonuçları					
Aktif Karbon Miktarı (g)	**Adsorpsiyon Süresi (dk)**	**pH**	**Cr^{+6} Çıkış (mg/l)**	**pH**	**Cr^{+6} Çıkış (mg/l)**
0,5	30	7	3,638	4	3,666
	45	7	3,609	4	3,589
	60	7	3,597	4	3,482
	90	7	3,412	4	3,371
	120	7	3,204	4	3,266
1	30	7	3,364	4	3,642
	45	7	3,285	4	3,618
	60	7	3,200	4	3,591
	90	7	3,157	4	3,354
	120	7	3,128	4	2,811
2	30	7	2,934	4	3,490
	45	7	2,899	4	3,361
	60	7	2,861	4	2,804
	90	7	2,751	4	2,449
	120	7	2,620	4	1,58



Şekil 1. Granül aktif karbon ile Cr^{+6} giderimi (pH=4)

Şekil 1.'de pH=4 değerinde 0,5 g, 1 g ve 2 g aktif karbon konsantrasyonlarında 30 dk, 45 dk, 60 dk, 90 dk ve 120 dk adsorpsiyon sürelerinde çıkış Cr^{+6} konsantrasyonları gösterilmiştir. En yüksek adsorpsiyon verimleri 2 g aktif karbon kullanımında gerçekleşmiştir. Cr^{+6} adsorpsiyonunda pH=4'te optimum doz 2 g olarak tespit edilmiştir. Düşük adsorban oranında çıkış Cr^{+6} konsantrasyonları yükselmektedir. Adsorban miktarının yüksek olması verimde artışa yol açmıştır. Uzun süreli karıştırma süresinde aktif karbonda tutulan Cr^{+6} miktarının arttığı tespit edilmiştir.



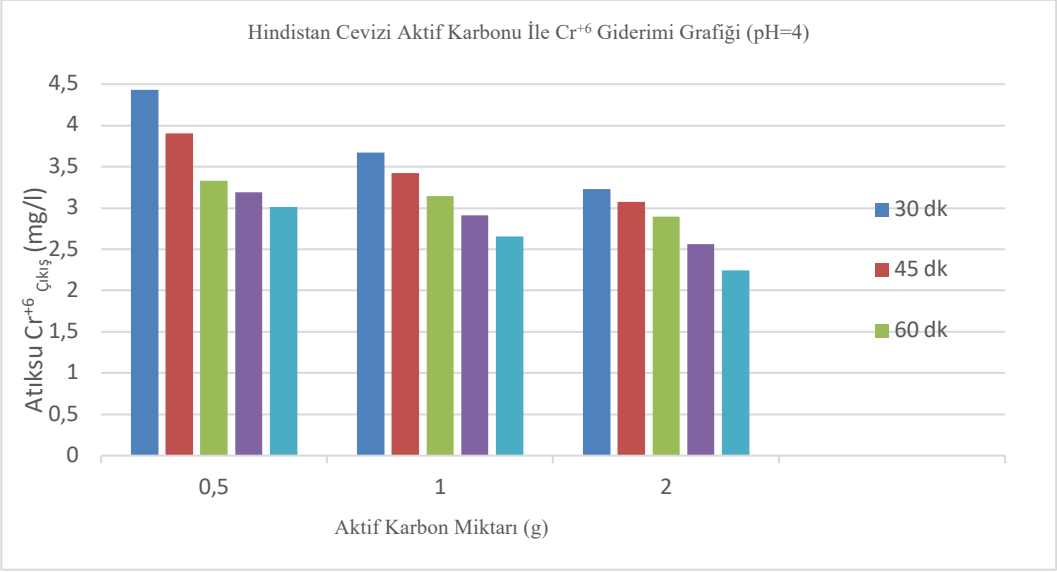
Şekil 2. Granül aktif karbon ile Cr^{+6} giderimi (pH=7)

Şekil 2.'de pH=7 değerinde 0,5 g, 1 g ve 2 g aktif karbon konsantrasyonlarında 30 dk, 45 dk, 60 dk, 90 dk ve 120 dk adsorpsiyon sürelerinde çıkış Cr^{+6} konsantrasyonları gösterilmiştir. En yüksek adsorpsiyon verimleri 2 g aktif karbon kullanımında gerçekleşmiştir. Cr^{+6} adsorpsiyonunda pH=4'te optimum doz 2 g olarak tespit edilmiştir. Düşük adsorban oranında çıkış Cr^{+6} konsantrasyonları yükselmektedir. Adsorban miktarının yüksek olması verimde artışa yol açmıştır. Uzun süreli karıştırma süresinde aktif karbonda tutulan Cr^{+6} miktarının arttığı tespit edilmiştir. Maksimum giderimin asidik pH'ta olduğu tespit edilmiştir.

Hindistan cevizi aktif karbonu ile yapılan adsorpsiyonla Cr^{+6} giderimi çalışmalarının sonuçları Tablo 2.' de yer almaktadır.

Tablo 2. Hindistan cevizi aktif karbon ile 30 dk, 45 dk, 60 dk, 90 dk ve 120 dk adsorpsiyon sonucunda elde edilen Cr^{+6} sonuçları

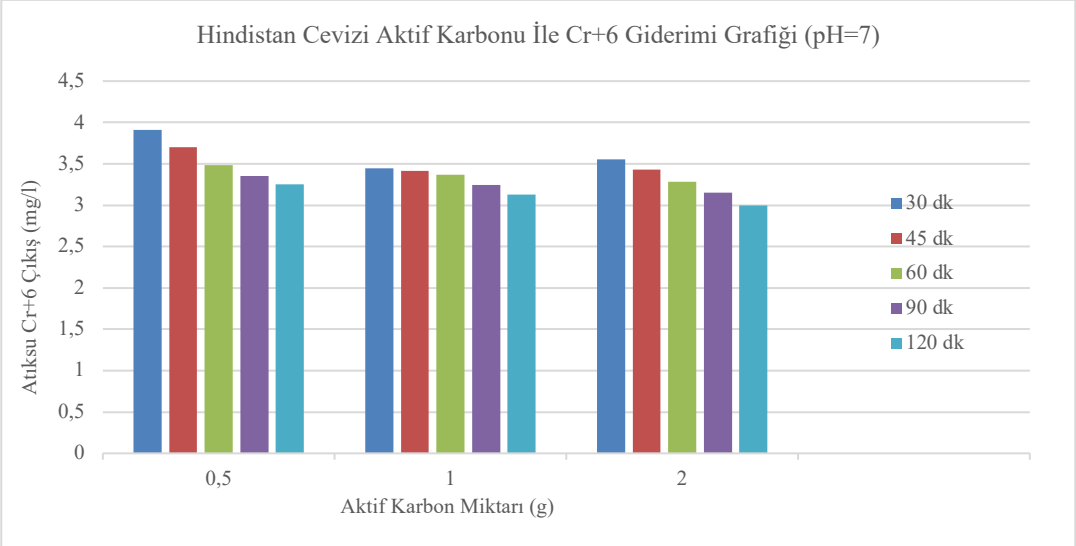
Cr^{+6} Sonucu 4,582 mg/L olan Atıksu Numunesinde					
Aktif Karbon Miktarı (g)	**Adsorpsiyon Süresi (dk)**	**pH**	**Cr^{+6} Çıkış (mg/l)**	**pH**	**Cr^{+6} Çıkış (mg/l)**
0,5	30	7	3,907	4	4,431
	45	7	3,701	4	3,903
	60	7	3,482	4	3,331
	90	7	3,354	4	3,189
	120	7	3,253	4	3,012
1	30	7	3,443	4	3,674
	45	7	3,418	4	3,424
	60	7	3,372	4	3,146
	90	7	3,247	4	2,915
	120	7	3,131	4	2,652
2	30	7	3,566	4	3,229
	45	7	3,427	4	3,077
	60	7	3,286	4	2,898
	90	7	3,154	4	2,561
	120	7	2,996	4	2,248



Şekil 3. Hindistan cevizi aktif karbonu ile Cr^{+6} giderimi (pH=4)

Şekil 3.'te pH=4 değerinde 0,5 g, 1 g ve 2 g aktif karbon konsantrasyonlarında 30 dk, 45 dk, 60 dk, 90 dk ve 120 dk adsorpsiyon sürelerinde çıkış Cr+6 konsantrasyonları gösterilmiştir. En yüksek adsorpsiyon verimleri 2 g aktif karbon kullanımında gerçekleşmiştir. Cr+6 adsorpsiyonunda pH=4'te optimum doz 2 g olarak tespit edilmiştir.

Düşük adsorban oranında çıkış Cr+6 konsantrasyonları yükselmektedir. Adsorban miktarının yüksek olması verimde artışa yol açmıştır. Uzun süreli karıştırma süresinde aktif karbonda tutulan Cr+6 miktarının arttığı tespit edilmiştir.

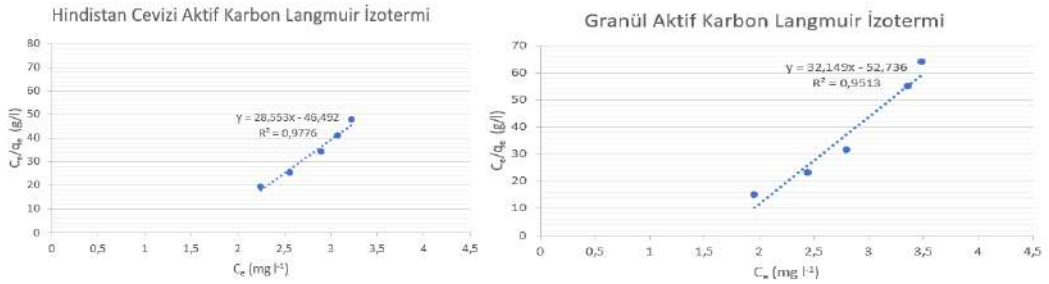


Şekil 4. Hindistan cevizi aktif karbonu ile Cr^{+6} giderimi (pH=7)

Şekil 4.'te pH=7 değerinde 0,5 g, 1 g ve 2 g aktif karbon konsantrasyonlarında 30 dk, 45 dk, 60 dk, 90 dk ve 120 dk adsorpsiyon sürelerinde çıkış Cr+6 konsantrasyonları gösterilmiştir. En yüksek adsorpsiyon verimleri 2 g aktif karbon kullanımında gerçekleşmiştir. Cr+6 adsorpsiyonunda pH=4'te optimum doz 2 g olarak tespit edilmiştir. Düşük adsorban oranında çıkış Cr+6 konsantrasyonları yükselmektedir. Adsorban miktarının yüksek olması verimde artışa yol açmıştır. Uzun süreli karıştırma süresinde aktif karbonda tutulan Cr+6 miktarının arttığı tespit edilmiştir. Maksimum giderimin asidik pH'ta olduğu tespit edilmiştir.

En yüksek adsorpsiyon verimleri 2 g aktif karbon kullanımında gerçekleşmiştir. Cr^{+6} adsorpsiyonunda pH=4'te optimum doz 2 g olarak tespit edilmiştir. Düşük adsorban oranında çıkış Cr^{+6} konsantrasyonları yükselmektedir. Adsorban miktarının yüksek olması verimde artışa yol açmıştır. Uzun süreli karıştırma süresinde aktif karbonda tutulan Cr^{+6} miktarının arttığı tespit edilmiştir. Maksimum giderimin asidik pH'ta olduğu tespit edilmiştir.

Giderimin her iki adsorbanda yüksek olduğu pH=4'te 2 g aktif karbon ile adsorpsiyon sonucunda elde edilen Cr^{+6} gideriminin matematiksel tanımlamasında Langmuir adsorpsiyon modeli kullanılmıştır. Şekil 5.'te izotermlere ait grafikler verilmiştir.



Şekil 5. Cr^{+6} gideriminde Langmuir izotermi grafiği

Cr^{+6} gideriminde Langmuir adsorpsiyon izoterm sabitleri hesaplanarak sonuçlar Tablo 3.' de verilmiştir.

Tablo 3. Cr^{+6} adsorpsiyonuna ait Langmuir katsayıları ve adsorpsiyon dağılım sabitleri

Adsorban	**Langmuir İzotermi**		
	Q_0 (mg g^{-1})	K_L (l mg^{-1})	R^2
Granül Aktif Karbon	0,02966	0,596659	0,9513
Hindistan Cevizi Aktif Karbon	0,035023	0,614149	0,9776

Cr^{+6} adsorpsiyonu iki adsorban için de Langmuir adsorpsiyon eşitliğine uymaktadır (R^2>0,95).

4. SONUÇ VE TARTIŞMA

pH=4 değerinde 0,5 g, 1 g ve 2 g granül aktif karbon konsantrasyonlarında 30 dk, 45 dk, 60 dk, 90 dk ve 120 dk adsorpsiyon sürelerinde çıkış Cr^{+6} konsantrasyonları incelenmiştir. En yüksek adsorpsiyon verimleri 2 g granül aktif karbon kullanımında gerçekleşmiştir. Cr^{+6} adsorpsiyonunda pH=4'te optimum doz 2 g olarak tespit edilmiştir. Düşük adsorban oranında çıkış Cr^{+6} konsantrasyonları yükselmektedir. Adsorban miktarının yüksek olması verimde artışa yol açmıştır. Uzun süreli karıştırma süresinde aktif karbonda tutulan Cr^{+6} miktarının arttığı tespit edilmiştir.

Çalışma, atıksu numunesinin pH değeri 7'ye getirilerek tekrarlanmıştır.

pH=7 değerinde 0,5 g, 1 g ve 2 g granül aktif karbon konsantrasyonlarında 30 dk, 45 dk, 60 dk, 90 dk ve 120 dk adsorpsiyon sürelerinde çıkış Cr^{+6} konsantrasyonları incelenmiştir. En yüksek adsorpsiyon verimleri 2 g granül aktif karbon kullanımında gerçekleşmiştir. Cr^{+6} adsorpsiyonunda pH=4' te optimum doz 2 g olarak tespit edilmiştir. Düşük adsorban oranında çıkış sülfat konsantrasyonları yükselmektedir. Adsorban miktarının yüksek olması verimde artışa yol açmıştır. Uzun süreli karıştırma süresinde aktif karbonda tutulan Cr^{+6} miktarının arttığı tespit edilmiştir. Maksimum giderimin asidik pH' ta olduğu tespit edilmiştir.

pH=4 değerinde 0,5 g, 1 g ve 2 g hindistan cevizi aktif karbon konsantrasyonlarında 30 dk, 45 dk, 60 dk, 90 dk ve 120 dk adsorpsiyon sürelerinde çıkış Cr^{+6} konsantrasyonları incelenmiştir. En yüksek adsorpsiyon verimleri 2 g hindistan cevizi aktif karbonu kullanımında gerçekleşmiştir. Cr^{+6} adsorpsiyonunda pH=4'te optimum doz 2 g olarak tespit edilmiştir. Düşük adsorban oranında çıkış Cr^{+6} konsantrasyonları yükselmektedir. Adsorban miktarının yüksek olması verimde artışa yol açmıştır. Uzun süreli karıştırma süresinde aktif karbonda tutulan Cr^{+6} miktarının arttığı tespit edilmiştir.

Çalışma, atıksu numunesinin pH değeri 7'ye getirilerek tekrarlanmıştır.

pH=7 değerinde 0,5 g, 1 g ve 2 g hindistan cevizi aktif karbon konsantrasyonlarında 30 dk, 45 dk, 60 dk, 90 dk ve 120 dk adsorpsiyon sürelerinde çıkış Cr^{+6} konsantrasyonları incelenmiştir. En yüksek adsorpsiyon verimleri 2 g hindistan cevizi aktif karbonu kullanımında gerçekleşmiştir. Cr^{+6} adsorpsiyonunda pH=4'te optimum doz 2 g olarak tespit edilmiştir. Düşük adsorban oranında çıkış Cr^{+6} konsantrasyonları yükselmektedir. Adsorban miktarının yüksek olması verimde artışa yol açmıştır. Uzun süreli karıştırma süresinde aktif karbonda tutulan Cr^{+6} miktarının arttığı tespit edilmiştir. Maksimum giderimin asidik pH'ta olduğu tespit edilmiştir.

5. KAYNAKÇA

[1]. Abu El-Shar, W.Y., Gharaibeh, S.H., Mahmoud, S. (1999). Removal of dyes from aqueous solutions using low- cost sorbents made of solid residues from olive-mill wastes and solid residues from refined Jordanian oil shale. Environ. Geol. 39 (10), 1090–1098.

[2]. Aksu, Z. (2005). Application of biosorption for the removal of organic pollutants: a review, Process Biochemistry, 40 (3-4), 997-1026.

[3]. Beyhan, M. (2003). Atık çamurlar ve doğal malzemeler ile sulardan florür iyonu gideriminin araştırılması (Doktora Tezi), Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

[4]. Choy, K.K.H., Mckay, G., Porter, J.F. (1999). Sorption of acid dyes from effluents using activated carbon, Resour. Conserv. Recy., 27, 57-71.

[5]. Çırakoğlu S. (2008) . Zn+2'nin Valeks Tanin Reçinesiyle Adsorpsiyonu Ve Geri Kazanılması, (Yüksek Lisans Tezi), Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

[6]. Erdem, E., Çölgeçen, G., Donat R. (2005). The removal of textile dyes by diatomite earth. Journal of Colloid and Interface Science, 282, 314-319.
[7]. Genceli Ateş, E. (1997). Deri Endüstrisi Atıksularının Biyolojik Arıtılabilirliği ve Kinetik Karakterizasyonu, (Doktora Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
[8]. Kalender, A. (1981). Deri sanayi sıvı atıklarının aktif çamur metodu ile tasfiyesinin kinetiği üzerine bir araştırma (Doktora Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
[9]. Karabay, S. (2008). Waste Management İn Leather Industry, M.Sc.Thesis, Dokuz Eylül Üniversitesi.
[10]. Karakaş M. (2019). Sulu Çözeltilerden Adsorpsiyon Yöntemi İle Cr(VI) Giderimi, (Yüksek Lisans Tezi), Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
[11]. Langmuir, I. (1918). The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum, Journal of the American Chemical Society, 40, 1361–1403.
[12]. Ludvik, J. (2000). The Scope For Decreasing Pollution Load İn Leather Processing, Unıdo.
[13]. Namasivayam, C., Sangeetha D. (2007). Application of coconut coir pith for the removal of sulfate and other anions from water. WOS.
[14]. Namasivayam, C., Radhika, R., Suba, S., 2001. Uptake of dyes by a promising locally available agricultural solid waste: coir pith. Waste Manage. 21, 381–387.
[15]. Vitale, R.J., Gonter, E., Oostdyk, T. S., Condike, B. J., Anderson, D. K., Bright, A., Cahill, R. A., Clary, A. F., Gonter, C. E., Grohse, P. G., Hillman, D. C., Holler, A.C., Hughes, A., Jennett, J. C., Minear, R. A., Moore, M. O., Oelker, G. L., Perera, S. K., Poff, J. G., Skousen, J. G., vd. 2009. 3500-Cr Chromium – B Colorimetric Method. Approved by Standard Methods Committee, Editorial revisions, 2011 and 2020.

6. TEŞEKKÜR

Çalışmamın her aşamasında bilgi ve desteğiyle yanımda olan, tecrübelerini aktaran, Doç. Dr. Ali Rıza Dinçer' e ve çalışmalarımın gerçekleştirilmesinde gerekli laboratuvar imkânlarının ve ekipmanlarının sağlanmasında yardımcı olan Çevre Endüstriyel Analiz Laboratuvarlarına teşekkürlerimi sunarım.

TELON RED A2R BOYARMADDESİNİN UV-LIGHT - ELEKTROOKSİDASYON SİSTEMİNDE GİDERİMİNE ELEKTROLİT TÜRÜNÜN ETKİSİ

Ayşe Nur CANBAZ[1,*], Ahmet ÖZTÜRK[1], Orhan Taner CAN[1]

[1]*Bursa Technical University, Department of Environmental Engineering, 16310 Bursa, Turkey*

aysenurcanbaz96@gmail.com , ozturkahmet5461@gmail.com , orhan.can@btu.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, Telon Red A2R boya çözeltisinden UV-light – elektrooksidasyon ardışık reaktör sisteminde renk giderimine elektrolit türünün etkisi araştırıldı. Bu amaçla üç farklı elektrolit (NaCl, KCl ve $NaNO_3$) kullanıldı. Ayrıca sistemde UV-light ve elektrooksidasyon reaktörlerinin her birinin giderme verimindeki etkisi incelendi. Çalışmada elektrolitlerin proseste giderme verimlerine katkısını belirlemek amacıyla sadece UV-light reaktörü ile, sadece elektrooksidasyon reaktörü ile ve her iki reaktörün ardışık çalıştırıldığı durumdaki renk giderme verimleri ölçüldü. Çalışmada aynı zamanda uygulanan akımın giderme verimi üzerine etkisi de incelendi. Sistemde kullanılacak çözelti 50 mg/L boya ve 50 mg/L elektrolit konsantrastonu içerecek şekilde hazırlandı. Sadece UV-light reaktörü kullanılan deneylerde 40 dakikalık çalışma süresi sonunda NaCl için %12.5, KCl için %12.3 ve $NaNO_3$ için %26.1 renk giderme verimi elde edildi. Sadece elektrooksidasyon reaktörü kullanılan deneylerde 40 dakikalık çalışma süresi sonunda NaCl için %35.5, KCl için %28.9 ve $NaNO_3$ için %8.5 renk giderme verimi elde edildi. Her iki reaktörün ardışık çalıştırıldığı deneylerde 40 dakikalık çalışma süresi sonunda NaCl için %40.2, KCl için %30.9 ve $NaNO_3$ için %29.3 renk giderme verimi elde edildi. Çalışmanın sonunda NaCl elektrolitin elektrooksidasyon prosesinde en iyi verimin elde edilmesini sağlarken $NaNO_3$ UV-light için en iyi verimin elde edilmesini sağladığı görüldü. Bir başka sonuç ise ardışık reaktör sisteminin giderme veriminde her iki rektörün ayrı ayrı çalıştırılmasından elde edilen verimlerin toplamı kadar bir etki göstermemesidir.

Abstract

This study investigated the effect of electrolyte type on color removal from Telon Red A2R dye solution in a UV-light – electrooxidation sequential reactor system. For this purpose, three different electrolytes (NaCl, KCl, and $NaNO_3$) were used. In addition, the effect of each of the UV-light and electrooxidation reactors on the removal efficiency of the system was examined. In the study, to determine the contribution of electrolytes to the removal efficiency of the process, the color removal efficiencies of only the UV-light reactor, only the electrooxidation reactor, and when both reactors are operated sequentially were measured. The effect of the applied current on the removal efficiency was also investigated in the study. The solution to be used in the system was prepared to contain 50 mg/L dye and 50 mg/L electrolyte concentration. In experiments using only the UV-light reactor, 12.5% color removal efficiency for NaCl, 12.3% for KCl, and 26.1% for $NaNO_3$ were obtained after 40 minutes of operation. In the experiments using only the electrooxidation reactor, 35.5% for NaCl, 28.9% for KCl, and 8.5% for $NaNO_3$ decolorization efficiency were obtained after 40 minutes of working time. In experiments in which both reactors were operated sequentially, after 40 minutes of operation, 40.2% color removal efficiency for NaCl, 30.9% for KCl, and 29.3% for $NaNO_3$ were obtained. At the end of the study, it was seen that while NaCl provided the best efficiency in the electrooxidation process of the electrolyte, $NaNO_3$ provided the best efficiency for UV-light. Another result is that the sequential reactor system does not have as much effect on the removal efficiency as the sum of the efficiencies obtained from operating both rectors separately.

Keywords: Telon Red A2R, dye, UV-Light, electrooxidation, decolorization

1. GİRİŞ

Alıcı su ortamları için toksik olabilecek boyarmaddeler elektromanyetik spektrumun 400 ile 700 nm dalga boyu aralığındaki ışığı absorpladıklarından renkli görünürler [1]. Boyarmaddeler tekstil endüstrisinde kumaşları renklendirmek için kullanılan organik bileşiklerdir. Geçmişte bitkisel veya hayvansal kaynaklardan elde edilen boyar maddeler günümüzde sentetik olarak üretilebilmektedir [2]. Elekrokimyasal atıksu arıtımı özellikle tekstil endüstrisi atıksularında renk gideriminde etkili bir yöntemdir [3]–[6]. Elektrokoagülasyon ve elektrooksidasyon prosesleri sulardan renk gideriminde kullanılan etkili elektrokimyasal arıtım prosesleridir.

Elektrooksidasyon, kararlı ve düşük değerlikli metal iyonların reaktif ve yüksek değerlikli duruma geçmesini sağlayan bir prosestir. Bu proseste arıtım verimi elektrot kompozisyonu, elektrolit, arıtma süresi gibi değişkenlere bağlıdır. Doğrudan ve dolaylı oksidasyon olarak iki başlıkta incelenebilir. Doğrudan oksidasyonda hidroksil radikali organik bileşiklerle anotta reaksiyona girer ve organik bileşikler yakılarak oksijen ile oksidasyon ürünleri oluşur. Dolaylı oksidasyonda güçlü bir oksitleyici ajan, anot yüzeyinde oluşturulup kirletici bileşikleri parçalar. UV Light ile arıtım, yüksek hızla hareket eden bir enerji biçimi olan ışıktan yararlanır. Işının elektriksel alanı ile maddenin bağ elektronları etkileşime girer. Foton denilen enerji partikülleri elektromanyetik ışıma yaratır. Bu fotonlar bir madde tarafından absorbe edilirse enerjileri maddeye aktarılır. Böylece maddedeki analit yüksek enerji seviyesine geçer [7]. Elektrooksidasyon prosesinin verimini etkileyen pek çok parameter mevcuttur. Özellikle işletme parametreleri olan, elektrot türü, akım yoğunluğu, çalışma süresi ve pH nın giderme verimi üzerine etkisi büyüktür. Bunların dışında iletkenlik önemli bir diğer parametredir.

İster sonradan eklensin ister doğal olarak suda bulunsun, elektrokimyasal işlemlerde, elektron transferi için çözeltide belirli bir miktarda iletkenlik gereklidir. Bu nedenle prosese en uygun olanı seçebilmek için elektrolitlerin proses üzerindeki etkisinin bilinmesi gerekir. Destek elektrolitlerin varlığının ve konsantrasyonlarının proses performansı üzerindeki etkisini araştıran çalışmalar mevcuttur [8].

Bu çalışmada, Telon Red A2R boya çözeltisinden UV-light – elektrooksidasyon ardışık reaktör sisteminde renk giderimine elektrolit türünün etkisi araştırıldı. Bu amaçla üç farklı elektrolit (NaCl, KCl ve $NaNO_3$) kullanıldı. Ayrıca sistemde UV-light ve elektrooksidasyon reaktörlerinin her birinin giderme verimindeki etkisi incelendi. Çalışmada elektrolitlerin proseste giderme verimlerine katkısını belirlemek amacıyla sadece UV-light reaktörü ile, sadece elektrooksidasyon reaktörü ile ve her iki reaktörün ardışık çalıştırıldığı durumdaki renk giderme verimleri ölçüldü. Çalışmada aynı zamanda uygulanan akımın giderme verimi üzerine etkisi de incelendi.

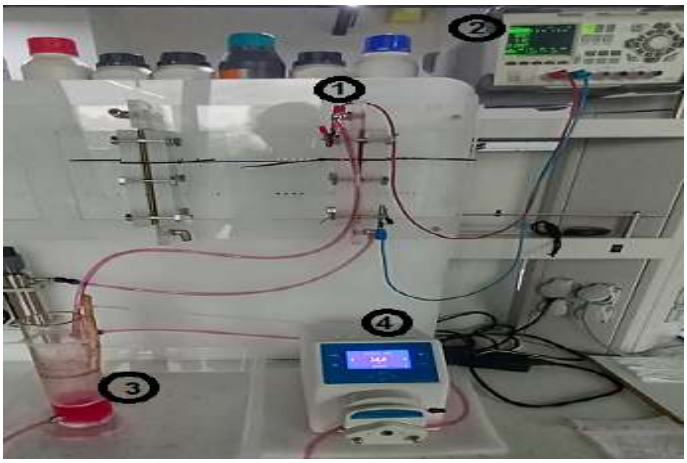
2. MATERYAL METOD

2.1. Materyaller

Bu çalışmada, genellikle halı boyamakta kullanılan DyStar marka Telon Red A2R boyar maddesinin sulu çözeltileri kullanıldı. Elektrolit olarak analitik saflıkta NaCl (Sodyum klorür), KCl (Potasyum klorür) ve $NaNO_3$ (Sodyum nitrat) kullanıldı.

2.2 Deney Düzeneği

Elektrooksidasyon deneyleri Şekil 1' de gösterilen deney düzeneğinde gerçekleştirildi. Deneylerde 50 cm^2 anot yüzeyine sahip anot ve aynı yüzey alanına sahip katot elektrotta sahip 30 mL hücre sıvı hacimli Flow-Through (akış geçişli) reaktörler kullanıldı. Reaktörlerde anot olarak RuO_2-IrO_2, katot olarak paslanmaz çelik elektrotlar kullanıldı. Sistemde güç kaynağı olarak Rigol marka DP832 model 0-3 A ve 0-30 V çıkış aralığında ayarlanabilen DC güç kaynağı kullanıldı. Çözeltinin sirkülasyonu için ise Bimetron marka sürekli akış PSA model peristaltik pompa kullanıldı.

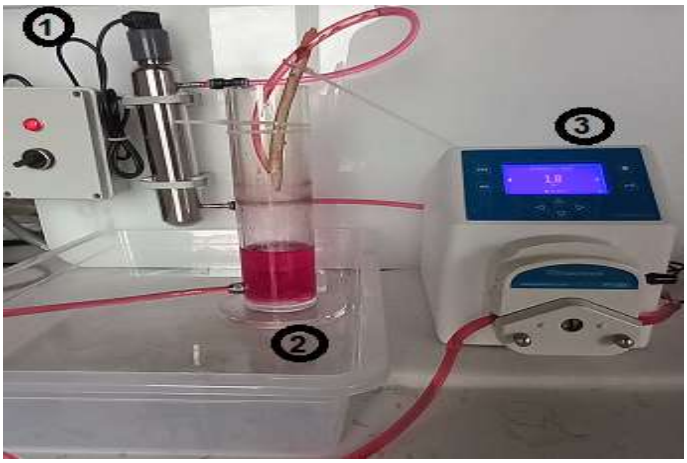


Şekil 1: Elektrooksidasyon deney düzeneği

Elektrooksidayon deney düzeneğinin elemanları;

1. RuO_2-IrO_2 Reaktörü
2. DC güç kaynağı
3. Boyarmadde çözeltisi
4. Peristaltik pompa

UV Light deneylerinde 12W ve 254 nm dalga boyunda lambaya sahip 320 mL sıvı hacimli UV reaktör kullanıldı.



Şekil 2: UV Light deney düzeneği

UV Light deney düzeneğinin elemanları;

1. UV Light Reaktörü
2. Boyarmadde çözeltisi
3. Peristaltik pompa

2.3 Deneysel İşlem

Boya çözeltisi konsantrasyon deneyleri dışındaki deneylerde, 50 mg/L boyarmadde konsantrasyonuna sahip boya çözeltisi kullanıldı. Çözeltiye elektrolit olarak 100 mg/L NaCl, KCl veya $NaNO_3$ ilave edildi. Deney süresi boyunca 5'er dakika aralıklarla alınan numuneler UV/Vis spektrofotometresinde boyanın maksimum pik verdiği dalga boyunda analiz edildi. Ardışık olarak yerleştirilen reaktörler 800 ml/dak lık çözelti sirkülasyon debisi ile beslendi. Her deneyde 500 mL çözelti kullanıldı.

2.4 Analitik Yöntem

Thermo Scientific Evolution 201 UV-Visible Spectrophotometer cihazı kullanılarak absorbans değerleri ölçülmüştür. Giderme verimi aşağıdaki eşitlik yardımı ile belirlenmiştir.

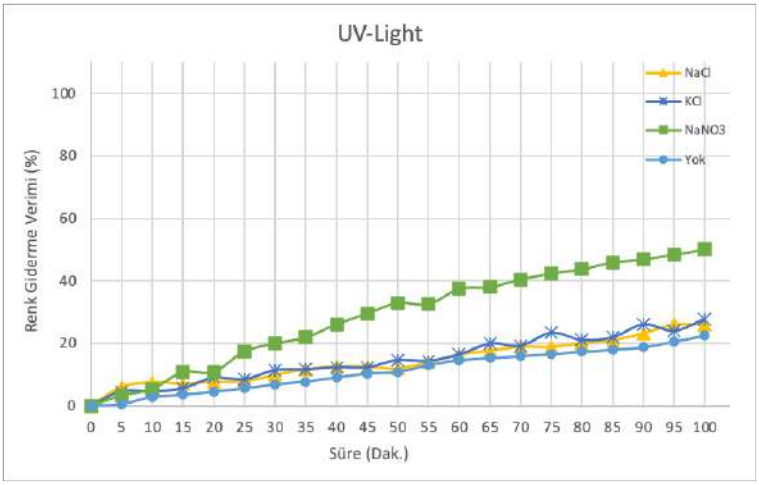
$$Giderim(\%) = \frac{Abs_0 - Abs_t}{Abs_0} * 100$$

Burada, Abs_0: boyar madde başlangıç absorbansı, Abs_t: t anındaki boyar madde absorbansı.

3. SONUÇ

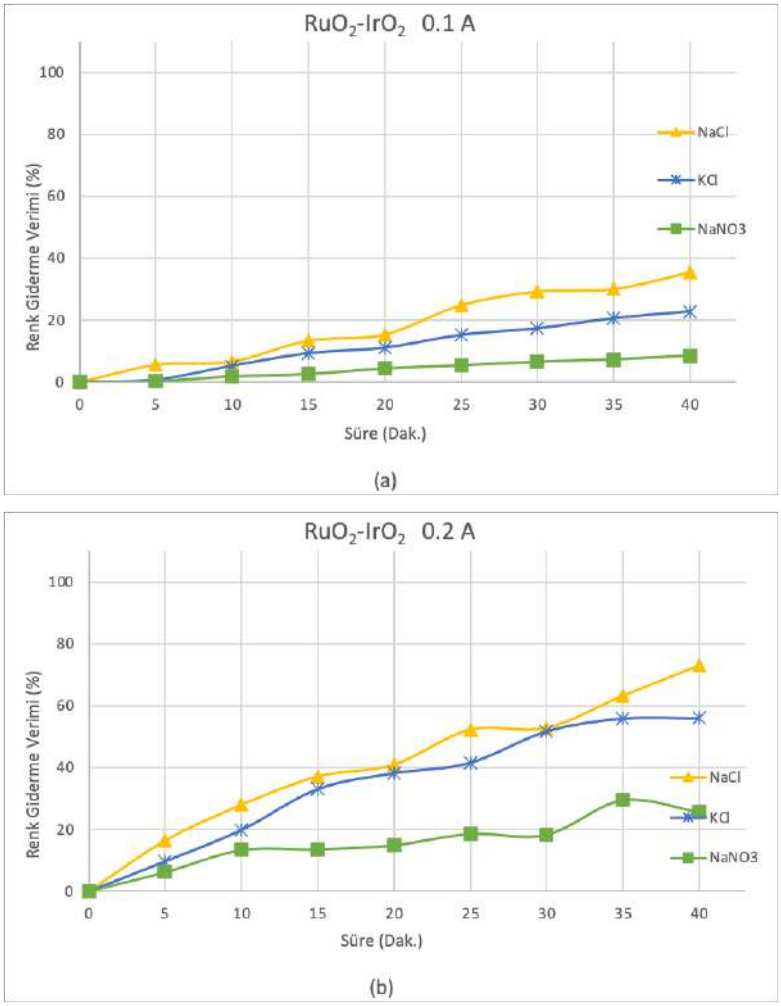
Telon Red A2R boyarmaddesinin UV-Light - Elektrooksidasyon sisteminde giderimine elektrolit türünün etkisi incelemek amacıyla hazırlanan çözelti, sırasıyla UV-Light sisteminde, elektrooksidasyon sisteminde ve son olarak UV-Light – Elektrooksidasyon ardışık sisteminde arıtılmaya çalışıldı.

UV-Light sisteminde (Şekil 3) elektrolit ilavesinin renk giderme üzerine etkisi incelendiğinde $NaNO_3$ ın hiç elektrolit kullanılmayan duruma göre giderme verimini 2 kattan fazla arttırdığı görülmektedir. Ancak bu etki diğer iki elektrolit, NaCl ve KCl için çok zayıf kalmaktadır. Elektrolit kullanılmadığı durumda renk giderme verimi 100 dakikalık deney süresi sonunda %22.5 olarak gerçekleşirken, elektrolit kullanılan durumda sırasıyla $NaNO_3$ için %50.1, NaCl için %26 ve KCl için %27.9 olarak gerçekleşti.



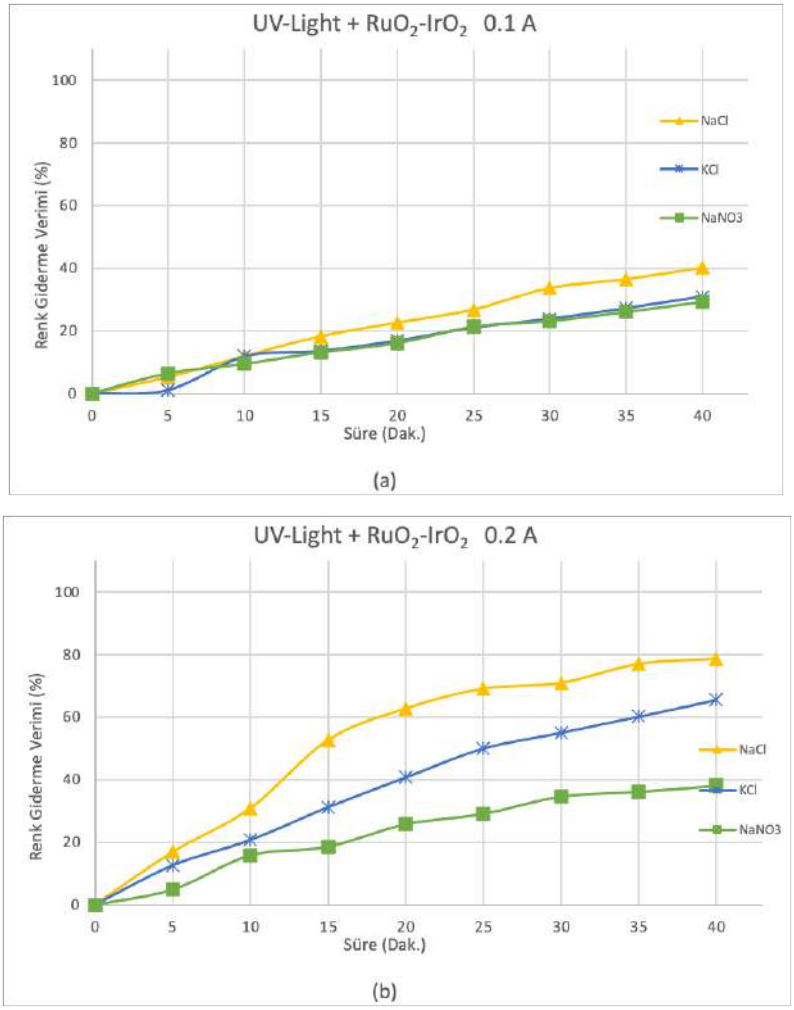
Şekil 3. UV Light Sisteminde Elektrolit Türünün Renk Giderme Verimine Etkisi (Deney Şartları: Boyarmadde konsantrasyonu C_0: 50 mg/L, Elektrolit konsantrasyonu 100 mg/L, Çözelti sirkülasyon debisi: 800 mL/dak, Çözelti hacmi: 500 mL)

Elektrooksidasyon sisteminde (Şekil 4) elektrolit ilavesinin renk giderme üzerine etkisi 0.1 amper (Şekil 4 a) ve 0.2 amper (Şekil 4 b) için araştırıldı. Elektrooksidasyon için elektrolit ilavesinin renk giderme verimine etkisi incelendiğinde 0.1 amper akım için 40 dakikalık deney süresi sonunda sırasıyla, NaCl için %35.5, KCl için %22.9 ve $NaNO_3$ için %8.5, olarak gerçekleşti. 0.2 amper akım için 40 dakikalık deney süresi sonunda sırasıyla, NaCl için %73.1, KCl için %56 ve $NaNO_3$ için %25.8, olarak gerçekleşti. Sonuçlardan görüleceği üzere elektrooksidasyonda en iyi renk giderme verimi NaCl elektrolitin kullanıldığı durumda gerçekleşti. KCl en iyi ikinci elektrolit olurken, $NaNO_3$ klor ihtiva eden her iki elektrolitten çok daha düşük renk gidrme verimi gerçekleştirdi.



Şekil 4. Elektrooksidasyon Sisteminde Elektrolit Türünün Renk Giderme Verimine Etkisi (a) 0.1 Amper (b) 0.2 Amper (Deney Şartları: Boyarmadde konsantrasyonu C_0: 50 mg/L, Elektrolit konsantrasyonu 100 mg/L, Çözelti sirkülasyon debisi: 800 mL/dak, Çözelti hacmi: 500 mL)

UV-Light – Elektrooksidasyon sisteminde (Şekil 5) elektrolit ilavesinin renk giderme üzerine etkisi UV varlığında 0.1 amper (Şekil 4 a) ve 0.2 amper (Şekil 4 b) için araştırıldı. UV-Light – Elektrooksidasyon için elektrolit ilavesinin renk giderme verimine etkisi incelendiğinde 0.1 amper akım için 40 dakikalık deney süresi sonunda sırasıyla, NaCl için %40.2, KCl için %30.9 ve $NaNO_3$ için %29.3, olarak gerçekleşti. 0.2 amper akım için 40 dakikalık deney süresi sonunda sırasıyla, NaCl için %78.7, KCl için %65.6 ve $NaNO_3$ için %38.1, olarak gerçekleşti. Sonuçlardan görüleceği üzere UV-Light – Elektrooksidasyon ardışık sistemi için en iyi renk giderme verimi NaCl elektrolitin kullanıldığı durumda gerçekleşti. KCl en iyi ikinci elektrolit olurken, $NaNO_3$ klor ihtiva eden her iki elektrolitten çok daha düşük renk giderme verimi gerçekleştirdi.



Şekil 5. Elektrooksidasyon- UV Light Ardışık Sisteminde Elektrolit Türünün Renk Giderme Verimine Etkisi (a) 0.1 Amper (b) 0.2 Amper (Deney Şartları: Boyarmadde konsantrasyonu C_0: 50 mg/L, Elektrolit konsantrasyonu 100 mg/L, Çözelti sirkülasyon debisi: 800 mL/dak, Çözelti hacmi: 500 mL, Akım: 0.1 A)

4. TARTIŞMA

Yapılan çalışmada UV-light reaktörü kullanılan deneylerde 40 dakikalık çalışma süresi sonunda NaCl için %12.5, KCl için %12.3 ve NaNO3 için %26.1 renk giderme verimi elde edildi. Elektrooksidasyon reaktörü kullanılan deneylerde 40 dakikalık çalışma süresi sonunda NaCl için %35.5, KCl için %28.9 ve $NaNO_3$ için %8.5 renk giderme verimi elde edildi. Her iki reaktörün ardışık çalıştırıldığı deneylerde ise 40 dakikalık çalışma süresi sonunda NaCl için %40.2, KCl için %30.9 ve $NaNO_3$ için %29.3 renk giderme verimi elde edildi. Çalışmanın sonunda NaCl elektrolitin elektrooksidasyon prosesinde en iyi verimin elde edilmesini sağlarken $NaNO_3$ ın UV-light için en iyi verimin elde edilmesini sağladığı görüldü. Bir başka sonuç ise ardışık reaktör sisteminin giderme veriminde her iki rektörün ayrı ayrı çalıştırılmasından elde edilen verimlerin toplamı kadar bir etki göstermemesidir.

KAYNAKÇA

[1] H. Langhals, “Color Chemistry. Synthesis, Properties and Applications of Organic Dyes and Pigments. 3rd revised edition. By Heinrich Zollinger.,” *Angewandte Chemie International Edition*, vol. 43, no. 40, pp. 5291–5292, Oct. 2004.

[2] EPA, *Profile of the textile industry*. Washington DC, USA, 1997.

[3] M. Kobya, O. T. Can, and M. Bayramoglu, “Treatment of textile wastewaters by electrocoagulation using iron and aluminum electrodes,” *Journal of Hazardous Materials*, vol. 100, no. 1–3, 2003.

[4] O. T. Can, M. Bayramoglu, and M. Kobya, “Decolorization of reactive dye solutions by electrocoagulation using aluminum electrodes,” *Industrial and Engineering Chemistry Research*, vol. 42, no. 14, 2003.

[5] N. Daneshvar, H. Ashassi-Sorkhabi, and A. Tizpar, “Decolorization of orange II by electrocoagulation method,” *Separation and Purification Technology*, vol. 31, no. 2, pp. 153–162, 2003.

[6] P. Kaur, J. P. Kushwaha, and V. K. Sangal, “Evaluation and disposability study of actual textile wastewater treatment by electro-oxidation method using Ti/RuO2 anode,” *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 111, pp. 13–22, 2017.

[7] R. Keyikoglu, “Boyar maddelerin molekül ağırlığının elektrooksidasyon ve elektrokoagülasyon proseslerinde renk giderme verimine etkisi,” Bursa Teknik Üniversitesi, 2018.

[8] R. Keyikoglu, O. T. Can, A. Aygun, and A. Tek, “Comparison of the effects of various supporting electrolytes on the treatment of a dye solution by electrocoagulation process,” *Colloids and Interface Science Communications*, vol. 33, 2019.

Tİ/RUO_2-IRO_2 VE Tİ/RUO_2-TİO_2 ANOT ARDIŞIK REAKTÖR SİSTEMİNDE ASTRAZON BLACK FDL BOYA ÇÖZELTİSİNDEN RENK GİDERİMİ

Ahmet Öztürk [1,*], Orhan Taner Can[1]

[1]Bursa Technical University, Department of Environmental Engineering, 16310 Bursa, Turkey
ozturkahmet5461@gmail.com , orhan.can@btu.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, Astrazon Black FDL boya çözeltisinden Ti/RuO_2-IrO_2 ve Ti/RuO_2-TiO_2 anot elektrotlar kullanılarak ardışık bir elektrooksidasyon reaktör sisteminde renk giderimi araştırıldı. Anot elektrot türünün renk giderme seviyesine etkisi her elektrot için ayrı ayrı ve her iki elektrodun ardışık kullanıldığı sistemde incelendi. Boya çözeltisinin absorbans değeri UV spektrofotometre cihazında ölçülerek deney başlangıcında ve sonunda çözelti konsantrasyonu hesaplanarak renk giderme verimi ölçüldü. Uygulanan akım, elektrolit konsantrasyonu ve boya çözeltisi konsantrasyonu gibi çalışma parametrelerinin giderme verimine etkisi araştırıldı. Sistemde, 50mg/L boya ve 1000 mg/L NaCl konsantrasyonuna sahip çözelti için, 0.5 amperlik akım uygulandığında, 20 dakikalık çalışma süresi sonunda, sırasıyla Ti/RuO_2-IrO_2 elektrotu için %87.6, Ti/RuO_2-TiO_2 elektrotu için %92.8, renk giderme verimi elde edildi. Her iki elektrodun ardışık kullanıldığı deneylerde ise %96.6 renk giderme verimi gerçekleştirdi. 0.03 amperlik akım uygulandığında, elektrolit (NaCl) ilave edilmeden gerçekleştirilen deneylerde 180 dakikalık deney süresi sonunda, sırasıyla Ti/RuO_2-IrO_2 elektrotu için %25.3, Ti/RuO_2-TiO_2 elektrotu için %25.3 ve her iki elektrot ardışık kullanıldığında %57.7 renk giderme verimi elde edildi. Çözelti boya konsantrasyonunun arttırıldığı durumda ise giderme veriminin azaldığı görüldü. Çalışmanın sonunda, reaktörleri ardışık çalıştırmanın yüksek akımda renk gideriminde bir avantaj sağlamadığı, ancak çok düşük akımlarda az da olsa bir avantaj sağladığı görüldü.

Abstract

In this study, color removal was investigated in a sequential electrooxidation reactor system using Ti/RuO_2-IrO_2 and Ti/RuO_2-TiO_2 anode electrodes from Astrazon Black FDL dye solution. The effect of the anode electrode type on the color removal level was investigated separately for each electrode and in the system where both electrodes were used sequentially. The absorbance value of the dye solution was measured in a UV spectrophotometer device, and the color removal efficiency was measured by calculating the solution concentration at the beginning and end of the experiment. The effect of working parameters such as applied current, electrolyte concentration and, dye solution concentration on the removal efficiency was investigated. In the system, for the solution with 50mg/L dye and 1000 mg/L NaCl concentration, when 0.5 ampere current is applied, at the end of 20 minutes of operation, 87.6% for Ti/RuO_2-IrO_2 electrode, 92.8% for Ti/RuO_2-TiO_2 electrode, color removal efficiency was obtained. In experiments where both electrodes were used sequentially, it achieved 96.6% color removal efficiency. In the experiments performed without adding electrolyte (NaCl) when a current of 0.03 amperes is applied, at the end of the test period of 180 minutes, respectively 25.3% for Ti/RuO_2-IrO_2 electrode, 25.3% for Ti/RuO_2-TiO_2 electrode, and 57.7% when both electrodes are used sequentially color removal efficiency was obtained. It was observed that the removal efficiency decreased when the solution dye concentration was increased. At the end of the study, it was seen that running the reactors sequentially did not provide an advantage in color removal at high current, but a slight advantage at very low currents.

Keywords: Astrazon Black FDL, dye, anode electrodes, decolorization

1. GİRİŞ

Endüstriyel kirlenmede önemli bir paya sahip olan tekstil endüstrisi, sadece gelişmiş ülkelerde değil gelişmekte olan ülkelerde de ekonomik açıdan önemli rol oynamaktadır. Sanayinin su ihtiyacı, önemli bir ölçüde tekstil endüstrisinden kaynaklanmaktadır. Bununla beraber zehirli kimyasal bileşikleri içeren tekstil atıksularının geleneksel arıtma yöntemleri ile giderimi güçtür. Renkli boyahane atıksuları, alıcı ortamda sebep olduğu organik kirliliğin yanı sıra güneş ışığı geçirimini engellemesi nedeni ile ekosistemi olumsuz yönde etkilemektedir (Dilektaş et al., 2021).

Toksik ve mutajenik boyaların kanalizasyon sistemine arıtılmadan deşarj edilmeleri kentsel atıksu arıtma tesislerinin biyolojik süreçlerinde sorunlara yol açabilir. Bu nedenle boyar madde içeren atıksuların alıcı ortamlara deşarj edilmeden önce arıtılmaları için yenilikçi, uygun maliyetli ve verimli atıksu artıma teknolojilerine ihtiyaç duyulmaktadır (Keyikoğlu, R., 2018). Boya giderimi için birçok yöntem kullanılmaktadır. Fiziksel veya kimyasal olarak sınıflandırılan giderim yöntemlerinden başlıcaları; süzme, yüzdürme, filtrasyon, çökeltme, koagülasyon/flokülasyon, klorlama, adsorpsiyon, iyon değişimi (Camcıoğlu vd. 2016), aktif çamur, ozonlama, fotokatalizör, adsorpsiyon, elektrokoagülasyon, elektrooksidasyon ve membran filtrasyonu sayılabilir (Moussa vd. 2017). Boyaların bir kısmı arıtma ile daha kolay giderilebilirken, modern reaktif boya içeren atıksuların giderilmesi ise oldukça zor olabilmektedir. Bu atıksular biyolojik arıtmadan sonra, alıcı ortamda renkli bir atıksu meydana getirebilir. Bunun yanı sıra kükürt karışımlı boyalar, biyolojik arıtma proseslerinde problemlere sebep olduğu için fazla tercih edilmemektedir (Aytaç 2011). Bazı arıtım yöntemleri ise maliyet açısından tercih edilebilir olmadığı ve uygun görülen deşarj değerlerini sağlamadığından kullanılmamaktadırlar. Hem tek başına hem de diğer oksidasyon prosesleri ile birlikte kullanılabilen elektrooksidasyon prosesi ise oldukça etkili bir yöntemdir.

Elektrokimyasal oksidasyon, farklı organik kirleticileri gidermek ve içme suyu ile kentsel atıksuları dezenfekte etmek için başarıyla uygulanmaktadır. Ayrıca tekstil, zeytinyağı, kağıt endüstrisi ve tabakhane atıksuları gibi birçok endüstriyel atıksu elektrooksidasyon yöntemi ile arıtılmaktadır.

Elektrooksidasyon prosesi uygulandığında atıksu içerisindeki birçok madde oksidasyona maruz kalırken biyolojik olarak parçalanması zor olan bileşikler, biyolojik olarak kolay parçalanabilir organik bileşiklere ya da H_2O ve CO_2 gibi son ürünlere dönüşmektedir (Özmez, C., 2020).

İleri elektrokimyasal oksidasyon süreçleri, atıksudan inatçı kirletici maddelerin uzaklaştırılmasındaki uygulamaları nedeniyle son zamanlarda dikkat çekmektedir.

Mostafazadeh vd. (2019) yaptığı çalışmada, çamaşır atıksuyunun yeniden kullanılması için yüzey aktif maddelerin (NPE) giderilmesinde membran prosesi ile birlikte elektrokimyasal ve adsorpsiyon proseslerini geliştirmişlerdir. Atıksuya öncelikle ultrafiltrasyon (UF) prosesi uygulanmıştır. Burada oluşan süzüntü suyu ise elektrokoagülasyon / elektrooksidasyon, adsorpsiyon ve nanofiltrasyon proseslerinden geçirilmiştir. Nanofiltrasyon süzüntüsü ise elektrooksidasyon işleminden geçirildikten sonra geri kazanım prosesi tamamlanmıştır. Optimum koşullarda UF ile KOİ (% 50), AKM (% 95), bulanıklık (% 97), NP3-17E (% 75) giderim sağlanmıştır. UF filtratına uygulanan EO ile % 80'den daha az KOİ giderimi belirlenmiştir. NF konsantresine uygulanan EC işlemi, EO'ya göre daha verimsiz sonuçlar göstermiştir. Adsorpsiyon prosesi ile UF konsantratından % 40-45 KOİ giderimi elde edilirken, bulanıklıkta giderim söz konusu olmayıp, NP3-17E gideriminde granüler aktif karbonla gerçekleştirilen adsorpsiyon için % 95 verim elde edilmiştir.

Salazar vd. (2018), BDD, $Ti/Ru0_3$-$Ti0,7O_2$ ve Ti/Pt anotlar ile farklı elektrokatalitik kullanarak sulu çözeltideki endüstriyel tekstil Dispers Sarı 3 (DY3) boyasının giderimi için elektrokimyasal oksidasyon prosesinin verimliliği için her biri 50 mM olan Na_2SO_4 ve NaCl tuzları destekleyici elektrolitlerine bağlı 40ºC'de pH (yaklaşık olarak 2,3; 7,0 ve 10,0) ve akım yoğunluklarını (40 ve 60 mA/cm^2) incelemişlerdir. Elektrolit olarak kullanılan Na_2SO_4'te bütün proseslerin başlangıcının daha hızlı olduğunu gözlemlemişler. $Ti/Ru0_3$-$Ti0,7O_2$ ve Ti/Pt anotlarla TOK ve renk giderim verimleri % 50'lerde kalırken diğer parametrelerden bağımsız olarak BDD anotla TOK ve renk giderim verimleri % 90'ın üzerinde elde etmişlerdir (Salazar vd., 2018).

Elektrooksidasyon ve kimyasal koagülasyon hibrit prosesleri ile tekstil atıksularının arıtılabilirliğinin araştırıldığı çalışmada, KK prosesi ile pH 9,3, 600 mg/L'lik alüminyum sülfat ile % 93 bulanıklık, % 53 KOİ, % 24 TOK giderim verimleri elde edilmiştir. KK prosesi sonrası elde edilen atıksudan, akım yoğunluğunun 15 mA/cm^2, pH değerinin 5,6 olduğu, 45 dakikalık elektroliz süresinde EOx prosesi ile % 100 renk, % 93,5 KOİ ve % 75 TOK giderim verimleri elde edilmiştir. Bu çalışma sonuçlarından da görüldüğü üzere, koagülasyon prosesinin kendi başına atıksuyun üretim süreçlerinde tekrar kullanılabilirliği açısından farklı proseslerle birlikte kullanılması gerekmektedir (GilPavasa vd., 2018).

Kaur vd. (2017), Ti/RuO_2 elektrot kullanarak gerçek tekstil atıksuyunun elektrooksidasyon proses performansını incelemiş ve pH, akım şiddeti ve elektroliz süresi parametreleri verilen sıra ile 5,49; 1,66 A; 80

dk olarak optimum çalışma koşullarını ve bulunan optimum koşullardaki KOİ giderimi, renk giderimi ve özgül enerji tüketimi değerleri sırasıyla % 80, % 97,25 ve 0,679 Wh olduğunu ifade etmişlerdir (Kaur ve ark., 2017).

Raghu vd. (2009), bir anyon değiştirme zarı ile ayrılmış iki bölmeli elektrolitik hücrede, oksijenin azalması ile katotta elektrokimyasal olarak üretilmiş H_2O_2, atmosferik havayı geçirerek etkilediğini ve böylelikle bir elektrokimyasal reaktörde "ikili elektrokimyasal oksidasyon" başarıyla gerçekleştirildiğini ifade etmişlerdir. Geleneksel tek hücreli reaktörle karşılaştırıldığında geliştirilen reaktörün, enerji maliyetini yaklaşık % 25-40'a kadar azalttığını gözlemlemişlerdir. Anot olarak Ti/RuO_2-IrO_2 ve katot olarak H_2O_2 üretmek için oksijen içeren gazlarla beslenen karbon keçe gaz difüzyon elektrotlarını kullanarak farklı akım yoğunluklarında, pH, KOİ, renk, enerji tüketiminin etkisi gibi parametreleri incelemişler ve UV-Vis spektrofotometre, FTIR, HPLC çalışmaları ile boya gideriminin verimliliğini değerlendirmişlerdir (Raghu ve ark., 2009).

Boyar madde içeren atıksuların oksidasyon yöntemlerden biri de klorlu bileşiklerle oksidasyon yöntemidir. Bu yöntemde OCl boya molekülünün amino grubuna etki etmesi neticesinde azo bağının kırılması sağlanır. Klor katkılı yapılan elektrooksidasyon çalışmalarında azo boya gruplarının tamamen giderildiği gözlenmiştir (Rajkumar ve Jong Guk Kim, 2006).

Bu çalışmada, Astrazon Black FDL boya çözeltisinden Ti/RuO_2-IrO_2 ve Ti/RuO_2-TiO_2 anot elektrotlar kullanılarak ardışık bir elektrooksidasyon reaktör sisteminde renk giderimi araştırıldı. Anot elektrot türünün renk giderme seviyesine etkisi her elektrot için ayrı ayrı ve her iki elektrodun ardışık kullanıldığı sistemde incelendi.

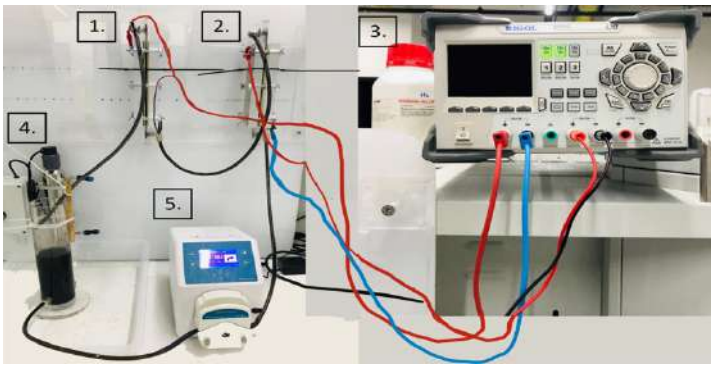
2. MATERYAL METOD

2.1. Kullanılan Kimyasallar

Deneylerde kirletici olarak akrilik boyamada kullanılan asidik sınıfa ait bir boyarmadde olan Dystar marka Astrazon Black FDL tekstil boyası kullanıldı. Elektrolit olarak ise Merck marka NaCl kullanıldı.

2.2. Deney Düzeneği

Elektrooksidasyon deneyleri Şekil 1' de gösterilen deney düzeneğinde gerçekleştirildi. Deneylerde 50 cm^2 anot yüzeyine sahip anot ve aynı yüzey alanına sahip katot elektrotta sahip 30 cm^3 hücre sıvı hacimli Flow-Through reaktörler kullanıldı. Reaktörlerde Ti/RuO_2-IrO_2 ve Ti/RuO_2-TiO_2 anotlar kullanıldı. Sistemde güç kaynağı olarak Rigol marka DP832 model 0-3 A ve 0-30V çıkış aralığında ayarlanabilen DC güç kaynağı kullanıldı. Çözeltinin sirkülasyonu için ise Bimetron marka sürekli akış PSA model peristaltik pompa kullanıldı.



Şekil 1. Elektrooksidasyon ardışık reaktör sistemi deney düzeneği

Elektrooksidayon deney düzeneğinin elemanları;

1. Ti/RuO_2-IrO_2 Reaktörü
2. Ti/RuO_2-TiO_2 Reaktörü
3. Rigol marka DP832 model DC güç kaynağı

4. Boyarmadde çözeltisi
5. Bimetron marka sürekli akış PSA model peristaltik pompa

2.3. Deneysel İşlem

Boya çözeltisi konsantrasyon deneyleri dışındaki deneylerde 50 mg/L boyarmadde konsantrasyonuna sahip sentetik boya çözeltisi kullanıldı. Reaktörde iletkenlik ve endirekt oksidasyonu gerçekleştirmek üzere çözeltiye elektrolit olarak değişik konsantrasyonlarda NaCl ilave edildi. Deney süresi boyunca farklı aralıklarla alınan numuneler UV/Vis spektrofotometresinde boyanın maksimum pik verdiği dalga boyunda analiz edildi. Ardışık olarak yerleştirilen reaktörler 800 mL/dak lık çözelti sirkülasyon debisi ile beslendi. Her deneyde 500 mL çözelti kullanıldı.

2.4. Analitik Yöntem

Thermo Scientific Evolution 201 UV-Visible Spectrophotometer cihazı kullanılarak absorbans değerleri ölçüldü. Astrazon Black FDL boyası için dalga boyu 406,2 nm olarak belirlenerek ölçümler gerçekleştirildi. Giderme verimi aşağıdaki eşitlik yardımı ile belirlendi.

$$Giderim(\%) = \frac{Abs_0 - Abs_t}{Abs_0} * 100 \quad (1)$$

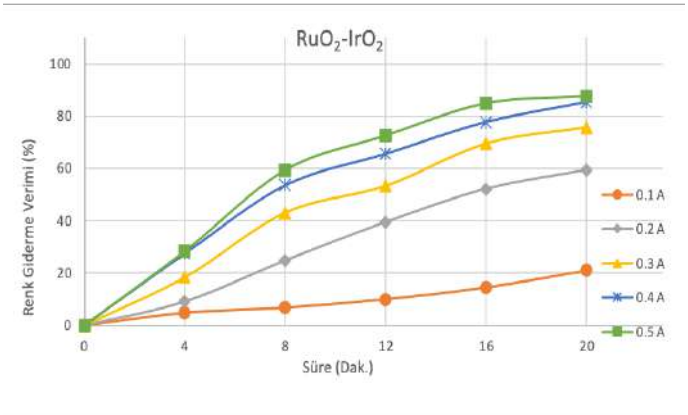
Burada, Abs_0: boyar madde başlangıç absorbansı, Abs_t: t anındaki boyar madde absorbansı.

3. SONUÇ

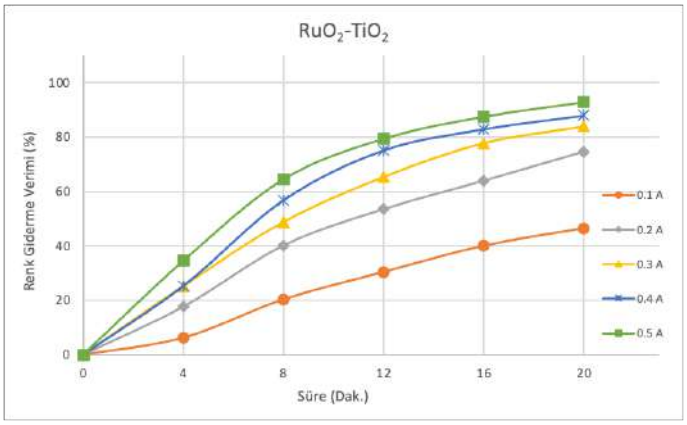
3.1. Renk Giderme Verimine Akımın Etkisi

Astrazon Black FDL boyarmaddesinin Ti/RuO_2-IrO_2 ve Ti/RuO_2-TiO_2 anot ardışık reaktör sisteminde renk giderimi etkisi incelemek amacıyla hazırlanan çözelti, sırasıyla Ti/RuO_2-IrO_2 reaktöründen, Ti/RuO_2-TiO_2 reaktöründen ve son olarak Ti/RuO_2-IrO_2 ve Ti/RuO_2-TiO_2 anot ardışık reaktör sisteminde arıtılmaya çalışıldı. Reaktörlere farklı akımlar uygulanarak, akımın renk giderme verimine etkisi, farklı elektrolit miktarları ilave edilerek te elektrolit miktarının renk giderme verimine etkisi araştırıldı.

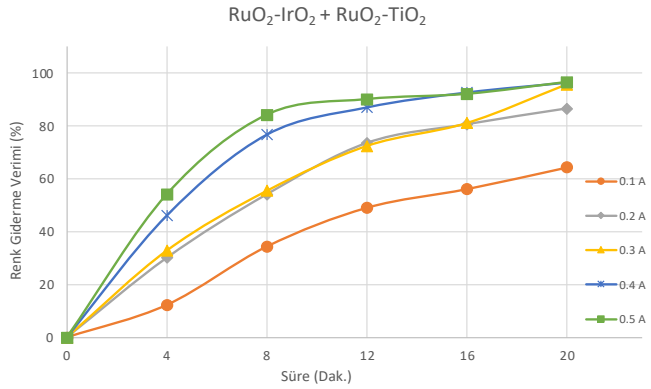
Ti/RuO_2-IrO_2 anot reaktör sisteminde (Şekil 2) 0.1 ile 0.5 amper aralığında değişik akımlar uygulandı. 20 dakikalık çalışma süresi sonunda 0.1 amper akım için renk giderme verimi %21, 0.5 amper için %87.6 olarak gerçekleşti. Ti/RuO_2-TiO_2 anot reaktör sisteminde ise (Şekil 3) 0.1 amper akım için renk giderme verimi %46.5, 0.5 amper için %92.8 olarak gerçekleşti. Her iki rektörün ardışık olarak işletildiği durumda ise (Şekil 4) 0.1 amper akım için renk giderme verimi %64.4, 0.5 amper için %96.6 olarak gerçekleşti. Reaktörlerin ardışık işletilmesinin yüksek akım (0.5 A) uygulandığı durumda, ayrı ayrı işletilmesine göre renk giderme veriminde aritmetik bir artış sağlamadığı, ancak düşük akım (0.1 A) uygulandığı durumda ayrı ayrı işletilmesine yakın bir renk giderme verimi elde edildiği görülmektedir.



Şekil 2. RuO_2-IrO_2 reaktöründe renk giderme veriminine akımın etkisi (Deney Şartları: Boyarmadde konsantrasyonu C_0: 50 mg/L, Elektrolit konsantrasyonu NaCl: 1000 mg/L, Çözelti sirkülasyon debisi: 800 mL/dak)

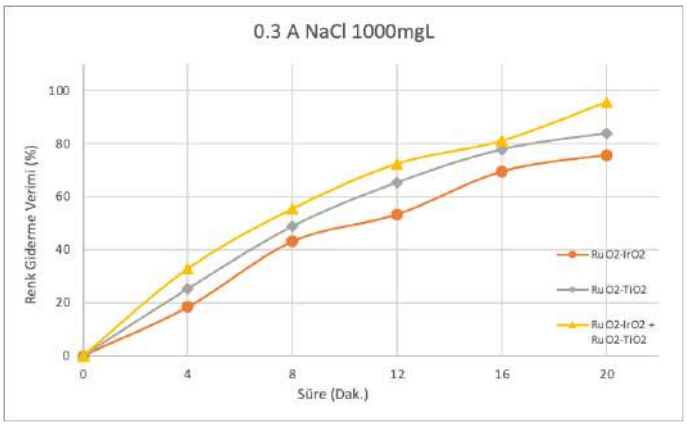


Şekil 3. RuO_2-TiO_2 reaktöründe renk giderme veriminine akımın etkisi (Deney Şartları: Boyarmadde konsantrasyonu C_0: 50 mg/L, Elektrolit konsantrasyonu NaCl: 1000 mg/L, Çözelti sirkülasyon debisi: 800 mL/dak)

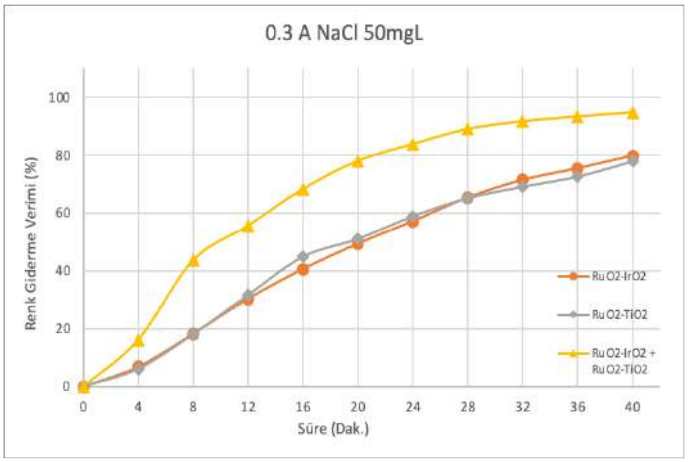


Şekil 4. RuO_2-IrO_2 + RuO_2-TiO_2 ardışık reaktörlerinde renk giderme veriminine akımın etkisi (Deney Şartları: Boyarmadde konsantrasyonu C_0: 50 mg/L, Elektrolit konsantrasyonu NaCl: 1000 mg/L, Çözelti sirkülasyon debisi: 800 mL/dak)

Elektrolit (NaCl) miktarının reaktörlerin ayrı ayrı veya ardışık işletilmeleri üzerine etkisi incelendiğinde (Şekil 5 ve 6) 0.3 amper ve 1000 mgL NaCl konsantrasyonunda renk giderme verimlerinin 20 dakikalık çalışma süresi sonunda Ti/RuO_2-IrO_2 anot reaktörü için %75.7, Ti/RuO_2-TiO_2 anot reaktörü için %83.9, her iki rektörün ardışık çalıştırıldığı durumda %95.8 olarak gerçekleşti (Şekil 5). NaCl konsantrasyonu 50 mgL düşürüldüğünde renk giderme verimlerinin 20 dakikalık çalışma süresi sonunda Ti/RuO_2-IrO_2 anot reaktörü için %49.4, Ti/RuO_2-TiO_2 anot reaktörü için %51.1, her iki rektörün ardışık çalıştırıldığı durumda %78.1 olarak gerçekleşti (Şekil 6). Elektrolit miktarını azaltmanın renk giderme verimini azalttığı görülmektedir.

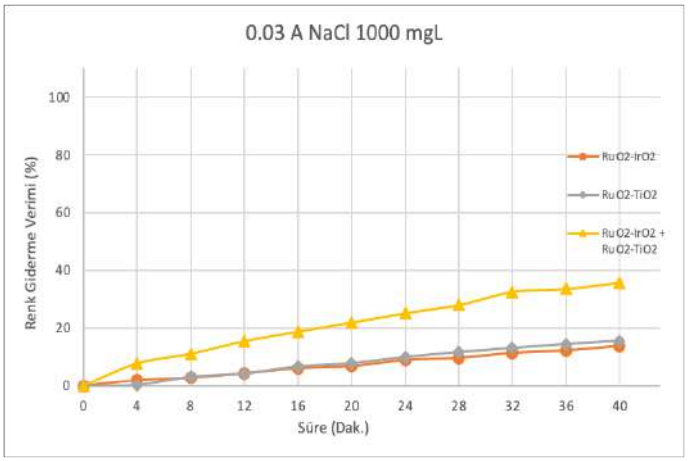


Şekil 5. RuO_2-IrO_2 + RuO_2-TiO_2 ardışık reaktörlerinde renk giderme veriminine akımın etkisi (Deney Şartları: Boyarmadde konsantrasyonu C_0: 50 mg/L, Elektrolit konsantrasyonu NaCl: 1000 mg/L, Çözelti sirkülasyon debisi: 800 mL/dak, Akım: 0.3 A)

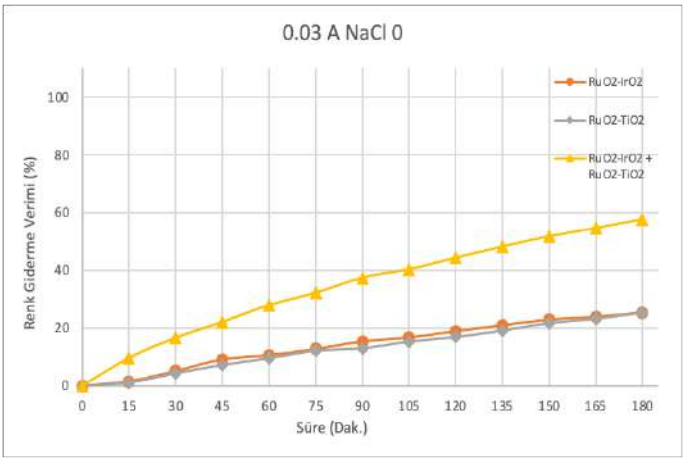


Şekil 6. RuO_2-IrO_2 + RuO_2-TiO_2 ardışık reaktörlerinde renk giderme veriminine akımın etkisi (Deney Şartları: Boyarmadde konsantrasyonu C_0: 50 mg/L, Elektrolit konsantrasyonu NaCl: 50 mg/L, Çözelti sirkülasyon debisi: 800 mL/dak, Akım: 0.3 A)

Çok düşük akımın ve hiç elektrolit (NaCl) kullanılmaması durumunun reaktörlerin ayrı ayrı veya ardışık işletilmeleri üzerine etkisi incelendiğinde (Şekil 7 ve 8) 0.03 amper ve 1000 mgL NaCl konsantrasyonunda renk giderme verimlerinin 40 dakikalık çalışma süresi sonunda Ti/RuO_2-IrO_2 anot reaktörü için %13.8, Ti/RuO_2-TiO_2 anot reaktörü için %15.6, her iki rektörün ardışık çalıştırıldığı durumda %35.8 olarak gerçekleşti (Şekil 7). NaCl kullanılmadığında (0 mgL) renk giderme verimlerinin 45 dakikalık çalışma süresi sonunda Ti/RuO_2-IrO_2 anot reaktörü için %9.1, Ti/RuO_2-TiO_2 anot reaktörü için %7.2, her iki rektörün ardışık çalıştırıldığı durumda %22 olarak gerçekleşti (Şekil 8). Ardışık işletmenin çok düşük akımda gerçekleştirilmesi durumunda, elektrolit bulunsa da bulunmasa da reaktörleri ayrı ayrı işletmeden daha iyi sonuç verdiği görülmektedir.



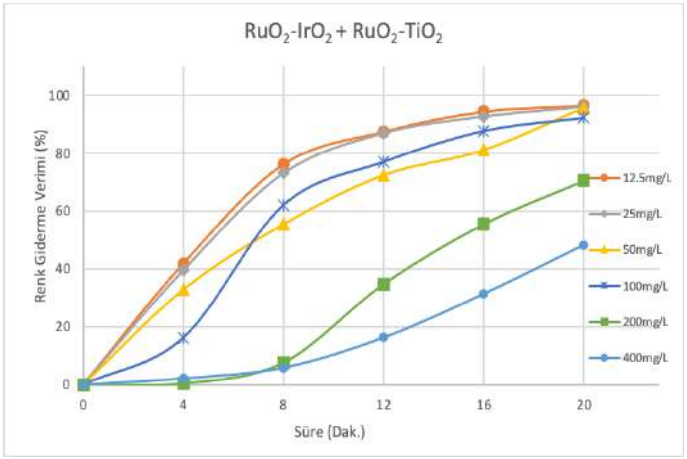
Şekil 7. RuO_2-IrO_2 + RuO_2-TiO_2 ardışık reaktörlerinde renk giderme veriminine akımın etkisi (Deney Şartları: Boyarmadde konsantrasyonu C_0: 50 mg/L, Elektrolit konsantrasyonu NaCl: 1000 mg/L, Çözelti sirkülasyon debisi: 800 mL/dak, Akım: 0.03 A)



Şekil 8. RuO_2-IrO_2 + RuO_2-TiO_2 ardışık reaktörlerinde renk giderme veriminine akımın etkisi (Deney Şartları: Boyarmadde konsantrasyonu C_0: 50 mg/L, Elektrolit konsantrasyonu NaCl: 0 mg/L, Çözelti sirkülasyon debisi: 800 mL/dak, Akım: 0.03 A)

3.2. Renk Giderme Verimine Çözelti Boyarmadde Konsantrasyonunun Etkisi

Çalışmanın son aşamasında çözelti boyarmadde konsantrasyonunun renk giderme verimi ğzerine etkisi incelendi. 12.5 ile 400 mgL aralığında değişik konsantrasyonlarda hazırlanan boyarmadde çözeltileri Ti/RuO_2-IrO_2 ve Ti/RuO_2-TiO_2 anot ardışık reaktör sisteminde arıtılmaya öalışıldı. 20 dakikalık çalışma süresi sonunda (Şekil 9) 12.5 mgL boyarmadde konsantrasyonu için renk giderme verimi %96.4, 400 mgL boyarmadde konsantrasyonu için %48.3 olarak gerçekleşti. Genel olarak boyarmadde konsantrasyonu ile renk giderme verimi arasında bir ters orantı olduğu görülmekle birlikte, giderilen gram boyarmadde miktarı konsantrasyon arttıkça artmaktadır.



Şekil 9. RuO_2-IrO_2 + RuO_2-TiO_2 ardışık reaktörlerinde renk giderme veriminine çözelti boyarmadde konsantrasyonunun etkisi (Deney Şartları: Akım: 0.3 A, Elektrolit konsantrasyonu NaCl: 1000 mg/L, Çözelti sirkülasyon debisi: 800 mL/dak)

4. TARTIŞMA

Reaktörlerin ardışık işletilmesinin yüksek akım (0.5 A) uygulandığı durumda, ayrı ayrı işletilmesine göre renk giderme veriminde aritmetik bir artış sağlamadığı, ancak düşük akım (0.1 A) uygulandığı durumda ayrı ayrı işletilmesine yakın bir renk giderme verimi elde edildiği görülmektedir. Elektrolit miktarını azaltmanın renk giderme verimini azalttığı görülmektedir. Bu durum NaCl miktarı ile ortamda oluşacak hipoklörüz asit ve hipoklorit iyonu varlığına bağlanmaktadır. Ardışık işletmenin çok düşük akımda gerçekleştirilmesi durumunda,

elektrolit bulunsa da bulunmasa da reaktörleri ayrı ayrı işletmeden daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Genel olarak boyarmadde konsantrasyonu ile renk giderme verimi arasında bir ters orantı olduğu görülmekle birlikte, giderilen gram boyarmadde miktarı konsantrasyon arttıkça artmaktadır.

Kaynakça

[1]. *Deliktaş, E. & Yavuz, Y. (2021). Ti/RuO2 karışık metaloksit elektrot kullanılarak elektrokimyasal oksidasyon ile boyarmadde giderimine NaCl destek elektrolitinin etkisi ve toksik etkilerin değerlendirilmesi. Eurasian Journal of Biological and Chemical Sciences, 4 (1), 16-20. DOI: 10.46239/ejbcs.731955*

[2]. *Keyikoğlu, R. (2018). Boyar maddelerin molekül ağırlığının elektrooksidasyon ve elektrokoagülasyon proseslerinde renk giderme verimine etkisi (Master's thesis, Bursa Teknik Üniversitesi).*

[3]. Camcıoğlu, Ş., Özyurt, B., Zeybek, Z. ve Hapoğlu H. 2016. Experimental application of one step ahead advanced pH control to water-based paint wastewater treatment. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 31(3), 656-665.

[4]. Moussa, D.T., El-Naas, M.H., Nasser, M. ve Al-Marri, M.J. 2017. A comprehensive review of electrocoagulation for water treatment: Potentials and challenges. Journal of Environmental Management, 186(1), 24-41.

[5]. Aytaç, E., "Elektrokoagülasyon Yöntemi Kullanılarak Tekstil Atıksularının Arıtımı", Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir, (2011).

[6]. Özmez, C. (2020). *Reaktif Blue 222 boyarmaddesinin sulu çözeltilerden elektrokoagülasyon ve ultraseselektrokoagülasyon yöntemlerini kullanarak gideriminin incelenmesi* (Master's thesis, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).

[7]. Mostafazadeh, A. K., Benguit, A.T., Carabin, A., Drogui, P., Brien, E. 2019. Development of combined membrane filtration, electrochemical technologies, and adsorption processes for treatment and reuse of laundry wastewater and removal of nonylphenol ethoxylates as surfactants. Journal of Water Process Engineering, 28: 277- 292.

[8]. Salazar, R., Ureta-Zañartu, M.S., González-Vargas, C., Brito, do Nascimento Brito, C., Martinez-Huitle, C.A. 2018. Electrochemical degradation of industrial textile dye disperseyellow3: Role of electrocatalytic material and experimental conditions on thecatalytic production of oxidants and oxidation pathway. Chemosphere, 198: 21-29.

[9]. E. GilPavasa, I. Dobrosz-Gómez, M. Ángel Gómez-García, (2018). Optimization of sequential chemical coagulation - electro-oxidation process for the treatment of an industrial textile wastewater, Journal of Water Process Engineering, 22, ss. 73-79E.

[10]. Kaur, P., Kushwaha, J.P., Kumar Sangal, V. 2017. Evaluation and disposability study of actual textilewastewater treatment by electro-oxidation methodusing Ti/RuO2 anode. Process Safety and Environmental Protection, 111: 13-22.

[11]. Raghu, S., Lee, C.W., Chellammal, S., Palanichamya, S., Bashac, C.A. 2009. Evaluation of electrochemical oxidation techniques for degradation of dyeeffluents-A comparative approach. Journal of Hazardous Materials, 171: 748-754.

[12]. RAJKUMAR, D., KIM, J. G., 2006. Oxidation of various reactive dyes with in situ electro-generated active chlorine for textile dyeing industry wastewater treatment. Journal of hazardous materials, 136(2); 203 – 212.

[13]. S. M. Metev and V. P. Veiko, *Laser Assisted Microtechnology*, 2nd ed., R. M. Osgood, Jr., Ed. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 1998.

[14]. J. Breckling, Ed., *The Analysis of Directional Time Series: Applications to Wind Speed and Direction*, ser. Lecture Notes in Statistics. Berlin, Germany: Springer, 1989, vol. 61.

DENİTRİFİYE ANAEROBİK METAN OKSİDASYONU (DAMO)'NUN FARKLI AŞI ÇAMURU KAYNAKLARINDA VARLIĞININ VE ETKİNLİĞİNİN İNCELENMESİ

Dilan Laçin[1], Tuba Hande Ergüder [1,*]

[1] *Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü 06800, Çankaya/ANKARA* *dilan.lacin@metu.edu.tr, etubahan@metu.edu.tr*

[*] *etubahan@metu.edu.tr*

Özet

DAMO mikroorganizmaları, su ekosistemlerindeki metan emisyonlarını ve alıcı ekosistemlerdeki azot seviyelerini azaltma potansiyeline sahiptir. Metan, nitrit ve nitratın bir arada bulunduğu anoksik ortamlar, DAMO türleri için potansiyel habitatlar olarak kabul edilmektedir. DAMO mikroorganizmalarının kısa sürede başarılı bir şekilde zenginleştirilmesi için aşı çamuru çok önemlidir. Bu nedenle, DAMO aşı çamuru, metan, nitrit ve nitratın aynı anda bulunduğu ve Damo-Bakteri ve Damo-Arke'nin muhtemelen baskın olarak yaşadığı yerlerden seçilmelidir. Bu çalışmanın amacı, DAMO kültürünün zenginleştirilmesinde aşı çamuru tipinin etkisini araştırmaktır. Potansiyel aşı çamuru kaynakları olduğuna karar verilen çeltik tarlası toprağı, tatlısu sedimanı, anaerobik çürütücü çamuru ve biyolojik nütriyent giderimi geri devir çamuru kullanılarak 12 farklı kombinasyon (aşı çamuru stoğu) hazırlanmıştır. Bu sayede, DAMO mikroorganizmalarının farklı aşı çamurlarında mevcudiyeti ve çeşitliliği aktivite testleri ve moleküler analizlerle araştırılmıştır. Potansiyel DAMO aktivite kesikli testleri ve FISH analiz sonuçları, bu çalışmada test edilen dört aşı çamuru kaynağı ve bunların kombinasyonları arasında; çeltik tarlası toprağı, tatlısu sedimanı ve anaerobik çürütücü çamuru ve bunların kombinasyonlarının potansiyel DAMO aktivitesi gösterdiğini ortaya koymuştur. Bununla birlikte, yüksek miktarda organik madde içermesi sebebiyle DAMO türlerine kıyasla denitrifikasyon bakterilerine ve metanojenlere büyük avantaj sağlayan geri devir çamurunun Damo-Bakteri ve Damo-Arke'nin zenginleştirilmesi için iyi bir seçim olmadığı gözlemlenmiştir.

Abstract

DAMO process has the potential of decreasing CH4 emissions in the aquatic ecosystems and the nitrogen levels in the natural ecosystems and receiving bodies. Anoxic environments, where methane, nitrite and nitrate coexist, have been recognized as the potential habitat for DAMO species. The seed source is very critical to enrich DAMO microorganisms successfully in a short time. Thus, DAMO inoculum should be selected where methane, nitrite and nitrate existed simultaneously and Damo-Bacteria and Damo-Archaea probably inhabited dominantly. The aim of this study is to investigate the effect of seed type on the enrichment of DAMO culture. 12 different combinations (seed source stock) were prepared using paddy field soil, freshwater sediment, anaerobic digester sludge and biological nutrient removal return activated sludge, which was determined to be potential sources of seed sources. In this way, the occurrence and diversity of DAMO microorganisms in different seed sources were investigated by activity tests and molecular analyzes. Results of potential DAMO activity batch test and FISH analysis showed that, among the four seed sources and their combinations tested in this study; paddy field soil, freshwater sediment and anaerobic digester sludge and their combinations was observed to show potential DAMO activity. However, returned activated sludge was not observed to be a good choice for the enrichment of Damo-Bacteria or Damo-Archaea due to its high amount of organic matter which gives denitrifiers and methanogens great advantage over DAMO species.

Keywords: Denitrifying anaerobic methane oxidation (DAMO), FISH, *M. Oxyfera, M.Nitroreducens*

1. GİRİŞ

2006 yılında, nitrite bağımlı olarak denitrifikasyonla aynı anda gerçekleşen bir anaerobik metan oksidasyonu prosesi keşfedilmiş ve bu proses denitrifiye anaerobik metan oksidasyonu (DAMO) olarak adlandırılmıştır [1]. DAMO prosesinin, sucul ekosistemlerde metan emisyonlarını ve azot seviyelerini azaltabileceği belirtilmiştir [2]. Denitrifiye amonyum oksidasyonundan sorumlu olan mikroorganizmalar arasında, NC10 grubuna ait bir bakteri olan 'Candidatus Methylomirabilis oxyfera' (*M.oxyfera*) ve anaerobik metanotrofik arkeye bağlı bir arke grubu olan 'Candidatus Methanoperedens nitroreducens' (*M. nitroreducens*) bulunmaktadır [3]. DAMO-arke, elektron donörü olarak metanı kullanarak nitratı nitrite indirgerken, DAMO-bakteri de elektron donörü olarak metanı kullanarak nitriti azot gazına indirgemektedir. Her iki reaksiyonda da metan karbondioksite dönüştürülmektedir. Bu çalışmanın amacı, DAMO kültürünün zenginleştirilmesinde

aşı çamuru tipinin etkisini araştırmaktır. Potansiyel aşı çamuru kaynakları olduğuna karar verilen çeltik tarlası toprağı, tatlısu sedimanı, anaerobik çürütücü çamuru ve BNR geri devir çamuru kullanılarak farklı kombinasyonlar hazırlanmıştır. Bu sayede, hem DAMO mikroorganizmalarının farklı aşı çamurlarında mevcudiyeti ve çeşitliliği araştırılmış hem de her aşı çamuru kaynağının bir diğeri üzerindeki etkisi aktivite testleri ve moleküler analizlerle gözlemlenmiştir.

2. MATERYAL METOD

2.1. Analitik Yöntem

TKM, UKM, TAKM ve UAKM ölçümleri Standart Metod'a göre gerçekleştirilmiştir [4]. Nitrit, nitrat, fosfat ve sülfat ölçümleri iyon kromatografi (IC) (Dionex) ile gerçekleştirilmiştir. Çözünmüş KOİ (çKOİ) analizleri EPA onaylı çürütme yöntemine göre orta ve düşük aralıktaki kitlerle gerçekleştirilmiştir. TAN (Toplam Amonyum Azotu) analizleri numune hacminin düşük olduğu durumda düşük ve yüksek aralıktaki kitlerle yapılmıştır. Tüm sıvı örnekler 0,45 µm filtreden (Sartorius) geçirilerek süzülmüştür. DO ve pH sırasıyla, DO metre ve pH metre ile analiz edilmiştir. Toprak örneklerine 1 kg toprak/2,5 kg su oranında su eklenerek karışımın pH'ı ölçülmüştür [5]. Toprak ve sediman örneklerindeki nitrit, nitrat, TAN ve çKOİ, gözenek suyundaki iyonların da su fazına geçmesi amacıyla, Uluslararası Kurak Alanlarda Tarımsal Araştırma Merkezi tarafından açıklanan yöntemlere uygun olarak, 2M KCl Extraction yöntemi sonrasında analiz edilmiştir [6]. Aşı çamuru olarak kullanılmak üzere örneklemesi yapılan çamur, sediman ve toprak örneklerinin nitrit, nitrat, TAN ve çKOİ analizleri yapılmadan önce, örnekler 0,45 µm filtreden (Sartorius) geçirilerek süzülmüş olup, sudaki iyon ve çKOİ'nin analizleri yapılmıştır. Gazlar, Thermal Conductivity Detektörü ile donatılı gaz kromatograf (GC) cihazı ile ölçülmüştür (Trace GC Ultra: Thermo Electron Co.).

2.2. Aktivite Testleri

On iki adet aşı çamuru stoğu (Tablo 1), eşit miktarda TUKM (g) içerecek şekilde hazırlanmıştır. Reaktörlerin kurulumu sırasında, 14,5 g/L TUKM derişimde hazırlanan bu 12 aşı çamur stoğundan, reaktör içi TUKM (g/L) değeri 4,2 g/L olacak miktarda eklenmiştir. 12 farklı aşı çamuru kombinasyonu (stoğu) kullanılarak, her biri için 1 adet test reaktörü ve 1 adet kontrol reaktörü olmak üzere toplam 24 adet kesikli reaktör işletilmiştir. Deneyler 120 mL toplam ve 70 mL etkin hacme sahip kesikli modda işletilen cam reaktörlerde gerçekleştirilmiştir. Reaktörler, 20 mL aşı çamuru ile aşılanmıştır. Tüm reaktörlere 50 mL besiyer çözelti eklenmiştir ve reaktör içi NO_2-N ve NO_3-N derişimleri sırasıyla 10 mg/L ve 30 mg/L olacak şekilde ayarlanmıştır [7]. Reaktör içerikleri 7-8 pH aralığına ayarlanmıştır. Anaerobik koşulların sağlanması ve DO'nun giderimi için reaktör içerikleri Corgon gazı (%95 Argon,% 5CO_2 karışımı) ile 3 dk havalandırılmış ve kauçuk tıpalarla kapatılmıştır. Mühürlenen reaktörlerin tepegazı boşluklarına, 3 defa (üçer dakikalık) ardışık vakum/havalandırma yoluyla Corgon gazı uygulanmış, ardından tepegazı basıncı 1 atm'e getirilmiştir. Test reaktörlerinin tepegazına 30 mL metan eklenerek, toplam basınç 1,6 atm ve metan gazı kısmi basıncı 0,6 atm olacak şekilde ayarlanmıştır. Kontrol reaktörlerine metan gazı eklenmemiştir. Tüm reaktörler, 80 rpm'lik orbital karıştırıcıda ve 35±2°C'deki sabit sıcaklıktaki odada 15 gün inkübe edilmiştir.

Tablo 1. DAMO aktivite test çalışmasında kurulan reaktörlerde kullanılan aşı çamuru kombinasyonları

Reaktör tipleri		Aşı çamuru stok içeriği [a]
Test (T)	Kontrol (C)	
T-1	C-1	Ç
T-2	C-2	S
T-3	C-3	A
T-4	C-4	N
T-5	C-5	S+Ç
T-6	C-6	S+A
T-7	C-7	S+N
T-8	C-8	S+Ç+A
T-9	C-9	S+Ç+N
T-10	C-10	N+A
T-11	C-11	N+Ç
T-12	C-12	N+A+Ç

[a] Ç: Çeltik tarlası toprağı, S: Tatlısu gölü sedimanı, A: Anaerobik çürütücü çamuru, N: BNR geri devir çamuru

2.3. Moleküler Analizler

Aşı çamurları içerisindeki türlerin belirlenmesi ve nicelendirilmesi adına FISH analizi yapılmıştır [8]. Öncelikle elde edilen çamur numuneleri, eşit hacimde %4 PFA eklenerek bir gece önce bekletilmiştir ve takiben uygulanan PBS:Etanol karışımı ile hücreler fikse edilmiştir. Bu aşamayı FISH deneyi sırasında etanol ile gerçekleştirilen dehidrasyon ve lizozim eklenerek yapılan geçirimleme aşamaları izlemiştir. Lamlar üzerine sabitlenmiş hücrelere daha sonra hibridizasyon gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler kapsamında kullanılan problara ait bilgiler Tablo 2'de özetlenmiştir.

Tablo 2. Seçilen probların etiket, sekans ve uygun Formamid derişimleri

Hedef Tür	Probe İsmi ve Sekans	Referans
Damo Archaea	S-*-Darc-872-a-A-18- GGC TCC ACC CGT TGT AGT	[10]
Damo Bacteria	S-*-DBACT-0193-a-A-18-CGC TCG CCC CCT TTG GTC	[10]
NC10 Phylum	S-*-DBACT-1027-a-A-18-TCT CCA CGC TCC CTT GCG	[10]
General Bacteria	EUB1-GCT GCC TCC CGT AGG AGT	[11]
	EUB2-GCA GCC ACC CGT AGG TGT	
	EUB3-GCT GCC ACC CGT AGG TGT	
General Archaea	S-Darc-0915-a-A-20-GTG CTC CCC CGC CAA TTC CT	[9]

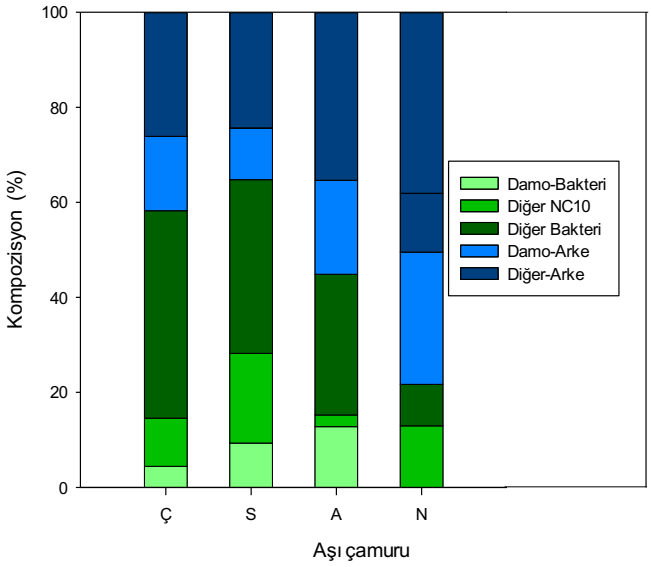
3. SONUÇ

Tablo 3'de, 4 farklı alandan alınan aşı çamur kaynaklarının analiz sonuçları sunulmuştur. Şekil 1'de ise FISH analizlerine göre aşı çamurlarındaki Damo-Bakteri ve Damo-Arke nicelendirme sonuçları verilmektedir. 12 farklı aşı çamuru stoğundaki DAMO aktivitesinin incelendiği kesikli reaktör çalışması sonuçları Şekil 2'de sunulmuştur.

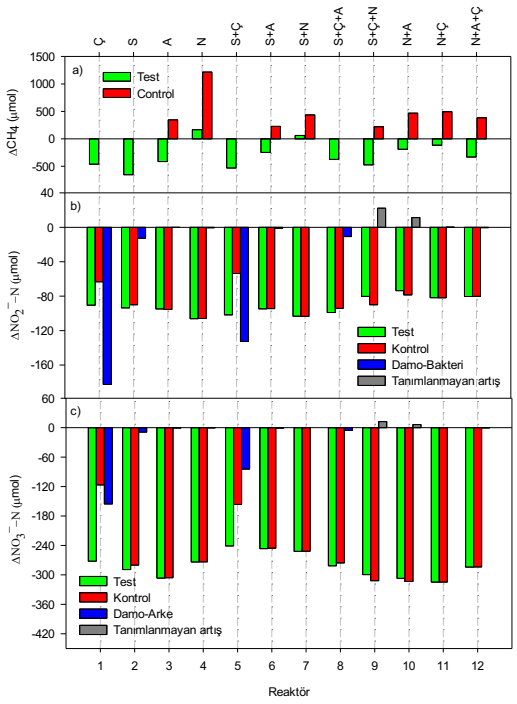
Tablo 3. Aşı çamuru fiziko-kimyasal analiz sonuçları

Parametre	Birim	S	Ç	A	N
pH	-	7.35	8.35	7.44	7.46
Nem	%	89.2	24.2	98.1	98.5
TKM	g/L	188.7± 7.6	433.3± 48.2	27.6± 0.3	30.7± 0.6
TUKM	g/L	20.8± 2.1	40.3± 4.4	14.5±0.2	15.6± 0.4
NH_4^+-N	mg/L	0.45±0.02	0.44±0.03	942.43±110.99	39.97±1.78
NO_2^--N	mg/L	TE[a]	0.07±0.002	TE[a]	0.37±0.02
NO_3^--N	mg/L	1.07±0.01	0.07±0.0002	7.87±0.14	0.06±0.004
çKOİ	mg/L	274±24.7	162±19.3	743±90.7	1733±25.2

[a] TE: Tespit edilmedi



Şekil 1. FISH analizlerinde elde edilen nicelendirme sonuçları (Ç: Çeltik tarlası toprağı, S: Tatlısu gölü sedimanı, A: Anaerobik çürütücü çamuru, N: BNR geri devir çamuru)



Şekil 2. Reaktörlerdeki metan, nitrit ve nitrat değişimi, ve DAMO mikroorganizmalarına bağlı nitrit ve nitrat tüketimi

4. TARTIŞMA

Kullanılan tüm aşı çamurlarında Damo kültürleri (arke ve bakteri) tespit edilmiştir (Şekil 1). Bu çalışma DAMO mikroorganizmalarının varlığının ve aktivitelerinin ülkemizde rapor edildiği ilk çalışmadır. FISH analizlerine göre, Damo-Arkenin toplam mikrobiyal popülasyona oranı A>Ç>N>S sırasını ve Damo-Bakterinin toplam kültüre oranı N>A>S>Ç sırasını izlemektedir (Şekil 1). Nitrit tüketimi ve nitrat tüketimi ise en çok Ç, S ve A içeren reaktörlerde gözlemlenmiştir. N çamurunda da DAMO türleri tespit edilmesine rağmen, N içeren reaktörlerde DAMO aktivitesi gözlemlenememiştir. Bu durum, N'deki diğer denitrifikasyon mikroorganizmalarının DAMO prosesini baskıladığını göstermektedir.

Reaktörlerdeki toplam nitrit ve nitrat tüketimine ve tahmini DAMO aktivitesine göre (Şekil 2), Ç ve S ve bunların kombinasyonları ile aşılanmış reaktörler en yüksek DAMO aktivitesi gösteren reaktörlerdir. Ancak atıksu arıtma çamuru (A ve(ya) N) içeren reaktörlerde DAMO aktivitesi çok düşük gözlenmiş veya hiç gözlenmemiştir. Aşı kaynağı olarak, atıksu arıtma tesisi çamuru numunelerinin, çeltik tarlası toprağı (Ç) ve tatlısu gölü sedimanına (S) kıyasla çok daha fazla çKOİ içerdiği görülmektedir (Tablo 1). Bu nedenle, atıksu çamuru içeren reaktörler için nitrit ve nitratın ana giderim mekanizması heterotrofik denitrifikasyon olabilir. DAMO aktivitesinin gözlemlenebilir olduğu reaktörlerde (T1, T2, T5, T8), nitrata kıyasla daha fazla nitrit tüketilmiştir. Ayrıca Damo-Bakterinin nitrit tüketim hızı Damo-Arkenin nitrat tüketiminden daha yüksek çıkmıştır (veri sunulmamıştır). Bu sonuçlarla paralel şekilde, Damo-Bakterinin nitrit giderim hızının Damo-Arkenin nitrat giderim hızından 2 kat daha yüksek olduğu belirtilmektedir [12].

Birden fazla aşı çamuru kaynağı ile aşılanan reaktörlerde DAMO aktivitesi saptanmıştır; fakat nitrit ve nitrat tüketim hızları sadece Ç, S ve A ile aşılanmış reaktörlere göre daha düşüktür. Dolayısıyla, çamur karışımının kullanımı daha yüksek aktiviteye yol açmamıştır. Öte yandan bu çalışmada, zenginleştirilmiş aşı çamurunun değil, farklı kaynaklardan alınan mevcut kültürlerin DAMO aktivitesi araştırılmıştır. Dolayısıyla, DAMO kültürünün zenginleştirilmesi hedeflendiğinde, yüksek mikrobiyal çeşitlilik elde etmek amacıyla aşı çamurlarının karıştırılması yine de avantajlı olabilir. Farklı çamurların karışımının etkisi, aşı çamurlarındaki rekabetçi mikroorganizmaların etkisiz hale getirilmesi ve DAMO türlerinin zenginleştirilmesi sonrası daha etkin gözlemlenebilir. **Sonuç olarak**, bu çalışma ile DAMO prosesini uygulamak için zenginleştirme çalışmalarında kullanılabilecek aşı çamuru kaynakları belirlenmiştir. Zenginleştirilen DAMO kültürleriyle geliştirilen DAMO sistemleri, anaerobik çürütücü çıkış suları gibi nitrit/nitrat ve çözünmüş metan içeren atıkların arıtımı ve çevreye olan olası zararlarının indirgenmesinde umut vadetmektedir.

Kaynakça

[1]. Raghoebarsing, A. A., Pol, A., Pas-Schoonen, K. T., Smolders, A. J., Ettwig, K. F., Rijpstra, W. I., Schouten S, Damsté JS, Op den Camp HJ, Jetten MS. Strous, M. 2006. "A microbial consortium couples anaerobic methane oxidation to denitrification", Nature, 440(13), 918-921.

[2]. Wang, Y., Zhu, G., Harhangi, H. R., Zhu, B., Jetten, M. S., Yin, C., Op den Camp, H. J. (2012). Co-occurrence and distribution of nitrite-dependent anaerobic ammonium and methane-oxidizing bacteria in a paddy soil. FEMS Microbiology Letters, 336(2), 79-88.

[3]. Cui, M., Ma, A., Qi, H., Zhuang X., Zhuang, G. (2015) Anaerobic oxidation of methane: an "active" microbial process. Microbiology Open, 4(1), 1–11.

[4]. APHA (2005) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st Edition, American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, Washington DC.

[5]. Wang, Y., Zhu, G., Harhangi, H. R., Zhu, B., Jetten, M. S., Yin, C., Op den Camp, H. J. (2012). Co-occurrence and distribution of nitrite-dependent anaerobic ammonium and methane-oxidizing bacteria in a paddy soil. FEMS Microbiology Letters, 336(2), 79-88.

[6]. Shen L., Liu S., Zhu Q., Li X., Cai C., Cheng D. , Lou L., Xu X. , Zheng P, Hu, B. (2013) Distribution and diversity of nitrite-dependent anaerobic methane-oxidising bacteria in the sediments of the Qiantang River. Microb Ecol, 67(2), 341-349.

[7]. Ding, J., Fu, L., Ding, Z., Lu, Y., Cheng, S. H., Zeng, R. J. (2015). Environmental evaluation of coexistence of denitrifying anaerobic methane-oxidizing archaea and bacteria in a paddy field. Applied Microbiology and Biotechnology, 100(1), 439-446.

[8]. Nielsen, P. H., Daims, H., Lemmer, H. (2009). FISH Handbook for Biological Wastewater Treatment. IWA Publishing.

[9]. Hu, S., Zeng, R. J., Haroon, M. F., Keller, J., Lant, P. A., Tyson, G. W., Yuan, Z. (2015). A laboratory investigation of interactions between denitrifying anaerobic methane oxidation (DAMO) and anammox processes in anoxic environments. Scientific Reports, 5, 1–9.

[10]. Ettwig, K. F., Alen, T. V., Pas-Schoonen, K. T., Jetten, M. S., Strous, M. 2009. "Enrichment and Molecular Detection of Denitrifying Methanotrophic Bacteria of the NC10 Phylum", Applied and Environmental Microbiology, 75(11), 3656-3662.

[11]. Knittel, K., Lösekann, T., Boetius, A., Kort, R., Amann, R. (2005). Diversity and distribution of methanotrophic archaea at cold seeps. *Applied and Environmental Microbiology*, 71(1), 467-479.

[12]. Li, W., Lu, P., Chai, F., Zhang, L., Han, X., Zhang, D. (2018). Long-term nitrate removal through methane-dependent denitrification microorganisms in sequencing batch reactors fed with only nitrate and methane. *AMB Express,8*(1).

Teşekkür

Bu çalışma 118Y195 nolu TÜBİTAK projesi ile desteklenmiştir.

SÜT ENDÜSTRİSİ ATIKSULARINDA ULTRASES ÖN İŞLEMİNİN PARTİKÜL BOYUT DAĞILIMINA ETKİSİ

Selen Lale[1], Hakan Dulkadiroğlu[2, *]

[1] *Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü 50300, NEVŞEHİR, selen.laleee@gmail.com*

[2,*] *Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü 50300, NEVŞEHİR, hakandulkadiroglu@nevsehr.edu.tr*

Özet

Atıksularda organik maddelerin partikül boyut dağılımı (PBD), biyolojik ayrışma hızını etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Partikül boyutlarının indirgenmesi hidroliz sürecini kısaltacağından, arıtma süresini, buna bağlı olarak maliyetleri de azaltacaktır. Bu amaçla aktif çamur prosesi öncesinde ön işlem olarak ultrases uygulaması etkili olabilmektedir. Ultrases adı verilen 16 kHz – 100 MHz aralığındaki ses dalgaları bir taraftan akustik kavitasyon oluşturarak mekanik parçalanmaya neden olurken, diğer taraftan da hidroksil radikalleri oluşturarak kimyasal oksidasyon sağlayabilmektedir. Bu çalışmada süt ürünleri endüstrisi atıksuyunda ultrases ön işleminin PBD üzerine etkisi araştırılmıştır. Peynir çeşitleri, tereyağı, yoğurt ve ayran üreten bir işletmenin biyolojik arıtma girişinden alınan atıksuyun karakterizasyonu ve PBD belirlendikten sonra, 0.25 W/mL spesifik ultrases gücünde 2, 4 ve 8 dakikalık süreler ile ultrases uygulanmış ve PBD'deki değişim izlenmiştir. PBD analizinde ardışık filtrasyon yöntemi uygulanmış ve sırasıyla 1200-600 nm, 450 nm, 220 nm, 13 nm (100 kDa), 8 nm (30 kDa), 5 nm (10 kDa), 3 nm (3 kDa) ve 2 nm (1 kDa) gözenek çaplı filtreler kullanılmıştır. Toplam kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) konsantrasyonu 2560 mg/L olan ham atıksuyun 2 nm filtreden geçebilen KOİ konsantrasyonu 8 dk ultrases uygulaması ile 500 mg/L'den 760 mg/L'ye yükselmiştir. Böylece çözünmüş olarak kabul edilebilecek boyuttaki organik partiküller %52 oranında artarken, toplam KOİ içerisindeki oranı da %19.5'ten %29.7'ye yükselmiştir.

Anahtar Kelimeler: Süt endüstrisi atıksuları, PBD, ultrases, biyolojik arıtma

Abstract

One of the most important factors affecting the rate of biological degradation is particle size distribution (PSD). Since the reduction of particle sizes will reduce the hydrolysis period, it will also decrease the treatment period and so, costs. With this aim, ultrasound application as a pretreatment before biological treatment could be effective. The sound waves, called ultrasound, which are between 16 kHz – 100 MHz interval, occur acoustic cavitation which causes mechanical disintegration while providing chemical oxidation by creating hydroxyl radicals. In this study, the effect of ultrasound pretreatment on PSD of dairy wastewater. The wastewater taken from the influent of biological treatment of a dairy mill producing cheese species, butter, yogurt, and ayran was characterized and determined its PSD, then ultrasound was applied on it at 0.25 W/mL specific power for 2, 4, and 8 minutes and changing in PSD was monitored. Sequential filtration method was applied for PSD analysis and the filters having 1200-600 nm, 450 nm, 220 nm, 13 nm (100 kDa), 8 nm (30 kDa), 5 nm (10 kDa), 3 nm (3 kDa) ve 2 nm (1 kDa) pore sizes were used, respectively. The chemical oxygen demand (COD) concentration of the filtrate from 2 nm pore size filter of the raw wastewater having 2560 mg/L total COD concentration increased from 500 mg/L to 760 mg/L after 8 min ultrasound application. Thus, while the organic particles accepted as soluble were increased in 52% ratio, their ratio in total COD was increased from 19.5% to 29.7%.

Keywords: Dairy wastewater, PSD, ultrasound, biological treatment

Teşekkür: Bu çalışma Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından ABAP20F18 nolu proje ile desteklenmiştir.

NANO–BOYUTTA ALÜMİNYUM PARTİKÜLÜ VE ULTRASES PROSESİNİN VICTORIA BLUE R GİDERİMİNE ETKİSİ

NANO–SIZE ALUMINUM PARTICLE AND THE EFFECT OF THE ULTRASES PROCESS ON VICTORIA BLUE R REMOVAL

***Burcu İleri*[1,*],**

[1],* *Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Lapseki Meslek Yüksekokulu, Çanakkale*

burcuileri@comu.edu.tr

Özet

Tekstil endüstrisi faaliyetleri sırasında yüksek hacimde su ve farklı karakterlerde boya türleri (anyonik, katyonik, reaktif, vb.) kullanılmaktadır. Üretim sonunda yüksek konsantrasyonda organik madde ve boya içeren renkli atıksu açığa çıkmaktadır. Bu tür atıksuların arıtılabilirliğinde fiziksel, kimyasal, biyolojik vera ileri oksidasyon prosesleri kullanılmaktadır. Çalışma kapsamında, 40 kHz frekansında ultrases prosesi (US) ile nano–boyutta sıfır değerlikli alüminyum (nZVAl) partikülünün tek ve birleşik (US/nZVAl) uygulamaları kullanılmış ve pH (7–12), nZVAl dozu (0.10–0.50 g) ve reaksiyon süresi (5–60 dk) parametrelerinin Victoria Blue R boya giderim verimine etkisi tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, nZVAl partikülünün adsorpsiyon kapasitesinin pH 10 değerinde daha iyi olduğu belirlenmiştir. Ultrases prosesi tek başına boya gideriminde kullanıldığında etkisi az iken, nZVAl partikülü tek başına kullanıldığında 0.40 g nZVAl dozunda 60 dk' da elde edilen benzer sonuç, birleşik US/nZVAl prosesi kullanıldığında 0.20 g dozda elde edilmiştir. Ultrases etkisi altında nZVAl partikül çap boyutu küçüldüğünden ve yüzey alanı arttığından daha düşük dozda ve kısa sürede Victoria Blue R giderimi elde edilmiştir. nZVAl ve US prosesi ile boya adsorpsiyonun Langmuir izotermine ve ikinci dereceden adsorpsiyon kinetiğine uygun olduğu tespit edilmiştir.

During the activities of the textile industry, high volumes of water and different types of dyes (anionic, cationic, reactive, etc.) are used. At the end of the production, colored wastewater containing high concentration of organic matter and dye is released. Physical, chemical, biological or advanced oxidation processes are used in the treatment of such wastewater. Within the scope of the study, the effects of the alone and combined (US/nZVAl) process applications of ultrasound (US–40 kHz) and nano–sized zero–valent aluminum (nZVAl) particles in batch reactor setup on pH (7–12), nZVAl dose (0.10–0.50 g) and reaction time (5–60 min) parameters were investigated in terms of Victoria Blue R dye removal. According to the obtained results, it was determined that the adsorption capacity of the nZVAl particle was better at pH 10. When the effect of the ultrasound process alone was low, a similar result, which was obtained in 60 minutes at a dose of 0.40 g nZVAl when the nZVAl particle was used alone, was obtained at a dose of 0.20 g using the combined US/nZVAl process. As the nZVAl particle diameter size decreased and the surface area increased under the effect of US, Victoria Blue R removal was obtained at a lower dose and in a short time. It was determined that dye adsorption with nZVAl and US process was in accordance with Langmuir isotherm and second order adsorption kinetics.

Keywords: Nano–sized zero–valent aluminum, Textile industry, Ultrasound, Victoria Blue R

Sıfır yüklü alüminyum, Tekstil endüstrisi, Ultrases, Victoria Blue R

14. national 2. international environmental engineering congress

climate crisis & environmental policies

SESSION 3A: Hava Kirliliği ve Koku Emisyonlarının Kontrolü; Toprak ve Yeraltısuyu Kirliliği

Paper ID:

123 **ENDÜSTRİYEL TESİSLERDEN KAYNAKLANAN HAVA KİRLİLİĞİNİN MODELLENMESİ**
Tuğçe Kes

77 **TÜRKİYE'DE İMALAT SANAYİ VE İNŞAAT KAYNAKLI CO2 EMİSYONUNUN ZAMAN SERİSİ İLE ANALİZİ**
Mehmet Emin Tabar - Serkan Özel

88 **GA VE S KONSANTRASYONLARININ TAKİBİNDE BAZI AĞAÇLARIN BİYOMONİTÖR OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**
Kaan Işınkaralar

117 **HAVADAKI BTX DÜZEYLERİNİN GELİBOLU FERİBOT İSKELESİ ÇEVRESİNDEKİ DÜZEYLERİ**
Müge Aydın - Sibel Menteşe

102 **ERDEMLİ (MERSİN) KIYI AKİFERİ SU KALİTESİNİN ARAŞTIRILMASI**
Fatma Ece - Mehmet Ali Kurt - Umit Yıldırım - Cüneyt Güler - Onur Güven

14 **The GRACE-based assessment of the spatio-temporal variability of terrestrial and ground water storage over Turkey**
Orhan Gündüz - Behnam Khorrami

14. ULUSAL 2. ULUSLARARASI ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ KONGRESİ 2021 BİLDİRİ TASLAĞI

Tuğçe KES[1], Sadullah Levent KUZU[2,*]

[1] *Yıldız Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 34220 Esenler/İSTANBUL tugcek767@gmail.com.tr ,*

[2,*] *Yıldız Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü 34220, Esenler/İSTANBUL skuzu@yildiz.edu.tr*

Özet

Antropojenik kaynaklı hava kirliliğinde son yüzyılda eksponansiyel bir artış gözlenmektedir. Envanter çalışmaları ve çeşitli modelleme araçları kullanılarak meteorolojik şartlar ile kirleticilerin dağılımının çalışılması, hem etkilerinin değerlendirilmesi hem de karar vericilerin uygulayacağı yaptırımlar açısından önemlidir. Küresel İklim Modelleme programları sayesinde matematiksel hesaplamalar kullanılarak gelecek senelere yönelik projeksiyonlar hazırlanmaktadır. Elde edilen projeksiyonlar ile iyi, orta ve kötü durum senaryolarına göre çıktıları elde edilir. Bölgesel İklim Modelleme programları ile Küresel İklim Modellerinde oluşturulan çıktılar girdi olarak kullanılır ve çalışılan alanda çözünürlüğü daha yüksek sonuçlar elde edilir. Bu çalışmada bölgesel iklim modelleme programı olan Regional Climate Model (RegCM) kullanılarak 2019 senesinde her ayın ortasında başlayıp beş günlük olacak şekilde kükürtdioksit (SO_2) kirleticisinin dağılımı çalıştırılmıştır. Söz konusu çalışma alanı 120 x 120 adet 8 km'lik grid aralıklarından meydana gelmektedir. Çalışma alanı sanayi ve dolayısıyla nüfus miktarı en fazla bölge olan Marmara Bölgesi referans olarak seçilmiştir. Bölgede bulunan iller Edirne, Kırklareli, Tekirdağ, İstanbul, Kocaeli, Yalova, Bursa, Balıkesir ve Çanakkale'dir ve modelleme çıktıları bu illerde bulunan Ulusal Hava Kalitesi İstasyonları' ndan (HKİ) alınan veriler ile karşılaştırılmıştır. Modelleme sonucu elde edilen çıktılar HKİ verileri ile kıyaslama yapılırken ortalama karekök hata, regresyon analizi yardımıyla programın SO_2 dağılımının modellemesinde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Modelin performansı ağustos ayı İstanbul Başakşehir İstasyonu gibi temsili bir istasyon için Ortalama Karekök Hatası 0,0167 ve regresyon analizi sonucu R^2=0,6925 değerleri elde edilmiştir. İstatistik değerlendirmeler sonucunda antropojenik SO_2 dağılımının modellenmesi için RegCM programının daha farklı bölgelerde ve gridlerle yapılacak çeşitli çalışmalar ile desteklenmesi gerektiği belirtilmiştir

Abstract

An exponential increase in anthropogenic air pollution has been observed in the last century. Studying meteorological conditions and the distribution of pollutants using inventory studies and various modeling tools is important both in terms of evaluating their effects and the sanctions to be applied by decision makers. Thanks to the Global Climate Modeling programs, projections for the coming years are prepared using mathematical calculations. With the obtained projections, outputs are obtained according to good, medium and bad case scenarios. Outputs of the Global Climate Models are used for inputs of Regional Climate Models so that researchers can get higher resolution results. In this study, using the Regional Climate Model (RegCM), which is a Regional Climate Modeling program, the distribution of Sulfur dioxide (SO2) pollutant was studied, starting in the middle of each month and for five days in 2019. The study area in consists of 120 x 120 pieces of 8 km grid intervals. The Marmara Region, the study area of which is the region with the highest industry and therefore population, was chosen as a reference. The provinces in the region are Edirne, Kırklareli, Tekirdağ, İstanbul, Kocaeli, Yalova, Bursa, Balıkesir and Çanakkale, and the modeling outputs were compared with the data obtained from the National Air Quality Stations (AQS) in these provinces. While the outputs obtained as a result of the modeling were compared with the AQI data, the usability of the program in modeling the SO2 distribution was investigated with the help of root mean square error and regression analysis. The performance of the model was obtained for a representative station such as Istanbul Başakşehir Station in August with Mean Square Root Error of 0.0167 and as a result of the regression analysis R2=0.6925. As a result of the statistical evaluations, it was stated that the RegCM program should be supported by various studies to be carried out in different regions and with grids in order to model the anthropogenic SO2 distribution.

Keywords: *Antropojenik, Bölgesel İklim Modelleme , Dağılım*

1. GİRİŞ

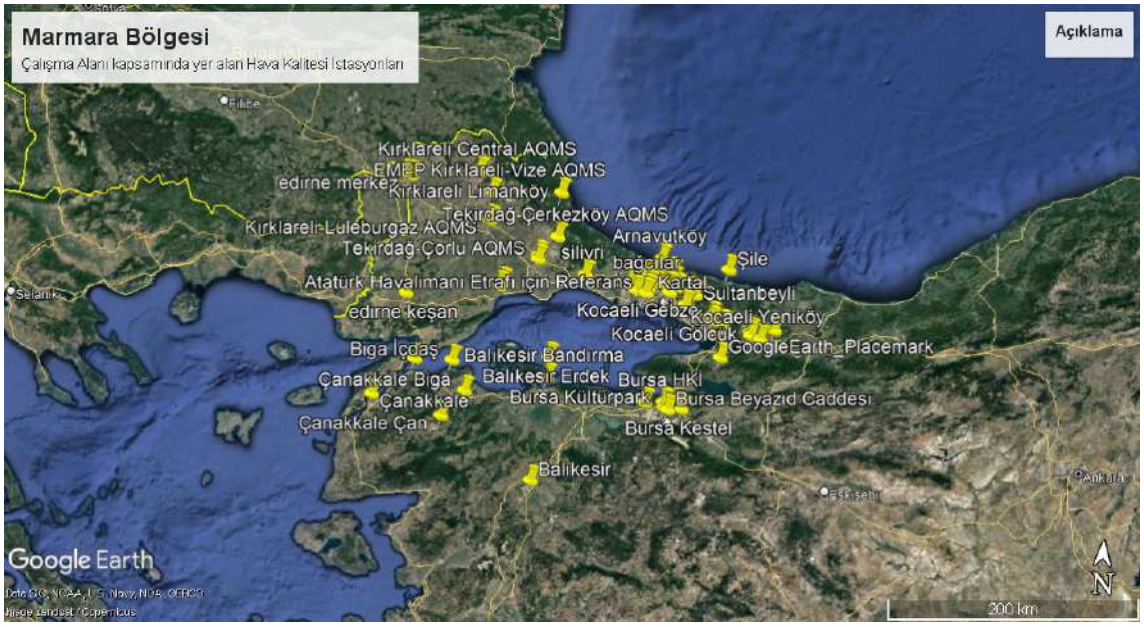
Küresel iklim değişikliği günümüzde birçok konuda insan yaşamını olumsuz yönde etkilemektedir. Yine birçok alanda tahmin modelleri ile hangi alanda ne kadar miktarda ve nerede riskli durumların oluşacağı araştırılabilir. Küresel iklim modelleri yağış miktarı, sıcaklık vb olmak üzere birbirinden farklı parametreleri matematiksel formüller yardımıyla modelleyerek uzun veya kısa vadede riskli alanların belirlenmesinde başrol oynar. Ancak iklim türüne, coğrafi özelliklere, meteorolojik parametrelere göre değişiklik gösterebilen modelleme çıktıları çalışılan alanın çözünürlüğü arttıkça doğruluğunu yitirmektedir. Bu nedenle küresel iklim modellerinin çıktılarını kullanmak üzere bölgesel iklim modelleri üzerine araştırmalar sürdürülmektedir.

Uluslararası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) 6. Değerlendirme Raporu'na göre en fazla negatif ışınımsal zorlama etkisine sahip olan gaz kükürtdioksittir (SO_2) .Ve diğer hava kirletcilere kıyasla en önemli emisyon salınımı antropojenik kaynaklardan gerçekleşmektedir. Bu çalışma ile endüstrisi oldukça zengin olan Marmara Bölgesi çalışma alanının merkezi olarak seçilmiş ve SO2 dağılımı RCP 4.5 senaryosu veirlerine göre modellenmiştir. Yapılan literatür çalışmalarında RegCM4.7 modülü ile kirletici dağılımının modellemesinin yapıldığı çalışmaya rastlanmadığından bu çalışma ile modelin bu alanda kullanılabilirliği araştırılmıştır.

2. MATERYAL & METOD

RegCM 1980'lerin sonlarında geliştirilen sınırlı alanda iklim çalışmalarına uygulanan bir modeldir. Son 25 yılda, sisteme kapsamlı fiziksel paketler ve birleştirilmiş (kimyasal/aerosol, okyanus, göl, biyosfer gibi) bileşenler dahil edilmiştir . (F. Giorgi, 2012)

RegCM4 ile yeni kara yüzeyi, gezegensel sınır tabakası, hava-deniz akışı şemaları, tropikal bant konfigürasyonu, radyasyon transferinde modifikasyonlar, sınır katmanı şemaları ve geliştirilmiş esneklik, taşınabilirlik, kullanıcı dostu olması yönünde geliştirilmiştir. Modelin, göl modülü 1 boyuta indirgenmiş, aerosol şeması (organik karbon, siyah karbon, SO_4, toz ve deniz spreyi dahil) basitleştirilmiş , faz kimya modülü (CBM-Z) eklenmiştir. (E. Coppola, 2012)



Şekil 1 Çalışma Alanı kapsamında kalan Hava Kalitesi İstasyonları

3. SONUÇ VE ÖNERİ

Tablo 1. Edirne Merkez HKİ ile RegCM Modeli Çıktılarının karşılaştırılması

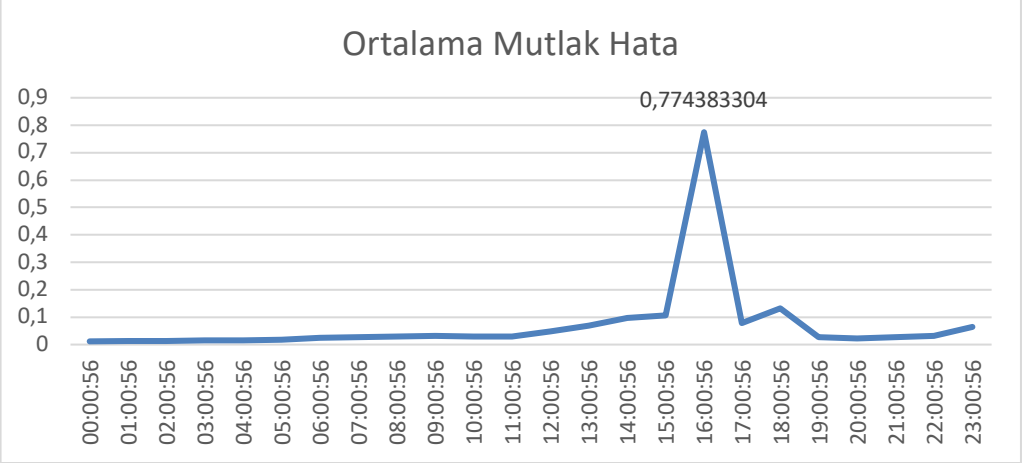
Saatler	Edirne Merkez HKİ (41° 39' 33" , 26° 35' 06")	RegCM Çıktıları Sonuçları
00:00	4.4	1
01:00	4.69	1.2
02:00	2.73	1.1
03:00	1.07	1.2
04:00	1.15	1.3
05:00	1.17	1.5
06:00	1.15	2
07:00	1.56	2.25
08:00	1.76	2.5
09:00	5.77	2.6
10:00	9.57	2.5
11:00	13.68	2.6
12:00	11.11	4
13:00	6.96	5.9
14:00	5.85	8.25
15:00	4.85	9
16:00	3.64	6.5
17:00	4.17	11
18:00	4.99	2.25
19:00	8.15	1.9
20:00	9.42	2.25
21:00	13.35	2.75
22:00	13.55	5.5
23:00	4.4	1

3.1. Ortalama Mutlak Hata

$$\sum_{i=1}^{N} \frac{|M_i - O_i|}{N}$$

Mi, i hücresi için modellenen değerdir, Oi, i hücresi için gözlemlenen değer, ve N, analiz edilen değerlerin sayısıdır. (Seaman, 2000)

Hesaplama sonucu aşağıdaki grafik elde edilmiştir:

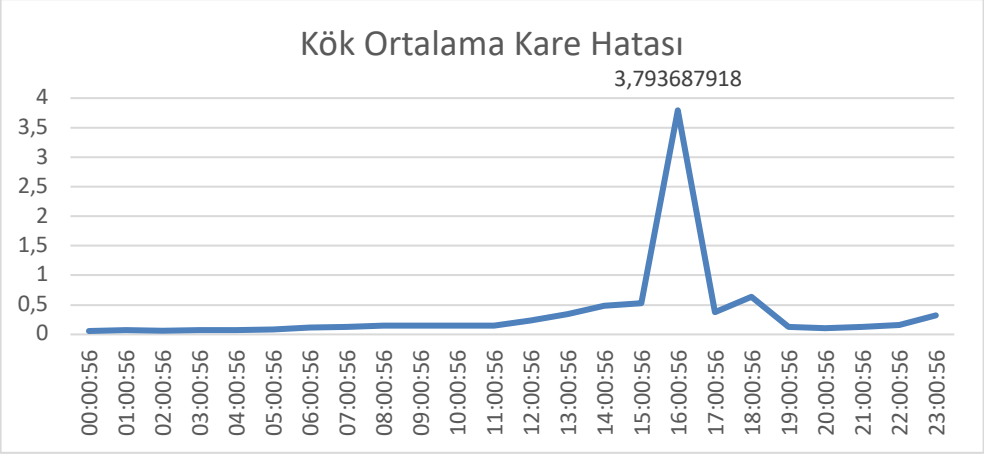


Şekil 2 RegCM ile Edirne HKİ karşılaştırma sonucu Ortalama Mutlak Hata Grafiği

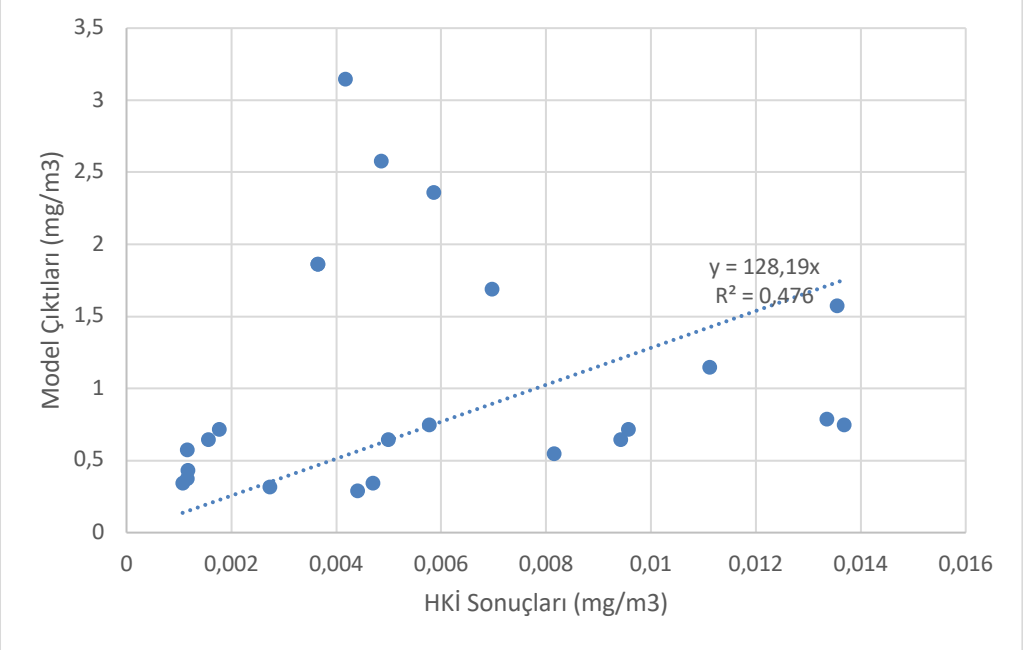
3.2. Kök Ortalama Kare Hatası

$$\sqrt{\sum_{i=1}^{N}\frac{(M_i - O_i)^2}{N}}$$

Ortalama Mutlak Hata ile benzeyen ancak ikinci dereceden teriminden dolayı büyük "hatalara" daha fazla duyarlı olan istatistiksel metottur. (L.T.Carbonell, 2015)



Şekil 3 Kök Ortalama Kare Hatası için Grafik



Şekil 4 RegCM çıktıları ile Edirne HKİ SO_2 konsantrasyonlarının korelasyonunu gösteren grafik

Sonuç olarak Hava Kalitesi İstasyon verileri ve modelleme çıktıları karşılaştırıldığında R^2 <1 olduğundan değeri oldukça düşüktür .Bu nedenle RegCM 4.7 modeli ile yapılan çalışmalarda SO_2 dağılımı için çalışılan bölge veya grid sayısı çeşitlendirilerek modelin bu konuda çalışılmak üzere kalibrasyonu yapılabilir.

4. KAYNAKÇA

[1] E. Coppola, F. S. (2012). RegCM4: model description and preliminary tests over multiple CORDEX domains. *CLIMATE RESEARCH*, 7–29.

F. Giorgi, R. O. (2012). The road towards RegCM4. *CLIMATE RESEARCH*, 3–6.

L.T.Carbonell, G. F. (2015). Assessment of the Weather Research and Forecasting model implementation in Cuba addressed to diagnostic air quality modeling. *Atmospheric Pollution Research*, 64-74.

Seaman, N. (2000). Meteorological modeling for air quality assessments. *Atmospheric Environment*, 2231-2259.

14. ULUSAL 2. ULUSLARARASI
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ KONGRESİ 2021

TÜRKİYE'DE İMALAT SANAYİ VE İNŞAAT KAYNAKLI CO2 EMİSYONUNUN ZAMAN SERİSİ İLE ANALİZİ

Mehmet Emin TABAR[1,*], Serkan ÖZEL[2]

[1,*] *Bitlis Eren Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, 13000, Merkez/BİTLİS metabar@beu.edu.tr*

[2] *Bitlis Eren Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 13000, Merkez/BİTLİS sozel@beu.edu.tr*

Özet

Dünyada karbondioksit emisyonunun son yıllarda oldukça arttığı görülmüştür. Bu artış, kontrolsüz sanayileşme, artan enerji ihtiyacı, şehirleşme, ormanlık alanların azalması, hayvancılık faaliyetleri, fosil yakıt kullanımı vb. gibi nedenlere dayandırılabilir. Karbondioksit emisyonunun kaçınılmaz bir sonucu olan sera etkisi, iklim değişikliği ve küresel ısınmaya neden olmaktadır. Sera gazları atmosferin iç yüzeyini kaplayarak dünyaya gelen güneş ışınlarının geri yansımasını engeller ve bu da dünya üzerindeki sıcaklığı arttırır. Bu sıcaklık artışının deniz suyu seviyesinin yükselmesi, orman yangınları, buzulların yok olması, kuraklık, fırtına, sel gibi pek çok olumsuz etkisi bulunmaktadır. Bu olumsuz etkilerin minimum hale getirilebilmesi için çeşitli sektörlerin sebep olduğu su buharı, karbondioksit, metan, hidroflorokarbonlar, perflorokarbonlar, kloroflorokarbonlar, nitröz oksit, ozon vb. gibi sera gazları salınımları takip edilmeli ve mümkün olduğunca karbon salınımı yapmayan yöntemler tercih edilmelidir. Bu çalışmada Türkiye'de 1960 yılından 2014 yılına kadar imalat sanayi ve inşaat kaynaklı karbondioksit emisyonlarının toplam karbondioksit emisyonu içindeki payı açık kaynak kodlu Weka yazılımında lineer regresyon ve SMOreg algoritmaları kullanılarak zaman serisi ile analiz edilmiştir. Bu algoritmaların doğruluğu yüzde olarak karşılaştırılmıştır. Doğruluk değeri yüksek olan algoritma kullanılarak bir model elde edilmiştir. Kurulan modelin doğruluğu CO2 emisyon miktarı bilinen seneler için test edilmiştir. Doğrulanan model kullanılarak imalat sanayi ve inşaat kaynaklı karbondioksit emisyonunun toplam karbondioksit emisyonu içindeki payı ile ilgili bir gelecek tahmini yapılmıştır.

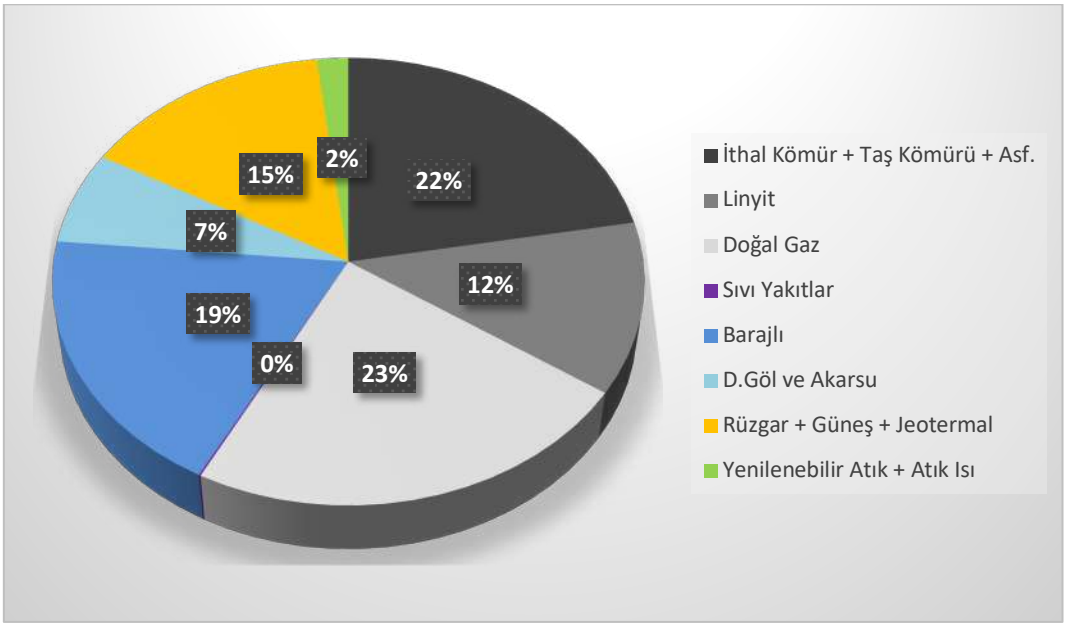
Abstract

It has been observed that carbon dioxide emissions in the world have increased considerably in recent years. This increase is due to uncontrolled industrialization, increasing energy demand, urbanization, reduction of forest areas, livestock activities, fossil fuel use, etc. attributable to such reasons. The greenhouse effect, which is an inevitable consequence of carbon dioxide emissions, causes climate change and global warming. Greenhouse gases cover the inner surface of the atmosphere, preventing the reflection of the sun's rays coming to the earth, and this increases the temperature on the earth. This temperature increase has many negative effects such as rising sea water level, forest fires, disappearance of glaciers, drought, storms and floods. In order to minimize these negative effects, water vapour, carbon dioxide, methane, hydrofluorocarbons, perfluorocarbons, chlorofluorocarbons, nitrous oxide, ozone etc. caused by various sectors. Emissions of greenhouse gases such as greenhouse gases should be followed and methods that do not emit carbon should be preferred as much as possible. In this study, the share of carbon dioxide emissions originating from the manufacturing industry and construction in Turkey from 1960 to 2014 in total carbon dioxide emissions was analysed by time series using linear regression and SMOreg algorithms in open source Weka software. The accuracy of these algorithms is compared as a percentage. The algorithm with high accuracy value is used and a model is obtained. The accuracy of the established model has been tested with known years CO2 emissions. Using the validated model, a future estimation was made regarding the share of carbon dioxide emissions from manufacturing industry and construction in total carbon dioxide emissions.

Keywords: Carbon Dioxide Emissions, Manufacturing Industry, Time Series Analysis, Greenhouse Gases, Global Warming

1. GİRİŞ

İklim değişikliği, çağımızın en zorlu çevre sorunlarından birisi olmuştur. Ülkelerin, uluslararası kuruluşların ve araştırmacıların dikkatini çekerek önemli gündem maddeleri arasında yer almıştır (Acheampong, 2018). Küresel ısınmaya neden olan toplam karbon emisyonuna, enerji tüketiminin yoğunluğu, hızlı nüfus artış yoğunluğuna bağlı tüketimin karbon salınımının artması gibi nedenler sebep olmaktadır (Kaya & Yokobori, 1997). Öte yandan yüksek karbon salınımı, ekonomik büyüme nedeniyle artan enerji ihtiyacı, fosil yakıt kullanımı, sanayileşme, atıklar, kentleşme, doğal kaynakların kontrolsüz olarak tüketilmesi, geri dönüşüm sistemlerinin etkin olarak kullanılmaması, çevre kirliliği ve teknolojik gelişmeler gibi nedenlerden kaynaklanmaktadır. Bu sebeple, karbon emisyonlarını azaltmak için enerji talebinin azaltılması gerekmektedir (Martinho, 2016). Karbon emisyonunu azaltmanın makroekonomik maliyetleri olduğu da tartışılmaktadır (Hourcade & Robinson, 1996). Bu nedenle, karbon emisyonlarını azaltmak için enerji tüketimini azaltma girişimi, enerji üretim fonksiyonunda önemli bir girdi olduğundan ekonomik büyüme üzerinde olumsuz bir etki oluşturacaktır (Ahmad et al., 2017; Al-Mulali & Sab, 2012; Mahadevan & Asafu-Adjaye, 2007). Bu olumsuz etkiyi ortadan kaldırmak için karbon salınımı yapan enerji kaynaklarını yerine karbon salınımı yapmayan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı artırılmalıdır. Ülkemizde elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. 2020 Yılı Türkiye Elektrik Enerjisi Üretiminin Kaynaklara Göre Dağılımı (URL1, 2020).

Üretim miktarları ise; ithal kömür, taş kömürü ve asfaltit için 67873,70 GWh, linyit için 37938,40 GWh, doğal gaz için 70931.30 GWh, sıvı yakıtlar için 322,70 GWh, barajlı üretim için 57463,90 GWh, doğal göl ve akarsu için 20630,40 GWh, rüzgâr, güneş ve jeotermal için 45806,10 GWh, yenilenebilir atık ve atık ısı için ise 5736,60 GWh olmak üzere toplamda 306703.10 GWh dir (URL1, 2020).

Ülkemizin elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının payı yaklaşık olarak %43 olmuştur. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı çevreye karbon salınımı yapmadığı için iklim değişikliği ve küresel ısınma gibi problemlerin çözümüne önemli ölçüde yardımcı olmaktadır. Ülkemizde CO2 emisyonuna büyük ölçüde enerji sektörü, ulaştırma, imalat sanayi ve inşaat sektörü neden olmaktadır. Bu çalışmada ülkemizde imalat sanayi ve inşaat kaynaklı CO2 emisyonunun zaman serisi ile analizi yapılarak bir model oluşturulmuş ve gelecek yıllar için imalat sanayi ve inşaat kaynaklı CO2 emisyonu için bir tahmin yapılmıştır.

2. MATERYAL VE METOD

Ülkemizde imalat sanayi ve inşaat kaynaklı CO2 emisyonunun toplam CO2 emisyonu içindeki oranları 1960 yılından itibaren alınarak Weka yazılımında analiz edilmiş ve en yüksek doğruluk değeri elde edilmeye çalışılmıştır. Çalışmada algoritma olarak lineer regresyon ve SMOreg algoritmaları kullanılmıştır. Model kendi içinde doğrulandıktan sonra 2025 yılına kadar tahmin yapılmıştır. Kullanılan emisyon verileri Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. İmalat Sanayi ve İnşaat Kaynaklı CO2 Emisyonunun Toplam Emisyon Miktarına Oranı (URL2, 2014)

Yıl	İmalat Sanayi ve İnşaat Kaynaklı CO2 Emisyon Oranı (%)
1960	20,09540847
1961	19,19561243
1962	18,29465731
1963	20,25628388
1964	17,26618705
…	…
2010	18,26814379
2011	18,20990906
2012	17,46456537
2013	16,27816901
2014	14,61691251

2.1. Zaman Serisi Analizi

Zaman serisi analizi; zamana bağlı oluşan işlemlerin ve olayların analiz edilmesi ve ön görüye dönüştürülmesi ile zamansal etkileri anlamak için oldukça önemli bir yöntemdir. Zamanla değişen olaylardan elde edilecek sonuçlar ve bu sonuçların işaretlenmesi, nedenselliği ve anlam ilişkisi için oldukça kullanışlıdır. Zaman serisindeki amaç geçmiş dönemlerdeki değerlerin analiz edilerek bir model oluşturmak ve oluşturulan modele göre gelecek değerleri doğru tahmin etmektir (Allen, 1964).

Zaman serisindeki veri sayısı m ise;

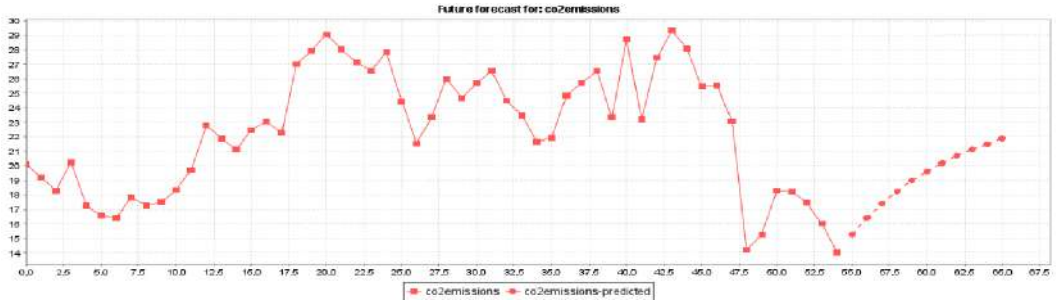
Zaman serisi değişkeni x(t), (t = 1, 2, …, m), ilk gözlenen veri x(1), son gözlenen veri x(m) ile gösterilir. Zaman serileri dört farklı unsurdan oluşmaktadır (Newbold, 2000):

Trend bileşeni, mevsim bileşeni, çevrimsel bileşen ve düzensiz bileşen. Trend bileşeni, analizi yapılan zaman serisinde uzun süreçte görünen yükselme veya düşme hareketleri sonrasındaki kararlı olma durumudur. Mevsim bileşeni, zaman serisindeki mevsimsel değişimleri gösterir. Çevrimsel bileşen, mevsimsel değişimden bağımsız olarak uzun zaman aralığındaki dönemsel değişimlerdir. Düzensiz bileşen ise oluş nedeni belli olmayan bileşendir.

Zaman serisinde verilerdeki değişimi matematiksel olarak ifade edebilmek için trend bileşeni, stokastik ve periyodik bileşenler izlenir (Akgül, 2003). Sonrasında tahmin (prediction) ile zaman serisi analizinde gelecekteki verilerin öngörüsü için bir kestirim yapılmaktadır (Seker, Cankir, & Okur, 2014).

3. SONUÇ

İmalat sanayi ve inşaat sektörü kaynaklı CO2 emisyon miktarları Weka yazılımında analiz edilmiş ve lineer regresyon algoritması kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 2'de gösterilmiştir. SMOreg algoritması kullanılarak yapılan tahmin ise Şekil 3'te gösterilmiştir. SMOreg tahmin sonuçları incelendiğinde 2022 yılı için %20.9284, 2023 için %21.4191, 2024 için %21.8359, 2025 için ise %22.1362 olacağı yönünde öngörüde bulunulmuştur. Lineer regresyon tahmin sonuçları incelendiğinde ise 2022 yılı için %20.6807, 2023 için %21.1211, 2024 için %21.5113, 2025 için ise %21.8584 olacağı yönünde öngörüde bulunulmuştur. Elde edilen sonuçlara bakıldığında imalat sanayi ve inşaat kaynaklı CO2 emisyonunun artış eğiliminde olduğu gözlenmiştir.



Şekil 2. Weka Lineer Regresyon Algoritması ile Zaman Serisi Analiz Çıktısı.

Şekil 3. Weka SMOreg Algoritması ile Zaman Serisi Analiz Çıktısı.

4. TARTIŞMA

Zaman serisi analizinde kullanılan algoritmalar incelendiğinde lineer regresyon algoritmasının SMOreg algoritmasıyla hemen hemen yakın sonuçlar verdiği görülmektedir. İklim değişikliği ve küresel ısınmanın olumsuz etkilerini engellemek için CO2 salınımı yapmayan yöntemler araştırılmalı ve tercih edilmelidir.

5. KAYNAKÇA

Acheampong, A. O. (2018). Economic growth, CO2 emissions and energy consumption: what causes what and where? *Energy Economics, 74*, 677-692.

Ahmad, N., Du, L., Lu, J., Wang, J., Li, H.-Z., & Hashmi, M. Z. (2017). Modelling the CO2 emissions and economic growth in Croatia: is there any environmental Kuznets curve? *Energy, 123*, 164-172.

Akgül, I. (2003). Geleneksel Zaman Serisi Yöntemleri. *Baskı, Der Yayınları, İstanbul*.

Al-Mulali, U., & Sab, C. N. B. C. (2012). The impact of energy consumption and CO2 emission on the economic growth and financial development in the Sub Saharan African countries. *Energy, 39*(1), 180-186.

Allen, R. G. (1964). Statics for economists. *Mc-Millan, UK*, 133-152.

Hourcade, J.-C., & Robinson, J. (1996). Mitigating factors: assessing the costs of reducing GHG emissions. *Energy Policy, 24*(10-11), 863-873.

Kaya, Y., & Yokobori, K. (1997). *Environment, energy, and economy: strategies for sustainability*: United Nations University Press Tokyo.

Mahadevan, R., & Asafu-Adjaye, J. (2007). Energy consumption, economic growth and prices: A reassessment using panel VECM for developed and developing countries. *Energy Policy, 35*(4), 2481-2490.

Martinho, V. J. P. D. (2016). Energy consumption across European Union farms: Efficiency in terms of farming output and utilized agricultural area. *Energy, 103*, 543-556.

Newbold, P. (2000). *İşletme ve iktisat için istatistik*: Literatür.

Seker, S. E., Cankir, B., & Okur, M. E. (2014). Strategic Competition of Internet Interfaces for XU30 Quoted Companies. *International Journal of Computer and Communication Engineering, 3*(6), 464.

URL1. (2020). Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ), 38-Grafik III.I - 2020 Yılı Türkiye Elektrik Enerjisi Üretiminin Kaynaklara Göre Dağılımı. from https://www.teias.gov.tr/tr-TR/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri

URL2. (2014). IEA Statistics © OECD/IEA 2014 (iea.org/stats/index.asp). from https://data.worldbank.org/indicator/EN.CO2.MANF.ZS?locations=TR

Ga VE S KONSANTRASYONLARININ TAKIBINDE BAZI AĞAÇLARIN BIYOMONITÖR OLARAK KULLANILABILIRLIĞININ ARAŞTIRILMASI

Kaan Işınkaralar

Kastamonu Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü 37100, KASTAMONU
kisinkaralar@kastamonu.edu.tr

Özet

Hava kirliliği son yıllarda hızla artmış ve küresel çapta bir sorun haline gelmiştir. Hava kirliliği bileşenlerinin kolaylıkla yok olmadıkları, canlı bünyelerinde biyobirikim yapabildikleri ve bazılarının da düşük konsantrasyonlarda bile toksik ve zehirli olabildiği görülmektedir. Canlıların çeşitli kirleticilere yüksek konsantrasyondaki maruziyetleri ölümle bile sonlanabilmektedir. Bu yüzden kirleticilerin havadaki konsantrasyonlarının izlenmesi insan, bitki ve çevre sağlığı açısından büyük önem taşımaktadır. Değerlerin takibinde en uygun yöntem biyomonitörlerdir. Özellikle bitkiler bünyelerinde farklı organlarında birikim yapabilen yapıdadır. Bu çalışmada Galyum ve Sülfür elementlerinin konsantrasyonlarının Robinia pseudoacacia, Cupressus arizonica ve Platanus orientalis türlerindeki yıllık halkalarındaki değişimi belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışma kapsamında bu elementlerin çalışmaya konu türlerin iç kabuk, dış kabuk ve odunlarındaki konsantrasyonu değerlendirilmiştir. Varyans analiz sonuçlarına göre Galyum (Ga) ve Sülfür (S) konsantrasyonunun türlere bağlı değişiminin bütün yaş aralıklarında istatistiki olarak en az %99 güven düzeyinde anlamlı olduğu belirlenmiştir. Elde edilen verilerde Galyum ve Sülfürün konsantrasyonunun tür veya yıl bazında düzenli şekilde değiştiğini söylemek mümkün olmamaktadır. Ancak Galyum elementinin biyomonitörü olarak Cupressus arizonica ve Sülfür elementinin biyomonitörü olarak Robinia pseudoacacia ve Cupressus arizonica'da konsantrasyonlarının değişimi net olarak yansıttığı belirlenmiştir.

Abstract

Air pollution has increased rapidly in recent years and has become a global problem. Air pollution components do not disappear easily also bioaccumulate in living bodies, and some of them are toxic and toxic even at low concentrations. It even ends with death as a result of the exposure of living things to high concentrations of various pollutants. Therefore, monitoring the concentrations of pollutants in the air is of great importance for human, plant and environmental health. Biomonitors are the most suitable method for monitoring the air pollutant concentration. Especially plants are suitable biomonitors that can accumulate in their different organs. In this study, it was tried to determine the changes in the concentrations of Gallium (Ga) and Sulfur (S) elements in Robinia pseudoacacia, Cupressus arizonica and Platanus orientalis species. The concentration of these elements in the inner bark, outer bark and wood of the species was evaluated in the scope of the study. According to the variance analysis results, it was determined that the variation of Gallium and Sulfur concentrations depending on the species was statistically significant at least 99% confidence level in all age ranges. In the data obtained, it is not possible to say that the concentration of Gallium and Sulfur changes regularly on the basis of species or year. However, it was determined that the concentrations of Gallium element changed in Cupressus arizonica as a biomonitor and Robinia pseudoacacia and Cupressus arizonica as a biomonitor of Sulfur element.

Keywords: Annual rings**;** biomonitor; gallium; sulphur; trees

1. GİRİŞ

Dünya genelinde hızlı nüfus artışına ek olarak meydana gelen plansız kentleşme gibi pek çok sorunu da beraberinde getirmiştir. Öyle ki günümüzde dünyanın en önemli problemlerinin birçoğunun, doğrudan veya dolaylı olarak; nüfus artışı, nüfusun kentsel alanlarda yoğunlaşması veya bunlarla ilişkili problemler olduğu belirtilmektedir [1-3]. Nüfus artışı ve kentleşme öyle ciddi boyutlara ulaşmıştır ki 1900'lü yıllarda toplam dünya nüfusu sadece 700 milyon civarında ve nüfusun yaklaşık %9'u kentsel alanlarda yaşarken, 2021 yılında dünya nüfusu 7,9 milyarı aşmış ve kentsel alanlarda yaşayan nüfus oranı %56'ya yükselmiştir [4-6]. Bu süreçte meydana gelen en önemli problemlerden biri de çevre kirliliğidir. Son yüzyılda artan sanayi faaliyetleri ile birlikte yaşanan süreç doğanın tahrip olmasına hava, su ve toprağın kirlenmesine, ekolojik dengenin bozulmasına sebep olmaktadır [7-9].

Ekolojik dengenin bozulmasına sebep olan elementlerin başında Galyum (Ga) ve Sülfür (S) gelmektedir. Ga periyodik tabloda Grup 3A'da bulunmaktadır ve litosferde oldukça yaygın olarak yarı iletkenlik gösteren

metalik bir elementtir. Ga elementinin 6 tane izotopu olmasına rağmen sadece 2 tanesi ^{69}Ga (60.4%) ve ^{71}Ga (39.6%) kararlı yapıdadır [10]. Ga +1 ve +3 değerlikli oksidasyon durumlarına sahip olmasıyla birlikte rahatlıkla birçok madde ile (bromürler, klorürler, hidritler, selenitler, nitritler, oksitler ve sülfütler) bileşik oluşturabilmektedir [11]. Düşük sıcaklıklarda halojenlerle birlikte rahatlıkla kuvvetli reaksiyona girebilmektedirler [12]. Hem sucul ortamlarda hem de yoğun bir sodyum hidroksit çözeltisinde hızla çözülmektedir [13]. Kimyasal olarak çinkoya benzer ve alüminyumdan biraz daha az reaktif olan, Ga yarı iletken özelliğinden dolayı mikrodalga alıcı-vericilerinde, DVD'lerde, kompakt disklerdeki lazer diyotlarda, mıknatıs üretiminde, petrol endüstrisinde, tıp alanında ve diğer optoelektronik uygulamalarda kullanılmaktadır [14]. Bu yüzden talep son zamanlarda artmıştır. Başlıca kaynağı ise büyük miktarlarda alümina üreten Bayer proses tesislerinden gelen sodyum alüminat likörüdür [15]. Galyum arsenit endüstrisinden çıkan atıkların büyük bir kısmı hem ekonomik hem de çevresel nedenlerle geri kazanılmaktadır [16]. Bitkiler üzerindeki toksisitesi hakkında sınırlı sayıda çalışmalar yapılmıştır [17-18]. Ancak yapılan çalışmalar Ga^{+3} ve Al^{+3} formlarının yüksek konsantrasyonlarında bazı bitkiler üzerinde aynı toksik etkiye sahip olduğunu belirtilmiştir [19].

Çalışmaya konu olan diğer bir element olan kükürt (S)'tür. S, her canlı hücrenin temel yapı taşını oluşturan 20 amino asitten ikisinin bir bileşenidir [20]. Hem inorganik hem de organik olarak toprakta karbon (C) bağlı ve C bağlı olmayan formda bulunmaktadır [21]. Tüm makro besinler arasında S, zararlılara karşı potansiyel savunma özellikleri gösteren ve bitkiler için beslenme potansiyeli açısından oldukça önemli bir besindir [22]. Ancak H_2S gibi bazı formları, yüksek konsantrasyonda bitkiler için toksik etki oluşmasını sağlamaktadır. Sülfatların toksik özellikleri genellikle H^+ dahil olmak üzere ilişkili katyonlarının özellikleridir [23]. Özellikle hava kirliliği kaynaklı olarak SO_2 formunda toksik etki özelliği bulunmaktadır [24]. Atmosfere salınan emisyonların %80'ini sülfür içerikli bileşikler oluşturmaktadır [25]. Bunlarında %50 ile %70 arası önce aynı bölgede daha sonra taşınım ile birlikte uzak bölgelerde birikim yapmaktadır [26]. S içerikli gazların doğal yollarla atmosfere salınmasını yani biyolojik (denizler ve okyanuslardan salınan aerosoller, anaerobik ortamda üretilen H_2S, çürüme vb.) ve jeokimyasal (volkanlar ve fumaroller vb.) girdiler ile büyüklüğünü ve miktarını ölçmek imkansızken insan kaynaklı faaliyetlerden salınan kükürt içeriklerinin tahmin edilmesi mümkün olabilmektedir [27]. Bu tür elementlerin konsantrasyonlarının takip edilmesi için birçok bitkinin iyi bir biyomonitor olduğu bilinmektedir. Özellikle kentsel alanlarda peyzaj amaçlı kullanılan bitkiler biyomonitor olarak sıklıkla kullanılmaktadır [28]. Biyomonitor olarak kullanılan bitkilerin çeşitli organlarında kirleticilerin birikim yaptıkları görülmüştür [29]. Bitkilerin organlardaki kirletici konsantrasyonunun belirlenmesi ile havadaki ya da topraktaki konsantrasyonu hakkında önemli bilgiler sağlanabilmektedir. Bundan dolayı bitkiler uzun yıllardır biyomonitor olarak kullanılmaktadır [30].

Bitkilerin elementel kirliliğin izlenmesinde biyomonitor olarak kullanımları ile ilgili olarak çok sayıda çalışma yapılmıştır [31]. Yapılan çalışmalarda likenler, yosunlar ve yüksek yapılı bitkiler kirliliğin belirlenmesi amacıyla kullanılmaktadır [32]. Yüksek yapılı bitkiler liken ve yosunların aksine farklı özelliklerdeki organlardan oluşmaktadırlar ve her bir organın kirletici biriktirme potansiyeli farklı olabilmektedir [33]. Bundan dolayı bu bitkilerin yaprakları, dalları, tohumları, kabukları, odunları gibi organları da kirleticilerin konsantrasyonlarının belirlenmesinde kullanılabilmektedir [34]. Kirleticilerin bitki bünyesine girişi ve birikiminde çok sayıda faktör eş zamanlı olarak etkili olmaktadır [35]. Öncelikle bitki türü bu faktörlerin başında gelmektedir. Çünkü kirleticilerin bitki bünyesine girişi metabolik faaliyetlerin sonucudur. Bitki metabolizması öncelikle genetik yapı ile çevresel faktörlerin etkisi altında farklılık göstermektedir [36]. Dolayısıyla bu faktörler bitkinin bütün fonksiyonlarını etkilemektedir. Bu faktörlerden ilki olan genetik yapı, bitki türü bazında önemli ölçüde değiştiği gibi bitkinin alt türü, formu, varyetesi ve orijinleri bazında da önemli ölçüde değişmektedir [37]. Yapılan çalışmalar pek çok fenolojik, morfolojik ve anatomik özelliğin bitki genetik yapısına bağlı olarak önemli ölçüde değiştiğini göstermektedir [38]. Bitki metabolizmasını etkileyen genetik yapının farklılaşmasına sebep olan bu faktörlerin, bitkinin ağır metal biriktirme potansiyelini de etkileyebildiği, yapılan çalışmalarda ortaya konmuştur [39].

Ağaçların yıllık halkalarının biyomonitor olarak kullanılabilirliğine ilişkin çalışmalar yapılmaktadır [40]. Buna rağmen kirleticilerin bitki bünyesine girişlerinden itibaren bitki içerisindeki türleşmeleri ve organlar arasında geçişleri konusundaki bilgiler oldukça sınırlıdır [41]. Bu çalışma, ağaç halkalarının biyomonitor olarak kullanımına ilişkin mevcut literatür irdelenmiş ve araştırma kapsamı tanımlanmıştır. Çalışma kapsamında Kocaeli ilindeki yoğun sanayi bölgesinde yetişen 3 farklı ağacın yıllık halkalarındaki bazı Ga ve S konsantrasyonlarının, bitkinin farklı organlarındaki ve zamana bağlı değişimi belirlenmiştir. Bu amaçla kullanılan bitkiler sırasıyla *Robinia pseudoacacia*, *Cupressus arizonica* ve *Platanus orientalis*'dir. Elde edilen veriler yorumlanarak ağacın dış kabuğu, iç kabuğu ve odunlarındaki birikimin hangi ölçüde olduğu hakkında fikir verebileceği amaçlanmıştır. Ağaçların yıllık halkalarındaki Ga ve S konsantrasyonlarının yıl bazında nasıl değiştiği ve bunların yıl bazında değişiminin birbirleriyle paralellik gösterip göstermediği belirlenmeye çalışılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışma Kocaeli il merkezine ait organize sanayi bölgesinden 2021 yılının Ocak ayında ana gövdeden alınan yalancı akasya (*Robinia pseudoacacia*), arizona servisi (*Cupressus arizonica*) ve doğu çınarı (*Platanus orientalis*) ağaçları kütüklerinin üzerinde gerçekleştirilmiştir. Ağaçların yetiştiği yerler trafik yoğunluğu açısından düşük ancak sanayi faaliyetleri açısından oldukça yüksek kapasiteli alanlardır. Ağaçlar yerden yaklaşık 50 cm yükseklikten gövde kısmından yaklaşık 10 cm kalınlığında kütük örneği, kuzey yönü kütük üzerinde işaretlenerek alınmıştır. Alınan kütüğün üst yüzeyi laboratuvarda yıllık halkaların daha belirgin şekilde görünebilmesi amacıyla ağaç rendesi kullanılarak pürüzsüz hale getirilmiştir. Her biri 30 yaşında olduğu belirlenen bu ağaçların yıllık halkaları, genişlikleri dikkate alınarak üçer yıllık olacak şekilde yani 1991 yılından 2020 yılına kadar gelmiştir. Odun yüzeyi gruplara ayrılıp yaş aralıkları belirlendikten sonra çelik uçlu matkap yardımı ile dış kabuktan, iç kabuktan ve her yaş aralığındaki odundan örnekler alınarak cam petri kaplarına konulmuştur. Alınan odun örnekleri 1-2 cm aralığına metal kullanılmadan getirilmiştir. Cam kaplara alınan örnekler 10 gün boyunca ağızları açık şekilde oda sıcaklığında bekletilmiş daha sonra etüve alınarak 50 °C'de 48 saat boyunca kurutulmuştur. Etüvden alınan numunelerden 0,5 gr tartılıp 6 ml %65'lik HNO_3 ve 2 ml %30'luk H_2O_2 eklenerek mikrodalga fırınında 200 °C de 15 dk boyunca yakma işlemi yapılmıştır. Çıkan numuneleri ultra saf su ile 50 ml'ye tamamlanarak ICP-OES cihazında Ga ve S analizleri yapılmıştır. Çalışmada bütün ölçümler üç tekrarlı ve elde edilen veriler SPSS 22.0 paket programı kullanılarak Varyans analizi (ANOVA) ve Duncan testi uygulanmıştır.

3. BULGULAR

Çalışmaya konu türlerde Ga ve S konsantrasyonlarının organa ve yaşına bağlı olarak değişimi her bir element için ayrı ayrı değerlendirilmiş, elementlerin konsantrasyonlarına ilişkin ortalama değerler ile varyans analizi ve Duncan testi sonuçları sadeleşmiş bir şekilde yorumlanmıştır.

3.1. Ga Konsantrasyonunun organa ve türlere bağlı değişimi

Çalışmada değerlendirilen elementler içerisinde olan Ga elementinin konsantrasyonunun organa bağlı olarak değişimi Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Ga Konsantrasyonunun (ppm) Organa ve Türlere Bağlı Değişimi

Organ	Türler			F-değeri
	Robinia pseudoacacia	***Cupressus arizonica***	***Platanus orientalis***	
Odun	5,9 Aa	8,8 Ba	9,0 Bb	85,3***
İç Kabuk	7,0 Aa	9,9 Cb	8,4 Bb	83,5***
Dış Kabuk	9,4 Bb	10,7 Cb	6,8 Aa	56,3***
F-değeri	10,1***	11,8***	9,9***	

Uppercase letters show horizontal direction, however lowercase letters indicate vertical directions.
*** p<0,001

Varyans analiz sonuçlarına göre Ga elementinin konsantrasyonun organ bazında her üç türde de değişiminin istatistiki olarak anlamlı düzeyde (p<0,001) olduğu belirlenmiştir. Duncan testi sonuçları dikkate alındığında *Robinia pseudoacacia* ve *Platanus orientalis*'de odun ve iç kabukta elde edilen değerler aynı grupta yer alırken, *Cupressus arizonica*'da iç kabuk ve dış kabukta aynı grupta yer almıştır. Tablo değerlerine göre dış kabukta en düşük değer 6,8 ppm ile *Platanus orientalis*, en yüksek değer 10,7 ppm ile *Cupressus arizonica*'da, iç kabuk kısmının da en yüksek değer 9,9 ppm ile *Cupressus arizonica*, en düşük değer 7 ppm ile *Robinia pseudoacacia'*da elde edilmiştir. Odun kısmında ise en düşük değer 5,9 ppm ile *Robinia pseudoacacia*, en yüksek değer 9 ppm ile *Platanus orientalis*'de elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre genel olarak en düşük değerlerin *Robinia pseudoacacia*, en yüksek değerlerin ise *Cupressus arizonica*'da elde edildiği söylenebilir. Odunlardaki Ga konsantrasyonunun yaş aralığı ve türe bağlı olarak değişimi Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Ga Konsantrasyonunun (ppm) Türlere ve Yıllara Göre Değişimi

Yıllar	Türler			F-değeri
	Robinia pseudoacacia	***Cupressus arizonica***	***Platanus orientalis***	
2018-2020	3,3 Aa	8,5 Bb	9,9 Ccd	160,6***
2015-2017	4,3 Ab	8,4 Bab	9,1 Babcd	90,9***
2012-2014	5,1 Ac	9,1 Bbcd	8,3 Ba	53,4***
2009-2011	6,8 Ae	9,1 Bbcd	8,9 Babc	14,6**
2006-2008	5,9 Ad	9,8 Cd	8,3 Ba	25,9**
2003-2005	6,4 Ade	8,6 Bb	9,7 Cbcd	74,6***
2000-2002	6,6 Ade	8,7 Bbc	8,7 Bab	10,5*

1997-1999	5,9 Ad	7,6 Ba	8,2 Ba	39,3***
1994-1996	6,3 Ade	9,2 Bbcd	8,4 Ba	24,9**
1991-1993	8,4 Af	9,4 Bcd	10,1 Cd	20,4**
F-değeri	28,8***	5,4**	4,6**	

Büyük harfler yatay yönü, küçük harfler dikey yönü temsil etmektedir.
*** p<0,1, ** p<0,01, *** p<0,001

Ga elementinin yaş aralığına göre değişimini gösteren değerleri incelendiğinde *Robinia pseudoacacia* 'da en yüksek değerin 1991-1993 yıllarında 8.4 ppm ile, en düşük değerin 2018-2020 yıllarında 3.3 ppm ile, *Cupressus arizonica* 'da en düşük değerin 1997-1999 yıllarında 7.6 ppm ile, en yüksek değerin 2006-2008 yıllarında 9.8 ppm ile, *Platanus orientalis'*de en yüksek değerin 1991-1993 yıllarında 10 ppm ile, en düşük değerin 1997-1999 yıllarında 8.2 ppm ile elde edildiği görülmektedir. Varyans analiz sonuçlarına göre Ga konsantrasyonunun türlere bağlı değişiminin bütün yaş aralıklarında istatistiki olarak en az %99 güven düzeyinde (p<0,1) anlamlı olduğu belirlenmiştir. Değerler incelendiğinde Ga konsantrasyonunun tür veya yıl bazında düzenli şekilde değiştiğini söylemek oldukça güçtür. Bu durum bitkilerde Ga konsantrasyonunun değişiminin birinci derecede tür veya yıla bağlı olarak değişmediği, başka faktörlerin daha baskın olduğu şeklinde yorumlanabilir.

3.2. S Konsantrasyonunun organa ve türlere bağlı değişimi

Çalışmada değerlendirilen elementler içerisinde olan S elementinin konsantrasyonunun organa bağlı olarak değişimi Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. S Konsantrasyonunun Organa ve Türlere Bağlı Değişimi

Organ	**Türler**			**F-değeri**
	Robinia pseudoacacia	***Cupressus arizonica***	***Platanus orientalis***	
Odun	127,8 Ba	46,6 Aa	217,6 Ca	21,7***
İç Kabuk	502,4 Bb	365 Ab	1119,9 Cb	15222,9***
Dış Kabuk	1209,5 Cc	1052,6 Ac	1127,3 Bb	820,6***
F-değeri	65,8***	64668,4***	2533,6***	

Büyük harfler yatay yönü, küçük harfler dikey yönü temsil etmektedir.
*** p<0,001

Varyans analiz sonuçlarına göre S elementinin konsantrasyonun organ bazında her üç türde de değişiminin istatistiki olarak anlamlı düzeyde (p<0,001) olduğu belirlenmiştir. Duncan testi sonuçları dikkate alındığında en düşük değerler odunda en yüksek değerler ise dış kabukta elde edilmiştir. Türlerde her organ ayrı bir grup oluşturmuştur. Her üç türde de dış kabukta elde edilen değerlerin iç kabuk ve odunda elde edilen değerlerden fazla olması dikkat çekmektedir. Tablo değerlerine göre dış kabukta en düşük değer 1052,6 ppm ile *Cupressus arizonica*, en yüksek değer 1209,5 ppm ile *Robinia pseudoacacia*, iç kabuk kısmının da en yüksek değer 1119,9 ppm ile *Platanus orientalis*, en düşük değer 365 ppm ile *Cupressus arizonica'*de elde edilmiştir. Odun kısmında ise en düşük değer 46,6 ppm ile *Cupressus arizonica*, en yüksek değer 217,6 ppm ile *Platanus orientalis'*de elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre genel olarak en düşük değerlerin *Cupressus arizonica*, en yüksek değerlerin ise *Platanus orientalis*'da elde edildiği söylenebilir. Odunlardaki S konsantrasyonunun yaş aralığı ve türe bağlı olarak değişimi Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. S Konsantrasyonunun (ppm) Türlere ve Yıllara Göre Değişimi

Yıllar	**Türler**			**F-değeri**
	Robinia pseudoacacia	***Cupressus arizonica***	***Platanus orientalis***	
2018-2020	629,2 Cg	41,2 Ab	257,6 Bj	14895,3***
2015-2017	74,6 Bd	51 Ag	187 Cc	44368,9***
2012-2014	75,4 Bd	54,9 Ai	210 Ce	24645***
2009-2011	71,4 Bd	45,2 Ad	175,4 Ca	27964***
2006-2008	60,3 Bc	51,5 Ah	178 Cb	56449,9***
2003-2005	120,9 Bf	49,3 Af	225,5 Cf	14573,3***
2000-2002	98,6 Be	43,7 Ac	247,4 Ch	58302,4***
1997-1999	52,7 Bb	46,6 Ae	203,6 Cd	141166,1***
1994-1996	47,5 Ba	39,4 Aa	237,4 Cg	37325,8***
1991-1993	47,2 Ba	43,5 Ac	254,5 Ci	1205083,2***
F-değeri	16702,8***	1115,2***	2400,5***	

Büyük harfler yatay yönü, küçük harfler dikey yönü temsil etmektedir.
*** p<0,001

S elementinin yaş aralığına göre değişimini gösteren değerleri incelendiğinde *Robinia pseudoacacia* 'da en yüksek değerin 2018-2020 yıllarında 629,2 ppm ile, en düşük değerin 1991-1993 yıllarında 47,2 ppm ile,

Cupressus arizonica'da en düşük değerin 1994-1996 yıllarında 43,5 ppm ile, en yüksek değerin 2012-2014 yıllarında 54,9 ppm ile, *Platanus orientalis*'de en yüksek değerin 2018-2020 yıllarında 257,6 ppm ile, en düşük değerin 2009-2011 yıllarında 175,4 ppm ile elde edildiği görülmektedir. Varyans analiz sonuçlarına göre S konsantrasyonunun türlere bağlı değişiminin bütün yaş aralıklarında istatistiki olarak en az %99 güven düzeyinde ($p<0,001$) anlamlı olduğu belirlenmiştir. Değerler incelendiğinde S konsantrasyonunun tür veya yıl bazında düzenli şekilde değiştiğini söylemek oldukça güçtür. Bu durum bitkilerde S konsantrasyonunun değişiminin birinci derecede tür veya yıla bağlı olarak değişmediği, başka faktörlerin daha baskın olduğu şeklinde yorumlanabilir.

4. TARTIŞME VE SONUÇ

Çalışma sonucunda elementlerin organ bazındaki değişimin büyük oranda istatistiki olarak en az %95 güven düzeyinde anlamlı olduğu belirlenmiştir. Ga ve S elementinde en düşük değerler odunlarda elde edilirken dış kabuktaki konsantrasyonlarının oldukça yüksek olması dikkat çekmektedir. Çeşitli kirleticiler konusunda yapılan çalışmalarda organ bazındaki değişimlerin trafik yoğunluğuna ya da sanayi bölgelerindeki kirletici salınımlarına bağlı olarak konsantrasyonlarının büyük oranda farklılaştığı belirtilmektedir [42]. Yapılan bir çalışmada ağır metallerin değişimini incelenmiş ve en düşük konsantrasyonların odunda, en yüksek konsantrasyonlarının ise dış kabukta elde edildiğini belirlemiştir [43]. Diğer bir çalışmada Pb, Co ve Fe elementlerinde en yüksek konsantrasyonları dış kabukta, en düşük konsantrasyonları ise odunda elde etmişlerdir [35]. Her iki çalışmada da dış kabukta konsantrasyonlar diğer organlara göre oldukça fazla olduğu görülmüştür. Yapılan iki ayrı çalışmada dış kabuktaki bazı kirleticilerin konsantrasyonlarının, diğer organlardakinden çok daha yüksek seviyelerde olduğunu belirtmektedir [37-38]. Diğer bir çalışmada kabuk kısmında Pb birikiminin aşırı derecede yüksek olduğunu, bu durumun da Pb konsantrasyonlarının topraktan değil atmosferden doğru emildiğinin kanıtı olduğunu ileri sürmüşlerdir [44]. Benzer şekilde ağaç yıllık halkalarındaki Hg'nın da büyük oranda atmosferik kaynaklı olduğu belirtilmektedir [45]. Farklı çalışmalarda Pb, Cd, Cr ve Ni gibi ağır metal konsantrasyonlarının, kabuklarda odunlardakinden çok daha yüksek düzeyde bulunması da bu tezi destekler niteliktedir [46]. Yapılan diğer çalışmalarda yıllık halkalardaki Zn ve Pb konsantrasyonlarının belirli bir dereceye kadar yer değiştirdiğini, Cu konsantrasyonunun ise hiç yer değiştirmediği belirtmişlerdir [47]. Nitekim pek çok çalışmada trafiğin ve sanayi tesislerinin pek çok ağır metalin en önemli kaynağı durumunda olduğu belirtilmiştir [48-50].

Dış kabuktaki ağır metal konsantrasyonlarının diğer organlardan daha yüksek seviyelerde olması ve bu durumun özellikle sanayinin yoğun olduğu bölgelerden alınan örneklerde çok daha net bir şekilde görülmesinin sebebinin büyük oranda kabuğun pürüzlü yapısı ve bu yapıya yapışan ağır metaller ile kontamine olmuş partikül maddelerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Yapılan çalışmalarda havadaki ağır metallerin partikül maddeler üzerine yapışarak, partikül maddeleri ağır metaller ile enfekte ettiği ve bu partikül maddelerin de bitki organları üzerine yerleşmesi ile bu organlardaki ağır metal konsantrasyonlarının yükseldiğini belirlenmiştir. Dış kabuğun pürüzlü yüzey yapısına sahip olması partikül maddelerin burada tutunmasını kolaylaştırmakta, özellikle trafiğin ve sanayinin yoğun olduğu alanlardaki kabuklarda ağır metal konsantrasyonlarının yüksek olması da bu yöndeki partikül maddelerin trafik ve sanayi kaynaklı ağır metaller ile kontamine olmasıyla açıklanmaktadır. Zira trafik ve sanayi en önemli ağır metal kaynaklarından birisidir. Bitkilerin partikül madde ve dolayısıyla ağır metalleri tutma ve alma potansiyeli bitki türlerinin fizyolojik özellikleri yanında ağır metalin yapısı ile de doğrudan ilişkilidir [51]. Dolayısıyla çalışma kapsamında bazı elementlerin konsantrasyonlarının trafiğin ve sanayinin yoğun olduğu yönde daha yüksek konsantrasyonlarda olması, bazılarının ise yöne bağlı değişiminin anlamsız düzeyde olması, elementlerin birikiminin pek çok faktöre bağlı olarak değişmesi ile açıklanabilir. Çünkü ağır metallerin bitki bünyesine girmesini ve birikmesini etkileyen pek çok faktör bulunmaktadır. Bitki türü, yağış ve rutubet miktarı, bitki habitusu, organın yapısı gibi bitki yapısı ve çevresel faktörlerin yanında, ağır metalin türü ve bitki ile etkileşimi de ağır metallerin bitki organlarında birikimini etkileyen önemli bir faktördür.

Çalışma kapsamında Ga ve S elementlerin organ ve yıl bazında değişiminin istatistiki olarak en az %95 güven düzeyinde anlamlı olduğu belirlenmiştir. Ancak elementlerin farklı dönemlerdeki konsantrasyonları farklı düzeyde olması bu durumu yine ağır metallerin bitki bünyesine girişini ve birikimini etkileyen çok sayıda faktör olması sebebiyle ortaya çıkarmaktadır. Ga ve S'ün bitki bünyesinde, özellikle de odun kısmında, transferinin kısıtlı olduğunu göstermektedir. Bu sebeple de odunların oluştuğu dönemde atmosferdeki Ga ve S konsantrasyonunun değişken olması, farklı yıllarda oluşan odunlardaki diğer kirletici konsantrasyonlarının da farklı düzeyde olmasına sebep olmaktadır. Çalışmanın ana amaçlarından birisi, bu elementlerin bitki bünyesine girişinden itibaren bitki içerisinde hareketi yani yer değiştirmesi konusunda bilgi edinmektir. Çalışma sonucunda hem aynı yönde birbirine bitişik durumda olan dış kabuk, iç kabuk ve odunlar arasında, hem de aynı yıl oluşan ancak bölgelerde olan ağaçların element konsantrasyonları bakımından büyük farklılıklar olabileceği belirlenmiştir. Bu durum, çalışmaya konu Ga ve S elementlerin organlar arasındaki transferinin oldukça sınırlı

olduğu şeklinde yorumlanabileceğini göstermektedir. Sonuç olarak bu çalışmada *Robinia pseudoacacia*, *Cupressus arizonica* ve *Platanus orientalis* 'in yıllar boyunca üzerinde birikim yapabildiği Ga ve S konsantrasyonlarının organ faktörüne bağlı olarak değişimi belirlenmiştir. Değerlendirme sonuçlarına göre bu konsantrasyonların yakın geçmişten günümüze değişimine sebep olabilecek endüstriyel faaliyetler, tarımsal aktiviteler ve kullanılan fosil yakıtların birikimi ve buradan çıkan kirleticilerin birbirleriyle reaksiyonları sonucu oluştuğunu göstermiştir. Ga konsantrasyonunun düzeyleri için kullanılabilecek en uygun türün *Cupressus arizonica* olmasına karşın S konsantrasyonlarının izlenmesinde en uygun türün *Robinia pseudoacacia ve Cupressus arizonica'da* olduğu tespit edilmiştir.

Kaynakça

[1]. A. Rehman, H Ma, M. Ahmad, M. Irfan, O. Traore and A. A. Chandio, Towards environmental Sustainability: Devolving the influence of carbon dioxide emission to population growth, climate change, Forestry, livestock and crops production in Pakistan, *Ecological Indicators*, 125, 107460, 2021.

[2]. S. Öztürk, Ö. Işınkaralar and D. Yılmaz, Restorasyon çalışmaları sonrası yerel halkın algı ve tutumları (Kayseri kalesi örneği), *Doğu Coğrafya De*rgisi 26(45), 183-194, 2021.

[3]. S. Öztürk, Ö. Işınkaralar, D. Yılmaz, H. Çılgınoğlu, Bir Kültür Turizmi Destinasyonu Olarak Hasankeyf Örneğinde Ziyaretçi Memnuniyeti, *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 23 (2), 359-369. DOI: 10.24011/barofd.901027, 2021

[4]. S. Ozturk, O. Isinkaralar, F. Kesimoglu, (2021). An Assessment on Shopping Centers as Consumption Places, *KUJES* 7(1):65-73.

[5]. S. Öztürk, Ö. Işınkaralar, D. Yılmaz, M. İhtiyar, Koruma Yaklaşımı Olarak Tarihi Bir Güzergâhın Kültür Rotasına Dönüştürülmesi: Kastamonu Örneği, *Turar Turizm ve Araştırma Dergisi*, 29(2), 144-159, 2020.

[6]. S. Ozturk, O. Isinkaralar, D. Yilmaz and E. Cicek, Tourists' Perspective Of Cultural Heritage Areas: Importance-Performance Analysis Of Safranbolu. *Research & Reviews In Architecture, Planning and Design,* Gece Akademi, Chapter 7, pp. 133-155, 2021.

[7]. D. Baldocchi and J. Penuelas, The physics and ecology of mining carbon dioxide from the atmosphere by ecosystems, *Global Change Biology*, 25(4), 1191-1197, 2019.

[8]. A. Issakhov, A. Alimbek and Y. Zhandaulet, The assessment of water pollution by chemical reaction products from the activities of industrial facilities: Numerical study, *Journal of Cleaner Production*, 282, 125239, 2021.

[9]. B. Ravindran, N. Karmegam, A. Yuvaraj, R. Thangaraj, S. W. Chang, Z. Zhang and M. K. Awasthi, Cleaner production of agriculturally valuable benignant materials from industry generated bio-wastes: A review, *Bioresource Technology*, 320, 124281, 2021.

[10]. R. R. Moskalyk, Gallium: the backbone of the electronics industry. Miner. Eng. 16 (10), 921–929, 2003.

[11]. A. Tanaka, Toxicity of indium arsenide, gallium arsenide, and aluminium gallium arsenide, *Toxicol. Appl. Pharm*. 198, 405–411, 2004.

[12]. J. Poledniok, Speciation of scandium and gallium in soil, *Chemosphere* 73 (4), 572–579, 2008.

[13]. W. Yuan, J. Chen, H. Teng, B. Chetelat, H. Cai, J. Liu and C. Liu, A review on the elemental and isotopic geochemistry of Gallium, *Global Biogeochemical Cycles*, e2021GB007033, 2021.

[14]. A. M. Alfantazi, R. R. Moskalyk, Processing of indium: a review, *Miner. Eng*. 16, 687–694, 2003.

[15]. S. A. Wood and I. M. Samson, The aqueous geochemistry of gallium, germanium, indium and scandium, *Ore Geol*. Rev. 28, 57–102, 2006.

[16]. M. Swami, and K. Patel, Need of Gallium Recovery from Waste Samples: A Review, *Journal of Ravishankar University*, 34(1), 09-18, 2021.

[17]. Z. Abisheva and A. Zagorodnyaya, Hydrometallurgy in rare metal production technology in Kazakhstan, *Hydrometallurgy* 63 (1), 55–63, 2002.

[18]. A. Al-Aoukaty, V. D. Appanna and H. Falter, Gallium toxicity and adaptation in Pseudomonas fluorescens, *FEMS microbiology letters*, 92(3), 265-272, 1992.

[19]. H. W. Chen, Gallium, indium, and arsenic pollution of groundwater froma semiconductor manufacturing area of Taiwan. Bull. Environ, *Contam. Toxicol*. 77, 289–296, 2006.

[20]. W. L. Chou, C. T. Wang, K. C. Yang, Y. H. Huang, Removal of gallium (III) ions from acidic aqueous solution by supercritical carbon dioxide extraction in the green separation process, *J. Hazard. Mater*. 160 (1), 6–12, 2008.

[21]. S. Maneesuwannarat, A. S. Vangnai, M. Yamashita and P. Thiravetyan, Bioleaching of gallium from gallium arsenide by Cellulosimicrobium funkei and its application to semiconductor/electronic wastes, *Process Safety and Environmental Protection*, 99, 80-87, 2016.

[22]. C. Mc Eleney, S. Alvesand D. Mc Crudden, Novel determination of Cd and Zn in soil extract by sequential application of bismuth and gallium thin films at a modified screen-printed carbon electrode, *Analytica Chimica Acta*, 1137, 94-102, 2020.

[23]. T. Tokumaru, H. Ozaki, S. Onwona-Agyeman, J. Ofosu-Anim and I. Watanabe, Determination of the extent of trace metals pollution in soils, sediments and human hair at e-waste recycling site in Ghana. Arch. Environ, *Contam. Toxicol*. 73, 377–390, 2017.

[24]. C. S. Ivanoff, A. E. Ivanoff, T. L Hottel, Gallium poisoning: a rare case report, *Food Chem. Toxicol*. 50, 212–215, 2012.

[25]. P. Bartocci, M. Barbanera, M. D'Amico, P. Laranci, G. Cavalaglio, M. Gelosia and F. Fantozzi, Thermal degradation of driftwood: Determination of the concentration of sodium, calcium, magnesium, chlorine and sulfur containing compounds, *Waste Management*, 60, 151-157, 2017.

[26]. A. Milito, M. Brancaccio, G. D'Argenio and I. Castellano, Natural sulfur-containing compounds: an alternative therapeutic strategy against liver fibrosis, *Cells*, 8(11), 1356, 2019.

[27]. S. M. S. Mirnezami, F. Zare Kazemabadi and A. Heydarinasab, Sulfur Production by Hydrogen Sulfide Biological Removal from Pollutants, *Progress in Chemical and Biochemical Research*, 191-206, 2021.
[28]. B. Aricak, M. Cetin, R. Erdem, H. Sevik and H. Cometen, The Usability of Scotch Pine (Pinus sylvestris) as a Biomonitor for Traffic-Originated Heavy Metal Concentrations in Turkey, *Polish Journal of Environmental Studies*, 29(2), 2020.
[29]. H. A. A. Alaqouri, C. O. Genc, B. Aricak, N. Kuzmina, S. Menshikov and M. Cetin, The possibility of using scots pine needles as biomonitor in determination of heavy metal accumulation, *Environmental Science and Pollution Research*, 27(16), 20273-20280, 2020.
[30]. D. S. Savas, H. Sevik, K. Isinkaralar, A. Turkyilmaz and M. Cetin, The potential of using Cedrus atlantica as a biomonitor in the concentrations of Cr and Mn, *Environmental Science and Pollution Research* 28, 55446–55453. https://doi.org/10.1007/s11356-021-14826-1, 2021.
[31]. H. Sevik, M. Cetin, H. B. Ozel and B. Pinar, Determining toxic metal concentration changes in landscaping plants based on some factors, *Air Quality, Atmosphere ve Health*, 12 (8), 983-991, 2019a.
[32]. H. Sevik, M. Cetin, H. B. Ozel, A. Erbek and I. Z. Cetin, The effect of climate on leaf micromorphological characteristics in some broad-leaved species, *Environment, Development and Sustainability*, 23(4), 6395-6407, 2021a.
[33]. H. Sevik, M. Cetin, H. U. Ozel, H. B. Ozel, M. M. M. Mossi and I. Z. Cetin, Determination of Pb and Mg accumulation in some of the landscape plants in shrub forms, *Environmental Science and Pollution Research*, 27 (2), 2423-2431, 2020a.
[34]. H. Sevik, M. Cetin, A. Ozturk, H. B. Ozel and B. Pinar, Changes in Pb, Cr and Cu concentrations in some bioindicators depending on traffic density on the basis of species and organs. Applied Ecology and Environmental Research, 17 (6), 12843-12857, 2019b.
[35]. H. Sevik, M. Cetin, N. Yigit, B Aricak, S. Ozturk, A. K. Onac and I. S. K. Kuscu, The effect of shadow conditions on stomatal characters of several plants used in landscape design, *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 9(3), 109-115, 2021b.
[36]. A. Turkyılmaz, H. Sevik, K. Isinkaralar and M. Cetin, Using Acer platanoides annual rings to monitor the amount of heavy metals accumulated in air, *Environmental monitoring and assessment*, 190:578, 2018.
[37]. A. Turkyılmaz, H. Sevik, K. Isinkaralar and M. Cetin, Use of tree rings as a bioindicator to observe atmospheric heavy metal deposition, *Environmental Science and Pollution Research*, 26 (5), 5122-5130, 2019.
[38]. A. Turkyılmaz, M. Cetin, H. Sevik, K. Isinkaralar and E. A. A. Saleh, Variation of heavy metal accumulation in certain landscaping plants due to traffic density, *Environment, Development and Sustainability*, 22 (3), 2385-2398, 2020.
[39]. I. Koç, Using Cedrus atlantica's annual rings as a biomonitor in observing the changes of Ni and Co concentrations in the atmosphere, *Environmental Science and Pollution Research*, 1-7, 2021a.
[40]. I. Koc, Examining Seed Germination Rate and Seedlings Gas Exchange Performances of Some Turkish Red Pine Provenances Under Water Stress. Düzce University Journal of Science ve Technology, 9(3), 48-60, 2021b.
[41]. H. Akarsu, Atmosferdeki Ağır Metal Birikiminin Yıllık Halkalar Yardımı İle Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Ensitüsü. Kastamonu, 2019.
[42]. X. Zhang, The history of pollution elements in Zhengzhou, China recorded by tree rings, *Dendrochronologia*, 54, 71-77, 2019.
[43]. M. Shahid, C. Dumat, S. Khalıd, E. Schreck, T. Xiong, and N. K. Niazi, Foliar heavy metal uptake, toxicity and detoxification in plants: A comparison of foliar and root metal uptake, *Journal of hazardous materials*, 325, 36-58, 2017.
[44]. H. Ş. Gözüdeli, Usability of Kazdağı Fir (Abies nordmanniana subsp. equi-trojani (Asc. ve Sint. ex Boiss) coode ve cullen) as a Biomonitor For Heavy Metal Pollution Monitoring, Kastamonu University Graduate School of Natural and Applied Sciences Department of Sustainable Agriculture and Natural Plant Resources, MsC Thesis, 70 pages, 2021.
[45]. E. Solgı, M. Keramaty and M. Solgi, Biomonitoring of airborne Cu, Pb, and Zn in an urban area employing a broad leaved and a conifer tree species, *Journal of Geochemical Exploration*, 208, 106400, 2020.
[46]. S. Giordano, V. Spagnuolo and F. Capozzi, Biomonitoring of Air Pollution, *Atmosphere*, 12, 433. https://doi.org/10.3390/atmos12040433, 2021.
[47]. P. Shults, P. Nzokou and I. Koc, Nitrogen contributions of alley cropped Trifolium pratense may sustain short rotation woody crop yields on marginal lands, *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 117(2), 261-272, 2020.
[48]. M. Cetin, H. Sevik and O. Cobanoglu, Ca, Cu, and Li in washed and unwashed specimens of needles, bark, and branches of the blue spruce (Picea pungens) in the city of Ankara, *Environmental Science and Pollution Research*, 1-10, 2020.
[49]. S. R. Oliva and A. F. Espinosa, Monitoring of heavy metals in topsoils, atmospheric particles and plant leaves to identify possible contamination sources, *Microchemical Journal*, 86(1), 131-139, 2007.
[50]. N. Khalid, A. Masood, A. Noman, M. Aqeel and M. Qasim, Study of the responses of two biomonitor plant species (Datura alba & Ricinus communis) to roadside air pollution, *Chemosphere*, 235, 832-841, 2019.
[51]. M. Mu'taz and K. L. Mandiwana, The use of Aleppo pine needles as a bio-monitor of heavy metals in the atmosphere, *Journal of Hazardous Materials*, 148(1-2), 43-46, 2007.

HAVADAKI BTX DÜZEYLERİNİN GELİBOLU FERİBOT İSKELESİ ÇEVRESİNDEKİ DÜZEYLERİ

Müge Aydın[1], Sibel Menteşe[1,*]

[1] *Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü 17100, Merkez/Çanakkale* *muge.1995.24@gmail.com*

[*] *sibelmentese@gmail.com*

Özet

Çanakkale'ye bağlı Gelibolu ilçesinin atmosferinde meydana gelen hava kirleticilerinin en önemli kaynaklarından biri feribot iskelesi çevresindeki karayolu ve deniz trafiğidir. Bu çalışmada ana hedef kirleticiler uçucu organik bileşiklerden (UOB) benzen, toluen ve ksilenler (BTX) alt grubudur. Gelibolu feribot iskelesi çevresinde, trafik yoğunluğuna göre, iskeleden itibaren olan karasal ve deniz trafiği dikkate alınmıştır. Gelibolu ilçesi bilhassa yaz döneminde arabalı feribot ve gemi geçişlerindeki artış göz önüne alınarak hava kalitesine olan etkisi saptanmıştır. Çalışma döneminde trafik yükü mekânsal ve mevsimsel açısından farklılık göstermiştir. Bu çalışmanın amacı, Gelibolu'da çok sayıda örnekleme noktasında BTX bileşiklerinin zamansal ve mekânsal değişimini pasif örnekleme tekniği ile araştırmaktır. Çalışmanın sonuçlarına göre, Toluen en bol bulunan bileşiktir. BTX seviyeleri hafta içi ve hafta sonu günlerinde değişim göstermiştir. Çalışma genelinde ortalama seviyeler açısından Benzen 1,63 µg/m^3, Toluen 2,01 µg/m^3 ve Ksilenler (o,m,p) 2,85 µg/m^3 olarak gözlenmiştir. Bu çalışmada Gelibolu liman ve çevresinde hem günlük rutin trafiğin, hem de araçların feribota yüklenmesi nedeniyle dolaylı olarak karayolu trafiğinin UOB seviyelerine önemli katkısı olduğu ve şehir merkezinde yaşayan insanların sürekli UOB'lere maruz kaldıkları belirlenmiştir. Bu çalışma şimdiye kadar herhangi bir hava kalitesi araştırması yapılmamış Gelibolu için ilk çalışma olduğundan sonuçların bu güzergâhlardaki trafik kökenli hava kalitesini ortaya koymakta katkısının olacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Uçucu organik bileşikler, Karasal trafik, Hava Kirliliği, Çanakkale, Gelibolu.

BTX LEVELS IN THE AIR AROUND GELIBOLU HABOR

Abstract

One of the most important sources of air pollutants found in the atmosphere of the Gallipoli town of Çanakkale is road and sea transportation around the harbor. The main target air pollutant of this study is the subgroup of volatile organic compounds (VOCs), including benzene, toluene, and xylenes (BTXs). Both road and marine traffic loads through Gallipoli harbor is considered based on the traffic density. The main reason that air quality of Gallipoli town is investigated is that the number of vehicle-ferry boat and ship crossing is rising particularly during the summer season. Traffic load varied spatially and seasonally over the study period. The purpose of this study is to investigate the temporal and spatial variation of BTXs in different sampling points of Gallipoli with passive sampling technique. According to the results of the study, Toluene was the most abundant compound. BTX levels varied in week and weekend days. The average levels of compounds over the study course were as follows: Benzene 1.63 µg/m3, Toluene 2.01 µg/m3 and Xylenes (o,m,p) 2.85 µg/m3. This study showed that both routine daily traffic and vehicle loading into ferry, which indirectly increased the road traffic contributed to VOCs levels and also people living in the city center continuously exposed to VOCs. It was thought that the outcomes of this study will help to show the traffic originated air pollution through the harbor routes for the first time, since no study has been conducted in Gallipoli in terms of air quality.

Keywords: Volatile Organic Compounds, Road traffic, Air Pollution, Çanakkale, Gelibolu.

1. GİRİŞ

Son birkaç yılda hava kirliliği, artan endüstriyelleşme, kentleşme ve trafik yükünün artması sonucu olarak dünya çapında ciddi bir halk sorunu haline gelmiş ve karayolu trafiği uzun zamandır kentsel hava kirliliğine ciddi boyutlarda etki ettiği düşünülmektedir [1,2]. Motorlu taşıtlardan kaynaklanan egzoz emisyonları hava kirliliği üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. En önemli hava kirleticileri partikül madde (PM), ozon (O_3), karbon monoksit (CO), kükürt dioksit (SO_2), azot dioksit (NO_2), uçucu organik bileşikler (UOB'ler) ve aromatik hidrokarbonlar (PAH) yoğun bir endişe kaynağıdır [3]. Amerika'da yapılan bir çalışmada dünya genelinde kentsel ortamda 600 milyon insanın ciddi seviyelerde hava kirliliğine maruz kaldığı düşünülüyor [4]. Uçucu organik bileşikler diğer hava kirleticileri arasında hem ikinci aerosollerin oluşumdaki payı hem de insan vücudu üzerindeki toksik sağlık etkileri sebebiyle kentsel hava kalitesinin önemli bir kirletici sınıfıdır. Şehirlerde yoğun sanayileşme ve kentleşme nedeniyle BTEX (benzen, toluen, etilbenzen ve ksilen) bileşik emisyon oranları daha yüksek olmaktadır [5]. Uçucu organik bileşiklerin aromatik türleri arasında BTEX grubu (Benzen, toluen, etilbenzen ve ksilen) yer almaktadır. BTEX'lerin antropojenik kaynakları arasında solvent kullanımı yakıtların yanması ve araç emisyonları vb. kaynağı bulunmaktadır [1,6]. Havadaki BTEX bileşiklerine maruz kalındığında kanserojen, teratojenik etkilerinin yanında nörolojik bozukluklar ve kanserler gibi çeşitli sağlık etkileri bulunmaktadır [7,8].

Türkiye'de yapılan bazı çalışmalar; Çanakkale ve Kilitbahir Limanında yapılan çalışmada VOC seviyeleri tahmin edilmiş ve hem günlük trafiğin hem de feribotların oluşturduğu karayolu trafiğinden kaynaklı günlük, hafta/hafta sonu ve mekânsal olarak incelenmiş ve hava kalitesine önemli derece katkı sağladığı gözlemlenmiştir [9]. Düzce'de yapılan bir çalışmada pasif örnekleme yöntemi ile endüstriyel, evsel ve taşıt kaynaklı BTEX'lerin konsantrasyonlarına bakılmıştır [10]. Ankara'da yapılan bir çalışmada kış döneminde özellikle ısınma amaçlı yakıt tüketiminden dolayı UOB seviyelerinin daha yüksek olduğu bulunmuştur [11]. Van ilinde taşıtlardan kaynaklanan hava kirleticilerine UOB başta olmak üzere dört kirleticiye bakılmıştır ve toplam emisyon miktarlarına bakıldığında UOB emisyonun payı 70,41 ton/yıl olarak ölçülmüştür [12]. İzmir'de UOB seviyesini belirlemek için yapılan çalışmada BTX'ler taşıt emisyonlarından kaynaklı en çok bulunan UOB türü sırasıyla toluen, ksilen, benzen ve akilbenzen bileşikleridir [13]. İstanbul'da yapılan bir çalışmada, dizel araç emisyonlarının UOB katkı değerleri gündüz saatlerinde 7,2 $\mu g/m^3$ ve gece saatlerinde 6,6 $\mu g/m^3$ olarak hesaplanmıştır [14].

Çanakkale'nin Gelibolu ilçesinde kara ve deniz trafik yükünün fazla olması ve buna bağlı olarak trafik kaynaklı hava kirlliğine maruziyet söz konusudur. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'na bağlı Gelibolu ilçesinde herhangi bir hava kalitesi ölçüm istasyonu bulunmamasından dolayı hava kalitesinin mevcut durumunu ortaya koyacak ilk çalışmadır. Bu çalışmada Gelibolu bölgesindeki yoğun trafiğin etkisiyle ortaya çıkan uçucu organik bileşiklerin hava kalitesine etkisi belirlenmiştir. Yürütülen bu çalışma kapsamında ise; trafik kaynaklı hava kirleticilerden son zamanlarda dünya genelinde en çok çalışılan UOB türlerinden BTX düzeylerinin çoklu örnekleme noktalarından örnek alınarak Gelibolu'da havadaki kompozisyonunun trafik ile ilişkisi belirlenmiş ve değerlendirilmesi yapılmıştır.

Sonuç olarak çalışma bölgesinde elde edilen BTX düzeylerinin Gelibolu iskele ve çevresindeki mevcut durumu araştırılmış ve zamansal/mekânsal faktörlere bağlı olarak trafik yükünün şehirdeki dış hava kirliliğine sebep olan UOB emisyon miktarları incelenmiştir. Gelibolu bölgesinde hava kalitesini belirlemeye yönelik bir çalışma yapılmadığından ileri ki çalışmalara yol gösterici olduğu düşünülmektedir.

2. MATERYAL VE METOT

Şekil 1'de gösterilen çalışma alanından Haziran ile Kasım 2020 ayları arasında dış ortam havasında uçucu organik bileşiklerin (UOB) kara trafiğine yakınlık/uzaklık, kentsel/kırsal özellikte olma gibi özellikler dikkate alınarak ölçüm yapılmıştır. Gelibolu ilçesi, Çanakkale Boğazı kıyısında bulunması münasebetiyle yılın dört ayı sürekli hava akımlarının etkisinde kalmakta ve yılın büyük bir bölümü rüzgârlı (KD) hava hâkimdir [15]. Gelibolu ve Lâpseki feribot iskelelerindeki araç trafik yoğunluğu özellikle yaz aylarında kilometrelerce kuyrukların oluşmasına neden olmaktadır.

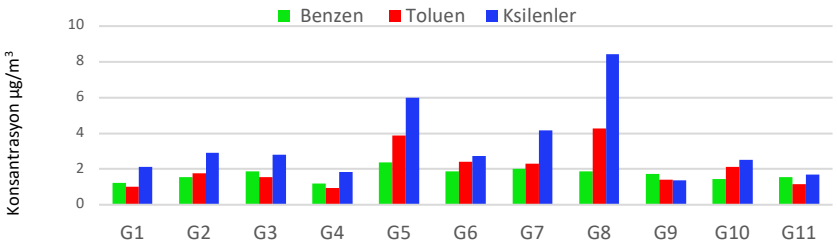
Şekil 1. Gelibolu iskele ve civar alanlardaki örnekleme noktaları

Örnekleme noktalarından toplanan UOB örnekleri pasif örnekleme yöntemi ile belirlenen çok sayıdaki örnekleme noktalarından ISO standardına uygun olarak toplanmıştır. Bu çalışmada örnekleme noktasından alınan numuneler Termal Desorber - Gaz Kromotografisi/Alev İyonlaşma Detektörü kullanılarak analizi yapılmıştır [16].

3. SONUÇ

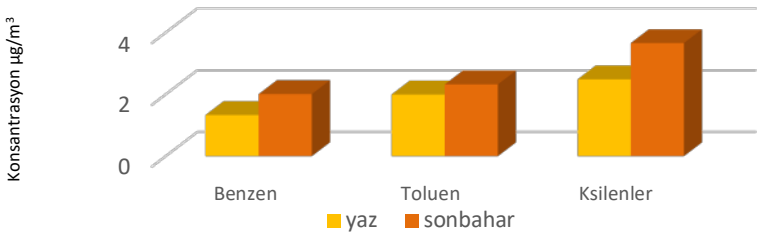
3.1. Mekansal ve Mevsimsel Model

Şekil 2'de Çanakkale'nin Gelibolu ilçesinden alınan pasif örneklerde BTX türlerinin konsantrasyon ortalamalarının mekânsal değişimi gösterilmektedir. Buna göre, en yüksek ortalama konsantrasyonlar arasında ksilenler (*o,m,p*) sırasıyla G8 noktası (8,42 µg/m^3), G5 noktası (5,99 µg/m^3), G7 noktası (4,18 µg/m^3); toluen sırasıyla G8 noktası (4,29 µg/m^3), G5 noktası (3,88 µg/m^3); benzen ise sırasıyla G5 noktası (2,38 µg/m^3), G7 noktası (2,07 µg/m^3) olarak ölçülmüştür.



Şekil 2: Gelibolu'da BTX bileşiklerinin konsantrasyonun mekansal değişimi (µg/m^3)

Şekil 3'de ise Çanakkale'nin Gelibolu ilçesinden alınan pasif örneklerde BTX türlerinin konsantrasyon ortalamalarının mevsimsel değişimi sonbahar ayında yüksekten düşüğe sırasıyla ksilenler (*o,m,p*) (3,66 µg/m^3), toluen (2,32 µg/m^3) ve benzen (2,01 µg/m^3) iken; yaz ayında yüksekten düşüğe sırasıyla ksilenler (*o,m,p*) (2,49 µg/m^3), toluen (2,00 µg/m^3) ve benzen (1,33 µg/m^3) olarak ölçülmüştür.



Şekil 3: Gelibolu'da BTX bileşiklerinin konsantrasyonların mevsimsel değişimi (µg/m^3)

4. TARTIŞMA

Yürütülen bu çalışma sonucunda deniz trafiği ve otomobil sayılarında ki artışlar, Çanakkale'nin Gelibolu ilçesinde hava kirliliğine ciddi etkileri olabileceği düşünülmektedir.Gelibolu Merkez ilçesinde Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında alınan hava örneklerine göre, en düşük BTX bileşikleri gözlenirken, en yüksek BTX bileşikleri Eylül, Ekim, Kasım aylarında gözlenmiştir. Çalışma genelinde ortalama seviyeler açısından Benzen 1,63 µg/m^3, Toluen 2,01 µg/m^3 ve Ksilenler (*o,m,p*) 2,85 µg/m^3 olarak gözlenmiştir.

Bu çalışmada Gelibolu liman ve çevresinde hem günlük rutin trafiğin, hem de araçların feribota yüklenmesi nedeniyle dolaylı olarak karayolu trafiğinin UOB seviyelerine önemli katkısı olduğu ve şehir merkezinde yaşayan insanların sürekli UOB'lere maruz kaldıkları belirlenmiştir. Bu çalışma şimdiye kadar herhangi bir hava kalitesi araştırması yapılmamış Gelibolu için ilk çalışma olduğundan sonuçların bu güzergâhlardaki trafik kökenli hava kalitesini ortaya koymakta katkısının olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

[1]. H.R. Ghaffari, Z. Kamari, M.S. Hassanvand, M. Fazlzadeh, M. Heidari. "Level of air BTEX in urban, rural and industrial regions of Bandar Abbas", Iran; indoor-outdoor relationships and probabilistic health risk assessment. Environmental Research, 200, 111745, 2021

[2]. R.M. Harrison, J. Allan, D. Carruthers, M.R., Heal, A.C. Lewis, B. Marner, A. Williams, A. "Non-exhaust vehicle emissions of particulate matter and VOC from road traffic: A review. Atmospheric Environment, 118592, 2021.

[3]. X. Han, L.P. Naeher. "A review of traffic-related air pollution exposure assessment studies in the developing world. Environment international", 32(1), 106-120, 2006.

[4]. R.R. Cacciola, M. Sarva, R., Polosa. "Adverse respiratory effects and allergic susceptibility in relation to particulate air pollution: flirting with disaster". Allergy, 57(4), 281-286, 2002.

[5]. C. Popitanu, G. Cioca, L. Copolovici, D., Iosif, F.D., Munteanu, D. Copolovici. "The Seasonality Impact of the BTEX Pollution on the Atmosphere of Arad City", Romania. International Journal of Environmental Research and Public Health, 18(9), 4858, 2021.

[6]. A. Garg, N.C. Gupta. "A comprehensive study on spatio-temporal distribution, health risk assessment and ozone formation potential of BTEX emissions in ambient air of Delhi", India. Science of the Total Environment, 659, 1090-1099, 2019.

[7]. A. Atamaleki, S. Motesaddi Zarandi, M. Massoudinejad, K. Samimi, Y. Fakhri, M. Ghorbanian, & A. Mousavi Khaneghah. "The effect of frying process on the emission of the volatile organic compounds and monocyclic aromatic group (BTEX)". International Journal of Environmental Analytical Chemistry, 2021, 1-14.

[8]. M.H. Dehghani, A.N. Baghani, M. Fazlzadeh, H.R. Ghaffari. "Exposure and risk assessment of BTEX in indoor air of gyms in Tehran, Iran". Microchemical Journal, 150, 104135, 2019.

[9]. S. Mentese, B. Akca, "Hot-spot summertime levels and potential sources of volatile organic compounds (VOC) on roads around Çanakkale and Kilitbahir harbors across Dardanelles strait." Atmospheric Pollution Research, 11(12), 2297-2307, 2020.

[10]. Z. Bozkurt, G. Küçükaçıl, N. Polat, Ö. Özden, T.D. Üzmez, E. Gaga. "Düzce İlinde Bazı İnorganikVe Uçucu Organik Bileşik Konsantrasyonlarının Mevsimsel Ve Alansal Dağılımlarının Belirlenmesi", 6. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu, 7-9 Ekim 2015, İzmir.

[11]. S. Mentese. "Bina içi hava kalitesinin belirlenmesi ve kaynaklarının tespiti", (Doktora tezi), Hacettepe Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, s.456, 2009.

[12]. A. Yakın, R. Behçet. "Van ili trafik kaynaklı hava kirleticilerinin emisyon envanteri". Journal of the Institute of Science and Technology, 9(3), 1567-1573, 2019.

[13]. A. Muezzinoglu, M. Odabasi, L. Onat. "Volatile organic compounds in the air of Izmir, Turkey". Atmospheric Environment, 35(4), 753-760, 2001.

[14]. S. Demir. "İstanbul atmosferinde uçucu organik bileşik kirliliğinin kaynaklarının belirlenmesi: YTÜ Davutpaşa Kampüsü örneği" Doktora tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 2011.

[15]. 2021, Gelibolu Belediyesi, [Online]. http://www.gelibolu.bel.tr/bpi.asp?caid=96&cid=283

[16]. ISO 16000-6, "US EPA Method TO17 Indoor air — Part 5: Sampling strategy for volatile organic compounds (VOCs), ISO, Geneva, 2006.

Teşekkür: *Bu çalışma FBA-2019-3103 numaralı Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından kısmen desteklenmiştir.*

ERDEMLİ (MERSİN) KIYI AKİFERİ SU KALİTESİNİN ARAŞTIRILMASI

Fatma Ece[1,*], Mehmet Ali Kurt[2], Ümit Yıldırım[3], Cüneyt Güler[4], Onur Güven[5]

[1], Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü 33343, Yenişehir/MERSİN newal.ece@gmail.com*

[2] Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü 33343, Yenişehir/MERSİN malikurt@mersin.edu.tr

[3] Bayburt Üniversitesi, Sanat ve Tasarım Fakültesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü 69000, BAYBURT umit.yildirim.1907@gmail.com

[4] Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü 33343, Yenişehir/MERSİN cguler@mersin.edu.tr

[5] Bayburt Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü 69000, BAYBURT onrgvn31@gmail.com

Özet

Kıyı akiferlerinin su kalitesi ve miktarı değişen iklim koşulları ve artan antropojenik faaliyetlerden gün geçtikçe daha fazla olumsuz yönde etkilenmektedir. Bu çalışma, 118Y476 nolu TUBİTAK projesi kapsamında gerçekleştirilmiş olup Erdemli Kıyı Akiferi'nin (EKA) su kalitesinin ve kirletici unsurlarının belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. Çalışma kapsamında Ağustos 2020'de yeraltı suyu örneklemesi yapılarak suların fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) içme suyu standartlarına göre değerlendirilmiştir. Ayrıca yeraltı sularının sulama suyu olarak kullanıma uygunluğu değerlendirilmiştir.

EKA yeraltı suyu örnekleri elektriksel iletkenlik bakımından değerlendirildiğinde; özellikle Akdeniz kıyısına yakın olan bazı noktalardaki örneklerin elektriksel iletkenlik değerlerinin oldukça yüksek olduğu görülmüştür. Elektriksel iletkenlik değerleri yüksek olan bu örneklerin sodyum ve klorür derişimlerinin de yüksek olduğu ve WHO'nun sınır değerlerinin üzerinde oldukları belirlenmiştir. EKA'da bir diğer önemli problem de nitrat kirliliğidir. Ağustos 2020 dönemi örneklerinin nitrat derişimleri 2,17-131,51 mg/L arasında değişmekte ve 15 örneğin nitrat derişimi 50 mg/L olan sınır değerinin (WHO) üzerinde çıkmıştır. Bazı örneklerin Al, Fe ve Ni element derişimlerinin WHO'da belirtilen sınır değerlerin üzerinde olduğu belirlenmiştir. Çalışma alanı yeraltı suları, tarımsal sulama suyu olarak kullanılabilirlik bakımından değerlendirildiğinde, deniz suyu girişiminin olduğu bölümlerdeki suların sulama suyu olarak uygun olmadığı belirlenmiştir.

Tarımsal faaliyetlerin yıl boyunca devam ettiği Erdemli'de, yeraltı suları yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Çalışma alanı ve civarında gün geçtikçe yeni tarım alanlarının açıldığı gözlenmektedir. Bu durum EKA alanındaki azalan su kaynaklarının üzerindeki yükü daha da artırmaktadır. Erdemli'de artan tarımsal faaliyetler için sulama ihtiyacı artarken, değişen iklim koşullarına bağlı olarak su kaynakları azalmaktadır. Sonuç olarak, Erdemli'de sürdürülebilir entegre su yönetiminin gecikmeksizin uygulanması gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Erdemli Kıyı Akiferi (EKA), Su kalitesi, Yeraltı suyu, Sulama suyu, Deniz suyu girişimi, Antropojenik faaliyetler, Tarımsal faaliyetler.

Abstract

The water quality and quantity of coastal aquifers are affected more and more negatively by changing climatic conditions and increasing anthropogenic activities. This study was carried out within the scope of the TUBITAK project numbered 118Y476 and was carried out to determine the water quality and pollutants of the Erdemli Coastal Aquifer (ECA). Within the scope of the study, groundwater sampling was carried out in August 2020 and the physical and chemical properties of the waters were determined. The results were evaluated according to the drinking water standards of the World Health Organization (WHO). In addition, the suitability of groundwater for use as irrigation water was evaluated.

When EKA groundwater samples are evaluated in terms of electrical conductivity; It has been observed that the electrical conductivity values of the samples, especially at some points close to the Mediterranean coast, are quite high. It was determined that the sodium and chloride concentrations of these samples, which had high electrical conductivity values, were also high and were above the WHO limit values. Another important problem in ECA is nitrate pollution. The nitrate concentrations of the August 2020 samples ranged between 2.17-131.51 mg/L and the nitrate concentration of 15 samples was above the limit value (WHO) of 50 mg/L. It was determined that the Al, Fe and Ni element concentrations of some samples were above the limit values specified in WHO. When the groundwater of the study area was evaluated in terms of usability as agricultural irrigation water, it was determined that the waters in the sections where seawater intrusion was not suitable as irrigation water.

In Erdemli, where agricultural activities continue throughout the year, groundwater is used intensively. It is observed that new agricultural areas are opened day by day in the study area and its surroundings. This situation further increases the burden on the decreasing water resources in the ECA area. While the need for irrigation for increasing agricultural activities in Erdemli increases, water resources are decreasing due to changing climatic conditions. As a result, sustainable integrated water management needs to be implemented without delay in Erdemli.

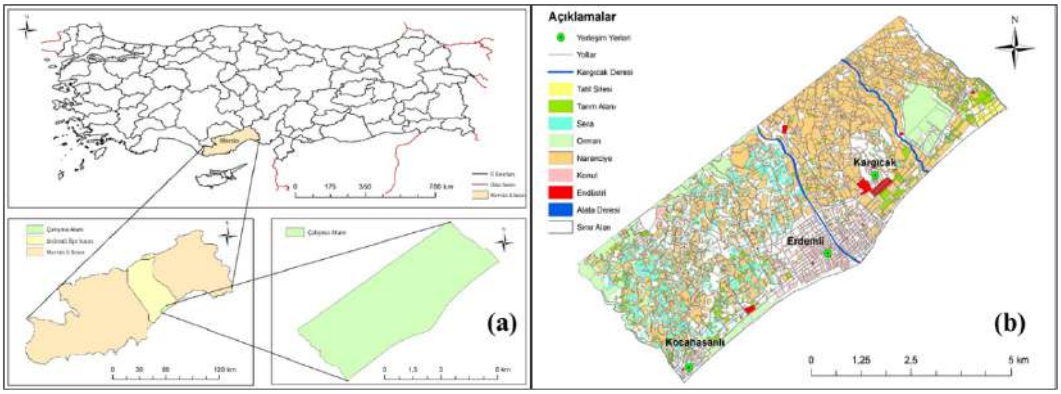
Keywords: Erdemli Coastal Aquifer (ECA), Water quality, Groundwater, Irrigation water, Seawater intrusion, Anthropogenic activities, Agricultural activities.

1.GİRİŞ

Son yıllarda kurak ve yarı kurak kıyı kesimlerinde yeraltı suyu kaynaklarının kullanımı artmaktadır. Kurak ve yarı kurak alanlarda bulunan su, genellikle kronik bir baskı altındadır [1]. Kıyı bölgelerinin dünyada yoğun nüfusa sahip bölgelerin başında gelmesi bu bölgelerdeki tatlı suya olan ihtiyacı arttırmaktadır [2]. Kıyı bölgelerinde, yeraltı sularının kalite ve miktar açısından bozulması, değişen iklim şartlarıyla ve antropojenik faktörler arasındaki karmaşık etkileşimlerin bir sonucudur. Kıyı akiferleri yoğun endüstriyel ve tarımsal faaliyetlere bağlı olarak aşırı pompaj, kötü tasarlanmış kanalizasyon sistemleri, uygunsuz atık bertaraf gibi antropojenik kökenli faktörler tarafından kirlenmektedir. Bunun yanı sıra, jeojenik kirlilik kaynakları nedeniyle tehdit altında bulunan kıyı akiferleri, akiferin doğal kayaç yapısının jeokimyasal özelliklerinden kaynaklı olarak da kirlenmektedir. Doğal ve antropojenik faktörlerin etkisi ile kıyı akiferlerindeki tatlı su kaynakları üzerinde yoğun kirlilik baskıları oluşmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, Mersin ilinin batısında bulunan Erdemli Kıyı Akiferine (EKA) ait su örneklerinin fiziko-kimyasal parametrelerinin belirlenmesi, yeraltı sularının doğal ve antropojenik etkiler sonucu oluşan kirlilik kaynaklarının ortaya konulmasıdır.

Çalışma alanı, Mersin ili Erdemli ilçesi sınırları içerisinde olup 36°34′–36°39′K ve 34°14–34°21′D koordinatları arasındaki alanı kapsamaktadır (Şekil 1a). Çalışma alanının doğusunda Arpaçbahşiş Deresi, batısında Kocahasanlı Deresi ve güneyinde Akdeniz bulunmakta olup bu alan yaklaşık olarak 45 km^2'dir. Yapılan çalışmanın amacı doğrultusunda EKA'nın kirlenmeye karşı hassasiyetini etkileyebilecek faktörlerin daha iyi anlaşılabilmesi için arazi kullanım haritası oluşturulmuştur (Şekil 1b). Bu çalışmayla birlikte yeraltı suyu kalitesini etkileyen kirliliğin boyutu, alansal dağılımı, risk alanları ve su kirliliğine neden olan faktörler ortaya konulmuştur.



Şekil 1. Çalışma alanına ait lokasyon haritası (a) ve arazi kullanım haritası (b).

2.MATERYAL METOD

Çalışma alanına ait farklı noktalardan toplamda 50 adet yeraltı suyunun fiziksel parametreleri (sıcaklık, pH, yükseltgenme-indirgenme potansiyeli, çözünmüş oksijen, elektriksel iletkenlik ve tuzluluk) multiparametre ölçüm cihazı ile arazide ölçülmüştür. Su örneklerinin karbonat ve bikarbonat derişimleri dijital büret

kullanılarak titrasyon yöntemiyle belirlenmiştir. Majör katyonların (Ca, K, Mg ve Na,) ve iz elementlerin (Li, B, Al, Si, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Br, Sr, Cd, Sb, Ba ve Pb) analizleri ICP-MS, majör anyonların Cl^{-}, F^{-}, SO_4^{-2}, NO_3^{-}, NO_2^{-} NH_4^{+} ve PO_4^{-3}) analizleri spektrofotometre cihazı ile yapılmıştır. Çalışma alanının güncel arazi kullanımını belirlemek amacıyla ArcGIS 10.3.1 yazılımı kullanılarak arazi kullanım haritası oluşturulmuştur. Hidrojeokimyasal sınıflandırma yapmak ve suların kullanılabilirliğini değerlendirmek amacıyla ABD Tuzluluk, Wilcox ve Yarı Logaritmik Schoeller Diyagramları oluşturulmuştur.

3. BULGULAR

3.1. Fiziksel Parametreler

Suların sıcaklığı coğrafi konuma, su tablasının derinliğine, bölgeden bölgeye değişen coğrafik ve çevresel faktörlere bağlıdır. Yeraltı sularının sıcaklığı yüzey sularına göre genellikle daha düşüktür. Ortamdaki fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçler suyun sıcaklığına bağlı olarak gelişir [3]. Sıcaklığın artmasıyla, sularda çözünmüş oksijen derişimleri azalmaktadır. Ayrıca suyun sıcaklığının artmasıyla, pH ve Eh gibi fiziksel parametreleri de doğrudan etkilemektedir. EKA alanında Ağustos 2020'de ölçülen sıcaklık değerleri; 18,3-24,8 ^{o}C arasında değişmektedir (Şekil 2a). WHO [4] içme suyu standartlarında sıcaklık için sınır değer belirtilmemiştir.

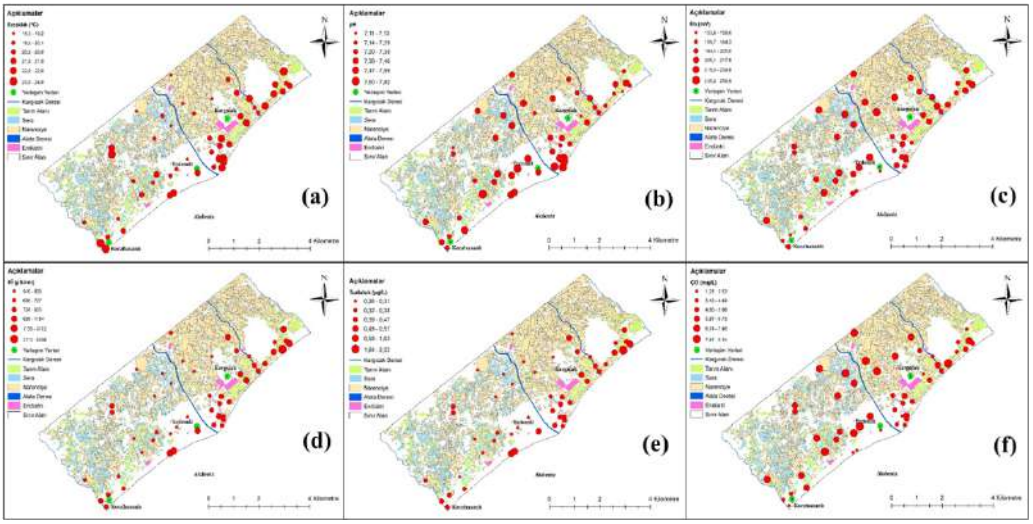
Hidrojen iyon değişimi (pH) minerallerin çözünürlüğü ve hareketliliğine bağlı olduğundan dolayı su içinde meydana gelen kimyasal reaksiyonlar için önemlidir. Su örneklerinin pH değerleri 7,11-7,82 arasında, değişmektedir (Şekil 2b). Su örneklerinin tümü WHO [4] içme suyu standartlarında belirtilen değer (6,5-8,5) aralığındadır.

Elektronların bir yerden başka bir yere aktarıldığı (yükseltgenme-indirgenme reakiyonları) kimyasal reaksiyonlarda sulu bir çözeltinin yükseltgenme potansiyeli Eh olarak ifade edilmektedir [3]. Su örneklerinin Eh değerleri 153,60-259,90 mV (Şekil 2c) arasında değişmektedir. WHO [4] içme suyu standartlarında Eh için sınır değer belirtilmemiştir.

Elektriksel iletkenlik (Eİ), suyun içilebilirliğinin değerlendirilmesinde kullanılan önemli bir parametredir. Su örneklerinin en düşük Eİ'si 540 µS/cm, en yüksek Eİ'si ise 4358 µS/cm olarak ölçülmüştür (Şekil 2d). Diğer bir fiziko-kimyasal gösterge olan tuzluluk Eİ ile doğrudan ilişkilidir. Bu durumda 5444 µS/cm olarak ölçülen Eİ değerine karşılık aynı kuyunun tuzluluğu en yüksek değer olarak 2,95 g/L ölçülmüştür. Yapılan ölçümler sonucunda en düşük Eİ değerleri Alata Deresi'nin batısında, kuzeybatısında ve kuzeydoğusunda ölçülmüştür (Şekil 2d). Akdeniz'in kıyısındaki kuyulardan alınan su örneklerinin çoğu yüksek Eİ değerlerine sahiptir. WHO [4] içme suyu standartlarında elektriksel iletkenlik için sınır değer belirtilmemiştir.

Tuzluluk, toprak ve su kaynaklarını etkileyen, doğal ekosistemde bozulmalara neden olan önemli çevresel bir problemdir. Artan yeraltı suyu tuzluluğu; sodyum, sülfat ve klorür gibi bazı elementlerin yüksek derişimlerindan kaynaklanmaktadır [5]. Genel olarak, çoğu yeraltı suyunun tuzlanmasına neden olan süreçler; deniz kaynaklı tuzlu yeraltı suyu, karasal kökenli tuzlu yeraltı suyu (doğal), karasal kökenli tuzlu yeraltı suyu (antropojenik), karışık kökenli tuzlu yeraltı suyu şeklindedir [6]. Tuzluluk ölçümleri Eİ ve klorür derişimleri ile doğrudan ilişkilidir. Su örneklerinin tuzluluk derişimleri 0,26-2,32 g/L değerleri arasında değişmektedir (Şekil 2e).

Çözünmüş oksijen (ÇO), sucul ekosistemlerde önemli bir su kalitesi değişkenidir. ÇO derişimleri düşük sıcaklıklarda yüksek, yüksek klorür içeren sularda ise düşüktür. Çalışma alanında en düşük ÇO değeri 1,21 mg/L, en yüksek ÇO değeri ise 8,14 mg/L olarak ölçülmüştür (Şekil 2f). Düşük ÇO değeri, yeraltı sularında bulunan çözünmüş oksijenin önemli ölçüde tüketildiğinin bir göstergesidir. WHO [4] içme suyu standartlarında çözünmüş oksijen için sınır değer belirtilmemiştir.



Şekil 2. Yeraltı suyu örneklerine ait sıcaklık (a), pH (b), Eh (c), elektriksel iletkenlik (d), tuzluluk (e) ve çözünmüş oksijen (f) dağılımları

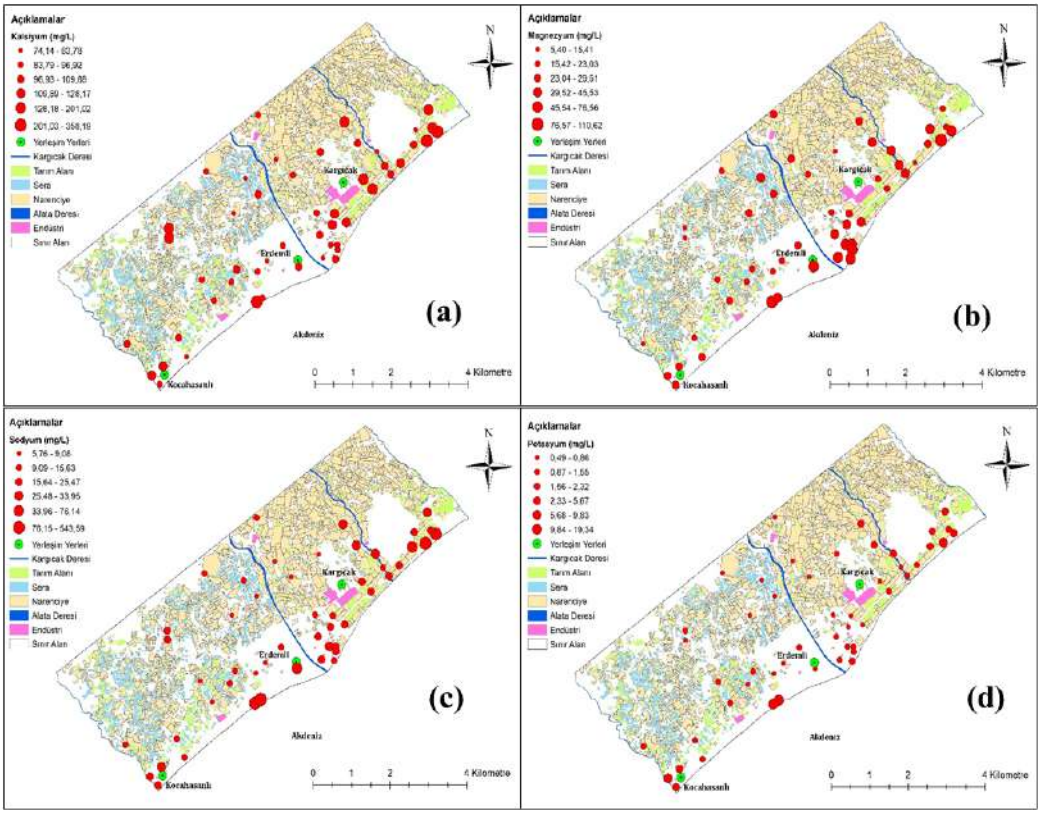
3.2. Majör Katyon Analizleri

Yeraltı suyundaki kalsiyumun (Ca^{+2}) kökeni; kalsit ($CaCO_3$), dolomit ($CaMg(CO_3)_2$), jips ($CaSO_4.2H_2O$) ve anhidrit ($CaSO_4$) gibi minerallerle ilişkilidir [7]. Çalışma alanına ait yeraltı sularındaki Ca^{+2} derişimleri 74,14 mg/L ile 358,19 mg/L arasında değişmektedir (Şekil 3a). Genel olarak dağılım haritasına bakıldığında yüksek Ca^{+2} değerleri çalışma alanın doğusunda yayılım göstermektedir (Şekil 3a). Bu durum çalışma alanın kuzeydoğu kesimlerinin karbonat kayaçlarıyla karakterize edilmesinden kaynaklanmaktadır. WHO [4] içme suyu standartlarında kalsiyum için sınır değer belirtilmemiştir.

Kalsiyum iyonu ile birçok açıdan benzerlik gösteren magnezyum (Mg^{+2}) iyonunun doğal sulardaki ana kaynağı dolomittir. Bunun yanında, diğer kaynakları arasında evaporitler, magmatik mineraller (olivin, biotit, hornblend, ojit) ve metamorfik kayalarda bulunan talk, diyopsit, tremolit gibi minerallerdir [8]. Su örneklerinin Mg^{+2} derişimleri 5,40-110,62 mg/L arasında olduğu belirlenmiştir (Şekil 3b). WHO [4] içme suyu standartlarında magnezyum için sınır değer belirtilmemiştir.

Sulardaki sodyum (Na^+) hem jeojenik hem de antropojenik kaynaklı olabilmektedir. Doğal sularda Na^+ iyonlarının kaynakları feldispat, plajiyoklas, nefelin, sodalit, stilbit, natrolit, jadelit ve benzeri minerallerden kaynaklanmaktadır [9]. Su örneklerinin Na^+ derişimleri 5,76-543,59 mg/L arasında değişmektedir (Şekil 3c). WHO içme suyu standartlarına [4] göre; izin verilen maksimum Na^+ miktarı 200 mg/L olarak belirtilmiştir. Dört adet örnekte bu sınır değerin aşıldığı tespit edilmiştir. Genel olarak denize yakın noktalardan alınan kuyularda yüksek Na^+ derişimleri tespit edilmiştir. Bunun nedeninin tarımsal faaliyetlere bağlı olarak aşırı yeraltı suyu pompajı ve deniz suyu girişiminin neden olduğu düşünülmektedir.

Alkali metal grubunda bulunan potasyum (K^+) birçok açıdan Na^+ ile benzer özellikler sergilemekte olup magmatik kayaçlarda Na^+ iyonu, tortul kayaçlarda ise K^+ iyonu hakimdir. K^+ içeren silikat kayaçlarındaki ana mineraller ortoklaz, mikroklin, mikalar ve lösittir [10]. Su kayaç etkileşimi sonucunda potasyum suyun bünyesine katılmaktadır. Suyu örneklerinin K^+ derişimleri 0,49-19,34 mg/L arasındadır (Şekil 3d). En yüksek K^+ derişimleri Kargıcak Deresi'nin doğusunda ve yakın çevresinde görülmektedir (Şekil 3d). Ayrıca, Kocahasanlı Deresi'nin yakın çevresindeki üç örnekte ve Alata Deresi'nin güneybatısında kıyıya yakın bölgedeki iki kuyuda yüksek K^+ derişimleri gözlenmiştir. WHO [4] içme suyu standartlarında potasyum için sınır değer belirtilmemiştir.



Şekil 3. Yeraltı suyu örneklerine ait Ca^{+2} (a), Mg^{+2} (b), Na^{+} (c)ve K^{+} (d) derişimlerinın alansal dağılımları.

3.3. Majör Anyon Analizleri

Yeraltı suyundaki karbonat ve bikarbonat iyonlarının ana kaynakları; atmosfer ve topraktaki CO_2 ve karbonatlı kayaçların erimesidir [11]. Doğal sularda karbonat ve bikarbonat derişimleri doğrudan CO_2 ve pH ile ilişkilidir. Su örneklerinin bikarbonat derişimlerinin 260,7-347,8 mg/L arasında olduğu belirlenmiştir (Şekil 4a). Çalışma alanın doğusunda en yüksek bikarbonat derişimlerin olduğu gözlenmiştir (Şekil 4a). Çalışma alanın batısında da yer yer yüksek bikarbonat değerleri gözlenmektedir. Suların pH aralığının bikarbonat iyonunun egemen olduğu aralıkta olmasından dolayı bikarbonatın hâkim olduğu tespit edilmiştir. WHO [4] içme suyu standartlarında bikarbonat için sınır değer belirtilmemiştir.

Kayaçların aşınması, atmosferik birikim, inorganik gübreler, çöp sızıntı suları, fosseptik atık suları, endüstriyel atıklar ve deniz suyu girişimi gibi hem doğal hem de antropojenik faktörler yeraltı suyuna klorür (Cl^{-}) katkısında bulunmaktadır [5]. Suyu örneklerinin Cl^{-} derişimleri 12,3-1668,0 mg/L arasında olduğu belirlenmiştir (Şekil 4b). Çalışma alanın batısında kıyı bölgesinde ve çalışma alanının kuzeyinde iki kuyuda yüksek derişimlerin olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4b). WHO'ya [4] göre suların içme suyu olarak kullanımı açısından Cl^{-} sınır değeri 250 mg/L'dir. Dört adet örnekte sınır değerin aşıldığı tespit edilmiş olup Cl^{-} derişimleri 1668, 1330, 956, 537 mg/L'dir.

Yeraltı suyundaki sülfatın ana kaynağını jips ve anhidritin çözünmesi oluşturmaktadır. Deniz suyunun kıyı akiferlerinde yeraltı suyuna karışması da sülfat derişimini arttırmaktadır [12]. Suyu örneklerindeki SO_4^{-2} derişimleri 7 ile 152 mg/L arasında değişmektedir (Şekil 4c). Çalışma alanındaki SO_4^{-2} içerikleri büyük oranda bölgede yapılan tarımsal faaliyetlerden ve evsel atıklardan kaynaklanmaktadır. Çalışma alanın doğusunda evsel ve tarımsal faaliyetlerin yoğun olmasından dolayı bu bölgede sülfat derişimleri yüksektir. WHO [4] içme suyu olarak kullanımı açısından SO_4^{-2} için sınır değer 500 mg/L olarak belirlenmiştir. Su örneklerinin tamamı bu sınır değerin altındadır.

Nitrat (NO_3^{-}) yeraltı sularında ve yüzey sularında antropojenik kaynaklı olarak bulunmaktadır [6]. Tarımda kullanılan gübreler nitrat kirliliğinin en önemli kaynağını oluşturmaktadır. Evsel ve endüstriyel kaynaklı atık sular ve kanalizasyon sistemlerinde meydana gelen sızıntılar yeraltı suyunda NO_3^{-} kirliliğine neden olabilmektedir. Suyu örneklerindeki NO_3^{-} derişimleri 2,17 ile 131,51 mg/L arasında değişmektedir (Şekil 4d).

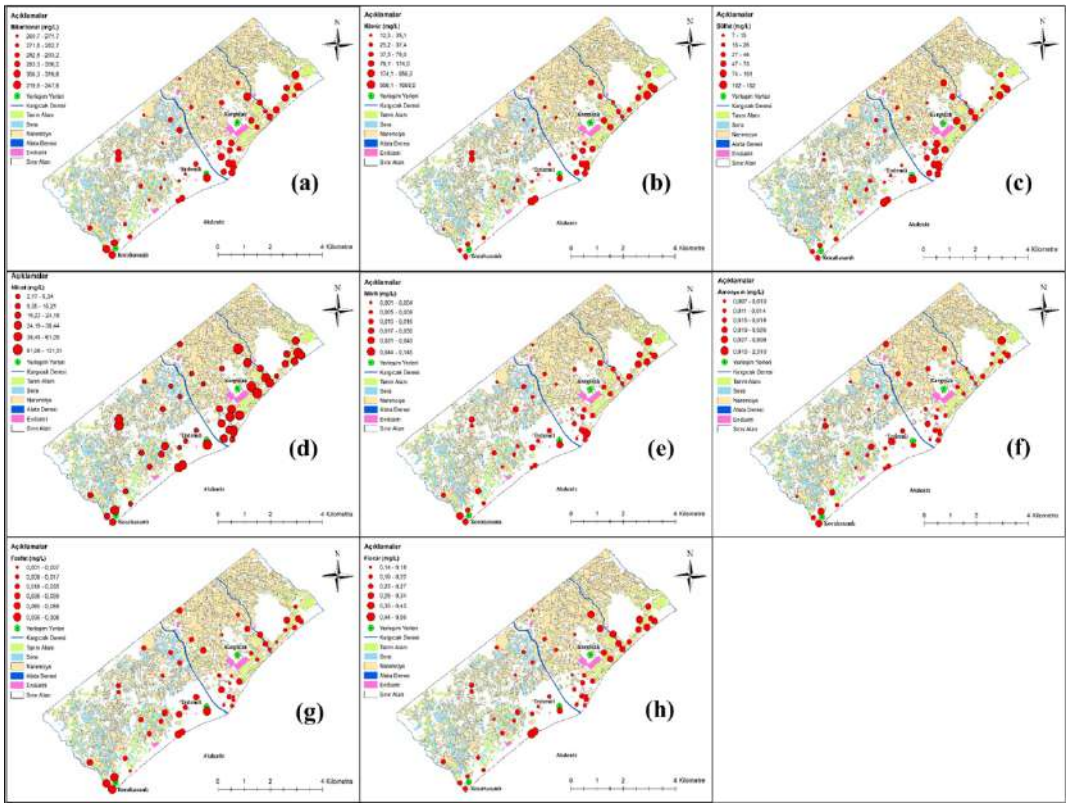
WHO'ya [4] göre suların içme suyu olarak kullanımı açısından NO_3^- sınır değeri 50 mg/L olarak belirlenmiştir. Su örneklerinin 15 tanesinin bu sınır değerini aştığı tespit edilmiştir.

Nitrifikasyon ve denitrifikasyonun ara ürünü olan nitrit (NO_2^-) yeraltı sularında çok düşük derişimlerde bulunmaktadır. Su örneklerindeki NO_2^- derişimlerinin 0,001 ile 0,145 mg/L arasında olduğu belirlenmiştir (Şekil 4de). WHO'ya [4] göre suların içme suyu olarak kullanımı açısından NO_2^- için sınır değeri 0,2 mg/L'dir. Su örneklerinin NO_2^- miktarları bu sınır değerinin altındadır.

Amonyum (NH_4^+), topraktaki organik maddelerin parçalanması, atık su arıtımı, hayvan atıkları gibi kaynaklardan yeraltı sularına sızmaktadır. Çalışma alanına ait su örneklerindeki NH_4^+ derişimleri 0,007 ile 2,31 mg/L arasında değişmektedir (Şekil 4f). WHO'ya [4] göre suların içme suyu olarak kullanımı açısından NH_4^+ için sınır değer; 1,5 mg/L olarak belirlenmiştir. Su örneklerinin birinde bu sınır değerin aşıldığı tespit edilmiştir.

Fosfat (PO_4^{-3}) yeraltı suyunda hem jeojenik hem de antropojenik kaynaklı bulunmaktadır. Jeojenik kaynaklı PO_4^{-3} apatit minarelerinin su kayaç etkileşimi sonucunda çözünmektedir. Antropojenik PO_4^{-3}'ün kaynağını fosfatlı gübreler, deterjanlar, kanalizasyon, hayvansal atıklar, atık su arıtma tesislerinin tam kapasite arıtım yapmaması ve endüstriyel deşarjlar oluşturmaktadır. Suyu örneklerindeki PO_4^{-3} derişimleri 0,001 ile 0,308 mg/L arasında olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4g). WHO [4] içme suyu standartlarında fosfat için sınır değer belirtilmemiştir.

Jeojenik kaynaklı florür (F^-) volkanik kayaçlar, mika mineralleri ve jeotermal kaynaklarda bulunmaktadır [11]. Antropojenik kaynaklı F^- ise; kimyasal gübrelerin ve endüstriyel atıkların sızmasından kaynaklanmaktadır [12]. Suyu örneklerindeki F^- derişimleri 0,14 ile 0,56 mg/L arasında değişmektedir (Şekil 4h). WHO'ya [4] göre suların içme suyu olarak kullanımı açısından F^- için sınır değer; 1,5 mg/L olarak belirlenmiştir. Yapılan analizler sonucunda belirtilen sınır değeri aşan örnek olmamıştır.



Şekil 4. Yeraltı suyu örneklerine ait HCO_3^- (a), Cl^-(b), SO_4^{-2}(c), NO_3^-(d), NO_2^-(e,) NH_4^+(f), PO_4^{-3}(g) ve F^-(h) derişimlerinin alansal dağılımları.

3.4. İz Element ve Ağır Metal Analizleri

Çalışma alanına ait yeraltı sularının Li, B, Al, Si, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Br, Sr, Cd, Sb, Ba ve Pb ağır metal ve iz element analizleri yapılmıştır. Bu ağır metal ve iz elementlerden B,Cr, Mn, Co, Cu, Zn, As, Cd, Sb ve Pb elementlerinin çalışma alanı yeraltı sularındaki derişimleri oldukça düşük derişimlerdedir. Yeraltı

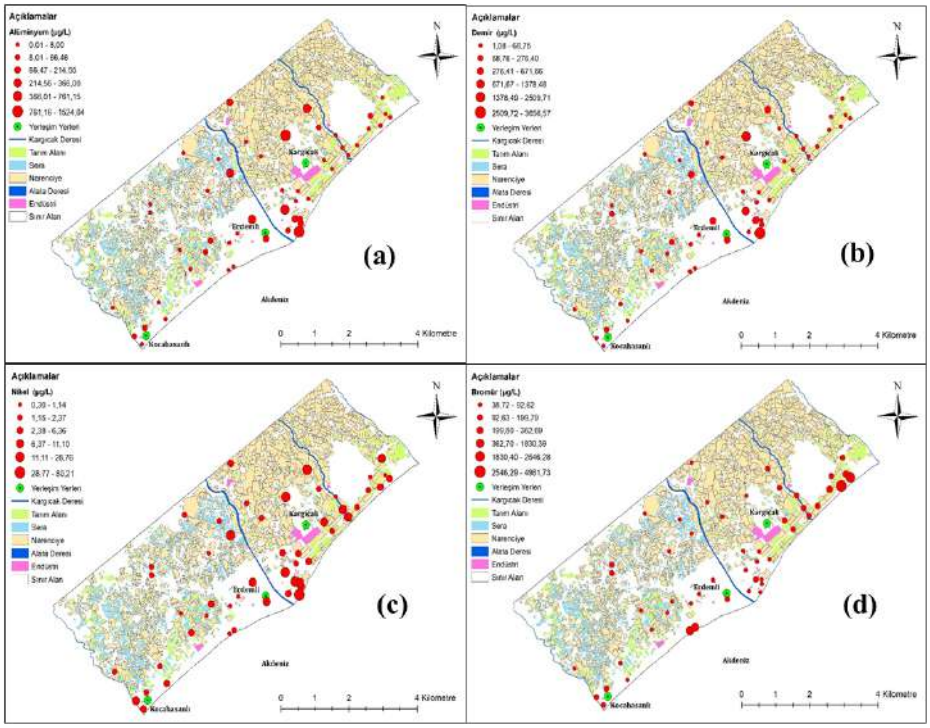
sularında derişimleri yüksek olan ve sınır değerleri aşan (Al, Fe, Ni ve Br) iz elementler için dağılım haritaları oluşturulmuştur.

Yeraltı suyu örneklerindeki alüminyum (Al) derişimleri 0,01 ile 1524,04 µg/L arasında değişmektedir (Şekil 5a). Dünya WHO'ya [4] göre suların içme suyu olarak kullanımı açısından Al için sınır değer 100 µg/L olarak belirlenmiştir. Su örneklerinin 10 tanesinin sınır değerinin üstünde olduğu tespit edilmiştir. Genel olarak Alata deresi ve Kargıcak deresi arasında yüksek Al derişime sahip örneklerin dağılımlarının olduğu görülmektedir (Şekil 5a).

Yeraltı suyu örneklerindeki demir (Fe) derişimleri 1,08 ile 3656,57 µg/L arasında değişmektedir (Şekil 5b). WHO'ya [4] göre suların içme suyu olarak kullanımı açısından Fe için sınır değer 300 µg/L olarak belirlenmiştir. Sekiz adet örnek belirtilen sınır değerin üstünde olup çalışma alanın Fe derişimleri Al derişimleri ile benzer dağılım göstermiştir (Şekil 5b).

Örneklerin nikel (Ni) derişimleri 0,30 ile 80,21 µg/L arasında olduğu belirlenmiştir (Şekil 5c). WHO'ya [4] göre suların içme suyu olarak kullanımı açısından Ni için sınır değer 70 µg/L olarak belirlenmiş olup bir adet örnekte bu sınır değer aşılmıştır.

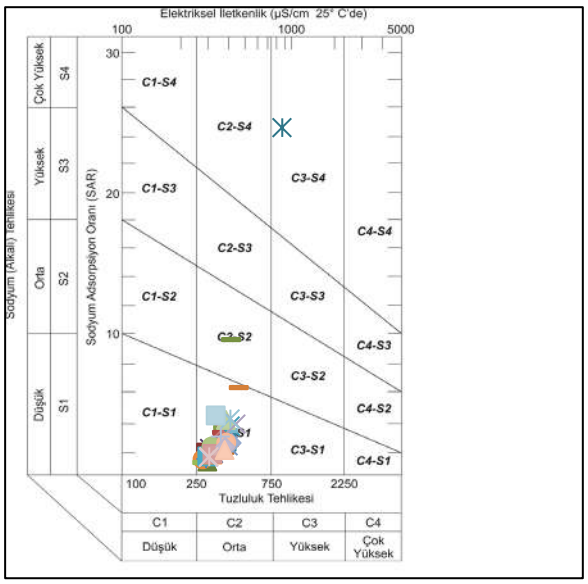
Erdemli Kıyı Akiferine ait su örneklerinin bromür (Br) derişimleri 38,72 ile 4981,73 µg/L arasında değişmekte olup (Şekil 5d) çalışma alanın doğusundaki bazı örneklerde yüksek Br derişimlerinin olduğu gözlenmiştir. Çalışma alanın batısında ise kıyı kesimlerde iki örnekte yüksek Br derişimleri tespit edilmiştir (Şekil 5d). Kıyı bölgesinde bulunan kuyularda deniz suyu girişimi sebebiyle yüksek Br derişimleri gözlemlenmiştir. Ayrıca çalışma alanında Br dağılım haritası ile klorürün dağılım haritası benzerlik göstermektedir (Şekil 4b ve Şekil 5d). WHO [4] tarafından için içme suyu standartlarında Br için değerleri sınır değer belirtilmemiştir.



Şekil 5. Yeraltı suyu örneklerine ait Al (a), Fe (b), Ni (c) ve Br (d) derişimlerinin alansal dağılımları

3.5.Suların Hidrokimyasal Sınıflandırılması

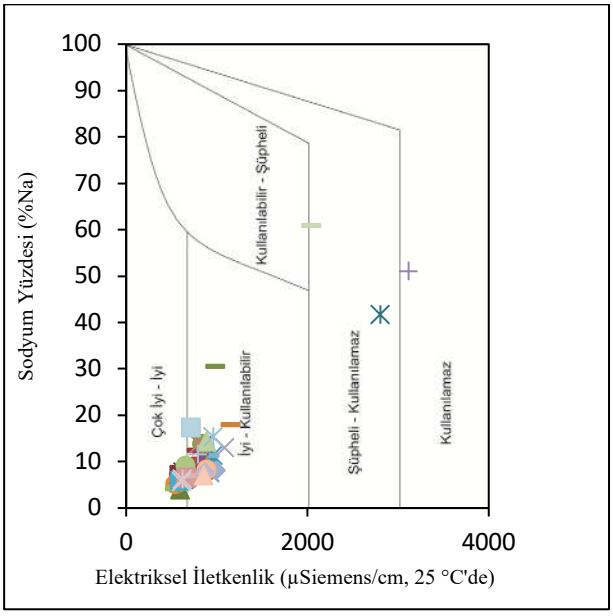
EKA'ya ait yeraltı suyu örneklerinin sulama suyu açısından kullanımını belirlemek amacıyla ABD Tuzluluk Diyagramı oluşturulmuştur (Şekil 6).



Şekil 6. Yeraltı suyu örneklerine ait ABD Tuzluluk Diyagramı.

Genel olarak iki örnek hariç diğer tüm örneklerin C2-S1 sınıfını temsil ettiği gözlenmiştir. Elektriksel iletkenlik değeri 4358 µS/cm ve SAR oranı 35,50 olan örneğin C3-S4 sınıfında olduğu belirlenmiştir. C3 sınıfında bulunan sular, yüksek miktarda tuzlu sular olup bu sınıfta yer alan sular, sulama için sadece yüksek drenaja sahip olan arazilerde bazı bitki türleri için uygundur. S4 sınıfındaki suların sulama suyu olarak kullanılması çok uygun olmayıp, ancak bazı durumlarda tuzluluk oranlarında düşüş meydana geldiğinde kullanılabilmektedir. C2-S2 sınıfı suları temsil eden sadece bir su örneği olduğu görülmektedir.

Suların sulama suyu olarak kullanım açısından uygunluğunun değerlendirildiği Wilcox diyagramında Eİ ve %Na parametreleri kullanılmaktadır. Grafiğin dikey ekseninde %Na değerleri yatay eksende ise Eİ ölçümleri yer almaktadır. Diyagram suları çok iyi-iyi, iyi-kullanılabilir, kullanılabilir-şüpheli, şüpheli kullanılmaz ve kullanılmaz olmak üzere beş kategoriye ayırmaktadır. Oluşturulan grafikte örneklerin çoğunluğu çok iyi ve iyi kullanılabilir sular sınıfını temsil etmektedir (Şekil 7). Geriye kalan üç kuyudan biri kullanılmaz sular sınıfında olup diğer iki kuyu ise şüpheli-kullanılmaz sular sınıfındadır (Şekil 7).



Şekil 7. Yeraltı suyu örneklerine ait Wilcox Diyagramı.

Çalışma kapsamında alınan yeraltı suyu örneklerinin karbonat ve bikarbonat derişimleri kullanılarak oluşturulan Yarı Logaritmik Schoeller Diyagramında (Şekil 8) farklı kimyasal özelliklere sahip olan sular

[6]. G. Krishan, “Groundwater Salinity,” *Current World Environment,* 2019, paper 2, p.186-188.

[7]. (2021) [Online]. Available: https://topraktema.org/toprak-azot-dongusu.

[8]. G.S. James. “Natural Water Remediation,” 2020, *University of Utah: USA*

[9]. D. Close, W. Leslie, “Variations in dissolved nitrate, chloride, and sulfate in precipitation, reservoir, and tap waters, columbus” *Ohio* Int. *J. Environ. Res. Publ. Health*, 2018, paper 15 1752.

[10]. P.L. Smedley, D.G. Kinniburgh, “A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters,” *Applied Geochemistry*, 2002, paper 17, 517–568.

[11]. S. Varol. “*Tefenni (Burdur) Ovası Hidrojeolojisi ve Hidrojeokimyasal Özelliklerinin Tıbbi Jeoloji Açısından Değerlendirilmesi,”* 2011, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.

[12]. M.K. Samantara, R. K. Padhi, M. Sowmya, P. Kumaran, K.K. Satpathy, “Heavy metal contamination, major ion chemistry and appraisal of the groundwater status in coastal aquifer, Kalpakkam, Tamil Nadu, India,” *Groundwater for Sustainable Development,* 2017 paper, 5,49–58.

[13]. Oğuz, T. C. “*İçme Suyu Arıtımında Yaygın Olarak Karşılaşılan Su Kalite Problemleri ve Arıtımı İçin Çözüm Önerileri,”* 2015, T. C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Uzmanlık Tezi, Ankara.

Teşekkür

Bu çalışma “118Y476” nolu “Sürdürülebilir Kıyısal Yeraltı Suyu Yönetimi ve Değişen İklimde Yenilikçi Yönetim Yoluyla Kirlilik Azaltma (Sustain-COAST)” başlıklı proje kapsamında desteklenmiştir. Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu’na (TÜBİTAK) teşekkür ederim.

THE GRACE-BASED ASSESSMENT OF THE SPATIO-TEMPORAL VARIABILITY OF TERRESTRIAL AND GROUND WATER STORAGE OVER TURKEY

Behnam Khorrami[1] and Orhan Gündüz[*2]

[1] Dokuz Eylul University, The Graduate School of natural and Applied Sciences, Department of GIS, Izmir, Turkey. behnam.khorrami@ogr.deu.edu.tr

[2] Izmir Institute of Technology, Faculty of Engineering, Department of Environmental Engineering, Izmir, Turkey. orhangunduz@iyte.edu.tr

Özet

Yüzey veya yeraltı su kaynaklarının izlenmesi, özellikle dünyanın kurak ve yarı kurak bölgelerindeki su kaynaklarının daha iyi ve sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesi için büyük önem arz etmektedir. Karasal su depolaması (TWS) değişimleri toprak tabakasında, yeraltı akiferlerinde, kar paketlerinde ve bitki örtüsü kanopisinde suyun depolanmasını etkileyen önemli bir hidrolojik döngü elemanıdır. Uzaktan algılama alanında elde edilen gelişmelerle, Gravity Recovery And Climate Experiment (GRACE) uydurusu verileri kullanılarak TWS'nin küresel olarak uzun vadeli ve neredeyse gerçek zamanlı değişimlerini tespit etmek ve izlemek kolaylaşmıştır. TWS'in bir bileşeni olan yeraltı suyu depolamasının (GWS) mekânsal ve zamansal değişimleri, toprak nemi depolaması (SMS), kar suyu depolaması (SWS) ve kanopi suyu depolaması (CWS) GRACE TWSA verilerine entegre edilerek GRACE TWSA tahminlerinden çıkarılabilmektedir. Bu çalışmada TWS'nin Türkiye üzerindeki değişimlerini araştırmak için Mascons veri kümesinden TWS anomalilerinin GRACE 06 sürümü ve GLDAS Noah model çıktıları kullanılmıştır. TWS ve GWS anomalilerine ait zaman serileri, Türkiye üzerindeki her iki değişken için de istatistiksel olarak anlamlı ($P<0.01$) eğilimleri ortaya koymaktadır. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, TWS anomalileri için Türkiye üzerinde maksimum (18,5 cm) ve minimum (-17,8 cm) depolama değişimleri Eylül 2008 ve Mar 2004'te tespit edilirken, GWS anomalileri için ise maksimum (-19,5 cm) su depolama kaybı Ekim 2014'te gözlenmiştir. Sonuçlara göre 2003'ten 2016'ya kadar Türkiye genelinde TWS ve GWS anomalileri için toplam depolama kaybının sırasıyla yaklaşık 11 cm ve 6 cm olduğu tespit edilmiştir. Tüm bu bulgular ışığında belirtilen dönem içerisinde Türkiye genelinde önemli bir karasal su kaybı olduğu ve bunun %50'den fazlasının da yeraltı suyu depolaması bileşeninde gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Abstract

Monitoring of surface or subsurface water resources, particularly in the arid and semi-arid areas of the world, is central for better and sustainable management of water resources. Terrestrial water storage (TWS) is a key hydrological cycle element whose variations affect the storage of water in soil layer, underground aquifers, snow packs and vegetation canopy. With the advances achieved in the field of remote sensing, it is now more convenient to detect and trace the long-term and near real time variations of the TWS globally by using the Gravity Recovery And Climate Experiment (GRACE). The spatio-temporal fluctuations of groundwater storage (GWS) can be extracted from GRACE TWSA estimates by integrating the soil moisture storage (SMS), Snow water storage (SWS) as well as canopy water storage (CWS) into the GRACE TWSA data. In this study, GRACE 06 release of TWSA from Mascons dataset and GLDAS Noah model outputs were applied to investigate the variations of TWS over Turkey. The time series of TWSA and GWSA reveal statistically significant ($P<0.01$) descending trends for both the variables over Turkey. According to the graphs, the maximum (18.5 cm) and minimum (-17.8 cm) storage variations were recorded for TWSA over Turkey in Sep 2008 and Mar 2004, while GWSA time series indicated the maximum (-19.5 cm) loss in Oct 2014. The overall storage loss for TWSA and GWSA from 2003 to 2016 is about 11 cm and 6 cm, respectively. In the light of the findings of this study, it seems like that there is a significant terrestrial water loss over Turkey during the specified period, and more than 50% of this occurs in the groundwater storage component.

Keywords: *GRACE, GLDAS, TWSA, GWSA, Turkey*

Anahtar Kelimeler: *GRACE, GLDAS, TWSA, GWSA, Türkiye*

1. INTRODUCTION

The variability of water has a dominating impact on the spread of several hydro-climatological events. This is especially more tangible in the arid and semi-arid regions (Khorrami and Gunduz, 2021) of the world where climate impacts exacerbate the variability and accessibility of water. Therefore, particularly in these regions, the monitoring of surface or subsurface water resources is of utmost importance for better management of water resources as they back up human persistence on the Earth. Total/terrestrial water storage (TWS) refers to the amount of water stored in both surface and sub-surface layers of the Earth. Scientists utilize the information deducted from the spatio-temporal variations of TWS to investigate the water availability and to describe the climate change impacts on water resources over time as well (Tangdamrongsub et al., 2020). In this regard, the analysis of TWS has a key impact on the variations of climatic systems in regional and global scales (Śliwińska et al., 2019). Groundwater storage is the amount of water stored in the pore spaces beneath the land surface, which contributes to the main variations of the TWS over the earth (Rahaman et al., 2019). About 96% of the fresh water all over the world is stored inside the underground aquifers, therefore, groundwater storage anomalies (GWSA) may have extremely effective consequences on satisfying the water needs of different sectors (Feng et al., 2013; Taylor et al., 2013; Ülker et al., 2018).

Remote sensing missions provide a cost-effective and convenient means for tracking a variety of water resources-related environmental phenomena all around the world. On the grounds of the recent improvements in the spatial and temporal characteristics of the remotely sensed data, precise analysis of large-scale environmental phenomena is now more viable. During the recent decades, the scientific community has been witnessing a huge interest towards the remotely sensed data and methods in the analysis and monitoring of geo-related phenomena, especially the hydrological features. This is mainly due to the advantages associated with the remotely sensed techniques and data, on one hand, and the limitations in making use of the orthodox approaches (such as inadequacy of the monitoring networks, temporal and spatial discontinuity of in-situ data), on the other hand.

The Gravity Recovery and Climate Exchange (GRACE) is a unique space mission being operated under the auspices of National Aeronautics and Space Administration (NASA). It records the gravitational pull of the Earth, which is later converted into the terrestrial water storage variations (TWSA). Since its launch in 2002, the GRACE twin satellites have been providing global TWSA data with unprecedented precision (Khorrami and Gunduz, 2021). The GRACE-derived TWSA accounts for the changes in the storage of different hydrological water cycle compartments including surface water, groundwater, soil moisture, canopy water and snow water. Therefore, it is possible to evaluate the variations of the water storage in different sections of the hydrological water cycle by integrating GRACE-TWSA into the variations of other compartments.

The Global Land Data Assimilation System (GLDAS) is a well-known and popular hydrological model whose estimations of different hydro-meteorological variables are widely used in hydrological and climatological analysis. The GLDAS utilizes data assimilation techniques to model various hydro-climatic variables including soil moisture, temperature, evapotranspiration, wind speed, precipitation and TWS at a high resolution using different land surface models (LSMs) (NASA, 2003).

Turkey is located on an arid belt where enormous challenges regarding the spread and availability of water is sensed all over the country. The water resources of the country have undergone overwhelming pressures in the recent years on account of the swift growth of population and industrialization accompanied by the harsh impacts of climate change. These pressures were so severe that the quantity and quality of water have diminished dramatically (Croitoru et al., 2016). It is expected to witness a sharp decrease in the volume of the fresh water of Turkey in near future where the annual water storage of the country will decrease from 1519 m^3 to 1120 m^3 per capita by 2030 (DSI, 2015). As a fast-developing country, accessibility to water resources is of utmost priority for Turkey and the spatio-temporal status of groundwater is extremely important for the sustained management of the aquifers over the country (Apaydin, 2011). However, the excessive pumping of groundwater aquifers in Turkey continues to create severe challenges on the aquifers of the country regarding the declining water tables and increasing water harvesting expenses. Unfortunately, the availability of the in-situ observations of groundwater level is severely challenged by some restricting factors including data sharing policies and data acquisition problems, therefore, giving an unbiased and realistic portrayal of the groundwater situation is not possible (FAO, 2016).

Turkey suffers from grave variations of its water resources. Thus, monitoring TWSA and GWSA based on GRACE measurements may be very beneficial for the decision-makers in the country. Under this premise, the chief goal of the current study is to analyze different hydroclimatic variables (such as soil moisture storage [SMS], snow water equivalent [SWE], terrestrial water storage [TWS] and groundwater storage [GWS]) by applying the GRACE satellite and GLDAS hydrological model outputs to unearth the spatio-temporal fluctuations of TWSA and GWSA over Turkey.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Description of the study area

With the geographic location of 36–42°N and 26–45°E, Turkey is located at the southeastern part of Europe between Europe and Asia (Deniz et al., 2011). Turkey is generally characterized by its vast topographic diversity and proximity to big water bodies. The majority of Turkey is occupied by mountains and besieged by the Black Sea in the North, Aegean Sea in the west, and the Mediterranean Sea in the south (Figure 1) (Nistor and Man, 2019), which have controlling impact on the microclimate and the spatial dispersion of water over different regions of the country.

Notwithstanding the overall semi-arid climate of Turkey, the geographic position and proximity to the above-mentioned water bodies lead to great heterogeneity in the climatic situation of Turkish regions (Apaydin, 2011). Subsequently, coastal regions have milder climates whereas central regions' climate is defined by hot summers and cold winters (Sensoy et al., 2008). The areal mean values of the main climatic parameters of Total Annual Precipitation (TAP) and Mean Annual Temperature (MAT) are calculated to be 391.9 mm and 11.9°C, respectively (MGM, 2020).

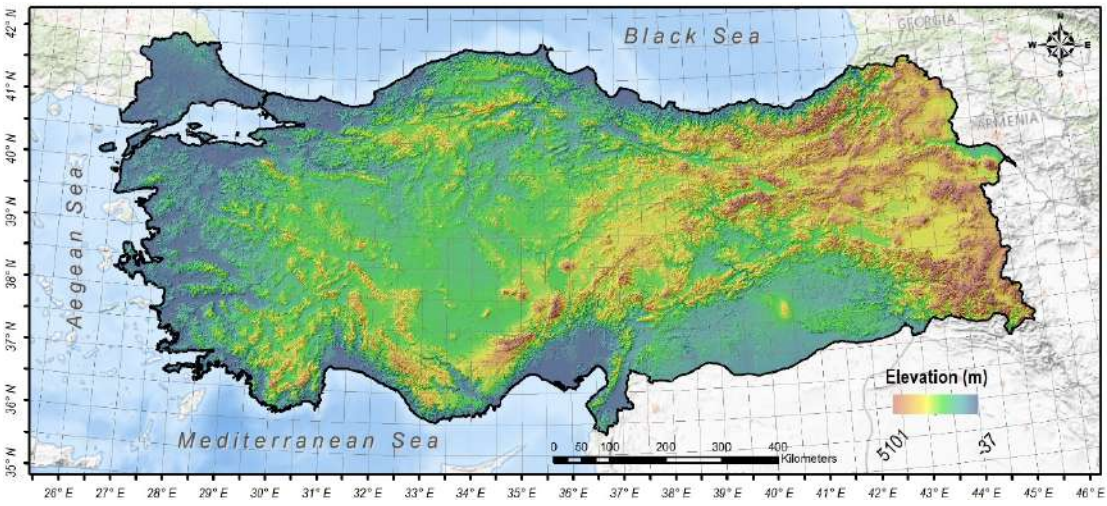


Figure 1. *The spatial illustration of 0.5° resolution GRACE grids over Turkey*

2.2. Extracting the terrestrial and groundwater storage from GRACE

The GRACE twin satellites with a horizontal distance of 220 km between each satellite (Kirschner, 2003) scan the Earth's gravity at the same orbit to record the gravitational pull at global scale (Tapley, 2004). The recorded gravity signals are later processed and converted into the variations of TWS, which is done by taking the interactions between the changes in the Earth's gravity and land mass changes into account (Hu et al., 2019). The changes of the land mass trigger gravity anomalies, which are sensed by GRACE satellites in terms of the variations in the horizontal distance between the two satellites (NASA, 2020). As an important hydrological parameter, TWSA is comprised of the variations of the different components of the hydrological water cycle. TWSA is computed using Equation 1 (Zhong et al., 2018):

$$TWSA = GWSA + SWEA + SMSA + SWSA \quad [1]$$

where GWSA, SWEA, SMSA and SWSA depict the storage anomalies of the groundwater, snow water, soil moisture and surface water, respectively. The groundwater storage anomalies can be isolated from the integrated TWSA, using Equation 2:

GWSA = TWSA - [SWEA + SMSA + SWSA] [2]

The SWEA, SMSA and SWSA values are calculated using the auxiliary data sources to be used to extract GWSA values from GRACE-TWSA. The mostly applied data for this purpose is the modelled parameters by the Global Land Data Assimilation (GLDAS) mission. For GWSA isolation over arid and semi-arid regions, the SWSA variable is usually ignored (Frappart and Ramillien, 2018) thus, GRACE-based GWSA is calculated according to Equation 3 (Yang et al., 2015; Deng and Chen, 2017; Hu et al., 2019).

GWSA = TWSA - [SWEA + SMSA] [3]

2.3. Trend Analysis

The temporal time series of the GRACE-derived TWSA and GWSA values were investigated based upon the Mann-Kendall (MK) trend test (Mann, 1945; Kendall, 1975) to determine the monthly, climatology (long-term monthly), annual and seasonal trends in the TWSA and GWSA over Turkey. MK is a non-parametric statistical test, for which no particular distribution of the input variables is required (Alhaji et al., 2018) therefore, it is commonly utilized for trend analysis of the time series of hydrometeorological variables (Douglas et al., 2000; Tabari and Morafi, 2011; Wang et al., 2020). The MK trend test is done through equations 4 to 6.

$$S = \sum_{i=1}^{SS-1} \sum_{j=i+1}^{SS} sgn(x_i - xi) \dots for\ j > I \quad [4]$$

$$V(S) = \frac{SS(SS-1)(2SS+5) - \sum_{m=1}^{SS} ti(m-1)(2m+5)m}{18} \quad [5]$$

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{V(S)}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{V(S)}} & S < 0 \end{cases} \quad [6]$$

where SS is the sample size, x is the variable, V(S) is the variance of S, t_i is the number of ties of length m and Z is the standardized S (Blain, 2013).

In the MK test, the null hypothesis (H_0) states that there is no trend in the time series whose authenticity can be checked in two ways: by either comparing P-value with a significance level (α) or according to Z value. H_0 is rejected if $P < \alpha$ or $|Z| > Z_{1-(\alpha/2)}$. In this case, H_0 is rejected so it can be stated that there is a trend in the time series. The tendency of trend is also determined according to the value of Z. Positive Z indicates an ascending trend

while negative Z denotes a descending trend (Gocic and Trajkovic, 2013). In this study, the trend analysis was done at the significance levels (α) of 0.01 and 0.05.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Temporal variability of TWS and GWS

The isolation of the GWSA from GRACE-TWSA was implemented using the GLDAS-based SMSA and SWEA modelled values as the auxiliary data for the disintegration practice. The temporal variability of TWSA and GWSA was evaluated using the time series at different time scales. In Figures 2 and 3, the temporal fluctuations of the TWSA and GWSA over Turkey are illustrated at monthly, climatology and annual time scales, respectively. The graphs suggest that both TWSA and GWSA have descending trends at all time scales, which signals the decrease of the total water storage of the country from 2003 to 2020. According to the monthly variation's graphs, it is found that Turkey has suffered from a total storage loss of 10.21 cm and 7.71 cm for TWS and GWS from 2003 to 2020, respectively. The annual time series depict the mean annual variations of TWSA and GWSA over Turkey. According to the annual variations, Turkey has experienced dry periods in 2008 and 2014, in which, the TWSA and GWSA values for the country were at the minimum amount. This is in utter agreement with the literature, which states country-wide dry periods between 2007-2008 and in 2014 over Turkey (Türkeş et al., 2009; Kurnaz, 2014; Ahi and Jin, 2019). The climatological time series also indicate that the volume of water storage for TWS and GWS is increasing from January to June, while, from July to December, they decrease. The maximum and minimum anomalies of TWSA and GWSA over Turkey have been recorded by GRACE in April and October, respectively.

In Figure 4, the seasonal variations of terrestrial and groundwater storage are portrayed. The seasonal values were estimated by averaging the monthly values over Turkey: Spring (from March to May), Summer (from June to August), Autumn (from September to November) and Winter (from December to February). The seasonal variability of TWSA and GWSA indicates that the anomalies of these two variables is positive only in Spring while they have negative anomalies during the rest of the seasons from 2003 to 2020. It is found that, in Spring and Autumn, Turkey experiences its extreme situations regarding the variations of the terrestrial and groundwater storage.

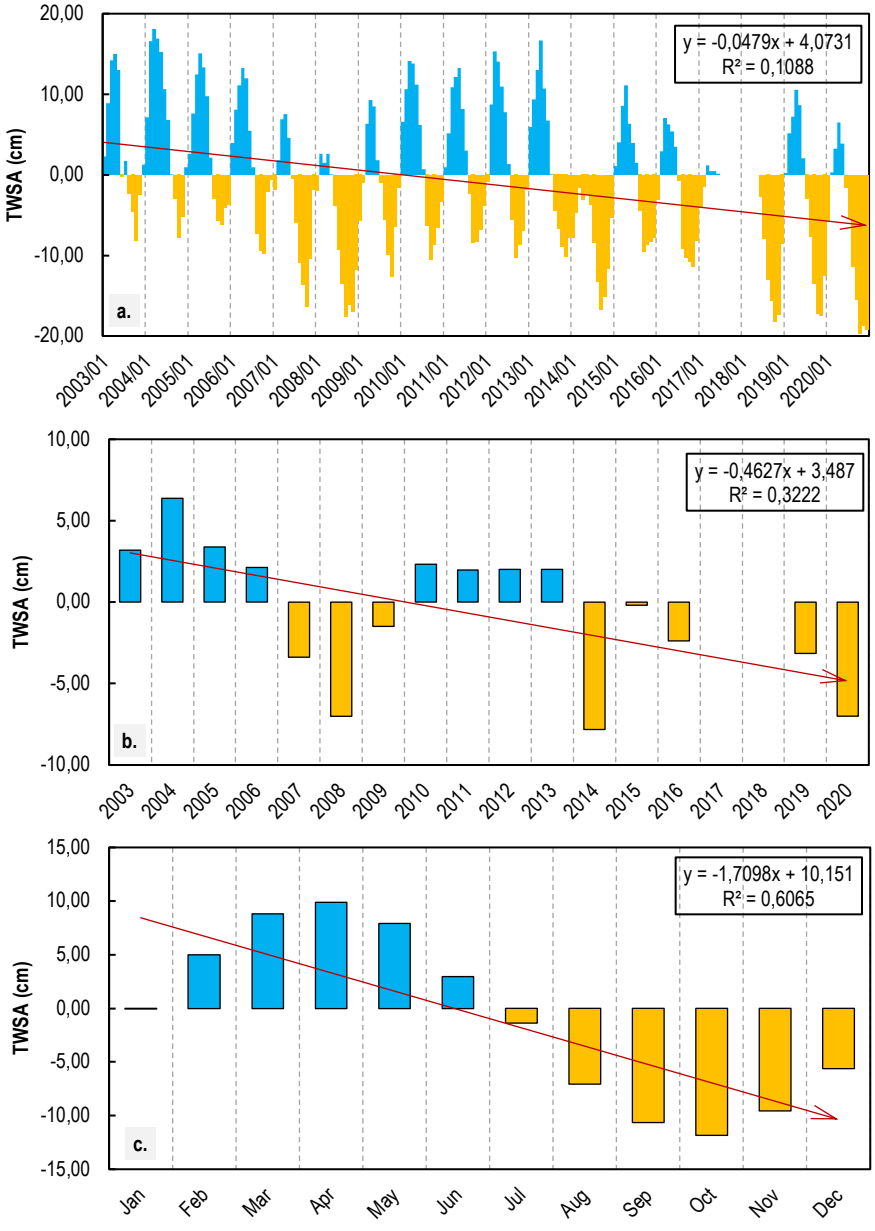


Figure 2. *Temporal fluctuations of Terrestrial Water Storage at monthly (a) annual (b) and climatology (c) time scales over Turkey*

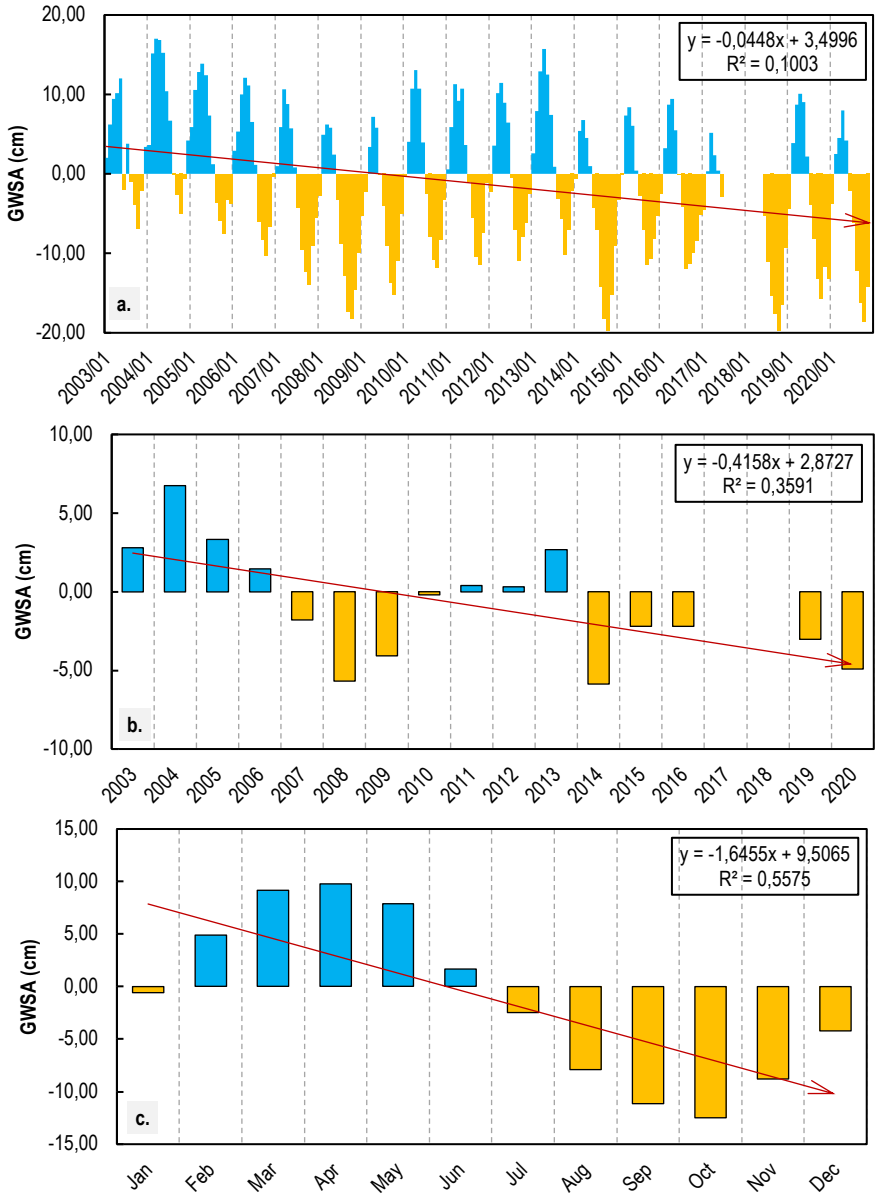


Figure 3. *Temporal fluctuations of Groundwater Storage at monthly (a) annual (b) and climatology (c) time scales over Turkey*

3.2. Trend analysis results

To infer on the trend nature of the temporal variations of TWSA and GWSA over Turkey, the corresponding time series were evaluated based on the MK trend test. The trends were evaluated at 0.01 and 0.05 significance levels

and on monthly, climatology, annual and seasonal time scales. The results of the trend test are shown in Table 1. According to the results, the negative Z values indicate that the trend is descending. The significance of the trends was evaluated by using P values. The MK analysis indicates that the null hypothesis (H_0) can be rejected for TWSA and GWSA at 0.01 level on monthly and seasonal scales while the annual and climatology trends are significant at 0.05 level.

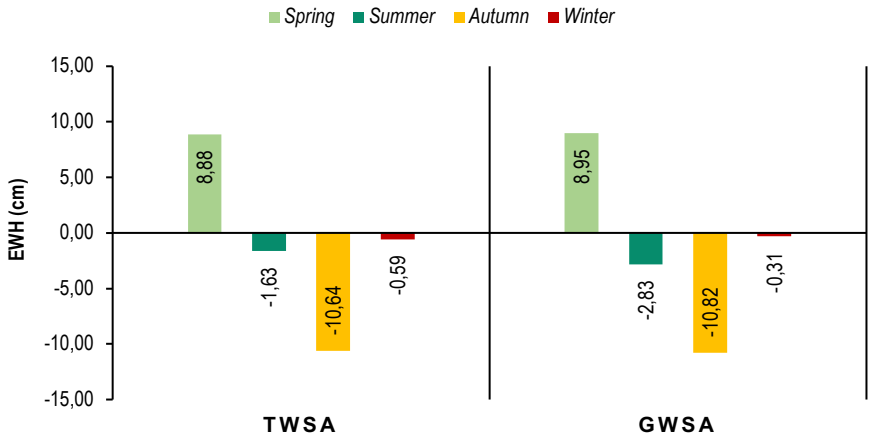


Figure 4. *Seasonal variability of TWSA and GWSA over Turkey*

Table 1. The Man-Kendall trend test results

Variable	Time scale	Z	Sig. (2-tailed)	Test Interpretation	
				Trend type	Hypothesis
TWSA	Monthly	-4.50	0.001	Descending	Reject H_0 at α=0.01
	Climatology	-2.40	0.014	Descending	Reject H_0 at α=0.05
	Annual	-2.48	0.011	Descending	Reject H_0 at α=0.05
	Seasonal	-2.93	0.003	Descending	Reject H_0 at α=0.01
GWSA	Monthly	-4.38	0.0001	Descending	Reject H_0 at α=0.01
	Climatology	-2.40	0.014	Descending	Reject H_0 at α=0.05
	Annual	-2.47	0.011	Descending	Reject H_0 at α=0.05
	Seasonal	-2.73	0.006	Descending	Reject H_0 at α=0.01

3.3. Spatial variability of TWSA and GWSA

To portray the spatial variability of TWSA and GWSA over Turkey, the seasonal variations were depicted using the area-average values for each season during 2003 to 2020. The seasonal variability maps for TWSA (Figure 5) indicate that, overall, the anomalies of the terrestrial water storage over the western parts of Turkey are mainly increasing particularly over the Aegean region in the west most part of the country. This pattern is chiefly apparent in the seasons of Spring and Winter. On the other hand, the eastern and central parts turn out to suffer from decreasing TWS, which is especially more tangible over the eastern Anatolia region in the east most part of Turkey. The maps also suggest that TWSA is decreasing almost all over the country in the seasons of Autumn and Summer.

The seasonal fluctuations of groundwater storage (Figure 6) mimic that of terrestrial water storage over Turkey. However, there are some vivid discrepancies between the spatial variability of GWSA and TWSA in Summer and Autumn, which can be ascribed to the exploitation of the aquifer storages during these cultivation seasons, which yields to the anomalies in the groundwater storage values.

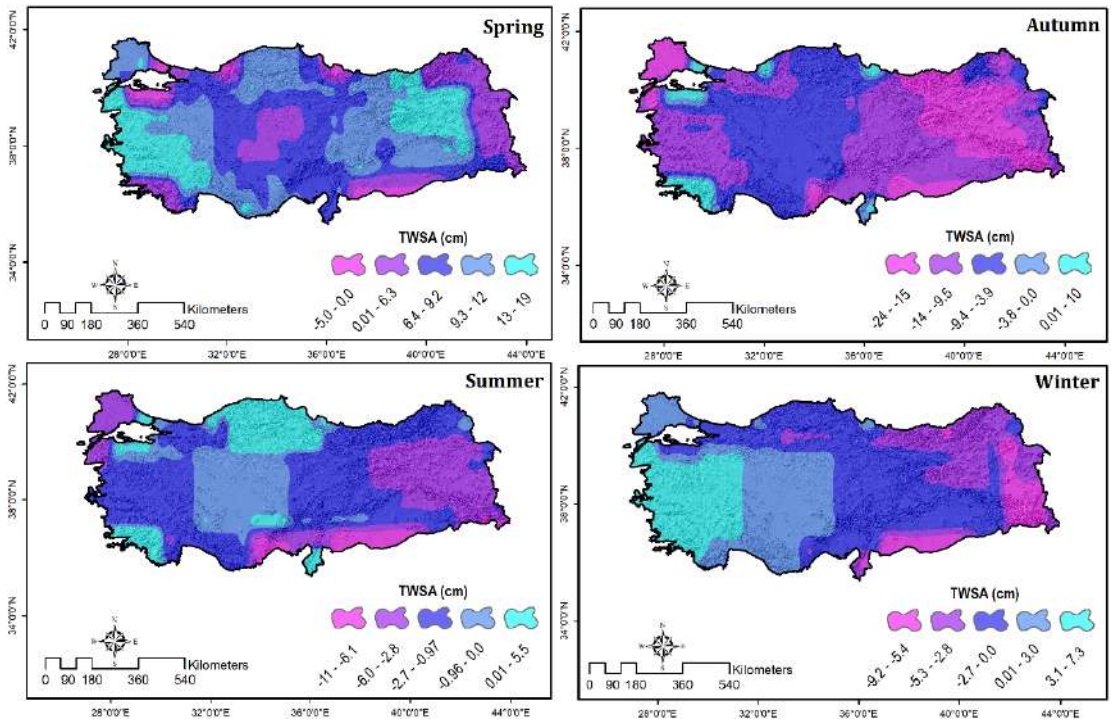


Figure 5. *The seasonal variability of the GRACE-derived TWSA over Turkey*

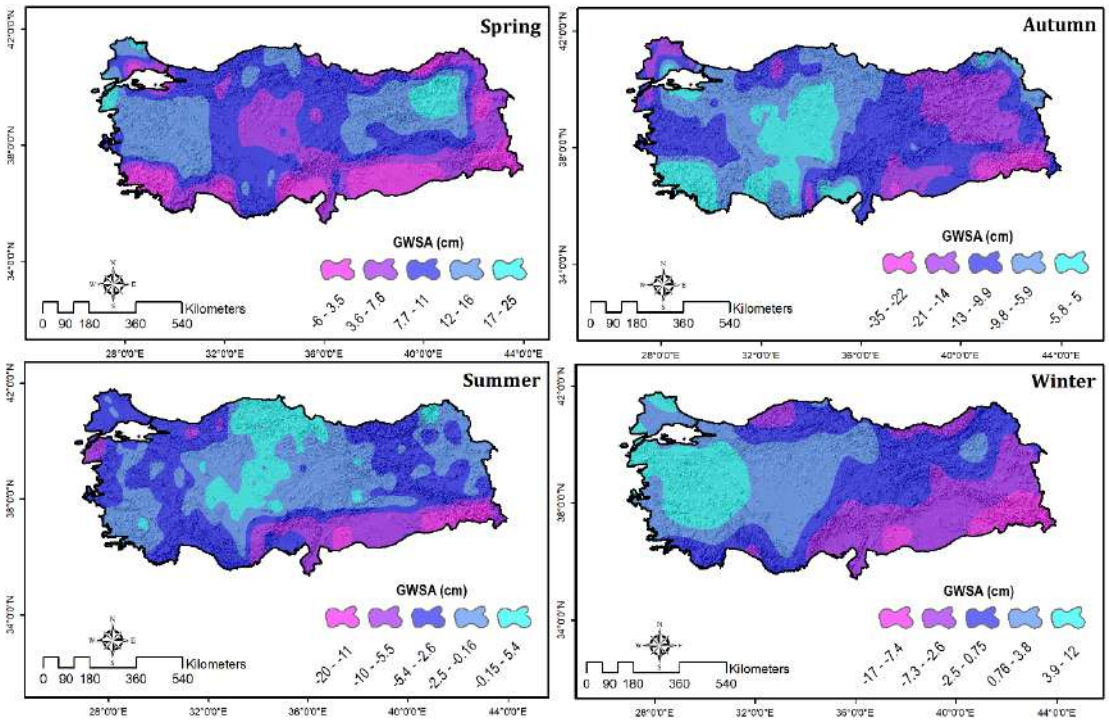


Figure 6. *The seasonal variability of the GRACE-derived GWSA over Turkey*

4. CONCLUSIONS

The water shortage is one of the most disturbing problems, which is sensed almost all over the world particularly in semiarid and arid regions where water is of super importance whose shortage may jeopardize human and wild life. The overuse of groundwater resources has culminated into severe decline in the water tables in Turkey in the recent years, which is mainly due to the combined impacts of the increased air temperature and decreased precipitation. Moreover, the irrational policies regarding the management of water resources in Turkey has contributed to tremendous socio-economic and environmental losses.

Monitoring of the total water storage over and beneath the land can give insights into the potentiality of water available to use thus better management of these resources would be viable. In future, Turkey is expected to suffer more from both surface and subsurface water problems, thus better management and monitoring of its water resources are very critical for the country. The routine limitations that are generally associated with the traditional monitoring approaches especially in large scales are overcome particularly with the advent of the GRACE satellites. The enhancements achieved in terms of spatial and temporal resolution of the modelled and reanalysis datasets has allured the researchers to make use of remote sensing data and techniques.

Within the scope of this study, the variations of TWSA and GWSA over Turkey were investigated using remotely sensed and modelled data. The findings suggest that the country-wise mean values of TWSA and GWSA over Turkey have a descending trend with a total storage loss of 10.21 and 7.71 cm from 2003 to 2020, respectively. The findings of this study reveal a good potentiality of the global scale data of the GRACE mission for large scale monitoring of water resources. However, the coarse spatial resolution of the GRACE mission hinders small-scale analysis and monitoring of water resources. One possible solution for this handicap to make better use of the GRACE estimates surely is to apply downscaling techniques for basin scale studies, which is aimed for further studies.

References

Ahi, G. and Jin, S. (2019). Hydrologic mass changes and their implications in Mediterranean-climate Turkey from GRACE measurements. Remote Sensing, 11(2): 120. https://doi.org/10.3390/rs11020120

Alhaji, U. U., Yusuf, A. S., Edet, C. O., Oche, C. O., & Agbo, E. P. (2018). Trend analysis of temperature in Gombe state using Mann Kendall trend test. J. Sci. Res. Rep, 20(3), 1-9. https://doi.org/10.9734/JSRR/2018/42029.

Apaydin, A. (2011). Groundwater legislation in Turkey: problems of conception and application. Water International, 36(3), 314-327. https://doi.org/10.1080/02508060.2011.586750.

Blain, G. C. (2013). The Mann-Kendall test: the need to consider the interaction between serial correlation and trend. Acta Scientiarum. Agronomy, 35(4), 393-402. https://doi.org/10.4025/actasciagron.v35i4.16006.

Croitoru, L., Divrak, B., Xie, J. & Arikan, E. (2016). Valuing Water Resources in Turkey: A Methodological Overview and Case Study. The World Bank, Washington DC. https://doi.org/10.1596/25291.

Deng, H & Chen, Y. (2017). Influences of recent climate change and human activities on water storage variations in Central Asia. Journal of Hydrology, 544, 46–57. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.11.006.

Deniz, A., Toros, H., & Incecik, S. (2011). Spatial variations of climate indices in Turkey. International Journal of climatology, 31(3), 394-403. https://doi.org/10.1002/joc.2081.

Douglas, E. M., Vogel, R. M., & Kroll, C. N. (2000). Trends in floods and low flows in the United States: impact of spatial correlation. Journal of Hydrology, 240(1-2), 90-105. https://doi.org/10.1016/S0022-1694(00)00336-X.

DSI (2015). Official data of DSİ. Water statistical data. General Directorate of State Hydraulic Works. Retrieved March 7, 2015, http://www.dsi.gov.tr/dsi-resmi-istatistikler. (Original in Turkish).

FAO (2016). Turkey Water along the Food Chain. Retrieved on 01.05.2020 from http://www.fao.org/3/a-i5991e.pdf.

Feng, W., Zhong, M., Lemoine, J. M., Biancale, R., Hsu, H. T., & Xia, J. (2013). Evaluation of groundwater depletion in North China using the Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) data and ground-based measurements. Water Resources Research, 49(4), 2110-2118. https://doi.org/10.1002/wrcr.20192.

Frappart, F., & Ramillien, G. (2018). Monitoring groundwater storage changes using the Gravity Recovery and Climate Experiment [GRACE] satellite mission: A review. Remote Sensing, 10(6), 829. https://doi.org/10.3390/rs10060829.

Gocic, M., & Trajkovic, S. (2013). Analysis of changes in meteorological variables using Mann-Kendall and Sen's slope estimator statistical tests in Serbia. Global and Planetary Change, 100, 172-182. https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2012.10.014.

Hu, Z., Zhou, Q., Chen, X., Chen, D., Li, J., Guo, M & Duan, Z. (2019). Groundwater Depletion Estimated from GRACE: A Challenge of Sustainable Development in an Arid Region of Central Asia. Remote Sensing, 11(16), 1908. https://doi.org/10.3390/rs11161908.

Kendall, M. G. (1975). Rank Correlation Methods. New York, NY: Oxford University Press.

Khorrami, B., & Gunduz, O. (2021). An enhanced water storage deficit index (EWSDI) for drought detection using GRACE gravity estimates. Journal of Hydrology, 603, 126812. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126812.

Kirschner, M. (2003). First results on the implementation of the GRACE formation. In 3rd International Workshop on Satellite Constellations and Formations, pp. 24-26.

Kurnaz, L. (2014). Drought in Turkey. İstanbul Policy Center, Sabancı Üniversitesi-İstanbul. https://ipc.sabanciuniv.edu/Content/Images/CKeditorImages/20200323-16034017.pdf

Mann, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. Econometrica 13, 245–259. https://doi.org/10.2307/1907187.

MGM (2020). Turkish State Meteorological Service [MGM]. Official Statistics. Received on 05.03.2020 at: https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx.

NASA (2003). Studying the Earth's Gravity from Space: The Gravity Recovery and Climate Experiment [GRACE]. Accessible from: https://eospso.nasa.gov/sites/default/files/publications/GRACE_Fact_Sh_Final.pdf

NASA (2020). README Document for NASA GLDAS Version 2 Data Products. Available at:https://hydro1.gesdisc.eosdis.nasa.gov/data/GLDAS/GLDAS_NOAH025_3H.2.1/doc/README_GLDAS2.pdf

Nistor, M. M., & Man, T. C. (2019). Water availability variation under climate change in Turkey during 21st century. Carpathian J. Earth Environ. Sci, 14, 19-28. https://doi.org/10.26471/cjees/2019/014/054.

Rahaman, M. M., Thakur, B., Kalra, A., & Ahmad, S. (2019). Modeling of GRACE-derived groundwater information in the Colorado River Basin. Hydrology, 6(1), 19. https://doi.org/10.3390/hydrology6010019.

Sensoy, S., Demircan, M., Ulupınar, U & Balta, İ. (2008). Türkiye İklimi, MGM web sitesi Url: http://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/turkiye_iklimi.pdf (Original in Turkish).

Śliwińska, J., Birylo, M., Rzepecka, Z., & Nastula, J. (2019). Analysis of Groundwater and Total Water Storage Changes in Poland Using GRACE Observations, In-situ Data, and Various Assimilation and Climate Models. Remote Sensing, 11(24), 2949. https://doi.org/10.3390/rs11242949.

Tabari, H., & Marofi, S. (2011). Changes of pan evaporation in the west of Iran. Water Resources Management, 25(1), 97-111. https://doi.org/10.1007/s11269-010-9689-6.

Tangdamrongsub, N., Han, S. C., Yeo, I. Y., Dong, J., Steele-Dunne, S. C., Willgoose, G., & Walker, J. P. (2020). Multivariate data assimilation of GRACE, SMOS, SMAP measurements for improved regional soil moisture and groundwater storage estimates. Advances in Water Resources, 135, 103477. https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2019.103477.

Tapley, B. D., Bettadpur, S., Ries, J. C., Thompson, P. F., & Watkins, M. M. (2004). GRACE measurements of mass variability in the Earth system. Science, 305(5683), 503–505. https://doi.org/10.1126/science.1099192.

Taylor, R. G., Scanlon, B., Döll, P., Rodell, M., Van Beek, R., Wada, Y., & Konikow, L. (2013). Ground water and climate change. Nature climate change, 3(4), 322-329. https://doi.org/10.1038/nclimate1744.

Türkeş, M., Koç, T. and Sariş, F. (2009). Spatiotemporal variability of precipitation total series over Turkey. International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society, 29(8): 1056-1074. https://doi.org/ 10.1002/joc.1768

Ülker, D., Ergüven, O. & Gazioğlu, C. (2018). Socio-economic impacts in a Changing Climate: Case Study Syria, International Journal of Environment and Geoinformatics [IJEGEO], 5(1), 84-93. https://doi.org/10.30897/ijegeo.

Wang, F., Shao, W., Yu, H., Kan, G., He, X., Zhang, D., ... & Wang, G. (2020). Re-evaluation of the power of the Mann-Kendall test for detecting monotonic trends in hydrometeorological time series. Frontiers in Earth Science, 8, 14. https://doi.org/10.3389/feart.2020.00014.

Yang, T.; Wang, C.; Chen, Y.; Chen, X & Yu, Z. (2015). Climate change and water storage variability over an arid endorheic region. Journal of Hydrology, 529, 330–339. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.07.051.

Zhong, Y., Zhong, M., Feng, W., Zhang, Z., Shen, Y., & Wu, D. (2018). Groundwater depletion in the West Liaohe River Basin, China and its implications revealed by GRACE and in situ measurements. Remote Sensing, 10(4), 493. https://doi.org/10.3390/rs10040493.

14. national 2. international environmental engineering congress

climate crisis & environmental policies

SESSION 3B: Atıksu Arıtma

Paper ID:

62 **YENİ NESİL ÇÖZÜNMÜŞ HAVA FLOTASYONU (DAF) UYGULAMALARI**
Yasemin Özdemir

85 **Yanıt Yüzey Metodolojisi ve Yapay Sinir Ağı ile Tekstil Atık Sularının Grafit Elektrotlarla Elektrokimyasal Oksidasyonunun Optimizasyonu**
Zelal Işık - Rabia Yıldırım - Mohammed Saleh - Ahmet Karagündüz - Bülent Keskinler - Nadir Dizge

95 **HASTANE ATIKSULARININ ARITIMI VE YÖNETİMİ**
Muharrem Barış Pekcan

91 **Yüzey Yanıt Metodu Kullanılarak Pirinç Kavuzundan Silika Ekstraksiyonu ve Safranin Boyasının Adsorpsiyonu**
Melis Gün - Hüdaverdi Arslan - Muhammed Saleh - Mutlu Yalvaç - Nadir Dizge

108 **Süt Endüstrisi Atıksularının sAnMBR ile Arıtılabilirliğinde Çamur Yaşının Etkisi**
Samet Özcan - Hasan Koçyiğit

6 **ELECTROOXIDATION of 2-NAPHTHOL the PRESENCE of NaCl USING BDD AND MMO ELECTRODES**
Orhan Taner Can - Zubeda Ukundimana - Leyla Gazigil

96 **AYRIK TOPLANMIŞ İDRARDAN GÜBRE AMAÇLI AZOT GERİ KAZANIMI SÜRECİNDE KARBON GİDERİMİ**
Yasemin Akdağ - Bilsen Beler Baykal - Mahmut Altınbaş

YENİ NESİL ÇÖZÜNMÜŞ HAVA FLOTASYONU (DAF) UYGULAMALARI

Yasemin ÖZDEMİR[1*], Prof. Dr. M. Necdet ALPASLAN[2]

[1]Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Bölümü Öğrencisi*
yasemin_koyuncu@yahoo.com
[2]Dokuz Eylül Üniversitesi, Müh. Fak., Çevre Mühendisliği Bölümü., İzmir, Türkiye
necdet.alpaslan@deu.edu.tr

Özet

Endüstriyel atıksu arıtımında yüzebilir özellik gösteren kirliliklerin giderilmesinde, önemli arıtma yöntemlerinden biri çözünmüş hava flotasyonudur (DAF-Dissolved Air Flotation). DAF sisteminin çalışma prensibi, çok küçük hava kabarcıklarının atıksu içerisine tabandan verilerek yüzücü maddelerin yüzeyde toplanması ve buradan sıyrılarak ayrılması şeklindedir. Klasik DAF sistemi basınç tankı, kompresör ve geri sirkülasyon pompalarından oluşmaktadır ve çoğunlukla kimyasal kullanılmadan yapılmaktadır. Yeni nesil DAF sistemlerinde ise kimyasal madde kullanılarak süreç aynı zamanda kimyasal arıtma şekline de dönüştürülebilmektedir. Yeni nesil DAF sistemlerinde kimyasal dozlamaları, "flocculation pipe (tube)" "Flokülasyon borusu" olarak adlandırılan ünite içerisinde yapılmaktadır. KOSGEB destekli bir Ar-Ge çalışması yapılarak yeni nesil DAF sistemlerinin incelenmesi yapılmıştır. Çalışma sonucunda, DAF sistemleri arasında uygulama farklılıkları ve bunların sistem üzerinde olumlu/olumsuz etkileri, imal edilen prototip DAF ünitesi çalıştırılarak araştırılmıştır. Çıkış sularında görülen KOI verimlerinin kimyasal kullanılmayan çalışmalarda, %50-60'larda kaldığı, kimyasal kullanılması durumunda ise %85-95 oranlarında olduğu görülmüştür. Sonuçlar, kimyasal eklenmesi ve mikro kabarcık oluşturulması ile DAF sistemlerinde çözünmüş ve askıda kirleticilerin daha etkin biçimde ayrıldığını ortaya koymuştur.

Anahtar Sözcükler: *DAF (Çözünmüş Hava Flotasyonu), mikrokabarcık pompası, atıksu arıtma, organik kirlilik*

Abstract

Dissolved air flotation (DAF) is one of the important treatment methods for the removal of floating contaminants in industrial wastewater treatment. The working principle of the DAF system is that very small air bubbles are injected into the waste water and the floating materials are collected on the surface and removed from the surface. The classic DAF system consists of a pressure tank, compressor and recirculation pump and is mostly made without the use of chemicals. In the new generation DAF systems, the process can also be converted to chemical treatment by using chemicals. In new generation DAF systems, chemical dosing is carried out in a unit called "flocculation pipe (tube)". This research study held to investigate the new generation DAF systems and supported by KOSGEB. As a result of this study, application differences between DAF systems and their positive/negative effects on the system were investigated by running the manufactured prototype DAF unit. COD efficiencies in effluent waters were found to be 50-60% in non-chemical studies and 85-95% in the case of chemical use. The results showed that dissolved and suspended contaminants were more effectively separated in DAF systems by chemical addition and fine microbubble formation.

Keywords: *DAF (Dissolved Air Flotation), microbubble generator, wastewater treatment, organic pollution*

1. GİRİŞ

Endüstriyel atıksuların arıtımında, yağ giderimi ile ilgili arıtma modelleri, endüstri türüne ve işlenen hammaddeye bağlı olarak birbirinden farklılık göstermektedir. Bazı endüstriyel atıksuların karakterizasyonunda aşırı organik içerikli, kolayca biyolojik olarak ayrışabilir, aşırı inorganik içerikli veya zehirleyici özelikte kirleticiler bulunabilir. Bu atıksuların karakterizasyonuna göre kirlilik yükü değişebilir.

Kirlilik yükünü artıran etkenlerin sudan uzaklaştırılmasında en önemli arıtma yöntemlerinden biri DAF (Dissolved Air Flotation)'tır. Flotasyon ünitelerinde yoğunluğu sudan az olan yağ, askıda katı madde ve diğer yüzücü maddelerin yüzdürülmesi ve yüzey sıyırıcıları uzaklaştırılması amaçlanmaktadır. [1] Bu nedenle atıksularında yüzebilir kirleticileri bulunduran süt, mezbaha, v.b. endüstrilerin arıtma sistemlerinde ön arıtma olarak kullanılması tam arıtmaya geçildiğinde büyük avantajlar sağlamaktadır. Yaygın olarak kullanılan bu endüstriler ile kısıtlı kalmayıp, sağladığı avantajlar göz önünde bulundurularak DAF sistemi organik kirlilik yükü yüksek olan tüm endüstrilerde kullanılabilir. İçmesuyu veya proses suyu hazırlamada da DAF kullanımı yaygındır. Ancak, bu çalışmada, özellikle gıda endüstrisi kaynaklı atıksuların arıtımında DAF uygulamaları incelenmiştir.

2. KLASİK DAF SİSTEMİ İLE YENİ NESİL DAF SİSTEMİNİN FARKI

Klasik DAF sisteminin çalışma prensibi, tabandan çok küçük hava kabarcıklarının atıksu içerisine verilerek yüzücü maddelerin yüzeyde toplanması ve buradan sıyrılarak ayrılması şeklindedir. [2]

DAF sisteminde verimi etkileyen parametreler, hava kabarcığının sayısı-boyutu, akışın hidrolik dizaynı, çözünmüş materyallerin konsantrasyonu, askıda katı madde ve yağların konsantrasyonu ve tipi, kimyasal ilavesi, sıcaklık, bekleme süresi, geri devir oranı, pH'dır. [3] Hava kabarcığı oluşturulma yöntemine göre mekanik olarak Klasik DAF ve mikrokabarcık pompalı DAF olmak üzere başlıca iki tür DAF sistemi olduğu söylenebilir.

Klasik DAF sistemi basınç tankı, kompresör ve geri sirkülasyon pompalarından oluşmaktadır. [4] Sistem çıkışından, proje debisinin yaklaşık %30-40'ı geri devir için basınç tankına alınmaktadır. 4-6 bar işletme basıncında çalışan basınç tankı içerisinde çözünmüş hava oluşturulması amaçlanır. Klasik DAF sisteminde; arıtılmış suyun %30-40 kısmı bir pompa tarafından 4-5 bara kadar basınçlandırılarak geri sirküle edilir. [5] Uygulamada, bu pompalar basınç tankındaki basıncı yenilebilmek için, debisi düşük, basıncı yüksek pompalar olan ve genellikle içme suyu gibi temiz suların iletiminde kullanılan kademeli pompalardan seçilmektedir. Ayrıca, bu tankın içerisine kompresör ile hava sağlanmaktadır. Basınç tankında, su basınç altında hava ile doygun hale getirilir. Hava ile doygun hale gelen su tekrar flotasyon ünitesine alınır ve flotasyon ünitesinde suya uygulanan basınç kalkar. Basınç altında çözünmüş olan hava atmosferik şartlarda birden gaz haline geçerek kabarcıklar oluşturur. Bu prensip çerçevesinde işlem uygun şekilde yapıldığı takdirde büyük miktarda mikro hava kabarcığı üretilmiş olur. Üretilen bu mikro hava kabarcıkları 30 ila 50 mikron çapında olup yavaş bir hızla yükselirken su içerisindeki organik yükleri ve çözünmüş yağları da yukarı taşır. [5] Yüzeyde oluşan çamur-yağ tabakası mekanik sıyırıcı tarafından sıyrılarak çamur tankına iletilir.

Yeni nesil DAF sistemlerinde ise, yapılan uygulamalarda basınç tankı ve kompresör ortadan kaldırılmış ve yeni teknolojiye ayak uydurularak tek bir pompa ile sistem içerisine basınçlı su-hava karışımı iletilmektedir. Ayrı bir basınç tankı, kompresör kullanılmamakta, bunların yerine Mikrokabarcık pompası bulunmaktadır. Bu pompa, arıtılmış suyun %30-40 kısmını sisteme sirküle ederken, atmosferden aldığı hava ile atıksuyu karıştırarak mikro hava kabarcığı üretmekte ve flotasyon sistemine vermektedir.

Klasik DAF sistemi, yeni nesil DAF sistemlerine göre daha karmaşık bir yapıya sahiptir. Ayrıca, daha fazla ekipmandan oluştuğu için bakım-onarım ihtiyacı fazladır ve daha sık arıza

yapmaktadır. İşletmenin aksamaması için teknisyen kontrolünde çalışmalıdır. Bu durum işletme açısından sürekli bir efor ve dikkat gerektirmektedir. Belirtilen özellikler dikkate alınarak Klasik DAF sisteminin, yeni nesil DAF sistemine göre işletme sürecinin daha karmaşık ve çıkış suyu kalitesinin daha düşük olduğu ifade edilebilir. İki sistem arasındaki temel farklar Tablo 1'de maddeler halinde özetlenmiştir.

Tablo 1: *Klasik DAF Sistemi ile Yeni Nesil DAF Sistemi arasında farklar*

Klasik DAF Sisteminde	Yeni Nesil DAF Sisteminde
• Yüzdürme ile yağ ayrımı yapılmaktadır	• Yüzdürme ile birlikte çöktürme yapılması da mümkündür
• Hava gereksinimi için kompresör kullanılmaktadır	• Kompresör bulunmamaktadır
• Karışım için basınç tankı bulunmaktadır	• Basınç tankı bulunmamaktadır
• Basınç tankında seviye kontrolü için basınç şalteri kullanılmaktadır	• Basınç tankı olmadığı için basınç şalteri bulunmamaktadır
• Pnömatik vana kullanılmaktadır	• Basınç tankı olmadığı için pnömatik vana kullanılmamaktadır
• Basınç tankında seviye şamandırası kullanılmaktadır	• Basınç tankı olmadığı için seviye şamandırası kullanılmamaktadır
• Elektrik panosu içi malzeme sayısı ve kontrol mekanizması fazladır	• Elektrik panosu malzemesi ve kontrol mekanizması azdır
• Otomasyon adımları fazladır	• Otomasyon adımları azdır
• Kimyasal dozlama için ayrı ayrı kimyasal üniteler kullanılmaktadır	• Yumaklaştırma borusu (flocculation pipe) kullanılmaktadır
• Geniş alan gereksinimi vardır	• Kompakt bir tasarım mevcuttur

Mikrokabarcık boyutu daha küçük ve stabil olduğu için bu sistemler daha verimli çalışmaktadır. Aynı zamanda yeni nesil DAF uygulamalarında bu sistemlerin kimyasal arıtma gibi çalıştırıldıkları ve sistem veriminin arttırıldığı görülmüştür kimyasal dozlamaları bir boru içerisinde yapılmaktadır. Bu sistemler genellikle "flocculation pipe (tube)" olarak adlandırılmaktadır. Koagülasyon ve flokülasyon bir kimyasal arıtma yöntemi olduğundan, bu kimyasal işlemlerin bir boru içerisinde yapılması hem estetik açıdan hem maliyet açısından önem arz etmektedir.

3. MATERYAL ve METOD

3.1. Yeni nesil DAF sisteminin geliştirilmesi

Bu çalışmada, deneysel çalışmaların yapılabilmesi için laboratuvar ölçeğinde değil, uygulamaya yönelik pilot tesis yapılmasına karar verilmiş, KOSGEB desteği ile Atasu Mühendislik Ltd. Şti. bünyesinde atölyede pilot tesis imal edilmiştir.

Projenin Ar-Ge bölümünde, literatürde ve uygulamada çok kullanılan sistemler incelenmiş, elde edilen bilgiler, önceki çalışmalardaki tecrübeler, proje çalışanlarının ve danışmanların da katkılarıyla geliştirilmiş ve yeni nesil DAF ünitesi projelendirilmiştir. Bu aşamada, atıksuyun giriş

bölümü, üst sıyırma yüzeyi, sıyırıcı, yağ savağı, çıkış savağı, çökeltim haznesi, geri devir sistemi, v.b. bölümler birçok açıdan incelenmiş ve projelendirilmiştir.

Pilot yeni nesil DAF ünitesi ST37 çelik ve polipropilen malzemeden imal edilmiştir. DAF ünitesinin ana hatları ile imalatı tamamlandıktan sonra, atıksu giriş ve çıkışları, sıyırıcı sistemi ve kimyasal ünitenin sisteme montajı yapılarak sistem kompakt hale getirilmiştir. Sistem içerisindeki hidrolik akışların ve hareketlerin izlenebilmesi için bir yüzeyi plexiglass malzeme ile kaplanmıştır. Atıksu içerisine izleyici madde verilmiş ve atıksuyun DAF sistemi içerisinde izlediği yollar, süreler ve hidrolik kayıplar tespit edilmiştir.

Atıksuda bulunan kirleticilerin yüzebilir nitelikteki flok oluşturularak uzaklaştırılabilmesi için kimyasal ilavelerinin flokülasyon borusu içine yapılmasına karar verilmiştir. Proje debisine göre, hidrolik hesaplamalar yapılmış, çaplara karar verilmiş, flokülasyon borusu projelendirilmiş ve imal edilmiştir. Flokülasyon borusu üzerinde dozlama yapılabilmesi için dozlama noktaları belirlenerek, dozaj pompalarının ve pH metrenin bağlantıları yapılmıştır.

İmalatın paralelinde, laboratuvar çalışmaları için atölyede ortam oluşturulmuş, deneysel çalışmalar planlanmıştır. Sistem verimine etki eden kimyasallar araştırılmıştır. Bu kimyasalların çalışılan endüstriye ait ham atıksuda nasıl bir reaksiyon verdiği ve çalışma pH değerleri laboratuvar ortamında jar test (kavanoz testi) deneyleri ile belirlenmiştir. Laboratuvar deneylerinde elde edilen sonuçlara göre, pilot çalışmada kullanılacak kimyasal türleri ve dozaj miktarları belirlenerek, deney programı oluşturulmuştur.

4. PİLOT TESİSİN ÇALIŞTIRILMASI

Klasik DAF sistemlerinden farklı olarak, KOSGEB projesi ile elde edilen deneyimler ışığında sistem verimine etken koşullar göz önüne alınarak yeni nesil DAF sistemi pilot çalışma yapılmasına hazır hale getirilmiştir. Pilot tesisin proje debisi 2-5 m^3/saat, olarak seçilmiştir. Kirlilik yüküne göre sistemin arıtabildiği atıksu debisi değişkenlik göstermektedir.

Projelendirme, imalat, laboratuvar deneyleri sonrası sistem tamamlanmış ve pilot çalışma için süt ve süt ürünleri endüstrisinde özel bir işletmenin atıksu arıtma tesisine nakledilmiştir. Bu işletmenin proseslerinden kaynaklanan atıksuların bir kısmının prototip içerisine alınabilmesi için dengeleme havuzuna dalgıç pompa montajı yapılmış ve DAF sisteminden geçirilen suyun deşarjı için deşarj boru bağlantı hatları çekilmiştir. Kimyasal ünite üzerinde dozlama yapılabilmesi için dozlama noktaları belirlenerek, dozaj pompalarının ve pH metrenin bağlantıları yapılmıştır. Tüm ekipmanları sahada kontrol edebilmek için ekipmanlar bir otomasyon sistemine bağlanmıştır. Sistem üzerinde izlenecek kimyasallar temin edilmiş ve tüm hazırlıklar tamamlandıktan sonra sistem devreye alınmıştır (Foto 1).

Foto 1. *Pilot tesis kurulumu*

İlk olarak, sistem temiz su ile çalıştırılarak plexiglass bölümünden mikro kabarcık oluşumu izlenmiştir. Sonrasında sisteme işletmenin ham atıksuyu alınmış ve hiçbir kimyasal kullanılmadan sadece mikro kabarcık sisteminin KOI (kimyasal oksijen ihtiyacı) üzerine etkisi izlenmiştir.

Daha sonra sisteme ilk kimyasal dozlaması Demir III Klorür ile yapılmıştır. Esas olarak "acid creaking" uygulamasının sistem üzerine etkisi incelenmiştir. Burada kriter olarak pH değeri seçilmiştir. Demir III Klorür asidik bir tuz bileşiği olduğundan pH değerleri 3 farklı set noktasına çekilene kadar 3 aşamada farklı dozlarda Demir III Klorür dozlaması yapılmıştır. Bu 3 aşama esnasında DAF sistemi bekleme süreleri dikkate alınarak giriş ve çıkış numuneleri alınmış ve gün sonunda analiz yapılarak sistem verimi elde edilmiştir. Bu deney farklı zamanlarda 3 kez tekrarlanmıştır.

Bir sonraki aşamada, kimyasal kombinasyonları değiştirilmiş ve bu kez Demir III Klorürün yanında Anyonik Polielektrolit dozlaması yapılmıştır. Bir önceki yapılan deneyde baz alınan pH değerlerine göre aynı şekilde Demir III Klorür dozlamaları yapılmış akabinde ise Polielektrolit dozlamaları yapılmıştır. Gün sonunda aynı şekilde analizler yapılmış ve bu deney de 3 kez tekrarlanmıştır.

Bir sonraki deneyde Demir III Klorür, kostik ve polielektrolit sıralamasına göre dozlama yapılmasına karar verilmiştir. Polielektrolit yüksek pH değerlerinde daha iyi çalışacağı için Demir III Klorürden hemen sonra kostik ile pH arttırılıp akabinde de polielektrolit dozlaması yapılmıştır. Gün sonunda aynı şekilde analizler yapılmış ve bu deney de 3 kez tekrarlanmıştır.

Yapılan bu 3 ana çalışmanın sonucunda yalnızca, pompa kullanımına bağlı olarak yapılan çalışmada verimin %50-60 lerde kaldığı, kimyasallı uygulamanın %85-90 lerde olduğu görülmüştür. Doğru kimyasal uygulamanın sistem verimi üzerine etkisinin çok önemli olduğu görülmüştür (Tablo 2).

Tablo 2: *Yeni Nesil DAF Sisteminin KOI giderimi deneyi sonuçları*

Numune No	Numunenin Alındığı yer	Durum	KOI (mg/L)	Verim (%)
D1	Dengeleme Havuzu	4 atm basınç altında sadece DAF pompası çalıştırıldı.	2409	55
Ç1	DAF Çıkışı		1086	
D2	Dengeleme Havuzu	pH = 5,5	2523	53
Ç2	DAF Çıkışı		1177	
D3	Dengeleme Havuzu	pH = 4	2510	75
Ç3	DAF Çıkışı		682	
D4	Dengeleme Havuzu	pH = 3	2071	72
Ç4	DAF Çıkışı		585	
D5	Dengeleme Havuzu	Fe_3CL ile pH=5,5+poli	1639	65
Ç5	DAF Çıkışı		577	
D6	Dengeleme Havuzu	Fe3CL ile pH=4+poli	1639	76
Ç6	DAF Çıkışı		401	
D7	Dengeleme Havuzu	Fe3CL ile pH=3+poli	1639	71
Ç7	DAF Çıkışı		480	
D8	Dengeleme Havuzu	Fe3CL(pH=5,5)+kostik(pH=8, 5)+poli	3767	86
Ç8	DAF Çıkışı		527	
D9	Dengeleme Havuzu	Fe3CL(pH=4,5)+kostik(pH=8, 5)+poli	3767	91
Ç9	DAF Çıkışı		340	
D10	Dengeleme Havuzu	Fe3CL(pH=4)+kostik(pH=8,5) +poli	3767	93
Ç10	DAF Çıkışı		264	

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Çalışma sonucunda klasik DAF sistemleri ile yeni nesil DAF sistemleri arasında uygulama farklılıkları ve bunların sistem üzerinde olumlu / olumsuz etkileri incelenmiştir. İmal edilen prototip DAF ünitesinde kimyasal kullanımıyla ve mikrokabarcık pompası ile çalıştırılmasıyla tespit arıtma verimine etkiler deneysel olarak belirlenmiştir. Yapılan deneyler, laboratuvar ölçeğinde değil, sahada 2-5 m^3/saat atıksu debisinde, proseste oluşan ham atıksu ile sahada gerçekleştirilmiştir.

Atıksuyun sistem içinde dolaşımının yönlendirilmesi, farklı zonlarda oluşan karışım-temas yöntemleri, bekleme süreleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara ve gözlemlere göre sistem üzerinde iyileştirmeler yapılmıştır.

Sistemde yüzdürme işleminin daha verimli olması için öncelikle; çözünmüş hava, sisteme klasik DAF sistemlerinden farklı olarak mikrokabarcık pompası yardımı ile sağlanmıştır. Bu sayede, daha küçük boyutlu kabarcıklar elde edilmiş ve birçok kontrol elemanı ortadan kalkmıştır. Yeni nesil

DAF sisteminde kullanılan mikrokabarcık pompası, DAF sisteminin performansını arttırmış olup, aynı zamanda arıtma verimleri artırmaktadır.

Çıkış sularında görülen KOI verimlerinin kimyasal kullanılmayan çalışmalarda, %50-60'larda kaldığı, kimyasal kullanılması durumunda ise %85-95 oranlarında olduğu görülmüştür. Sonuçlar, kimyasal eklenmesi ve mikro kabarcık oluşturulması ile DAF sistemlerinde çözünmüş ve askıda kirleticilerin daha etkin biçimde ayrıldığını ortaya koymuştur.

Yeni nesil DAF sisteminin yatırım maliyeti biraz daha yüksek olmakta fakat işletme maliyetleri düşmektedir. Özellikle klasik sistemde kullanılan pompa ve kompresörün elektrik tüketimi karşılaştırıldığında, mikrokabarcık pompasının elektrik tüketimi %75 daha azdır. Aynı zamanda sistem güvenilirliği artmaktadır.

DAF sistemleri arıtma tesislerinde genellikle tek başına kullanılmayan sistemlerdir ve akabinde biyolojik arıtma sistemleri kurulmaktadır. Dolayısıyla, DAF sisteminin çıkış KOI verimleri biyolojik sistemlerin tasarımında çok önemli olmaktadır. DAF sisteminden çıkan atıksuyun KOI konsatrasyonu ne kadar düşük olursa akabinde kurulacak olan biyolojik sistemlerin kapasiteleri düşmekte ve işletme maliyetleri azalmaktadır.

6. KAYNAKÇA

[1] Alkhatib E.A., Thiem L.T. (1991) *"Wastewater oil removal evaluated"*, Hydrocarbon Process, 70, 77-80

[2] Yulong Shi, Jiaxuan Yang, Jun Ma, Congwei Luo., (2017), "*Feasibility of bubble surface modification for natural organic matter removal from river water using dissolved air Flotation"*

[3] Roberts KL, Weeter DW, Ball RO (1978) "*Dissolved air flotation performance. Proceedings of industrial waste conference"*, Vol 33. Purdue University, West Lafayette, IN, p 194.

[4] Eckenfelder Jr., W.W. (1989) *"Industrial Water Pollution Control*", Singapore. McGraw-Hill, Singapore.

[5] Şengül ve Küçükgül, 1990, *"Çevre mühendisliğinde fiziksel- kimyasal temel işlemler ve süreçler"*, İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi, 1990, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi yayınları no.153

TEŞEKKÜR: KOSGEB AR-GE ve İNOVASYON Programı, B.14.2.KGS.1.35.02.00-110.02.01.-844, *"Atıksu arıtımında çözünmüş hava ile yüzdürme (DAF) sisteminin geliştirilmesi ve prototip imalatı projesi",*13/02/2012-13/02/2013 (Proje yürütücüsü Yasemin ÖZDEMİR) ile desteklenmiştir.

Projelendirme ve atölye çalışmalarında katılan tüm Atasu Mühendislik personeline, proje danışmanlarına, saha çalışmalarına destek veren; Sakıpağa SGS Süt ve Gıda A.Ş.'ye teşekkür ederiz.

YANIT YÜZEY METODOLOJİSİ VE YAPAY SİNİR AĞI İLE TEKSTİL ATIK SULARININ GRAFİT ELEKTROTLARLA ELEKTROKİMYASAL OKSİDASYONUNUN OPTİMİZASYONU

Rabia Yıldırım[1], Zelal Işık[1], Mohammed Saleh[1], Ahmet Karagündüz[2], Bülent Keskinler[2], Nadir Dizge[1]*

*[1]*Mersin Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 33343, Yenişehir/MERSİN ndizge@mersin.edu.tr*

[2] Gebze Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 41400, Gebze/KOCAELİ akaragunduz@gtu.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, penye kumaş boyama atıksularının grafit elektrotlar kullanılarak elektrokimyasal oksidasyonu araştırılmıştır. Yanıt yüzeyi metodolojisi (RSM); deneyleri, merkezi kompozit tasarım (CCD) yoluyla tasarlamak amacıyla kullanılmıştır. Renk değişimlerini ve kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) giderimini izlemek için planlanan deneyler yapılmıştır. Deneysel sonuçlar, RSM ve yapay sinir ağı (ANN) kullanılarak optimizasyon modelleri geliştirmek için kullanılmış ve karşılaştırılmıştır. Optimum koşullar 150 A/m^2, pH 5 ve 120 dakika olarak bulunmuştur. Renk ve KOİ için giderim verimlilikleri sırasıyla %96,6 ve %77,69'a ulaşmıştır. Optimum koşullarda işletme maliyeti de hesaplanmıştır. 1 m^3 atık suyun enerjisi ve maliyeti sırasıyla 34,9 kWh ve 2,58 ABD Doları gerektirmiştir. Grafit elektrotlar, penye kumaş boyama atık sularının arıtılması için makul bir maliyetle başarıyla kullanılabilir.

Abstract

In this study, electrochemical oxidation of combed fabric dyeing wastewater was investigated using graphite electrodes. The response surface methodology (RSM) was used to design the experiments via the central composite design (CCD). The planned experiments were done to track color changes and chemical oxygen demand (COD) removal. The experimental results were used to develop optimization models using RSM and the artificial neural network (ANN) and they were compared.. The optimum conditions were found at 150 A/m^2, pH 5, and 120 min. The removal efficiencies for color and COD reached 96.6% and 77.69%, respectively. The operating cost at the optimum conditions was also estimated. The energy and the cost of 1 m^3 of wastewater required 34.9 kWh and 2.58 US$, respectively. The graphite electrodes can be successfully utilized for treatment of combed fabric dyeing wastewater with reasonable cost.

Keywords:

1. GİRİŞ

Tekstil endüstrisi, gelişmiş veya gelişmekte olan topluluklarda çok önemli bir role sahip olan rekabetçi bir endüstridir. Ne yazık ki tekstil endüstrileri büyük miktarlarda atık su üretmektedir [1]. Yapılan literatür çalışmalarında 1 kg bitmiş ürün için 125.250 L su gerektiği gözlemlenmiştir [2]. Bu nedenle tekstil endüstrisi, çevre ve insanlar üzerinde tehlikeli etkileri olan boyar maddeler, yüzey aktif maddeler ve katkı maddeleri ile çok büyük miktarlarda atık su üretir [3-4]. Son on yılda, tekstil atık sularının arıtılması için çeşitli yöntemler incelenmiştir. Elektrokimyasal teknikler; işlevsellikleri, basitlikleri, güvenlikleri, çevre dostu olmaları ve düşük maliyetleri nedeniyle daha uygun hale gelmiştir [5].Elektrokimyasal arıtma, tekstil atık suyundaki kirleticiyi doğrudan veya dolaylı yollarla bozabilir.

Elektrokimyasal teknikler temel olarak elektrokoagülasyon, elektroflotasyon ve elektrooksidasyon proseslerini içerir [5]. Elektrooksidasyon (EO) prosesi; akımı veya potansiyeli yöneterek reaksiyon kontrollerini kolaylaştırması ve yerinde arıtma olasılığını artırması nedeniyle en popüler elektrokimyasal teknik haline gelmiştir [6]. Anot olarak kullanılan elektrot malzemesi elektrokimyasal mekanizmayı ve üretilen malzemeyi etkileyebilir [7]. Kurşun ve kurşun oksit [8], bor katkılı elmas [9,11], boyutsal olarak

kararlı anot (DSA) [12-13] ve aktif karbon kumaş (ACC) [14] elektrotları, EO prosesinde elektrot olarak kullanılabilmektedirler. Grafit elektrotlar; düşük maliyetleri, düşük dirençlilikleri, kimyasal inertlikleri ve iyi iletkenlikleri nedeniyle araştırmacıların dikkatini çekmiştir [15-16]. Boyaların grafit elektrotlar tarafından bozunması doğrudan veya dolaylı oksidasyon yoluyla gerçekleşebilir [17]. Doğrudan oksidasyon, grafit yüzeyinde veya doğrudan grafit anoda elektron aktarımında meydana gelir. Tekstil atık sularında klor bulunması, dolaylı oksidasyonu baskın bozunma mekanizması haline getirir. Klorun grafit anotta oksidasyonu, kirleticileri oksitleyebilen aktif türler verir [18]. Penye kumaş boyama atıksuları yüksek klor konsantrasyonuna (14.515 mg/L) sahiptir. Bu nedenle, grafit elektrot çekici bir çözüm olarak kabul edilebilir.

Bu çalışma, penye kumaş boyama atık suyundan grafit elektrotlar ile renk ve KOİ giderim verimliliğini araştırmayı amaçlamaktadır. Geleneksel optimizasyon yöntemleri, değişkenler ve yanıtlar arasındaki karmaşık etkileşimi tanımlayamaz [19]. Yanıt yüzeyi metodolojisi (RSM), bu sorunu çözmek için kullanılabilecek istatistiksel ve matematiksel tekniklerin bir karışımıdır [20-21]. RSM, deney tasarımı ile başlar, ardından model uydurma ve doğrulama ile devam eder ve optimum koşulların belirlenmesi adımıyla sona erer [22]. Bu çalışmada, deneyleri tasarlamak için merkezi kompozit tasarım (CCD) kullanılmıştır. Ayrıca, elektrooksidasyon sürecini modellemek ve optimize etmek için yapay sinir ağı (ANN) kullanılmıştır. ANN, ilişkinin doğası hakkında herhangi bir ön bilgi olmaksızın, etkileyen faktörler ile önerilen cevaplar arasında doğrusal olmayan bir ilişki oluşturma avantajına sahip olan başka bir modelleme tekniğidir [23-24]. Tasarım matrisi ve RSM'den elde edilen nihai pH değerleri, bir yapay sinir ağı oluşturmak için kullanılmıştır. Bu şekilde, modelleme sonuçları daha kesin bir tahmine sahip olmuştur. Böylece, iki yöntemden elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak karşılaştırılmış ve incelenmiştir. Son olarak, penye kumaş boyama atıksularının grafit elektrotlar ile optimum koşullarda elektrooksidasyonunun işletme maliyeti analiz edilmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal

Penye kumaş boyama atiksulari Gaziantep ilindeki bir tekstil fabrikasindan tedarik edilmiştir. Atık su, standart metodlara uygun olarak karakterize edilmiştir [25].

Özellikler tablo 1'de gösterilmektedir.

Tablo1. Penye Kumaş Boyama Atıksuyu Karakterizasyonu

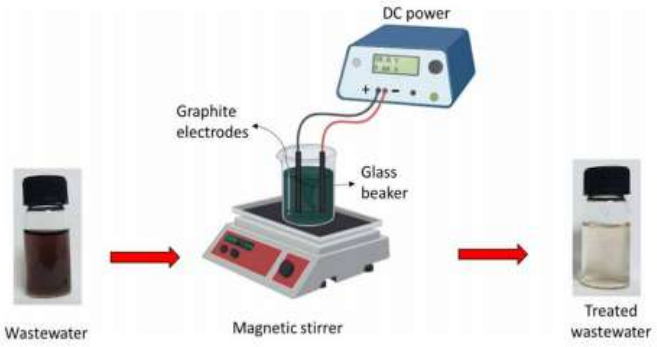
Parametre	Birim	Değer
KOİ	mg/L	833
Renk	Pt/Co	2213
pH	-	6.9
İletkenlik	µs/cm	3030
Klorür	mg/L	1451
Toplam Azot	mg/L	51.3

2.2. Deneysel Aşama

Elektrooksidasyon deneyleri bir kesikli reaktörde gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). 200 mL tekstil atıksuyu borosilikat cam reaktör içerisine yerleştirilmiş, ardından elektrot çiftleri, aralarında 2 cm mesafe kalacak şekilde yerleştirilerek DC güç kaynağına bağlanmıştır. Belirli zamanlarda numuneler toplanmış ve 6,000 rpm'de 5 dakika santrifüjlenmiştir. Renk değişiklikleri UV görünür spektrofotometre (Hach DR 3900) ile

Platinum–Kobalt (Pt-Co) yöntemi kullanılarak 2120 Numaralı Standart Yöntem [25] izlenerek belirlenmiştir. Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), 5220C No'lu Standart Yöntem [25] ile ölçülmüştür. Elektro oksidasyon işleminden önce ve sonra klorür konsantrasyonu, Standart Yöntem No. 4500B [25] izlenerek argentometrik yöntemle ölçülmüştür. Elde edilen giderim verimleri Denklem (1) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$Giderim\ Verimi\ (\%) = \frac{\text{Başlangıç Konsantrasyonu} - \text{Çıkış Konsantrasyonu}}{\text{Başlangıç Konsantrasyonu}} \quad (1)$$



Şekil 1. Elektrooksidasyon Deney Düzeneği

2.3. RSM ve ANN

Elektrooksidasyon prosesini etkileyen parametreleri optimize etmek için yanıt yüzeyi metodolojisinde (RSM) bir yaklaşım olarak merkezi kompozit tasarımı (CCD) kullanılmıştır. CCD, çok değişkenli doğrusal olmayan model geliştirme için istatistiksel bir yöntemdir. CCD, regresyon modeli denklemleri hesaplaması için de uygulanır. Uygulanan akımın yoğunluğu, pH ve deney süresi gibi parametreler, Design Expert Version 11.0 [Stat-Ease] ile deneyleri tasarlamak için model değişkenleri olarak kullanılmıştır. Ön çalışmalardan elde edilen giderim verimleri, düşük ve maksimum seviye için α değerleri, değişken seçim sürecinin aralıkları için temel oluşturmuştur. Faktörlerin aralıkları birçok kritere göre seçilmiştir. Tablo 2, değişkenleri ve aralıkları göstermektedir.

Tablo 2. Bağımsız Değişkenlerin Oranı

Değişken	Birim	Faktör	Düşük	Yüksek	-α	+α
Akım Yoğunluğu	A/m^2	A	50	150	15.91	184.09
pH	-	B	5	9	3.64	10.36
Süre	Dakika	C	50	120	39.55	140.45

Parametre değişikliklerinin KOİ ve renk üzerindeki etkilerini izlemek için toplamda 20 deney gerçekleştirilmiştir. ANN modellemesi, deneylerin sonunda pH değerleri kullanılarak RSM ile entegre edilmiştir. CCD'deki deney matrisi, ANN modellemesi için bir temel olarak kullanılmıştır. Bu çalışmada dört nöron kullanılmıştır. Tasarlanan ANN Şekil 2'de gösterilmektedir.

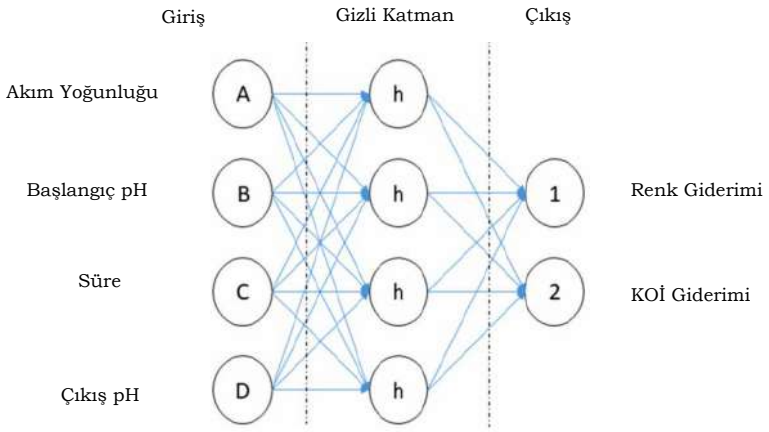
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Renk Giderimi

Bağımsız değişkenlerin renk giderme üzerindeki etkisini incelemek için CCD kullanılmıştır. Sonuçlar lineer, 2FI, kuadratik ve kübik modeller ile test edilmiştir. Regresyon katsayılarına dayalı olarak, sonuçları temsil etmek için doğrusal model seçilmiştir. Geliştirilen modelin tahmin yeteneği de varyans analizi (ANOVA) ile incelenmiştir. Buna göre model büyük bir F değerine (101.97) ve 0.0001'den küçük bir p değerine sahiptir. Bu değerler modelin anlamlı olduğunu ve renk giderme tahmininde kullanılabileceğini göstermektedir. Modelin uyum eksikliği testinde de anlamlı olmadığı bulunmuştur. Model, fark 0,20'den az olduğu için 0,94'lük ayarlanmış R^2 ile makul bir şekilde uyumlu olan 0,91 tahmini bir R^2'ye sahiptir. Ayrıca, 31.42 model oranı 4'ten büyük olduğu için model yeterli bir presesyona sahiptir.

Denklem (2) kullanılarak rengin giderimi beklenebilir.

$$Renk\ Giderim\ Verimi(\%) = 74.99+0.07*Akım-0.17*pH*Süre \quad (2)$$



Şekil 2. Tasarlanan ANN

3.2. KOİ Giderimi

Elektrooksidasyon yöntemiyle KOİ giderimi de CCD yöntemiyle incelenmiş ve modellenmiştir. Deneysel sonuçlar lineer, 2FI, kuadratik ve kübik modellere uyarlanmıştır. İkinci dereceden model en yüksek regresyon değerlerine sahipti. İkinci dereceden model, regresyon faktörünü iyileştirmek ve daha iyi bir veri açıklamasına sahip olmak için azaltılmıştır. Azaltılmış ikinci dereceden model, 0.97'lik bir ayarlanmış R^2'ye sahipken, tahmin edilen R^2 0.95'e sahipti. Azaltılmış ikinci dereceden modelin, 44.12 oranıyla yeterli kesinliğe sahip olduğu gözlemlenmiştir. KOİ uzaklaştırma modeli için varyans analizi testi (ANOVA) de uygulanmıştır. Model sırasıyla 138.01 ve 0.0001 F değeri ve p değeri ile anlamlı bulunmuştur. Model, uyumsuzluk testi ile de incelenmiştir. F-değerine (4.62) göre, model uyum açısından iyidir ve uyum eksikliği anlamlı değildir. Buna göre, geliştirilen model, Denklem (3)'te gösterildiği gibi KOİ'nin uzaklaştırma verimliliğini tahmin etmek için kullanılabilir.

$$KOİ\ Giderim\ Verimi(\%) = -3.482+1.068*Akım-1.823*pH+0.115*Süre-0.004Akım^2 \quad (3)$$

4. SONUÇLAR

Tekstil endüstrisi, gelişmiş veya gelişmekte olan topluluklarda çok önemli bir role sahip olan rekabetçi bir endüstridir. Ne yazık ki tekstil endüstrileri büyük miktarlarda atık su üretmektedir. Tekstil endüstrisinden kaynaklanan atıksular, çevre ve insanlar üzerinde tehlikeli etkileri olan büyük miktarlarda boyarmadde içerir. Bu çalışmada, penye kumaş boyama atıksularının renk ve KOİ giderimi için grafit elektrot ile arıtılması araştırılmıştır. Prosesi etkileyen parametreler (pH, zaman ve akım), yanıt yüzeyi metodolojisi (RSM) ve yapay sinir ağı (ANN) kullanılarak optimize edilmiştir. Beklendiği gibi, geliştirilen ANN sonuçları daha kesin olarak tanımlamıştır. İki model baz alınarak optimum koşullar 150 A/m2, pH 5 ve 120 dk olarak bulunmuştur. Renk ve KOİ giderim verimleri sırasıyla %96,6 ve %77,69'a ulaşmıştır. Optimum koşullarda işletme maliyeti de hesaplanmıştır. 1 m^3 atık suyun enerjisi ve maliyeti sırasıyla 34,9 kWh ve 2,58 ABD Doları gerektirmiştir. Penye kumaş boyama atık sularını arıtmak için verimli bir arıtma uygulaması başarılı bir şekilde kullanılmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu proje Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Kurulu tarafından desteklenmiştir (Proje no: 2021-1-TP2- 4262).

1.1. Kaynakça

[1]. GilPavas, E., Dobrosz-Gómez, I. & Gómez-García, M.-Á. 2020 Efficient treatment for textile wastewater through sequential electrocoagulation, electrochemical oxidation and adsorption processes:optimization and toxicity assessment. Journal of Electroanalytical Chemistry 878, 114578.

[2]. Neill, C. O., Hawkes, F., Hawkes, D., Lourenço, N., Pinheiro, H. & Delee, W. 1999 Colour in textile effluents–sources, measurement, discharge consents and simulation: a review. Journal of Chemical Technology & Biotechnology 74,1009–1018S.

[3]. Aravind, P., Subramanyan, V., Ferro, S. & Gopalakrishnan, R. 2016 Eco-friendly and facile integrated biological-cum-photo assisted electrooxidation process for degradation of textile wastewater. Water Research 93, 230e241.

[4]. Saleh, M., Yalvaç, M., Arslan, H. & Gün, M. 2019a Malachite Green dye removal from aqueous solutions using invader centaurea solstitialis plant and optimization by response surface method: kinetic, isotherm, and thermodynamic study. European Journal of Science and Technology 17, 755–768.

[5]. Brillas, E. & Martínez-Huitle, C. 2015 Decontamination of wastewaters containing synthetic organic dyes by electrochemical methods. An updated review. Applied Catalysis B: Environmental 166–167, 603–643.

[6]. Panizza, M. & Cerisola, G. 2005 Application of diamond electrodes to electrochemical processes. Electrochimica Acta 51,191–199.

[7]. Särkkä, H., Bhatnagar, A. & Sillanpää, M. 2015 Recent developments of electro-oxidation in water treatment – A review. Journal of Electroanalytical Chemistry 754, 46–56.

[8]. Awad, H. & Abo Galwa, N. 2005 Electrochemical degradation of Acid Blue and Basic Brown dyes on Pb/PbO2 electrode in the presence of different conductive electrolyte and effect of various operating factors. Chemosphere 61, 1327–1335.

[9]. Koparal, A. S., Yavuz, Y., Gurel, C. & Ogutveren, U. B. 2007 Electrochemical degradation and toxicity reduction of C.I. Basic Red 29 solution and textile wastewater by using diamond anode. Journal of Hazardous Materials 145, 100–108.

[10]. Zhu, C., Jiang, C., Chen, S., Mei, R., Wang, X., Cao, J., Ma, L., Zhou, B., Wei, Q., Ouyang, G., Yu, Z. & Zhou, K. 2018 Ultrasound enhanced electrochemical oxidation of Alizarin Red S on boron doped diamond(BDD) anode:effect of degradation process parameters. Chemosphere 209, 685–695.

[11]. Kuchtová, G., Chýlková, J., Váň a, J., Vojs, M. & Dušek, L. 2020 Electro-oxidative decolorization and treatment of model wastewater containing acid blue 80 on boron doped diamond and platinum anodes. Journal of Electroanalytical Chemistry 863, 114036.

[12]. Tavares, M., da Silva, L., Sales Solano, A., Tonholo, J., Martinez-Huitle, C. & Zanta, C. 2012 Electrochemical oxidation of methyl red using Ti/Ru0.3Ti0.7O2 and Ti/Pt anodes,'. Chemical Engineering Journal 204–206, 141–150.

[13]. Zhang, O., Lin, B., Chen, Y., Gao, B., Fu, L. & Li, B. 2012 Electrochemical and photoelectrochemical characteristics of tinbo5 nanosheet electrode. Electrochimica Acta 81, 74–82.

[14]. Cukierman, A. 2013 Development and environmental applications of activated carbon cloths. ISRN Chemical Engineering 261523.

[15]. Kariyajjanavar, P., Narayana, J. & Nayaka, Y. 2013a Electrochemical degradation of C.I. Vat brown1 dye on carbon electrode. Advanced Chemistry Letters 1, 32–39.

[16]. Kariyajjanavar, P., Narayana, J. & Nayaka, Y. A. 2013b Degradation of textile dye C.I. Vat black 27 by electrochemical method by using carbon electrodes. Journal of Environmental Chemical Engineering 1 (4), 975–980.

[17]. Hamza, M., Ammar, S. & Abdelhedi, R. 2011 Electrochemical oxidation of 1,3,5-trimethoxybenzene in aqueous solutions at gold oxide and lead dioxide electrodes. Electrochimica Acta 56, 3785–3789.

[18]. Isik, Z., Unal, B. O., Karagunduz, A., Keskinler, B. & Dizge, N. 2020 Electrochemical treatment of textile dye bath wastewater using activated carbon cloth electrodes. Avicenna Journal of Environmental Health Engineering 7 (1), 47–52.
[19]. Taherkhani, S., Darvishmotavalli, M., Bina, B., Karimyan, K., Fallahi, A. & Karimi, H. 2018 Dataset on photodegradation of tetracycline antibiotic with zinc stannate nanoflower in aqueous solution-application of response surface methodology. Data Brief 19, 1997–2003.
[20]. Körbahti, B. K. & Demirbüken, P. 2017 Electrochemical oxidation of resorcinol in aqueous medium using boron-doped diamond anode: reaction kinetics and process optimization with response surface methodology. Frontiers in Chemistry 5, 75.
[21]. Gadekar, M. R. & Ahammed, M. M. 2019 Modelling dye removal by adsorption onto water treatment residuals using combined response surface methodology-artificial neural network approach. Journal of Environmental Management 231, 241–248.
[22]. Darvishmotevalli, M., Zarei, A., Moradnia, M., Noorisepehr, M. & Mohammadi, H. 2019 Optimization of saline wastewater treatment using electrochemical oxidation process: prediction by RSM method. MethodsX 6, 1101–1113.
[23]. Elfghi, F. 2016 A hybrid statistical approach for modeling and optimization of RON: a comparative study and combined application of response surface methodology (RSM) and artificial neural network (ANN) based on design of experiment (DOE). Chemical Engineering Research and Design 113, 264–272.
[24]. Yabalak, E. & Yilmaz, Ö. 2019 Eco-friendly approach to mineralise 2-nitroaniline using subcritical water oxidation method: use of ANN and RSM in the optimisation and modeling of the process. Journal of the Iranian Chemical Society 16, 117–126.
[25]. Rice, E., Baird, R. & Eaton, A. 2017 Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, USA.

HASTANE ATIKSULARININ ARITIMI VE YÖNETİMİ

HOSPITAL WASTEWATER TREATMENT AND MANAGEMENT

Muharrem Barış Pekcan[1,*], Beril Salman Akın[2]

[1] Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Bilimleri Anabilim Dalı, YL Öğrencisi, Teknikokullar ANKARA mbpekcan@gmail.com*

[2] Gazi Üniversitesi, Gazi Eğitim Fakültesi, Biyoloji Eğitimi Anabilim Dalı, Teknikokullar/ANKARA bsakin@gazi.edu.tr

Özet

Son yıllarda tüm Dünyada hastane atık yönetimi konusundaki çalışmalara olan ilgi artmış olmasına rağmen, hastanelerden, medikal araştırma laboratuarlarından, sağlık ocaklarından kaynaklanan atıksuların yönetimi ve arıtımı konusunda yeterli özen gösterilememiştir. Sağlık kuruluşlarında oluşan atıksuların kompozisyonu, evsel atıksulara benzer olmasına rağmen; ilaç aktif maddeler, diyagnostik tanı amaçlı kullanılan çok sayıda farklı nitelikte kimyasallar ve dezenfektanlar ile kirlenmesinden dolayı, bünyesinde birçok kimyasal madde barındırabilmektedir. Sağlık kuruluşları atıksuların yönetilebilirliği ile ilgili uygulamalar incelendiğinde, belirli bir standart olmadığı ve ülkelere göre değişiklik gösterdiği görülmektedir. Sağlık kuruluşlarından kaynaklanan atıksular, çoğunlukla herhangi bir ön işlem uygulamadan doğrudan kanalizasyona verilerek uzaklaştırılmaktadır ve evsel atıksuya benzer şekilde değerlendirilmektedir. Bu tez çalışmasında Ülkemizde faaliyet gösteren sağlık kuruluşlarında su kullanımına göre oluşan farklı nitelik ve miktarlardaki atıksuların karakterizasyon incelenmesi yapılmaya çalışılmıştır. Belirlenen atıksu miktar ve karakterizasyonlarına göre oluşan atıksuların kanalizasyon şebelerine deşarj edilmeden önce uygulanabilecek ön arıtım teknolojileri değerlendirilmiştir. Bu kapsamda, Konya Şehir Hastanesi Labroratuvarlarında oluşan atıksuların ön arıtım ile arıtılabileceği pilot bir arıtım sistemi (OXI-NR BIOGUARD) kullanılarak arıtım performans değerlendirmleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda söz konusu hastane için Atıksu Yönetim Plan Örneği oluşturulmuştur.

Abstract

Although the interest in studies on hospital waste management has increased all over the world in recent years, sufficient attention has not been paid to the management and treatment of wastewater originating from hospitals, medical research laboratories and health centers. Although the composition of wastewater generated in health institutions is like domestic wastewater; It can contain many chemicals due to its contamination with active pharmaceutical ingredients, many chemicals of different nature used for diagnostic purposes, and disinfectants. When the practices related to the manageability of wastewater in health institutions are examined, it is seen that there is no specific standard and it varies according to the countries. Wastewater originating from health institutions is mostly disposed of directly to the sewer without any pre-treatment and is treated similarly to domestic wastewater. In this thesis study, it has been tried to examine the characterization of wastewater of different qualities and quantities, which are formed according to water use in health institutions operating in our country. Pre-treatment technologies that can be applied before the wastewater is discharged to the sewerage networks, which are formed according to the determined wastewater amount and characterization, have been evaluated. In this context, treatment performance evaluations were made by using a pilot treatment system (OXI-NR BIOGUARD) in which the wastewater generated in Konya City Hospital Laboratories can be treated with pre-treatment. In line with the results obtained, a Wastewater Management Plan Example was created for the hospital in question.

Keywords: Hospital wastewaters, Hospital wastewater treatment, OXI-NR BOIGUARD

YÜZEY YANIT METODU KULLANILARAK PİRİNÇ KAVUZUNDAN SİLİKA EKSTRAKSİYONU VE SAFRANİN BOYASININ ADSORPSİYONU

OPTİMİZATİON OF SİLİCA EXTRACTİON FROM RİCE HUSK USİNG RESPONSE SURFACE METHODOLOGY AND ADSORPTİON OF SAFRANİN DYE

Melis Gün[1], Hudaverdi Arslan[1]*, Mohammed Saleh[1], Mutlu Yalvaç[1], Nadir Dizge[1]

[1] *Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü*

** Sorumlu yazar, harslan@mersin.edu.tr*

Özet

Bu çalışma, yüzey yanıt metodolojisini kullanarak pirinç kavuzundan (PK) silika geri kazanımı ve geri kazanım miktarını optimize etmeyi amaçlamaktadır. Metodoloji çalışmasında sıcaklık, potasyum hidroksit pirinç kavuzu oranı (KOH:PK) ve maruz kalma süresi etkileri modellenmiştir. Geliştirilen model, %93.19' luk bir oran ile tasarım alanı için önemli ve yeterince hassas olduğu değerlendirilmiştir. Model çalışmasında en önemli faktör olan F değeri olarak KOH:PK oranı bulunmuş olup önem değeri sıralamasına göre zaman ve sıcaklık parametreleri tespit edilmiştir. Yapılan deneysel çalışma sonuçlarında yapılan XRF analizi sonuçlarına göre, maksimum silika verimi %55 olarak bulunmuştur. Çalışmada ekstrakte edilen silika, sulu çözeltilerden Safranin boyasının adsorpsiyonu için kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda adsorpsiyonu etkileyen faktörler; pH, adsorbent miktarı, başlangıç konsantrasyonu ve zaman parametrelerinin optimizasyonu ile maksimum adsorpsiyon verimi elde edilmiştir. Safranin adsorpsiyonu için optimum koşullar pH 8, adsorbent dozu 1g/L, başlangıç konsantrasyonu 25mg/L ve temas süresi 60 dakika olarak bulunmuştur.

Abstract

This study aims to extract and optimize silica from rice husk (PK) using the response surface methodology. The effects of temperature, potassium hydroxide to rice husk ratio (KOH: PK), and exposure time were modeled. The developed model was significant and adequately precise to navigate the design space with a percentage of 93.19%. Based on the F-value for the model terms, the KOH: PK ratio is the most important factor, followed by time, then temperature. Based on XRF analysis, the maximum yield was 55%. The extracted silica was utilized for Safranin dye adsorption from aqueous solutions. The affecting factors like; pH, adsorbent amount, initial concentration, and time were optimized to achieve maximum adsorption efficiency. The optimum conditions for Safranin adsorption occurred at pH 8, adsorbent dose of 1g/L, initial concentration of 25mg/L, and contact time of 60 min.

Anahtar Kelimeler: *Silica Ekstraksiyonu, Yüzey Yanıt Yöntemi, Safranin adsorpsiyonu*

Keywords: *Silica Extraction, Response surface methodology, Safranin adsorption*

1. Giriş

Pirinç önemli bir tarım ürünü olup dünyadaki tüm besin listelerinde yer almaktadır [1, 2]. FAO 2021 verilerine göre son üç yılda tüm dünyada 162 191 000 dekar pirinç ekilmiş ve bu alandan yıllara dair 2019, 2020 ve 2021 yıllarında sırasıyla 502 900 000, 514 300 000 ve 519 100 000 ton ürün elde edilmiştir [3,4]. Bu istatistiki bilgiler üretim miktarında beslenme ihtiyacı artışı paralelinde üretiminde arttığını göstermektedir.

Pirinç kavuzu, dünya çapında pirinç üretimine paralel büyük miktarlarda üretilen tarımsal bir atıktır [5, 6, 7]. Pirinç çeltiğinin ağırlığının yaklaşık %20-33'ü pirinç kavuzudur [8, 9]. Pirinç kavuzu %28-30 inorganik ve %70-72 organik bileşik içerir [10]. Pirinç kavuzu selüloz, hemiselüloz ve lignin içeren üç organik bileşenden oluşur. Pirinç üretim alanının özelliklerine bağlı olarak selüloz, hemiselüloz ve lignin içerik oranları sırasıyla %28.6-41.5, %14.0-28.6 ve %20,4-33.7 arasında değişmektedir [11, 12]. İnorganik kısmın en önemli bileşeni silikadır (SiO_2). Pirinç kavuzunun yapısında bulunan SiO_2 kavuzun iskeletini oluşturur ve amorf yapıdadır. Ham kavuzdaki silika ağırlıkça %15-20 oranlarda değişkenlik gösterdiği bildirilmektedir [13]. Bununla birlikte, pirinç kavuzu külünde SiO_2, %60-70 [14] ila %90-98 [15, 16] arasında değişen miktarlarda bulunabilir. Pirinç kavuzu külündeki diğer temel bileşenleri ise K_2O, MgO, CaO, P_2O5 ve az miktarda Na, Fe ve Al olarak sıralamak mümkündür [10, 17, 18]. Pirinç kavuzunun kalorifik değeri, pirincin türüne ve yetiştirildiği bölgeye bağlı olarak 13.4-17.4 MJ/kg arasında değişmektedir [19, 20, 21]. İçindeki değerli bileşenlerden dolayı birçok araştırmacı pirinç kavuzunun faydalı kullanımını araştırmıştır.

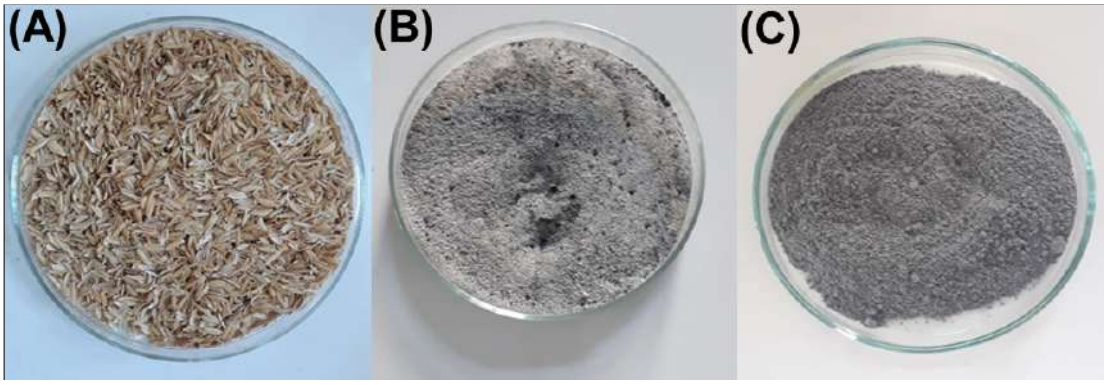
Ham pirinç kavuzunun yapısı ve özellikleri aynı zamanda yanma sıcaklığına da bağlıdır. Çeşitli yanma sıcaklıkları (400-900 °C) altında elde edilen bağıl nem, spesifik yüzey alanı ve gözenek hacmi güçlü bir sıcaklık bağımlılığı sergilemiştir. Katı formdaki yanıcı maddeler çoğunlukla yanma sürecinde, artan yakma sıcaklığı ile bağıl nemin özgül yüzey alanı ve yanma sonucu geriye kalan katı malzemenin gözenek hacmi azalmıştır. Yapılan çalışmalarda PK'nın amorf silika yapısının yoğunluğu artan sıcaklıkla azalırken, Si-O-Si bağ açısı sıcaklıkla artığı tespit edilmiştir.

Bu çalışmada, RSM kullanılarak PK'dan silika ekstrakte edilmiş ve sulu çözeltiden Safranin boya adsorpsiyonu için kullanılmıştır. Ekstrakte edilen silika oranı, sıcaklığa, potasyum hidroksitin pirinç kavuzuna oranına ve maruz kalma süresine göre değerlendirildi. Adsorpsiyon deneyleri için, maksimum adsorpsiyon verimini elde etmek için pH, adsorbent miktarı, başlangıç konsantrasyonu ve zaman parametreleri optimize edildi.

2. Materyal ve Yöntem

2.1 Adsorbentin hazırlanması

Pirinç kavuzu Mersin'de bulunan yerleşik bir bakliyat firmasından temin edilmiştir. Pirinç kavuzu etüvde (Hareus) 105 °C'de kurutulduktan sonra öğütülmüş ve 35 mesh elekten geçirilmiştir. Hazırlanan ham pirinç kavuzu 350 °C'de 2 saat karbonize edilmiş ve pirinç kavuzu külü (PKK) elde edilmiştir. Bu küller potasyum hidroksit (KOH) ile karıştırılarak kül fırınında (Protherm) yakılmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. (A) Ham pirinç kavuzu, **(B)** 350 C'de karbonize pirinç kavuzu, **(C)** KOH ile karıştırılmış ve kül fırınında yakılmış pirinç kavuzu.

Pirinç kavuzundan silika geri kazanım işlemini optimize etmek için yüzey yanıt yöntemi (RSM) kullanılmıştır. Ekstrakte edilen silika oranı, sıcaklığa, potasyum hidroksitin pirinç kavuzuna oranına ve maruz kalma süresine göre değerlendirilmiştir. Tablo 1 değişkenlerin aralıklarını göstermektedir.

Table 1. RSM için değişken aralıkları.

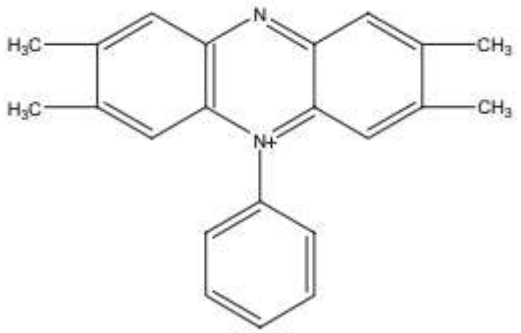
Parametre	Birim	Faktör	En düşük	En yüksek
Temperature	°C	A	700	900
KOH:PK	-	B	0.5	2
Time	min	C	60	180

Değişken aralıkları ön deneyler kullanılarak belirlenmiştir. Bu değişkenlerin ekstrakte edilen silika miktarı üzerindeki etkisini modellemek için 17 deney gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar Design Expert V11 yazılımı yardımıyla analiz edilmiştir.

2.2 Boya hazırlama

Safranin (Basic Red 2), kimyasal formülü $C_{20}H_{19}CIN_4$ ve moleküler ağırlığı 350,8 g/mol olan katyonik sentetik bir boyadır. Çalışmada kullanılmak üzere 1000 ppm'lik bir stok solüsyon hazırlanmıştır. Deneylerde pH'ı istenilen değerlere ayarlamak için 0.1 M sodyum hidroksit (NaOH) ve 0.1 M hidroklorik asit (HCl) kullanılmıştır. Tablo 2 boya özelliklerini göstermektedir.

Tablo 2. Safranin özellikleri [22].

Kimyasal Formül	$C_{20}H_{19}CIN_4$
Kimyasal yapısı	
Dalga boyu	517-530 nm
Renk	Kırmızı
Molekül ağırlığı	350.8

2.3 Adsorpsiyon deneyleri

Deneylerde; pH, adsorbent miktarı, boya başlangıç konsantrasyonu ve zaman parametreleri optimize edildi. Tüm deneylerde 100 ml çözelti hacmi kullanılmıştır. Deney sonucunda verim (%) ve adsorbent kapasitesi (q_e) (mg/g) sırasıyla Denklem 3 ve 4 kullanılarak hesaplanmıştır [23].

$$\%\, Verim = (C_i - C_e)/C_i * 100 \quad (3)$$

$$q_e = (C_i - C_e) \times V / m \quad (4)$$

Burada C_i ve C_e başlangıç konsantrasyonu ve son konsantrasyondur (mg/L); q_e katı faz konsantrasyonudur (mg/g); V, (L)'deki çözeltinin hacmidir; ve m, çıkarılan kütledir (g).

3. Sonuçlar ve Tartışmalar

3.1 PKK'dan silika ekstraksiyonu için RSM sonuçları

Pirinç kavuzundan (PK) silika ekstraksiyon işlemi, RSM aracılığı ile gerçekleştirilmiştir. Silika ekstraksiyonuna etki eden faktörler, Design Expert V11 yazılımı yardımıyla Box-Behnken yöntemi ile modellenmiştir. Ekstraksiyon işleminin sonunda, silika yüzdelerini belirlemek için numunelerin XRF analizleri yaptırılmıştır.

XRF analiz sonuçlarında, en iyi sonucu elde etmek için 2FI, Doğrusal, Kuadratik ve Kübik modellerine uyarlanmıştır. Tablo 3, farklı modeller için Ardışık model kareler toplamını göstermektedir.

Tablo 3. Sıralı model kareler toplamı.

Source	Sum of Squares	Mean	F-value	p-value	Note
Mean vs Total	445.6129	445.6129			
Linear vs Mean	16.47381	5.491268	8.008999	0.002812	
2FI vs Linear	4.960721	1.653574	4.183546	0.036815	
Quadratic vs 2FI	3.667409	1.22247	30.00918	0.000228	Suggested
Cubic vs Quadratic	0.285156	0.095052			Aliased
Residual	0	0			
Total	471	27.70588			

F-değeri ve P-değerine dayalı olarak, elde edilen silika en iyi ikinci dereceden ve 2FI modelleriyle temsil edildiğini göstermiş olup, kübik ile ikinci dereceden arasında değerlendirilmiş ve 2F modeli kullanılmıştır. Regresyon katsayısına (R^2) dayanarak, ikinci dereceden model seçilmiştir. Tablo 4, model özet istatistiklerini göstermektedir.

Tablo 4. Model istatistikleri.

Source	Std.	R^2	Adjusted R^2	Predicted R^2	Note
Linear	0.828032	0.648905	0.567883	0.300088	
2FI	0.628694	0.844308	0.750893	0.345671	
Quadratic	0.201833	0.988768	0.974326	0.820283	Suggested
Cubic	0	1	1		Aliased

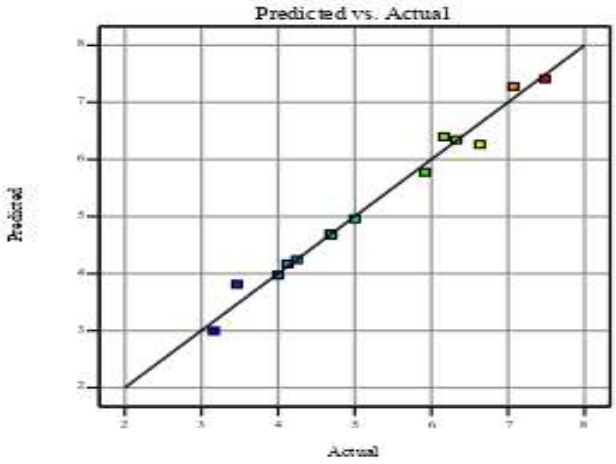
Varyans analizi (ANOVA) testi ile modelin anlamlılığı incelenmiştir. Modeli geliştirmek için ikinci dereceden model kullanılmıştır (Tablo 5).

Tablo 5. Geliştirilen model için ANOVA testi.

Source	Sum of squares	Mean	F-value	p-value
Model	24.97474	4.162456	100.9437	2.31E-08
A-Temperature	1.810664	1.810664	43.91039	5.88E-05
B-KOH:PK	12.0285	12.0285	291.703	9.98E-09
C-Time	2.634642	2.634642	63.89266	1.19E-05
AB	3.349734	3.349734	81.23437	4.08E-06
AC	1.493394	1.493394	36.21629	0.000129
B^2	3.657802	3.657802	88.70531	2.75E-06
Residual	0.412354	0.041235		
Lack of Fit	0.412354	0.068726		
Pure Error	0	0		

Cor Total	25.38709

Geliştirilen model için F değeri 100.94 olup, bu modelin anlamlı olduğunu ifade etmektedir. Gürültü nedeniyle bu kadar büyük bir F değerinin ortaya çıkma olasılığı yalnızca %0.01'dir. Geliştirilen model için 0.05'den küçük olan P değerleri anlamlıdır. Bu durumda A, B, C, AB, AC, B^2 önemli model terimleridir. Model terimleri için F değerine dayalı olarak, KOH:PK oranı en önemli faktördür, ardından zaman ve ardından sıcaklık gelmektedir. Değiştirilmiş ikinci dereceden model için ayarlanmış R^2 ve tahmin edilen R^2 sırasıyla 0.9740 ve 0.9319'dur. Model ayrıca yeterli derecede hassastır (33.8985<4) ve model, tasarım alanı için %93.19'luk bir yüzde ile kullanılabilir değerlendirilmiştir. Bu, tahmin edilen sonuçlar ile gerçek sonuçlar arasında mükemmel bir korelasyon olduğunu göstermiştir. Benzer sonuçlar daha önce yapılan çalışmalarda da tartışılmıştır [24]. Şekil 2, silika ekstraksiyonu için tahmin edilen ve gerçek değerler arasındaki korelasyonu göstermektedir.



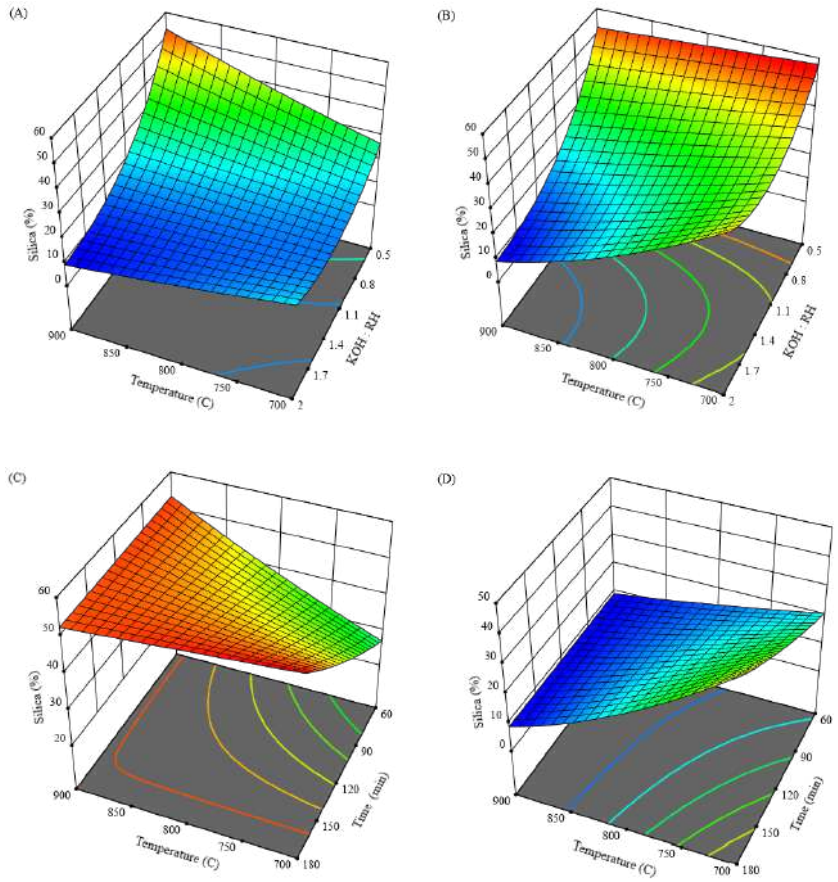
Şekil 2. Silika ekstraksiyon modeli için tahmini ve gerçek değerler.

Elde edilen silika modeli için gerçek faktör denklemi Denklem 1'de gösterilmiştir.

$$\sqrt{Silika}\ \% = -10.01206 + 0.022715 \times Sıcaklık + 3.99594 \times KOH{:}PK + 0.091034 \times Zaman - 0.012202 \times Sıcaklık \times KOH{:}PK - 0.000102 \times Sıcaklık \times Zaman + 1.65214 \times (KOH{:}PK)^2$$

Bireysel parametrelerin silika ekstraksiyon işlemi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Şekil 3A ve 3B, sıcaklığın ve KOH:PK oranının silika ekstraksiyonu üzerindeki etkilerini göstermektedir. 60 dakikalık bir maruz kalma süresi için, düşük KOH:PK oranlarında sıcaklıktaki artışlarla ekstrakte edilen silika artmıştır. 900°C'de ve KOH:PK oranı 0,5'te, elde edilen silika %55 olmuştur. KOH:PK oranlarındaki artışlar ile sıcaklık artışları ile silika miktarı azalmıştır. Uzun süreli maruz kalma (180 dakika) için, elde edilen silika miktarı, tüm KOH:PK oranları için sıcaklıkla ters bir ilişkiye sahipti. Ayrıca, KOH:PK oranındaki artışlar ile silis miktarı da 0,5'te 57'den 2'de 35'e düştü. Silika miktarındaki düşüşler yüksek

sıcaklık dereceleri için daha keskin bir şekle sahipti. Zaman ve sıcaklığın silika üzerindeki etkileri, Şekil 3C ve 3D'de sunulmaktadır. 700-800 °C sıcaklık aralığında, maruz kalma süresinin artmasıyla ekstrakte edilen silika miktarı artmıştır. Bu aralığın ötesinde, zamandaki artışların ters bir ilişkisi vardı (Şekil 3C). Daha yüksek KOH:PK oranlarında, Şekil 3D'de gösterildiği gibi, zamandaki artışların silika ekstraksiyonu üzerinde minimum etkileri oldu.



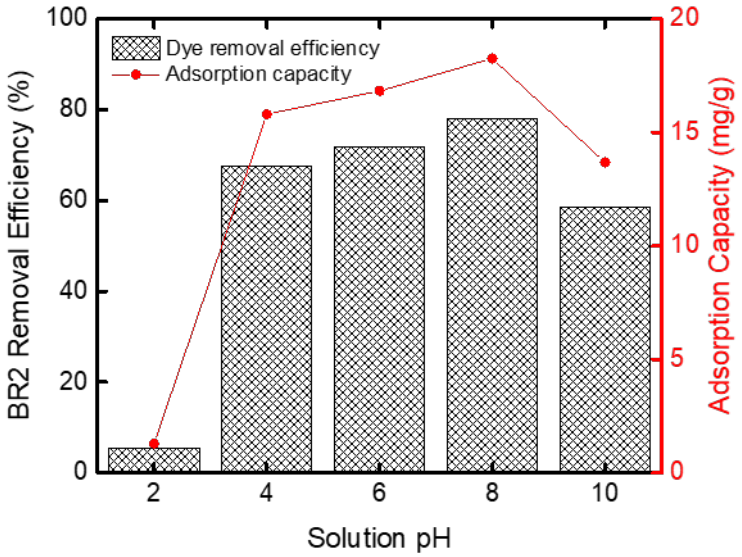
Şekil 3. (A) 60 dakikalık bir zamanda silika ekstraksiyonu üzerinde sıcaklık ve KOH:PK oranının etkileri **(B)** 180 dakikalık bir zamanda sıcaklık ve KOH:PK oranının silika ekstraksiyonu üzerindeki etkileri **(C)** KOH:PK oranı 0,5 **(D)**'de zaman ve sıcaklığın silika ekstraksiyonu üzerindeki etkileri KOH:PK oranı 2 olan zaman ve sıcaklığın silika ekstraksiyonu üzerindeki etkileri.

3.2 Safranin boyasının ekstrakte edilmiş silika üzerine adsorpsiyonu

3.2.1 pH'ın etkisi

Ekstrakte edilen silika yüzeyindeki protonasyon ve deprotonasyon işlemleri pH tarafından kontrol edilir [25]. Bu adımda, 25 mg/L boya konsantrasyonuna 1 g/L ekstrakte edilmiş silika ilave edildi. Karışım, oda sıcaklığında (25±2 °C) 200 rpm'de 60 dakika çalkalandı. pH ile giderim verimlerindeki ve adsorpsiyon kapasitelerindeki değişimler Şekil 4'te gösterilmiştir. pH'daki artışlarla giderim verimi

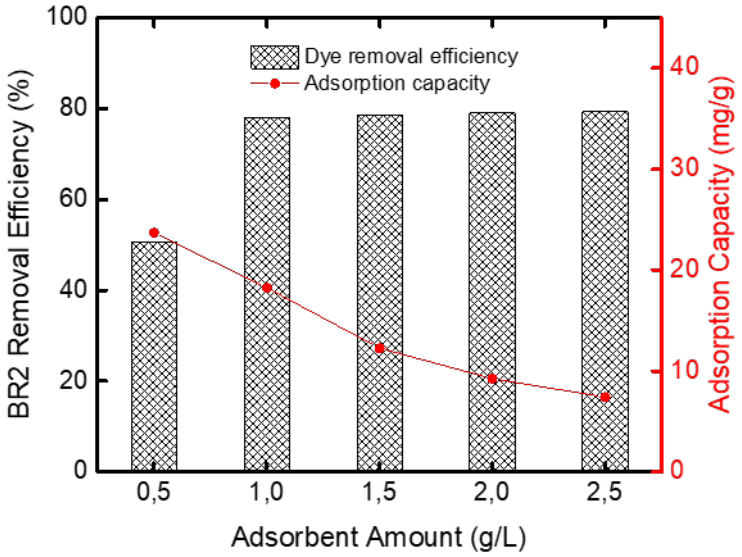
artmıştır. pH 2'de giderim verimliliği ve adsorpsiyon kapasitesi %5.5 ve 1.3 mg/g idi. Giderim verimliliği ve adsorpsiyon kapasitesi, pH 4'te sırasıyla %67.5 ve 15.8 mg/g'ye ulaşmak üzere keskin bir şekilde arttı. Maksimum giderim verimi ve adsorpsiyon kapasitesi pH 8'de elde edilmiştir. pH 8 sonrasında giderim verimi ve adsorpsiyon kapasitesi düşmüştür.



Şekil 4. pH değişimi ile giderim verimi ve adsorpsiyon kapasitesindeki değişimler

3.2.2 Adsorbentin miktarı etkileri

Adsorbent miktarının giderim verimliliği üzerindeki etkisi araştırıldı. Ekstrakte edilen silika, farklı miktarlarda (0.5-2.5 g/L) 25 mg/L konsantrasyonda ve pH değeri 8 olan çözeltilere ilave edildi. Karışımlar, oda sıcaklığında (25± 2°C) 60 dakika çalkalandı (200 rpm). Adsorbent miktarının 0,5-1 g/L'den %50,64'ten %78.00'e artmasıyla giderim verimliliği keskin bir şekilde arttı. 1 g/L'nin ötesinde, Adsorbent miktarındaki artışların giderim verimleri üzerinde minimal etkileri olmuştur. Adsorbent miktarının artmasıyla adsorpsiyon kapasitesi azalmıştır. Şekil 5, adsorbent miktarındaki değişikliklerle giderim verimlerindeki ve adsorpsiyon kapasitelerindeki değişiklikleri göstermektedir.



Şekil 5. Adsorbent miktarındaki değişim ile giderim verimi ve adsorpsiyon kapasitesindeki değişimler

4. Sonuç

Bu çalışma, yüzey yanıt metodolojisi yoluyla pirinç kavuzundan (PK) silika ekstraksiyonunu optimize etmeyi amaçlamıştır. Sıcaklığın, potasyum hidroksitin pirinç kavuzuna oranının (KOH: PK) ve maruz kalma süresinin etkileri modellenmiştir. KOH:PK oranı en önemli faktördür, ardından sırasıyla zaman ve sıcaklık gelir. Ekstrakte edilen silika, sulu çözeltilerden Safranin boya adsorpsiyonu için kullanıldı. Safranin adsorpsiyonu için optimum koşullar pH 8, adsorbent dozu 1g/L, başlangıç konsantrasyonu 25mg/L ve temas süresi 60 dakikadır.

Adsorbent olarak pirinç kavuzundan ekstrakte edilen silikanın kullanımı umut verici bir çalışma konusudur. Ekstrakte edilen silika herhangi ekstra işlem gerektirmeden bir adsorbent olarak başarılı bir şekilde kullanılmıştır. Ekstrakte edilmiş silikada aktif hidroksil gruplarının mevcudiyeti, silikanın işlevselliğini arttırır. Gelecekteki araştırmalarda, elde edilen silika farklı şekillerde modifiye edilebilir. Yüksek asidik sistemlere veya kuvvetli alkali sistemlere uyumlu olabilir. Ayrıca, yüksek moleküler ağırlıklı polimerlerin sentezi için bir şablon olarak kullanılabilir.

Teşekkür

Bu çalışma, Mersin Üniversitesi yüksek lisans tez çalışması kapsamında yapılmış olup, Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından 2021-2-TP2-4448 nolu proje olarak desteklenmektedir.

Kaynaklar

[1] X. Wang, H. Chen, X. Fu, S. Li and J. Wei, "A novel antioxidant and ACE inhibitory peptide from rice bran protein: Biochemical characterization and molecular docking study," LWT, vol. 75, pp. 93-99, 2017.

[2] Y. Rodríguez-Restrepo, P. Ferreira-Santos, C. Orrego, J. Teixeira and C. Rocha, "Valorization of rice by-products: Protein-phenolic based fractions with bioactive potential," Journal of Cereal Science, vol. 95, p. 103039, 2020.

[3] R. Barker, D. Dawe, T. P. Tuong, S. I. Bhuiyan and L. C. Guerra, "The outlook for water resources in the year 2020: challenges for research on water management in rice production," International Rice Commission Newsletter , vol. 49, pp. 7-21, 2000.

[4] FAO. 2021 Crop Prospects and Food Situation - Quarterly Global Report No. 3, September 2021. Rome.

[5] P. Thamnarathip, K. Jangchud, S. Nitisinprasert and B. Vardhanabhuti, "Identification of peptide molecular weight from rice bran protein hydrolysate with high antioxidant activity," J. Cereal. Sci., vol. 69, pp. 329-335, 2016.

[6] M. A. Khan, "Innovative ABC Techniques," Accelerated Bridge Construction, pp. 159-212, 2015.

[7] R. P. Jaya, "Porous concrete pavement containing nanosilica from black rice husk ash," New Materials in Civil Engineering, pp. 493-527, 2020.

[8] I. Quispe, R. Navia and R. Kahhat, "Energy potential from rice husk through direct combustion and fast pyrolysis: A review," Waste Management, vol. 59, pp. 200-210, 2017.

[9] S. Shafie, T. Mahlia, H. Masjuki and A. Ahmad-Yazid, "A review on electricity generation based on biomass residue in Malaysia," Renewable and Sustainable Energy Reviews , vol. 16, p. 5879–5889, 2012.

[10] T. G. Korotkova, S. J. Ksandopulo, A. P. Donenko, S. A. Bushumov and A. S. Danilchenko, "Physical Properties and Chemical Composition of the Rice Husk and Dust," Orient J Chem, vol. 32, no. 6, pp. 3213-3219, 2016.

[11] A. Muhammad, M. İkbal and T. Mahmood, "A study on improving the performance of a research reactor's equilibrium core," Nuclear Technology & Radiation Protection, vol. 28, no. 4, pp. 362-369, 2013.

[12] J. S. Lim, Z. A. Manan, S. R. W. Alwi and H. Hashim, "A review on utilisation of biomass from rice industry as a source of renewable energy," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 16, no. 5, pp. 3084-3094, 2012.

[13] D. Pang, W. Weng, J. Zhou, D. Gu and W. Xiao, "Controllable conversion of rice husks to Si/C and SiC/C composites in molten salts," Journal of Energy Chemistry, vol. 55, pp. 102-107, 2021.

[14] A. Nuamah, A. Malmgren, G. Riley and E. Lester, "Biomass Co-Firing," in Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences, 2012, pp. 55-73.

[15] N. Phonphuak and P. Chindaprasirt, "Types of waste, properties, and durability of pore-forming waste-based fired masonry bricks," in Eco-Efficient Masonry Bricks and Blocks Design, Properties and Durability, 2015, pp. 103-127.

[16] Q. Feng, K. Chen, D. Ma, H. Lin, Z. Liu, S. Qin and Y. Luo, "Synthesis of high specific surface area silica aerogel from rice husk ash via ambient pressure drying," Colloids Surf. A, vol. 539, pp. 399-406, 2018.

[17] C. A. Moraes, I. J. Fernandes, D. Calheiro, A. G. Kieling, F. A. Brehm, M. R. Rigon, J. A. B. Filho, I. A. Schneider and E. Osorio, "Review of the rice production cycle: Byproducts and the main applications focusing on rice husk combustion and ash recycling," Waste Management & Research, vol. 32, no. 11, p. 1034–1048, 2014.

[18] V. Van, C. Rößler, D. Bui and H. Ludwig, "Pozzolanic reactivity of mesoporous amorphous rice husk ash in portlandite solution," Constr. Build. Mater., vol. 59, pp. 111-119, 2014.

[19] V. Della, D. Hotza, J. Junkes and et al., "Comparative study of silica obtained from acid leaching of rice husk and the silica obtained by thermal treatment of rice husk ash," Química Nova, vol. 29, p. 1175–1179, 2006.

[20] M. Wang, Y. Huang, P. Chiueh, W. Kuan and S. Lo, "Microwave-induced torrefaction of rice husk and sugarcane residues," Energy , vol. 37, pp. 177-184, 2012.

[21] J. Alvarez, G. Lopez, M. Amutio, J. Bilbao and M. Olazar, "Bio-oil production from rice husk fast pyrolysis in a conical spouted bed reactor," Fuel , vol. 128, p. 162–169, 2014.

[22] K. Vasanth Kumar and S. Sivanesan, "Sorption isotherm for safranin onto rice husk: Comparison of linear and non-linear methods," Dyes and Pigments, vol. 72, pp. 130-133, 2007.

[23] X. Castillo, J. Pizarro, C. Ortiz, H. Cid, M. Flores, E. De Cank and P. Van Der Voort, "A cheap mesoporous silica from fly ash as an outstanding adsorbent for sulfate in water," Microporous and Mesoporpus Materials`, vol. 272, pp. 184-192, 2018.

[24] M. Saleh, M. Yalvaç and H. Arslan, "Optimization of Remazol Brilliant Blue R Adsorption onto Xanthium Italicum using the Response Surface Method," Karbala International Journal of Modern Science, vol. 5, no. 1, 2019.

[25] Z. Isik, M. Saleh and N. Dizge, "Adsorption studies of ammonia and phosphate ions onto calcium alginate beads," Surfaces and Interfaces, vol. 26, p. 101330, 2021.

SÜT ENDÜSTRISI ATIKSULARININ SANMBR ILE ARITILABILIRLIĞINDE ÇAMUR YAŞININ ETKISI

Samet Özcan[1,*], Hasan Koçyiğit[2]

, Aksaray Üniversitesi, Bilimsel ve Teknolojik Araştırma ve Geliştirme Merkezi 68100, Merkez/AKSARAY sametozcan@aksaray.edu.tr*

[2] *Aksaray Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 68100, Merkez/AKSARAY kocyigithasan@hotmail.com*

Özet

Yüksek konsantrasyonda kirletici yükü içeren süt ve süt ürünleri endüstrisi atıksuları, alıcı ortamın kimyasal ve fiziksel yapısına zarar vermektedir. Çalışmamızda, Batık Anaerobik Membran Biyoreaktör (sAnMBR) kullanılarak fiziksel ön arıtımından geçirilmiş süt ve süt ürünleri endüstrisi gerçek atıksularının arıtım işlemi çalışılmış ve biyolojik reaktörlerin en önemli işletme parametrelerinden birisi olan çamur yaşının etkisi araştırılmıştır. Hidrolik Bekletme Süresi (HBS) 24 saatte sabit tutularak 60, 40 ve 20 günlük Çamur Yaşlarında (ÇY) denemeler yapılmıştır. 0,45 mikron hollow fiber membranların kullanıldığı bu çalışmada reaktördeki Biomass(mgUAKM/L) değerleri 60,40 ve 20 günlük ÇY'larıda sırasıyla 36755±184 mg/L, 26291±135 mg/L ve 17137±101 mg/L olarak ölçülmüştür. Organik yükleme değerleri sırasıyla 4.95±0.36, 4.46±0.3 ve 7.93±0.13 kg/m^3.gün, F/M oranı ise sırasıyla 0.135±0.04, 0.17±0.03 ve 0.46±0.03 kgKOİ/kgUAKM.gün olarak hesaplanmıştır. Giderim verimlerine göre optimum sonuçlara 60 günlük çamur yaşında ulaşılmıştır. Buna göre organik kirleticilerin ana göstergesi olarak kabul edilen toplam Kimyasal Oksijen İhtiyacı (tKOİ) ve Toplam Organik Karbon (TOK) parametrelerinde sırasıyla % 96.87±2 ve % 98.45±1.4 giderim verimleri elde edilmiştir. Ayrıca 20 günlük çamur yaşında organik yükleme değeri 60 günlük çamur yaşına göre 2 katına yakın bir artışa ulaşmasına rağmen % 84.03±1.3'lük COD ve % 94.4±2.4'lük TOC giderim verimleri elde edilmiştir. Bu çalışmada süt ürünleri endüstrisi atıksularında anaerobik arıtımın membran kullanımı sayesinde reaktörde daha yüksek UAKM konsantrasyonlarına ve sonsuz çamur yaşı kullanılmadan da oldukça iyi giderim sonuçlarına ulaşılmıştır.

Bu çalışma Aksaray Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi(BAP) tarafından 2015-023 nolu Proje ile desteklenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Anaerobik Arıtım, Çamur Yaşı, Süt Endüstrisi; Batık Membran Biyoreaktör

ELECTROOXIDATION of 2-NAPHTHOL the PRESENCE of NaCl USING BDD AND MMO ELECTRODES

Zubeda UKUNDİMANA [1,*], Orhan Taner CAN[2], Leyla GAZİGİL[3]

[1,] Department of Civil Engineering, College of Science and Technology, University of Rwanda, Rwanda z.ukundimana@ur.ac.rw*

[2]Bursa Technical University, Department of Environmental Engineering, 16310 Bursa, Turkey orhan.can@btu.edu.tr

[3]Bursa Uludag University, Department of Environmental Engineering, 16000 Bursa, Turkey leylagazigil@uludag.edu.tr

[3]Bitlis Eren University, Department of Chemistry, 13000 Bitlis, Turkey

lhazigil@beu.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, 2-Naftolün NaCl varlığında BDD ve MMO Elektrotları kullanılarak mineralizasyonu incelenmiştir. Anot elektrot malzemesinin mineralizasyon seviyesine etkisini gözlemlemek için anotta farklı tipte 6 elektrot kullanılmıştır. 2-Naftol çözeltisinin toplam organik karbon (TOC) değeri ölçülerek deney başlangıcında ve sonunda 2-Naftol mineralizasyon seviyesi ölçülmüştür. Ayrıca başlangıç pH'ının mineralizasyon üzerindeki etkisi araştırıldı. Ayrıca TOC giderimi için harcanan elektrik miktarına bağlı olarak spesifik enerji tüketimi (SEC) hesaplanmıştır. BDD elektrotu, 300 dakika sonunda ve 125 mA/cm^2 akım yoğunluğunda %100 TOC giderme verimliliği ile 2-Naftol'ün tamamını mineralize etmeyi başardı. Aynı akım yoğunluğu ve periyodunda Pt elektrot %71,1'lik bir giderme ve diğer MMO elektrotları %10,7-17,9'luk bir giderme gerçekleştirdi. Başlangıç pH'ının 2-Naftol mineralizasyonu üzerindeki etkisi, en iyi anot BDD elektrotu ile araştırıldı. İlk 180 dakika için asidik başlangıç pH'ı bazik başlangıç pH'ından daha iyi sonuçlar verirken, 300 dakika sonunda tüm sonuçlar birbirine çok yakındı.

Abstract

In this study, the mineralization of 2-Naphthol in the presence of NaCl using BDD and MMO Electrodes was investigated. To observe the effect of anode electrode material on mineralization level, 6 electrodes of different types were used. The mineralization level of 2-Naphthol was measured at the beginning and end of the experiment by measuring the total organic carbon (TOC) value of the 2-Naphthol solution. Additionally, the effect of initial pH on mineralization was investigated. Depending on the electric amount spent for TOC removal, specific energy consumption (SEC) was calculated. BDD electrode managed to mineralize all the 2-Naphthol with 100% TOC removal efficiency at the end of 300 minutes and at 125 mA/cm^2 current density. Pt electrode removed 71.1% and other MMO electrodes removal was 10.7-17.9% at same current density and period. The effect of initial pH on the mineralization of 2-Naphthol was just investigated for the best anode BDD electrode. While acidic initial pH gave better results than basic initial pH for the first 180 minutes, all results were very close to each other at the end of 300 minutes.

Keywords: 2-Naphthol, mineralization, NaCl, initial pH, anodes

1. INTRODUCTION

2-Naphthol, also known as β-naphthol [1], is an important compound for organic synthesis, dye industries [2], pharmaceuticals, perfumes, pesticides, antioxidants [3] and the production of surfactant, due to its open surface asymmetries [4] and high purity, easy solubility. 2-naphthol derivatives are valuable compound with various important biological properties such as anti-inflammatory, antibacterial, hypotensive and bradycardic activities. In addition, 2-naphthol's unique reactivity, easy accessibility and use, moisture stability and low cost increase its importance [1]. Despite its important role in industry, naphthol isomers are harmful to the environment and human health. For example, studies have shown that 2-Naphthol causes serious poisoning such as DNA damage by binding guanine and adenine at N3 and N7 positions in DNA and increasing oxidative stress. It is important to purify it from water as it will cause pollution in its uncontrolled discharge [5].

It has been seen that there are different methods such as biological treatment, chemical oxidation, plasma, photocatalysis and electrochemical oxidation (EO) to remove naphthol isomers from wastewater. Among these methods, biological and chemical options generally have low removal efficiency and have disadvantages such as long treatment time or secondary pollution. The plasma method, on the other hand, has economic inefficiencies due to expensive equipment and high operating costs. Although photocatalysis technology shows efficient results, it is not sustainable. Compared to these methods, electrochemical removal method can be considered as an excellent technique for naphthol removal from waters [6]. In the electrochemical removal method; It has many advantages such as no consumption of chemicals, ease of use and maintenance [7]. It depends on ease of control, reliability and effectiveness of treatment, as well as economy.

They are toxic and non-biodegradable organic pollutants with an LD50 value of 4200 mg kg-1 of 2-naphthol in the aqueous environment. Therefore, it poses a great danger to living beings [8]. Therefore, its qualitative and quantitative detection, environmental control and treatment are of great importance [9]. In fact, waste aqueous solutions containing 2-naphthol are purified by physical and chemical methods or by electrochemical procedure [10].

Panizza, M., and Cerisola, G. (2003) presented a comparative study on the intermediates that can be formed after the electrochemical treatment of 1-naphthol and 2-naphthol using boron-doped diamond (BDD) anode. They found that 1-naphthol was broken down faster and easier. In addition, electron structures, density functional theory and quantum chemistry calculations were examined to better reveal the destruction mechanism. As a result of their experiments from different analyzes (CV, HPLC, TOC, LC/MS, FOA and DFT), they revealed that these two isomers show similar reaction patterns in BDD anode cells. In summary, BDD technology has proven to be a suitable technique for the treatment of naphthol-contaminated industrial wastes, but they emphasized that further studies are needed for the intermediates formed [6].

Panizza, M., and Cerisola, G. (2004) aimed to investigate and compare the behavior of anodes such as boron doped diamond (BDD), lead dioxide and Ti/Ru/Sn in the recovery of 2-naphthol from waters. Studies with BDD and lead dioxide have found faster COD removal at lower current densities and higher flow rates. In the experiments carried out with the Ti/Ru/Sn anode, they observed that the removal efficiency changed very little with the addition of Cl [11].

In this study, the mineralization of 2-Naphthol in the presence of NaCl using BDD and MMO Electrodes was investigated. To observe the effect of anode electrode material on mineralization level, 6 electrodes of different types were used. The mineralization level of 2-Naphthol was measured at the beginning and end of the experiment by measuring the total organic carbon (TOC) value of the 2-Naphthol solution. Additionally, the effect of initial pH on mineralization was investigated. Depending on the electric amount spent for TOC removal, specific energy consumption (SEC) was calculated

2. MATERIALS AND METHOD

2.1. Materials

All the chemicals used in the experiments were analytical quality Merck products. NaCl was used as the supporting electrolyte. The structure formula of 2-Naphthol was imaged at Figure 1.

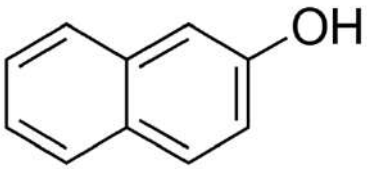


Fig. 1. *Structure formula of 2-Naphthol*

2.2. Experimental apparatus and procedure

500 ml of 2-Naphthol solution was placed in the Pyrex glass reactor for each run. One anode and one cathode electrodes in sizes of 200*60*2 mm used in reactor. Total active surface area of anode was 40 cm^2. BDD (Boron Doped Diamond) and MMO (Mixed Metal Oxide) electrodes (Pt, RuO_2-TiO_2, RuO_2-IrO_2, IrO_2-Ta_2O_5, PtO_2-IrO_2) were used as the anode, while a stainless-steel electrode was used as the cathode. Heidolph MR Hei-Tec model digital magnetic stirrers were used. Agilent brand programmable (Agilent U8002A 0-30V / 0-5A) digital direct current (DC) power supply was used in the system.

2.3. Analytical method

Teledyne Tekmar brand, Torch model was used to estimate the TOC concentrations. All the experiments were repeated twice. The TOC removal efficiency, E, is calculated as

$$E = ((C_i - C_f)/C_i) \times 100 \quad (1)$$

Where; C_i is initial TOC concentration (mg/L) and C_f is the final concentration (mg/L).

Hence specific energy consumption (SEC) based on TOC removal was calculated, which is the main component of the running costs of most electrochemical treatment processes. SEC is defined as the amount of energy consumed per unit mass of TOC removed (TOC_{rem}) and expressed in kWh/kg of TOC removed and is given as:

$$SEC=(V*I*t)/〖TOC〗_{rem} \quad (2)$$

Where; V is the voltage across the electrodes, I is the current in amperes, t is the time in hours, and TOC_{rem} is the TOC removal.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Effect of Electrode Type and Current Density on TOC Removal

The anode material is the one of the most important parts in an electrochemical oxidation process. In this study, six anode materials were used namely BDD, Pt, RuO_2-TiO_2, RuO_2-IrO_2, IrO_2-Ta_2O_5, PtO_2-IrO_2.

Fig.1 shows the TOC removal efficiencies of these anodes according to operating time (0-300 min) at current density varying between 25-125 mA/cm^2. It can be observed that the TOC removals increased with the increase of mineralization time. TOC removals at EO time of 300min and 125 mA/cm^2 were measured as 100% for BDD, 71% for Pt, 18% for RuO_2-TiO_2, 17% for RuO_2-IrO_2, 12.6% for IrO_2-Ta_2O_5, 10%for PtO_2- IrO_2, respectively. According to the above results, the lowest TOC removals from the solution was observed with PtO_2-IrO_2 Anode (10%).

Also, Fig.1 reveals that the performance of BDD was better than that of the other MMO anodes tested in this study. This is due to the weak adsorption of the hydroxyl radicals which are very reactive to the organic compounds, on the inert surface of the BDD anode. BDD is a “non- active” anode which does not provide any catalytic active site for the adsorption of reactants and/or products from the aqueous medium; hence the anode serves only as an inert substrate, which can act as a sink for the removal of electrons [6, 9, 7].

It can be observed too that the removal efficiencies increased with time for all the anodes. For instance, while operating at 125 mA/cm^2 for BDD anodes, as time increased from 60 min to 240 min the efficiency raised from 53% to 100%.

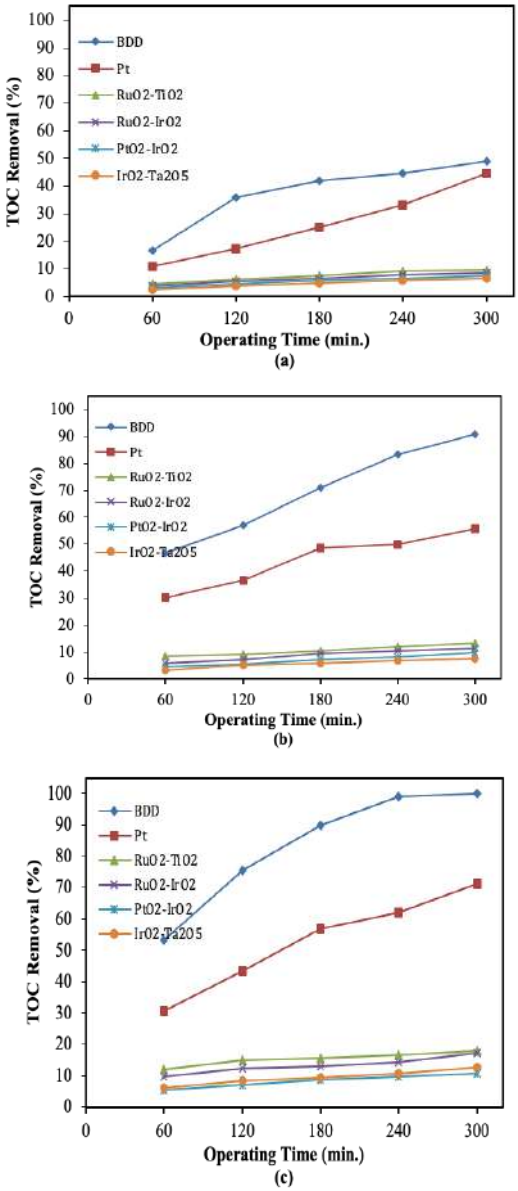


Figure 1. *Effect of current density on TOC removal efficiency (a) J=25 mA/cm², (b) J=75 mA/cm², (c) J=125 mA/cm² (experimental conditions: 2-Naphthol 500 mg/ L, NaCl 0.1M, stirring speed 500 rpm, interelectrode distance: 15 mm).*

3.2. Effect of Electrode Type and Current Density on SEC

The efficiency of the EO process depends on the specific energy consumption (SEC) for the reduction of 1 kg of organic matter (in terms of TOC), which is one of the most important economic factors. The SEC was calculated using equation (2).

In this study, a general trend of increased specific energy consumption (SEC) with current density was observed for all the anodes. For example, SEC for IrO_2-Ta_2O_5 anodes increased from 1589 to 6826 kWh/kg TOC when the current density was raised from 25 to 125 mA/cm^2 (Fig.2). However, for the commercialization of EO

process, lower values of SEC are important. The results showed that at low current density the performance would be cost effective but needs long treatment time, while at high current density it was highly efficient but costlier. Therefore, SEC value should be optimized according to TOC discharge criteria.

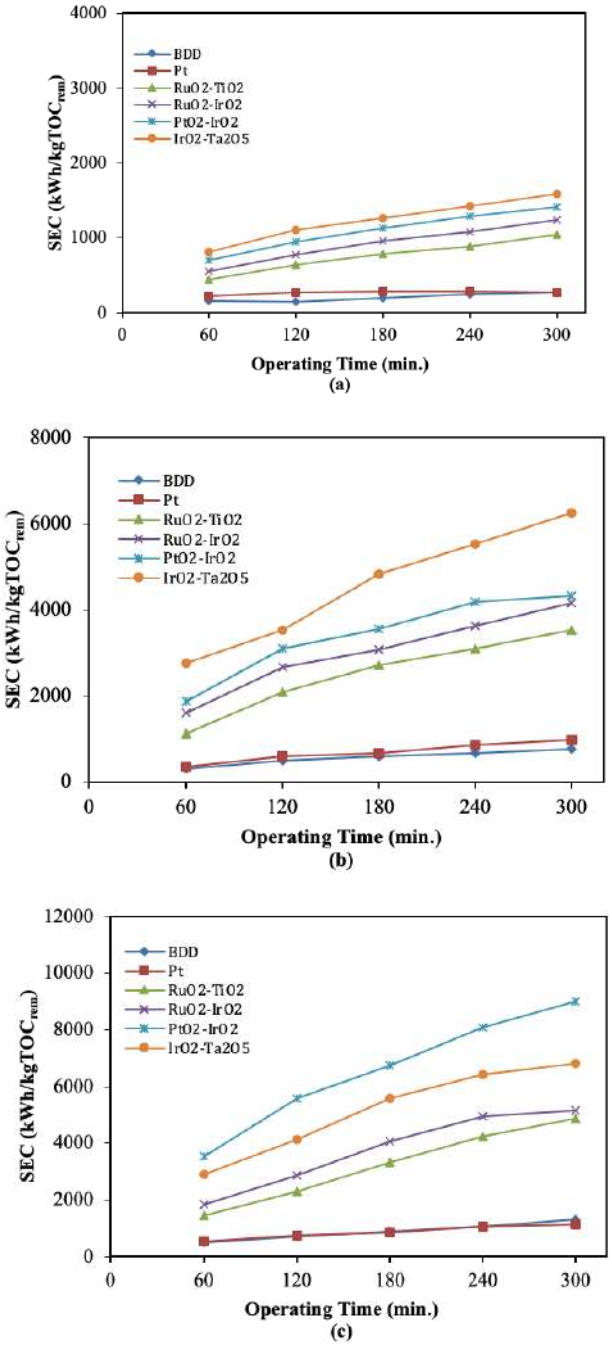


Figure 2. *Effect of current density on SEC (a) J=25 mA/cm^2, (b) J=75 mA/cm^2, (c) J=125 mA/cm^2 (experimental conditions: 2-Naphthol 500 mg/ L, NaCl 0.1M, stirring speed 500 rpm, interelectrode distance: 15 mm).*

3.3. Effect of Initial pH on TOC Removal

Effect of initial pH was observed for pH 3, 5, 6.6, 9, and 11 at the 75 mA/cm^2 current density. The results show there is a slight effect of pH on the TOC removal. End of the 300 minutes of experimental run time the best removal was for pH 3 as 94.98%.

In this study we expect two way of oxidation, direct and indirect oxidation during electrooxidation in which BDD electrode used and NaCl added. In the first 60 minutes of experimental run acidic condition (pH 3) shows almost 16% better result than basic condition (pH 11) this is because the $HO^{\cdot}$ generated on BDD in the process can be captured by OH^-, CO_3^{2-}, HCO_3^- and the loss of oxidative capacity of $HO^{\cdot}$ can be achieved in the basic conditions [12]. On the other hand in the presence of NaCl in indirect electrooxidation $HOCl$ and OCl^-occur in the solution. Oxidation capacity of $HOCl$ is higher than OCl^-. $HOCl$ concentration is higher in acidic condition. Therefore, acidic condition is good for electrooxidation. But with the long time of run this advantage is getting less in this study.

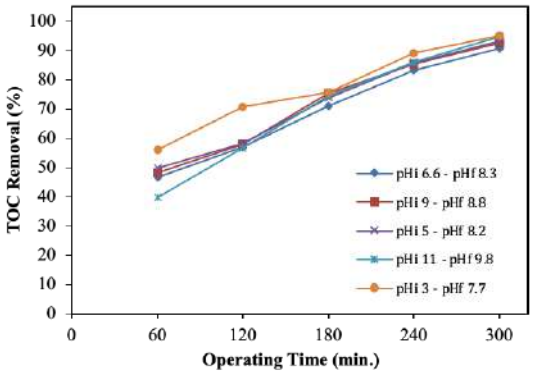


Figure 3. *Effect of initial pH on TOC removal efficiency (experimental conditions: 2-Naphthol 500 mg/ L, NaCl 0.1M, stirring speed 500 rpm, interelectrode distance: 15 mm, anode BDD, current density J=75 mA/cm^2).*

Considering that wastewater has a wide range of pH, this result can be considered as an advantage. Because, in order to bring the wastewater pH to suitable operating conditions, there will be no need for the use of extra chemicals for acid or base addition.

3.4. Effect of Initial pH on SEC

The effect of pH on the SEC was investigated (Fig 4). The results show a general but little increase of SEC with operating time. At all operating time, the low SEC were observed at high pH 9.8-11 while the highest was at pH 6.6-8.3.

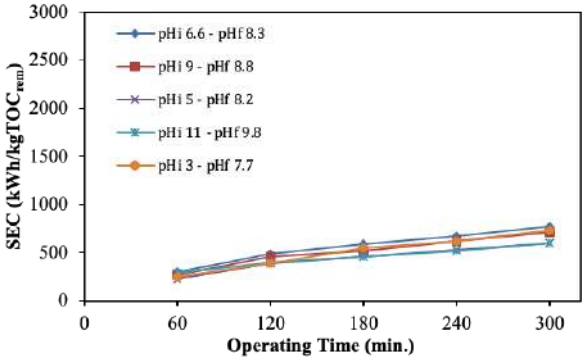


Figure 4. *Effect of initial pH on TOC removal efficiency (experimental conditions: 2-Naphthol 500 mg/ L, NaCl 0.1M, stirring speed 500 rpm, interelectrode distance: 15 mm, anode BDD, current density J=75 mA/cm^2).*

4. CONCLUSION

In this study, 2-Naphthol was mineralized in the presence of NaCl using BDD and MMO Electrodes. The results showed that BDD could achieve best results in terms of TOC removal efficiencies, 100% when the system was operated at 125 mA/cm^2 and for 300min of operation. Among the MMO anodes, Pt performed well with 71% TOC removal efficiency. Specific energy consumption (SEC) increased with the current density for all the anodes. The highest SEC was 8988 kWh/kg TOC at 125 mA/cm^2 by PtO_2-IrO_2 anode, and the lowest SEC was 1146 kWh/kg TOC at the same current density was for PtO_2 anode. However, for the commercialization of EO process, lower values of SEC are important. The results showed that at low current density the performance would be cost effective but needs long treatment time, while at high current density it was highly efficient but costlier. Therefore, SEC value should be optimized according to TOC discharge criteria. Operating at pH between 9.8 and 11 lead to low values of SEC.

5. REFERENCES

[1] A. Chaudhary, “Recent development in the synthesis of heterocycles by 2-naphthol-based multicomponent reactions,” *Molecular Diversity*, vol. 25, no. 2. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, pp. 1211–1245, May-2021.

[2] B. Das, C. R. Reddy, J. Kashanna, S. K. Mamidyala, and C. G. Kumar, “Multicomponent one-pot synthesis of 2-naphthol derivatives and evaluation of their anticancer activity,” *Medicinal Chemistry Research*, vol. 21, no. 10, pp. 3321–3325, Oct. 2012.

[3] N. K. Paul, L. Dietrich, and A. Jha, “Convenient synthesis of 1-arylmethyl-2-naphthols,” *Synthetic Communications*, vol. 37, no. 6, pp. 877–888, Jan. 2007.

[4] Y. Wu *et al.*, “Accurate Understanding the Catalytic Role of MnO2 in the Oxidative-Coupling of 2-naphthols into 1,1′-bi-2-naphthols,” *Catalysis Letters*, vol. 151, no. 3, pp. 901–908, Mar. 2021.

[5] L. A. M. Kapuci, Z. Ulker, S. Gurkan, “Determination of cytotoxic andgenotoxic effects of naphthalene,1-naphthol and 2-naphthol onhuman lymphocyte culture,” *Toxicology and Industrial Health*, vol. 30, no. 1, pp. 82–96, 2014.

[6] M. Panizza and G. Cerisola, “Electrochemical oxidation of 2-naphthol with in situ electrogenerated active chlorine,” *Electrochimica Acta*. 2003.

[7] M. Panizza, P. A. Michaud, G. Cerisola, and C. Comninellis, “Anodic oxidation of 2-naphthol at boron-doped diamond electrodes,” *Journal of Electroanalytical Chemistry*, vol. 507, no. 1–2, pp. 206–214, Jul. 2001.

[8] M. Panda, P. K. Behera, B. K. Mishra, and G. B. Behera, “Photochemistry in microemulsions: fluorescence quenching of l-and 2-naphthol by Cu2+,” 1995.

[9] Y. Zhang and H. Zhuang, “Poly (acridine orange) film modified electrode for the determination 1-naphthol in the presence of 2-naphthol,” *Electrochimica Acta*, vol. 54, no. 28, pp. 7364–7369, Dec. 2009.

[10] M. Panizza and G. Cerisola, “Influence of anode material on the electrochemical oxidation of 2-naphthol: Part 1. Cyclic voltammetry and potential step experiments,” *Electrochimica Acta*, vol. 48, no. 23, pp. 3491–3497, Oct. 2003.

[11] M. Panizza and G. Cerisola, “Influence of anode material on the electrochemical oxidation of 2-naphthol: Part 2. Bulk electrolysis experiments,” *Electrochimica Acta*, vol. 49, no. 19, pp. 3221–3226, Aug. 2004.

[12] W. Liu, D. Huang, P. Yi, and Y. Li, “Status and Prospects of Concentrated Organic Wastewater Degradation,” 2012.

AYRIK TOPLANMIŞ İDRARDAN GÜBRE AMAÇLI AZOT GERİ KAZANIMI SÜRECİNDE KARBON GİDERİMİ

Bilsen BELER-BAYKAL[1,*], Yasemin AKDAĞ[2,*], Mahmut ALTINBAŞ[3,*]

[1,*], *İstanbul Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 34469, Ayazağa, İstanbul/Türkiye;*
baykalb@itu.edu.tr, akdagy@itu.edu.tr, altinbasm1@itu.edu.tr

Özet

2000'li yılların başında gündeme gelen ve evsel atıksuların bir kaynak olarak değerlendirilmesi yoluyla atıksudan su ve nütrient geri kazanımına imkan veren akım ayırımı ve ECOSAN (ECOlogical SANitation – Ekolojik Atıksu Yönetimi) yaklaşımının yıllar içinde daha fazla ön plana çıktığı gözlenmektedir. Bu çerçevede oluşan akımlardan biri, esasen ayrı toplanmış idrardan oluşan ve konvansiyonel evsel atıksuyun içindeki azotun kütlesel olarak %80, fosforun ve potasyumun %50 den fazla bölümü ile organik maddenin %40 kadarını kapsayan sarı sudur (Beler-Baykal, 2015). İnsan idrarındaki gübre etkin madde potansiyeli global gübre ihtiyacının %30'a varan kısmını kapsamakta olduğundan, idrardaki gübre etkin maddelerin geri kazanımı bir yandan gıda güvenliği açısından önem arz ederken diğer yandan su kirliliğinin önlenmesi açısından da değer taşımaktadır.

Özellikle idrardan nütrient giderimi ve geri kazanımında sorpsiyon/iyon değişimi yöntemlerinin başarı örnekleri, 2000'li yıllar ağırlıklı olarak literatürde mevcuttur (Beler-Baykal vd., 2004, 2011; Ganrot vd., 2007; Jagtap & Boyer, 2018) ancak bu süreç sırasında sorpsiyon/iyon değişiminde bu akımdaki karbonun durumu ile ilgili bilgi çok sınırlıdır. Bu çalışmada doğal bir zeolit olan klinoptilolit kullanımı yoluyla azot odaklı nütrient giderimi/geri kazanımı ile karbon giderimi birlikte ele alınarak, sistemin hem geri kazanım hem de su kirliliğini önleme amaçlı başarısı değerlendirilerek sonuçları özetlenmiştir. Deneylerde toplama, depolama ile tek ve çift kademe sorpsiyon/iyon değişiminden oluşan süreçte amonyum ve organik madde konsantrasyonları izlenerek giderim verimleri irdelenmiştir.

Tek kademeli klinoptilolit kolonu çıkışında azotun %82 oranında geri kazanımı ve karbonun %55 giderimine karşın, ikinci kademenin ilave edilmesi ile ise çıkışta azotun %100 geri kazanıldığı karbonun da %77 sinin giderildiği görülmüştür. Başlangıç değerleri amonyum için 5550 mg /l ve KOI için ise 1580 mg/l iken ikinci kademe klinoptilolit kolonu çıkışında amonyum bulunmamış, KOİ 571 mg/L'ye indirilmiştir. Bu değerler İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ) tarafından belirlenen kanala deşarj limitleri ile uyumludur.

Çalışmada ulaşılan veriler, uygulanan yöntemle azotun geri kazanılarak gübre olarak değerlendirilmesi açısından verimli sonuçlar elde edilirken, karbon gideriminin de büyük ölçüde gerçekleştirilebilmesine bağlı olarak, yaklaşımın su kirliliğinin önlenmesi açısından da yararına işaret etmektedir.

Keywords: akım ayırımı, idrar, azot geri kazanımı, organik madde giderimi, sorpsiyon/iyon değişimi, klinoptilolit

Teşekkür: Bu çalışma İTÜ BAP birimi tarafından 42477 nolu proje ile desteklenmiştir.

Kaynakça:

Beler-Baykal, B. (2015). Stream segregation in household use: a review of grey water as an alternative source of water and yellow water as an alternative source of fertilizers. Water Quality, Exposure and Health,7(1), 27-37.
Beler-Baykal, B., Allar, A.D. & Bayram, S. (2011). Nitrogen recovery from source-separated human urine using clinoptilolite and preliminary results of its use as fertilizer. Water Sci. Technol. 63, 4, 811-817.
Beler-Baykal, B., Bayram, S., Akkaymak, E. & Cinar, S. (2004). Removal of ammonium from human urine through ion exchange with clinoptilolite and its recovery for further reuse. Water Sci. Technol. 50, 6, 149-156.
Jagtap, N., Boyer, T. H. (2018). Integrated, multi-process approach to total nutrient recovery from stored urine. Environ. Sci.: Water Res.Technol.,2018,4,1639–1650.
Ganrot, Z., Dave, G. & Nilsson, E. (2007). Recovery of N and P from human urine by freezing, struvite precipitation and adsorption to zeolite and activated carbon. Bioresource Technol. 98, 3112-3121.
İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ). (2013). Kanalizasyona Deşarj Yönetmeliği. İstanbul, Türkiye.

14. national 2. international environmental engineering congress

climate crisis & environmental policies

SESSION 4A: Kentleşmede Doğa Odaklı Çözümler; Atık Yönetimi

Paper ID:

26 BEST, YEŞİL BİNA DERECELENDİRME SİSTEMİ, SERTİFİKASYONUNUN DÜŞÜK MALİYET İLE ELDE EDİLMESİNE YÖNELİK OPTİMİZASYON UYGU LAMASI
Bengisu Uğurlu - Aysegul Aksoy

124 BETON ÜRETİM SANTRALLERİNDE SIFIR ATIK UYGULAMALARI VE ÖNERİ LERİ
Serkan Gür

66 DÖNGÜSEL ŞEHİR KONSEPTİNDE ATIKSUDAN KAYNAK GERİ KAZANIMI İÇİN BİR KARAR YÖNTEMİ OLARAK SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ENDEKSİNİN (SI) GELİŞTİRİLMESİ
Emel Topuz - İrem Öztürk

101 YEŞİL BİNALAR VE YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ DAVUTPAŞA KAMPÜ SÜ'NÜN YEŞİL BİNAYA DÖNÜŞTÜRÜLMESİ ÇALIŞMASI
Gözde Tınaz - Emel Koçak

28 SIFIR ATIK YÖNETİMİ'NİN ÇEVRESEL ETKİLERİ: İTÜ AYAZAĞA KAMPÜ SÜ'NÜN SIFIR ATIK ENDEKSİ
Kadriye Elif Maçin - Osman Atilla Arıkan

BEST, YEŞİL BİNA DERECELENDİRME SİSTEMİ, SERTİFİKASYONUNUN DÜŞÜK MALİYET İLE ELDE EDİLMESİNE YÖNELİK OPTİMİZASYON UYGULAMASI

Bengisu UĞURLU[1,*], Ayşegül AKSOY[2]

[1,*] *Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü 06800, Çankaya/ANKARA* bengisu.ugurlu@metu.edu.tr

[2] *Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü 06800, Çankaya/ANKARA* aaksoy@metu.edu.tr

Özet

İklim değişikliği, yaşam biçimimizi etkileyebilecek olası sonuçlar üretme potansiyeline sahiptir. Birçok ülke, büyük kaynak tüketimi ve kirlilik oluşumu nedeniyle, binaların iklim değişikliği üzerinde önemli etkileri olduğunun farkındadır ve sınırlı kaynakların etkin kullanımını iyileştirmeye ve çevre dostu binalar inşa etmeye önem vermektedir. Bu bağlamda yeşil binalara olan ihtiyaç daha önemli hale gelmiştir. Birçok ülkenin kendi yönetmeliklerine, iklim koşullarına, kültür ve geleneklerine, bina türlerine ve yaşlarına, çevresel, ekonomik ve sosyal önceliklere göre uyarlanmış yeşil bina derecelendirme sistemleri vardır. ÇEDBİK Ağustos 2019'da Türkiye'ye özgü yeşil bina değerlendirme sistemi olan BEST'i geliştirmiştir. Çok genç bir yeşil bina derecelendirme sistemi olduğu için literatürde BEST ile ilgili yeterli sayıda çalışma bulunmamaktadır. Maliyet, yeşil bir bina inşa etmenin önündeki en büyük kısıtlardan biridir. Bu nedenle, tüm paydaşların yeşil inşa etmenin önemini benimsemeleri ve daha düşük maliyetlerle daha çevreci olmanın yollarını aramaları önemlidir. Bu çalışma BEST yeşil bina derecelendirme sisteminin maliyet optimizasyonu ile incelenmesini amaçlamaktadır. Bu çalışmada LINGO yazılımı tarafından çözülen bir optimizasyon modeli yardımıyla en düşük maliyet ile hedef BEST puanlarına ulaşılmaya çalışılmıştır. Çalışma için Ankara'da referans bir konut vaka çalışması olarak kullanılmıştır. Her bir BEST sertifika seviyesi için hangi malzeme ve sistemlerin seçilmesi gerektiği ve minimum maliyetler optimizasyon modeli yardımıyla belirlenmiştir. Genel olarak çalışma en az maliyetle yeşil binalar inşa etmek için optimizasyon yönteminin yararlı olduğunu göstermektedir.

Abstract

Climate change has the potential to cause potential consequences that can affect the way we live. Many countries are aware that buildings have a significant impact on climate change due to large resource consumption and pollution generation, and they attach importance to improving the efficient use of limited resources and constructing environmentally friendly buildings. In this context, the need for green buildings has become crucial. Many countries have green building rating systems adapted to their regulations, climatic conditions, cultures and traditions, building types and ages, and environmental, economic and social priorities. ÇEDBİK developed BEST, a green building evaluation system specific to Turkey, in August 2019. Since it is a recent green building rating system, there are few studies on BEST in the literature. Cost is one of the biggest obstacles of green buildings. Therefore, it is important that all stakeholders embrace the importance of green buildings and look for ways to be greener at lower costs. This study aims to examine the BEST with cost optimization. In this study, it was aimed to achieve the targeted BEST score with the lowest cost via an optimization model solved by the LINGO software. A case in Ankara was used as a reference for the study. Materials and systems that should be selected for each BEST certification level, the minimum costs foreseen to reach the relevant level were determined with the help of the optimization model. Overall, the study has shown that optimization is useful for constructing green buildings with minimum costs possible.

Keywords: Climate Change, Green Buildings, BEST, Cost Optimization

1. GİRİŞ

İklim değişikliğinin etkileri her geçen gün daha da belirgin hale gelmektedir. Sadece 2015-2019 yılları arasında, küresel ortalama sıcaklık, sanayi devrimi öncesi dönemden bu yana 1.1ºC artmıştır. Kasım 2016'da yürürlüğe giren Paris Antlaşmasına göre ise bu yüzyılın sonunda küresel sıcaklık artışının 1.5ºC'nin altında tutulması hedeflenmektedir. Paris Anlaşması kapsamındaki mevcut "Niyet Edilen Ulusal olarak Belirlenmiş Katkıların (INDC)" tümünün uygulanması senaryosunda bile 2030'dan önce 1.5ºC sıcaklık artışına ulaşılacağı öngörülmektedir. Bu durum, hedeflenenden yaklaşık 70 yıl önce sıcaklık limit değerine ulaşılacağı anlamına

gelmektedir [1]. Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli 4. Değerlendirme Raporu'na göre de ülkemiz, iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinden en fazla etkilenecek bölgeler arasında yer alan Akdeniz Havzasında bulunmaktadır [2]. Bu durum, iklim değişikliği konusunda daha hızlı ve daha etkin mücadele etmemiz gerektiğini göstermektedir.

Günlük hayatımızın önemli bir parçası olan binaların da iklim değişikliği üzerindeki etkisi yadsınamaz boyuttadır. Binalar doğal kaynakların tüketilmesine, karbon emisyonlarına ve iklim değişikliğine önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır. Mevcut binalar ve yeni binaların inşası küresel nihai enerji kullanımının yaklaşık %35'ini ve karbondioksit emisyonlarının yaklaşık %40'ını oluşturmaktadır [3].

COVID-19 pandemisi nedeniyle evden çalışma ve karantina politikaları tüm Dünya'da uygulanmıştır. Bu politikalara paralel olarak konutlardaki enerji ve su tüketimleri artış göstermiştir. Mevcut veriler ABD'de konutlarda pandemi kaynaklı olarak enerji tüketiminin %6-%8 [4], su tüketiminin ise %10-%15 oranlarında arttığını göstermektedir [5].

Bütün veriler ışığında, binaların iklim değişikliğini ve sonuçlarını azaltmak adına önemli bir potansiyele sahip olduğu aşikârdır. Örneğin, binalarda fosil yakıtların kullanımından yenilenebilir ve temiz kaynaklara geçiş, iklim değişikliğine neden olan olumsuz etkileri önemli ölçüde azaltabilir. Öte yandan yenilenebilir enerji kullanan binaları tasarlamak da tek başına yeterli değildir. Bu enerjinin de akıllıca kullanılacak şekilde tasarlanması gerekmektedir [6]. Dolayısıyla, enerji, su ve diğer kaynaklarını verimli biçimde kullanan, yenilenebilir enerji sistemlerini kullanan, kirlilik ve atık azaltma önlemlerini uygulayan, uygun iç hava kalitesine sahip olan, sürdürülebilir ve doğaya zarar vermeyen malzemeleri kullanan ve çevreyi önemseyen binaların inşa edilmesi önem arz etmektedir. Bu özelliklere sahip binalara "*Yeşil Bina"* adı verilir [7].

Yeşil binaların değerlendirilebilmesi için yeşil bina derecelendirme sistemleri kullanılmaktadır. Ülkelerin kendine özgü yeşil bina derecelendirme sistemlerini geliştirmesi ve kullanması teşvik edilmektedir. Bu sistemler ülkelerin kendi gündemlerine, iklimlerine, politikalarına uygun olarak geliştirilmelidir [8]. Dünyada yaklaşık olarak 600 yeşil bina derecelendirme sistemi bulunmaktadır [9]. Türkiye'nin kendine özgü yeşil bina sertifikasyon sistemi BEST (Binalarda Ekolojik ve Sürdürülebilir Tasarım), 2019 yılında ÇEDBİK (Çevre Dostu Yeşil Binalar Derneği) tarafından oluşturulmuştur. BEST kapsamında konutlar 9 ana kategoride değerlendirilmektedir. Bunlar: entegre yeşil proje yönetimi, arazi kullanımı, su tüketimi, enerji tüketimi, sağlık ve konfor, malzeme ve kaynak kullanımı, konut yaşamı, işletme ve bakım ve yenilikçiliktir. Bu kategoriler yardımıyla binalar 110 puan üzerinden değerlendirilmektedir. BEST sertifikası 4 sertifika seviyesine sahiptir. Belirli aralıklarda puan alan binalar söz konusu aralığa karşılık gelen sertifikayı almaya hak kazanırlar. Bu sertifika seviyeleri onaylı (46-64 puan), iyi (65-79 puan), çok iyi (80-99 puan), ve mükemmel (100-110 puan) olarak sıralanmıştır. Bugün, Türkiye'de BEST sertifikasını almaya hak kazanan toplam 23 bina vardır ve bu binaların hepsi onaylı seviyesinde sertifika almaya hak kazanmıştır [10]. Çok genç bir yeşil bina derecelendirme sistemi olmasından da dolayı literatürde BEST ile ilgili az sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalardan birinde dünyada en çok tercih edilen sistemlerden biri olan ABD'nin yeşil bina derecelendirme sistemi LEED ve BEST sertifika sistemleri nitel olarak karşılaştırma modeli ile incelenmiştir. BEST sertifikasının iyileştirilmesi, yasal altyapısının ve marka imajının geliştirilmesi için çeşitli öneriler sunulmuştur. Araştırma sonuçlarına göre BEST sertifikasının LEED sertifikasına göre daha düşük maliyetlerle alınabileceği gösterilmiştir. Ayrıca ulusal sertifika olan BEST sertifikasının kullanılması ile ulusal sermayenin ülke içinde kalması ve nihayetinde ülke ekonomisine katkı sağlaması beklenmektedir [11]. Başka bir çalışmada Türkiye'de en çok tercih edilen yeşil bina derecelendirme sistemleri olan LEED (v4.1), İngiltere'nin yeşil bina derecelendirme sistemi BREEAM (Int. 2016) ve BEST karşılaştırılmıştır [12]. Değerlendirmeler sonucunda her sistemin, ait olduğu ülkenin kendi coğrafyasına ve sosyoekonomik özelliğine uygun olarak tasarlandığı görülmüştür. Çalışma ayrıca değerlendirme kriterlerini enerji, su, malzeme ve diğerleri olarak kategorilere ayırmış ve bu kategorilerin puanlama üzerine etkilerini yüzdeler ile göstermiştir. Sonuç olarak, enerji kategorisinde LEED sertifikasının, karbon kategorisinde BREEAM sertifikasının, yenilenebilir enerji kategorisinde ise BEST sertifikasının toplam puana katkı yüzdesinin fazla olduğu görülmüştür [12].

Yeşil Binalar genellikle aynı boyut ve kullanım tipine sahip geleneksel binalardan daha pahalıya mal olabilmektedir [13]. Özellikle Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde paydaşları yeşile yönlendirmek için oluşacak ekstra maliyetlerin gerekçesi çok daha iyi açıklanmalıdır. Bu çalışma bu bağlamda, maliyet tabanlı bir optimizasyon modeli kullanarak, BEST sertifikasını en düşük maliyetle elde etmeyi amaçlayan bir vaka analizini içermektedir. Çalışmanın ilgili paydaşlar için bir örnek olması hedeflenmiştir.

2. MATERYAL METHOD

Çalışma, Ankara'da yeni inşa edilecek 16 daireden oluşan 4 katlı ve toplamda 2250 m^2 alana sahip bir bina için uygulanmıştır. Binada yaklaşık 50 bina sakinin oturduğu varsayılmıştır. Vaka analizi 4 ayrı senaryo üzerinden

bir optimizasyon modeli yardımıyla maliyet hesaplama ve malzeme seçimini içermektedir. Senaryolarda sırasıyla onaylı, iyi, çok iyi ve mükemmel sertifika seviyeleri için optimizasyon modeli çalıştırılmıştır.

BEST sertifikasyon sisteminde, puanlamaya esas olan kategoriler maliyete bağlı ve maliyetten bağımsız olarak ikiye ayrılmıştır. Maliyetten bağımsız kategorideki puanlar kesin bir maliyete sahip olmayan veya maliyet biçilemeyen puanlardır. Buna örnek olarak çevre dostu bir müteahhit ile çalışmak ve yeterli sayıda günlük toplu taşıma seferine ulaşabilir olmak örnek verilebilir. Geliştirilen optimizasyon modeli maliyet bazlı olduğu ve buna göre karar verdiği için, ilgili puanların azami düzeyde kazanıldığı kabul edilmiştir. Bu kredilerin toplamı, optimizasyon modeli hesaplamalarına önceden kazanılmış puan olarak doğrudan modele girilmiştir. Maliyet bazlı puanlar ise yeşil sistemlerin binada kullanılma duruma göre toplam puana eklenmiştir. Maliyet hesabı için enerji ve su tüketimi ayrıca detaylı bir şekilde hesaplanmıştır.

Vakaya ait enerji hesabı Ecotect yazılımı ile hesaplanmıştır. Her sistemin yeşil ve yeşil olmayan (geleneksel) alternatifleri göz önüne alınmıştır. Enerji kullanımını etkileyen her sistemin enerji kullanımına etkisi bulunmuştur. Modelin bu etkiyi göze alarak sistem seçmesi ve bu şekilde sadece fiyatı göz önüne almaması da sağlanmıştır. Su tüketimi hesabı ise BEST tarafından sunulan yöntem ile yapılmıştır. Her bir bina sistemi için aynı şekilde yeşil ve geleneksel alternatifler göz önüne alınmıştır. Her bir bina sistemin su tüketimine olan etkisi hesaplanmıştır. Optimizasyon modelinin bina sistemlerinin su tüketimine olan etkisini göze alarak seçim yapması ve bu şekilde sadece fiyatı göz önüne almaması da sağlanmıştır. Vaka çalışması için geliştirilen optimizasyon modeli, Lingo yazılımı ile çözülmüştür. Optimizasyon modeli ile ilgili sertifika seviyesi senaryosu kapsamında gerekli puanları alması için alternatif sistem ve uygulamalar arasından seçim yapması sağlanmış, en uygun sistemlerin toplam maliyeti gösterilmiştir.

2.1. Optimizasyon Modeli Tasarımı

Optimizasyon modeli, mümkün olan en düşük maliyetle her bir yeşil bina sertifika düzeyi için en uygun sistemleri paydaşlara sunmayı amaçlamaktadır. Amaç ifadesinin matematiksel temsiline amaç fonksiyonu denir. Aşağıda verilen amaç fonksiyonunun parametreleri alternatif sistemlerin maliyetlerini içermektedir. Karar değişkenleri ise model tarafından seçilen değerlerdir. Karar değişkenleri ikili sayı ve tam sayı formundaki değişkenler ile tanımlanmıştır. İkili değişkenler her bir sistemin seçilip seçilmeyeceğini belirlerken, tam sayı değişkeni sadece yenilenebilir enerji sistemlerinin seçiminde kullanılmakta ve sistemlerin sayısının belirlenmesini sağlamaktadır.

$$MinZ = \sum_{i=1}^{8} C_{y_su}(i) * I_{y_su}(i) + C_{g_su}(i) * I_{g_su}(i) + \sum_{j=1}^{2} C_{yagmursu}(j) * I_{yagmursu}(j) + \sum_{k=1}^{7} C_{y_enerji}(k) * I_{y_enerji}(k) + C_{g_enerji}(k) * I_{g_enerji}(k) + \sum_{l=1}^{2} C_{y_su\&enerji}(l) * I_{y_su\&enerji}(l) + C_{g_su\&enerji}(l) * I_{g_su\&enerji}(l) + \sum_{m=1}^{3} C_{yenilenebilir}(m) * A_{yenilenebilir}(m) * I_{yenilenebilir}(m) + \sum_{n=1}^{21} C_{diger}(n) * I_{diger}(n) \quad (1)$$

Modelde kullanılan model parametreleri ve değişkenlerin anlamları şu şekildedir:

$A_{yenilenebilir}(m)$:	Yenilenebilir enerji sistem miktarı
$C_{diger}(n)$:	Enerji ve su tüketimini etkilemeyen yeşil sistem fiyatı
$C_{g_enerji}(k)$:	Enerji tüketimini etkileyen geleneksel sistem fiyatları (TL)
$C_{g_su\&enerji}(l)$:	Enerji ve su tüketimini aynı anda etkileyen geleneksel sistem fiyatları (TL)
$C_{g_su}(i)$:	Su tüketimini etkileyen geleneksel sistem fiyatları (TL)
$C_{y_enerji}(k)$:	Enerji tüketimini etkileyen yeşil sistem fiyatları (TL)
$C_{y_su\&enerji}(l)$:	Enerji ve su tüketimini aynı anda etkileyen yeşil sistem fiyatları (TL)
$C_{y_su}(i)$:	Su tüketimini etkileyen yeşil sistem fiyatları (TL)
$C_{yagmursu}(j)$:	Yağmur suyu toplama sistem fiyatları (TL)
$C_{yenilenebilir}(m)$:	Yenilenebilir enerji sistem fiyatları (TL)
$I_{diger}(n)$:	Enerji ve su tüketimini etkilemeyen yeşil sistem ikili değişkeni
$I_{g_enerji}(k)$:	Enerji tüketimini etkileyen geleneksel sistem ikil değişkeni
$I_{g_su\&enerji}(l)$:	Enerji ve su tüketimini aynı anda etkileyen geleneksel sistem ikili değişkeni
$I_{g_su}(i)$:	Su tüketimini etkileyen geleneksel sistem ikili değişkeni
$I_{y_enerji}(k)$:	Enerji tüketimini etkileyen yeşil sistem ikil değişkeni
$I_{y_su\&enerji}(l)$:	Enerji ve su tüketimini aynı anda etkileyen yeşil sistem ikili değişkeni
$I_{y_su}(i)$:	Su tüketimini etkileyen yeşil sistem ikili değişkeni
$I_{yagmursu}(j)$:	Yağmur suyu toplama sistem ikili değişkeni
$I_{yenilenebilir}(m)$:	Yenilenebilir enerji ikili değişken

Maliyetten bağımsız olan kategoriler için tam puan alındığı kabul edilmiştir. Bu varsayım ile kazanılan toplam kredi 39'dur. Bu kredinin alt kategorilere ayrılmış hali şu şekildedir; entegre tasarım (2 puan), çevreye duyarlı yüklenici (2 puan), inşaat atıkları azaltma ve atık yönetimi (3 puan), gürültü kirliliği (2 puan), arazi yerleşimi (3 puan), afet riski (3 puan), yoğunluk ve konut yapısı ilişkisi (2 puan), arazinin yeniden kullanımı (3 puan), kentsel tesislere yakınlık (2 puan), yenilenebilir enerji (2 puan), termal konfor (3 puan), görsel konfor (3 puan), kontrol kirleticiler (2 puan), çevre dostu malzeme kullanımı (3 puan), malzemelerin yeniden kullanımı (1 puan), yerel malzeme kullanımı (3 puan), dayanıklı malzemeler (1 puan), evrensel kapsayıcı tasarım (2 puan), güvenlik (1 puan), spor ve rekreasyon alanları (2 puan), ulaşım (3 puan), park alanı (1 puan), evden çalışma (2 puan) ve bina kullanım ve bakım kılavuzu (1 puan).

Sistem kısıtları, model tarafından karar değişkenlerine atanabilecek değerleri sınırlayan ve modelin amacına ulaşmak için karar değişkenlerinin değerlendirilmesini etkileyen koşulları sağlayan matematiksel ifadelerdir. Modelin kısıtları maliyete bağlı alt puanlama kategorileri bazında hazırlanmış ve amaç fonksiyonu bu kısıtlara tabi tutulmuştur. Bu kısıtlamalar aşağıdaki gibidir.

- İlgili BEST sertifikasyon puanına ulaşılmalıdır.
- Harcanan su miktarı 70-85 m^3/yıl ise 1 puan, 50-70m^3/yıl ise 2 puan, 40-50m^3/yıl ise 3 puan ve 30-40m^3/yıl ise 4 puan alınabilir.
- Her bir bina sisteminin yeşil ve geleneksel alternatiflerini temsil eden ilgili ikili değişkenler birlikte seçilemezler. Model aralarından sadece birini seçmelidir.
- İlgili sertifikaya göre bina, yağmur suyu sistemi, damlama sulama ve nem kontrolörünün bir arada olması halinde 2 puan daha alınabilir.
- Binada ikamet eden kişi sayısı 100'den az olduğu kabul edildiği için, binanın kendine ait bir atık su arıtma sistemine sahip olması gerekmemektedir. Bu durumda ilk kısıtlama olan su kategorisinden 4 ve üzeri puan alabilen binalar doğrudan 2 puan almaya hak kazanırlar.
- Su kaybını önlemek için binada su sayaçları gibi su kaybını önleyici ekipmanların bulunması gerekmektedir. Bu ekipmanlar binaya 2 puan kazandırır.
- Şehirlerde aşırı şehirleşme ve akarsu yataklarında plansız şehirleşmenin neden olduğu sel olaylarını önlemek için gerekli tedbirler alınmalıdır. Bu durumda projede yeşil çatılar ve su geçirimli kaldırımların yapılması binaya 2 puan kazandıracaktır.
- Yeşil bina sisteminin enerji kullanımı geleneksel bina sisteminden çıkarılarak her bir bina sistemi için enerji geri kazanım miktarları hesaplanmıştır. Yenilenebilir enerji sistemlerinin kazandırdığı enerji de bu hesaplamaya eklenmiştir. Bu toplam yeşil binada geri kazanılacak enerjiyi verecektir. Kazanılacak enerjinin toplam enerji ihtiyacına oranı aralığı %13-%19 ise 1 puan, %19-%25 ise 2 puan, %25-%31 ise 3 puan, %31-%37 ise 4 puan, %37-%43 ise 5 puan, %43-%49 ise 6 puan, %49-%55 ise 7 puan, %55-%60 ise 8 puan, %60-%65 ise 9 puan, %65-%70 ise 10 puan, %70-%75 ise 11 puan, %75-%80 ise 12 puan, %80-%85 ise 13 puan, %85-%90 ise 14 puan ve %90-%100 ise 15 puan kazanılabilir.
- Türkiye'de yürürlükte olan mevcut düzenlemelere göre yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam kurulu gücü 10 KW'ı geçemez. Bu yüzden, güneş panelleri ve rüzgâr türbinleri için maksimum sistem sayıları belirlenmiştir. Öte yandan, güneş enerjili su ısıtıcısı için, ekipmanın tamamen geleneksel seçilmesi durumunda kapasite tüm binanın su tüketimini aşmamalıdır.
- Bina enerji modellemesi ve gerekli hesaplamalar ile belirlenen yıllık nihai enerji tüketiminin, bina üzerinde veya arazisinde kurulmuş olan yenilenebilir enerji sisteminden, öngörülen belirli bir oranda karşılaması gerekmektedir. Yenilenebilir enerji sistemlerinden elde edilen enerji geri kazanımın toplam enerji ihtiyacına oran aralığı %2-%5 ise 1 puan, %5-%10 ise 2 puan, %10-%20 ise 3 puan, %20-%30 ise 4 puan %30-%100 ise 5 puan kazanılabilir.
- Bina dış aydınlatması entegre güneş panelleri ile sağlandığı takdirde bina 1 puan kazanabilir.
- Enerji verimli beyaz eşyaları tercih ederek 1 puan kazanılabilir.
- Enerji verimli asansörler tercih edilerek 1 puan kazanılabilir.
- 2.000 m^2'den büyük binalarda, tuvalet, banyo ve mutfakta doğal havalandırmanın yetersiz olması durumunda, mutfaklarda davlumbaz, banyo ve tuvaletlerde aspiratör kullanılmalıdır. Her iki sistemin de kullanılması durumunda 1 puan kazanılabilir.
- Dışardan ve katlar arasından gelen gürültüyü azaltmak için duvarlara ve yer döşemelerine ses yalıtımı yapılırsa bina 3 puan kazanabilir.
- Maliyet ve hacim olarak inşaattaki birincil yapıda en az %2,5 oranında yenilenebilir veya geri dönüştürülmüş hammadde içeren malzemelerin kullanılması arzu edilir. Bunu sağlamak için linolyum zemin kaplamaları tercih edilebilir. Binada linolyum zemin kaplaması tercih edilirse bina 2 puan kazanabilir.

- Yapılarda dayanıklı malzemelerin kullanılması istenmektedir. Ortak alanları yoğun kullanımdan kaynaklanan yıpratıcı etkilerden korumak için darbeye dayanıklı olmayan duvarlarda koruyucu bantlar, kapılarda ayaklıklar ve duvara 10 cm'den daha yakın kapılarda çarpmayı önlemek için kapı koluna çarpma önleyici takılmalıdır. Bu şekilde 1 puan kazanılabilir.
- Enerji verimli dış aydınlatma, acil durum uyarı sistemi, görüntülü ve sesli diyafon sistemi, atık depolama alanı etrafına kilitli çitler bir arada kurulur ise bina 1 puan kazanabilir.
- Resim veya heykel gibi özgün bir sanat eseri (reprodüksiyon dışında) bina içinde herkesin görebileceği bir alanda sergilenmelidir. Böylece bina bu bölümden 1 puan kazanabilir.
- Otoparka tek araçlık elektrik şarj istasyonu ve altyapısının kurulması durumunda bina 1 puan kazanabilir.
- Binada oluşan atıklar özelliklerine göre ayrıştırılmalı ve bina dışına yerleştirilen konteynırlarda ayrı olarak depolanmalıdır. Bu durumda 2 puan kazanılabilir.
- Bina tesislerinde oluşan atıkların geri kazanılması veya atık geri dönüşüm tesislerine gönderilmesi için atık teknolojileri veya ekipmanları kullanılmalıdır. Bu bölümden 1 puan alabilmek için öncelikle binanın atık depolama ile ilgili yukarıdaki kısıtlamadan 2 puan kazanmış olması ve ardından bina bahçesinde ağaç dalı öğütücü kullanması gerekmektedir.
- Enerji tüketimini hem aylık hem de yıllık olarak izleyecek bir sistem kurulmalıdır. Ana sayaç ve alt sayaçlardan elde edilen tüketim değerleri birbirine eşit olmalıdır. Bu durumda 2 puan kazanılabilir.
- Sertifikasyon sisteminde tanımlanan teknolojilerden farklı bir yeşil bina uygulamasının binada kullanılması durumunda bu bölümden 1 puan kazanılabilir.
- Projenin başından sonuna kadar ekipte en az bir onaylı danışman varsa bina 1 puan alabilir.

Her bir sertifika düzeyi için yukarıda verilen amaç fonksiyonu ve sistem kısıtları kapsamında optimizasyon modeli çalıştırılmıştır. Modelinin amacı binanın inşa maliyetini en aza indirmek olduğundan, model çoğunlukla en ucuzu, yani geleneksel sistemleri seçmeye meyillidir. Ancak belirli bir sertifika düzeyine ulaşmak bir sistem kısıtı olduğundan, model daha çevreci alternatifleri alması gereken puan aralığında kalabilecek şekilde seçmektedir. BEST toplam kredisinin onaylı sertifika seviyesi için 46 ile 64 arasında, iyi sertifikası için 65 ile 79 arasında, çok iyi sertifikası için 80 ile 99 arasında ve mükemmel sertifikası için 100 ile 110 arasında olması gerekmektedir.

3. SONUÇ

Optimizasyon modelinin çözümleri, hedeflenen sertifikaları minimum maliyetle alacak şekilde oluşmuştur. Unutulmamalıdır ki maliyetler mevcut bir binayı yeşile çevirmek için değil, sıfırdan inşa sırasında beklenen değerler olup, modele tanımlanan ortalama birim maliyetler üzerinden hesaplanmıştır. Varsayılan 4 katlı ve 16 daireli binanın BEST lapsamındaki sertifika seviyelerine ulaşması için yaklaşık minimum maliyetleri aşağıda Tablo 1'de verilmiştir. Model sonuçlarına göre her bir sertifika seviyesi için optimizasyon modeli ile maliyetler gözetilerek seçilen en uygun sistemler Tablo 2'de paylaşılmıştır.

Tablo 1. Farklı BEST sertifika seviyelerine ulaşmak için gereken maliyetler

Sertifika Seviyesi	Maliyet (TL)
Onaylı	743.350
İyi	749.000
Çok iyi	2.758.900
Mükemmel	1.838.000

Tablo 2. Optimizasyon modeli tarafından seçilen sistemler

Sertifika Seviyesi	Seçilen Sistemler
Onaylı	Tuvalet için yağmur suyu sistemi kullanımı
İyi	Damla sulama sistemi, verimli iç aydınlatma, nem kontrolörü, su sayaçları
Çok iyi	Verimli mutfak musluk başlığı, verimli duş başlığı, tuvalet ve banyo için verimli yağmur suyu sistemleri, damla sulama sistemi, nem kontrolörü, su sayaçları, yeşil çatı, su geçirgen kaldırım, verimli asansör, egzoz fanı, aspiratör, zeminlerde ses yalıtımı, duvarlarda ses yalıtımı, linolyum zemin kaplama, hassas duvar köşelerinde koruyucu bantlar, kapılarda tekmelik, kapı kolu çarpma önleyicileri, yangın alarmları, görüntülü diyafon sistemleri, atık depolama alanı etrafındaki çitler, sanat eseri, elektrikli araç şarj istasyonu, atık ayırma kutuları, ağaç dalı öğütücü, enerji sayacı, yenilik, onaylı danışman.
Mükemmel	Damla sulama sistemi, tuvalet ve banyo için yağmur suyu sistemi, verimli bulaşık makinesi, verimli çamaşır makinesi, verimli buzdolabı, verimli iç aydınlatma, verimli dış aydınlatma, güneş panelleri, güneş enerjili su ısıtıcı, nem kontrolörü, su sayaçları, yeşil çatı, su geçiren kaldırım, verimli asansör, egzoz fanı, aspiratör, linolyum zemin kaplama, hassas duvar köşelerinde koruyucu bantlar, kapılarda tekmelik, kapı kolu çarpma önleyicileri, yangın alarmları, görüntülü diyafon sistemleri, atık depolama alanı etrafındaki çitler, sanat eseri, elektrikli araç şarj istasyonu, atık ayırma kutuları, ağaç dalı öğütücü, enerji sayacı, onaylı danışman

4. TARTIŞMA

Model her bir sertifika seviyesi için ayrı ayrı en uygun sistemleri seçmiş, ardından bu sistemlerin maliyetlerini toplayarak toplam maliyeti hesaplamıştır. Sertifika seviyesi yükseldikçe maliyetin artması beklenen bir durumdur. Ancak Tablo 1'de görüldüğü üzere bu durum çok iyi seviyesinde farklılık göstermektedir. En yüksek maliyetin, en fazla puan gerektiren seviye olan mükemmel seviyesine ait olması öngörülebilir. Fakat optimizasyon modeli, ele alınan örnek için çok iyi seviyesinin bütün seviyeler arasında en yüksek maliyete sahip seviye olarak belirlemiştir. Bunun nedeninin, modelin önceden tanımlanmış kredi aralığı içinde kalmaya çalışarak seçimler yapmasından kaynaklandığı tahmin edilmektedir.

Maliyeti ölçülemeyen yeşil sistemlerin hepsinin halihazırda mevcut olduğu kabul edildiği için, onaylı sertifika seviyesinde sadece bir sistemin (tuvalet için yağmur suyu sistemi kullanımı) seçilmesi yeterli olmuştur. İyi seviyesinde ise 4 adet sistemin (damla sulama sistemi, verimli iç aydınlatma, nem kontrolörü, su sayaçları) seçilmesi yeterli bulunmuştur. Fakat çok iyi ve mükemmel sertifika seviyelerinde seçilen sistemlerin sayısı hızlı bir artış göstererek, sırasıyla 28 ve 30'a ulaşmıştır. Mükemmel seviyesinde 30, çok iyi seviyesinde ise 28 sistem seçilmiş olmasına rağmen, çok iyi seviyesinin daha yüksek maliyette olduğu görülmüştür. Bunun nedeni mükemmel seviyesine ulaşmak için elde edilen enerji puanının, çok iyi seviyesine göre daha yüksek alınmasıdır. Mükemmel seviyesine ulaşmak yönünde enerji puanını arttırmak için verimli buzdolabı, verimli çamaşır makinesi ve verimli bulaşık makinesi seçilmiştir. Bu sistemlerin çok iyi seviyesinde tercih edilmesi durumunda modelin ulaşmayı hedeflediği puan aralığını aşılmaktadır. Dolayısıyla model, mükemmel seviyesi için bu sistemleri seçmemiştir. Bunların yerine bütün duvarlara ve zeminlere ses yalıtımının yapılmasını ve bütün dairelere yenilikçi bir çözüm olan duş suyu geri dönüşüm sistemi kurulmasını uygun olarak belirlemiştir. Bu sistemler fiyatı arttırmış, fakat mükemmel seviyesinde tercih edilen verimli beyaz eşyalardan daha az puan getirmiştir. Bu şekilde belirlenen hedef puan aralığında kalınması sağlanmıştır.

Yapılan seçimlere bakıldığında bütün sertifika seviyelerinde su tüketimini azaltmaya yönelik sistemlerden en az birinin model tarafından seçildiği görülmüştür. Aynı durum enerji tüketimini azaltan sistemler için geçerli değildir. Enerji tüketimini azaltan sistemlerin seçimi BEST'in en üst sertifikaları olan çok iyi ve mükemmel seviyelerinde tercih edilmiştir. Bunun nedeni olarak enerji tüketimini azaltan sistemlerin maliyetlerinin su tüketimini azaltan sistemlere göre nispeten daha yüksek olmasıdır.

Karar vericiler maliyet, marka imajı ve konutun ticari değeri gibi parametreleri değerlendirerek konut için en uygun sertifika seviyesini seçmeyi tercih edeceklerdir. Onaylı ve iyi sertifika seviyelerine bakıldığında, aynı bina için iki senaryo arasında 6000 TL'den az maliyet farkı olduğu görülmektedir. Sertifika seviyesinin yükselmesi marka imajını güçlendireceği ve dolayısıyla konut satış fiyatını da arttıracağı öngörülmektedir. Dolayısıyla vaka çalışması olarak incelenen konutta onaylı sertifika seviyesi yerine iyi sertifika seviyesinin tercih edilmesi daha uygundur. Çok iyi ve mükemmel sertifika seviyelerinde ise maliyetler en az iki katına çıkmaktadır. Bu artışlar çalışmadaki vaka bazında çok iyi ve mükemmel seviyelerin hedeflenmesi, çok yüksek maliyetler nedeniyle mümkün görünmemektedir.

BEST sertifikası henüz yeni bir yeşil bina sertifikasyon sistemi olması sebebiyle de Türkiye'de sadece 23 bina bu sertifikayı almaya hak kazanabilmiştir. Bu binaların hepsi BEST'in en düşük seviyesi olan onaylı seviyesinde sertifikalandırılmıştır. İyi, çok iyi ve mükemmel seviyesinde sertifikalandırılan bir bina henüz bulunmamaktadır. BEST sertifikası alacak binaların sayısının önümüzdeki yıllarda artması öngörülmektedir. Bu çalışmada gösterildiği gibi bir üst sertifika seviyesi beklenildiğinden daha düşük maliyet farkı yaratması mümkündür. Bu iyi sertifika seviyesi için gösterilmiştir. Bu nedenle sertifika alımında daha düşük maliyet getireceği düşüncesiyle en düşük sertifika düzeyinin hedeflenmesi, marka imajı ve konutun ticari değerinden elde edilecek maddi ve manevi kar marjını düşürmesinin yanısıra, nispeten düşük maliyet farkı ile daha yüksek ölçüde sürdürülebilir, çevre dostu binaların inşa edilmesi fırsatının da kaybedilmesine neden olabilecektir. Optimizasyon modelleri karar verme süreçlerine yardımcı olabilir.

5. KAYNAKÇA

[1]. World Meteorological Organization. (2019). Report on Global Climate in 2015-2019. https://public.wmo.int/en/media/press-release/global-climate-2015-2019-climate-change-accelerates

[2]. IPCC. (2007). Fourth Assessment Report.

[3]. Abergel, T., Dean, B., & Dulac, J. (2017). UN Enviornment Global Status Report 2017. www.globalabc.org

[4]. International Energy Agency. (2020). Analysis of Covid-19 impact on electricity. https://www.iea.org/reports/covid-19-impact-on-electricity

[5]. Cooley, H. (2020). How the Coronavirus Pandemic is Affecting Water Demand. Pacific Institute. https://pacinst.org/how-the-coronavirus-pandemic-is-affecting-water-demand/

[6]. Skidmore Owings & Merrill. (2019). The Fight Against Climate Change Starts in Cities. https://som.medium.com/the-fight-against-climate-change-starts-in-cities-ee0db9b03c5e

[7]. World Green Building Council. (n.d.). What is green building? Retrieved September 13, 2020, from https://www.worldgbc.org/what-green-building

[8]. World Green Building Council. (2016). Rating tools. https://www.worldgbc.org/rating-tools

[9]. Doan, D. T., Ghaffarianhoseini, A., Naismith, N., Zhang, T., Ghaffarianhoseini, A., & Tookey, J. (2017). A critical comparison of green building rating systems. In Building and Environment (Vol. 123, pp. 243–260). Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.07.007

[10]. ÇEDBİK. (2021). Çevre Dostu Yeşil Binalar Derneği - B.E.S.T-Konut Sertifikası. https://cedbik.org/tr/b-e-s-t-konut-sertifikasi-12-pg

[11]. Güler, E., & Deniz, Ç. (2020). Gayrimenkul Geliştirme Sürecinde Yeşil Bina Sertifika Sistemleri ve Türkiye Pratiği. Turk Turizm Arastirmalari Dergisi, 1(4), 324–343. https://doi.org/10.26677/tr1010.2020.628

[12]. Deligöz, D., & Aktan, A. İ. (2020). Analysis of Green Building Certification Systems Used in Residential Buildings in Turkey, Context of the Resource Conservation Keywords. Grid Architecture, Planning and Design, 3(2). https://doi.org/10.37246/grid.743045

[13]. Morris, P., Langdon, D., & Matthiessen, L. F. (2007). Cost of Green Revisited: Reexamining the Feasability and Cost Impact of Sustainable Design in the Light of Increased Market Adoption.

BETON ÜRETİM SANTRALLERİNDE SIFIR ATIK UYGULAMALARI VE ÖNERİLERİ

Serkan GÜR[1, *], Mustafa IŞIK[2,*]

[1] Aksaray Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü 68100, Merkez/AKSARAY*serkangur42@gmail.com*

[2] Aksaray Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 68100, Merkez/AKSARAY mustafaisik@aksaray.edu.tr

Özet

Bu çalışmada sıfır atık kavramı ve uygulamaları tanıtılarak, beton üretim santrallerinin mevcut durumu, uygulamalar Konya ve civar illerde üretim yapan beton santrallerinin durumu dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında yirmiden fazla beton santralindeki uygulamalar hakkında bilgiler anket gerçekleştirilerek elde edilmiştir. Yapılan anketler, inceleme, gözlem ve ilgili kişilerle görüşmeler neticesinde, tesislerin bir kısmında yasal mevzuat gereklerinin haricinde atığın azaltılması ve israfın önüne geçilmesi için uygulamaya koydukları bir sistemlerinin olduğu, bir kısmının bağlı oldukları yönetmeliğin asgari değerlerini yerine getirerek ve tesiste oluşan atıkları düzenli bir şekilde bertarafı sağladığı, bir kısmının da mevzuata resmiyette uyduğu, ancak usulsüz bir şekilde bertaraf sağlandığı görülmüştür. Sıfır atık konusunda ise çoğu tesiste teorik düzeyde bilgi sahibi olunduğu, ancak konu ile ilgili yeterli düzeyde uygulamalarının olmadığı tespit edilmiştir.

Abstract

In this study, the concept of zero waste and its applications were introduced and the current situation of concrete production plants and applications were evaluated by considering the situation of concrete plants producing in Konya and surrounding provinces. Within the scope of the study, information about the applications in more than twenty concrete plants was obtained by conducting a survey. As a result of the surveys, examinations, observations and interviews with the relevant people, some of the facilities have a system that they put into practice to reduce waste and prevent waste, apart from the requirements of legal regulations, some of them fulfill the minimum values of the regulation they are attached to and ensure that the wastes generated in the facility are disposed of in a regular manner. It has been observed that some of them comply with the legislation officially, but they are disposed of illegally. On the subject of zero waste, it has been determined that most facilities have theoretical knowledge, but they do not have sufficient practices on the subject.

Keywords: Hazır beton, sıfır atık, israf

1. GİRİŞ

Eski zamanlarda yaşayan insanlarla günümüzdeki insanların yaşadığı çevre şartları aynı değildir. Özellikler sanayi hamlesi ile birlikte teknoloji ve altyapılardaki gelişme, Dünyamızı insan yaşamını zorlaştıran daha uygun ve çevresel şartlar açısından yaşanabilir hale getirmiştir. Ancak, hızlı kentleşme ve sanayileşme, artan nüfus için daha uygun yaşam şartları sağlamakla birlikte, israf ve çevre kirliliğinin kapsam ve boyutunu artmıştır. Daha iyi bir yaşam için piyasaya sürülen ürünlerin sayısı arttıkça, yeni yeni atıklar oluşmaya başlamış, türleri ve miktarları genişlemiştir. Atık, belirli bir zamanda insan faaliyetlerinin gereksiz bir ürünüdür. Atık, artık kullanılmayan atılan malzemedir, bu nedenle yönetiminin büyük bir dikkatle gerçekleştirilmesi gerekir. Atık yönetimi, çeşitli eylemleri gerektirir. Atık türüne bağlı olarak atık yönetiminin aşamaları değişebilir, ancak anahtar kavram her zaman israfı en düşük seviyeye indirmektir. Bir doktoralı kimyager Paul Palmer, 1970'lerde "sıfır atık" kavramı ilk kez ortaya atmıştır. Atık yönetiminde her zaman bir kalıntı olacağı ve %0'a ulaşmak mümkün olmadığı için teori kısmen yarı felsefi olarak kalmaktadır. Ancak diğer atık yönetim sistemleri gibi sadece yeniden kullanıma ve geri dönüşüme odaklanmakla kalmaz, aynı zamanda yeniden kullanımı da açıklar.

Atık yaşam standardının artmasıyla orantılı olarak artan insan yaşamının her zaman bir parçası olmuştur. Modern çağ, atık üretimini tetiklemiştir. Gelişmiş ülkeler atık üretimine daha fazla katkıda bulunmaktadır. Kent yaşamı ve etkisi ile atık üretiminin kalkınma yolunda atılan adımların doğal bir sonucu ve göstergesi olduğu kabul edilmekle birlikte, atıkların yönetiminde istenilen başarı seviyesine ulaşılmış değildir. Atık yönetiminin uygun şekilde yapılamadığı yerlerde salgın hastalıklar, toksik ve zararlı kirleticiler çevreye yayılarak halk sağlığını tehdit eder boyuta ulaşabilmektedir. Nükleer santraller, kimya endüstrileri, zirai kimya endüstrileri, hastaneler, araçlar, atık enerji santralleri vb. sürekli şekilde atık üreten faaliyetlerden bazılarıdır. Atık oluşumu çevreyi kirletir ve arazi üzerinde ekonomik bir yük oluşturur. Atık, su ve yerleşik enerji gibi doğal kaynakların gereksiz yere kaybına yol açar. Doğal kaynakların tükenmesi, ancak kaynak geri kazanımı, atık önleme ve daha az enerji ile verimli malzeme kullanımına dayalı sürdürülebilir tüketim ve stratejik atık yönetimi ile önlenebilir veya azaltılabilir. Özünde, çeşitli dönüşümler ve malzeme geri dönüşümü ile atık olmayacak yerde sıfır atık hedefine ulaşılması hedeflenmektedir.

Bu çalışmada atık yönetimi ve sıfır atık uygulamaları kavramsal olarak anlatılıp, Konya Bölgesinde hazır beton üretim yapan tesislerde atık yönetimi ve sıfır atık uygulamaları hakkında bir anket çalışması ile farkındalık ve uygulamalar tartışılmıştır.

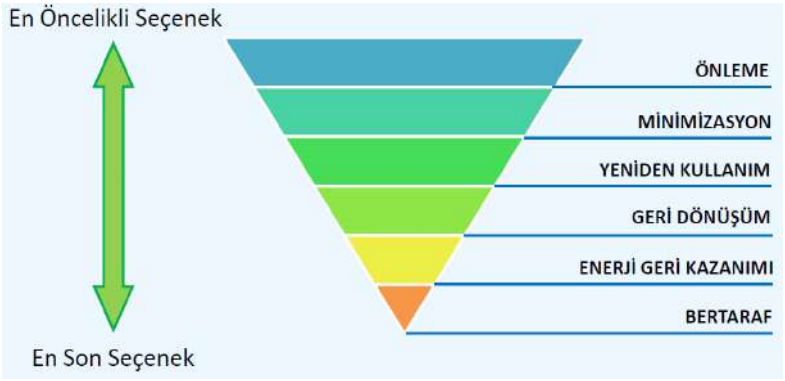
2. ATIK YÖNETİMİ

2.1 Dünya'da Kullanılan Atık Yönetimi Sistemi

Üretim ve kullanım faaliyetleri sonucu ortaya çıkan, insan ve çevre sağlığına zarar verecek şekilde doğrudan ve dolaylı bir biçimde alıcı ortama verilmesi sakıncalı her türlü madde atık olarak adlandırılmaktadır. Atıkların; kaynağında azaltılması, özelliğine göre ayrılması, toplanması, ara depolanması, geçici depolanması, geri kazanılması, taşınması, bertarafı ve bertaraf işlemleri sonrası kontrol ve benzeri işlemler bir bütün olarak Atık yönetimi olarak ifade edilmektedir. Entegre atık yönetimi ise atık yönetiminin entegre olarak tüm atıklarla birlikte uygulanmasıdır [1].

Atık yönetimi hiyerarşisi, optimal çevresel sonuçlara ulaşmak amacıyla atık yönetimi uygulamalarına öncelik vermek için ulusal ve uluslararası kabul görmüş bir kılavuzdur. Atık yönetimi uygulamalarının en çok tercih edilenden en az tercih edilene doğru sırasını belirtir.

Atık yönetim sistemi sürdürülebilirlik ve çevre dostu olma ile ilgilenen en çok tercih edilen yönetim sistemi olarak 3R hiyerarşi sistemi (yani azaltma, yeniden kullanım ve geri dönüşüm) çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Atık hiyerarşisi, tercih edilen atık önleme seçimi, ardından yeniden kullanım, geri dönüşüm, atıktan enerji gibi diğer geri alma prosedürleri ve izlemenin ardından iyileştirilmiş nihai bertaraf ile atık yönetimi için bir öncelik sırası düzenler. Atık yönetimi, insan sağlığını tehlikeye atmayacak, çevreye zarar vermeyecek, havaya, suya, toprağa, bitkilere veya hayvanlara risk oluşturmayacak, koku veya gürültü yoluyla rahatsız etmeyecek veya özel ilgi alanlarını olumsuz yönde etkilemeyecek şekilde yapılmalıdır. 3R hiyerarşisini enerji geri kazanımı ve bertaraf ve takip eder. Dünyada sıfır atık hiyerarşisinden önce kabul gören atık yönetim hiyerarşisi nihai Şekil 1'de gösterilmektedir [1, 2].



Şekil 1. Atık yönetimi hiyerarşisi.

2.2 Sıfır Atık Yaklaşımı

İsrafın en alt düzeye indirilmesiyle ilgilenen yarı felsefi bir teoridir. Bu terim 1970'lerin ortalarında Kimyager Paul Palmer tarafından icat edilmiştir. Sıfır atık uygulaması, kaynakların kullanımından maksimum verimin nasıl elde edileceği ile ilgilidir. İsrafın birinci, geri dönüşümün ikinci olduğu üçüncü nesil planlamadır. Teori, çoğunlukla başka bir ürün için bir kaynak olarak atıkla ilgilenir. Örneğin: bir kimyasal işlem sırasında atık olarak kabul edilen bir yan ürün, başka bir yeni ürün için hammadde olarak kullanılır. Başka bir deyişle, başlangıçtan itibaren israfın azaltılması ile ilgilidir. Sıfır atık, atıklarla sürdürülebilir bir şekilde ilgilenir. Amaç, daha az atık, daha az yönetim maliyetidir.

Bakanlığa [3] göre "Sıfır atık; israfın önlenmesini, kaynakların daha verimli kullanılmasını, oluşan atığın miktarının azaltılmasını, etkin toplama sisteminin kurulmasını, atıkların geri dönüştürülmesini kapsayan atık önleme yaklaşımı olarak tanımlanan bir hedeftir" diye tanımlanmaktadır. Diğer bir tanım olan Uluslararası Sıfır Atık Birliği-USAB (Zero Waste International Allıance- ZWIA) tarafından 2018 yılında revize edilen "sıfır atık; ürünlerin, ambalajların ve diğer malzemelerin, çevre ve insan sağlığına tehdit oluşturacak şekilde yakılmadan ve/veya toprağa, suya ve/veya havaya deşarj edilmeden sorumlu bir şekilde üretilmesi, tüketilmesi, yeniden kullanılması ve/veya kurtarılması yoluyla tüm kaynakların korunmasıdır" tanımıdır.

Gelişmiş ülkelerin çoğu, daha iyi bir çevre için ilk adım olarak sıfır atık uygulamalarını gerçekleştirmektedir. Mümkün olduğunca tekrar tekrar kullanım teşvik edilir. Sıfır atık uygulamasında, israftan kaçınmanın en iyi yolu her şeyi sürekli olarak yeniden kullanmak olmakla birlikte, uygulama tüm ürünler baştan yeniden kullanılmak üzere tasarlanmışsa yapılabilir. Bir ürün elde ederken atıkların nasıl kullanılacağı baştan tasarlanmalıdır, atık oluştuktan sonra atığı diğer atıklardan ayırarak geri kazanmak uygun bir yol değildir [4].

2.3 Sıfır Atık Hiyerarşisi

Sıfır Atık uygulamaları büyük kentsel ve küçük kırsal topluluklarda dünya çapında geçerli ilkeleri ve birkaç mantıklı adımı içermektedir. Sıfır atık programları, yerel yönetimlerin sıcaklık değişimini azaltmaya, sağlığı korumaya, yeşil işler üretmeye ve yerel mülkiyeti teşvik etmeye katkıda bulunacağı en hızlı ve en değer-etkili yöntemlerdir. Sıfır atık, mülk tarımı, tasarım, enerji, endüstriyel, ekonomik ve toplumsal kalkınma ile bağlantılıdır. Dünyadaki her bir kişi atık üretir ve özünde sürdürülebilir olmayan bir toplumun bir bileşenidir [4]. Değişik atık yönetim hiyerarşileri verilse de USAB'ın daha kapsamlı atık hiyerarşisi [5] Şekil 2'de verilmektedir.

Şekil 2. Atık yönetim hiyerarşisi

USAB'ın sıfır atık hiyerarşisi uygulaması aşağıdaki şekilde verilmektedir [5].

- **Yeniden düşünme/yeniden tasarlama**

Ürünleri dayanıklı, tamir edilebilir, yeniden kullanılabilir, tamamen geri dönüştürülebilir veya kompostlanabilir ve kolayca sökülebilir olacak şekilde yeniden kullanılmış, geri dönüştürülmüş veya sürdürülebilir şekilde hasat edilmiş yenilenebilir, toksik olmayan malzemelerden yeni ürünler tasarlanmalı ve satın alınmalı.

El değmemiş doğal kaynakların toplanması ve kullanılması konusunda döngüsel ekonomiyi desteklemek için fonlar ve finansal teşvik sistemleri geliştirilmeli.

Döngüsel Ekonomi, döngüsel malzemeleri teşvik etmeli, savurgan ürünlerden ve süreçlerinden vazgeçilmeli

Malların "sahipliğinden" "paylaşılan" malların ve hizmetlerin sağlanmasına kadar son kullanıcıların ihtiyaçlarının karşılanması şeklindeki değişiklikler kolaylaştırılmalı.
Üretim, sıfır atık hiyerarşisini takip edecek ve daha sürdürülebilir ürün ve süreçlere doğru ilerleyecek şekilde ürünlerinin tüm yaşam döngüsünü dikkate aldığı sistemleri desteklenmeli ve genişletmeli. Üreticiler, Sıfır Atık Hiyerarşisini izleyen bir sistemde, ürünlerini ve ambalajlarını geri alabilmeli.
Kapalı döngü sistemlerinde sorunlu malzemeler belirlenmeli ve aşamalı olarak bırakılmalı

Yerel pazarlar ve yerel ekonomiler desteklenmeli, gereksiz üretim ve tüketim önlenmeli, bu konuda politika ve sistemler, kolaylaştırılmalı ve uygulanmalı

Satın alma ihtiyaçları yeniden değerlendirilmeli ve ürün sahipliğine alternatifleri aranmalı.

Bilinçli karar vermeye izin vermek için bilgi sistemi altyapısı geliştirilmelidir.

Gereksiz tüketimi yönlendiren sistemlerin farkında olunmalı, özendirilmemeli, vazgeçilmelidir.

- **Azaltma**

Bozulma ve tüketilmeme nedeniyle oluşan ıskartaları en aza indirmek için bozulabilir gıdaların tüketimini ve satın alınmasını planlanması

Mümkün olduğunda yerel pazarların yanı sıra sosyal ve çevresel hedefleri destekleyen sürdürülebilir satın alma uygulamaları

Kullanılan malzemelerin miktarını ve toksisitesini en aza indirilmesi

Ürün, ürün kullanımı ve hizmetler için gereken ekolojik ayak izini en aza indirilmesi

Kullanım ömrü ve sürekli yeniden kullanım seçenekleri en üst düzeyde olan ürünlerin seçilmesi

Kolaylıkla ve sürekli olarak geri dönüştürülebilen malzemelerden yapılmış ürünlerin seçilmesi

İnsanlar için yenilebilir gıda kullanımına öncelik verilmesi

Hayvanların tüketebileceği yemlere öncelik verilmesi

- **Tekrar Kullanma**

Malzeme ve ürünlerin tekrar kullanımının geliştirilmesi

Bir eşya ve malzemenin değerinin, kullanım ve işlevinin korunması için bakım, onarım ve yenileme yapılması,

Demonte parçalarla yeniden üretim; hala kullanımda olan ürünleri onarmak ve bakımını yapmak için "yedek" parçaları sökün ve koruyun

Alternatif kullanımlar için ürünlerin yeniden kullanımı

- **Geridönüşüm/kompost**

Malzemeleri orijinal ürün döngüsünde tutmak ve malzemelerin tam kullanışlılığını korunması için sistemlerin desteklenmesi ve sayılarının artırılması

Organikler de dahil olmak üzere malzemelerin en yüksek ve en iyi kullanımına izin veren uygulamaların gerçekleştirilmesi ve sürdürülmesi

Malzemeleri mümkün olduğunca en uygun ve faydalı bir amaç için geri dönüştürülmesi ve kullanımı

Mümkün olan her yerde toplanan atıklar için yerel pazarlar ve kullanımlar geliştirilmesi,

Temiz kompost ve geri dönüşüm hammaddeleri oluşturmak için teşvikler sağlanması,

Üreticiye mümkün olan yakın yerlerde kompostlamanın gerçekleştirilmesi ve uygulamanın genişletilmesi (Mümkün olan her evde ve sahada lokal kompostlamaya öncelik verilerek),

Evlerde ya da merkezi olmayan kompostlamanın mümkün olmadığı durumlarda, endüstriyel kompostlamayı veya yerel koşullar gerektiriyorsa/izin veriyorsa anaerobik çürütme seçeneğinin düşünülmesi,

- **Malzemelerin Geri Kazanılması**

Karışık atıklardan geri kazanımın en iyi seviyeye getirilmesi ve geri kazanımdan sonra kazanılan malzemenin en iyi şekilde değerlendirilmesi

Mümkünse ortam sıcaklığı ve basıncında işleyen sistemleri kullanarak enerjinin geri kazanılması,

- **Kalıntı/bakiyelerin Yönetimi**

Kalıntı malzemelerin incelenmesi ve atılacak kısmının önlemek için yeniden düşünmek, azaltmak, yeniden kullanmak ve geri dönüştürmek üzere alternatifleri geliştirilmesi,

Fermente olabilen malzemelerin biyolojik stabilizasyonu yoluyla etkilerin en aza indirilmesini sağlamak,

Kaynakların korunmasının teşvik edilmesi ve bu kaynakların uygun olmayacak şekilde bertarafından kaçınılması,

Kalıntı atıkların miktarı azaldıkça ve bileşimi değiştikçe, önceden ayarlanmış sistemler ve altyapının planlanması,

Kalıntılardan gaz oluşumu ve yayılımının minimize edilmesi ve salınan gazların kontrolünün çok iyi bir şekilde yapılması,

Mevcut depolama kapasitesini kullanılması ve depolama ömrünün mümkün olduğunca uzatılması, depolama sahalarının iyi yönetildiğinden emin olunması,

Toksik atıkların dikkate alınması ve kontrol edilmesi

- **Kabul Edilemez Atıklar**

Organik ve/veya geri dönüştürülebilir atıkların uygun olmayacak bertarafına (yakma ve deponi sahalarında depolama) neden olacak politika ve sistemlerin desteklenmemesi,

Sürekli atık üretimine bağlı olan enerji ve uygun olmayan bertaraf sistemlerinin desteklenmemesi,

Atıkların yakılmasına izin verilmemesi,

Tüketici ürünlerine veya yapı malzemelerine toksik artıkların girmesine izin verilmemesi

2.4 Sıfır Atık Yönetim İlkeleri

USAB'a göre sıfır atık hiyerarşisine uygun faaliyetleri için aşağıdaki kılavuz ilkelere uyulması tavsiye edilmektedir.

- **Kapalı Döngü Sistemleri**

Sistemleri, kaynak kullanımında doğrusal değil, kapalı döngü olacak şekilde tasarlanmalıdır.

- **Kaynağa Yakınlık**

Pratik olarak kaynağa yakın gerçekleşecek süreçler tercih edilmelidir.

- **Enerjinin Korunumu**

Atıkların azaltılması, ürünlerin yeniden kullanılması, geri dönüşüm ve kompostlama ile atıkların yakılmasından veya çöp gazlarının geri kazanılmasından elde edilebilecek olandan daha fazla enerji tasarrufu sağlanabilir ve küresel ısınmanın etkileri azaltılabilir.

- **Zararlı Atıkların İhraç Edilmemesi**

Toksik veya potansiyel olarak toksik atık veya malzemelerin daha fakir, daha az gelişmiş ülkelere ihracından kaçınılması ve başka bir bölgede depolanacak veya yakılacak sınırlı, tanımlanmamış geri dönüşüm pazarlarına sahip malzemelerin ihracından kaçınılması

- **Toplulukların Katılımının Sağlanması**

Anlamlı ve sürekli katılımı kolaylaştırmak, anlayışı artırmak ve davranış değişikliğini ve algıları etkilemek için topluluklarla birlikte çalışan değişiklikleri ve sistemlerin teşvik edilmesi

- **En Yüksek ve En İyi Kullanım**

Hiyerarşide mümkün olduğu kadar yüksek bir kullanım için malzeme ve ürünler yaratmak ve mümkün olduğunca uzun süre faydalı döngüde tutmak. Gelecekteki kullanımların veya seçeneklerin sayısının sınırlı olduğu durumlarda malzemelerin geri dönüşüme uğramasını önlemek

- **Bilgi Toplanması ve İyileştirme**

Sistemler hakkında bilgi toplanması ve sürekli iyileştirme için geri bildirim olarak kullanılması

- **Yerel Ekonomilerin Geliştirilmesi**

Ulaşımdan kaynaklanan sera gazlarını azaltmak, hesap verebilirliği geliştirmek ve onarım ve parça fırsatlarını artırmak için yerel ekonomilerin (üretim, onarım ve işleme) büyümesini ve genişlemesinin desteklenmesi

- **Atık Malzemelerin Kaynak Olarak Kullanımı**

El değmemiş doğal kaynakları kullanmadan önce sürekli kullanım için mevcut malzemeleri değerlendirilmesi ve kullanılması

- **Deşarjların En Aza İndirilmesi**

İklim değiştiren gazlar da dahil olmak üzere insan, hayvan veya bitki sağlığına tehdit oluşturabilecek tüm kara, su veya havaya deşarjların minimize edilmesi

- **Fırsat Maliyetleri**

Yatırımların fırsat maliyetlerini göz önünde bulundurulması ve yatırımların hiyerarşide mümkün olduğunca yüksek olmasının sağlanması

- **Önlem İlkesi**

Çevre için tehdit oluşturan bir madde veya aktivitenin, o madde veya aktivitenin çevresel hasara neden olduğu hakkında kesin bir bilimsel kanıt olmasa bile, ihtiyatlı davranarak çevreyi olumsuz etkilemesinin önlenmesinin sağlanması

- **Kirleten Öder İlkesi**

Çevresel maliyetlerin içselleştirilmesi ve ürün fiyatlarına yansıtılması için endüstrilerin teşvik edilerek çevresel zarara ve kaynak tüketimine neden olanların maliyetlerin tamamın üstlenmesi gerekir.

- **Sürdürülebilir Sistemler**

Yerel ekosistemler uyarlanabilir, esnek, ölçeklendirilebilir, dayanıklı ve uygun sistemlerin geliştirilmesi

3. HAZIR BETON ÜRETİMİ VE ETKİLERİ

Yaklaşık her m^3 hazır beton üretimi için 175 L karışım suyu ve daha sonra mikser kamyonlarını, beton pompalarını ve ekipmanları yıkamak için ilave 70 L su kullanılmaktadır. Yıkamada sonra oluşan atıksu yüksek miktarda askıda katı madde ve toplam çözünmüş madde (9000 mg/L), ağır metaller ve alkali karakteristik (pH>12) içermektedir. Bu atıksuların deşarjı Dünya genelinde ciddi çevresel problemlere neden olmaktadır [6]. Eğer uygun şekilde bertaraf yapılmaz ise yüksek pH nedeniyle civarındaki su kaynakları kirlenebilir, ağır metalleri su kaynaklarına geçerek toksisteye neden olabilir. Ancak beton içerisinde bu suların yeniden kullanımı toksik metalleri immobilize ederek zararsız hale getirilmesini sağlayabilir [7]. Küresel beton üretimi yılda 11 milyar tondur. Bu miktarda beton üretimi yaklaşık olarak 1,87 milyar m^3 su gerektirir ve 748 milyon m^3 atıksu oluşumuna neden olur [2]. Gelişmekte olan ülkelerdeki mevcut uygulamalar, mevzuatların yetersizliği ve beton atık geri dönüşümüne gerekli hassasiyetlerin gösterilmemesi nedeniyle yasadışı boşaltma şeklindedir. Birçok şantiyede inşaat ve yıkım atıkları birbirine karışır ve bu da uygun olan atıkların geri dönüştürülememesine yol açar [8, 9].

Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı'na göre [10] metalleri uzaklaştırmak ve pH'ını düşürmek için ön arıtmadan sonra filtrelenen yıkama suyu, çeşitli uygulamalar için yeniden kullanılabilir veya bir kentsel kanalizasyon şebekesine deşarj edilebilir. Hazır beton tesislerinden oluşan atıkların kullanımı Tablo 1'de [10] verilmektedir. İngiltere Çevre Ajansına göre, [11] çevre (su, hava, toprak, bitki veya hayvanlar) ve insan sağlığını tehdit etmediği veya kırsal bölgeyi etkileyen gürültü veya kokulara neden olmadığı sürece beton yıkama suları ile yıkama sularından ayrılmış çimento ince ve siltlerinin çevre izni olmaksızın arıtılması ve yeniden kullanılmasına izin verilmektedir.

Tablo 1. *Hazır beton atık malzemelerinin yeniden kullanımı*

Geri kazanılana materyalin kullanımı	Hazır beton yıkama atıkları		
	Yıkama suyu	Çimento tozları	İnce ve kaba agregalar
Mikser ve transmikserlerin, beton pompalarının yıkanması için kullanımı	X		
Hazır beton bileşeni olarak yeniden kullanımı	X	X[a]	X
Demiryolu bariyerleri, kilit taşı, bims, dolgu materyalleri gibi döküm beton uygulamaları	X	X	X
Yol dolgusu ve taban malzemesi gibi öğütülmüş beton ürünleri olarak yeniden kullanımı, hazır beton tesislerinin bahçelerini döşemek için yeniden kullanımı		X	X
Nehir, göl veya haliç gibi sulara geri döndürülür	X[b]		

[a]Beton kalite standartları müsade ederse, [b]pH ve ağır metal giderimi yapıldıktan sonra

4. MATERYAL METOD

Bu çalışma Konya ve civar bölgesinde faaliyet gösteren hazır beton tesislerinin ve beton mamulleri üretimi yapan tesislerin üretim, teslimat ve mamul proseslerinde 'atık' olarak tanımlanan ürünlerin miktarının tespiti, oluşan miktarın azaltılması için alınan önlemler ve doğal kaynakların azalmasına karşın, israfın önüne geçilmesi için yapılanması gerekenlerin tespitinden oluşmaktadır. Bu amaç doğrultusunda öncesinde yapılan araştırmaların derlenmesi, mevzuat şartlarının sağlanması için yapılanlar iş ve uygulamaların bilinmesi için Konya civarında hazır beton ve beton mamulleri üreticileri ile bir anket çalışması yapılmıştır.

Yönlendirilmiş anketler, yapılan yüz yüze ve telefonla yapılan görüşmeler üzerinden veriler toplanmıştır. Konya ve civarında yaklaşık 30 hazır beton ve beton mamulleri üreticisi ile görüşülmüştür. Bu bağlamda görüşme gerçekleştirilen firmaların santral kapasitesi 80m^3/saat ile 330m^3/saat arasında değişmektedir.

Oluşan atıkların türleri olarak (10 13 14) atık beton ve beton çamurları (15 01 10) Kontamine ambalaj atığı (15 01 06) karışık ambalaj (20 01 08) biyolojik olarak bozulabilir mutfak ve kantin (20 01 26) bitkisel atık yağ. Oluşan atıklar geçici depolama alanları ve ilgili lisanlı firmalara, beton atıkları ise dolgu malzemesi ve belediye hafriyat alanlarına gönderildiği tespit edilmiştir.

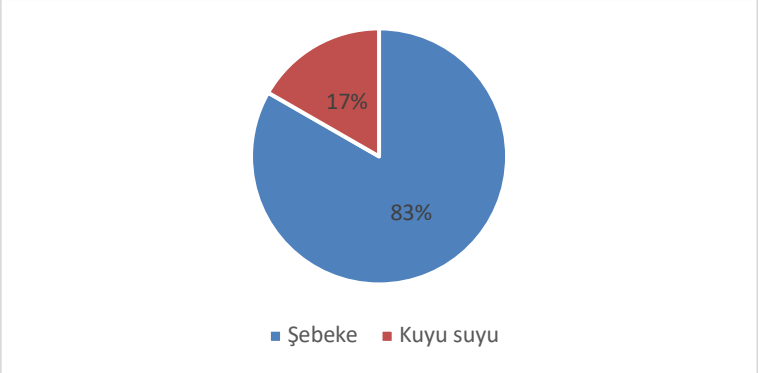
Santrallerde ve transmikserler de kullanılan su miktarları ayrı ayrı sorulmuş ve santrallerde ve transmikserlerde kullanılan su miktarları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2.Santrallerde kullanılan su miktarı

No	Santralde kullanılan su miktarı (m^3/gün)	Transmikser de kullanılan su miktarı (m^3/gün)
1	185	3,5
2	235	6,9
3	130	3,0
4	200	5,3

5	60	1,2
6	150	2,7
7	180	2,8
8	200	5,8
9	230	6,4
10	120	3,0
11	140	3,2
12	175	3,6
13	165	3,5
14	200	5,8
15	205	5,9
16	210	6,1
17	220	6,1
18	225	6,2
19	70	1,5
20	80	1,6
21	75	1,4
22	90	2,1
23	90	2,4
24	125	4,0
25	130	3,8
26	100	3,5
27	110	2,9
28	105	2,7
29	90	2,8
30	95	1,9
31	100	2,0

Kullanılan su kaynağı sorusuna ise verilen cevaplar Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3. Kullanılan su kaynağı

Proseslerde beton üretiminde herhangi bir atık su oluşumu gözlenmediği beyan edilmiş ve oluşan atık su trasnmikserlerin yıkanması esnasında oluştuğu beyan edilmiştir. Transmikserlerin yıkanması sonucu oluşan atıksu ve atık betonlar çok gözlü çöktürme havuzlarında arıtılıp yeniden kullanıldığı ve ilgili depolama alanlarına gönderildiği beyan edilmiştir.

Sıfır atık hakkında bilginiz var mı ve uygulama olarak neler yapıyoruz sorusuna ise tesislerin hepsi bilgilerinin olduğu çalışma olarak ayrı toplama sistemleri kullandıklarını belirmiştir.

5. SONUÇ

Firmalar ilgili mevzuat kapsamında gerekli asgari yeterlilikleri sağlayarak üretim yapmayı tercih etmiştir. İlgili saha yetkilileri ile görüşmelerimiz sonucunda firmalar tesislerde çıkan atıklarla ilgili olarak beton üretiminden kaynaklı atıklar hariç diğer kısımları mevzuat gereği ilgili firmalara anlaşarak atıklarını toplanmasını sağlamaktadırlar. Ancak beton atıklar ve beton üretiminden kaynaklanan atıksular ile ilgili gerekliliklerini yerine getirmedikleri anketlere verilen cevap ve gözlemlerden anlaşılmaktadır. Hazır beton ve beton mamulleri üretimleri esnasında en büyük sorun hazır beton ve beton mamullerinden kaynaklanan atıklardır. Firmalar bunlarla ilgili beyanlarını ilgili mevzuat kapsamında geri kullanım yönünde olmuştur. Ancak geri kullanım üzerine herhangi bir ekipman gözlemlenmemiştir. İlgili teknik uygunluk raporlarında oluşan atıksuyun ve agreganın tesiste geri kullanılacağı üzerine çöktürme havuzları önerilmiş

ve yaptırılmıştır. Firmalar betondan kaynaklı atıklarını mevzuatta belirtilen şartların dışında bertaraf ettikleri gözlemlenmiştir.

6. GÖRÜŞ VE ÖNERILER

Hazır beton ve beton mamulleri üretimi dikkate alındığında üretim esnasında oluşan atıkların azaltılması için gerekli çalışmaların bazıları şu şekilde olabilir.

- Personel kaynaklı atıkların azaltılması içim verilen ekipmanların sağlam yapıya sahip olması oluşacak atıkların azalmasına etki edecektir.
- Mutfak atıkları için kompost çalışması yapılarak toprak iyileştirici olarak kompost ilgili yerlerde kullanılabilirliği sağlanabilir.
- Beton üretiminde kaynalanan atıklar ve atıksular için teknik uygunluk raporlarında agrega ve su kullanımının detaylandırılarak belgelendirilmesi sağlanabilir.
- Mevzuat gereği yapılan denetimlerde proses hakkında bilgili kişilerle denetim yapılması sağlanabilir.
- Çevre danışmanlık faaliyeti yürüten firmalar üretim prosesleri hakkında bilgilendirilebilir.
- Yasal mevzuatlarla oluşan atıkların önlenmesi için çalışmalar yapılabilir.
- Farkındalık oluşturulması adına üreticilere eğitim çalışması yapılabilir.
- İsrafın önlenmesi adına üretim reçetelerine yanlışların azaltılması için farklı şekillerin kullanımı sağlanabilir.

2.5 Kaynakça

1.Ercan, F., Atık Yönetimi Mevzuatı (*http://www.pagcev.org/upload/files/Funda%20Ercan%20Atik%20Yonetimi%20Mevzuati.pdf*). 2021.

2.Zaman, A. and T. Ahsan, Zero-waste: reconsidering waste Management for the Future. 2020: Routledge.

3.ÇŞB, Sıfır Atık El Kitapçığı, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ankara. 2017.

4.Palmer, P., *Getting to zero waste*. 2004: Purple Sky Press.

5.ZWIA. Zero Waste Hierarchy of Highest and Best Use (*https://zwia.org/zwh/*). 2021.

6.Ghrair, A.M., et al., *Waste wash-water recycling in ready mix concrete plants.* Environments, 2020. **7**(12): p. 108.

7.Hillier, S., et al., Long-term leaching of toxic trace metals from Portland cement concrete. Cement and Concrete Research, 1999. 29(4): p. 515-521.

8.Ferronato, N. and V. Torretta, *Waste mismanagement in developing countries: A review of global issues.* International journal of environmental research and public health, 2019. **16**(6): p. 1060.

9.Lockrey, S., et al., Recycling the construction and demolition waste in Vietnam: opportunities and challenges in practice. Journal of Cleaner Production, 2016. **133**: p. 757-766.

10.EPA, Environmental Protection Agency, Stormwater BestManagement Practice: Concrete Washout. Report EPA.833-F-11-006. 2012. Available online: *https://www3.epa.gov/npdes/pubs/concretewashout.pdf*

(accessed on 22 11 2021). 2012.

11.EA, Environment Agency. Guidance ReusingWashWaters and Treating Cement and SiltWashings at Construction Sites. LRWP 16. 2019. Available online: *https://www.gov.uk/government/publications/low-risk-wastepositions-*construction-demolition-and-dredging-waste-aggregates-and-soils/reusing-wash-waters-andtreating- cement-and-silt-washings-at-construction-sites-lrwp-16 (accessed on 20 11 2021).

DEVELOPMENT OF THE SUSTAINABILITY INDEX (SI) AS A DECISION METHOD FOR RESOURCE RECOVERY FROM WASTEWATER IN THE CIRCULAR CITY CONCEPT

Irem Ozturk[a], Emel Topuz [b]

[1]*Department of Environmental Engineering, Gebze Technical University, Kocaeli 41400, Turkey* *iozturk@gtu.edu.tr*

[2] *Department of Environmental Engineering, Gebze Technical University, Kocaeli 41400, Turkey*

emeltopuz@gtu.edu.tr

Abstract

Resources have a capability of reduce, reuse, recycle, recover, redesign and remanufacture (6R) applications. Circular city term is attracting more and more interest in recent years due to 6R possibilities in closing loop. Countries are investigating what potential sources could be recovered from the real application of these and with which technologies. Supporting decision making tools are needed in the process of identifying and implementing alternatives for various methods and combinations. In this study aim is to suggest a decision-making approach that calculates Sustainability Index (SI) for the wastewater resource recovery technologies. Method comprises 3 main steps that resource recovery plan, composition of SI and fuzzy inference for the quantification of SI. In the first place, aim is to determine the wastewater streams to be recovered and their alternative technologies. The Analytical Hierarchy Process (AHP) is used to rank and evaluate the criteria created on the basis of sustainability. Ultimately, The Fuzzy inference method used to digitize the sustainability index and presents the data obtained in AHP to the authorities. Sustainability class and its membership degree which component of SI are presented in the last step. Furthermore, detailed components of SI that priority weights are calculated. Priority weights can be used for improving of the sustainability for the selected technology. Finally, the SI values and priority weights found are a significant resource for the recovery technology to be applied in the adaptation of circular cities and provide communication between authorities.

Keywords: circular city, resource recovery, wastewater, decision making tool, sustainability index

1. Introduction

Population is increasing, resources are consuming concordantly. According to Climate Action it is expected to have serious environmental problems in air, water and soil ecosystem due to excessive consumption of resources (EU 2019). In many part of world, countries trying to become circular city (Citiesintransition.Net,2021). In circular cities, it is possible to convert money from waste as well as to minimize waste. (Williams, 2021). In many years, solid waste recovery/recycle/reuse have been studied from life cycle analysis perspective. (Faraca et al., 2019);(Iacovidou & Voulvoulis, 2018);(Christensen et al., 2020). Although most studies focus on recovery from solid waste, wastewater provide an opportunity for many recoverable resources such as energy, food and water. This study aims to propose a decision support tool to be used for selecting the most proper strategy for wastewater recovery in the circular cities.

2. Material and Method

Within the scope of this study, the sustainability of resource recovery from wastewater is calculated over the sustainability index. A three-step method has been developed for the selection of the most suitable recovery method. The steps are resource recovery plan, composition of sustainability index, fuzzy inference index. Analytical Hierarchy Process (AHP) is used for the composition of sustainability index and fuzzy inference engine is applied for its quantification.

3. Result

For the implementation of the proposed method, nutrient recovery from industrial wastewater was determined as the topic. Three different recovery technologies such as air stripping, membrane and precipitation were selected as alternatives. Each technology has been compared and evaluated in terms of sustainability components in terms of economic, environmental, social and economic criteria. Environmental criteria is also supported with experimental data including the toxicity of recovered wastewater sludge. While evaluating the overall sustainability index of the technologies, the highest one is membrane technology with 6.40, followed by air stripping with 6.225 and precipitate with 6.205. This approach provided useful results that can easily be communicated through stakeholders such as municipality responsible from wastewater recovery, government authorities, and technology companies as investors and public. Not only the sustainability index, priority weights produced through AHP application are also beneficial to understand which aspects are affecting the sustainability.

4. Discussion

The results of the proposed approach are a guiding resource in the context of decision making for wastewater recovery technologies. National and local governments, investors and researchers who are stakeholders to implement circular cities can also benefit from the priority weights to give strategic decisions about increasing the sustainability for wastewater recovery.

5. References

Christensen, T. H., Damgaard, A., Levis, J., Zhao, Y., Björklund, A., Arena, U., Barlaz, M. A., Starostina, V., Boldrin, A., Astrup, T. F., & Bisinella, V. (2020). Application of LCA modelling in integrated waste management. *Waste Management*, *118*, 313–322. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.08.034

EU. (2019). *Eu-Climate-Action_En @ Ec.Europa.Eu*. https://ec.europa.eu/clima/policies/eu-climate-action_en

Faraca, G., Martinez-Sanchez, V., & Astrup, T. F. (2019). Environmental life cycle cost assessment: Recycling of hard plastic waste collected at Danish recycling centres. *Resources, Conservation and Recycling*, *143*(June 2018), 299–309. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.01.014

Iacovidou, E., & Voulvoulis, N. (2018). A multi-criteria sustainability assessment framework: development and application in comparing two food waste management options using a UK region as a case study. *Environmental Science and Pollution Research*, *25*(36), 35821–35834. https://doi.org/10.1007/s11356-018-2479-z

index @ citiesintransition.net. (n.d.). https://citiesintransition.net/

Williams, J. (2021). Circular cities. *Circular Cities*, 137–139. https://doi.org/10.4324/9780429490613-13

Acknowledgment

GTU Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından verilen 2021-A-101-1 nolu proje ile desteklenmiştir

YEŞİL BİNALAR VE YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ DAVUTPAŞA KAMPÜSÜNÜN YEŞİL BİNAYA DÖNÜŞTÜRÜLMESİ ÇALIŞMASI

Utku Gözde Tınaz [1], Doç.Dr. Emel KIYAN [2]

[1] *Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Davutpaşa/İSTANBUL*
gozdetnaz@gmail.com,

[2] *Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Davutpaşa/İSTANBUL*
emelkocak2009@gmail.com

Özet

Bu çalışmada yeşil bina, akıllı çevre sistemleri, yeşil bina değerlendirme sistemleri, ülkemizden ve yurt dışından yeşil bina örnekleri ve Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa kampüsü nasıl yeşil kampüs olabileceği üzerine çözüm önerileri yer verilmiştir. Yeşil binaların çıkış noktasından günümüze kadarki gelişimden bahsedilmiş, çalışma kapsamında Dünyadan ve Türkiye'den örneklere yer verilerek LEED, BREEAM gibi Yeşil Bina Değerlendirme Sistemlerinin ölçütleri kapsamında ele alınmıştır. Türkiye'de yeşil bina ve yeşil bina sertifikalandırma sistemleri adına nasıl çalışmalar yapıldığından bahsedilmiştir. Yeşil binalarda ne tip yapısal ve tasarımsal yenilikler yapıldığından, ne gibi akıllı sistemler kullanıldığından bahsedilmiştir. Son tahlilde Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa kampüsü için ne gibi çalışmalar yapılabileceğinden bahsedilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yeşil bina, LEED, BREEAM, Yurt dışı, Türkiye

Abstract

In this study, green building, the concept of smart environmental systems, green building evaluation systems, green building examples from our country and abroad are mentioned and solution suggestions are given on how Yıldız Technical University Davutpaşa campus can be a green campus. The development from the starting point of green buildings to the present has been mentioned, and examples from the world and Turkey have been included in the thesis, and they have been discussed within the scope of the criteria of Green Building Evaluation Systems such as LEED and BREEAM. It is mentioned how studies are carried out on behalf of green building and green building certification systems in Turkey. It is mentioned what kind of structural and design innovations are made in green buildings and what kind of smart systems are used. In the final analysis, what kind of work can be done for Yıldız Technical University Davutpaşa campus is mentioned.

Keywords: Green building , LEED , BREEAM , Abroad , Turkey

1.GİRİŞ

Çalışmasının Amaç ve Kapsamı
Yeşil bina sistemleri, yurt dışı ve yurtiçindeki uygulamalarının incelenmesi, incelenen sistemlerin Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa Kampüsüne uygulanması için öneriler araştırmanın amaçların oluşturmaktadır. Bu çalışmada halihazırda uygulamada olan sistemlerin, performans analizleri ve ekonomik açıdan uygunluğunun değerlendirilmesi, Türkiye'deki güncel durumun incelenmesi, yurt dışındaki uygulamalar ile arasında bağlantı kurulması ve çözüm önerilerinin üretilmesi hakkında literatür araştırması yapılmıştır.

Literatür Özeti
Yeşil bina ve değerlendirme sistemleri, Türkiye'de son birkaç yılda gündeme gelmeye başlamış olup, hızla gelişmekte olan piyasaya haiz bir mevzudur şundan dolayı günümüzde de bu mevzu ile alakalı kaynak bulmak daha kolay bir hale gelmiştir. Yeşil bina, Yeşil Bina Değerlendirme Sistemi ölçütleri, akıllı çevre otomasyonları, dünyadan yeşil bina örnekleri üstüne meydana getirilen inceleme için ilk önce mevzu ile alakalı kavramları anlamaya yönelik kaynak taramaları yapılmıştır. Kavramları içeren yüksek lisans ve doktora düzeyindeki tezler, makaleler, sürelik yayınlar ve web kaynakları taranmıştır. Lisans eğitiminde edinilen bilgiler ve ilişkili mevzularda yürütülen emekler da mevzu seçiminde ve çalışmaya doğrultu vermede etken olmuştur.

2.MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada Yeşil Bina kavramı, Yeşil Binaların çevresel,sosyal,ekonomik faydaları,akıllı çevre kavramı ve akıllı çevre sistemleri,Yeşil Bina sertifikalandırma sistemleri uluslararası LEED (Amerika), BREEAM (İngiltere) sertifikaları , ülkemizde örnekleri olan ÇEDBİK ve Yerli Yeşil Sertifika (YES-TR) hakkında literatür araştırması yapılmış, LEED ve BREEAM sertifikalarının çeşitleri, sertifikasyon sistemine dikkat edilen kategoriler,değerlendirme süreçleri incelenmiştir.Sertifikasyon sistemlerinde karşılaştırmaya gidilmiştir.Yeşil bina teknolojileri ,uluslal ve uluslar arası yeşil bina örnekleri üzerinde araştırma ve incelemeler yapılmıştır.

3.BUGULAR ve DEĞERLENDİRME

Yeşil Bina Teknolojileri
Küresel Yeşil Bina Trendleri 2018 raporuna göre, ''Yeşil Bina '' projeleri minimum düzeydeki önkoşulları şu şekilde tanımlıyor: kaynakları verimli kullanan, atık ve kirlilik oranı düşük olan; iç mekan hava kalitesi yüksek olan; mümkün olduğunca fazla yenilenebilir enerji, zehirli olmayan ve sürdürülebilir malzemeleri içeren; ve orada yaşayan veya çalışanlara nitelikli bir yaşam ve çevresel adaptasyon sunan yapılardır.
Yeşil binaların yapımında kullanılacak olan yapı malzemelerinin zehirli kimyasallar bulundurmadığı gibi aynı zamanda ürünlerin imalatı ve kullanımı sırasında da çevresel etkileri minimum olmalıdır.Bambu,Mantar(miselyum),Kenevir ve Koyun yünü yapı malzemesi ve

izolasyonda kullanılabilecek çevre dostu malzemelerdir.Tasarruflu ampuller, tasarruflu musluklar, perlatör gibi duş başlıkları, akıllı klozetler elektrik ve su tasarufu sağlayan yöntemlerdir.Bahçe sulamasında evsel atık suların arıtmasından sonra temizlenmiş sular kullanılarak ve Yağmur suyu toplama sistemlerinden faydalanılarak büyük ölçüde su tasarrufu sağlanabilir. Isıtma soğutma işlemleri için Isı pompası gibi enerjisinin %75 'ini doğadan karşılayan temiz enerji kaynakları kullanılabilir. Yeşil çatı sistemleri yağmur suyunu emmesiyle, binalara ısı yalıtımı sağlamasıyla yaz ve kış mevsimlerinde ısıl konfor sağlanmış olur. Büyük ölçekte bakıldığında yeşil çatılar kentsel ısı adasının etkisini azaltarak da büyük kalabalık metropol şehirlerin ortak sorunu olan bir meseleye çözüm olmuş olur. Hava kalitesini iyileştirmesiyle şehirlerde bize bir nefes olmuş olur.Termal labirent sistemi toprağın altında belli bir derinlikte kazılan tüneller sayesinde binanın ısıtma soğutma ihtiyacını karşılayan sistemlerdir. Termal beton ve soğuk kirişlerle desteklenen bu sistem doğal bir ısıtma- soğutma imkanı sağlar. Toprağın sıcaklığı yıl boyunca belli sabitlerde kaldığı için bu sistem oldukça kullanışlıdır. Kışın toprağın ısısı havaya göre daha fazla olduğu için binayı ısıtır yazın ise binayı soğutur. Ayrıca sistem enerjiyi doğal olarak topraktan sağladığı için maliyetleri %35- %40 oranında düşürür ve temiz enerji kaynağıdır. Fotovoltaik paneller güneş ışınlarını emerek bunları elektrik enerjisine çeviren sistemlerdir. Aynı zamanda binanın kendi elektriğini üretmesine yardımcı olurlar. Led ışık ve armatürler sayesinde binada büyük miktarda elektrik enerjisi tasarrufu sağlanabilmektedir.Sensörlü musluklar, kapılar, ışıklandırmalar ve havalandırmalar sayesinde binada büyük miktarda enerji tasarrufu sağlanabilmektedir.Sıcaklık sensörleri sayesinde gerekli noktalarda sıcaklığın otomatik olarak ayarlanması ve bağımsız mekanlar için ortam ısısını bağımsız ayarlayan sistemler sayesinde enerji tasarrufu sağlanmış olur.Dışarıdaki günışığını ve bina içerisindeki ışık seviyesini algılayan sensörler ve bu verileri işleyerek çalışan akıllı ev otomasyonları sayesinde kullanıcı rutinine gör bir plan çıkarmak mümkün olur bu sayede gereğinden fazla bir kaynak kullanımı söz konusu olmaz. Gri su uygulaması ile lavabo duş gibi alanlarda ortaya çıkan yıkama sularının toplanıp artıma işlemi sonrasında tekrar kullanılması ve bina yapımında kullanılacak malzemelerin yakın çevreden temin edilmesi de önemli bir kriterdir. Yapı malzemelerinin geri dönüştürülüş içerikli olması mevcut yapı unsurlarının tekrar kullanılması temiz içerikli yapı malzemelerinin kullanılması sürdürülebilirlik için çok önemli bir adımdır.Kullanılmış araba lastiklerinde üretilen yer döşemesi gibi atık malzemelerden dönüştürülerek üretilen yapı malzemelerinin kullanılması binanın sürdürülebilirliği açısından oldukça önemlidir.Mimari tasarımlar, doğal ışık kaynaklarından en fazla faydalanacak şekilde tasarlanmalıdır.

Türkiye'den Yeşil Bina Örneği

Yozgat Şehir Hastanesi inşaatından itibaren Sürdürülebilir Araziler,Su Verimliliği,Enerji ve Atmosfer,Malzeme ve Kaynaklar,İç Hava Kalitesi gibi kategorilerde yaptığı çalışmalarla ile LEED sertifikası almaya hak kazanmış bir binadır.

Uluslararası Yeşil Bina Örneği

California Bilim Müzesi Amerika'nın San Francisco eyaletinde bulunan bu yapı

Renzo Piano tarafından 2008 yılında bilim ve araştırma merkezi olarak tasarlanmıştır.Binanın yapımında geri dönüştürülmüş beton, çelik ve alüminyum kullanılmıştır. Binanın tepesinde bulunan yeşil çatı ve gri su uygulaması sayesinde çatı izolasyonu sağlanıyor, yağmur suyu emiliyor aynı zamanda bitki çeşitliliğiyle ekolojik habitata katkı sağlıyor. Çatının çevresine yerleştirilmiş fotovoltaik paneller elektrik tasarufu sağlıyor. Müzenin içinde bulunan Akvaryum tanklarında kullanılmak üzere doğal filtrasyon sistemleri kullanılarak Pasifik Okyanusundan su çekiliyor bu tarz özelliklere sahip olan bina bu sebeple LEED platin yeşil bina sertifikası almaya hak kazanmıştır.

Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa Kampüsü'nün Yeşil Binaya Dönüştürülmesi Çalışması

Kampüste 2019 yılı itibariyle sürdürülebilir kampüs olmak adına bir sürü çalışma yürütülmüştür. Bunlardan kısaca bahsedersek geçirimli kaldırım, yürüme yolları, ızgaralar gibi yüzey alanlarının arttırılmasıyla suyun doğal döngüsüne devamı sağlanmış, drenaj sistemlerinin iyileştirilmesi ve yeşil alanların artırılmasıyla yüzey akışlarına bağlı su kayıpları minimuma çekilmiştir.Fakülte binaları, kafeler, yemekhane , spor salonları gibi alanlarda kullanılan elektronik aletler enerji tasarrufu daha yüksek olan yenileriyle değiştirilmesi , kampüs binalarında LED ışıklandırma kullanılması ,fotoselli aydınlatma ve kapı kullanılması, laboratuvar , mutfak gibi ortamlarda kullanılan soğutucu cihazların A kalite enerji tasarruflu cihazlar olması , kampüste kullanılan bilgisayar ve yazıcı gibi elektronik aletlerinde %20 - %30 daha az enerji tüketen ekipmanlar olması , kampüsteki elektrik tüketiminin takibini yapılabilmesi için akıllı sayaç , elektrik kaçaklarında kendi kendini devre dışı bırakabilen sigorta sistemleri gibi akıllı bina sistemlerinden faydalanılması kampüsün enerji tasarrufu adına yaptığı en önemli çalışmalardandır .Bu sayede büyük oranda enerji verimliliği sağlanmıştır.Kampüs çok işlek ve canlı bir atmosfer olması sebebiyle gün içinde birçok atık oluşturmaktadır. Atık yönetimi kampüsümüz için oldukça önemli bir konudur .2018 yılından beri Sıfır Atık projesinin bir üyesi olan üniversitemiz atık yönetimi konusunda da üzerine düşen görevleri başarılı bir şekilde yerine getirmektedir. Bu kapsamda kağıt atıklarının azaltılması için Elektronik Belge Yönetim Sistemini kullanması, fakülte binalarına geri dönüşüm kutuları yerleştirmesi, kampüste atık getirme ve depolama merkezinin bulunması, laboratuvarlarda oluşan kimyasal atıkların sızdırmaz bidonlarda bertaraf edilmek üzere belediyeye verilmesi bu çalışmalardan bazılarıdır. Bunun dışında üniversite kulüplerinden üç tanesinin ortak olarak başlattığı Yıldız dönüşüyor projesi ile yemekhanedeki organik yemek atıkları kampüsteki köpeklerin beslenmesi için toplanılmış ayrıca yemekhanede çıkan peçete kağıt bardak plastik ambalaj ve içecek kutuları ayrı ayrı toplanıp geri dönüşüme yollanmıştır.Kampüsteki peyzaj alanlarının sulanması için yağmur suyu toplama kanallarıyla toplanan suların kullanılması, hava durumu tahmini, yağmur, rüzgar gibi sensörlere sahip akıllı sulama sistemleri sayesinde su tasarrufu yapılmaktadır. Aynı zamanda kampüste yapılan son peyzaj çalışmasında susuzluğa dayanıklı ve az su isteyen herhangi bir bakım zorluğu olmayan bitkiler seçilmiş bu sayede toprağın drenajı iyileştirilerek hem su tasarrufu sağlanmış hem de şehir CO_2 emisyonunu azaltmak istenmiştir.Kampüste kullanılan bisiklet, elektrikli scooter ve elektrikli araçlar sayesinde fosil yakıt kullanımı dolayısıyla

karbon emisyonu azaltılmaktadır. Kampüs dışı ve kampüs içi kullanılan ringler, kampüs içinde bulunan lojmanlar için kullanılan servisler, Teknopark servisleri sayesinde toplu taşımaya teşvik edilmesiyle bireysel otomobil kullanımı en aza indirilmesi bu sayede karbon ayak izi en aza indirilmesi hedeflenmiştir.Bunlara ek olarak üniversitemizde çevre ve sürdürülebilirlikle ilgili Lisans düzeyinde 134, Lisansüstü düzeyde ise 72 ders verilmektedir ve üniversitenin ISO 14001 Çevre Yönetim Sistemi sertifikası ve Sıfır Atık Belgesi vardır.Yukarıda bahsettiğimiz çalışmalar hali hazırda işlemekte olan çalışmlardır. LEED ve BREEAM yeşil bina değerlendirme sistemleri açısından incelendiği zaman birçok kritere uygunluk sağladığı gözlemlenmiştir. Bu bitirme çalışmasında bunlara ek olarak bazı öneriler verilmek istenmektedir.

Bunlar;
Kampüs çevresinde kendisinden daha yüksek bir yapı bulundurmaması sebebiyle gün içinde yeteri kadar güneş ışığı almaktadır dolayısıyla güneş panelleri kullanımına da oldukça uygundur. Güneş panelli otobüs durakları, sokak lambaları, otopark alanları yapılmasıyla güneş enerjisinden faydalanılabilir, kampüs binalarının çatılarına yerleştirilen Fotovoltaik paneller sayesinde bina aydınlatma için güneş enerjisinden yararlanılabilir.Kampüs binalarının çatılarına yeşil çatı uygulamasıyla yağmur suyu drenajı arttırılabilir, aynı zamanda toprak binaya bir ısı yalıtımı sağlayacağından ısıtma soğutma sistemlerine harcanan enerji ve maliyetler düşürülebilir.Kampüse eklenecek kompost üniteleriyle yemekhaneden ve kafelerden çıkan organik atıklardan doğal gübre ve toprak iyileştirici olan kompost üretilip kampüsün peyzajında kullanılabilir.Kampüste yemekhaneden ve kafelerden çıkan artılarla biyogaz üretilip ısınma için biyogaz sistemi kullanılabilir bu sayede katı atıklarımızı büyük oranda azaltmış ve enerji elde etmiş oluruz.Kampüste elektronik atık toplama alanları oluşturarak buradan topladığımız atıkları TÜBİSAD'a vererek karşılığında her 1 ton atık için iki adet su tasarruflu musluk sensörü alarak kampüsümüze yatırımda bulunmuş oluruz.Kampüs konumu itibariyle çok rüzgar alan bir mevkidedir. Çatılara yerleştirilecek olan rüzgar türbinleriyle rüzgar enerjisinden faydalanarak elektrik enerjisi elde edilebilir.Kampüs binalarının kendi suyunu kendi içinde arıtıp öyle şehir şebekesine verebilir veya kendi içinde tekrar klozetlerde kullanılabilir.Araç paylaşım, otostop çekme noktalarıyla sabah saatlerinde kampüs girişindeki yoğunluk azaltılabilir aynı zamanda daha az araç kullanımı sağlanmış olur.Bina cephelerinde kendi kendini temizleyen çevre dostu boyalar seçebiliriz, bakım gerektirmeyen bir malzeme olduğu için oldukça avantajlıdır.Bina çevresindeki sert zeminde ışığı yansıtan beyaz taşlar kullanarak fazla ısınmayı engelleyebiliriz buna bağlı olarak yazın soğutmaya harcanan enerji ve maliyet düşecektir. Bu öneriler kampüsün tamamen kendi kendine yetebilen bir yerleşim alanı olması için yapılmaktadır. Bu tarz iyileştirme çalışmaları sayesinde okulumuz doğa dostu bir hale gelecek, LEED veya BREEAM sertifikası almaya hak kazanacak ve üniversitemizin prestiji artacaktır.

4.SONUÇ VE ÖNERİLER

Değişen ve gelişen dünya şartlarında teknolojilerde gelişmektedir. Bu süreçte değişmeyen tek şey gittikçe artan nüfus ve bunun beraberinde getirdiği doğal

kaynakların tükenmesi sorunudur. Birçok sorunun yaratıcısı olduğu insanoğlu bu sorunlarının çözümünü de ancak kendisinde bulacaktır. Bu sebeple yeryüzünde oluşturduğumuz sorunlara çözüm üretmek için başlamamız gereken noktalardan biri de enerji sorunudur. Temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarına alternatifler bulmak bunları hayatımıza entegre etmek de bizim elimizdedir. Temiz ve çevreye zararlı etkisi minimum olan ürünler üretmek ve bunları kullanmak da bizim elimizdedir. Biz bugün bu konuyu zamanımızı en çok geçirdiğimiz yerleşim alanlarından, binalardan ele aldık ve bu çalışmada bunu inceledik. Kullandığı yapı malzemeleri olsun ısıtma, soğutma, aydınlatma sistemleri olsun, çevreye zararı minimum olan ve kendi kendine yetebilen enerjisini temiz kaynaklardan sağlayan atıklarını minimumda tutmaya çalışan yeşil binaları ve bunları değerlendiren sistemleri işledik. Türkiye'den ve dünyadan örneklerle konuyu biraz daha irdelemenize yardımcı olmak istedik ve son olarak Yıldız Teknik Üniversitesini nasıl bir Yeşil bina veyahutta Yeşil Kampüs yapabiliriz bunu üzerine kafa yorduk. Araştırmalarımız bize Türkiye'nin yeşil bina sektöründe çok ilerilerde öncü bir konumda olmadığı gibi çok gerilerde de olmadığını gösterdi. Her zaman gelişmekte olan ve yeniliklere açık olan ülkemiz bu sektörde de yer aldığını gösterdi. Gerekli etütler ve fizibilite çalışmaları yapıldığında Türkiye 'de de bu tarz binaların yapımının uygun olduğu görüldü. İlk yatırım maliyeti yüzünden genellikle çekinilen bu yapılar sonrasında bu maliyeti enerji tasarrufu ve işletme giderlerinin düşüklüğüyle telafi etti bilinmektedir. Bu noktada devlet teşviki çok önemlidir. Üstte de bahsettiğim gibi devlet zaten bu konu ile ilgili çalışmalarını git gide arttırmaktadır. Dünya genelindeki yeniliklerin takip edilmesi ve yeni teknolojilerin sürekli olarak güncellendiği takdirde gelecekte doğal kaynakların korunması, nüfusun kirlilik etkisinin azalması ve sürdürülebilir yeşil şehirler konularında önde gelen ülkeler arasında yer almamız pek tabii mümkündür.

5.KAYNAKÇA

[1].Elif ÇELİK, HAZİRAN 2009, YEŞİL BİNA SERTİFİKA SİSTEMLERİNİN İNCELENMESİ TÜRKİYE'DE UYGULANABİLİRLİKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

[2].Esra SÜMER, Haziran 2013 YEŞİL BİNA PROJE YÖNETİM SÜREÇLERİ VE TÜRKİYE"DE LEED VE BREEAM UYGULAMALARINDA PROJE YÖNETİMİ SÜREÇLERİNE İLİŞKİN ÖRNEK BİR ÇALIŞMA

[3].http://www.hapbilgiler.com/leed-sertifikasi.html

[4].https://ekolojist.net/leed-sertifikasi-nedir/

[5].https://www.yesilodak.com/yesil-binalar-hakkinda-her-sey-3-leed-sertifikasi-nedir-

[6].https://insapedia.com/leed-ne-demektir-leed-sertifikasi-nedir/

[7].https://www.altensis.com/hizmetler/yesil-binalar/breeam/

[8].https://cedbik.org/tr/cedbik-surdurulebilirlik-fikir-yarismasi-2020-57-pg

[9].https://yestr.csb.gov.tr/

[10].https://www.aa.com.tr/tr/sirkethaberleri/bilisim/yozgat-sehir-hastanesi-dunyanin-en-iyi-dijital-hastaneleri-arasina-girdi-/639077

[11].https://www.usgbc.org/projects/yozgat-sehir-hastanesi

[12].https://www.arkitektuel.com/kaliforniya-bilim-akademisi-muzesi/

[13].https://csb.gov.tr/yerli-yesil-sertifika-sistemi-yes-tr-ile-yesil-bina-sayisi-artacak- bakanlik-faaliyetleri-29700
[14].http://www.erketasarim.com/yozgat-sehir-hastanesi-leed-gold-sertifikasi-aldi/
[15]. dspace.yildiz.edu.tr
[16].www.erketasarim.com
[17].bartin.csb.gov.tr
[18].pt.scribd.com
[19].dspace.gazi.edu.tr
[20]. www.cevrebilinci.com
[21].Submitted to Istanbul Aydin University , Student Paper
[22]. polen.itu.edu.tr
[23].www.mugeakbulut.com
[24].acikerisim.iku.edu.tr
[25].csb.gov.tr
[26].ridvanakman.wordpress.com
[27].Submitted to Suleyman Demirel University, Student Paper
[28].cevrecimuhendisler.wordpress.com Internet Source
[29].dergipark.org.tr Internet Source
[30].geridonusumekonomisi.com.tr Internet Source
[31].v3.arkitera.com Internet Source
[32].www.ulusaltezmerkezi.net Internet Source

SIFIR ATIK YÖNETİMİ'NİN ÇEVRESEL ETKİLERİ: İTÜ AYAZAĞA KAMPÜSÜ'NÜN SIFIR ATIK ENDEKSİ

Kadriye Elif Maçin[1,*], Osman Atilla Arıkan[2]

[1,*] *İstanbul Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 34469, Maslak/İstanbul, macin@itu.edu.tr*

[2] *İstanbul Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 34469, Maslak/İstanbul, arikan@itu.edu.tr*

Özet

Sıfır atık (SA) uygulamaları Türkiye de dahil olmak üzere tüm dünyada hızla artmaktadır. SA tek bir tanıma sahip olmadığından düzenli depolama tesislerine (DDT) veya yakma tesislerine sıfır atık gönderimi gibi farklı SA yaklaşımları bulunmaktadır. 2019 yılında yayımlanan Sıfır Atık Yönetmeliği Türkiye'de eğitim kurumları da dahil olmak üzere birçok kurum için SA uygulamalarını zorunlu hale getirmiştir. Ülkedeki mevcut uygulamalar DDT'den atıkların uzaklaştırılması üzerine yoğunlaşmaktadır. Bertaraf tesislerine gönderilen atık miktarının azaltılması önemli olmakla beraber, bu durumun çevresel etkilerinin incelenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada; SA'nın olası çevresel etkilerini değerlendirmek için atık yönetiminde hammadde ikamesini gösteren "Sıfır Atık Endeksi" (SAE) İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) için hesaplanmıştır. SAE hesaplamasında potansiyel geri dönüştürülebilecek/kazanılabilecek ve gerçekte geri dönüştürülebilen atık miktarları kullanılmakta olup, bu çalışmada söz konusu veriler Ayazağa Kampüsü'nde yapılan atık karakterizasyon çalışmasından elde edilmiştir. Saha çalışmasında belirlenen kişi başı atık üretim değerleri ve İTÜ yıllık faaliyet raporundaki kişi sayısı bilgileri kullanılarak, kampüsün yıllık atık miktarı hesaplanmıştır. SAE sonuçları İTÜ'nün atıklardan hammadde ikame oranının %31 ile %36 oranı arasında değiştiğini göstermektedir. Bu değerler dünya ortalamasının (%12) ve San Francisco hariç literatürdeki diğer çalışmaların üzerindedir. Kampüste SA uygulanması durumunda ise SAE değeri %63 olarak hesaplanmıştır. Buna göre SA uygulamasının ciddi miktarda bir fayda sağlayacağı görülmektedir. Bu amaçla kampüste atık önleme, azaltma, geri dönüştürme ve geri kazanım adımlarının titizlikle uygulanması gerekmektedir. Ayrıca atık önleme ve azaltma konusunda paydaş katılımı ve eğitimleri, uygun noktalara geri dönüşüm konteynerlerinin yerleştirilmesi, yerel yönetimlerle daha koordineli işbirliği yapılarak maksimum geri kazanım için potansiyeli olan atıkların uygun tesislere yönlendirilmesi önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: düzenli depolama, geri dönüşüm, ikame, sıfır atık.

Abstract

Zero waste (ZW) practices are increasing rapidly all over the world, including in Turkey. Since ZW does not have a single definition, there are different ZW approaches, such as zero waste diversion from landfills and/incinerators. With the Zero Waste Regulation published in 2019, it has become mandatory for many institutions in Turkey, including educational institutions, to start ZW practices. Current practices in the country focus on the diversion of waste from landfills. Although it is important to reduce the amount of waste sent to landfills the environmental changes from this diversion should be examined. In order to understand the possible environmental effects of ZW; the "Zero Waste Index" (ZWI), which shows the amount of carbon emissions, raw material and water conservation caused by waste management, has been calculated for Istanbul Technical University (ITU). The amount of waste that can be potentially recycled/recovered and actually recycled are required to calculate the ZWI. The data to be used in ZWI calculations were obtained from the waste characterization study conducted at the Ayazağa Campus. The annual waste amount of the campus was calculated by using the per capita waste production values and population data from the ITU annual report. The results show that the ZWI of ITU varies between 31% to 36%. These values are higher than the world average (12%) and other values in the literature except San Francisco. In addition, the ZWI potential of campus was calculated as 63%. A substantial benefit is expected from the application of ZW. For this purpose, waste prevention, reduction, recycling and recovery steps should be carefully implemented on campus. In addition, stakeholder participation and education on waste prevention and reduction, placement of recycling containers at appropriate points, more coordinated cooperation with local governments, and directing wastes to appropriate facilities for recycling and recovery are recommended.

Keywords: landfill, recycling, substitution, zero waste.

1. GİRİŞ

Katı atık üretimi, doğal kaynakların tükenmesi nedeniyle günümüzde önemli bir çevre sorunudur. Miktarı hızla artan atıkların yönetimi gün geçtikçe zorlaşmaktadır [1,2]. Bu durum son yıllarda sıfır atık (SA) olarak adlandırılan yeni bir kavramın geliştirilmesine neden olmuştur. SA'nin temel amacı, atıkları maddenin yaşam sonu yerine bir ara aşama olarak ele alarak kaynakların korunmasıdır. SA için diğer bir yaklaşım, son yıllarda popüler olan "Düzenli depolama tesislerine (DDT) atık göndermeme-sıfır atık gönderme" hedefidir [3]. AB ülkeleri, 2035 yılına kadar belediye atıklarının en fazla %10'unu düzenli depolamaya göndermeyi ve geri dönüşüm oranını %50'den %65'e çıkartmayı hedeflemektedir.

Türkiye'deki durum incelendiğinde. 2003-2017 yılları arasında DDT sayısının 15'ten 87'ye çıktığı görülmektedir. Vahşi depolama sorununa çözüm olarak inşa edilen düzenli depolama tesisleri aslında atık hiyerarşisinde en alt sırada yer almaktadır. Türkiye yılda 31,5 milyon ton atık uretmektedir [4]. Buna rağmen Sekil 1`de görüldüğü üzere 2016 yılında atıkların %28,8'i hala belediye çöplüklerine gönderilirken, yalnızca %9,3'ü geri dönüştürülmüştür [4]. Türkiye, Sıfır Atık Yönetmeliği [5] ile 2019 yılında yeni bir hedefi gündeme getirmiştir.

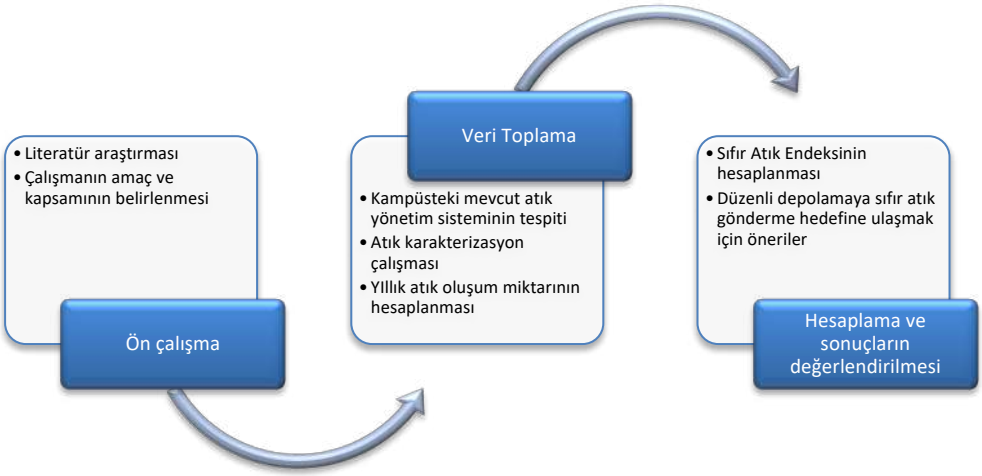
Şekil 1. Türkiye'de Atık Yönetimi (%) [4].

2019 yılında yayınlanan Sıfır Atık Yönetmeliği, Türkiye'de eğitim kurumları da dahil olmak üzere birçok kurum için SA uygulamalarına başlamayı zorunlu hale getirmiştir. Ülkedeki mevcut uygulamalar DDT'den atıkların uzaklaştırılması üzerine yoğunlaşmaktadır. Bertaraf tesislerine gönderilen atık miktarının azaltılması önemli olmakla beraber, bu gelişmenin ne gibi çevresel değişimlere neden olduğu incelenmelidir.

Bu çalışmada; SA'nın olası çevresel etkilerini anlayabilmek için; atık yönetiminin neden olduğu hammadde ikamesini gösteren "Sıfır Atık Endeksi" (SAE) İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) için hesaplanmıştır. SAE hesaplanabilmesi için potansiyel geri dönüştürülebilecek/kazanılabilecek ve gerçekte geri dönüştürülebilen atık miktarları gereklidir [6]. SAE temel olarak atıktan geri kazanılan malzeme miktarının, aynı miktarda hammaddeyi ikame edeceği ve bunun sonucu olarak enerji, sera gazı ve su kullanımından tasarruf edileceğini varsaymaktadır [7]. Literatür araştıması sırasında daha önce Türkiye'de bir üniversite kampüsü için yapılmış SAE çalışmasına rastlanılmamıştır. Bu çalışmada mevcut atık yönetimi ve düzenli depolamaya giden atık miktarının azalması durumunda elde edilecek SAE değerlerini hesaplanmış ve sonuçları karşılaştırılarak olası çevresel etkiler değerlendirilmiştir.

2. MATERYAL METOD

Çalışmada izlenen adımlar Şekil 2'de özetlenmiş olup, SAE çalışması için daha önce yapılan saha çalışmalarının sonuçları kullanılmıştır.



Şekil 2. Çalışmada izlenen adımlar

2.1. Kampüsteki Atık Yönetim Sistemi

Mevcut atık sisteminin tespiti için İTÜ-Rektörlüğü'nün ilgili birimiyle iletişime geçilmiş, uygulamalar hakkında bilgi alınmış, iç ve dış paydaşların kimler olduğu öğrenilmiştir. Kampüs temizlik personeli ve ilçe belediyesi yetkilileri ile görüşülmüştür. Mevcut durumda kampüste geri dönüştürülebilir atıklar mavi konteynerlerde diğer atıklar ise gri konteynerlerde toplanmaktadırlar. Kampüsteki atıklar ilçe belediye araçları tarafından toplanmaktadır. Mavi konteynerler geri dönüşüm tesisine giderken gri konteynerler Baruthane Aktarma Merkezi'ne gitmektedir. Aktarma merkezinden sonra atıklar Kısırmandıra Tesisi'ne ve Seymen Düzenli Depolama Tesisi'ne gönderilmektedir. Bu çalışmada kapsamında Kısırmandıra tesisine giden organik atıkların tamamının kompostlaştırma sürecine tabi tutulacağı kabul edilmiştir

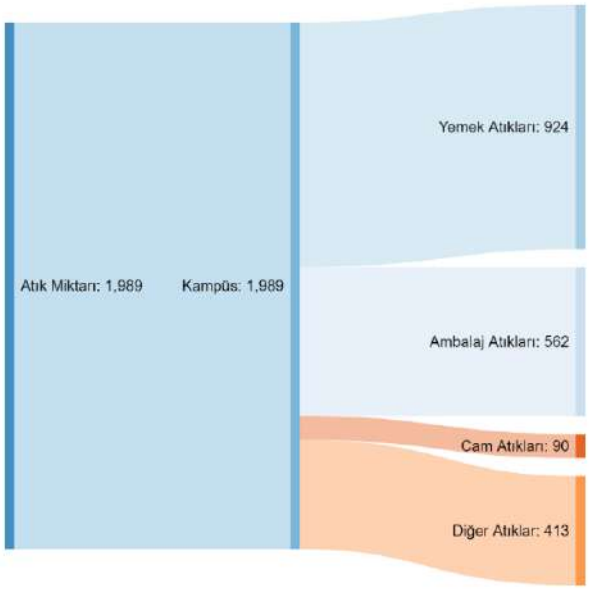
2.2. Atık Karakterizasyonu

Atık karakterizasyonu Nisan 2019 tarihinde yapılmıştır. Kampüs dört ana bölgeye ayrılmıştır. Bunlar sırasıyla akademik binalar, idari binalar, kafeteryalar (yemekhane dahil) ve yerleşim yerleridir (yurtlar ve lojmanlar). Bahsi geçen dört bölgelenin dışında kalan laboratuvar, bakım-onarım binaları vb. yerler çalışma kapsamının dışında bırakılmıştır. Karakterizasyon için her bir bina türünden bir bina pilot alan olarak seçilmiş ve bir hafta boyunca atıklar toplanarak karakterizyonu yapılmıştır. Mavi ve gri konteynerlerdeki atıklar 18 atık bileşenine göre sınıflandırılmıştır.

Atık karakterizasyon çalışmasında bulunan 18 atık bileşeni, kampüsteki ve İstanbul'daki mevcut atık yönetimi göz önünde bulundurularak, yemek atıkları (literatürde gıda atıkları veya organik atıklar olarak geçebilmektedir), ambalaj atıkları, cam atıkları ve diğer atıklar olmak üzere dört sınıf altında toplanmıştır. Buna göre kampüste en çok yemek atıkları oluşmakta, sonrasında ambalaj atıkları (kağıt-karton atıkları bu sınıfa dahil edilmiştir), diğer atıklar ve cam atıkları takip etmektedir. Şekil 3'te gösterilen atık miktarlarına tehlikeli atıklar (laboratuvar atıkları, boya vb.), ve tıbbi atıklar dahil değildir. Kampüste atık karakterizasyonu ve miktarı belirlenirken atıkların miktarının yanı sıra hangi tesise ne kadar atık gittiği de hesaplanmıştır.

2.3. Yıllık Atık Oluşum Miktarının Hesaplanması

Atık karakterizasyonu çalışmasında yıllık atık miktarı oluşumunu hesaplayabilmek için seçilen konteynerlerin tümünün toplam ağırlığı ölçülmüştür. Sonrasında binadan çıkan toplam atık binada bulunan kişi sayına bölünerek seçilen her pilot bölgedeki kişi başı atık üretimi hesaplanmıştır. Kampüsten çıkan toplam atık miktarı için İTÜ Yıllık Raporu'ndaki [8] personel ve öğrenci sayıları, karakterizasyon çalışmasında elde edilen kişi başı atık üretim değerleri ile çarpılmıştır. Sonuçlar Şekil 3'te Sankey diagramında gösterilmiştir.



Şekil 3 . Kampüs atıklarının dört ana atık türüne göre sınıflandırması (ton/yıl)

Karakterizasyon çalışmalarında mavi ve gri konteynerlerinin saflık dereceleri (mavi konteynerde ve gri konteynerde ne kadar geri dönüştürülebilir atık olduğu) tespit edilmiştir. Gerçekte ne kadar atığın geri dönüşüme gönderildiği hesaplanmış ve sonuçlar SAE hesaplarında kullanılmak üzere Tablo 1'de özetlenmiştir.

Tablo 1. İTÜ Ayazağa Kampüsü atık karakterizasyonu ve mevcut atık yönetim türleri (ton/yıl)

Atık Yönetimi	**Atık Bileşeni**	**ton/yıl**
Geri dönüşüm	Kağıt	348
	Cam	76
	Metal	17
	Plastik	130
	Karışık	9
Kompostlaştırma	Organik (Yemek atıkları)	217
Düzenli Depolama	Karışık	1192
Toplam		**~1989**

2.4.. Sıfır Atık Endeksinin Hesaplanması

$$\textbf{Sıfır Atık Endeksi} = \frac{atık\ miktarı\ x\ toplam\ ikame\ verimliliği}{toplam\ atık}$$

SAE hesaplanırken Tablo 1'deki değerler ve yukarıda belirtilen denklem kullanılmıştır. Denklemdeki ikame verimi için literatürde farklı değerler verilmektedir (Tablo 2). Bu çalışmada kampüsün SAE değerinin hangi aralıkta değiştiğini anlayabilmek için minimum ve maksimum literatür değerleri kullanılmış olup, sonuçlar Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 2. Sıfır Atık Endeksini Hesaplamak için Literatür Değerler

Atık yönetimi	Atık Bileşeni	Hammadde ikame verimi (ton)	Enerji ikame verimi (GJLHV/ton)	Sera gazı emisyon azalımı (CO_2e/ton)	Su Tasarrufu (kL/ton)
Geri dönüşüm	Kağıt	0.84–1.00	6.33–10.76	0.60–3.20	2.91
	Cam	0.90–0.99	6.07–6.85	0.18–0.62	2.3
	Metal	0.79–0.96	36.09–191.42	1.40–17.8	5.97–181.77
	Plastik	0.90–0.97	38.81–64.08	0.95–1.88	−11.37
	Karışık	0.25–0.45	5.00–15.0	1.15	2.0–10
Kompostlaştırma	Organik	0.60–0.65	0.18–0.47	0.25–0.75	0.44
Düzenli depolama	Karışık	0	0.00–0.84	(−)0.42–1.2	0

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

SAE hesap sonuçları İTÜ'nün atıklardan hammadde ikame oranının %31 ile %36 oranı arasında değiştiğini göstermektedir. Hesaplanan değerler yüksek olmasa da, SA yönetimi sonrası için umut vericidir.

Tablo 3. İTÜ Sıfır Atık Endeksinin sonuçları- minimum ve maksimum -mevcut durum

Atık yönetimi	Atık Bileşeni	Atık miktarı (ton/yıl)	Hammadde ikame verimi (ton)	Enerji ikame verimi (GJLHV/ton)	Sera gazı emisyon azalımı (CO_2e/ton)	Su Tasarrufu (kL/ton)
Geri dönüşüm	Kağıt	348	292-348	2 203.3 744	209-1 114	1,013
	Cam	76	68-75	461-673	14-47	175.5
	Metal	17	13-16	614-3 254	24-303	101- 3 092
	Plastik	130	117-126	5 045-8 330	123-245	-1 478
	Tetra-pak	9	2-4	45-135	10.7	90
Kompostlaştırma	Organik	217	130-141	39-102	54-163	95
Düzenli depolama	Karışık atık	1192	-	1 001	(-)501-1 430	-
Toplam		**~1989**	**624 -711**	**8 407 -17 240**	**-66.2- 450**	**2 881-5 943**

Maksimum SAE = $\frac{711}{1989}$ = **0.36**

Minimum SAE = $\frac{624}{1989}$ =**0.31**

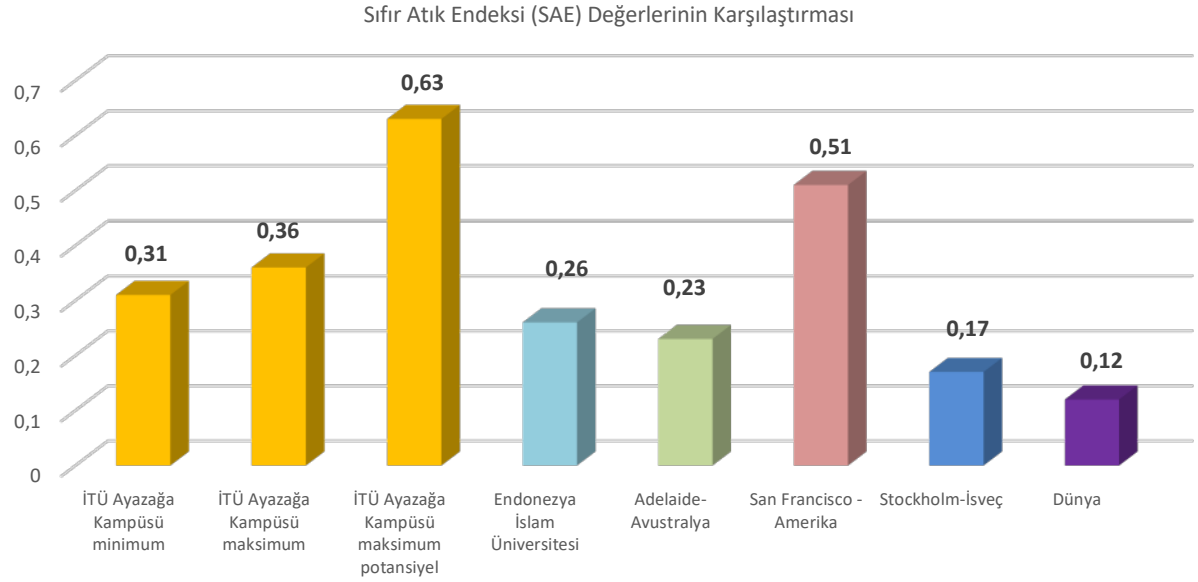
Mevcut durum için maksimum ve minimum SAE değerleri daha ayrıntılı incelendiğinde hammadde ikamesinin en fazla kağıt ve plastik atık bileşenlerinden geldiği görülmektedir. Organik atıklardan hammadde ikamesi yeterince değerlendirilememektedir. Şekil 3'te verilen veriler kullanılarak Ayazağa kampüsünün sahip olabileceği en yüksek SAE değeri hesaplanmış (Tablo 4) ve sonuçlar daha önce yapılan çalışmalarla karşılaştırılmıştır (Şekil 4).

Tablo 4. İTÜ Ayazağa Kampüsü Sıfır Atık Endeksi potansiyeli

Atık yönetimi	Atık bileşeni	Atık miktarı (ton/yıl)	Hammadde ikame verimi (ton)	Enerji ikame verimi (GJLHV/ton)	Sera gazı emisyon azalımı (CO_2e/ton)	Su Tasarrufu (kL/ton)
Geri dönüşüm	Kağıt	**384**	**384**	**11**	**1228**	**1117**
	Cam	90	89	9	56	207
	Metal	18	17	191	324	3310
	Plastik	160	155	64	300	1815
	Tetra-pak	0	0	15	0	0
Kompostlaştırma	Organik	924	601	0	693	407
Düzenli depolama	Karışık atık	413	0	1	-496	0
Toplam		**~1989**	**1246**	**291**	**2106**	**6856**

Maksimum SAE potansiyeli= $\frac{1246}{1989}$ = **0.63**

İTÜ Ayazağa kampüsünde halihazırda anaerobik çürütücü bulunmaktadır. SAE değeri mevcut organik atıkların Kısırmandıra'da bulunan kompostlaştırma tesisine gittiği kabul edildiğinden kompostlaştırma için hesaplanmıştır. Fakat anaerobik çürütücü için yapılan hesaplar da aynı sonucu verecektir. Çünkü ikisinde de hammadde olarak inorganik gübre kullanımı ikame edilmektedir. SAE değerinden bağımsız olarak anaerobik çürütücü kullanılması durumunda oluşan biyogaz sayesinde ilave enerji ikamesi de olacaktır. Sera gazı emisyon azalımına ve su tasarrufuna değerlerine bakıldığında ise Ayazağa Kampüsü'nün sırasıyla 2106 CO_2e/ton ve 6856 (kL/ton) kadar potansiyeli olduğu görülmektedir.



Şekil 4 . Sıfır Atık Endeksi Değerlerinin Karşılaştırması

Dünya geneline bakıldığında SAE değerinin 0.12 olduğu görülmektedir [7]. Dünyada atıkların %84'nün halen düzenli depolandığı [7], Stockholm'da ise düzenli depolamanın en az kullanılan yöntem olduğu düşünüldüğünde Stockholm'un ve dünya ortalamasının yakın değerlere sahip olması ilk bakışta şaşırtıcıdır. Bunun temel nedeni İsveç'in büyük oranda yakma yöntemini kullanmasıdır. Yakmada herhangi hammaddeyi ikame edecek yeni bir madde/malzeme üretilmediğinden SAE düşük değere sahiptir. Fakat SAE değeri hammadde ikamesi yerine enerji ikamesi kullanılarak hesaplanması durumunda Stockholm çok daha yüksek bir SAE değerine sahip olacaktır. San Francisco ise kağıt geri dönüşümü ve kompostlaştırma sayesinde görece yüksek SAE değerine sahiptir [6]. Endonezya İslam

Üniversitesi'nde ise SAE değerinin önemli bir kısmı organik atıkların kompostlaştırılmasından gelmektedir [9]. Mevcut durumda İTÜ'nün SAE değeri San Francisco dışında literatürde bulunan diğer değerlerin hepsinden fazladır.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

İTÜ için hesaplanan SAE değerleri yüksek olmasa da, SA yönetimi sonrası için umut vericidir. İTÜ'nün mevcut durumu ve potansiyel SAE değerleri incelendiğinde ise organik atıklarının kompostlaştırma veya anaerobik çürütücü tesislerine gönderilmesinin gerekli olduğu anlaşılmaktadır. SAE değerinin daha yüksek değerlere sahip olabilmesi için, atığı önleme, azaltma, geri dönüştürme ve geri kazanım adımlarının özenle uygulanması gerekmektedir. Atığı önlemek ve azaltmak için kurum içi eğitimler, geri dönüşüm için geri dönüşüm konteynerlerinin yerleştirilmesi ve ilgili afişlerin hazırlanması, geri kazanım için ise yerel yönetimlerle gerekli görüşmeler yapılarak atıkların ilgili tesislere yönlendirilmesi önerilmektedir. Ayrıca, geri dönüşüm ve geri kazanım tesisine giden atıkların %100 oranla hammaddeyi ikame etmesi mümkün değildir. Bu durumun ilerideki çalışmalarda göz önünde bulundurulması ve SAE çalışmalarında endeksin hem hammadde ikamesi hem de enerji ikamesi için hesaplanması önerilmektedir.

Kaynakça

[1]. Adeniran. A.E., Nubi. A.T. and Adelopo. A.O. Solid waste generation and charac- terization in the University of Lagos for a sustainable waste management. Waste Manag. Vol 67.pp 3-10,2017.

[2]. Zaman A.U.. Measuring waste management performance using the 'Zero Waste Index': the case of Adelaide, Australia. Journal of Cleaner Production, vol 66,pp. 407-419, 2014.

[3]. Veleva V., Bodkin G., Todorova S. The need for better measurement and employee engagement to advance a circular economy: Lessons from Biogen's "zero waste" journey. Journal of Cleaner Production, vol 154, pp.517-529, 2017.

[4]. T.C .Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (2018). Atık Düzenli Depolama Tesis Sayısı-Belediye Sayısı-Hizmet Verilen Nüfus"https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/atik-duzenli-depolama-tesis-sayisi-belediye-sayisi-hizmet-verilen-nufus-i-85750.

[5]. T.C .Çevre ve Şehircilik Bakanlığı- Sıfırı Atık Yönetmeliği, 2019. http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2019/07/20190712-9.htm

[6]. Zaman A.U. and Lehman S. The zero waste index: a performance measurement tool for waste management systems in a 'zero waste city'. Journal of Cleaner Production, vol.50,pp. 123-132, 2013.

[7]. Zaman A.U. A comprehensive study of the environmental and economic benefits of resource recovery from global waste management systems. Journal of Cleaner Production vol 124, pp.41-50, 2016.

[8]. İTÜ (2019) - 2019 yılı Faaliyet raporu - https://kalite.itu.edu.tr/docs/librariesprovider211/dokumanlar/faaliyet-raporlari/it%c3%bc-faaliyet-raporu_2019.pdf?sfvrsn=2

[9]. Kasam, Iresha F.M, Prasojo S.A,Evaluation of solid waste management at campus using the"Zero Waste Index": The case on campus of Islamic University of Indonesia. 2nd International Conference on Engineering and Technology for Sustainable Development MATEC Web of Conferences vol 154, pp.596-601,2018.

Teşekkür: *Bu çalışma İstanbul Teknik Üniversiesi BAP birimi MGA-2019-42255 kodlu proje katkılarıyla gerçekleşmiştir.*

14. national 2. international environmental engineering congress

climate crisis & environmental policies

SESSION 4B: Havza ve Su Kalitesi Yönetimi

Paper ID:

67 **Otonom su devrilmesi izleme-uyarı-müdahale sistemi**
Özge Yücel Bilen - Ayşegül Aksoy

79 **EFFECT OF TOTAL AND DISSOLVED ORGANIC CARBON FROM WASTEWA TER DISCHARGE ON SURFACE AND GROUNDWATER IN GEDİZ ALAŞ EHİR-SALİHLİ SUB-BASIN**
Sevgi Tokgöz Güneş

80 **FIRTINA DERESİ HAVZASINDA GEFC METODU KULLANILARAK ÇEVRESEL SU İHTİYACI TAHMİNİ**
Ceren Bozkurt - Nusret Karakaya - Ömer Genç - Haluk Fidan

81 **QUANTIFICATION OF STREAM METABOLISM AS A RESULT OF CARBON AND NITROGEN DYNAMICS: NORTHE AST TURKEY**
Kadir Yıldız - Fatih Evrendilek - Şeref Kılıç - Ayfer Özdemir - Eslem Çınar - Nusret Karakaya

89 **MONITORING AND REMOVAL METHODS OF PRIORITY CONTAMINANTS IN SURFACE WATER RESOURCES**
Enes Özgenç - Süreyya Meriç Pagano

68 **Karbon Fiber Esaslı Perovskit Kompozitlerin Fotokatalitik Aktivitelerinin İncelenmesi**
Senem Aksoy

41 **OZON BAZLI İLERİ OKSİDASYON PROSESLERİ İLE SULU ÇÖZELTİLERDEN TRİKLOSANIN ARITIMI (TREATMENT OF TRICLOSAN FROM AQUEOUS SOLUTIONS BY OZONE BASED ADVANCED OXIDATION PROCESSES)**
Eylem Topkaya - Ayla Arslan

OTONOM SU DEVRİLMESİ İZLEME-UYARI-MÜDAHALE SİSTEMİ

Emine Betül Şanlı[1,6], Serbay Şimşir[1,7], Süleyman Kazım Sömek[1,2,8], Aydoğa Kallem[1,9], Özge Yücel-Bilen[3,10], Emrehan Berkay Çelebi[3,11], Utku Berkalp Ünalan[3,12], Reza Ahmadian[4,13], Şimşek Demir[1,5,14], Ayşegül Aksoy[3,15]

[1] *PRF ARGE, ODTÜ Teknopark, Silikon Blok No:19/ZK-9, 06800 ANKARA*
[2] *TÜBİTAK Uzay, 06800 ANKARA*
[3] *Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 06800, ANKARA*
[4] *Cardiff University, Hydro-environmental Res. Center, Cardiff CF24 3AA, BİRLEŞİK KRALLIK*
[5] *Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, 06800, ANKARA*
[6]ebsanli@prfarge.com.tr,[7]serbay.simsir@gmail.com,[8]kazimsomek@gmail.com,
[9]akallem@prfarge.com.tr,[10]yuozge@metu.edu.tr,[11]bcelebi@metu.edu.tr, [12]utkuunalan@gmail.com,
[13]AhmadianR@cardiff.ac.uk, [14]simsek@metu.edu.tr, [15]aaksoy@metu.edu.tr

Özet

İklim değişikliğinin artan etkileri ve Covid-19 pandemisinin yarattığı yeni koşullar, çevre sistemlerinin korunması ve yönetilmesi için geleneksel kirlilik izleme yaklaşımları yerine, otonom karar verme yoluyla daha az insan müdahalesiyle acil eylem içeren yeni izleme-uyarı-müdahale sistemlerine olan ihtiyacı artmıştır. Çevresel sorunlardan bir tanesi de özellikle ötröfik göllerde su kalitesi problemlerine ve hatta toplu balık ölümlerine neden olan su devrilmesidir. Bu sorunların, artan kirlilik yükleri ve sıcaklıklarla beraber daha fazla gözlemlenir hale gelmesi olasıdır. Bu çalışmada, su devrilmesi sırasında oluşabilecek düşük çözünmüş oksijen konsantrasyonlarını iyileştirmek ve toplu balık ölümlerini en aza indirmek amacıyla otonom karar veren gerçek zamanlı bir izleme-uyarı-müdahale sistemi geliştirilmiştir. Tasarlanan sistem, yüzen bir platform üzerine yerleştirilmiş iki farklı derinlikte sıcaklık ve su kalitesi ölçen sensörler, anemometre, derinlik ölçer, havalandırıcı, veri iletim ve enerji sistemlerini içermektedir. 3G üzerinden merkeze ulaştırılan gerçek zamanlı veriler grafana platformunda görselleştirilmekte ve anlık olarak izlenebilmektedir. Sisteme entegre edilen kural-bazlı algoritmalar sayesinde havalandırıcı gerektiği zaman çalışarak suya oksijen sağlamaktadır. Sistem Nisan 2021 tarihinde Eymir Gölü'ne yerleştirilmiştir. Elde edilen veriler, sıcaklığa bağlı katmanlaşmanın oluşmasıyla beraber gölün alt katmanlarında anoksik koşulların Nisan sonu itibarıyla oluştuğunu, yüzeyde ise doygunluk değerlerinin altında çözünmüş oksijen olduğunu göstermektedir. Yüzey katmanda çözünmüş oksijenin kural-bazlı limitlerden olan 4 mg/l'nin altına düşmesiyle birlikte havalandırıcı otonom olarak çalışmaya başlamış, durum merkeze sinyal ile bildirilmiştir. Sistem, insan komutundan bağımsız şekilde anlık bilgileri değerlendirmiş ve başarılı şekilde otonom olarak çalışmıştır.

Abstract

The increasing effects of climate change and the new conditions created by the Covid-19 pandemic have increased the need for new monitoring-warning-actions systems that involve emergency action with less human intervention through autonomous decision-making, instead of traditional pollution monitoring approaches to protect and manage environmental systems. In eutrophic lakes, turnover may cause water quality problems and even mass fish deaths. These problems are likely to become more observable with increasing pollution loads and temperatures. In this study, a real-time autonomous monitoring, warning, and emergency action system was developed to restore low dissolved oxygen concentrations that may occur during turnover and to minimize mass fish kills. The system includes two multiparameter sondes that measure temperature and water quality parameters at two different depths, an anemometer, a depth sensor, an aerator, data transfer equipment and energy systems. Real-time data transmitted to the center via 3G is visualized on the Grafana data visualization platform and can be monitored instantly. Thanks to the rule-based algorithms integrated into the system, the aerator works when necessary, providing oxygen to the water. The system was placed in Lake Eymir in April 2021. The data show that with the formation of temperature-dependent stratification, anoxic conditions occurred in the bottom layers of the lake as of the end of April, and dissolved oxygen was below saturation values on the surface. As the dissolved oxygen in the surface layer fell below the rule-based limit of 4 mg/l, the aerator started to operate autonomously, and the situation was notified to the center. The system evaluated instant information independently and successfully operated autonomously.

Keywords: İklim değişikliği, otonom sistemler, su devrilmesi, su kalitesi, acil müdahale

1. GİRİŞ

Su devrilmesi, katmanlaşmış göl ve baraj haznelerinde çoğunlukla üst ve alt katmanlar arasındaki sıcaklık farkının ortadan kalkması nedeniyle tam karışmayla sonuçlanan doğal bir olaydır. Bu durum, ötrofik su kütlelerinde alt katmanların anoksik olabilmesinden dolayı göldeki çözünmüş oksijen seviyesinin düşmesine neden olabilir. Çözünmüş oksijen seviyesinin eski haline gelebilmesi zaman alacağından, su kalitesinin düşük olmasının yanı sıra sucul canlıların zarar görmesi ve ölümleri de gözlemlenebilir [1]. Bu, özellikle balık yetiştiriciliği yapılan alanlarda sosyo-ekonomik etkilere sebep olabilir. TÜİK tarafından açıklanan verilere göre yetiştiricilik yoluyla yapılan su ürünleri üretimi 2020 yılında %12,9 artarak toplam su ürünleri üretiminin %53,6'sını oluşturmuştur [2]. 2019 yılına ait verilere göre ise sadece DSİ'nin kontrolünde bulunan baraj ve göletlerde gerçekleştirilen su ürünleri üretiminin ekonomiye katkısı yıllık olarak yaklaşık 940 milyon TL'yi bulmaktadır [3]. Özellikle ötröfik su kütlelerinde, su devrilmesi birkaç gün gibi kısa bir süre içerisinde toplu balık ölümlerine neden olabilir [4]. Eylül 2011'de, su devrilmesinden dolayı Eymir ve Mogan Göllerinde 3 gün içerisinde binlerce balığın öldüğü gözlemlenmiştir [5]. Avusturalya, Bangladeş, Brezilya, Danimarka, Hindistan, Romanya, Filipinler, Amerika Birleşik Devletleri gibi ülkelerde de literatür ve haberlerde benzer örnekler bulunabilir [6].

Çevre üzerinde olumsuz etkilere yol açabilecek koşulların tespit edilip kontrol yaklaşımlarının geliştirilmesinin yanısıra, zararlı sonuçların en aza indirilmesi için acil eylem uygulanmasını sağlayabilecek sistemlerin geliştirilmesi önemlidir. Özellikle, toplu balık ölümleri gibi nispeten anlık veya kısa dönemde ortaya çıkabilen doğal veya insan kaynaklı etkilere bağlı su kalitesi değişimlerinin geleneksel izleme yöntemleriyle zamanında tespit edilmesi ve müdahalede bulunulması mümkün olmayabilir. Bununla birlikte, iklim değişikliğinin çevre üzerindeki artan etkileri, teknolojik gelişmeler ve Covid-19 pandemisi ile ortaya çıkan yeni koşullar, çevre sistemlerinin korunması ve yönetilmesi için insan katkısının daha aza indirileceği yeni yaklaşımların geliştirilmesi gerekliliğini kuvvetlendirmektedir. Bu bağlamda, çevresel izleme için otonom sistemler, saha örneklemesi ve laboratuvar analizi dahil olmak üzere geleneksel veri toplama tekniklerinin sınırlamalarının üstesinden gelmek için umut verici çözümler sunmaktadır [7]. Göllerde ve baraj göllerinde kullanılan gelişmiş otonom sistemler, uygulayıcıların ve araştırmacıların daha düşük işletme maliyetleriyle gözlem yapmalarına da olanak sağlamaktadır [8]. Otonom sistemler daha çok su içine yerleştirilen sensörlerden elde edilen verileri baz alarak çalışmaktadır. Su kalitesini otomatik olarak ölçen cihazlar, kritik fiziksel ve kimyasal su kalitesi parametrelerinin noktasal lokasyonlarda ayrık zaman aralıklarında değerlerini kayıt etmektedir. Otonom sisteme sahip bir su kalitesi izleme istasyonu, doğrudan telemetri veya internet sunucuları üzerinden işlenebilen ve dağıtılabilen neredeyse sürekli bir su kalitesi kaydı sağlamaktadır [9].

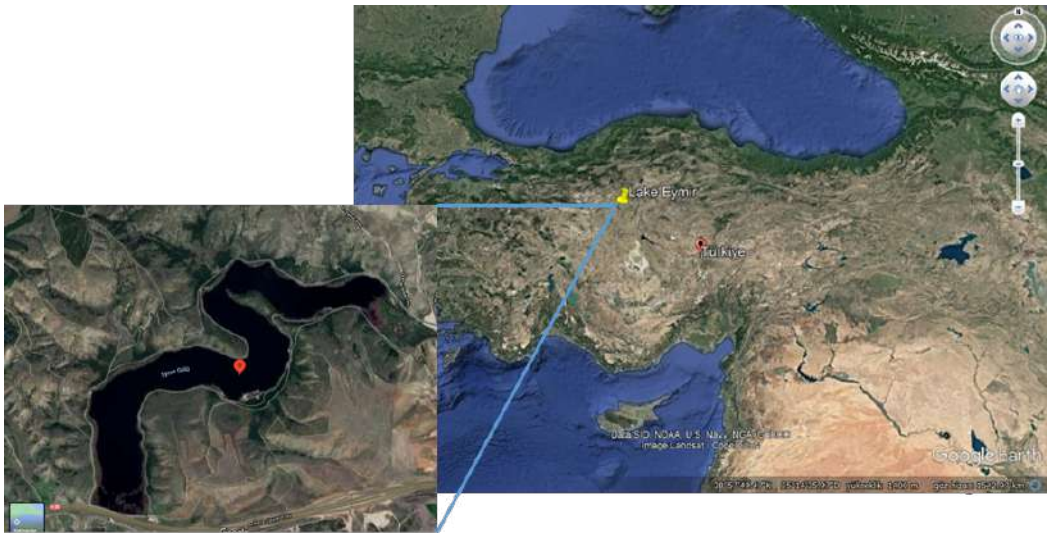
Bu çalışmada, su devrilmesi sırasında oluşabilecek düşük çözünmüş oksijen konsantrasyonlarından kaynaklanan etkilerin en aza indirilmesi amacıyla gerçek zamanlı otonom bir izleme, uyarı ve acil durum eylem sistemi geliştirilmiştir. Sistem, su kalitesi, rüzgar hızı ve derinlik sensörleri, gerçek zamanlı veri aktarımı ve görselleştirme araçları ile sahada bulunan bir havalandırıcıdan oluşmaktadır. Bu çalışmanın diğer çalışmalardan ayırt edici özelliği, sensörlerden gelen verilerin otonom olarak değerlendirilerek bir karara bağlaması ve gerekli eylemi insan müdahalesini en aza indirerek gerçekleştirebilen, gerçek zamanlı bir izleme-uyarı-müdahale sisteminin geliştirilmiş olmasıdır.

2. MATERYAL METOD

Çalışma, Ankara'nın 20 km güneyinde yer alan Eymir Gölü'nde (Şekil 1) gerçekleştirilmiştir. Eymir Gölü yaklaşık 1.25 km^2 yüzey alanına sahip, deniz seviyesinden 967 m yükseklikte yer alan, 4 km uzunluk ve 250 m genişliğe sahip sığ bir göldür [10]. Nisan 2021 itibariyle Eymir Gölü'ndeki maksimum su derinliği 5,9 m'dir. Eymir Gölü'nün en önemli girdi kaynağını aynı havzada yeralan Mogan Gölü'nden gelen sular oluşturmaktadır. Buna ek olarak sadece bahar döneminde akış gözlemlenen Kışlakçı deresi ve yeraltı suyu girişleri Eymir Gölü'nü besleyen girdiler arasındadır. Eymir Gölü için çıkış ise tek bir noktadan İmrahor deresine kontrollü şekilde olmaktadır [11]. Mogan ve Eymir gölleri ile gölleri çevreleyen yerleşim alanları, tarım alanları, bozkır ve orman ekosistemlerini bulunduran alan "Gölbaşı Özel Çevre Koruma Bölgesi" içerisinde yer almaktadır [10]. Ötrofik bir göl olan Eymir'de önceki yıllarda toplu balık ölümleri ve ötrofikasyona bağlı su kalitesi sorunları gözlemlenmiştir. Bu nedenle Eymir Gölü'nün sürekli olarak izlenmesi göldeki su kalitesinin değişimini takip etme açısından büyük önem taşımaktadır

Çalışma kapsamında geliştirilen sistem için yüzen bir platform, ilgili ekipmanları üzerinde taşıyacak şekilde tasarlanmış ve üretilmiştir. Sensörlerin ve veri aktarım araçlarının enerji ihtiyacı, güneş enerjisiyle çalışan şarj edilebilir aküler aracılığıyla sağlanmaktadır. Bu amaçla, tasarlanan sistemin en üst kısmında 4 adet güneş paneli yer almaktadır. Platform üzerinde 8 adet şarj edilebilir akü yer almaktadır. Yüzen platformun taşıdığı iki adet çok parametreli sonda ile su yüzeyinin 25 cm ve 4 m altında çözünmüş oksijen (ÇO), sıcaklık, pH, elektriksel iletkenlik ve tuzluluk değerleri ölçülmektedir. Ek olarak, 25 cm derinlikte bulunan sonda ile bulanıklık ölçümü de yapılmaktadır. Akü ile çalışan havalandırıcı uyarıldığında iki nozül yardımıyla suya hava enjekte edilmeketdir. Sistemde ayrıca su yüzeyindeki sıcaklığı ve su derinliğini ölçen bir sonar derinlik ölçer ile rüzgar

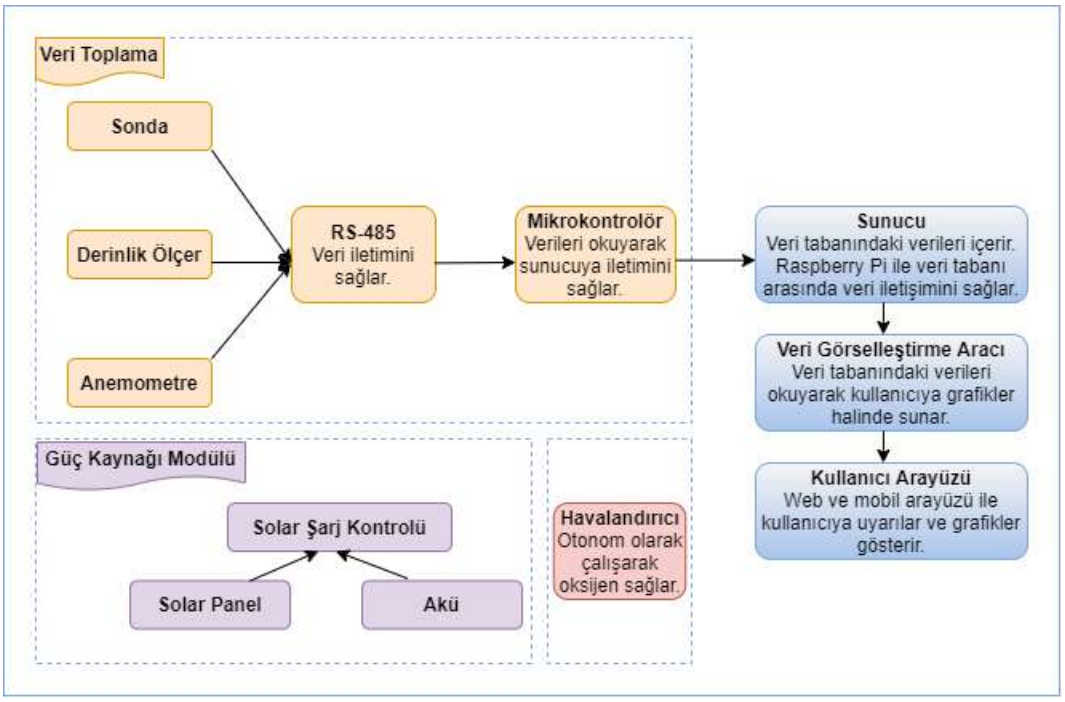
hızını kaydeden bir anemometre bulunmaktadır. Belirli aralıklarda saha ziyaretleri yapılarak sensörlerin kalibrasyon ve temizlik işlemleri yapılmaktadır.



Şekil 1. Eymir Gölü'nün lokasyonu

Gerçek zamanlı izleme için sensörlerin veri aktarım ekipmanlarına bağlanması, geliştirilen bir algoritma ve elektronik devre modüllerinin birleştirilmesi ile sağlanmıştır. Sensörlerden gelen veriler, bir Modbus RTU iletişim protokolü kullanılarak bir kontrol ve iletişim ünitesine aktarılmaktadır. Sahada ölçülen verilerin gerçek zamanlı olarak iletilmesi, sistem üzerinde bulunan Raspberry PI'nin 3G ile internete bağlanarak çalışma için tahsis edilen sunucu üzerinde çalışan bir web servisi üzerinden gerçekleşmektedir. Enerji tüketimini en aza indirebilmek amacıyla sistem her 15 dakikada bir Arduino tarafından açılır ve Raspberry PI veri aktarımını gerçekleştirir. Ayrıca, Raspberry PI üzerinde çalışan yazılım, uzaktan güncellenebilecek şekilde tasarlanmıştır. Bu sayede sahaya gitmeden uzaktan da gerekli güncelleme ve ihtiyaç duyulan düzeltmeler yapılabilmektedir. İnternet bağlantısının kesilmesi durumunda veri kaybını önlemek için veriler ayrıca sistem üzerinde bulunan SD karta kaydedilmektedir. Sahaya gidildiğinde SD kart üzerinde depolanan veriler alınarak internet hizmeti ile ilgili sıkıntılarda veri kaybının önüne geçilmektedir. Veri tabanında tutulan verileri okumak ve geliştirilen bir arayüz yardımıyla son kullanıcılara görsel çıktılar sağlamak için Grafana veri görselleştirme aracı kullanılmaktadır. Oluşturulan görsel çıktılar web tarayıcıları vasıtasıyla kullanıcıya sunulmaktadır.

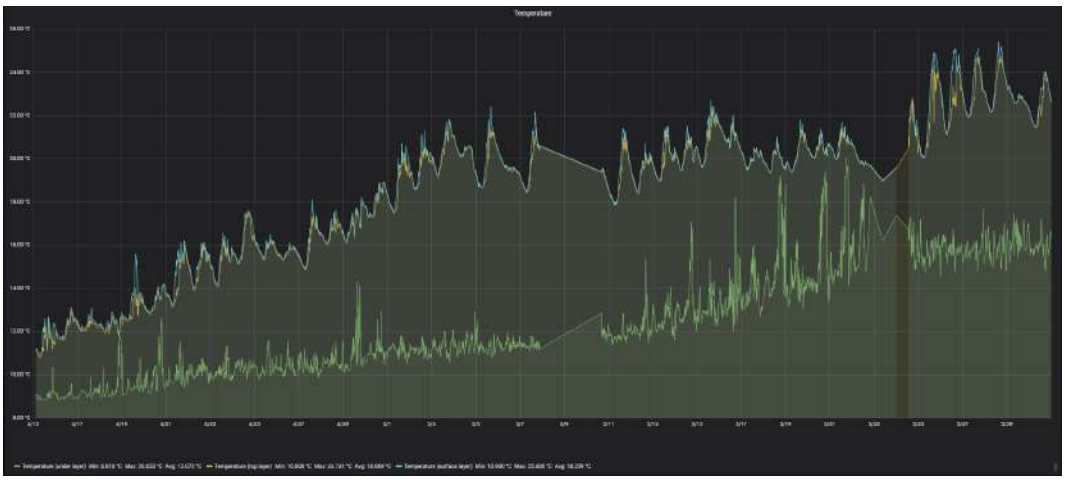
Sensörlerden elde edilen veriler değerlendirilmekte ve daha önceden belirlenen koşullar gerçekleştiyse veya oluşturulan model sonucunda su devrilmesi tahmini yapılıyorsa, gölde bulunan otonom bir havalandırıcıyla oksijen sağlanmaktadır. Mevcut aşamada havalandırıcının otonom çalışması kural-bazlı bir algoritma yardımıyla, üst katmanda (25 cm) ÇO değerinin limit değer olan 4 mg/L'nin altına düşmesiyle gerçekleşmektedir. Sondadan gelen ÇO konsantrasyonu 4 mg/L'nin altına düştüğünde, havalandırıcı otonom olarak devreye girmektedir. Sistemin modülleri Şekil 2'de gösterilmektedir.



Şekil 2. Otonom izleme-uyarı-müdahale sistemi

3. SONUÇ

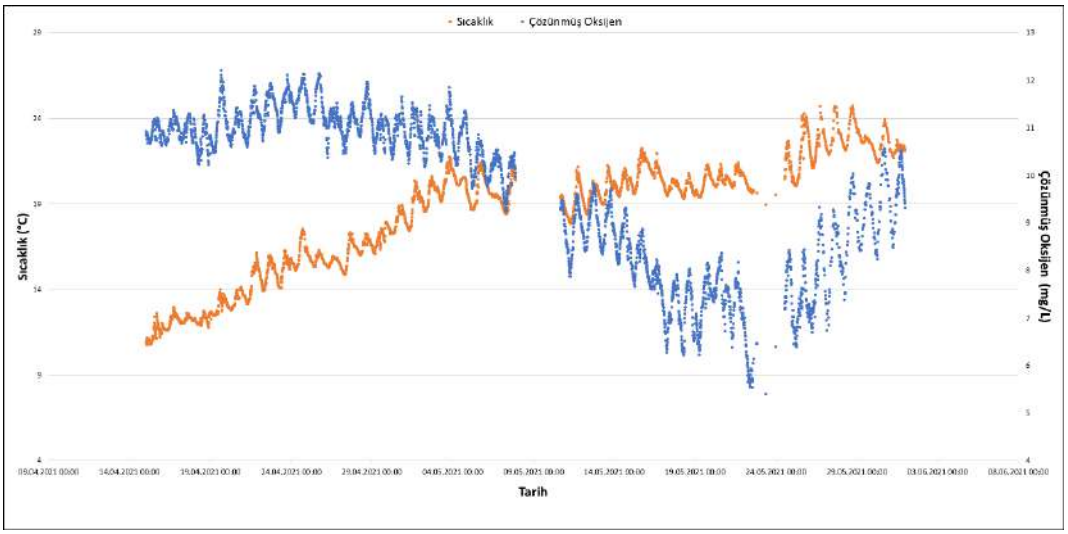
Sistem, tasarım ve üretim aşamaları tamamlandıktan sonra Nisan 2021 tarihinde Eymir Gölü'ne yerleştirilmiştir. Bu tarihten itibaren gerçek zamanlı olarak elde edilen veriler toplanarak parametrelerde görülen değişimler incelenmiştir. Şekil 3'de verilen grafikte Grafana veri görselleştirme aracının merkezdeki bilgisyarlara ilettiği sıcaklık verisi görseli görülmektedir. Bu görselde gerçek zamanlı olarak iki adet çok parametreli sondadan elde edilen 0.25 m. ve 4 m. derinliklerindeki ve derinlik ölçer ile ölçülen su yüzeyindeki sıcaklık değerlerinin 15 Nisan – 30 Mayıs tarihleri arasındaki değişimi verilmektedir. Bu süre zarfında toplanan verilere bakıldığında yüzeyde ve 0.25 m. derinlikte ölçülen sıcaklık değerlerinde önemli bir fark olmadığı görülmektedir. 4 m. derinlikte ölçülen sıcaklıkla üst katmanlardaki değerlere bakıldığında, sıcaklığa bağlı tabakalaşmanın oluşumu açıkça gözlemlenmektedir. Bu süre boyunca, 4 m. derinlikte ölçülen en düşük sıcaklık 8.8°C, en yüksek sıcaklık 20.0°C ve ortalama sıcaklık 12.1°C olmuştur. 0.25 m. derinlikte ise sıcaklık değerleri 18.1°C ortalama ile 10.8°C ve 24.7°C arasında değişmiştir. Yüzeyde görülen değerler ise 18.3 °C ortalama ile 10.9°C ile 25.4°C aralığında ölçülmüştür.



Şekil 3. Grafana görselleştirme aracımdaki yüzey, 0.25 m ve 4 m. derinlikteki su sıcaklıklarını gösteren ekran görüntüsü

Şekil 4'de verilen grafik 15 Nisan – 30 Mayıs tarihleri arasında ölçülen sıcaklık ve ÇO değerleri arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Grafikten görüldüğü gibi, yüzey suyundaki çözünmüş oksijen konsantrasyonu sıcaklıktan etkilenmektedir ve günlük bir döngüye sahiptir. İlkbahar mevsiminin başlangıcında, su sıcaklığının nispeten düşük olduğu zamanlarda, çözünmüş oksijen konsantrasyonu daha yüksek ölçülmüştür. Yaza doğru, hava ve su sıcaklığının yükselmeye başlamasıyla ÇO konsantrasyonu genellikle daha düşük değerlerde ölçülmüştür.

İnceleme yapılan dönem içerisinde, rüzgarın karışım ve havalandırmayı tetikleme üzerindeki etkisinden dolayı sıcaklığın yanısıra rüzgarın da ÇO üzerinde de etkisi görülmüştür. Bu süre boyunca rüzgar hızının 10,7 m/s'ye kadar çıktığı görülmüştür. ÇO konsantrasyonları yüzeyde 9,6 mg/L ile 12,5 mg/L arasında değişmiştir. Fakat gölün alt tabakasında (4 m. derinlik) yapılan ölçümlerde başlangıçta 11 mg/l civarında olan ÇO değerlerinin düşük seviyelere inmesi, anoksik koşulların meydana geldiğini ve sediman karışmasının gerçekleştiğini göstermektedir. Ek olarak bu süre boyunca ölçülen pH değerleri 8,78 ve 9,04 arasında, elektriksel iletkenlik değerleri 2136,6 ve 2720,5 µS/cm arasında ve tuzluluk ise 1,4 ve 1,6 PSU arasında değişkenlik göstermiştir. Grafikte veri olmadığı görünen 7 - 10 Mayıs tarihleri ile 23 Mayıs tarihinde bataryada kaynaklanan bir problem nedeni ile veri alımı yapılamamıştır.



Şekil 4. 15 Nisan - 30 Mayıs tarihleri arasında ölçülen sıcaklık ve çözünmüş oksijen değerleri

Çalışmanın sensörlerden gelen verileri kullanarak ve su kalitesi parametrelerindeki değişimleri değerlendirerek, su devrilmesinin gerçekleşmesi ile ilgili tahminlerde bulunacak bir modelin geliştirilmesi ve sisteme dahil edilmesi ile ilerlemesi planlanmaktadır. Su devrilmesi tahmin edildiği durumda, su devrilmesi uyarı sistemi yetkili kişileri mesaj ile bilgilendirecek, aynı zamanda otonom olarak gölde bulunan havalandırıcının çalışması sağlanacaktır. Mevcut durumda, havalandırıcının çalışması, yüzeydeki düşük ÇO seviyelerine dayanan kural tabanlı bir algoritmaya bağlı olarak gerçekleşmektedir. İlgili dönemde alt katmandaki ÇO değeri 4 mg/L'nin altına inmemesi nedeniyle havalandırıcı sisteme hava girişi sağlamamıştır.

4. TARTIŞMA

Geliştirilmiş olan su devrilmesi müdahale sisteminin, su kütlelerinden gerçek zamanlı veri toplama, işleme ve algoritmalar yardımıyla değerlendirme yoluyla otonom olarak acil eyleme geçecek bir izleme, uyarı ve müdahale sistemine bir örnek teşkil etmesi beklenmektedir. Şimdiye kadarki süreçte sistem, gerçek zamanlı veri gönderme ve belirli su kalitesi parametrelerindeki değişimlerin farklı göl derinliklerinde tam zamanlı izlenmesi konusunda başarı göstermiştir. Acil eylem gerektirecek koşulların ilgili dönemde oluşmamış olması nedeniyle havalandırıcı otonom olarak 30 Mayıs 2019 tarihi itibarıyla çalışmamıştır. Bu tarihe kadar olan veriler gölde sıcaklık tabakalaşmasının olduğunu, ÇO değerlerinin sıcaklık ve yüksek rüzgar hızından etkilendiğini göstermiştir. Devam eden süreçte verilerin toplanmaya devam edilmesi ile daha kapsamlı değerlendirmelerin yapılması mümkün olabilecektir.

5. KAYNAKÇA

[1]. E. Anderson. (2017) "Low Oxygen Fish Kills in Managed Ponds". [Online]. Available: https://nwdistrict.ifas.ufl.edu/phag/2017/05/12/low-oxygen-fish-kills-in-managed-ponds.

[2]. TÜİK (2020), "Su Ürünleri 2020". [Online]. Available: https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Su-Urunleri-2020-37252

[3]. DSİ (2019), "Barajlara bırakılan balıklarla ekonomiye yılda 940 milyon lira katkı sağlandı". [Online]. Available: http://www.dsi.gov.tr/haberler/2019/08/19/barajlara-b%C4%B1rak%C4%B1lan-bal%C4%B1klarla-ekonomiye-y%C4%B1lda-940-milyon-lira-katk%C4%B1-sa%C4%9Fland%C4%B1

[4]. RMBEL (2013), "Fall Turnover in Our Lakes". [Online]. Available: https://www.rmbel.info/fall-turnover-in-our-lakes/#more-749

[5]. (2011),"Mogan ve Eymir Gölü Kanalında Balık Ölümleri". [Online]. Available: https://www.haberler.com/mogan-ve-eymir-golu-kanalinda-balik-olumleri-2983882-haberi/

[6]. G. Kibria., "Global Fish Kills: Causes & Consequences". Research Gate. Nov, 2014. doi: 10.13140/RG.2.1.1422.8965

[7]. M. Barros, P. Granchinho, C. Ferreira, P. Neves, H. Magalhaes, L. Santos, B. Lopes, J. Marques, H. Pinho, S. Mourato, A. Martins, "Study of the requirements of an autonomous system for surface water quality monitoring". *Renew. Energ. P. Qual. J.*, vol. 17, pp. 399–404, July 2019, doi:10.24084/repqj17.323.

[8]. J. Park, K. T. Kim, W. H. Lee, `Recent advances in information and communications technology (ICT) and sensor technology for monitoring water quality`, *Water*, vol. 12, no. 2, paper 510. Feb 2020. doi: 10.3390/w12020510.

[9]. Wagner, R.J., Boulger, R.W., Oblinger, C.J., Smith, B.A. (2000). 'Guidelines and Standard Procedures for Continuous Water-Quality Monitors: Station Operation, Record Computation, and Data Reporting'. [Online]. Available:https://www.researchgate.net/publication/281866180_Guidelines_and_Standard_Procedures_for_Continuous_Water-Quality_Monitors_Station_Operation_Record_Computation_and_Data_Reporting

[10]. Gölbaşı Özel Çevre Koruma Bölgesi Yönetim Planı 2015-2019. [Online]. Available: https://webdosya.csb.gov.tr/db/tabiat/editordosya/golbasi_yonetim_plani(1).pdf

[11]. M. Beklioğlu, T. Bucak, J. Coppens, G. Bezirci, N. Tavşanoğlu, N., A. I. Çakıroğlu, E. E. Levi, S. Erdogan, N. Filiz, K. Özkan, A. Özen. 'Restoration of eutrophic lakes with fluctuating water levels: A 20-year monitoring study of two inter-connected lakes.' *Water (Switzerland)*, *9*(2). 2017. https://doi.org/10.3390/w9020127

6. TEŞEKKÜR

Bu çalışma Newton-Katip Çelebi Programı kapsamında Royal Academy of Engineering tarafından desteklenmiştir.

GEDİZ ALAŞEHİR-SALİHLİ ALT HAVZASINDA ATIKSU DEŞARJI KAYNAKLI TOPLAM ve ÇÖZÜNMÜŞ ORGANİK KARBONUN YÜZEY ve YERALTI SUYUNDAKİ ETKİSİ

Sevgi Tokgöz Güneş*

* *Dokuz Eylül Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü 35650, Buca/İZMİR* *sevgi.tokgoz@deu.edu.tr*

Özet

Ülkemizde tarım, endüstri ve kentsel tatlı su ihtiyaçlarının karşılanmasına yönelik özellikle son 30 yılda kamu, bireysel ve kurumsal sorumluluklarda çok önemli bir altyapı sistem gelişimi sağlanmıştır. Çok sayıda yeraltı suyu kuyusu ile su kullanımı, su bankası durumundaki akiferlerimizdeki aşırı kullanımı teşvik etmesine rağmen aynı zamanda sosyal, tarımsal ve endüstriyel gelişim sağlanmıştır. Ancak, bazı havzalarda yeni inşa edilen barajların, atıksu arıtımının ve tasarruf uygulamalarının katkısına rağmen, rezerv yüzey ve yeraltı suyu miktar ve kalite ihtiyacının karşılanmasında ciddi sorunlar yaşanmaktadır.

Evsel ve endüstriyel atıksuların birincil kirletici yükünü askıda ve çözünmüş organik karbon kaynakları oluşturmaktadır. Organik maddenin yüzey ve yeraltı suyu ortamında oksidasyonu (CO_2) ya da indirgenmesi (CH_4) ortam su kalitesi üzerinde ciddi bir değişime neden olmaktadır. Hidrokimyasal model sonuçlarına göre 0.3 mmol/L çözünmüş organik maddenin parçalanması suyun çözünmüş oksijen içeriğini 11,5 mg/L değerinden 1,9 mg/L seviyesine indirebilmektedir. Gediz Alaşehir-Salihli alt havzasında 2009-2014 yılları arasından yapılan saha çalışmalarından elde edilen verilere göre, TOK akarsu ortamında akım yolu boyunca artmaktadır. Ancak, yeraltı suyunda konsantrasyonlarda yüksek oranlarda azalma olduğu tespit edilmiştir. Bu durumda, yeraltı suyu ortamındaki pH değerlerinde azalma, indirgen koşullar ve arsenik gibi bazı doğal kaynaklı kirliliklerin artmasına neden olduğu belirlenmiştir. Güncel arıtma sistemlerindeki deşarj limitlerine göre KOİ 90 ile 400 mg/L arasında değişmektedir. Bu durumda, TOK eşdeğeri yaklaşık olarak 34 mg/L (2,8 mmol/L) ile 150 mg/L (12,5 mmol/L) arasındadır. Bu deşarj limitleri yüzey sularının kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Ancak, yeraltı sularında birkaç aylık alıkonma sürelerinde 2 mg/L değerlerinin altına inmektedir

Anahtar Kelimeler: Atıksu, TOK, yüzey suyu, yeraltı suyu, PHREEQCI.

THE INFLUENCE of TOTAL and DISSOLVED ORGANIC CARBON ON SURFACE and GROUND WATER FROM WASTEWATER DISCHARGE IN GEDİZ ALAŞEHİR-SALİHLİ SUBBASIN

Abstract

In our country, a very important infrastructure system development has been achieved in public, individual and corporate responsibilities, especially in the last 30 years, in order to meet the needs of agriculture, industry and urban fresh water. Social, agricultural, and industrial development has also been achieved, although the use of water by numerous groundwater wells has encouraged overuse in our waterbank aquifers. However, despite the contribution of newly constructed dams, wastewater treatment and saving practices in some basins, there are serious problems in meeting the reserve surface and groundwater quantity and quality needs.

Suspended and dissolved organic carbon sources constitute the primary pollutant load of domestic and industrial wastewater. Oxidation (CO_2) or reduction (CH_4) of organic matter in the surface and groundwater environment causes a serious change on the ambient water quality. According to the results of the hydrochemical model, the degradation of 0.3 mmol/L dissolved organic matter can reduce the dissolved oxygen content of water from 11.5 mg/L to 1.9 mg/l. According to the data obtained from the field studies conducted between 2009-2014 in the Gediz Alaşehir-Salihli subbasin, TOC increases along the flow path in the river environment. However, it has been determined that there is a high decrease in the concentrations in groundwater. It has been determined that this situation causes a decrease in pH values in the groundwater environment, reducing conditions and an increase in some naturally sourced pollution such as arsenic. According to the discharge limits in current treatment systems, COD varies between 90 and 400 mg/L. In this case, the TOC equivalent is approximately 34 mg/L (2.8 mmol/L) to 150 mg/L (12.5 mmol/L). These discharge limits negatively affect the quality of surface waters. However, in groundwater, it decreases below 2 mg/L values within a few months of retention.

Keywords: Wastewater, TOC, surface water, ground water, PHREEQCI

1. GİRİŞ

Ülkemiz tarım, endüstri ve kentsel tatlı su ihtiyaçlarının karşılanmasına yönelik özellikle son 30 yılda kamu, bireysel ve kurumsal sorumluluklarda çok önemli bir altyapı gelişimi sağlanmıştır. Çok sayıda yeraltı suyu kuyusu ile su kullanımı, su bankası durumundaki akiferlerimizdeki aşırı kullanımı teşvik etmesine rağmen aynı zamanda sosyal, tarımsal ve endüstriyel gelişimde önemli katkı sağlamıştır. Ancak, bazı havzalarımızda yeni yapılan barajların, atıksu arıtımının ve tasarruf uygulamalarının katkısına rağmen rezerv yüzey ve yeraltı suyu miktar ve kalite ihtiyacının karşılanmasında ciddi sorunlar yaşanmaktadır.

Özellikle kurak dönemde olmakla birlikte yağışlı dönemde de yağış seli etkisinin olmadığı durumlarda ana nehir ve beslenme kollarında gözlenen doğal baz akış bulunmamaktadır. Yeraltı suyu seviye düşümü nehrin yeraltı suyundan beslenmesini engellediğinden ters bir döngüye neden olarak nehre giren her akışın yeraltı suyuna karışmasına ve askıda katı madde yükünün akış aşağı artmasına neden olmaktadır. Özellikle arıtılmış ya da arıtılmamış evsel ve endüstriyel deşarjların askıda katı madde yükü nehir akışı boyunca su kaybetmeye bağlı arttığından koyu siyah renkli bir görünümü sonuçlamaktadır. Sızma nehir tabanı boyunca arttıkça özellikle askıda katı maddeler nehir tabanında kolmasyon seviyesi adı verilen geçirimsiz bir tabaka oluşturmaktadır. Kolmasyon seviyesinin kalınlaşması yeraltı suyuna sızmayı yüksek oranda azaltmasının yanında atıksu kaynaklı parçalanabilir organik madde içermesi nedeni ile hem nehrin hem de yer altına sızan suyun çözünmüş oksijenini atmosferden çözünme oranından daha hızlı tükettiğinde oksijen altı ya da oksijensiz bir su kalitesine neden olmaktadır.

Doğal arıtma, akarsu ortamı boyunca ve yeraltısuyu doymamış ve doygun üst zonunda doğal olarak gerçekleşen bir durumdur. Bunu biraz daha sistematik bir yapıda akarsular üzerinde sulak alanlar oluşturularak deneyen birçok çalışma bulunmaktadır. Gökalp vd. [1], sulak alan yapısında gerçekleştirilen doğal arıtma uygulamalarındaki hatalı tasarım yönleri ve olası arızaları tanımlamışlardır. Tunçsiper [2], tasarladığı sulak alanda oluşan biyolojik, fiziksel ve kimyasal süreçler aracılığı ile ortalama 2,3 m^3/m^2/gün zaman aralığında yüksek organik yüklemeye rağmen askıda katı madde, biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) ve toplam fosfat (P) gibi parametrelerde yüksek arıtma verimleri elde etmiştir. Ayaz vd. [3], ön arıtmadan çıkan atıksuları hibrit (yatay ve dikey yüzey altı akışlı) bir sulak alanda geri döngülü olarak azot giderimini dikkate alarak çalışmıştır. Elde edilen arıtma verimlerine göre toplam azot (N) %79 oranlarında arıtılabilmektedir ancak sıcaklık arıtma verimini etkileyen önemli bir parametredir. Bu tür doğal sulak alan arıtma sistemleri gerekli şartların sağlaması halinde geleneksel arıtma sistemlerinin yerini alabilecek alternatif olarak gösterilmektedir [4]. Diğer yandan, akifer ortamlarına doğal filtrasyon sağlanarak farklı yüzey suyu kaynaklarındaki kirliliklerin doğal olarak arıtabildiği uzun yıllardır bilinen bir uygulamadır. Hatta akiferlerde depolama ve arıtma amaçlı suyun geri kazanımında suni gölcükler, sızdırma havuzları, kuyu enjeksiyonu, kum infiltrasyonu, toprak akifer arıtımı, akarsu ve su kanallarından infiltrasyon gibi yöntemler uzun yıllardır kullanılmaktadır [5-13]. Ancak, yeraltısuyu kullanım-beslenme döngüsünde atıksuların tekrar akifere kazandırılmasının su yönetiminde sürdürülebilirlik açısından çok önemli avantajları olduğu gibi önemli dezavantajları da vardır [6, 14]. Örneğin, doğal arıtımı sağlayan akiferde katı matriksin veya nehir suyu kompozisyonunun uygun özelliklerde olmaması, akifer hidrolik iletkenliğinin yüksek olması, filtratın yolculuk zamanı ve mesafesinin yetersizliği gibi nedenler su kalitesini kötüleştirebilecek önemli faktörlerdir [15]. Ayrıca, mevsimsel değişimlerin su sıcaklığı ile ilişkili sudaki oksijen konsantrasyonunu ve redoks şartlarını değiştirdiğinden bazı kirleticilerin tam olarak arıtılamadığı rapor edilmiştir [16]. En bilinen sorun Fe ve Mn minerallerinin indirgen çözünümüne bağlı oluşan desorpsiyon ile sorplanan iyonların serbest kalabilmesidir [17].

Gediz Alaşehir-Salihli alt havzasında 2009-2014 yılları arasından yapılan saha çalışmalarından elde edilen verilere göre, TOK akarsu ortamında akım yolu boyunca azalma yerine artma eğilimindedir. Bunun temel nedeni, özellikle askıda partikül olarak bulunan organik maddenin akım yolu boyunca yeraltına sızan su içeriğini kaybetmesi ve derişiminin bağıl olarak artmasıdır. Ancak, yeraltı suyu ortamında yıllık yağışlı kurak dönem döngüsünde TOK değerlerinde yüksek oranlarda azalma olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmanın temel amacı, akarsu ve yeraltısuyu ortamında organik madde parçalanmasına bağlı doğal olarak işleyen süreçlerin etkinliğinin anlaşılmasına katkıda bulunmaktır. Bu amaçla, saha verilerinin yanı sıra PHREEQCI yazılımı model çıktılarından yararlanılmıştır.

2. MATERYAL METOD

Sahada temsili örnek noktalarının belirlenmesi ve analize uygun örnekleme prosedürünün doğru uygulanması hidrokimyasal araştırmalarda kritik role sahiptir [18]. Sahada yağış (PRP), akarsu (Gediz Nehri ve kolları (GR)), göl (Marmara Gölü ve baraj gölleri, GSW), Alaşehir-Salihli alt havzası alüvyon akifer yeraltısuları (GGW), Bozdağ yeraltısuları (MGW), Neojen yaşlı jeolojik birimlerdeki akiferleri temsilen yeraltısuları (GNGW) ve jeotermal sulardan (GEW) alınan örneklerde toplam organik karbon (TOK) analizleri gerçekleştirilmiştir. Mevsimsel değişimlerin su kaynakları üzerindeki etkilerini anlayabilmek için izleme noktalarında yağışlı-kurak sezonu temsilen veriler toplanmıştır. Ayrıca, jeotermal aktivitenin olmadığı Küçük Menderes Nehri (KMR) doğusu ve alüvyon akiferinden (KMGW) karşılaştırma amaçlı örnekler alınmıştır.

2009-2014 yılları arasında toplanan örneklerden yağış sularını temsilen 2 örnek, MGW'yi temsilen 44 noktadan 60 örnek (59 örnek [19, 20], GGW'den 62 noktadan 81 örnek, GSW'de 5 noktadan 6 örnek, GR'de 22 noktadan 25 örnek, GNGW'de 5 noktadan 5 örnek, KMGW'den 10 örnek, KMR'dan 4 örnek (11 adet [21, 22] ve jeotermal sulardan 1 örnek (86 örnek [23-26]) toplanmıştır. Toplamda bu çalışma kapsamında 187 ve geçmiş çalışmalardan 156 örnek değerlendirmelerde kullanılmıştır. TOK ölçümleri sınırlı sayıdaki temsili örneklerde gerçekleştirilmiştir.

WTW Multi 340i/SET ve WTW 3430/SETG multi-parametre cihazı ile pH, elektriksel iletkenlik (EC), redox potansiyeli (EH) (Ag/AgCl elektrod), çözünmüş oksijen (ÇO), oksijen doygunluğu ve sıcaklık arazide ölçülmüştür. Tüm elektrodların kalibrasyonu ölçüm sıklığı ve değişimi dikkate alınarak sık aralıklarda sertifikalı kalibrasyon standartları kullanılarak yapılmıştır. Yeraltı suyu örneklerinde ölçümleri doğru saptayabilmek için kuyu ve kaynaklarda atmosfere kapalı akım hücresi ölçüm aparatı kullanılmıştır.

TOK analizleri için, örnekler ultrapure HCl ile asitlendirilerek Artek-Çevre Laboratuvarında "Standart Method for the Examination of Water and Wastewater High Temperature Combustion Method" (SM 5310:B2012) yöntemi kullanılarak yaptırılmıştır.

Su ortamında organik madde parçalanmasına bağlı değişimleri anlayabilmek için türleştirme-çözünürlük ve termodinamik ileri (tepkisel yollu) model PHREEQCI v.3 [27] yazılımı ve PHREEQC veri tabanı kullanılmıştır. Model girdilerinde Ahmetli Regülatöründen alınan su örneğinin verileri kullanılmıştır. Tepkime fazında 3 milimol CH_2O 20 adımda su örneğine atmosfere kapalı şartlarda karıştırılmıştır. Denge fazında pyrolusit (MnO_2), serrüzit ($PbCO_3$), geotit (FeOOH) ve rodokrozit ($MnCO_3$) minerallerinin çökelmesine ve çözünmesine izin verilmiştir.

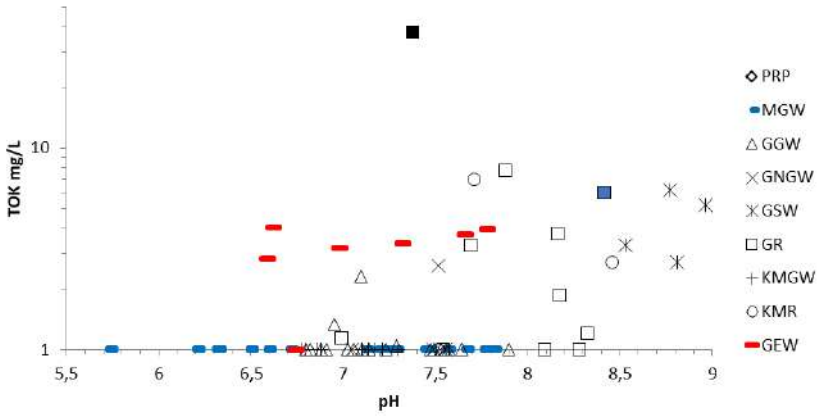
3. SONUÇ

3.1. Yüzey ve Yeraltı Suyu Kalitesi

2009-2014 yılları arasında Gediz (Alaşehir-Salihli), Küçük Menderes (Ödemiş odaklı) havzaları ve Bozdağ bölgesinde gerçekleştirilen araştırma çalışmalarına göre [28] sahada yağış suları, kullanımda olan göl-baraj suları, atıksu baskınlığında akışı olan nehir suları (evsel ve endüstriyel), akifer tipine göre değişen kalitedeki yeraltı suları (Menderes Masifi, Neojen, fluvial ve alüvyonal), doğal ve kullanım kaynaklı yüzeyleyen jeotermal sular olarak 5 farklı ana su sınıfı bulunmaktadır.

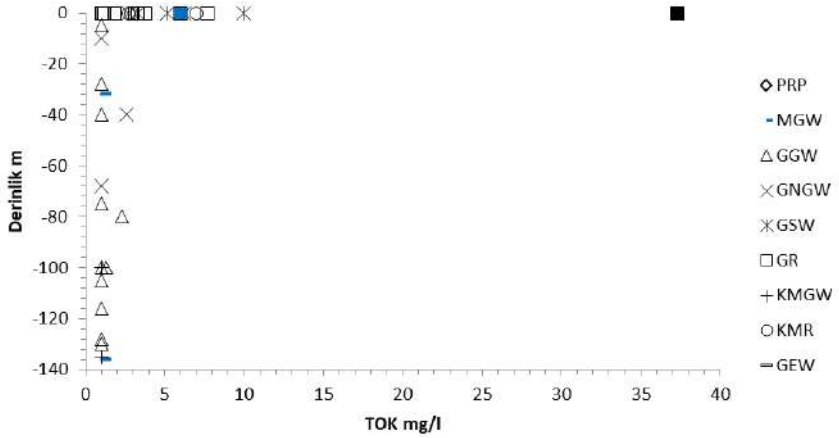
Su ihtiyacının karşılanması amacı ile yapılandırılan uygulamalarda sahada iki farklı su döngüsü oluşmaktadır. İlk döngü, atıksu arıtma sistemlerinden ya da arıtmasız yapılan nehir deşarjına bağlı nehir tabanı filtrasyonu ile yeraltı suyuna besleme (düşen yeraltısuyu seviyesi nedeni ile hidrolik bariyer kaybı) ve tekrar yeraltı suyunun kullanılmasıdır. İkinci döngü ise, nehir, baraj ve göl suları ile yapılan sulama kaynaklı toprak filtrasyonu ile yeraltısuyunun beslenmesidir. Ayrıca, yağışlı dönemde gerçekleşen yağış sızması kaynaklı seyrelme hem kirletici azalmasını hem de akifer depolanmasını desteklemektedir. Birçok organik maddenin biyolojik aktiviteye bağlı doğal bozunma süreleri 3 aydan daha az olduğundan ve toprak yapısının biyolojik etkinliğinin yüksek olması da doğal arıtma performansını artırabilmektedir.

Şekil 1'de, sahadan elde edilen su numunelerinin pH değerlerine karşılık TOK değerlerindeki değişim verilmektedir. Şekildeki siyah dolu kare Salihli kenti atıksularının arıtmasız Gediz Nehri deşarj noktasından alınan numune (TOK: 37,3 mg/L) ve mavi dolu kare ise, Ahmetli Regülatöründen alınan numunedir (TOK: 6 mg/L). Ahmetli Regülatörü, baraj, göl ve nehir sularının biriktirilip sulamaya gönderildiği noktadır. Kurak dönemde Regülatör haznesinde alg büyümesine bağlı yüksek çözünmüş oksijen değerleri (14 mg/L) olduğu tespit edilmiştir. Gediz Nehri en yüksek TOK kirletici yüküne sahiptir. Bölgedeki baraj ve Marmara Gölü'nü temsil eden yüzey sularında 2,7 ile 6,2 mg TOK/L değerleri tespit edilmiştir. Nehrin beslediği alüvyon akiferde ise, bir nokta (2,3 mg/L) hariç tüm su numunelerinde 2 mg TOK/L değerinin altındadır. Benzer olarak Küçük Menderes Havzası'nda da nehirde oldukça yüksek TOK değerleri var iken yeraltı suları 2 mg TOK/L değerinin altındadır.



Şekil 1. Sahadan elde edilen su numuneleri pH değerlerine karşılık TOK değerleri.

Sahadan elde edilen su numunelerinin kuyu derinlikleri dikkate alınarak düşey zondaki pH değerlerine karşılık TOK değerleri grafiği Şekil 2'de verilmektedir. Şekil 2'deki sıfır derinlik noktası yüzey sularında (göl, nehir gibi) ölçülen değerleri vermektedir. Yatay düzlemdeki değişime benzer olarak daha yaşlı suların bulunduğu derinlik artışında TOK değerleri de çok düşüktür. Nehir tabanı ya da sulama kaynaklı akiferin beslenmesinde çözünmüş organik karbonun yeraltına sızması ve askıda partikül halindeki organik karbonun yüzeyde nehir tabanı ya da toprakta kalması beklenen bir durumdur. Ancak, bu durumda da TOK değerlerinin doğal sularda bulunan 2 mg/L değerlerinin altında bulunması farklı sularla karışım ve doğal olarak yüksek verimlerde arıtma etkisinin olduğunu göstermektedir.

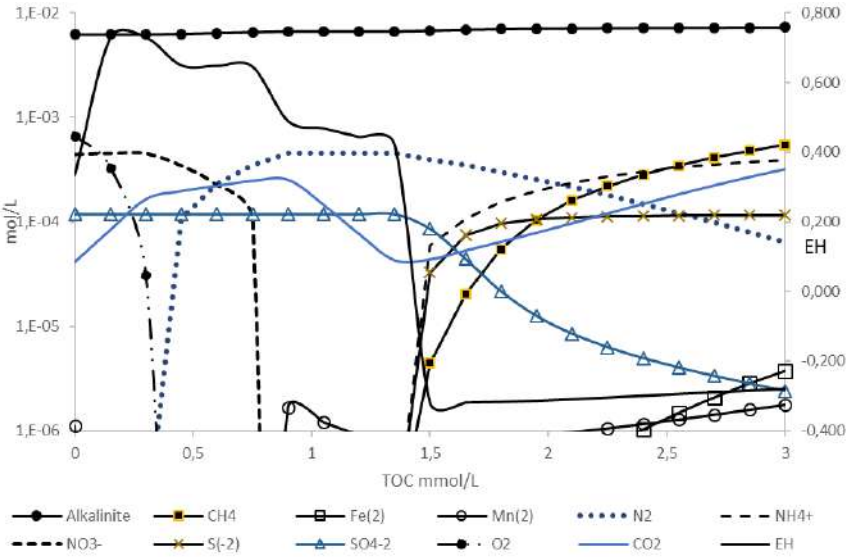


Şekil 2. Sahadan elde edilen su numunelerinin kuyu derinlikleri dikkate alınarak düşey zondaki pH değerlerine karşılık TOK değerleri.

3.2. Organik Madde Parçalanması ve Yükseltgenme-İndirgenme Süreçleri

Evsel ve endüstriyel atıksuların birincil kirletici yükünü askıda ve çözünmüş organik karbon kaynakları oluşturmaktadır. Organik maddenin yüzey ve yeraltı suyu ortamında oksidasyonu (CO_2) ya da indirgenmesi (CH_4) ortam su kalitesi üzerinde ciddi bir değişime neden olmaktadır. Şekil 3'de 3 mmol çözünmüş organik madde parçalanmasına bağlı oluşan yükseltgenme-indirgenme süreçleri ve Tablo 1'de model girdisinde kullanılan ölçüm ve analiz değerleri verilmektedir. Model, atmosfere kapalı şartlarda sadece organik karbonun tepkimeye girmesini temel almaktadır. Ancak, Ahmetli Regülatöründen alınan suyun ölçülmüş içeriğinde bulunan azot, sülfat, demir ve mangan derişimleri tepkimelerde etkin rol almaktadır (Tablo 1). Modelde TOK (CH_2O), nihai aşamada alkalinite (H_2CO_3, HCO_3^-, CO_3^{-2}), CO_2 ve CH_4 son ürünlerine dönüşmesi (CH_2O => $1/2CO_2 + 1/2CH_4$) oldukça basitleştirilmiş bir yapıda verilmiştir. Ancak, gerçekte, organik maddenin çözünmüş ve askıda katı ve kimyasal yapısına bağlı olarak biyokimyasal süreç ve aşamaların çok daha karmaşık olduğu unutulmamalıdır.

Şekil 3'e göre biyolojik aktivite sürücülüğünde gerçekleşen organik madde parçalanması sonucunda öncelikle EH değerlerinde bir artma ve sonrasında kademeli azalma ile 1,5 mmol TOK değerinde en düşük seviyeye (-279 mV) gelmektedir.



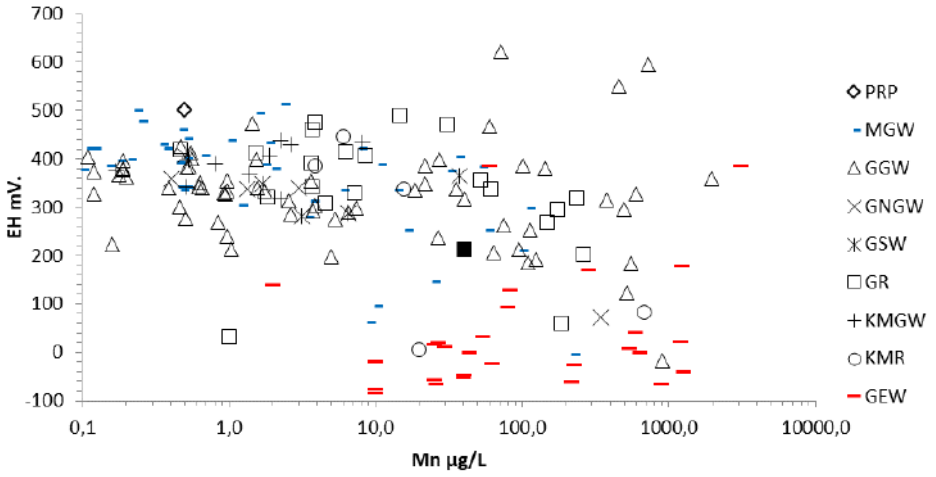
Şekil 3. 3 mmol çözünmüş organik madde parçalanmasına bağlı oluşan yükseltgenme-indirgenme süreçleri.

Tablo 1. Ahmetli Regülatörü haznesinden alınan su örneğinin ölçüm ve analiz sonuçları

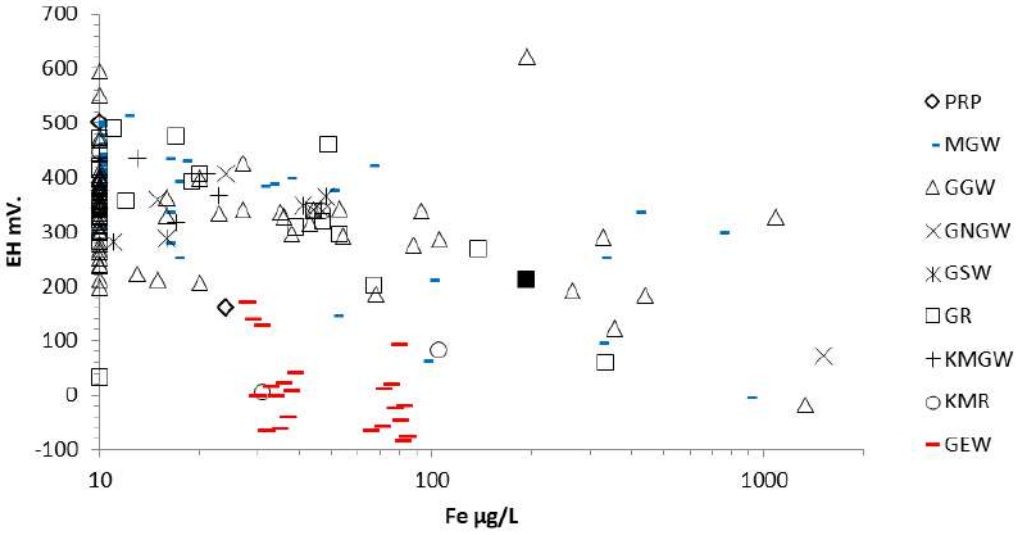
GSW Ahmetli Regulatörü					
NO_3-N	mg/L	6,2	HCO_3	mg/L	378,2
NO_2-N	mg/L	0,13	Cl	mg/L	28
pH		8,414	SO_4^{-2}	mg/L	11,38
O(0)	mg/L	10,7	Fe	µg/L	44
Sıcaklık	ºC	28,5	Al	µg/L	17
Na	mg/L	60,5	Mn	µg/L	61,1
K	mg/L	11,51	P	µg/L	215
Ca	mg/L	51,92	As	µg/L	59,2
Mg	mg/L	40,25	B	µg/L	440

Model sonuçlarına göre, azalan EH değerlerinde öncelikle yükseltgen ortamda organik madde parçalanarak, suyun çözünmüş oksijeni ve NO_3^- oksijeni harcanarak CO_2 ve N_2 gazı oluşmaktadır. Bu aşamada, 0.3 mmol/L çözünmüş organik maddenin parçalanması suyun çözünmüş oksijen içeriğini 11,5 mg/L değerinden 1,9 mg/L seviyesine indirebilmektedir. Organik madde parçalanması sürücülüğünde oksijensiz ve indirgen ortam şartlarının devam etmesi yaklaşık 1,5 mmol TOK değerinde sülfat indirgenmesini başlatmaktadır. Aynı zamanda, S^{-2} ve NH_4^+ ile CH_4 ve CO_2 gazı oluşumuna neden olmaktadır. Ayrıca, indirgen şartlarda (EH: -303 mV) Fe ve Mn minerallerinin çözünmesi gerçekleşerek çözünmüş Fe^{+2} ve Mn^{+2} derişimleri artmaktadır.

Saha şartlarında atıksu içeren akarsu ortamında H_2S gazı çıkışlarının varlığı keskin kokusu ile gözlemlenebilen bir durumdur. Modelde sülfat indirgenmesi eşliğinde oluşan S^{-2} gerçekte organik madde içeriğinde bulunan sülfür türevlerinin parçalanmasına bağlı olarak H_2S gazlaşması ile de desteklenebilmektedir. Sahada atmosfere açık şartlarda gerçekleşen süreçler yüzey ve yeraltı suyunun indirgen şartlara geçmesini önleyebilecek bir durumdur. Atmosferik oksijenin suda çözünme oranı organik madde tarafından tüketilme oranından düşük olsa bile sonuçta oksijen kaynağının sağlanması EH değerinde daha fazla azalma oluşturmayacaktır. Şekil 4 ve 5'de sırası ile sahadan elde edilen Mn ve Fe derişimlerine karşılık ORP elektrod ile ölçülen değerlerden hesaplanan EH değerleri verilmektedir. En düşük EH değerleri sırası ile Küçük Menderes Nehri'nde 6,9 mV ve Salihli-Alaşehir alüvyon akiferindeki yeraltısuyunda -17 mV olarak ölçülmüştür. Ayrıca, -17 mV ölçülen noktadaki yeraltı suyunda Mn ve Fe derişimleri sırasıyla 898,3 µg/L ve 1332 µg/L olarak elde edilmiştir. Bu durum, model verilerine göre, sahada çok daha yüksek EH değerlerinde mineral çözünmesinin gerçekleştiğini göstermektedir. Ayrıca, pH değerleri nötral şartlarda iken yüksek Mn ve Fe derişimlerine eşlik eden yüksek EH değerleri suların denge şartlarına gelmediğini göstermektedir. Nötral pH değerleri ve yükseltgen şartlarda çözünmüş toplam Fe derişimleri, Fe^{+3} türünün çeşitli hidroksit ve oksihidroksit minerallerini oluşturarak çökelip çözünmüş Fe derişimini azalttığından genellikle 100 µg/L değerlerinin çok altındadır.



Şekil 4. Sahadan elde edilen Mn derişimlerine karşılık ölçülen EH değerleri.



Şekil 5. Sahadan elde edilen Fe derişimlerine karşılık ölçülen EH değerleri.

4. TARTIŞMA

Nehir tabanı ya da toprak zonundan sulama aracılığı ile atıksu içeren suların yeraltı suyu ortamına sızması TOK ve nitrat derişimlerinde yüksek oranlarda azalma oluşmasını sonuçlamaktadır. Bu olumlu duruma rağmen ortamın oksijensiz, oksijen altı ya da indirgen şartlara yaklaşması Fe ve Mn minerallerinin çözünmesine yol açtığından inorganik kirliliklerin artmasını tetiklemektedir. Bu çalışmada tespit edilen bazı arsenik derişimleri (bir noktada 1.3 mg/L) akifere sızan dış kaynaklı atıksu, baraj-göl (Marmara Gölü, Avşar ve Demirköprü Barajı) ve jeotermal gibi su kütlelerinden çok daha yüksektir. Bu durum, indirgen şartlarda desorpsiyon olduğunu desteklemektedir. Bir diğer etki, akiferde yağışlı dönemde yapılan depolamanın miktarına bağlı seyrelme ile oluşan su kalitesinde iyileşmedir. Bu etkinin yıllık yağış ve yeraltına sızma oranında oluştuğu dikkate alındığında sızma oranının arttırılması depolama ve su kalitesinin arttırılması açısından çok önemli bir avantajdır.

Akiferde su seviyesinin azalması boşluk basıncını da azalttığından zemin sıkılaşması ve oturmalarına neden olarak hem depolanabilecek su miktarını hem de sızmayı azalttığı için suyun tekrar gözenekleri doldurmasını zorlaştırıp depolama sürecini zaman olarak arttırıp yağış suyu kazanımını azaltmaktadır.

Barajların toplam su kullanım bütçesinde artış sağlamasına rağmen, nehir ve akifer beslemesinde yetersiz kalması nedeniyle havzaya düşen yıllık yağışı toplayıp akiferlere kazandırmada daha etkin yöntemlerin

geliştirilmesi gerekmektedir. Sonuçta, su kıtlığı ve kirlilik açısından iyi durum sağlamada, su miktarını yüzey ve yeraltında depolama ile olabildiğince arttırmak ve iyi kalite geliştirme için yapılabilecek çalışmaların önü açıktır ve havza bazlı ihtiyaçların karşılanmasında çözüm bekleyen en önemli toplumsal gündemdir.

Kaynakça

[1] Z. Gökalp, O. Uzun, Y. Calıs, "Kayseri'deki Doğal Arıtma (Yapay Sulak Alanlar) Sistemlerinde Karşılaşılan Yaygın Başarısızlıklar", *Ekoloji*, 23(92), 38-44, 2014.

[2] B. Tunçsiper, "Combined natural wastewater treatment systems for removal of organic matter and phosphorus from polluted streams", *Journal of Cleaner Production*, 228, 1368-1376, 2019.

[3] Ayaz, S.Ç., Akta!, Ö., Findik, N., Akça, L., Kinaci, C., "Effect of recirculation on nitrogen removal in a hybrid constructed wetland system", *Ecological Engineering*, 40, 1-5, 2012.

[4] S. Kumar, ve V. Dutta, "Constructed wetland microcosms as sustainable technology for domestic wastewater treatment: an overview", *Environmental Science and Pollution Research*. Environmental Science and Pollution Research, 11662–11673, 2019.

[5] J. Schubert, "Hydraulic aspects of riverbank filtration—field studies", *Journal of Hydrology*, 266(3–4), 145–161, 2002.

[6] G. Massmann, A. Pekdeger, ve C. Merz, "Redox processes in the Oderbruch polder groundwater flow system in Germany", *Applied Geochemistry*, 19(6), 863–886, 2004.

[7] P. Dillon, "Future management of aquifer recharge", *Hydrogeology Journal*, 13(1), 313–316, 2005.

[8] P. Dillon, D. Page, J.L. Vanderzalm, P. Pavelic, S. Toze, E. Bekele, J. Sidhu, H. Prommer, S. Higginson, R. Regel, S. Rinck-Pfeiffer, M. Purdie, C. Pitman ve T. Wintgens, "A critical evaluation of combined engineered and aquifer treatment systems in water recycling", *Water Science and Technology*, 57(5), 753–762, 2008.

[9] M.A.M. Kedziorek, S. Geoffriau, ve A.C.M. Bourg, "Organic matter and modeling redox reactions during river bank filtration in an alluvial aquifer of the Lot River, France", *Environmental Science and Technology*, 42(8), 2793–2798, 2008.

[10] C. Kohfahl, M. Rodriguez-Rodriguez, C. Fenk, C. Menz, J. Benavente, H.-W. Hubberten, H. Meyer, L. Paul, A. Knappe, J. A. Lopez-Geta ve A. Pekdeger, "Characterising flow regime and interrelation between surface-water and ground-water in the Fuente de Piedra salt lake basin by means of stable isotopes, hydrogeochemical and hydraulic data", *Journal of Hydrology*, 351(1–2), 170–187, 2008.

[11] I. Wallis, H. Prommer, C. T. Simmons, V. Post ve P. J. Stuyfzand, "Evaluation of conceptual and numerical models for arsenic mobilization and attenuation during managed aquifer recharge", *Environmental Science & Technology*, 44(13), 5035–41, 2010.

[12] C.E. Farnsworth ve J.G. Hering, "Inorganic geochemistry and redox dynamics in bank filtration settings", *Environmental Science & Technology*, 45(12), 5079–87, 2011.

[13] S.K. Maeng, S.K. Sharma, ve G. Amy, "Riverbank Filtration for Water Security in Desert Countries". Edited by M. Shamrukh. Dordrecht: Springer Netherlands (NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security), 2011.

[14] C. Ray, ve R. Jain, Drinking Water Treatment Technology—Comparative Analysis, Ray, C. ve Jain, R. Eds, *Drinking Water Treatment,* Springer, Dordrecht, 9–36, 2011.

[15] B. Hu, Y. Teng, Y. Zhai, R. Zuo, J. Li ve H. Chen. "Riverbank filtration in China: A review and perspective", *Journal of Hydrology*. Elsevier B.V., 541, 914–927, 2016.

[16] G. Massmann, J. Greskowiak, U. Duennbier, S. Zühlke, A. Knappe ve A. Pekdeger, "The impact of variable temperatures on the redox conditions and the behaviour of pharmaceutical residues during artificial recharge", *Journal of Hydrology*, 328(1–2), 141–156, 2006.

[17] B.M. Petrunic, K.T.B. MacQuarrie ve T.A. Al, "Reductive dissolution of Mn oxides in river-recharged aquifers: A laboratory column study", *Journal of Hydrology*, 301(1–4), 163–181, 2005.

[18] C. A. J.Appelo ve D. Postma, *Geochemistry, Groundwater and Pollution*, *A.A. Balkema Publishers, Leiden, The Netherlands a member of Taylor & Francis Group plc*., 2005.

[19] I. F. Barut, N. Erdogan, ve E. Basak, "Hydrogeochemical evaluation of Western Anatolian mineral waters", *Environmental Geology*, 45(4), 494–503, 2004.

[20] A. Bülbül, T. Özen, ve G. Tarcan, "Hydrogeochemical and hydrogeological investigations of thermal waters in the Alasehir-Kavaklidere area (Manisa-Turkey)", *African Journal of Biotechnology*, 10(75), 17223–17240, 2011.

[21] A.M. Somay, Ü. Gemici, ve S. Filiz, "Hydrogeochemical investigation of Küçük Menderes River coastal wetland, Selçuk–Izmir, Turkey", *Environmental Geology*, 55(1), 149–164, 2007.

[22] A. Peksezer Sayit ve H. Yazicigil, "Assessment of artificial aquifer recharge potential in the Kucuk Menderes River Basin, Turke"y, *Hydrogeology Journal*, 20(4), 755–766, 2012.

[23] A. Vengosh, C. Helvacı, ve İ. H. Karamanderesi, "Geochemical constraints for the origin of thermal waters from western Turkey", *Applied Geochemistry*, 17(3), 163–183, 2002.

[24] G. Tarcan, U. Gemici, ve N. Aksoy, " Hydrogeological and geochemical assessments of the Gediz Graben geothermal areas, western Anatolia, Turkey", *Environmental Geology*, 47(4), 523–534, 2004.

[25] Özen, T. and Tarcan, G, "Caferbey ve Sart-Çamur (Salihli) Jeotermal Alanlarının Hidrojeokimyasal İncelenmesi", Türkiye Jeoloji Bülteni, 52(3), 297-324, 2009.

[26] T. Özen, A. Bülbül, ve G. Tarcan, "Reservoir and hydrogeochemical characterizations of geothermal fields in Salihli, Turkey", *Journal of Asian Earth Sciences*, 60, 1–17, 2012.

[27] D.L. Parkhurst ve C.A.J. Appelo, Description of Input and Examples for PHREEQC Version 3—A Computer Program for Speciation, Batch-Reaction, One-Dimensional Transport, and Inverse Geochemical Calculations. US Geological Survey Techniques and Methods, Book 6, Chapter A43, 497 p. http://pubs.usgs.gov/tm/06/a43, 2013.

[28] S. Tokgöz Güneş, Jeotermal Suların İçeriğindeki Arsenik ve Borun Alüvyon Akiferdeki Akım Yolunda Doğal Arıtma Performansının Arttırılması, Proje Koor. S. Tokgöz Güneş, D.E.Ü. Bilimsel Araştırma Projesi, 2014.

FIRTINA DERESİ HAVZASINDA GEFC METODU KULLANILARAK ÇEVRESEL SU İHTİYACI TAHMİNİ

Ceren Bozkurt[1,*], Nusret Karakaya[2],Ömer Genç[3],Haluk Fidan[4]

[1], Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi,, Çevre Mühendisliği Bölümü 14030, Gölköy/BOLU* ceren-bzkrt@hotmail.com.tr

[2] Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 14030, Gölköy/BOLU karakaya_n@ibu.edu.tr

[3] Düzce Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 81620, Merkez/DÜZCE omergenc@duzce.edu.tr

[4] Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 14030, Gölköy/BOLU halukfidan00@gmal.com

Özet

Nehirler, akarsular, sulak alanlar, göller, deltalar gibi akarsu ile bağlantılı sistemlerde sağlıklı su ekosistemlerinin desteklenmesi, sürdürülebilmesi ve çevresel hedeflerin yerine getirilmesi için belirli miktarlarda suya ihtiyaç duyulmaktadır. Akarsudan beklenen ekolojik işlev ve hizmetlerin sürdürülmesi için ihtiyaç duyulan bu miktarın, bilimsel yöntemlerle saptanması çevresel su ihtiyacı olarak tanımlanmaktadır. Çevresel su ihtiyacı tahmini için çok fazla sayıda metot bulunmaktadır.

Bu çalışmada Fırtına Deresi ve kollarında hidrolojik tahmin yöntemlerden biri olan GEFC yöntemiyle çevresel su ihtiyacı hesaplamaları aylık olarak yapılmıştır. Fırtına Deresi 28 adet alt havzaya bölünerek her alt havza için bu hesaplamalar ayrı ayrı yapılmıştır. GEFC metoduna göre; A kalite çevresel yönetim sınıfı için su potansiyelinin minimum %73,5'i maksimum %82,2'si, B kalite çevresel yönetim sınıfı için su potansiyelinin minimum %53,5'i maksimum %68,2'si, C kalite çevresel yönetim sınıfı için su potansiyelinin minimum %38,7'si maksimum %58,2'si, D kalite çevresel yönetim sınıfı için su potansiyelinin minimum %28,4'ü maksimum %52,3'ü, E kalite çevresel yönetim sınıfı için su potansiyelinin minimum %22,0'si maksimum %48,6'sı ve F kalite çevresel yönetim sınıfı için su potansiyelinin minimum %18,3'ü maksimum %46,5'i akarsu yatağında bulunmalıdır. Alt havzalarda bulunması gereken yüzdelerin havza genelindeki ortalamaları ise Sınıf A için %79,27, Sınıf B için %63,94, Sınıf C için %53,17, Sınıf D için %46,44 Sınıf E için %42,08 ve Sınıf F için %39,45'i olmalıdır. Halihazırda havza milli park olarak ilan edilmiştir. Bu nedenlerle A kalite çevresel yönetim sınıfı hedefiyle yönetilmesi tavsiye edilmektedir.

Abstract

Certain quantities of water are required to support and maintain healthy aquatic ecosystems such as rivers, streams, wetlands, lakes, and deltas, as well as meet environmental goals. This scientifically determined quantity required to maintain the ecosystem functions and services expected from the stream is defined as the environmental water requirement. There are many methods to estimate environmental water demand.

In this study, environmental water requirement calculations were made on a monthly basis with the GEFC method, one of the hydrological estimation methods, for Fırtına stream and its branches. Fırtına stream was divided into 28 sub-basins whose calculations were made separately for each sub-basin. According to the GEFC method, a minimum of 73.5% and a maximum of 82.2% of water potential for A quality environmental management class; a minimum of 53.5% and a maximum of 68.2% of water potential for B quality environmental management class; a minimum of 38.7% and a maximum of 58.2% of water potential for C quality environmental management class; a minimum of 28.4% and a maximum of 52.3% of water potential for D quality environmental management class; and A minimum of 22.0% and a maximum of 48.6% of water potential for E quality environmental management class; and a minimum of 18.3% and a maximum of 46.5% of water potential for F quality environmental management class should be located in the stream bed. The basin-wide averages found in the sub-basins are 79.27% for class A, 63.94% for class B, 53.17% for class C, 46.44% for class D, 42.08% for class E, and 39.45% for class F. for. Currently, the basin has been declared as a national park. For these reasons, it is recommended to manage the stream with the target of A quality environmental management class.

Keywords: Stream ecosystems, Environmental target, Environmental water requirement, GEFC method

1. GİRİŞ

Çevresel su ihtiyacı terimi, akarsuyu bazı kabul edilmiş ekolojik koşullarda tutmak için tasarlanmış akış rejimini ifade etmektedir. Doğal hidrolojik rejimin tüm bileşenleri ekolojik öneme sahiptir. Bununla birlikte, bir akarsuda doğal olarak meydana gelen akışların tam spektrumunu korumak, su kaynaklarının planlanması ve su toplama alanında meydana gelen değişiklikler nedeniyle hemen hemen imkansızdır. Bu nedenle, çevresel su ihtiyacı doğal sistem ile sosyoekonomik sistem arasında sucul ekosistemin sürdürülebilmesi için bir uzlaşma aracı olarak görülmektedir.

Çevresel su ihtiyacı tahmininde bir akarsu veya yeraltı suyu sisteminin çeşitli akış bileşenleri tarafından desteklenen ekosistem fonksiyonlarını anlamak ve tanımlamak hedeflenir. Çünkü akarsuların sahip olduğu akış bir yıl boyunca ve yıllar arasında değişim gösterir. Akış rejimi tipik olarak kurak aylar boyunca düşük akışlar, yağışlı aylarda ise yüksek akışlar ve sellerden oluşur. Ayrıca yer altı su seviyeleri de beslenme (şarj) ve deşarjdaki değişikliklere bağlı olarak yıl boyunca ve yıllar arasında doğal olarak değişebilir (Hirji ve Davis, 2009; Hughes, 2001). Sucul yaşam hem suyun miktarına hem de kalitesine bağlı olsa da akışlardaki değişiklikler çok fazla ekosistem sürecini yönettiği için özel bir öneme sahiptir.

Akarsuların sahip olduğu akış insani amaçlı kullanımlar nedeniyle değişmektedir. Bunlara barajların inşası, akarsulardan su çekilmesi örnek olarak verilebilir. Yanı sıra hidroelektrik üretimi, sulama, depolama, endüstriyel ve kentsel su temini, taşkın kontrolü veya düzenleme için yapılan barajlar gibi su kaynakları altyapısına yapılan yatırımlar ekonomik kalkınma için önemlidir ancak yanlış planlandıkları, tasarlandıkları veya işletildikleri zaman akış hacmi, düzeni ve akış kalitesi üzerindeki etkileri nedeniyle, aşağı havza ekosistemleri ve toplulukları için sorunlara neden olabilir. Bunların sonucunda meydana gelen değişim hem insanların gereksinimlerini karşılayan bir dizi mal ve hizmetin sağlanamamasını hem de su ve suya bağımlı ekosistemlerin devamlılığını engellemektedir.

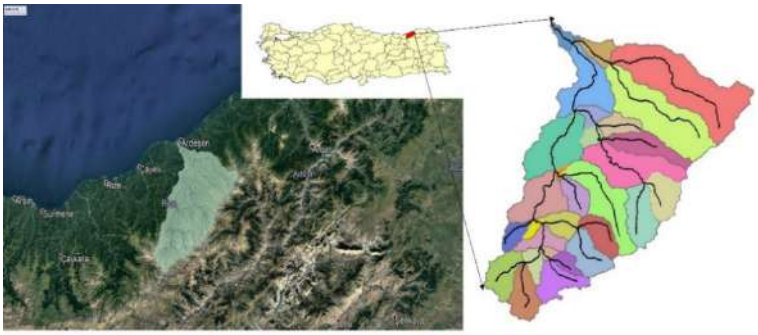
Akarsu ekosistemlerinin gereksinim duyduğu su miktarının farklı bilimsel metotlarla hesaplanarak belirlenmesine olanak tanıyan çevresel su ihtiyacı yaklaşımı genel bir addır ve tek bir yöntemi temsil etmemektedir. Çevresel su ihtiyacı tahmini için çok fazla sayıda metot bulunmaktadır. Bu metotlar iklimsel değişiklikler, akarsuyun bulunduğu coğrafya vb.

nedenlerle farklılık gösterir ve akarsuların geriye dönük doğal akış rejimlerini, jeomorfolojisini, ekolojisini, yönetimini, politik, sosyoekonomik ve lojistik şartlarını dikkate alır. Bu sebeple çevresel su ihtiyacı tahmini metotları yalnızca hidroloji ve ekolojiye bağlı değildir, sosyoekonomik unsurları da ihtiva etmektedir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 Çalışma Bölgesinin Özellikleri

Çalışma sahası Doğu Karadeniz Dağlarının kuzeyinde yer alan Fırtına Deresi havzasıdır. Fırtına Deresi Türkiye'nin ekolojik öneme sahip sayılı havzalarından biridir. Kaçkar Dağları'nın Karadeniz'e bakan yamaçlarındaki derelerin birleşmesi ile meydana gelmiştir. Rize ilinin Ardeşen ve Çamlıhemşin ilçeleri sınırları içerisinde yer almaktadır. Doğu Karadeniz'in en geniş akarsu havzalarından biridir ve 1177.03 km^2 yüzölçümüne sahiptir. Ardeşen ilçesinin yaklaşık olarak 2 km batısından Karadeniz'e dökülen Fırtına Deresi 68 km uzunluğundadır. Kuzeyden Karadeniz, güneyden ise Kaçkar ve Soğanlı dağlarının su bölümü çizgisi ile sınırlanmıştır. Rize ilinin 45 km doğusunda yer almaktadır ve 40º-20' doğu ve 41º-20' kuzey enlemleri arasında bulunmaktadır. Deniz kıyısından itibaren yükselen dağlar 40 km kuş uçuşu mesafede 3900 metrelere kadar uzanır (Doğu vd., 2018). Fırtına Deresi havzasının konumu Şekil 2.1'de sunulmuştur.

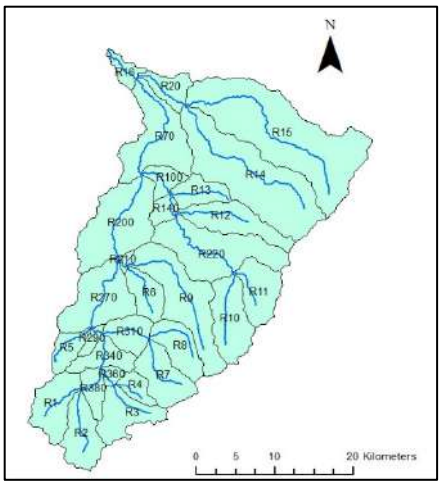


Şekil 2.1. *Fırtına Deresi havzasının konumu*

2.2 Çalışmada Kullanılan Veriler

Bu çalışmasında kullanılan debi verileri; 116Y447'nolu "Akarsular için Ekolojik Akış Tahmin Modeli ve Uygulanması" adlı TÜBİTAK Projesi kapsamında yürütülen HEC-HMS modelleme çalışmalarından elde edilmiştir. Söz konusu çalışmada Fırtına Deresi

havzası 28 adet alt havzaya ayrılmış ve hidrolojik modelleme çalışmaları yürütülmüştür (Bkz. Şekil 2.2). Hidrolojik modelleme çalışması 1979-2013 yılları arasında yürütülmüştür. HEC-HMS modelinden elde edilen debi verileri kullanılarak GEFC metodu ile her bir alt havza için çevresel su ihtiyacı çevresel yönetim sınıfları (ÇYS) için hesaplanmıştır.



Şekil 2.2. HEC-HMS modeline tanımlanan 28 adet alt havza

2.3. Yöntem

Bu çalışma kapsamında çevresel akışın belirlenmesi amacıyla Global Environmental Flow Calculator (GEFC) yöntemi kullanılmıştır. Yöntemin uygulanması için en az 10 yıllık eksiksiz akım verilerine gereksinim duyulmaktadır.

Yöntemin seçilmesindeki ana neden çevresel su ihtiyacının aylık olarak hesaplanabilmesidir. Bunun avantajı akarsu ekosistemi için yeterli olmayan ve bütün bir yıl boyunca aynı su miktarının benimsenmesi yerine aylık çevresel su ihtiyacı tahminlerinin yapılabilmesidir. Böylelikle akım rejiminde meydana gelen aylık değişiklikler çevresel su ihtiyacına da yansıtılabilmektedir.

GEFC'nin temeli debi süreklilik eğrisine dayanmaktadır. Yöntemde debi süreklilik eğrisi farklı sucul ekosistem koruma sınıfları için oluşturulmuştur. İhtiyaç duyulan çevresel akışın hacmi ve değişim faktörleri yüksek ekosistem koruma sınıflarından, azalan ekosistem koruma sınıflarına göre sırasıyla tayin edilir. Daha sonra basit bir konuma göre interpolasyon işlemi kullanılarak tahmini yapılmış her bir debi süreklilik eğrisi, daimi aylık akım zaman serilerine çevrilir. Buradan anlaşılacağı üzere yöntemde çevresel su ihtiyacı; debi süreklilik eğrileri ve aylık akım zaman serileri olarak iki şekilde bulunmaktadır. Seriler, akarsu için

gerekli olan ekolojik şartların sağlanması için bulunması gereken çevresel su ihtiyacını vermektedir (Smakhtin ve Anputhas, 2006).

Model içinde ilk olarak her alanın temsil edildiği, doğal akım zaman serilerinden meydana gelen debi süreklilik eğrisi oluşturulur. Uygulamada zaman serilerindeki tüm veriler kullanılır. Debi süreklilik eğrisi akım değerleri ve muhtemel tüm oluşma olasılıklarını ihtiva eder. 17 adet sabit yüzdelik değer bulunmaktadır. Bunlar; 0,01, 0,1, 1, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 95, 99, 99,9 ve 99,99'dur. Bu değerler akımların tüm aralığını kapsamalıdır. Daha sonra akım değerleri büyükten küçüğe doğru sıralanarak her yüzdelik değer aşağıdaki formülle hesaplanır:

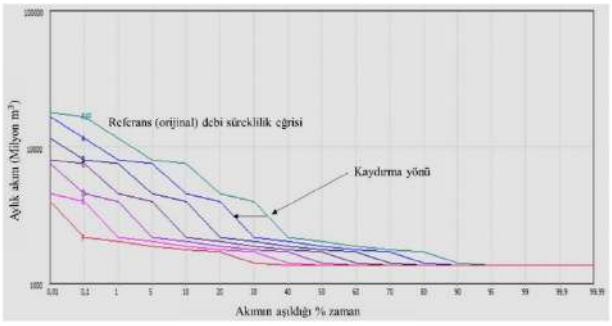
$$P = 100 * Sıra / (N + 1) \quad (3.1)$$

Burada; N: Veri sayısı

Sıra: Boyutsuz olarak akım gözlem değerlerinin 1 ile N arasında sıralı değerlerini göstermektedir.

Çevresel yönetim sınıflarının oluşturulması için debi süreklilik eğrisi sola doğru yatay yönde olasılık ekseni boyunca kaydırılır. Model içerisinde 6 adet ÇYS bulunmaktadır ve kaydırma sonucu çevresel yönetim sınıfları için çevresel akışın hesaplanması sağlanır.

Yüzdelik değerlerin çevresel yönetim sınıflarına karşılık gelen kaydırma adımı kadar kaydırılmasıyla P' olarak gösterilen yeni yüzdelik değerler hesaplanır. Böylece debi süreklilik eğrisinde P' yüzdelik akımına karşılık gelen yeni bir Q' debisi oluşturulur. Bir adımlık kaydırma yüzdelik değerler listesindeki bir sonraki yüzdelik değere geçilerek elde edilir.



Şekil 2.3 *Yatayda kaydırma yaparak çeşitli ÇYS'ler için elde edilen debi süreklilik eğrileri (Smakhtin ve Anputhas, 2006).*

Kaydırılmış eğri altındaki kuyruk kısmında yer alan yeni düşük akımlar lineer interpolasyon uygulanarak tayin edilir. Eğri üzerindeki kaydırmalar neticesinde adımların her birinde bir miktar kayıp meydana gelse de genel olarak akımın değişkenliği muhafaza edilir.

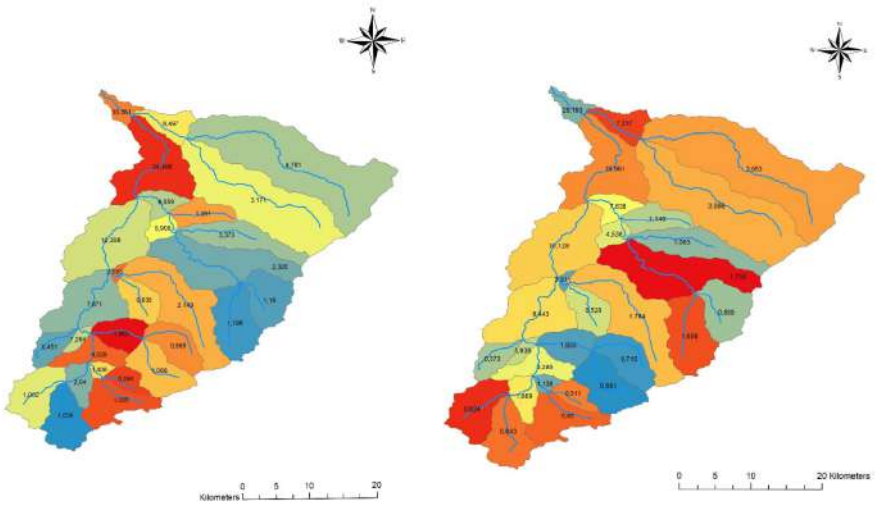
Oluşan debi süreklilik eğrileri asıl olarak akımların geliş sırasını yansıtmadığı için aylık akım zaman serilerine çevrilmesi gerekmektedir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Aylık ortalamalardan yararlanılarak hesaplanmış olan yıllık ortalama çevresel su ihtiyacı her bir yönetim sınıfı için Şekil 3.1 ile Şekil 3.4 arasında sunulmuştur. Metota tanımlanan referans akışlar, halihazırda akarsuda bulunan akışları temsil etmektedir. Alt havzalardaki yıllık ortalama doğal akış değerleri Şekil 3.1'de gösterilmiştir.

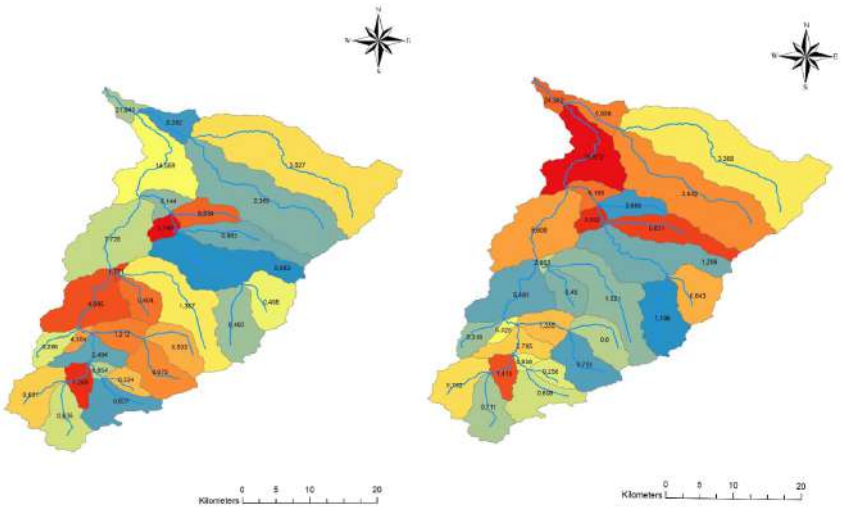
Şekil 3.1. *Fırtına Deresi kollarında referans akışlar (m^3/sn)*

Fırtına Deresi alt havzalarında A ve B çevresel yönetim sınıfı için yıllık ortalama çevresel su ihtiyaçları Şekil 3.2'de sunulmuştur. ÇYS'nin A sınıfı olması hedeflendiğinde su temin projelerine havzada kesinlikle yer verilmemelidir. Ekolojik öneme sahip korunan alanlar ve milli parklar için bu çevresel yönetim sınıfı tercih edilmektedir. Bu yönetim sınıfının hedeflenmesi durumunda sucul ekosistem ve kıyı habitatlarında küçük ölçekli değişiklikler kabul edilebilir fakat nehrin doğallığını etkileyecek önemli değişiklikler söz konusu olamaz.



Şekil 3.2. *GEFC metodu ile A ve B kalite çevresel yönetim sınıfı için yıllık ortalama çevresel su ihtiyaçları (m^3/sn)*

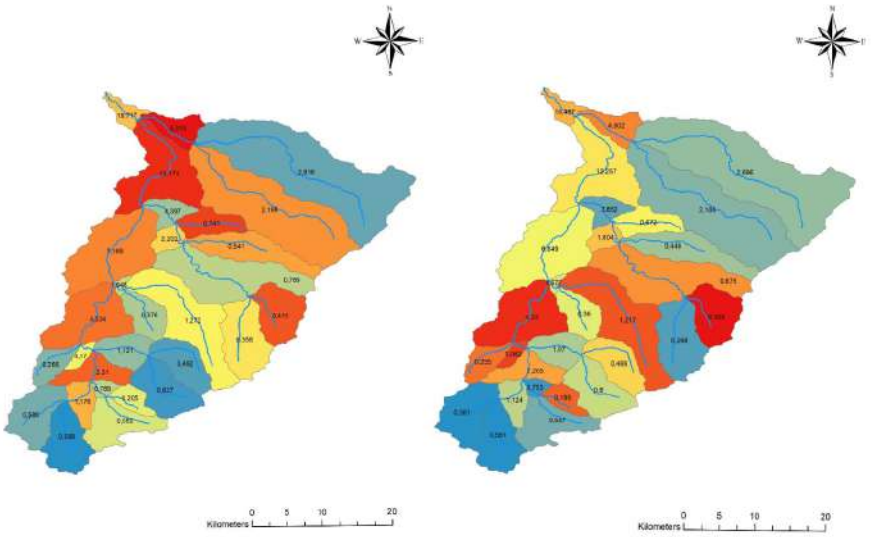
ÇYS'nin B sınıfı olması hedeflendiğinde, havzada ve nehir yatağı boyunca bazı değişiklikler meydana gelebilir fakat bu değişikliklere rağmen akarsudaki biyoçeşitlilik ve habitat büyük oranda korunmaktadır. Su teminiyle ilgili halihazırdaki ve planlanan projeler ÇYS'nin izin verdiği ölçüde hayata geçirilebilir.



Şekil 3.3. *GEFC metodu ile C ve D kalite çevresel yönetim sınıfı için yıllık ortalama çevresel su ihtiyaçları (m^3/sn)*

Fırtına Deresi alt havzalarında C ve D çevresel yönetim sınıfı için yıllık ortalama çevresel su ihtiyaçları Şekil 3.3'de sunulmuştur. Akarsu için sosyoekonomik kalkınmaya duyulan gereksinim gibi nedenlerle (örneğin barajlar) ÇYS'nin C sınıfı olması hedeflendiğinde, habitatta değişiklikler ve su kalitesinde düşme meydana gelebilmektedir. Bunun yanı sıra nehir yatağında yabancı türler ortaya çıkabilir ve bazı hassas türler

kaybolabilir. Bu değişiklikler sonucunda biyotanın habitatları, dinamikleri bozulabilir ve sadece temel ekosistem işlevleri işleyişini sürdürebilecektir.



Şekil 3.4. *GEFC metodu ile E ve F kalite çevresel yönetim sınıfı için yıllık ortalama çevresel su ihtiyaçları (m^3/sn)*

ÇYS'nin D sınıfı olması halinde akarsuda büyük ölçüde değişiklikler meydana gelecektir. Barajlar, havzadan su transferleri vb. sosyoekonomik ihtiyaçlar nedeniyle habitatın büyük bir değişime uğradığı, su kalitesinin düştüğü akarsular bu sınıfta yer almaktadır. D sınıfının hedeflendiği akarsularda doğal yaşam alanlarında büyük değişikliklerin meydana gelmesi beklenmektedir. Tür zenginliğinde azalma, yabancı türlerin hakimiyeti söz konusu olabilmektedir. Sucul ekosistemdeki bozulma açık bir şekilde görülebilir.

Fırtına Deresi alt havzalarında E ve F çevresel yönetim sınıfı için yıllık ortalama çevresel su ihtiyaçları Şekil 3.4'de sunulmuştur. ÇYS'nin E sınıfı olması hedeflendiğinde, akarsuda ciddi değişiklikler meydana gelebilmektedir. Yüksek nüfus yoğunluğu, büyük oranda su kaynakları kullanımı ile habitat çeşitliliği oldukça azalmış ve tür zenginliği büyük ölçüde düşmüş akarsulardır. Yabancı türler ekosistemi tümüyle istila eder. Tüm bunlar göz önüne alındığında bu sınıf bir yönetim hedefi olarak kabul edilmemelidir ve akış düzenini eski haline getirebilecek yönetim müdahaleleri gerekmektedir. Daha yüksek yönetim sınıfları hedeflenmelidir.

ÇYS'nin F sınıfı olması hedeflendiğinde, sucul ekosistem tümüyle değiştirilmiş olacaktır. Bu sınıfın kabul edilmesi durumunda tüm sucul ekosistemin tamamen kaybedilmesi söz konusudur. Temel ekosistem işlevlerinin yok edilmesi nedeniyle değişiklikler geri alınamaz düzeye gelebilmektedir. Bu bir su kaynağının yönetimi açısından kabul edilebilir bir durum değildir. Akarsuyun daha yüksek seviyede bir yönetim sınıfına taşınması için ciddi yönetim müdahaleleri ile akış düzeni ve akarsu habitatları yeniden kurulmalıdır.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sucul ekosistemlerin korunması için çevresel su ihtiyacının göz önüne alınarak su kaynaklarının planlanması zorunluluk haline gelmiştir. Bu çalışmada GEFC (Global Environmental Flow Calculator) metodu kullanılarak Fırtına Deresi havzasında çevresel su ihtiyacı hesaplamaları 28 alt havzanın mansabı için yapılmıştır. Alt havza içerisinde yer alan akarsu kolu boyunca istenilen kesitte çevresel su ihtiyacı tahminleri gerek duyulması halinde yapılmalıdır.

Fırtına Deresi sucul ekosistem açısından büyük öneme sahip, koruma değeri yüksek olan bir akarsuyumuzdur. Halihazırda havza milli park olarak ilan edilmiştir. Bu nedenlerle A kalite çevresel yönetim sınıfı hedefiyle yönetilmesi tavsiye edilmektedir. Bu çerçevede Fırtına Deresinin doğal halinin korunması gerekmektedir ve su kullanımıyla ilgili projelere izin verilmemelidir.

Çevresel su ihtiyacı hesaplamalarında çoğunlukla tercih edilen tek bir akış değeri yerine her bir alt havza için ayrı ayrı çevresel su ihtiyaçları hesaplamaları bu çalışma kapsamında yapılmıştır. Hedeflenen çevresel yönetim sınıfı, akarsudaki doğal akışın belirli bir yüzdesinin çevresel su ihtiyacı olarak bırakılmasını öngörmektedir. Mevcut durum ve gelişmeler göz önüne alınarak havza ve akarsuya uygun çevresel yönetim sınıfı belirlenmeli ve çevresel su ihtiyacı hesaplamaları sonucu elde edilen miktar akarsu yatağına bırakılmalıdır. A kalite çevresel yönetim sınıfı için su potansiyelinin minimum %73,5'i maksimum %82,2'si, B kalite çevresel yönetim sınıfı için su potansiyelinin minimum %53,5'i maksimum %68,2'si, C kalite çevresel yönetim sınıfı için su

potansiyelinin minimum %38,7'si maksimum %58,2'si, D kalite çevresel yönetim sınıfı için su potansiyelinin minimum %28,4'ü maksimum %52,3'ü, E kalite çevresel yönetim sınıfı için su potansiyelinin minimum %22,0'si maksimum %48,6'sı ve F kalite çevresel yönetim sınıfı için su potansiyelinin minimum %18,3'ü maksimum %46,5'i akarsu yatağında bulunmalıdır.

Minimum yıllık ortalama çevresel su ihtiyacı R4 alt havzasında 0,394 m^3/sn, maksimum yıllık ortalama çevresel su ihtiyacı ise R16 alt havzasında 35,56 m^3/sn olarak A kalite ÇYS için hesaplanmıştır.

Çevresel su ihtiyacı hesaplamalarında birden fazla yöntem kullanılmaktadır. Bu çalışma da kullanılan yöntemin yanı sıra özellikle Fırtına Deresi gibi ekolojik önemi yüksek havzalarda, hidrolojik temelli çevresel su ihtiyacı hesaplama metotları dışında ekosistemin yapı ve fonksiyonunu esas alan hesaplama yöntemlerinin kullanılması (Habitat Simülasyon Yöntemleri gibi) önerilmektedir.

GEFC (Global Environmental Flow Calculator) metodu hidrolojik bir yöntemdir. Diğer hidrolojik çevresel su ihtiyacı yöntemleriyle hesaplamalar yapılarak kıyaslamalar yapılabilir. Ayrıca gelecekteki iklim dinamiklerinin çevresel su ihtiyacı miktarlarında nasıl bir değişikliğe neden olacağı araştırılmalıdır.

5. KAYNAKÇA

[1]. Hirji, R., & Davis, R. (2009). Environmental flows in water resources policies, plans, and projects: findings and recommendations. *World Bank Publications*.

[2]. Hughes, D. A. (2001). Providing hydrological information and data analysis tools for the determination of ecological instream flow requirements for South African rivers. *Journal of hydrology*, *241*(1-2), 140-151.

[3]. Smakhtin, V. U., & Anputhas, M. (2006). *An assessment of EF requirements of Indian river basins*. Research Report 107, International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka.

[4]. Doğu, A. F., Somuncu, M., Çiçek, İ., Tunçel, H., & Gürgen, G. (2018). Kaçkar Dağında buzul şekilleri, yaylalar ve turizm. *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi*, *36*(1-2).

Teşekkür

Bu çalışma 116Y447 nolu proje ile TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederim.

QUANTIFICATION OF STREAM METABOLISM AS A RESULT OF CARBON AND NITROGEN DYNAMICS: NORTHEAST TURKEY

Kadir Yıldız[1]*, Fatih Evrendilek[2], Şeref Kılıç[3] ,Ayfer Özdemir[4] , Eslem Çınar[5], Nusret Karakaya[6]

[1] Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü 14100, Merkez/BOLU kadiryildiz19@gmail.com*

[2] Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü 14100, Merkez/BOLU fevrendilek@ibu.edu.tr

[3] Akdeniz Üniversitesi, Park ve Bahçe Bitkileri Bölümü 07500, Serik/ANTALYA serefkilic@akdeniz.edu.tr

[4] Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, 06560, Yenimahalle/ANKARA ozdemir.ayfer@gmail.com

[5] Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü 14100, Merkez/BOLU eslem1995@hotmail.com

[6] Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü 14100, Merkez/BOLU n_karakaya@ibu.edu.tr

Özet

Toprak organik karbon ve azot (SOC-N) ve nehir metabolizması bileşenleri, sırasıyla karasal ve sucul ekosistemlerde insan kaynaklı bozulmaların en önemli göstergelerinden biridir. Bununla birlikte, uluslararası literatürde TOC-N ve nehir metabolizması bileşenlerinin entegrasyonu hakkında hala önemli bilgi boşlukları bulunmaktadır. Özellikle, iklim, arazi kullanımı ve arazi örtüsü (AKAÖ) ve yönetim uygulamaları arasındaki etkileşimlerin nasıl ölçüleceği ve bu nicelemelerin girdi olarak karar destek sistemlerine nasıl bağlanacağı ile ilgili sorunların acilen çözülmesi gerekmektedir. Bu nedenle, bu sorunları çözmek için, Ardahan ilinde yer alan yağmurla beslenen tarım (ve diğer AKAÖ) alanlarının (1) havza ölçeğinde (Tepeler) C ve N bütçe dinamiklerinin aylık bazda 1 km^2 mekansal çözünürlüklü olarak nicelleştirilmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır.; (2) havza ölçeğinde yüzey suyu metabolizması dinamiklerinin; (3) TOC-N bütçelerinin yüzey suyu metabolizması dinamikleri üzerindeki etkileri; ve (4) iklim ve yönetim uygulamalarının bir fonksiyonu olarak yüzey suyu metabolizmasındaki değişikliklerin modellenmesi çalışmaları yapılmıştır.

Abstract

Soil organic carbon and nitrogen (SOC-N) and river metabolism components are the ones of the most important indicators of human-induced disturbances of the terrestrial and aquatic ecosystems, respectively. However, there still exist significant knowledge gaps about the integration of the SOC-N and river metabolism components in the international literature. In particular, the issues remain to be urgently resolved with how the interactions among climate, land use and land cover (LULC), and management practices are to be quantified and how to couple these quantifications to decision-support systems as the inputs. Therefore, to resolve these issues, the studies aimed at the quantification of (1) the watershed-scale (Tepeler) C and N budget dynamics of rainfed agricultural (and other LULC) areas located in the Ardahan province on a monthly basis at a spatial resolution of 1 km2; (2) the watershed-scale of surface water metabolism dynamics; (3) the effects of the SOC-N budgets on the surface water metabolism dynamics; and (4) the modeling of changes in the surface water metabolism as a function of climate and management practices.

Keywords: Basin, Climate Change, SOC-N, Stream Metabolism, Modelling

1. INTRODUCTION

Spatial-temporally dynamic TOC-N components, terrestrial ecosystems and metabolic components are among the most important indicators of human pressures on aquatic ecosystems. The quantification of these dynamics allows a better understanding of the complex interactions between drivers, pressures, situations, effects and measures. The general purpose of this study is as follows;

1. Quantifying C and N budget dynamics of different land use and land cover in the province of Ardahan on a basin scale on 1 km^2 and monthly basis

2. Quantification of metabolic dynamics of surface waters in Ardahan province at basin scale

3.Quantitating the effects of C and N budgets on surface water metabolism dynamics

4. Modeling changes in surface water metabolism dynamics due to changes in climate and management practices

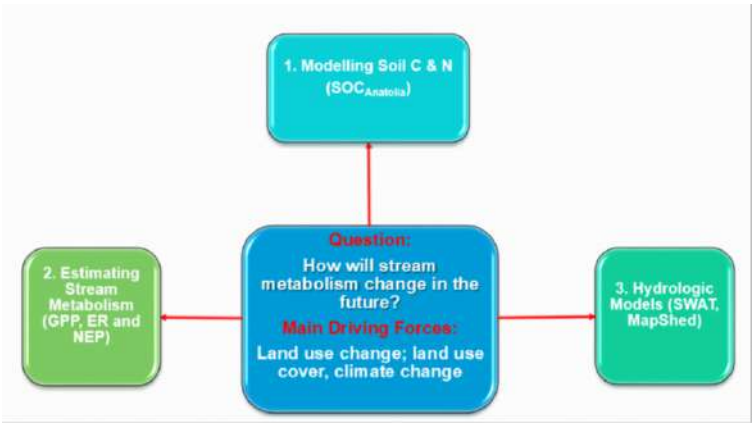


Figure 1. Conceptual schema of study

1.1. Study Area

Ardahan is located within the study area is located in north-east Turkey. It is the micro-basin study area, which is the drainage area of a tributary of the Kura river, which runs through the middle of the city. This micro basin has an aquatic and terrestrial surface area of approximately 56 km^2 and is at an altitude of approximately 1900 meters. The average slope of the study area is 13 ± 11%. Turkey geology map (MTA), the dominant geological structure "Quaternary andesite" is made from. The dominant soil type according to the WRB Soil Classification system is Haplic Chernozems, and according to the USDA Soil Classification system, Aquolls, Cryolls and Ustolls.

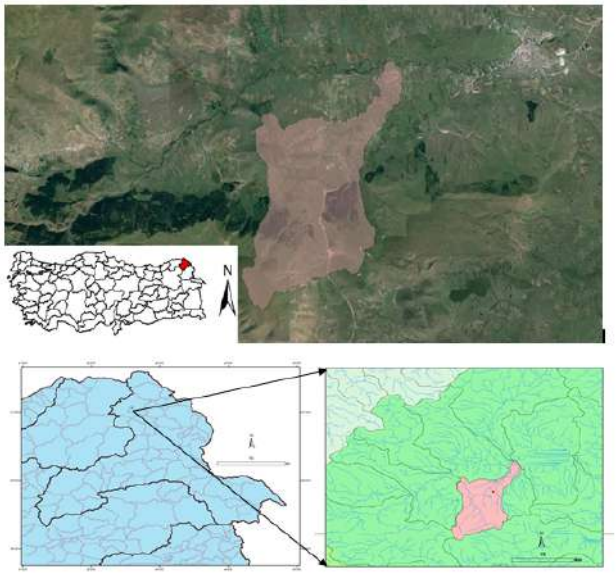


Figure 2. Satellite image of the study area and general view of the basin

2. MATERIAL METHOD

For the estimation of stream metabolism components, monitoring stations were established at the points given in Figure 3 and necessary measurements (dissolved oxygen concentration, dissolved oxygen saturation percentage, water temperature, flow rate, water speed, water depth) were made on site. In addition, water samples were collected at these points and water quality was monitored.

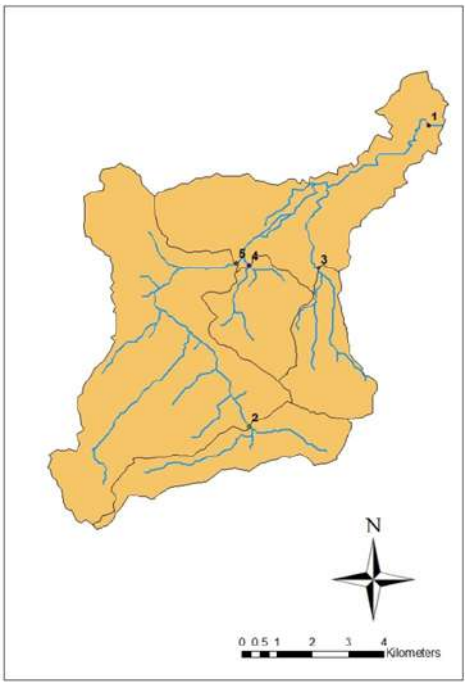


Figure 3. Location of monitoring stations

For the determination of soil sampling points, firstly the whole study area is divided into equal squares of 1 km^2. Systematic-random sampling points were created over ArcGIS in a structure with a minimum distance of 100 meters between each sampling point in these isometric squares (See Figure 4). Then, taking into account the criterion of finding different land types among all these isometric squares, 97 sampling points in 31 isos were selected.

2.1. SOC-NAnatolia Model

Within the scope of the project, the SOC-NAnatolia model, which works on a monthly time scale and 1 km2 space scale, has been developed to quantify C and N dynamics in soil. The modeling process was completed in three stages as parameterization, calibration and scenario analysis. In the parameterization phase, for the SOC stock initial values, the 2018 field data (SOC-N) and the coefficients of the CENTURY and SOCRATES models were used.

The the SOC-NAnatolia model has been developed using the STELLA programming language. The four surface and subsurface structural and metabolic debris stocks adopted in the CENTURY model were reduced to two metabolic and structural debris stocks in the the SOC-NAnatolia model. Likewise, the four SOC-N pools of the CENTURY model were transformed into three SOC-N tanks in the the SOC-NAnatolia model, active, slow and passive. The 3, 37 and 60% fractions have been adopted in dividing the total TOC stock into active, slow and passive pools. The model has eight different model outputs focused on. These are given below (Table 1).

Table 1. Model Outputs

Model Outputs	**Unit**
Monthly NPP	t C/ha/month
C:N ratio	-
Total SOC stock	t C/ha/year
Total SON stock	t N/ha/year
Total Soil Respiration	t C/ha/month
Atmospheric Total N (N_2O+NO) Exhausted	t N/ha/month
Total sediment C-N Yield	t C/ha/month - t N/ha/month

2.2. Estimation of Stream Metabolism Components

The equation used to calculate the components (GPP, NEP and R) that make up its metabolism is given below:

$\Delta O2 / \Delta t = GPP-ER \pm F \pm A$

Here $\Delta O2 / \Delta t$ (mg O_2 m^{-3} $hours^{-1}$) changes dissolved oxygen concentration over time, GPP (mg O_2 m^{-3} $hours^{-1}$) gross ecosystem production, ER (mg O_2 m^{-3} $hours^{-1}$) ecosystem respiration, F atmospheric oxygen exchange (mg O_2 m^{-2} h^{-1}) and A (mg O_2 m^{-3} h^{-1}) include other processes that cause changes in dissolved oxygen concentration (eg horizontal and vertical advection). The F value is positive if the measured dissolved oxygen concentration is below the saturation value and negative if it is above the saturation value. The F value is calculated by the following equation:

F (mg O_2 m^{-2} $hours^{-1}$) = k (DO - Cs)

Here, DO (mg L^{-1}) indicates the dissolved oxygen concentration, Cs (mg L^{-1}) the saturation value of the dissolved oxygen concentration k (m $hour^{-1}$) indicates the atmospheric oxygen exchange coefficient. Cs is calculated with the help of the following equation:

$$LnCs = -139.34411 + (1.575701 \times 105 / T) - (6.642308 \times 107 / T2) + (1.243800 \times 1010 / T3) - (8.621949 \times 1011 / T4)$$

Here T (°C) indicates the water temperature.

2.3. Hydrological Models

Within the scope of the study, two different hydrological models were used. One of the models is MapShed and the other is SWAT model. Nash-Sutcliffe coefficient (NS) was used as model performance parameter. NS is the preferred size for determining the performance of hydrological models. Data belonging to the D24A053 numbered measurement station (42 ° 29 'East and 41 ° 4' North) were used for calibration studies. Since there is no long-term observation data in the study area, the data obtained from station number D24A053 were used by being carried downstream of the study area. The data obtained from the meteorology station in Ardahan city center were used in hydrological modeling studies. Modeling studies were carried out between 2006-2014.

MapShed; is a geographic information systems (GIS) based basin modeling tool. This program replicates the usage functionality of a software known as AVGWLF, previously developed by the Pennsylvania State Energy and Environment Corporation (PSIEE) (Evans et al., 2002). MapShed uses a newer MapWindow GIS software package and is publicly available (www.mapwindow.org). Similar to AVGWLF, MapShed; It provides a link between GIS and the enriched GWLF basin model and has a graphical interface that allows automatic input data into the model.

Another model used in hydrological model studies is the SWAT model. The difference in evaporation and transpiration according to plant and soil diversity in the model requires the basin to be divided into sub-units. For this purpose, hydrological treatment units (HIB) are used, which consist of combinations of land use classes, soil types and slope classes, allowing a more detailed study of each sub-basin. In this way, the amount of runoff in each HIB and the total amount of water in the basin are estimated.

3. RESULTS

The four main drivers of global climate change, (1) aridity change, (2) CO2 fertilization, (3) LULC transformations and (4) best management practices have been integrated into the SOC-NAnatolia model. Thus, the "interaction effects" of these four motivators on the eight model outputs were quantified.

According to the "interaction effects" scenario; The SOC stock value modeled at the present time will be 26.4% (389.2 t C / ha / month), 33.2% (349.5 t C / ha / month) and 31.4% (342.7 t C / month) for forest and crop areas, meadows and pastures, respectively, by 2070. Until 2070, the stock value of SON is 19.2% (28.58

t N / ha / month), 2.4% (24.69 t N / ha / month) and 1.12% (24.24 t N / ha / month) for forest and crop areas, meadows and pastures, respectively, rate will increase.

According to the "interaction effects" scenario; The amounts of C transported by sediment are 49.18% (1.81x10-3 t C / ha / month), 33.35% (1.65x10-3 t C / ha / month) and 31.36% for forestry and crop areas, meadows and pastures, respectively, by 2070. (1.59x10-3 t N / ha / month). The increase in N amounts transported by sediment until 2070 is 1.01% (1.33x10-6 t N / ha / month), 2.4% (2.40x10-6 t N / ha / month) for forestry and crop areas, meadows and pastures, respectively. It will be 1.68% (1.31x10-6 t N / ha / month).

Table 2. Model performance coeffients

Performance coefficient	**SOC**	**SON**
MAE	42.21	4.67
RMSE	54.81	5.58
RRMSE	0.23	0.24

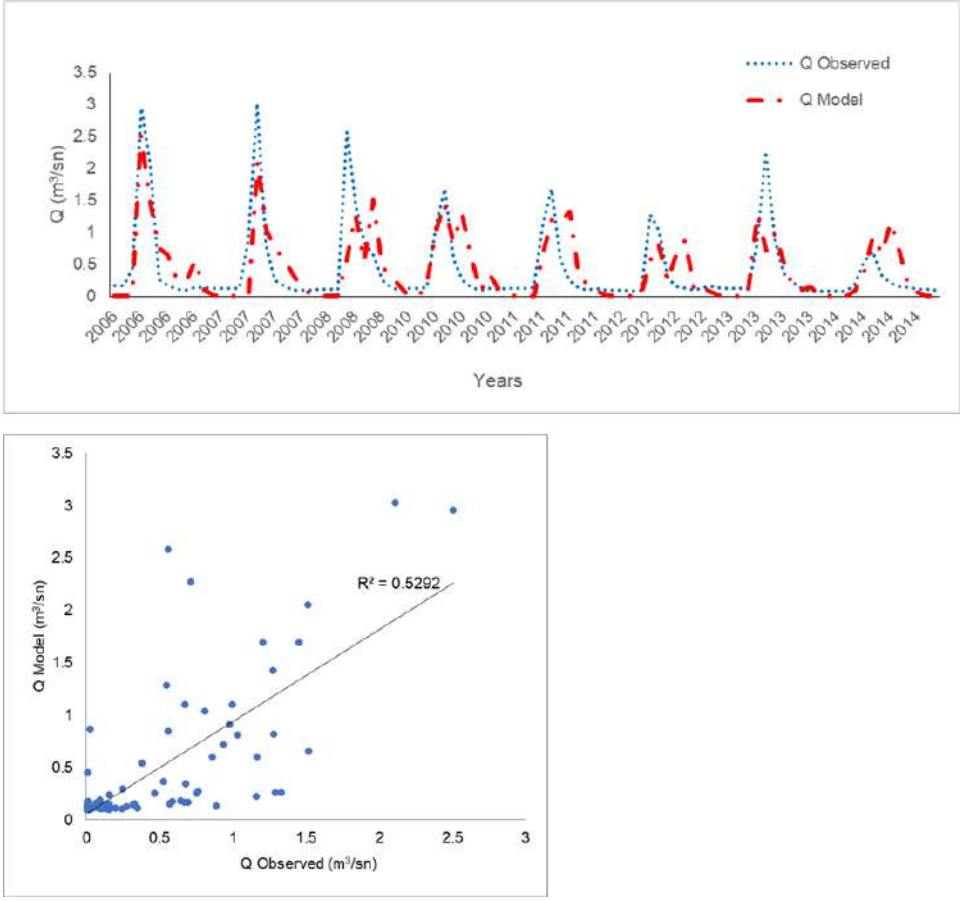
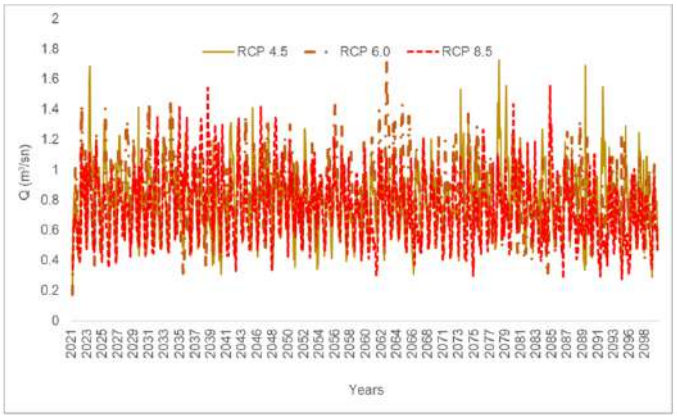


Figure 3. Hydrological Model Results

For hydrological models 3 different RCP scenario was carried out between 2021/2070. The scenario analyses results can founded below (Figure 4);



Scenario	Between 2021 and 2030	Between 2031 and 2040	Between 2041 and 2050	Between 2051 and 2060	Between 2061 and 2070
HadGEM 4.5	82.93	77.64	88.07	70.53	79.87
HadGEM 6.0	92.62	91.29	99.25	94.55	109.45
HadGEM 8.5	65.60	97.61	82.17	75.49	67.56

Figure 4. RCP Scenario Analyses Results

Statistical model for GPP (R^2_{adj} = %92.20; R^2_{tah} = %91.98; SE = 0.32; n = 58; $p \leq 0.0001$)

Term	Coefficient	SE	*T*-value	*p*-value	VIF
Q	0.303	0.2	1.51	0.136	1.15
C/N	0.10261	0.00431	23.83	0.0001	1.15

Statistical Model for ER (R^2_{adj} = % 93.91; R^2_{tah} = 93.99%; SE = 0.35; n = 58; $p \leq 0.0001$)

Term	Coefficient	SE	*T*-value	*p*-value	VIF
Q	0.334	0.222	1.5	0.139	1.15
C/N	0.13048	0.00478	27.3	0.0001	1.15

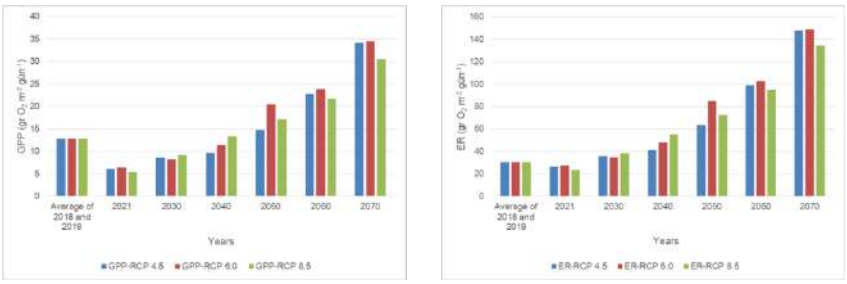


Figure 5. Results of Estimation Stream Metabolism

4. DISCUSSION

The SOCAnatolia model can be applied in different biomes of the world, but the hydrological additions of the model can be developed and applied. In this study, k coefficient was calculated with 7 different methods. Instead of calculating the k coefficient with empirical equations in rivers, it is important to obtain the area-specific k coefficients by experimental studies. In addition, continuous measurement of dissolved oxygen concentration for at least 30 hours for stream metabolism estimation, as well as continuous measurement of flow, water velocity and water depth will reduce the uncertainties in river metabolism estimates.

5. ACKNOWLEDGMENTS

This research was funded by the Turkish Scientific and Technological Research Council (TÜBİTAK) under the Grant Number 117Y193.

6. Kaynakça

[1]. Grace, P.R., Ladd, J.N., Robertson, G.P., Gage, S.H. 2006. "SOCRATES—A simple model for predicting long-term changes in soil organic carbon in terrestrial ecosystems", Soil Biology & Biochemistry 38: 1172–1176.

[2]. Goudriaan, J., Zadoks, J.C. 1995. "Global climate change: modelling the potential responses of agro-ecosystems with special reference to crop protection", Environmental Pollution, 87:215-224.

[3]. Evrendilek, F., Wali, M.K. 2001. "Modelling long-term C dynamics in croplands in the context of climate change: a case study from Ohio". Environmental Modelling and Software, 16 (4), 361–375.

[4]. Haith, D.A. 1993. "RUNQUAL: Runoff Quality from Development Sites: Users Manual". Dept. Agricultural and Biol. Engineering, Cornell University, 34 pp.

[5]. Hanson, P.C., Carpenter, S.R., Kimura, N., Wu, C., Cornelius, S.P., Kratz, T.K. 2008. "Evaluation of Metabolism Models for Free-Water Dissolved Oxygen Methods in Lakes", Limnology and Oceanography Methods, 6:454–465.

[6]. Huber, W.C., Dickinson, R.E. 1988. "Storm water management model, version 4: User's manual". Cooperative agreement CR-811607. U.S. Environmental Protection Agency, Athens, GA.

[7]. Mulholland, P.J., Houser, J.N., Maloney, K.O. 2005. "Stream Diurnal Dissolved Oxygen Profiles as Indicators of in Stream Metabolism and Disturbance Effects: Fort Benning as a Case Study", Ecological Indicators, 5:243–252.

[8]. Parton, W.J., Scurlock, J.M.O., Ojima, D.S., Gilmanov, T.G., Scholes, R.J., Schimel, D.S., Kirchner, T., Menaut, J.C., Seastedt, T., Garcia Moya, E., Kamnalrut, A., Kinyamario, J.L. 1993. "Observations and modeling of biomass and soil organic matter dynamics for the grassland biome worldwide", Global Biogeochemical Cycles, 7:785-809. 672.

[9]. Randerson, J.T., Thompson, M.V., Conway, T.J., Fung, I.Y., Field, C.B. 1997. "The contribution of terrestrial sources and sinks to trends in the seasonal cycle of atmospheric carbon dioxide", Global Biogeochem. Cycles, 11, 535–560.

[10]. Staehr, P.A., Sand-Jensen, K. 2007. "Temporal Dynamics and Regulation of Lake Metabolism", Limnology and Oceanography, 52:108–120.

[11]. Yildiz, K., Karakaya, N., Kilic, S. Evrendilek, F. 2020. "Interaction effects of the main drivers of global climate change on spatiotemporal dynamics of high altitude ecosystem behaviors: process-based modeling". Environmental Monitoring & Assessment 192, 457.

YÜZEYSEL SU KAYNAKLARINDA ÖNCELİKLİ KİRLETİCİLERİN İZLENMESİ VE GİDERİM YÖNTEMLERİ

Enes Özgenç[1,*], Süreyya Meriç Pagano[2]

[1], Trakya Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Çevre Sağlığı Programı, 22030, EDİRNE enesozgenc@trakya.edu.tr*

[2] Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Çorlu Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 59860, Çorlu/TEKİRDAĞ smeric@nku.edu.tr

Özet

Mikrokirleticilerin birikmesi ve su ortamında giderek artan konsantrasyonları dünyada su kalitesi için ortaya çıkan öncelikli bir sorun haline gelmiştir. Karmaşık maruz kalma senaryolarının yanı sıra, mikrokirleticilerin kimyasal yapısı ve çeşitlilikleri, araştırmacılar ve çevre politikacıları ve teknoloji girişimleri için önemli zorlukları ortaya koymaktadır. Mikrokirleticiler su ortamına hem yaygın hem de nokta kaynaklardan girmekle birlikte şehirleşmiş bölgelerde atıksu arıtma tesisleri bunların yayılmasında çok önemli bir rol oynamaktadır. Konvansiyonel su/atıksu arıtma tesisleri, bu bileşiklerle mücadelede doğal sınırlamalarla karşı karşıya kalmaktadır ve bu da temiz ve güvenli su kaynaklarının sağlanmasında zorluklara yol açmaktadır. Diğer bir deyimle, konvansiyonel atıksu arıtma tesisleri makrokirleticilerin giderilmesinde etkili olmakla birlikte ikincil veya ileri arıtma prosesleri ile entegre edilmiş atıksu arıtma tesislerinde mikrokirleticiler yeterli düzeyde giderilebilmektedir. Bu çalışmada, yüzeysel su ortamlarında endişe yaratan mikrokirleticiler ve metabolitleri, bu kirleticilerle ilgili yasal yönergeler ve mikrokirleticilerin çevrede oluşturacabileceği riskler ile bunların su ortamından giderilmesi için uygulanan ileri oksidasyon prosesleri ele alınacaktır.

Abstract

The accumulation of micropollutants and their ever increasing concentration in the aquatic environment has become a priority problem for water quality in the world. As well as the complex exposure scenarios, the chemical makeup and diversity of micropollutants have presented significant challenges for researchers and environmental policymakers and technology initiatives. With micropollutants enter the aquatic environment from both common and point sources, wastewater treatment plants in urban areas play a very important role in their spread. Conventional water/wastewater treatment plants have faced natural limitations cope with these compounds, leading to difficulties in providing clean and safe water sources. In other words, while conventional wastewater treatment plants are effective in removing macropollutants, micropollutants can also be adequately removed in wastewater treatment plants integrated with secondary or advanced treatment processes. In this study, micropollutants of concern in surface water environments and their metabolites, legal regulations regarding these pollutants and the risks that micropollutants may pose in the environment and advanced oxidation processes applied to remove them from the aquatic environment will be discussed.

Keywords: *Micropollutants, Water Framework Directive, Environmental Quality Standards, Advanced Oxidation Processes*

1. GİRİŞ

Hızlı gelişen teknoloji ile birlikte su ihtiyacı tarımsal, kentsel, endüstriyel ve rekreasyonel amaçlar için artış göstermiştir. Buna bağlı olarak su ortamlarında oluşumu ve çeşitliliği hızlanan mikrokirleticilerin çok küçük konsantrasyonlarda bile yaban hayatı ve insan sağlığı üzerindeki potansiyel olumsuz etkileri, dünya çapında giderek artan endişe konusu haline gelmiştir. Mikrokirleticiler inatçı moleküller olarak hem çevresel bölmelerde hem de yağda çözünür oldukları için hayvan dokularında ve sıvılarında birikme eğilimindedirler. Ayrıca, trofik zincir boyunca bir biyomagnifikasyon etkisi vermekle beraber insanlar üzerinde de biyolojik birikim riskine maruz bırakmaktadır.

Mikrokirleticiler, su ortamına hem noktasal hem de noktasal olmayan kaynaklar yoluyla girebilmektedir. Ancak, kentleşmiş bölgelerde atıksu arıtma tesisleri (AAT'ler) bunların yayılmasında çok önemli bir rol oynamaktadır. Bu bileşiklerin birçoğu doğrudan veya dolaylı olarak fotodegradasyon yoluyla fotoaktiftir. Organik mikrokirleticiler grubundan başta pestisitler ve ilaçların etken maddeleri besin zincirine girebilmekte ve metabolitleri AAT'ler vasıtasıyla yüzey sularına deşarj edilmektedir. Bu kirletici maddelerin çevreye salınması, üretim, depolama, nakliye veya endüstriyel kullanım sırasında ve atık depolama alanlarından sızıntı ve buharlaşma yoluyla da meydana gelebilmektedir.

Konvansiyonel su/atıksu arıtma tesisleri, bu bileşiklerle mücadelede doğal sınırlamalarla karşı karşıya kalmaktadır ve bu da temiz ve güvenli su kaynaklarının sağlanmasında zorluklara yol açmaktadır. Özellikle ikincil arıtılmış atıksularda yeterli düzeyde giderilemeyen mikrokirleticilerin varlığı yeni bir endişe kaynağıdır. Ekotoksikolojik riskleri yüksek olan bu mikrokirleticiler içme suyu için kullanılan yeraltı ve yüzey sularında düşük konsantrasyonlarda tespit edilebilmektedir. Doğadaki düşük konsantrasyonları ve çeşitliliği ile mikrokirleticileri gidermede birçok zorlukla karşı karşıya kalınmaktadır. Bu nedenle (i) adsorpsiyon, (ii) oksidasyon ve ileri oksidasyon prosesleri (O_3 ve O_3 bazlı ileri oksidasyon prosesleri, UV/H_2O_2), (iii) membran prosesler ve (iv) membran biyoreaktörler gibi ileri arıtma yöntemleri mikrokirleticilerin giderilmesi açısından kaçınılmaz bir yaklaşım olarak görülmektedir. Atıksularda bulunan mevcut miktokirleticilerin ileri arıtım teknikleri ile üçüncül arıtım yapıldıktan sonra deşarj edilmesi çevre ve halk sağlığı tehditlerini giderme açsından zaruri bir ihtiyaç olarak görülmektedir.

Dünyada su kalitesi, güvenli ve temiz suya olan talebin artması nedeniyle çevre politikaları gündeminin öncelikli konularından biri haline gelmiş durumdadır. AB ülkelerinin su kaynaklarını geliştirme projelerini tamamlamış olması ve mevcut kaynaklarının daha etkin ve verimli bir şekilde kullanabilmesi su çerçeve direktiflerinin yasa haline gelmesine sebep olmuştur. Avrupa düzeyinde iyi bir kimyasal ve ekolojik duruma ulaşmak için kirliliği kontrol altına alma adına özel önlemler içeren bir su koruma stratejisi oluşturulmuştur. Önemli yenilikleri kapsayan ve 2000/60/EC Çerçeve Direktifi'nde tanımlanan kalite durumunu oluşturmak ve nihayetinde kurtarmak ve su ortamını izleme ihtiyacı gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bu direktif, suya tehlikeli maddelerin ulaşmasını azaltmak için yasal çerçeveyi derinlemesine değiştirerek öncelikli kirleticilerin kontrolünü amaçlamaktadır.

Bu çalışma kapsamında yüzeysel su ortamında endişe yaratan mikrokirleticiler ve metabolitleri, bu kirleticilerle ilgili yasal yönergeler ve mikrokirleticilerin çevrede oluşturabileceği riskler ile bunların su ortamından giderilmesi için uygulanan ileri oksidasyon prosesleri ile arıtma üzerine odaklanılacaktır.

Bilimsel literatürde hızla artan sayıda yayılan ilaçların çevre oluşumu, etkileri ve giderimi üzerinde yoğunlaşırken henüz sınırlı sayılabilecek özellikle mikrokirleticilerin karmaşık çevresel karışımları ve onların metabolitlerine odaklanmıştır. Bu çalışmanın amacı, mikrokirleticilerin ve bu bileşiklerin metabolitleri ve dönüşüm ürünlerinin, üretim ve tüketim faaliyetleri sonucu yeraltı ve yüzey sularına karışmaya eğilimli olduğuna ve durumun ciddiyetine işaret etmek, yüzey sularındaki mikrokirleticilerin varlığını özetlemek, ülkemizde ve dünyada yapılan çalışmaların incelemesini sağlamak ve daha fazla çalışma için stratejiler sağlamaktır.

2. MATERYAL ve METOT

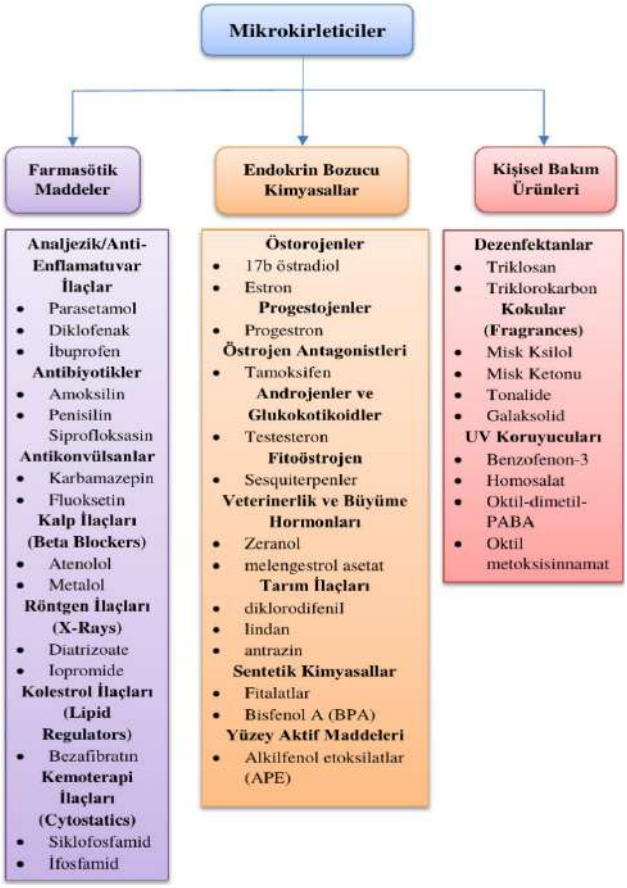
2.1. Öncelikli Kirleticiler

Son yıllarda su ortamında mikrokirleticilerin tespit edilmesi, küresel ölçekte önem kazanan bir çevre sorunu haline gelmiştir ve suyun hayati önemine ilişkin giderek artan farkındalık, suyun korunmaya değer bir kaynak olarak görülmesine de yol açmış durumdadır.

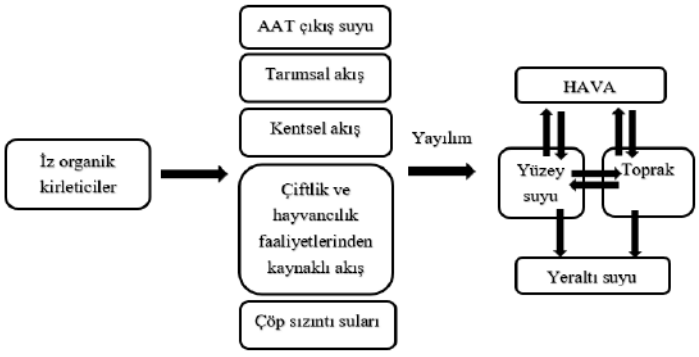
Sularda mikrokirleticiler birçok farklı kaynaktan ortaya çıkabilmektedir. Mikrokirleticiler üretim şekline, metabolitlerine ve nasıl kullanıldıklarına bağlıdır. Günümüzde çeşitli amaçlar için kimyasal kullanımının oldukça fazla olduğu su götürmez bir gerçektir ve bu sebeple mikrokirleticiler tarımsal, evsel ve endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanabilmektedir. Öncelikli kirleticiler farmasötikler, antibiyotikler, kişisel bakım ürünleri, dezenfektanlar, steroid hormonlar, yüzey aktif maddeler, pestisitler, endüstriyel kimyasallar gibi kategorileri içermektedir. Farmasötikler ve kişisel bakım ürünleri (PPCP), herbisitler, endokrin bozucular (EB), ftalatlar, polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH), poliklorlubifeniller (PCB), pestisitler, organofosforlu insektisitler, organoklorlu böcek öldürücüler, piretroid böcek öldürücüler, klorlu çözücüler, aromatik organoklor bileşikleri, dioksinler, bromlu difenil eterler, bitki büyüme düzenleyiciler, kirlenme önleyici biyositler, alkilfenoller (yüzey aktif madde metabolitleri), perflorlu yüzey aktif maddeler, benzen, kinolin mantar ilacı, kloroalkanlar, hekzabromosiklododekan, solventler, radyonükleidler, yüzey aktif maddeler, ağır metaller, mikroplastikler,

fosfor alev geciktiriciler gibi birçok farklı grup bileşikleri kentsel atıksulardaki mikrokirleticiler arasında bulunmaktadır [1-3]. Başlıca mikrokirletici grupları Şekil 1'de özetlenmiştir.

Mikrokirletici kaynakları çeşitlidir. Şekil 2'de gösterildiği gibi kirleticiler kentsel yüzey akışı, tarımsal yüzey akışı, belediye ve endüstriyel atıksu arıtma tesislerinden gelen atıklar gibi çeşitli yollarla su ortamına ulaşmaktadır. Mikrokirletici kaynakları arasında kentsel ve tarımsal yüzey akışları, depolama sahası sızıntı suyu ve atıksu arıtma tesisi atıksuları, kirletici emisyonlarının ana kaynakları olarak kabul edilmektedir.



Şekil 1. Mikrokirleticilerin çeşitleri ve sınıflandırılması [4].



Şekil 2. Kirleticilerin çevreye yayılım yolları [5].

PPCP'ler de ortaya çıkan en önemli kirletici gruplarından birisi olmakla beraber insan ve veteriner hastalıklarını tedavi etmek veya kişisel hijyeni korumak için kullanılan geniş bir kimyasal yelpazesini içermektedir. Çevreye salıverilmeleri ile birlikte, PPCP'ler kaygı verici kirleticiler olarak ortaya çıkmaktadır. PPCP'ler, çeşitli

yollardan su ortamına girmektedir. Bu kirleticiler başlıca atıksu arıtma tesislerinden (AAT'ler) ve düzenli depolama alanlarından sızmaktadır [6]. Yeraltı suyundaki PPCP'lerin oluşumu nokta kaynaklar ve noktasal olmayan kaynaklardan meydana gelebilmektedir. Yeraltı sularında sıklıkla tespit edilen PPCP serileri arasında antibiyotikler (sülfonamidler, florokinolonlar ve makrolidler gibi), antiinflamatuar ve analjezik ajanlar (ibuprofen, diklofenak, ketoprofen ve salisilik asit gibi), antiepileptik ilaçlar (karbamazepin), antipiretik analjezikler (paratemol ve antipirin), tonerler (iopamidol ve diatrizoik asit gibi) ve antibakteriyel ajanlar (triklosan ve triklokarban) bulunmaktadır [7]. Ayrıca, bu öncelikli kirletici grubu tam olarak insanlar ve hayvanlar tarafından metabolize edilemediklerinden dolayı atıksu boru şebekeleri yoluyla atıksu arıtma tesislerine ulaşabilmektedir [8-9]. Bu nedenle birçok PPCP, atıksu arıtma tesislerinden geçmekte ve ana bileşikler, metabolitler ve dönüşüm ürünleri şeklinde su ekosistemlerine girmektedir. PPCP'ler ve metabolitleri, farklı trofik seviyelerde organizmalarda biyoakümülasyon potansiyeline sahiptir [6]. Biyolojik bozunma, fotodegradasyon ve partikül sorpsiyonu gibi devam eden çevresel bozulma süreçlerine rağmen birçok PPCP kaynakta sürekli olarak serbest bırakıldıkları için sucul ortamlarda sözde kalıcı olduğu ifade edilmiştir [10]. Birçok sucul ortam, çevresel olarak ilgili konsantrasyonlara maruz kaldıktan sonra ölümcül olmayan etkiler dahil olmak üzere hem ölümcül olmayan hem de öldürücü maruziyetlerde PPCP'lerin varlığından etkilenebilmektedir.

PPCP'ler yeraltı sularında birkaç nanogramdan litre başına birkaç mikrograma kadar konsantrasyonlarda oluşmaktadır [7]. Yüzey sularında öncelikli kirletici grubundaki PPCP'lerin dünya çapında ng L^{-1} ile µg L^{-1} gibi nispeten düşük konsantrasyonlarda tespit edilmelerine rağmen bunların çoğu ve metabolitleri biyolojik olarak aktiftir ve endokrin bozulması, genotoksisite, kanserojenlik, fetal gelişim dahil olmak üzere uzun süreli maruziyette kalıcılık, biyolojik birikim ve toksisite yoluyla hedef olmayan sucul organizmaları etkileyebilmektedir [6, 11]. Bu kirleticiler yanlış arazi kullanımı, atıkların ve atıksuyun kötü yönetimi ve yüzey suyu ile yeraltı suyu arasındaki etkileşim nedeniyle yeraltı sularında bulunur ve dolayısıyla yeraltı suyunu kirletir. Düşük bir konsantrasyonda tespit edilmelerine rağmen kirleticiler hala hedef olmayan organizmalar için potansiyel toksisiteye neden olur ve organizmalarda birikir. Ayrıca, ortamda biriken antibiyotik kalıntıları, antibiyotik direnç genlerinin (ARG'ler) yayılmasını ve antibiyotiğe dirençli bakterilerin (ARB) oluşumunu tetikleyebilir [12].

PPCP'lerin kronik toksisitesi (ölümcül olmayan etkiler), endokrin sistemlere müdahale etme yeteneklerinden ve bir dizi diğer anormalliklerle birlikte suda yaşayan organizmaların homeostazının bozulmasından kaynaklanmaktadır. PPCP'lerin akut toksisitesi (ölümcül etkiler) ise suda yaşayan organizmalarda ölüm gözlendiğinde ortaya çıkmaktadır. Genel olarak PPCP'lerin toksisitesi, maruz kalan organizmaların duyarlılığı, maruz kalma süresi, kontaminant konsantrasyonları ve maruziyet gerçekleştiğinde organizmaların gelişimsel aşaması gibi faktörlere bağlıdır. Hedef olmayan organizmaların, gelişimin belirli hassas aşamalarında kronik eser seviyelerde PPCP'lere maruz kalması, aynı yaşam evrelerinde yüksek dozlara akut maruziyetten daha fazla gözlenebilir anormallikler oluşturmaktadır [6].

Sucul ortamlarda farmasötiklerin ve kişisel bakım ürünlerinin (PPCP'ler) ortaya çıkması ve bunların sucul organizmalar üzerindeki potansiyel zararlı etkileri ise son yıllarda büyük küresel endişelere yol açmıştır [5, 7]. Farmasötikler antibiyotikler, β bloke edici ilaçlar, kan lipid düzenleyicileri, antikonvülsan ilaçlar, X-ışını kontrast ortamı ve diğerleri dahil olmak üzere insan ve veteriner ilaçlarıdır. Kişisel bakım ürünleri (PCP'ler) ise sabunlar, şampuanlar, saç kremleri, diş macunları, cilt bakım ürünleri, güneş kremleri, böcek kovucular, losyonlar ve kokularda kullanılan kimyasallardır [11, 13]. Örneğin, dünya çapında 50.000'den fazla PPCP üretildiği ve yaklaşık otuz milyon ton tüketildiği bildirilmiştir ve ayrıca Çin, toplam aktif farmasötik bileşenlerin % 60'ından fazlasını küresel ilaç endüstrisine ihraç ettiği ve 2013'te 162.000 tondan fazla antibiyotik tükettiği yapılan çalışmalarla da belirtilmiştir [14, 15]. Çin'de tüketilen küresel toplam PCP oranı yaklaşık % 6,5'tir ve bu oran yalnızca Amerika Birleşik Devletleri (% 19,1) ve Japonya (% 9,4) tarafından aşılmıştır [11, 16]. Farmasötikler genel puan dağılımlarına göre Grup I (yüksek öncelikli), Grup II (orta öncelikli), Grup III (düşük öncelikli) ve Grup IV (önceliksiz) olarak dört gruba göre incelenmektedir. Oluşum, kalıcılık, biyolojik birikim, toksisite ve kaygı düzeyine göre gruplandırılan farmasötiklerin sayısı sırasıyla Şekil 3 ve Şekil 4'te gösterilmiştir.

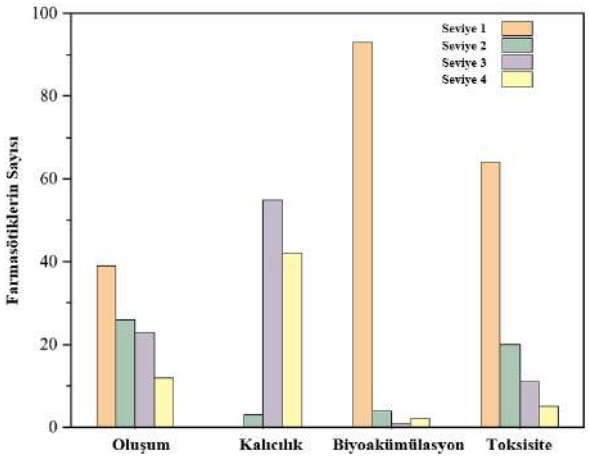
Yaygın kirleticiler olarak kabul edilen ağır metallerin oluşumu ve toksikolojik etkileri uzun yıllardır incelenmektedir [18]. Fakat, ortaya çıkan kirleticiler (perfloroalkil maddeler [PFAS'ler], farmasötik ve kişisel bakım ürünlerinin [PPCP'ler]), çevrede kalmaları ve hem yaban hayatı hem de insanlar üzerindeki negatif etkileri sebebiyle özellikle son zamanlarda yaygın endişelere neden olmuştur [19]. Yaygın olarak su, toprak, tortu, toz ve biyotada, özellikle fabrikalar ve atıksu arıtma tesislerinin yakın çevresinde meydana gelen PFAS'larda (sentetik organik bileşikler), hidrokarbon gruplarındaki hidrojen atomlarının yerini tamamen flor atomları almaktadır ve bu nedenle PFAS'lar, hidrofobiklik ve lipofobiklik gibi ikili özelliklere ve yüksek

kimyasal stabiliteye sahiptir ve çeşitli kaplama malzemeleri ve sulu film oluşturucu köpüklerde yaygın olarak kullanılmaktadır [20].

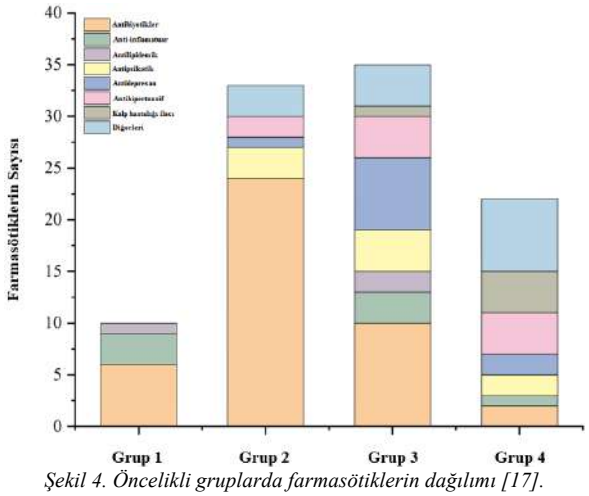
Öncelikli kirleticiler atıksu arıtma tesislerinde suda çözünerek, çamura absorbe olarak veya fotodegradasyon, hidroliz ve oksidasyon gibi birçok farklı kimyasal veya biyokimyasal süreçte bozunarak çevreye karışmaktadırlar [21]. Dolayısıyla atıksu arıtma tesisleri öncelikli kirleticilerin çevreye doğrudan deşarj edilmesinin önüne geçilebilmesi ve atıksuların arıtılması faaliyetlerinde oldukça önemli olduğu bilinmektedir. Ancak, yine de bu kirleticilerin suda yaşayan organizmalar üzerine ekolojik risk etkileri daha az anlaşılmıştır [22].

Öncelikli kirletici maddelerin giderim verimliliği atıksu arıtma tesislerine göre değişiklik gösterebilmektedir ve arıtım verimi zaman zaman düşük olabilir veya negatif bir arıtım verimi sonucuyla karşılaşılabilir. Burada negatif arıtma verimliliğinin olası sebebi konjuge formların serbest formlara veya yukarı akış öncülerinin potansiyel biyotransformasyonuna dönüşmesinden kaynaklanabilmektedir [23].

Ayrıca, 2015-2017 yıllarında izleme ve modelleme esaslı önceliklendirme çalışmalarında, piretroid böcek öldürücüler, sülfonilüre herbisitler, organofosforlu insektisitler, metaller ve metal olmayan eser elementler aday kirletici maddeler olarak bildirilmiştir [2].



Şekil 3. Oluşum, kalıcılık, biyolojik birikim, toksisite ve kaygı düzeyine göre gruplandırılan farmasötiklerin sayısı [17].



Şekil 4. Öncelikli gruplarda farmasötiklerin dağılımı [17].

2.2. Avrupa Birliği Su Çerçeve Direktifi (WFD2000) ve Çevre Kalite Standartları (EQS) Öncelikli Kirleticiler

Son yıllarda su ortamında mikrokirleticilerin tespit edilmesi, küresel ölçekte önem kazanan bir çevre sorunu haline gelmiştir ve suyun hayati önemine ilişkin giderek artan farkındalık, suyun korunmaya değer bir kaynak olarak görülmesine de yol açmış durumdadır.

Avrupa Konseyi tarafından kabul edilen Avrupa Su Direktifi'nde de kabul edildiği gibi su tükenmez değildir ve herkes tarafından erişilebilir olması gerektiği belirtilmiştir. Avrupa Su Çerçeve Direktifi "Öncelikli Maddeleri" su ortamı için veya bu ortam aracılığıyla önemli bir risk oluşturan maddeler olarak tanımlamaktadır [24]. Tatlı su ve deniz sularında ölçülen konsantrasyonların düzenleyici izleme veri setlerine dayalı bir risk değerlendirmesi de dahil olmak üzere seçim kriterleriyle birlikte bir dizi yeni aday öncelikli maddeler Avrupa Komisyonu tarafından değerlendirilmektedir.

Bu konular üzerine düzenlenen su konulu seminerlerde mevcut mevzuatların gözden geçirildiği, yapılacak iyileştirmeler ve uygulamada oluşabilecek boşluklar değerlendirilmiştir. Bu kapsamda 1991 yılında benimsenen bazı görüşler, ikincil (biyolojik) atıksu arıtımı sağlayan Kentsel Atıksu Arıtma Direktifi'nin kabul edilmesi ve hatta gerektiğinde çok daha sıkı arıtma yapılması ve tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan ve özellikle nitratlardan gelen su kirliliğini ele alan Nitrat Direktifi'nin benimsenmesi üzerine olmuştur. Ancak, zamanla bu gelişmelerin farklı yasal sonuçları da ortaya çıkmış durumdadır. Bu sonuçlar 1996 yılında kabul edilen, büyük endüstriyel tesislerden kaynaklanan kirliliği ele alan ve daha sonra Endüstriyel Emisyonlar Direktifine dönüştürülen Entegre Kirlilik ve Önleme Kontrolü Direktifi (IPPC) üzerine eylem için komisyon önerileri üzerine olmuştur. Bunlara ilaveten, 1998 yılında komisyonun yeni bir İçme Suyu Direktifi ile ilgili eylem önerileri, kalite standartlarını gözden geçirmesi ve gerektiğinde sıkılaştırması üzerine olduğu görülmektedir.

Avrupa Birliği (AB) su mevzuatında önemli bir yere sahip olan Avrupa Su Çerçeve Direktifi (2000/60/EC) ekosistemlerdeki kirleticilerin izlenmesini yoğunlaştırmayı ve kirletici salınımının kontrolünü geliştirmeyi amaçlamaktadır. Nehir havzası ölçeğinde suyu kontrol ederek Avrupa'nın sularını daha temiz hale getirmek için yeni Avrupa su politikaları da gündeme gelmiştir. Bu bağlamda komisyonun görüşü, su politikasına daha küresel bir yaklaşım ihtiyacına yönelik bir hakimiyet kazanmıştır. Mevcut problemlerin çözülebilmesi konusunda tarafların tek bir çerçeve mevzuata ihtiyacı olduğu görüşü benimsenmiştir. Bu mevzuatta; su koruma kapsamının tüm sulara, yüzey sularına ve yeraltı sularına genişletilmesi, iyi statüye ulaşmak, nehir havzalarına dayalı su yönetimi, emisyon sınır değerlerinin ve kalite standartlarının birleşik yaklaşımı ve mevzuatı modernize etmek amaçlanmıştır. Bu unsurların direktif içinde nasıl işlevsel hale getirildiği ise nehir havzası yönetimi ve planları, hedeflerin koordinasyonu, sular için iyi statü durumu, önlemlerin koordinasyonu, yeterli su fiyatlandırılması başlıkları altında değerlendirilmiştir. Hedef koordinasyonu ve sular için iyi statü durumu da göz önüne alındığında su kalitesinin korunmasına ilaveten birçok farklı bakış açısı daha ortaya çıkmıştır. Avrupa düzeyindeki önemli unsurlar; su ekolojisinin genel korunması, eşsiz ve değerli habitatların özel olarak korunması, içme suyu kaynaklarının korunması ve yüzme suyu kalitesinin korunmasıdır. Tüm bu hedeflerin her bir nehir havzasına entegre edilmesi gerektiği ifade edilmiştir. Bunlara ilaveten ekolojik koruma, tüm sular için geçerli olmalıdır. Çünkü, antlaşmanın temel gerekliliği çevrenin bütünüyle yüksek bir seviyede korunması yönüne olduğu bilinmektedir. Bu kapsamda, yüzey suları iyi ekolojik statü ve iyi kimyasal statü dengesini sağlaması gerekmektedir. Yeraltı sularının durumu ise farklı değerlendirilmektedir. Yeraltı suyu ile ilgili varsayım genel olarak hiç kirletilmemesi gerektiği şeklinde olmalıdır. Bu kapsamda kimyasal kalite standartlarının belirlenmesi en iyi yaklaşım olmayabilir çünkü bu durum kirlilik seviyelerine olanak tanındığı izlenimine meydan verebilmektedir. Avrupa düzeyinde belirli konular için (nitratlar, pestisitler ve biyositler) standartlar oluşturulmuştur ve bunlara her zaman uyulması gerektiği belirtilmiştir.

2008/105/EC sayılı direktif, öncelikli kirleticilerin konsantrasyonunun güvenli seviyeleri aşmamasını sağlamak için halihazırda Avrupa Birliği düzeyinde düzenlenmiş olan ilk 33 öncelikli madde ve diğer sekiz kirletici için çevresel kalite standartlarını (ÇKS) belirlemiştir. Ayrıca, su ortamı ve insan sağlığı üzerindeki akut ve kronik etkilere ilişkin mevcut verilere dayanarak, olası öncelikli kirleticiler olarak tanımlama için önerilen 13 diğer kirletici grup olduğunu da ileri sürmüşlerdir [25]. AB Su Çerçevesinden yola çıkılarak belirlenen ÇKS'lerin yönetim planlanmasında bazı kontrol önlemleri, teknolojinin uygulanması yoluyla kaynağında elde edilebilecek şeylere odaklanırken bazıları da alıcı çevrenin ihtiyaçlarını kalite hedefleri şeklinde ele almaktadır. Ancak, her yaklaşımın potansiyel kusurları olabilmektedir. Tek başına kaynak kontrolleri, kirlilik kaynaklarının yoğun olduğu yerlerde çevre için ciddi şekilde zararlı olan kümülatif bir kirlilik yüküne yol açabilmektedir ve kalite standartları, doz-cevap ilişkileri ve çevre içindeki ulaşım mekaniği ile ilgili bilimsel bilgideki sınırlamalar nedeniyle, belirli bir maddenin ekosistem üzerindeki gerçek etkisini yansıtmayabilir. Bu nedenle, birleşik yaklaşım uygulamasında her ikisine de ihtiyaç duyulduğu konusunda bir fikir birliği geliştirilmiştir. Kaynak

tarafında, nehir havzasında alınacak temel önlemlerin bir parçası olarak tüm mevcut teknoloji odaklı kaynak tabanlı kontrollerin ilk adım olarak uygulanmasını gerektirmektedir.

Direktif 2013/39/EU bu listeyi güncellemiş ve çevresel kalite standartlarını 45 öncelikli maddeye (41 organik madde/sınıf ve 4 metal; kadmiyum, kurşun, cıva ve nikel) bağlamıştır [26]. Yapılan bu revize önleyici eylemi, kirleten öder ilkesini vurgulayarak kirlilik nedenlerinin tanımlanmasını, kaynakta kirletici emisyonları ile mücadele etmeyi, yenilikçi su ve atıksu arıtma teknolojilerini geliştirme ihtiyacını güçlendirmektedir [1].

Ayrıca, direktif 2013/39/EU, mevzuatın hala mevcut olmadığı ortaya çıkan kaygı verici öncelikli kirletici maddelerin izlenmesinin önemini de vurgulamaktadır [26]. Ek olarak, 20 Mart 2015 tarihli 2015/495 Kararı ile 10 diğer maddenin bir izleme listesi de tanımlanmıştır. Bu liste, birkaç inatçı kimyasalın yanı sıra ağrı kesici diklofenak ve 17β-estradiol ve 17α-ethinylestradiol hormonlarını içermiştir [27]. İzleme listesinde bulunan bu mikrokirleticiler, birçok AB ülkesindeki mevcut sorunları ve çözümleri özetlemek ve mikrokirleticilerin atıksudan uzaklaştırılması için çeşitli arıtma yöntemlerinin uygulanabilirliğini eleştirel bir şekilde değerlendirilebilmesine olanak tanımaktadır.

Günümüzde güncellenmiş Avrupa çerçeve mevzuatı, mikrokirleticilerin azaltılmasını desteklemektedir. Ayrıca, Avrupa Birliği'nin Çevre Teknolojileri Eylem Planı daha iyi su kalitesi ve doğal kaynakların korunması için acil eylem planlarını ön görmektedir. Bu bağlamda, su kirleticilerinin izlenmesi ve giderilmesi gerektiğine dair önemli politikal kaygılar mevcuttur. Yakın zamanda revize edilen Yüzey Suyu İzleme Listesi, Avrupa Komisyonu tarafından kabul edilmiştir. İzleme listesinin en güncel hali, 2018'den beri halihazırda mevcut olan üç maddeyi (insektisit metaflumizon ve antibiyotikler amoksisilin ve siprofloksasin) içermektedir.

Direktif 2008/105/EC Madde 8b (2)'ye göre, herhangi bir tek madde için sürekli izleme listesi izleme süresi dört yılı aşmayacağı ifade edilmiştir. Bu nedenle, 2015'ten beri listede yer alan beş madde veya madde grubu için izleme listesi izleme yükümlülüğü, yani 17-alfa-etinilestradiol (EE2), 17-beta-estradiol (E2) ve estron (E1), grup makrolid antibiyotikler, methiocarb ve neonikotinoidler grubu 2019'da çıkarılmıştır. Elde edilen izleme verileri, 2000/60/EC Direktifinin 16 (2) Maddesi'nde atıfta bulunulan önceliklendirme uygulaması bağlamında değerlendirilecektir.

Diğer üç madde, yani metaflumizon, amoksisilin ve siprofloksasin için elde edilen izleme verilerine dayanarak, 2018'den beri Komisyon, yetersiz yüksek kaliteli izleme verilerinin elde edildiği ve bu nedenle bu maddelerin izleme listesinde kalması gerektiği sonucuna varmıştır.

2019 yılı boyunca Komisyon, izleme listesine dahil edilebilecek bir dizi başka maddeye ilişkin verileri toplamıştır. Toksisiteleri konusunda şüphe bulunan veya mevcut izleme yöntemlerinin duyarlılığı, güvenilirliği veya karşılaştırılabilirliği yeterli olmayan maddelerin izleme listesine dahil edilmemesi gerektiği görüşü ileri sürülmüştür. 2020'de ise dahil olan öncelikli kirleticiler; Sülfonamid antibiyotik sülfametoksazol ve diaminopirimidin antibiyotik trimetoprim, antidepresan venlafaksin ve metaboliti O-desmetilvenlafaksin, üç azol farmasötik grup (klotrimazol, flukonazol ve mikonazol) ve yedi azol pestisitleri (imazolazol, ipkonazol, tetraconazole) ve famoxadone ve dimoxystrobin fungisitleri uygun adaylar olarak belirlenmiştir. Çeşitli farmasötiklerin dahil edilmesi AB'nin Çevredeki Farmasötiklere Stratejik Yaklaşımı ile tutarlılık göstermiştir. Aynı zamanda, iki antibiyotiğin dahil edilmesi de Antimikrobiyal Direnc Karşı Avrupa Tek Sağlık Eylem Planı ile tutarlılık sergilemiştir. Bu tutarlılıklar izleme listesinin çevrede antimikrobiyallerin oluşumu ve yayılmasına ilişkin bilgileri geliştirmek için kullanılmasını desteklemektedir.

Ayrıca, 2013/39/EU Direktifi ile getirilen mekanizmaya dayalı olarak, izleme listesi yüzey suyunda bulunan kimyasallardan kaynaklanan riskleri daha iyi değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Üye devletler, bu maddeleri dört yıla kadar yılda en az bir kez izlemek zorunda olduğu belirtilmiştir [26].

2.3. Farklı Ülkelerde Yürütülen İzleme Çalışmalarına Örnekler

Sruthi vd. (2018) [28], su ortamında ekolojik risklerle birlikte öncelikli kirleticilerin mekansal dağılımlarını incelemek ve gözetlemek için çalışmalar yapmışlardır. Yaptıkları bu çalışmada organoklorlu pestisitleri ve iz metalleri izlemek ve çeşitli kirlilik endekslerini belirlemek için sulak alan sistemi oluşturarak hesaplamalar yapmışlar ve bunu kirlenmemiş sedimanlar ile karşılaştırmışlardır. 25 cm yüzey sedimanını 12 farklı lokasyondan 48 numune şeklinde almışlardır ve analiz yapmadan önce bu örnek numuneleri doku analizi, pH ve iletkenlik(1), iz metal analizi(2), organik karbon ve pestisit analizleri(3) gibi analiz yöntemlerine göre 3 alt numuneye indirgemişlerdir. Yaptıkları bu çalışmada ekstraksiyon metodunu, enstrümantal analiz ve fiziko-kimyasal analiz yöntemlerini uygulamışlardır. Ayrıca, ekolojik risk indisleri kapsamında da; iz metallerle ilişkili ekolojik risk, Jeo-birikim indeksi (Igeo), sediman zenginleştirme faktörü (EF), potansiyel kontaminasyon indeksi (CP), kontaminasyon faktörü (CF), kontaminasyon derecesi (Cd), değiştirilmiş

kontaminasyon derecesi (mCd) ve kirlilik yük endeksi (PLI) gibi faktörleri belirli formülasyonlar ile kontaminasyon derecelerini karşılaştırmalı olarak hesaplamışlardır. Yaptıkları çalışmada Gamma BHC, Beta BHC, Heptachlor epoxide, Aldrin, Gamma Chlordane, Alpha Chlordane, α Endosulfan, Dieldrin, Endrin ketone, DDD, DDT olarak 11 farklı organoklorlu pestisit konsantrasyonlarını ölçmüşler ve Zn > Cu > Pb > Cd > Hg olarak 5 farklı iz metal tespit ederek bunların risk dağılımını izlemişlerdir. En önemli organoklorlu pestisit türü olarak ΣDDTs, ΣBHC ve endosülfan olduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca kirlilik faktörünü hesaplamak için de deneysel çalışmalar yürütmüşler ve sonuçların kontaminasyon derecesine göre Cd > Hg > Zn > Cu > Pb olduğunu bildirmişlerdir. Bunlara ilaveten iz elementlerinde ekolojik indeksler ile birlikte çevre sağlığını bozma yönünde önemli bir rol oynadığını ifade etmişlerdir. Aynı zamanda öncelikli kirleticilerin çevre, ekolojik ve sağlık yönünden risk değerlendirme çalışmalarınıda yapmışlar ve öncelikli kirleticilerin (hem organik klorlu pestisitler hem de iz metaller) çevresel kaliteye ciddi risk oluşturan potansiyel kimyasallar grubunda olduğu sonucuna varmışlardır.

Vystavna vd. (2018) [29], Avrupa Birliği çevre kalite standartlarını yerine getirmek için Ukrayna şehrinde ve Avrupa Birliği havzalarında, Avrupa Birliği Su Çerçeve Direktifi ve İzleme Listesinde de bulunan 18 öncelikli kirletici maddelerin (iz metaller (Cd, Pb ve Ni), nonilfenoller, oktilfenoller, 8 poliaromatik hidrokarbonlar, 4 dioksin benzeri poliklorlu bifeniller ve diklofenak) izlenmesi ve deşarj kriterleri üzerine çalışmalar yapmışlardır. Örnekleme yaptıkları nehirde ortalama deşarjın 1 m^3/sn olduğunu ifade etmişlerdir. Çalışmalarında su örneklerindeki kadmiyum (Cd), kurşun (Pb) ve nikel (Ni) indüktif olarak eşleşmiş plazma kütle spektrometresi kullanarak ve poliaromatik hidrokarbonların (PAH, örneğin antrasen, floranten, naftalin, benzo (a) piren, benzo (b) floranten, benzo (k) floranten, benzo (g, h, i) perilen ve indeno (1,2,3-cd) piren) ve dioksin benzeri poliklorlu bifeniller (PCB'ler) gaz kromatografisi tandem kütle spektrometresi kullanarak bunlara ilaveten ekstraktlardaki diklofenak, 4-nonilfenol (NPEO2) ve 4-(1,1,3,3′-tetrametilbutil) - fenol (OPEO1) sıvı kromatografi tandem kütle spektrometresi kullanarak hedef bileşiklerin konsantrasyonlarını bölgesel çalışmalarla karşılaştırmalı olarak analiz ettiklerini belirtmişler ve öncelikli kirleticilerin kentsel yüzey atıksuyu ve arıtılmış atıksu deşarjlarından kaynaklandığını ve kalıcı organik kimyasalların, su ortamlarında oldukça hareketli olduğunu dolayısıyla potansiyel olarak nehir kirlenmesine neden olabileceği sonucuna varmışlardır.

Liu vd. (2019) [30], bentik makro-omurgasız topluluk yapısına dayalı kontrol için su ve nehir sedimanlarındaki öncelikli kirleticileri ve onların kimyasal parametrelerini araştırmak üzerine yaptıkları çalışmada gastropoda ve böceklerle hakim olan bentik toplulukların başlıca yapısal fonksiyonlarını tanımlamak ve organizma topluluğu ile çevre arasındaki ilişkiyi tanımlamak için eşzamanlı bir şekilde kendi kendini organize eden harita ve kanonik yazışma analizini kullanmışlardır. Çalıştıkları alanda baskın olan diğer türlerin ise B. aeruginosa, Caridina, Cricotopus, E. thienemann, Orthocladius ve Baetis olduğunu ifade etmişlerdir. Yaptıkları istatistiksel analiz yöntemiyle çalışma yaptıkları su ortamında gözlemledikleri en önemli kirleticiler olan TN ve NH_3-N parametrelerine ilaveten sedimanda ise ICP-MS ile konsantrasyonlarını ölçtükleri ve en önemli kirleticiler olarak başta gelen As, Hg, Cd, Zn olmak üzere Cu, Cr, Ni, Pb gibi topluluk yapısında bulunan ağır metaller olduğunu ileri sürmüşlerdir. Ayrıca yaptıkları çalışmada sedimanlardaki ağır metallerin, bentik topluluk yapısındaki varyasyonun daha büyük bir bölümünü açıkladığını ve bu kirleticilerin öncelikli kirleticiler olarak listelenebileceğini ifade etmişlerdir. Sonuç olarak makro-omurgasız organizma topluluklarının nehir ekosisteminde su kalitesini ve öncelikli kirleticileri belirlemek için biyo-izleme aracı olarak da kullanılabileceği sonucuna varmışlardır.

Kosek vd. (2020) [31], atıksu arıtma tesislerinde gelişmiş mikrokirletici giderme teknolojilerinin uygulanması ve azaltılması hakkında çalışmalar yapmışlardır. Ayrıca mikrokirleticilerin su ortamına ulaşmasını engellemek için kaynakla ilgili, kullanıcı ile ilgili ve atıksu arıtma tesisi çıkış suyu ile ilgili hedef stratejilerini de değerlendirmişlerdir. Mikrokirleticilerin giderim yöntemleri ve izlenmesi için birçok farklı Avrupa ülkelerinde (İsveç, Almanya, Litvanya, Polonya) yasal ve tavsiyelere dayalı değerlendirmeler yapmışlardır. Çalışmalarında mikrokirleticilerin giderimi için ozonlama ve granüler aktif karbon teknolojisi, toz aktif karbon teknolojisi gibi ileri arıtım metotları uygulamışlardır. Aktif karbon teknolojisi kullanarak mikrokirleticilerin gideriminde % 95-98 giderim verimi elde etmişlerdir. Ayrıca bu metotların uygun bir şekilde atıksu arıtma tesislerinde uygulanması sonucunda mikrokirleticilerde % 80 azalma gözlemlenebileceğini belirtmişlerdir. Kosek vd. (2020), Polonya ve Litvanya'da bu iki stratejinin bütünleştirilmediğini ancak İzleme Listesindeki maddeler Litvanya Devletinin 2018-2023 Çevresel İzleme Programına dahil edildiğini bildirmişlerdir. Aynı zamanda, özellikle 2013/39/EU Direktifi tarafından sağlanan su politikası alanındaki öncelikli maddelerin izlenmesi ihtiyacı olmak üzere 2015 yılında 2016-2020 yılları için Ulusal Çevre İzleme Programı oluşturulmuş ve su izlemede mevcut Avrupa stratejik dökümanların uyarlandığı bildirilmiştir. Bununla birlikte, her iki ülkede öncelikli maddeleri değerlendirme ihtiyacını getiren ulusal düzenlemeler getirdiğini ifade etmişlerdir. Son olarak çalışmalarında, Su Çerçeve Direktifleri kapsamında seçilen maddelerin yüzey ve yeraltı sularında

izlenmesine rağmen izlemenin paydaşlarla işbirliğinin gerekli olduğu ortamın belirli kısımlarını daha iyi kapsayacak şekilde genişletilebileceği ve ayrıca Avrupa Komisyonu ve diğer kuruluşların, mikrokirleticilerin Avrupa düzeyinde izleme ihtiyacı olduğu sonucuna varmışlardır.

Li vd. (2020) [17], Çin'deki su ortamında farmasötiklerin çevre kriterlerine, en öncelikli farmasötiklerin risk analizine ve çevresel konsantrasyonuna dayalı olarak kirleticilerin ortaya çıkması, kalıcılığı, biyoakümülasyon ve toksisite bakımından önceliklendirme ile ilgili çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmalarında 100 farmasötikten oluşan veri setlerinin analizi için kullanımı kolay bir araç olan sıralama teknikleri ile karar analizinde uygulanan toplam ve kısmi sıralama yöntemi kullanmışlardır. Bu metot ile öncelikli kirletici olarak antibiyotikler, antienflamatuarlar, antilipidemikler, antipsikotikler, antidepresanlar, antihipertansif ilaçlar ve kalp hastalığı ilaçları dahil 10 farmasötik seçmişlerdir ve bunların dokuzu RQ > 0.1 sahip olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, sucul ortamda ihmal edilebilir, düşük, orta ve yüksek riskli kategorilerde 0 ile 1 aralığında değişiklik gösteren tehlike risk skoru çalışmalarını da yapmışlardır. Tehlike karakterizasyonu, tahmin edilen çevresel konsantrasyon (PEC) ve denkleme göre tahmin edilen etkinin gözlemlenmediği konsantrasyon (PNEC) değerlerini kullanarak risk faktörü (RQ) değerini kullanmışlardır. Çalışmalarında antibiyotiklerin, tüm farmasötiklerin % 42'sini oluşturduğunu ve sülfonamidler (SA'lar), florokinolonlar (FQ'lar), makrolidler (ML'ler), β-laktamlar (β-L'ler) ve tetrasiklinler (TC'ler) bu çalışmada ana antibiyotik grupları olduğunu ve farmasötiklerin sırasıyla % 7, % 5, % 5, % 9 ve % 6'sı olduğunu ifade etmişlerdir. Sefaleksin, eritromisin, roksitromisin, linkomisin, sülfametoksazol, trimetoprim, diklofenak, ibuprofen, amoksisilin, sefotaksim, azitromisin ve sülfamonometoksin farmasötiklerinin en yüksek kaygı seviyesine sahip olduğunu ve seviye 4 olarak sınıflandırdıklarını ve farmasötiklerin % 83'ünün antibiyotikler olduğunu bildirmişlerdir. Yazarlar, farmasötiklerin kalıcılığı ile ilgili olarak, % 97'sinin, daha yüksek sınıflandırma seviyeleri olan seviye 3 ve seviye 4 olarak sınıflandırıldığını ve kalan 3 farmasötik kitasamisin, salisilik asit ve aspirini ise seviye 2 olarak sınıflandırmışlardır. Biyolojik birikimi ile ilgili olarak ise listedeki farmasötiklerin % 93'ünün en düşük kaygı seviyesi olan seviye 1 olarak sınıflandırmışlardır. Ancak, klotrimazol ve mikonazol biyoakümülasyonlarında ise en yüksek seviye olarak sınıflandırmışlardır. Son kriter olarak ise toksisiteyi değerlendirmişlerdir. Sonuçlar, farmasötiklerin % 64'ünün sınıflandırmanın 1. seviyesine (en düşük seviye) düştüğünü, % 20'sinin 2. seviyede olduğunu, % 11'inin üçüncü seviyede olduğunu ve geri kalan % 5'lik farmasötikleri ise en yüksek seviye olarak sınıflandırmışlardır (örneğin klotrimazol, bezafibrat gibi). Son olarak, yaptıkları çalışmada sıralamanın, antibiyotiklerin, antienflamatuvarların ve antilipideminin Çin'deki su ortamlarında en yüksek risk seviyelerine sahip olduğunu ifade etmişlerdir.

Zhong vd. (2021) [32], yüzey sularında ortaya çıkan öncelikli kirleticilerin belirlenmesi üzerine kontrolsüz bir şekilde oluşan 405 öncelikli kirleticinin tehlike ve maruziyet potansiyellerini tanımlamak için çok kriterli karar analizi yöntemine dayalı çalışmalar yapmışlardır. Ayrıca, ekolojik ve insan sağlığı etkileri için tehlike potansiyeli, maruz kalma potansiyeli ve risk katsayılarını nicel olarak analiz etmişler ve kirleticileri taramak için kullanmışlardır. Çalışmalarında Kategori 1 (yeterli oluşum ve toksisite verilerine sahip 83 bileşik), Kategori 2 (115 bileşik-izleme), Kategori 3 (51 bileşik-sıkı tehlike değerlendirmeleri) ve Kategori 4 (156 bileşik-hem çevresel izleme hem de toksisite değerlendirmeleri) için öncelik sıralamasına göre 4 ayrı kategori oluşturmuşlar ve burada belirtilen 123 bileşiğin (fenol, diizodesil ftalat, hormon, pestisit, ilaç, kişisel bakım ürünleri, antibiyotikler, endokrin bozucu kimyasallar, perflorooktanoik asit, fosfat dahil) normalleşmiş tehlike düzeyine eşit olduğunu, 11 bileşiğin en öncelikli kirleticiler olduğunu ve 37 kimyasalın ise yüksek öncelikli kirleticiler olduğunu ifade etmişlerdir. Çalışmalarında öncelik endeksi ile elde edilen sonuçları ekolojik etkiler ya da insan sağlığı için maruz kalma potansiyeli, tehlike potansiyeli veya risk oranlarına dayalı diğer önceliklendirme planları ile karşılaştırmalı bir metot kullanmışlardır. Ayrıca, çalışmalarını kriterlere özgü verilerin normalleştirilmesi, çok değişkenli analizler, risk hesaplamaları ve puanlama, belirsizlik analizi gibi metodolojiler kullanarak öncelikli kirleticilerin ortaya çıkması, kalıcılığı ve biyolojik birikimi, ekotoksisite ve insan sağlığı üzerine etkilerini araştırmışlardır. Bunlara ilaveten tehlike karakterizasyonunu hesaplamak için de birçok farklı parametreler eşliğinde regrasyon analizi, maruziyet değerlendirme, risk değerlendirme, belirsizlik analizi, öncelik indekslerinin belirlenmesi ve bunların öncelik kategorilerinin karakterizasyonunu belirlemek için de birçok farklı metodu karşılaştırmalı bir şekilde kullanarak çalışmalar yapmışlardır. Sonuç olarak, PFAS ve hormonların nispeten yüksek bir tehlike potansiyeli sergilerken, tatlandırıcılar ve plastikleştiricilerin daha düşük tehlike potansiyeli değerlerinde olduğunu, maruz kalma analizi çalışmalarında tatlandırıcıların ve plastikleştiricilerin nispeten yüksek maruziyet potansiyeli olduğunu, hormonların ve PFAS'ın ise düşük maruziyet potansiyeline sahip olduğunu belirtmişlerdir. Risk oranları analizi çalışmalarında ise insan sağlığına etkileri olan altı öncelikli kirleticiyi ve ekotoksisite etkileri olan 94 öncelikli kirleticinin olduğunu ifade etmişlerdir. Dört öncelikli kirletici olan 17a-etinilestradiol, disülfoton, estriol ve estron, hem insan hem de ekolojik sağlık için riskler oluşturduğu sonucuna varmışlardır. Ayrıca hormonlar, pestisitler, PFAS ve farmasötikler, en yüksek ve yüksek öncelikli gruplarda bileşiklerin en fazla sayı ve yüzdesine sahip kategoriler olarak belirtmişlerdir.

2.4. Atıksu Arıtma Tesislerinde Öncelikli Kirleticilerin İleri Oksidasyon Prosesleri ile Giderimi ve Metabolik Ürün Oluşumu

Organik maddeleri hızlı ve seçici olmadan oksitleyen •OH radikallerini üreten ileri oksidasyon prosesleri (İOP), klasik atıksu arıtma yöntemlerine alternatif olarak özellikle son yıllarda büyük önem kazanmaya başlamıştır. İOP organiklerin oksidatif olarak parçalanması için •OH radikallerinin oluşması esasına dayanmaktadır. Güçlü bir oksidant olan •OH radikalleri ozon ve hidrojen peroksitten daha hızlı reaksiyona girmektedir ve dolayısıyla arıtma maliyetlerini ve sistem boyutunu büyük oranda azaltmaktadır.

Kombine ileri oksidasyon proseslerinin yüksek oksidasyon kapasitesine sahip radikal üretimi yapan prosesler O_3, O_3/H_2O_2, VUV, H_2O_2/UV, O_3/UV, O_3/H_2O_2/UV, Fenton, foto-Fenton, sonokimyasal oksidasyon (Ultrasound/H_2O_2, Ultrasound/O_3 vb), fotokataliz gibi prosesler olduğu belirtilmektedir [33].

2.4.1. Yüksek pH'ta Ozonlama (pH>11)

Ozonun, OH^- iyonlarıyla olan tam reaksiyonu aşağıda belirtilmiştir.

$$3O_3 + H_2O \xrightarrow{OH^-} 2OH\bullet + 4O_2 \quad (1)$$

Moleküler ozon ve hidroksil radikallerinin sudaki mevcudiyeti ortamın pH'sına bağlıdır. Asidik ortamda etkili yükseltgen tür moleküler ozon olmasına rağmen daha yüksek pH'larda ise radikalik türleri daha baskındır. Düşük pH'da ozon, yan ürünleri oldukça etkin bir şekilde parçalar. Ancak, bazı kritik pH değerlerinin üzerinde ise ozonun etkinliği azalmakta ve yan ürün miktarı artmaktadır. pH 7,5 düzeylerinde oluşan •OH radikalleri ile meydana gelen oksidasyonun hızı çok yüksektir. •OH radikali, moleküler ozona göre çok daha güçlü yükseltgendir. Ancak, sudaki yarılanma ömrü kısa olduğundan dolayı sudaki miktarı 10-12 M'ı geçmez. Ultraviyole ışınlarının ve H_2O_2 kullanılması ise radikal türün daha baskın olmasına sebep olmaktadır. 1 mol ozon 1,5 mol •OH oluşturmaktadır [34].

2.4.2. *Ozon-Hidrojen Peroksit Prosesi*

Hidrojen peroksit su içerisinde ozon molekülleri ile çok yavaş reaksiyona girmesine rağmen hidrojen peroksitin sudaki reaksiyonu sonucu oluşan HO_2^-, moleküler ozon ile çok hızlı bir şekilde reaksiyona girmektedir. Fakat, yüksek dozlarda H_2O_2'nin reaksiyonu bozucu etki gösterdiği bilinmektedir.

$$H_2O_2 + H_2O \rightarrow HO_2^- + H_3O^+ \quad (2)$$

$$HO_2^- + O_3 \rightarrow HO_2\bullet + O_3^- \quad (3)$$

$$H_2O_2 + OH\bullet \rightarrow O_2^- + H_2O + H^+ \quad (4)$$

$$HO_2^- + OH\bullet \rightarrow OH^- + HO_2\bullet \quad (5)$$

$$2O_3 + H_2O_2 \rightarrow 2OH\bullet + 3O_2 \quad (6)$$

Daha yüksek pH değerlerinde daha fazla H_2O_2, HO_2^- iyonlarına ayrışır. Sonuç olarak, ozon parçalanma oranı artan pH değerine göre artış sergilemektedir. Özetle, düşük konsantrasyonlarda dahi HO_2^- iyonları başlangıç ozon parçalanması ve •OH radikallerinin oluşumunda oldukça etkilidir [35].

2.4.3. Ozon-UV Prosesi

O_3/UV prosesi, ozon moleküllerini aktive etmek için UV fotonlarının kullanımı ile gerçekleşmektedir. Bu proses sonucunda ise •OH radikalleri oluşmaktadır [35]. Ozonun suda UV ışığı fotolizi ile •OH radikali elde etmek üzere UV ışığı ya da O_3 ile reaksiyona giren H_2O_2 oluşmaktadır. UV ile aktive edilen ozon molekülleri arasında reaksiyon mekanizması oksijen radikallerini oluşturmak için başlar. Bu reaksiyondan sonra, oksijen radikalleri su ile tepkimeye girerek hidroksil radikallerini oluşturur. Meydana gelen reaksiyonlar ise aşağıda gösterildiği gibi gerçekleşmektedir.

$$O_3 + hv + H_2O \rightarrow H_2O_2 + O_2 \quad (7)$$

$$H_2O_2 + hv \rightarrow 2\bullet OH \quad (8)$$

$$H_2O_2 + 2O_3 \rightarrow 2\bullet OH + 3O_2 \quad (9)$$

2.4.4. Hidrojen Peroksit-UV Prosesi

Fotokimyasal proseslerin gerçekleşmesi için gerekli olan iki temel parametreden birincisi ışık diğeri ise bu ışıkla radikal oluşturacak veya radikale dönüşecek maddelerdir.

Hidrojen peroksit güçlü bir kimyasal yükseltgendir. UV ışığı, oksidan bir molekülü parçaladığında oluşan serbest radikaller ise daha enerjik yükseltgenler olarak bilinmektedir. UV ışınlamasına maruz kalan hidrojen peroksit fotokimyasal olarak kararsızdır. UV ışını ve H_2O_2 ışınlanması birçok farklı kimyasal maddeyle reaksiyona girebilmektedir ve bunun sonucunda ise •OH radikalleri oluşmaktadır. Oluşan radikaller ise daha sonra organik kirleticilerle reaksiyona girmekte veya H_2O_2 parçalanma-oluşma döngüsüne girmektedir. Yaklaşık olarak 220 nm'de H_2O_2 tarafından UV radyasyonu absorbe edilebilmektedir. Hidrojen peroksitin UV ışığı ile fotolizi sonucunda oluşan •OH radikallerinin oluşum reaksiyonu aşağıda belirtilmiştir.

$$H_2O_2 + hv \rightarrow 2\bullet OH \quad (10)$$

2.4.5. O_3/H_2O_2/UV Prosesi

O_3/H_2O_2/UV prosesinde oluşan •OH radikalleri ile organik kirleticiler fotookside ve mineralize olmaktadır. Ozonun parçalanması, UV ışınlaması altındaki elektron transferiyle H_2O_2 tarafından başlamaktadır. Bunun sonucunda ise •OH radikalleri oluşmaktadır [36]. Organik kirliliklerin ozonla oluşan reaksiyonları, hidrojen peroksitin ilavesiyle oluşan OH· radikallerinin de etkisiyle birlikte oksidatif parçalanma oranları artmaktadır. Dolayısıyla bu proses hidroksil radikallerinin fotokimyasal olarak oluşumunu hızlandırmaktadır [33].

2.4.6. Vakum Ultraviyole Prosesi (VUV)

100-200 nm dalga boyu aralığında olan VUV prosesleri, ışınımı güçlü bir şekilde absorbe edebilen havayı içinde bulunduran ultraviyole spektral alandan oluşmaktadır. Bu uygulamalar, kloro ve/veya floro hidrokarbonların VUV prosesi ile kolaylıkla oksidatif olarak parçalanması gibi yoğunlaşmış ve gaz fazdaki organik bileşiklerin parçalanması ile yakından ilişkilidir. Vakum ultraviyole fotokimyasal prosesleri, 172±12 nm dalga boyunda, 1000 W gücünde Xe excimer lambalarının geliştirilmesiyle birlikte atıksu arıtımında daha sık kullanılabilir hale gelmiştir. 190 nm'lik dalga boyundan daha düşük ultraviyole dalga boylarındaki yüksek enerji, suyu fotolize ederek $OH^{\cdot}$ ve $^{\cdot}H$ radikallerinin artışına sebep olmaktadır [33].

$$H_2O \xrightarrow{hv} {}^{\cdot}H + OH^{\cdot} \quad (11)$$

2.4.7. Fenton Oksidasyonu

Fenton oksidasyonu Fe^{+2} ve H_2O_2'nin sulu karışımını ifade etmektedir. Fe^{+2} ve organik madde içeren sulu bir çözeltiye H_2O_2 eklendiğinde asidik şartlarda (2<pH<5) •OH radikalleri başta olmak üzere birçok radikal türü oluşturmaktadır. Oluşan bu radikaller ise organik maddeyle etkileşime geçerek H_2O ve CO_2 gibi son ürünlere kadar parçalamaktadır [37].

$$Fe^{+2} + H_2O_2 \rightarrow Fe^{+3} + OH^- + \bullet OH \quad (12)$$

2.4.8. Foto-fenton Prosesi ($UV/H_2O_2/Fe^{2+}$)

$UV/H_2O_2/Fe^{2+}$ kombinasyonu fotofenton proses olarak adlandırılmaktadır. UV ışınım varlığında gerçekleşen fenton prosesi, foto-fenton prosesi olarak bilinmektedir. Fenton prosese göre daha fazla hidroksil radikalleri oluşturmaktadır. Ayrıca, 400 nm'ye yakın dalga boyu değerlerindeki fotonlar kullanılabilen bu proseste organik maddenin yıkımını ve mineralizasyonunu daha etkili bir şekilde sağlamaktadır. Bu şartlarda Fe^{3+} komplekslerinin fotolizi ile Fe^{2+} iyonları tekrar oluşturulmaktadır.

$$FeOH^{2+} + hv \rightarrow Fe^{2+} + OH\bullet \quad (13)$$

Atıksuyun pH'ı, reaksiyon sıcaklığı, başlangıç Fe^{2+}, Fe^{3+} ve H_2O_2 konsantrasyonları, içerdiği organik ve inorganik bileşenlerin türleri ve miktarları fenton proseslerinin verimliliğine etki eden faktörler olarak bilinmektedir [38].

2.5. İleri Oksidasyon Proseslerinin Atıksuların Arıtımındaki Uygulamaları

Shu vd. (2013) [39], orta basınçlı UV/H_2O_2 gelişmiş oksidasyon prosesi kullanarak ortaya çıkan mikrokirleticilerin fotodegradasyonunu araştırmışlardır. Model kirletici olarak hidroksil radikalleriyle hızlı bir şekilde reaksiyon verebilen naproksen, karbamazepin, diklofenak, gemfibrozil, ibuprofen, kafein, 2,4-D, 2,4-DCP ve mekoprop seçmişlerdir. Seçilen tüm bileşiklerin degradasyonu için birinci dereceden kinetik davranış gözlemlemişlerdir. Her bileşik için kuantum verimi, orta basınçlı UV fotolizi 2,4-D, karbamazepin, kafein ve naproksenin degradasyonu için düşük basınçlı UV fotolizinden daha etkili olduğunu ifade etmişlerdir. Buna ilaveten, doğrudan UV fotolizinin diklofenak ve mekoprop degradasyonu için de çok etkili olduğunu belirtmişlerdir. Çeşitli H_2O_2 seviyelerinde % 50 ve % 90 uzaklaştırma için gerekli olan UV dozları, test edilen bileşikler arasında büyük farklılıklar göstermiştir. H_2O_2 varlığında, doğrudan UV fotolizine kıyasla, 25 mg/L H_2O_2 konsantrasyonunda özellikle kafein ve karbamazepin için seçilen tüm bileşiklerin genel oksidasyon hızlarının arttığını bulmuşlardır. Dolayısıyla H_2O_2 ilavesinin degradasyonu artırdığı için çok etkili olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca çalışmalarında daha yüksek H_2O_2 konsantrasyonunda ve bileşiklerin konsantrasyonlarının daha düşük olması durumunda degradasyon oranı üzerine pozitif bir etki sağladığını bildirmişlerdir.

Ateş ve Argun (2021) [40], depolama sahası sızıntı suyunun gelişmiş oksidasyonunda mikrokirleticilerin giderilmesi üzerine çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında fenton ve ozon oksidasyonunun polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH'lar), ftalatlar, alkilfenoller ve pestisitleri içeren 16 ortaya çıkan mikrokirleticinin giderilmesi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Ayrıca, her iki proses için oksidasyon ara maddeleri, esas olarak benzaldehit, pentanoik asit ve hidrosinnamik asit ve ayrıca naftalenon ve naftalendiol türevleri olarak bulmuşlardır. Ayrıca, fenton oksidasyonunda moleküler ağırlığı daha yüksek asit ester, naftalin bazlı ve fenolik bileşikler tespit etmişlerdir. Sızıntı suyunun fenton ve ozon oksidasyonu reaksiyon süresi 20-90 dakika, Fe(II) dozu: 0,51-2,55 g/L, H_2O_2 dozu: 5,1-25.5 g/L ve pH: 3-5 aralığında ve ayrıca ozonlama süresinin ise 10-130 dk ve pH: 4-10 olduğunu belirtmişlerdir. Bu işletme koşulları arasında, her iki işlem içinde di-(2-Etilheksil) ftalat, 4-nonilfenol ve 4-tert-oktilfenolün elimine edilmesinde reaksiyon süresinin daha önemli bir rol oynadığını belirtmişlerdir. Deneysel çalışmalarında sonuçlar, fenton ve ozon oksidasyon proseslerinin dört ve daha fazla halka içeren PAH'lar dışında mikrokirleticiler için yüksek bir bozunma potansiyeline (%5-100) sahip olduğunu göstermiştir. Fenton prosesinde kimyasal oksijen ihtiyacının (KOİ) ve ftalatlar gibi bazı mikrokirleticilerin giderim verimlerinin ozonlamaya göre çok daha yüksek olmasına rağmen fenton oksidasyonu sırasında meydana gelen bozunma ürünlerinin daha yüksek moleküler ağırlıkta olduğunu ifade etmişlerdir. Ozonlamanın hem moleküler ozon hem de •OH radikalleri üretmesi nedeniyle mikrokirletici mineralizasyonu açısından fentona göre daha etkili bir yöntem olduğunu belirtmişlerdir. Ancak, ftalatların sızıntı suyundan uzaklaştırılmasında fenton prosesinin ozon oksidasyonundan daha etkili olduğunu bulmuşlardır. Sonuç olarak, fenton ve ozonlama prosesleri ile tek bir arıtma adımında ardışık arıtma proseslerinden daha yüksek uzaklaştırma verimleri elde edilebileceği ve sızıntı suyunun yüksek organik ve inorganik içeriğinin mikrokirleticilerin giderimi üzerinde olumsuz bir etkisi olmadığı sonucuna varmışlardır.

Bagheri vd. (2017) [41], iki dairesel VUV reaktöründen oluşan pilot Vakum-UV gelişmiş oksidasyon prosesi kullanarak yüzey suyundan mikrokirleticilerin giderilmesi üzerine çalışmalar yapmışlardır. Sentetik ve doğal yüzey suyunda bir model organik mikrokirletici olarak yaygın olarak kullanılan bir herbisit olan atrazinin sürekli akış altında degradasyonunu araştırmışlardır. Hem sentetik hem de ham yüzey suyu numuneleri için bir giriş akışında 100 ppb atrazinin % 97 oranında giderilmesini Reynolds sayısının 4500'ün altındayken elde etmişlerdir. Organik mikrokirleticilerin etkin bir şekilde giderilmesi ve VUV sürecinin fizibilitesinin daha iyi anlaşılmasını sağlamak için pilot çalışmadan elde edilen verileri kullanarak eksiksiz bir tanımlayıcı hesaplamalı akışkanlar dinamiği modeli geliştirmişlerdir. Önerilen model, değişen akış hızlarının ve su matrisinin (doğal organik madde ve alkalinite) atrazin bozunması üzerindeki etkisini, % 2,8'den az ortalama mutlak bağıl sapma ile yakından öngörmüştür. Hedef kirleticide % 90'dan (1 log) daha fazla azalma giderim sağlamışlardır. 6 L=min (R ~ 5.000) altındaki hem sentetik hem de doğal su numuneleri için VUV teknolojisinin organik mikrokirleticilerin etkin bir şekilde giderilmesi için kimyasal içermeyen ve basit bir çözüm olduğunu belirtmişlerdir. Tam tanımlayıcı bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği modelinin geliştirilmesi yoluyla, atrazinin •OH degradasyon (oksidasyon) hızının 254 nm doğrudan fotoliz ile ilişkili olandan yaklaşık üç kat daha büyük ve 185 nm doğrudan fotoliz oranından yaklaşık 50 kat daha büyük olduğunu bulmuşlardır.

Macsek vd. (2017) [42], içme sularından farmasötiklerin giderilmesi üzerine araştırma yapmışlardır. Araştırma projesinde makrolid antibiyotikler (azitromisin, klaritromisin, eritromisin, roksitromisin), sülfonamid antibiyotikler (sülfametazin, sülfametoksazol, sülfatiazol) ve nonsteroidal antiinflamatuar ilaçlar (diklofenak, ibuprofen, ketoprofen) gibi mikrokirleticilerin giderimi üzerine çalışmışlardır. Deneysel çalışmalarını yüzeysel olarak kirlenmiş sularla yürütmüşlerdir ve çalışmalarında yüzeysel olarak kirlenmiş içme suyu matrisinden gelişmiş oksidasyon proseslerinin (O_3, H_2O_2, UV, O_3/UV, H_2O_2/UV, O_3/H_2O_2) çeşitli kombinasyonlarının giderim verimliliklerine odaklanmışlardır ve her bir kombinasyonda ilave edilen oksitleyici ajanların miktarı üzerine giderim verimliliğini araştırmışlardır. Deneysel çalışmalarında ozon bazlı işlemlerin, çalışılan mikrokirleticilerin degradasyonu için hidrojen peroksit proseslerinden daha etkili olduğunu bulmuşlardır. Ancak, UV ile birleştirilmiş ozonlama deneyleri, basit ozonlama ile karşılaştırıldığında giderimde önemli bir gelişme göstermediğini ifade etmişlerdir. H_2O_2/UV-C kombinasyonu kullanıldığında önemli giderim etkisi meydana geldiğini ifade etmişlerdir. Sülfonamid antibiyotiklerin uzaklaştırılması % 70'in üzerinde, ketoprofen ve diclofenac giderim verimliliği ise % 80'in üzerinde gözlemlemişler, ayrıca makrolid antibiyotiklerin uzaklaştırma oranı 3.03 mmol/L H_2O_2 konsantrasyonunda % 50 olduğunu belirtmişlerdir. Bunlara ilaveten her farmasötik grupta benzer uzaklaştırma eğilimleri elde etmişlerdir. Sonuç olarak yazarlar, çalışılan mikrokirleticiler için sadece ozon bazlı prosesler kullanılarak yeterli giderim oranına ulaştıklarını belirtmişlerdir. O_3'e karşı 24 kat daha yüksek H_2O_2 dozajındaki hidrojen peroksit proseslerinin ise karşılaştırılabilir sonuçlara ulaşmadığını ifade etmişlerdir. Sonuç olarak, test edilen oksidasyon prosesi kombinasyonlarından, çalışılan kirleticilerin gideriminde en etkili prosesin H_2O_2/O_3 kombinasyonu olduğunu ve tüm kirleticilerin giderim oranının % 90'ın üzerinde ve çoğu mikrokirleticinin ise tamamen giderildiğini ifade etmişlerdir.

3. TÜRKİYE'DE MEVCUT DURUM DEĞERLENDİRMESİ

Türkiye'de su kaynakları politikası ve kaynak yönetimi; ekonomik ve sosyal kalkınma, su ve gıda güvenliği, Avrupa Birliği ile tam üyelik müzakereleri ve bölgedeki gelişmeler değerlendirilerek oluşturulmaktadır ve bu konulardaki mevcut değişikliklere bağlı olarak revize edilmektedir. Ülkemizin Avrupa Birliğine adaylık süreci içerisinde olmasından dolayı AB mevzuatı ve ilgili mevzuatları bütüncül bir hale getirerek uyum kazandırmak ve aynı zamanda mevcut mevzuat ve yönergeleri kendi iç hukukuna bütünleştirmesi gerekliliği altında olduğu bilinmektedir.

Türkiye'de Su Çerçeve Direktifi (SÇD) ve Avrupa Birliği uyum süreci ile birlikte çevre alanında yasal düzenlemeler hız kazanmış durumdadır. 10.05.1926 tarihli 831 sayılı Sular Hakkında Kanun'dan günümüze kadar suyu kendine konu edinmiş 18 adet Kanunun yürürlüğe girdiği ve bununla birlikte, SÇD sonrası 22 adet yönetmelik ve 9 adet tebliğ yürürlüğe girdiği bildirilmiştir. Bu direktifin amaçları arasında; su kaynaklarının tahribatının önlenmesi, korunması ve iyileştirilmesi, su kaynaklarının uzun vadeli korunmasıyla sürdürülebilir su kullanımının teşviki, sucul ekosistemlerin ileri derecede korunması ve iyileştirilmesi, yeraltı su kirliliğinin azaltılıp daha fazla kirlenmesinin engellenmesi, sel ve kuraklık etkilerinin azaltılması gibi hususlar bulunmaktadır. Yapılan araştırmalarla Türkiye'de Avrupa Birliği Su Çerçeve Direktifi standartlarına uygun bir su kanununun olmaması, suyun aktif bir şekilde yönetimini ve kurumlar arası eş güdümü olumsuz şekilde etkilediği görülmüştür [43]. Ancak 2012 yılında hazırlanan "Su Kanunu Tasarısı ve Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği" günümüz şartları ve Avrupa Birliği Su Çerçeve Direktifi ile uyumlu olacak şekilde güncellenerek yürürlüğe konulması, hem su yönetimi bakımından hem de politik, örgütsel ve hukuki bütünlüğünün sağlanabilmesi bakımından oldukça önem arz etmektedir.

Bu bağlamda 30.11.2012 tarih ve 28483 sayılı Yönetmelik ile yürürlüğe giren ve 10.06.2016 tarihinde revize edilen Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'nde yüzeysel sular ile kıyı ve geçiş sularının biyolojik, kimyasal, fizikokimyasal ve hidromorfolojik kalitelerinin belirlenmesi, sınıflandırılması, su kalitesinin ve miktarının izlenmesinin sağlanması ve bu suların kullanım maksatlarının sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle uyumlu bir şekilde koruma kullanma dengesi de gözetilerek ortaya konulması, korunması ve iyi su statüsüne ulaşılması için alınacak tedbirlere yönelik usul ve esasların belirlenmesi amaçlanmaktadır. İlgili yönetmelikte ele alınan başlıklar ise; yüzeysel su kalitesinin korunmasına dair ilke ve esaslar, alıcı su ortamlarının korunması, hassas su alanları ve bölgelerin belirlenmesi, yüzeysel su kütlelerinde baskı ve etkilerin değerlendirilmesi, çevresel hedeflerin belirlenmesi, çevresel kalite standartlarının belirlenmesi, referans su kütlesi, yüzeysel suların sınıflandırılması, izleme verilerinin değerlendirilmesi, trofik seviye belirlenmesi, kirliliğin önlenmesi, su kalitesi yönetimi için tedbirler programı, koruma bölgeleri, izleme olarak değerlendirilmektedir.

Alıcı su ortamlarının korunması için deşarj kriterleri, alıcı ortamın atıksuları özümseme kapasitesi, Bakanlıkça belirlenen çevresel kalite standartları (ÇKS) da göz önüne alınarak Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından belirlenmektedir. Alıcı ortama yayılı kaynaklardan gelen kirlilikle ilgili gerekli tedbirler ise ÇKS'ler esas alınarak Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığınca alınmaktadır.

Yüzeysel Su Kütlelerinde Baskı ve Etkilerin Değerlendirilmesi'nde; noktasal baskılar, yayılı baskılar, hidromorfolojik baskılar, su kullanımı ve tedariki sonucu ortaya çıkan baskılar, diğer önemli insan faaliyetlerinden kaynaklanan baskılar gibi konular ele alınmaktadır. Burada baskı ve etkilerin belirlenmesi sonucunda risk değerlendirme faaliyetleri Bakanlık tarafından yapılmaktadır.

Yüzeysel su kütlelerinde çevresel hedeflere ulaşılması esastır. Çevresel hedefler havza bazlı sınıflandırma sonucuna göre Bakanlık tarafından belirlenmektedir. Ancak, çevresel hedeflere ulaşılamaması durumu ilave tedbirlerin alınmasını gerektirebilmektedir. Bu kapsamda modelleme teknikleri kullanılarak, ilgili kurum ve kuruluşlarla yapılacak ortak çalışmalar neticesinde daha düşük hedefler belirlenebilmektedir.

AB üye ülkelerinde yüzeysel sularda iyi statüye sahip kimyasal su durumuna ulaşılması amacıyla öncelikli kirleticilerin ve bu kirleticilere ilişkin çevresel kalite standartlarının ortaya konulması hedeflenmiştir. Öncelikli kirleticiler ile spesifik kirleticiler için çevresel kalite standartlarının Bakanlıkça belirleneceği ifade edilmiştir. Çevresel kalite standartlarının belirlenmesinde esas amaç; alıcı ortamda su kalitesini sağlamak, su kaynaklarında kirliliği kontrol altına almak, izleme verilerinde dikkate alınması gereken limitleri belirlemek ve deşarj standartlarını belirlemektir. Bu standart değerler deşarj standardı olarak değil, alıcı ortamda aşılmaması gereken standardı ifade etmektedir. Bu standartlar, öncelikli maddeler ile spesifik kirleticiler için belirlenmektedir. Su Çerçeve Direktifi'ne göre su kaynaklarının kimyasal durumu ve ekolojik durumunun belirlenmesi de dikkate alınmaktadır. Yerüstü su kaynakları için öncelikli maddeler ve çevresel kalite standartları Tablo 1'de gösterilmiştir. Su kolonu, dip çökeltisi ve biyotada ÇKS belirlenmesi gereken kirleticiler veya kirletici grupları; organohalojen bileşikler ve su çevresinde bu gibi bileşikler oluşturabilecek maddeler, organofosforlu bileşikler, organokalay bileşikleri, kanserojen maddeler, kalıcı olarak bozucu mutajenik veya steroidojenik tiroit, üreme veya diğer endokrin bağlantılı faaliyetleri su çevresinde veya su çevresi yoluyla etkileyebilecek özelliklere sahip olduğu ispatlanmış maddeler ve preparatlar veya türevleri, kalıcı hidrokarbonlar ve biyolojik olarak birikebilir organik toksik maddeler, siyanürler, metaller ve metal bileşikleri, arsenik ve arsenik bileşikleri, biositler ve bitki koruma ürünleri olarak bilinmektedir.

Alıcı ortamlarda ÇKS'lerin aşılıp aşılmadığının tespit edilmesi, aşılması durumunda uygulanması gereken tedbirlere yönelik kontrol mekanizmaları için izleme programlarının oluşturulması/altyapısının geliştirilmesi ve izleme verilerinin değerlendirilmesinde dikkate alınacak limitler Bakanlık tarafından belirlenmektedir. Bu veriler arasında; su ve sediman için toksisite verileri, arazi verileri, kuş ve memelilerde toksisite verileri, fizikokimyasal veriler, biyoakümülasyon ve biyokonsantrasyon verileri yer almaktadır. İnsan sağlığı ve çevrenin korunması amacıyla aşılmaması gereken sınır değer ölçülen konsantrasyonun ÇKS ile ilişkisine bağlıdır. Ölçülen konsantrasyon ÇKS değerinden düşükse iyi statü, eğer büyükse kötü statü su olarak değerlendirilmektedir.

Yakın gelecekte Avrupa birliğine girmeyi hedefleyen Türkiye, bu hedefe ulaşmak için AB Su Çerçeve Direktiflerine bütünlük sağlaması ve SÇD'leri uygulaması gerekmektedir. Dolayısıyla, hem AB hedeflerine ulaşmak için kurumsal ve yasal düzenlemelerin sağlanması hem de görev ve yetkilerin bölge düzeyine aktarımının sağlanması gerekmektedir. Bu kapsamda, Türkiye, SÇD'ye uyum sağlamak adına 25 havza üzerinde Havza Koruma Eylem Planları hazırlanarak uygulamaya konulmasını hedeflemiştir. Meriç-Ergene, Konya, Büyük Menderes ve Susurluk havzalarında Havza Koruma Eylem Planları tamamlanmıştır [43].

Ülkemizde içme suyu temin edilen veya temin edilmesi planlanan sular ile ilgili esaslar, kalite kriterleri ile suların içme ve kullanma suyu olarak kullanılabilmesi için belirlenmesi gereken arıtma sınıflarını ve arıtma veriminin tespitine ilişkin hususlar belirlenmiştir. İlgili yönetmeliğe göre bu hususlar suların kalite kategorisi, suların dahil olduğu kategoriye göre uygulanacak arıtma sınıfları, bu sularda izlenmesi gereken parametreler, numune alma, analiz sıklıkları ve içme suyu arıtma tesislerinin arıtma veriminin tespitlerini içermektedir. Ülkemizde içme ve kullanma suyu temin edilen veya temin edilmesi planlanan sular A1 (Basit fiziksel arıtma ve dezenfeksiyon ardından içilebilir hale gelen sular), A2 (Fiziksel arıtma, kimyasal arıtma ve dezenfeksiyon ardından içilebilir hale gelen sular), A3 (Fiziksel arıtma, kimyasal arıtma, ileri arıtma ve dezenfeksiyon ardından içilebilir hale gelen sular) olmak üzere 3 kategoriye ayrılmıştır. Özellikle A3 kategorisi için sınır değerlerin aşılması durumunda fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik kirlilik içeren suların içme ve kullanma suyu olarak kullanımı tercih edilmemektedir. Ancak, bu kategorideki sular daha iyi kalitede alternatif su kaynağı bulunamadığı durumlarda suyun kalite özelliklerini içme suyu için uygun kalite standartları düzeyine yükseltecek ileri arıtma prosesleri ile arıtımı yapılarak içme suyu temininde kullanılabilmektedir.

İçme suyu arıtma tesislerinin giriş ve çıkış suyu Tablo 2'de yer alan parametreler doğrultusunda izlenmektedir. Söz konusu parametrelerin arıtma verimi, her bir parametre için giderim yüzdesi olarak hesaplanmaktadır. İçme suyu arıtma tesisi çıkış suları, İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelikte yer alan içme suyu standartlarına ulaştırılamadığı durumlarda tesiste gerekli revizyon çalışmaları yapılarak arıtma proseslerinin verimliliğinin artırılması gerekmektedir. İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelikte yer almayan

parametreler ise Tablo 2'de A1 sınıfında verilen parametre değerlerini sağlamak zorunda olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, insani tüketim amaçlı suların teknik ve hijyenik şartlara uygunluğu ile suların kalite standartlarının sağlanması ve denetimlerinin yapılmasında Tablo 3'de gösterilen kimyasal parametrik değerlere uygunluk dikkate alınmaktadır.

Tablo 1. Yerüstü Su Kaynakları İçin Öncelikli Maddeler ve Çevresel Kalite Standartları (ÇKS)

No	Madde Adı	CAS No	YO-ÇKS Nehirler/Göller (µg/L)	MAK-ÇKS Nehirler/Göller (µg/L)	YO-ÇKS Kıyı ve Geçiş Suları (µg/L)	MAK-ÇKS Kıyı ve Geçiş Suları (µg/L)
1	Alaklor	15972-60-8	0,3	0,7	0,3	0,7
2	Antrasen	120-12-7	0,1	0,4	0,1	0,4
3	Atrazin	1912-24-9	0,6	2,0	0,6	2,0
4	Benzen	71-43-2	10	50	8	50
5	Bromlu difenileter[1]	32534-81-9	-	0,14	-	0,014
6	Kadmiyum ve bileşikleri[2]	7440-43-9	< 0,08 (Sınıf 1) 0,08 (Sınıf 2) 0,09 (Sınıf 3) 0,15 (Sınıf 4) 0,25 (Sınıf 5)	< 0,45 (Sınıf 1) 0,45 (Sınıf 2) 0,6 (Sınıf 3) 0,9 (Sınıf 4) 1,5 (Sınıf 5)	0,2	< 0,45 (Sınıf 1) 0,45 (Sınıf 2) 0,6 (Sınıf 3) 0,9 (Sınıf 4) 1,5 (Sınıf 5)
7	C10-13-Kloroalkanlar	85535-84-8	0,4	1,4	0,4	1,4
8	Klorfenvinfos	470-90-6	0,1	0,3	0,1	0,3
9	Klorpirifos (Klorpirifos-etil)	2921-88-2	0,03	0,1	0,03	0,1
10	1,2-dikloroetan	107-06-2	10	-	10	-
11	Diklorometan	75-09-2	20	-	20	-
12	Di (2-etilhekzil) fitalat (DEHP)	117-81-7	1,3	-	1,3	-
13	Diuron	330-54-1	0,2	1,8	0,2	1,8
14	Endosulfan	115-29-7	0,005	0,01	0,0005	0,004
15	Floranten	206-44-0	0,0063	0,12	0,0063	0,12
16	Hekzakloro-benzen	118-74-1	-	0,05	-	0,05
17	Hekzakloro-bütadien	87-68-3	-	0,6	-	0,6
18	Hekzakloro-siklohekzan	608-73-1	0,02	0,04	0,002	0,02
19	Isoproturon	34123-59-6	0,3	1,0	0,3	1,0
20	Kurşun ve bileşikleri[3]	7439-92-1	1,2	14	1,3	14
21	Cıva ve bileşikleri	7439-97-6	-	0,07	-	0,07
22	Naftalin	91-20-3	2	130	2	130
23	Nikel ve bileşikleri[3]	7440-02-0	4	34	8,6	34
24	Nonilfenoller (4-Nonilfenol)	84852-15-3	0,3	2,0	0,3	2,0
25	Oktilfenol ((4-(1,1',3,3' - tetrametilbütil)-fenol))	140-66-9	0,1	-	0,01	-
26	Pentakloro-benzen	608-93-5	0,007	-	0,0007	-
27	Pentakloro-fenol	87-86-5	0,4	1	0,4	1
28	Poliaromatik hidrokarbonlar (PAH)	-	-	-	-	-
	Benzo(a)piren	50-32-8	$1,7 \times 10^{-4}$	0,27	$1,7 \times 10^{-4}$	0,027
	Benzo(b)floranten	205-99-2	-	0,017	-	0,017
	Benzo(k)floranten	207-08-9	-	0,017	-	0,017
	Benzo(g,h,i)perilen	191-24-2	-	$8,2 \times 10^{-3}$	-	$8,2 \times 10^{-4}$
	Indeno(1,2,3-cd)piren	193-39-5	-	-	-	-
29	Simazin	122-34-9	1	4	1	4
30	Tributilkalay bileşikleri	36643-28-4	0,0002	0,0015	0,0002	0,0015

	(Tributilkalay-katyonu)					
31	Trikloro-benzenler	12002-48-1	0,4	-	0,4	-
32	Trikloro-metan	67-66-3	2,5	-	2,5	-
33	Trifluralin	1582-09-8	0,03	-	0,03	-
34	Dikofol	115-32-2	$1,3 \times 10^{-3}$	-	$3,2 \times 10^{-5}$	-
35	Perflorooktan sülfonik asit ve türevleri (PFOS)	1763-23-1	$6,5 \times 10^{-4}$	36	$1,3 \times 10^{-4}$	7,2
36	Kinoksifen	124495-18-7	0,15	2,7	0,015	0,54
37	Dioksinler ve dioksin benzeri bileşikler[4]		-	-	-	-
38	Aklonifen	74070-46-5	0,12	0,12	0,012	0,012
39	Bifenoks	42576-02-3	0,012	0,04	0,0012	0,004
40	Sibutrin	28159-98-0	0,0025	0,016	0,0025	0,016
41	Sipermetrin[5]	52315-07-8	8×10^{-5}	6×10^{-4}	8×10^{-6}	6×10^{-5}
42	Diklorvos	62-73-7	6×10^{-4}	7×10^{-4}	6×10^{-5}	7×10^{-5}
43	Hekzabromo-siklododekanlar (HBCDD)[6]		0,0016	0,5	0,0008	0,05
44	Heptaklor ve heptaklor epoksit	76-448/1024-57-3	2×10^{-7}	3×10^{-4}	1×10^{-8}	3×10^{-5}
45	Terbutrin	886-50-0	0,065	0,34	0,0065	0,034

[*] 2013/39/EU sayılı Avrupa Birliği Direktifi'nde listelenen öncelikli maddeler ve çevresel kalite standartlarını ifade eder.

[1] Bromludifenileterler için verilen ÇKS değeri 28, 47, 99, 100, 153 ve 154 numaralı konjinerlerin toplamının konsantrasyonunu ifade eder.

[2] Sınıf 1: <40 mg $CaCO_3$/L; Sınıf 2: 40-50 mg $CaCO_3$/L; Sınıf 3: 50-100 mg $CaCO_3$/L; Sınıf 4: 100-200 mg $CaCO_3$/L; Sınıf 5: ≥200 mg $CaCO_3$/L

[3] ÇKS'ler bu maddelerin biyolojik olarak kullanılabilir konsantrasyonlarını ifade eder.

[4] 7 adet poliklorlu dibenzo-p-dioksin (PCDDs): 2,3,7,8-T4CDD (CAS 1746-01-6), 1,2,3,7,8-P5CDD (CAS 40321-76-4), 1,2,3,4,7,8- H6CDD (CAS 39227-28-6), 1,2,3,6,7,8-H6CDD (CAS 57653-85-7), 1,2,3,7,8,9-H6CDD (CAS 19408-74-3), 1,2,3,4,6,7,8-H7CDD (CAS 35822-46-9), 1,2,3,4,6,7,8,9-O8CDD (CAS 3268-87-9)
10 adet poliklorlu dibenzofuran (PCDFs): 2,3,7,8-T4CDF (CAS 51207-31-9), 1,2,3,7,8-P5CDF (CAS 57117-41-6), 2,3,4,7,8-P5CDF (CAS 57117-31-4), 1,2,3,4,7,8-H6CDF (CAS 70648-26-9), 1,2,3,6,7,8-H6CDF (CAS 57117-44-9), 1,2,3,7,8,9-H6CDF (CAS 72918- 21-9), 2,3,4,6,7,8-H6CDF (CAS 60851-34-5), 1,2,3,4,6,7,8-H7CDF (CAS 67562-39-4), 1,2,3,4,7,8,9-H7CDF (CAS 55673-89-7), 1,2,3,4,6,7,8,9-O8CDF (CAS 39001-02-0)
12 adet dioksin benzeri poliklorlu bifenil (PCB-DL): 3,3',4,4'-T4CB (PCB 77, CAS 32598-13-3), 3,3',4',5-T4CB (PCB 81, CAS 70362- 50-4), 2,3,3',4,4'-P5CB (PCB 105, CAS 32598-14-4), 2,3,4,4',5-P5CB (PCB 114, CAS 74472-37-0), 2,3',4,4',5-P5CB (PCB 118, CAS 31508-00-6), 2,3',4,4',5'-P5CB (PCB 123, CAS 65510-44-3), 3,3',4,4',5-P5CB (PCB 126, CAS 57465-28-8), 2,3,3',4,4',5-H6CB (PCB 156, CAS 38380-08-4), 2,3,3',4,4',5'-H6CB (PCB 157, CAS 69782-90-7), 2,3',4,4',5,5'-H6CB (PCB 167, CAS 52663-72-6), 3,3',4,4',5,5'-H6CB (PCB 169, CAS 32774-16-6), 2,3,3',4,4',5,5'-H7CB (PCB 189, CAS 39635-31-9).

[5] 52315-07-8 numaralı CAS Numarası sipermetrinin, alfa sipermetrin (CAS 67375-30-8), beta sipermetrin (CAS 65731-84-2), teta sipermetrin (CAS 71697-59-1) ve zeta sipermetrinden (CAS 52315-07-8) oluşan bir izomer karışımını ifade eder.

[6] 1,3,5,7,9,11-Hekzabromosiklododekan (CAS 25637-99-4), 1,2,5,6,9,10-Hekzabromosiklododekan (CAS 3194-55-6), α-Hekzabromosiklododekan (CAS 134237-50-6), β-Hekzabromosiklododekan (CAS 134237-51-7) ve γ-Hekzabromosiklododekanı (CAS 134237-52-8) ifade eder.

Tablo 2. İçme Suyu Arıtma Tesislerinin Giriş ve Çıkış Sularında İzlenen Parametreler

No	Parametre	CAS No	Birim	Kılavuz Değerler		
				A1	A2	A3
1	pH			≤ 9,5-6,5≤	≤ 9,5-6,5≤	≤ 9,5-6,5≤
2	Bulanıklık		NTU	1	50	500
3	İletkenlik (20 ºC'de)		µS/cm	2.500	-	25.000
4	Renk		Pt/Co	15	30	150
5	Alüminyum	7429-90-5	µg/L	200	500	2000
6	Amonyum	14798-03-9	mg/L	0,5	2,5	5
7	Antimon	7440-36-0	µg/L	5	15	50
8	Arsenik	7440-38-2	µg/L	10	40	100
9	Bakır	7440-50-8	µg/L	2000	5000	20000
10	Baryum	7440-39-3	µg/L	2000	-	20000
11	Berilyum	7440-41-7	µg/L	60	300	600
12	Bor	7440-42-8	µg/L	1000	1250	5000

13	Bromat*	15541-45-4	µg/L	10	12	100
14	Cıva	7487-94-7	µg/L	1	2,5	5
15	Çinko	7440-66-6	µg/L	3000	6000	12000
16	Demir	7439-89-6	µg/L	200	1000	2000
17	Fenoller		mg/L	0,002	0,005	0,01
18	Florür	7681-49-4	µg/L	1500	5000	7500
19	Kadmiyum	7440-43-9	µg/L	5	15	50
20	Klorür	16887-00-6	mg/L	250	-	1250
21	Kobalt	7440-48-4	µg/L	800	-	2600
22	Krom	7440-47-3	µg/L	50	500	1.000
23	Kurşun	7439-92-1	µg/L	10	50	100
24	Mangan	7439-96-5	µg/L	50	100	250
25	Nikel	7440-02-0	µg/L	20	30	200
26	Nitrat	14797-55-8	mg/L	50	-	330
27	Nitrit	14797-65-0	mg/L	0,5	-	3,33
28	Ortofosfat		mg/L	0,4	0,7	-
29	Selenyum	7782-49-2	µg/L	10	20	100
30	Siyanür	57-12-5	µg/L	50	-	125
31	Sodyum	7440-23-5	mg/L	200	-	2.000
32	Sülfat		mg/L	250	-	1.250
33	Toplam Organik Karbon (TOK)		mg/L	4	4,7	10
34	1-1 Dikloroetan	75-34-3	µg/L	140	-	700
35	1,2-Dikloroetan	107-06-2	µg/L	3	-	15
36	2,4-d izooktil ester	25168-26-7	µg/L	0,1	0,14	0,25
37	4-kloroanilin	106-47-8	µg/L	0,1	-	0,33
38	Akrilamid*	79-06-1	µg/L	0,1	-	0,3
39	Alaklor	15972-60-8	µg/L	0,1	0,14	0,5
40	Aldrin	309-00-2	µg/L	0,03	0,04	0,1
41	Asetoklor	34256-82-1	µg/L	0,1	0,11	0,25
42	Benzen	71-43-2	µg/L	1	-	3
43	Benzo(a)piren	50-32-8	µg/L	0,01	0,02	0,03
44	Bromoksinil	1689-84-5	µg/L	0,1	-	0,2
45	Bromür	7726-95-6	µg/L	2000	4000	6500
46	Di (2-etilhekzil) fitalat (DEHP)	117-81-7	µg/L	10	15	35
47	Dieldrin	60-57-1	µg/L	0,03	0,04	0,15
48	Dikloroasetik asit	79-43-6	µg/L	0,1	-	0,5
49	Diklobenil	1194-65-6	µg/L	0,1	-	0,25
50	Diklorometan	75-09-2	µg/L	20	-	100
51	Diklorvos	62-73-7	µg/L	0,1	0,12	0,5
52	Dikofol	115-32-2	µg/L	0,1	0,5	0,65
53	Diuron	330-54-1	µg/L	0,1	0,3	1
54	Etilen tiyoüre (ETU)	96-45-7	µg/L	0,1	0,25	0,5
55	Fentiyon	55-38-9	µg/L	0,1	-	0,5
56	Hekzakloro-benzen	118-74-1	µg/L	0,05	0,15	0,25
57	Hekzakloro-siklohekzan	608-73-1	µg/L	0,1	-	0,5
58	Heptaklor	76-44-8	µg/L	0,03	0,06	0,1
59	Heptaklor epoksit	1024-57-3	µg/L	0,03	0,045	0,15
60	Kaptan	133-06-2	µg/L	0,1	-	0,5
61	Karbendazim	10605-21-7	µg/L	0,1	-	0,2
62	Klorotalonil	1897-45-6	µg/L	0,1	0,3	0,5
63	Klordan	57-74-9	µg/L	0,1	0,13	0,5
64	Klorpirifos	2921-88-2	µg/L	0,1	0,15	0,5
65	Linuron	330-55-2	µg/L	0,1	-	0,25
66	Metolaklor	51218-45-2	µg/L	0,1	0,11	0,3
67	Kloroasetik asit	79-11-8	µg/L	0,1	-	0,5
68	Naftalin	91-20-3	µg/L	100	120	500
69	Oktabromodifenil eter	32536-52-0	µg/L	9	13	30
70	Parakuat	1910-42-5	µg/L	0,1	-	0,33
71	Paration	56-38-2	µg/L	0,1	0,5	2
72	Paration-metil	298-00-0	µg/L	0,1	0,5	2
73	Pebulate	1114-71-2	µg/L	0,1	-	-

74	Pendimetalin	40487-42-1	µg/L	0,1	-	0,25
75	Pentaklorobenzen	608-93-5	µg/L	3	6	10
76	Pentaklorofenol	87-86-5	µg/L	0,1	-	0,3
77	Permetrin	52645-53-1	µg/L	0,1	-	0,5
78	Poliklorlubifeniller (PCB'ler)	1336-36-3	µg/L	0,05	-	0,15
79	Sipermetrin	52315-07-8	µg/L	0,1	-	1
80	Terbutrin	886-50-0	µg/L	0,1	0,2	0,5
81	Tetrakloroetilen	127-18-4	µg/L	10	50	100
82	Toplam DDT	50-29-3	µg/L	0,1	0,25	0,5
83	Toplam Pestisit		mg/L	0,0005	-	-
84	Tribenuron-metil	101200-48-0	µg/L	0,1	0,11	0,25
85	Trifluralin	1582-09-8	µg/L	0,1	0,5	1
86	Trihalometanlar*		µg/L	100	-	250
87	Trikloroasetik asit	76-03-9	µg/L	0,1	-	0,5
88	Trikloroetilen	79-01-6	µg/L	10	20	50
89	Triklosan	3380-34-5	mg/L	0,3	-	0,8
90	Vanadyum	7440-62-2	µg/L	15	50	150
91	Vinil klorür	75-01-4	µg/L	0,5	2,5	10
92	Anatoksin	64285-06-9	µg/L	3	-	15
93	Silindrospermopsin	143545-90-8	µg/L	1	-	5
94	Mikrosistin-LR**	101043-37-2	µg/L	1	-	5
95	Saksitoksin	35523-89-8	µg/L	1	-	5
96	Cryptosporidium ookist		ookist/L	0,075	-	1
97	Fekal Koliform		EMS/100 mL	20	2.000	20.000
98	Fekal Streptokok		EMS/100 mL	20	1.000	10.000
99	Toplam Koliform (37 °C'de)		EMS/100 mL	50	5.000	50.000

* Sadece tesis çıkışında ölçülecektir.

** Mikrosistin-LR sınır değerleri, mikrosistin-YR ve RR varyant değerlerinin toplamını ifade eder.

Tablo 3. Kimyasal Parametreler

Parametre	**Parametrik değer**	**Birim**	**Notlar**
Akrilamid	0.1	µg/L	Not 1 ve 2
Antimon	5.0	µg/L	
Arsenik	10	µg/L	
Benzen	1.0	µg/L	
Benzo (a) piren	0,010	µg/L	
Bor	1	mg/L	
Bromat	10	µg/L	
Kadmiyum	5,0	µg/L	
Krom	50	µg/L	
Bakır	2	mg/L	Not 3
Siyanür	50	µg/L	
1,2-dikloretan	3,0	µg/L	
Epikloridin	0,10	µg/L	Not 1 ve 2
Florür	1,5	mg/L	
Kurşun	10 (İçme-kullanma suları için 31 Aralık 2012 tarihine kadar 25 µg/L olarak uygulanır)	µg/L	Not 3 ve 4
Cıva	1,0	µg/L	Not 2
Nikel	20	µg/L	Not 3
Nitrat	50	mg/L	Not 5
Nitrit	0,50	mg/L	Not 5
Pestisitler	0,10	µg/L	Not 2, 6 ve 7
Toplam pestisitler	0,50	µg/L	Not 2, 6 ve 8
Polisiklik aromatik hidrokarbonlar	0,10	µg/L	Belli bileşiklerin konsantrasyonları toplamı; Not 9
Selenyum	10	µg/L	Not 2
Tetrakloreten ve trikloreten	10	µg/L	Belli parametrelerin konsantrasyonları toplamı

Trihalometanlar-toplam	100 (İçme-kullanma suları için 31 Aralık 2012 tarihine kadar 150 µg/L olarak uygulanır)	µg/L	Belli bileşiklerin konsantrasyonları toplamı; Not 10
Vinil Klorür	0,50	µg/L	Not 1 ve 2

Not 1: Bu parametrik değer; suyla temas eden polimerden kaynaklanan sudaki monomer kalıntı konsantrasyonunu ifade eder.
Not 2: İlk üç yıllık dönem için parametrik değer 25 µg/L'dir.
Not 3: Bu değer yeterli örnekleme metoduyla musluktan alınan insani tüketim amaçlı sularından alınacak su numunelerine ve yine tüketici tarafından içilen, haftalık ortalama değeri temsil eden insani tüketim amaçlı sulardan alınacak su numunelerine uygulanır.
Not 4: İlk 8 yıllık süre için 25 µg/L olarak uygulanır.
Kurşun parametresi için belirtilen değerlere uyum sağlamak amacı ile verilen süre boyunca insani tüketim amaçlı suların kurşun miktarını mümkün olduğu kadar azaltmak için bütün tedbirlerin alınması sağlanır.
Bu değere uyumun sağlanmasına yönelik önlemlerin alınması sırasında, Bakanlık içilebilir nitelikteki sularda kurşun miktarının en yüksek olduğu yerlere öncelik vermelidirler.
Not 5: Bakanlık, kullanılmış su arıtma işleminde (nitrat)/50 + (nitrit)/3 £ 1 formülünü esas alır ve nitrat (NO_3) ve nitrit (NO_2) miktarları için mg/L birimi kullanılır. Nitritler için de 0,10 mg/L değerine uyulur.
Not 6: Pestisitler; organik insektisitler (böcek öldürücüler), organik herbisitler (bitki öldürücüler), organik fungusitler (mantar öldürücüler), organik nematositler (solucan, kurt öldürücüler), organik acarisitler, organik algisitler (yosun öldürücüler), organik rodentisitler (kemirici öldürücüler), organik slimisitler (balçık, salgı öldürücüler) ile, bunlarla bağlantılı ürünleri (diğerlerinin yanı sıra, büyüme kontrol edicileri) ve bunların ilgili metabolitlerini, parçalanma ya da reaksiyon ürünlerini ifade eder. Söz konusu pestisitlerden suyun içinde olması muhtemel pestisitler izlenir.
Not 7: Parametrik değer her bir pestisit için uygulanır. Aldrin, dieldrin, heptaklor ve heptaklor epoksit için parametrik değer 0,030 µg/L'dir.
Not 8: "Toplam pestisitler" izleme süreci içinde tespit edilen ve sayılan her bir pestisitin toplamını ifade eder.
Not 9: Belirtilen bileşikler şunlardır: Benzo (b) floranten, benzo (k) floranten, benzo (ghi) perilen ve indeno (1,2,3-cd) piren.
Not 10: Belirtilen bileşikler şunlardır: kloroform, bromoform, dibromoklorametan, bromodiklorometan.

4. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Yüksek riskli kirleticileri belirlemek zor olabilir ve bu nedenle maliyet ve teknolojiye dayalı hedefli kontrol stratejilerinin geliştirilmesi sınırlıdır. Bu nedenle, hem ortaya çıkan kirleticileri (PFAS'lar ve PPCP'ler) hem de farklı atıksu arıtma tesislerindeki yaygın öncelikli kirleticileri analiz etmek, kontaminasyon seviyelerini araştırmak, öncelikli kirleticilerin yayılımlarını ve deşarj kapasitelerini tahmin etmek ve suda yaşayan organizmalar için ortaya çıkan göreceli ekolojik riskleri de tanımlamak ve sıralamak büyük önem taşımaktadır [19].

Atıksu arıtma tesisi çıkış suları uygun şekilde arıtılırsa, geri kazanılabilir ve belirli sınırlı kullanımlar için yeniden kullanılabilir ve bu şekilde su kirleticilerinin ve dünya çapındaki su kıtlığı üzerindeki baskının azaltılmasına önemli ölçüde katkı sağlanabilmektedir. Ancak, teknolojilerin sınırlarını tahmin etmek ve bu kirletici maddelerin çevreye salınmasını önlemek, ekosistemi ve aynı zamanda biyoçeşitliliği korumak için optimize edilmiş iyileştirme teknikleri için eylem planları geliştirmenin, modellere bağlı olması gerektiği de ayrıca ifade edilmiştir [27]. Bu nedenle, kirleticileri değerlendirmek için farklı kaynaklar ve yollar belirlemek ve ayrıca yeraltı sularındaki kirletici miktarını azaltmak ve bunların kirlenmesini önlemek için hedefe yönelik tedbirler almak gerekmektedir.

Kaynakça

[1]. A. M. Gorito, A. R. Ribeiro, C. M. R. Almeida, and A. M. Silva , "A review on the application of constructed wetlands for the removal of priority substances and contaminants of emerging concern listed in recently launched EU legislation," Environmental pollution, vol. 227, pp. 428-443, 2017.

[2]. D. Napierska, I. Sanseverino, R. Loos, L. G. Cortés, M. Niegowska, and T. Lettieri, "Modes of action of the current Priority Substances list under the Water Framework Directive and other substances of interest," In EUR 29008 EN, JRC110117, Publications Office of the European Union, Luxembourg, Luxembourg, 2018.

[3]. A. Yaşar, E. C. Doğan, ve A. Arslan, "Hastane atıksularında makro ve mikrokirleticiler ve arıtma seçenekleri," Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi, vol. 29, no. 2, pp. 144-158, 2013.

[4]. S. Ü. Odabaşı, S. H. Altın, ve H. Büyükgüngör, "Sucul Ortamdaki Bazı Mikrokirleticilerin Oluşumu, Durumu ve İleri Oksidasyon Prosesleri ile Giderilmesi", Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, vol. 9, no. 1, pp.57-71, 2020.

[5]. Z. Liu, K. Demeestere, and S. Van Hulle, "Comparison and performance assessment of ozone-based AOPs in view of trace organic contaminants abatement in water and wastewater: a review," Journal of Environmental Chemical Engineering, art. no. 105599, 2021.

[6]. H. S. Srain, K. F. Beazley, and T. R. Walker, "Pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) and their sublethal and lethal effects in aquatic organisms," Environmental Reviews, 2020.

[7]. Z. Li, X. Yu, F. Yu, and X. Huang, "Occurrence, sources and fate of pharmaceuticals and personal care products and artificial sweeteners in groundwater," Environmental Science and Pollution Research, pp. 1-18, 2021.
[8]. C. Grandclément, I. Seyssiecq, A. Piram, P. Wong-Wah-Chung, G. Vanot, N. Tiliacos, ..., and P. Doumenq, "From the conventional biological wastewater treatment to hybrid processes, the evaluation of organic micropollutant removal: A review," Water Research, vol. 111, pp. 297-317, 2017.
[9]. T. A. Ternes, A. Joss, and, H. Siegrist, "Peer reviewed: Scrutinizing pharmaceuticals and personal care products in wastewater treatment," Environmental Science & Technology, vol. 38, no. 20, 392A-399A, 2004.
[10]. E. K. Richmond, M. R. Grace, J. J. Kelly, A. J. Reisinger, E. J. Rosi, D. M. Walters, ... , and J. D. Olden, "Pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) are ecological disrupting compounds (EcoDC)," Elementa: Science of the Anthropocene, vol. 5, 2017.
[11]. N. Liu, X. Jin, C. Feng, Z. Wang, F. Wu, A. C. Johnson, ..., and J. P. Giesy, "Ecological risk assessment of fifty pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in Chinese surface waters: A proposed multiple-level system," Environment international, vol. 136, art. no. 105454, 2020.
[12]. X. Li, C. Liu, Y. Chen, H. Huang, and T. Ren, "Antibiotic residues in liquid manure from swine feedlot and their effects on nearby groundwater in regions of North China," Environmental Science and Pollution Research, vol. 25, no. 12, pp. 11565-11575, 2018.
[13]. Z. R. Yu, "Distribution and purification of pharmaceutical and personal care products (PPCPs) in drinking water," Tsinghua University, Beijing, China (in Chinese), 2011.
[14]. M. S. Rehman, N. Rashid, M. Ashfaq, A. Saif, N. Ahmad, and J. I. Han, "Global risk of pharmaceutical contamination from highly populated developing countries" Chemosphere, vol. 138, pp. 1045-1055, 2015.
[15]. Q. Q. Zhang, G. G. Ying, C. G. Pan, Y. S. Liu, and J. L. Zhao, "A comprehensive evaluation of antibiotics emission and fate in the river basins of China: source analysis, multimedia modeling, and linkage to bacterial resistance," Environmental science & technology, vol. 49, no. 11, pp. 6772-6782, 2015.
[16]. China Industry Research Net (CIRN), 2012. Personal care product market development analysis. 23-24 (in Chinese).
[17]. Y. Li, L. Zhang, J. Ding, and X. Liu, "Prioritization of pharmaceuticals in water environment in China based on environmental criteria and risk analysis of top-priority pharmaceuticals," Journal of environmental management, vol. 253, art. no. 109732, 2020.
[18]. Y. Lu, S. Song, R. Wang, Z. Liu, J. Meng, A. J. Sweetman, ..., and T. Wang, "Impacts of soil and water pollution on food safety and health risks in China," Environment international, vol. 77, pp. 5-15, 2015.
[19]. Y. Zhou, J. Meng, M. Zhang, S. Chen, B. He, H. Zhao, Q. Li, S. Zhang, and T. Wang, "Which type of pollutants need to be controlled with priority in wastewater treatment plants: Traditional or emerging pollutants?," Environment international, vol. 131, art. no. 104982, 2019.
[20]. Z. Wang, J. C. DeWitt, C. P. Higgins, and I.T. Cousins, "A never-ending story of per-and polyfluoroalkyl substances (PFASs)?," Environ. Sci. Technol., vol 51, pp. 2508-2518, 2017.
[21]. A. Yaşar ve E. C. Doğan, "Arıtılmış Kentsel Atıksuların Sulamada Kullanımında Mikrokirleticilerin Oluşturabileceği Riskler," Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, vol. 9, no. 2, pp. 760-769, 2020.
[22]. Y. Zhou, T. Wang, Z. Jiang, X. Kong, Q. Li, Y. Sun, P. Wang, and Z. Liu, "Ecological effect and risk towards aquatic plants induced by perfluoroalkyl substances: Bridging natural to culturing flora," Chemosphere, vol. 167, pp. 98-106, Jan. 2017.
[23]. H. Chen, H. Peng, M. Yang, J. Hu, and Y. Zhang, "Detection, occurrence, and fate of fluorotelomer alcohols in municipal wastewater treatment plants," Environmental science & technology, vol. 51, no. 16, pp. 8953-8961, 2017.
[24]. E. W. F. Directive, (2000). The european parliament and of the council. Water Framework Directive (2000/60/EC), OJL, 327(22), 1-73. Available: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:02000L0060-20141120&qid=1587120857673&from=EN
[25]. EC 2008 Directive 2008/105/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2008 on environmental quality standards in the field of water policy, amending and subsequently repealing Council Directives 82/176/EEC, 83/513/EEC, 84/156/EEC, 84/491/EEC, 86/280/EEC and amending Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council. OJ L 348, 24.12.2008, pp. 84–97. Avialable: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0105&from=EN.
[26]. EC 2013 Directive 2013/39/EU of the European Parliament and of the Council of 12 August 2013 amending Directives 2000/60/EC and 2008/105/EC as regards priority substances in the field of water policy Text with EEA relevance. OJ L 226,24.8.2013, pp. 1–17. Available: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013L0039 &qid=1587121336425&from=EN.
[27]. P. Schröder, B. Helmreich, B. Škrbić, M. Carballa, M. Papa, C. Pastore, ... , and G., Mascolo, "Status of hormones and painkillers in wastewater effluents across several European states-considerations for the EU watch list concerning estradiols and diclofenac," Environmental Science and Pollution Research, vol. 23, no. 13, pp. 12835-12866, 2016.
[28]. S. N. Sruthi, M. S. Shyleshchandran, M. Mohan, and E. V. Ramasamy, "Distribution of priority pollutants in the sediment of Vembanad Estuary, Peninsular India," Marine Pollution Bulletin, vol. 133, pp. 294-303, 2018.
[29]. Y. Vystavna, Z. Frkova, H. Celle-Jeanton, D. Diadin, F. Huneau, M. Steinmann, N. Crini, and C. Loup, "Priority substances and emerging pollutants in urban rivers in Ukraine: Occurrence, fluxes and loading to transboundary European Union watersheds," Science of the Total Environment, vol. 637, pp. 1358-1362, 2018.
[30]. X. Liu, J. Zhang, W. Shi, M. Wang, K. Chen, and L. Wang, "Priority pollutants in water and sediments of a river for control basing on benthic macroinvertebrate community structure," Water, vol. 11 no. 6, 1267, 2019.
[31]. K. Kosek, A. Luczkiewicz, S. Fudala-Książek, K. Jankowska, M. Szopińska, O. Svahn, ..., and, E. Björklund, "Implementation of advanced micropollutants removal technologies in wastewater treatment plants (WWTPs)-

Examples and challenges based on selected EU countries," Environmental Science & Policy, vol. 112, pp. 213-226, 2020.
[32]. M. Zhong, T. Wang, W. Zhao, J. Huang, B. Wang, L. Blaney, Q. Bu, and G. Yu, "Emerging organic contaminants in Chinese surface water: Identification of priority pollutants," Engineering, in press, 2021.
[33]. M. Y. Kılıç ve K. Kestioğlu, "Endüstriyel Atıksuların Arıtımında İleri Oksidasyon Proseslerinin Uygulanabilirliğinin Araştırılması," Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering, vol. 13, no. 1, 2008.
[34]. S. Uzun, "Su Kalitesinin İyileştirilmesinde Ozon Kullanımı ve Kimyasal Etkileri," Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi, vol. 68, no. 2, pp. 105-113, 2011.
[35]. H. Zhou and D. W. Smith, "Advanced technologies in water and wastewater treatment," J. Environ. Eng. Sci., vol. 1, pp. 247-264, 2002.
[36]. P. T. Zayas, G. Geissler, and F. Hernandez, "Chemical oxygen demand reduction in coffee wastewater through chemical flocculation and advanced oxidation processes," Journal of Environmental Sciences, vol. 19, no. 3, pp. 300-305, 2007.
[37]. Z. Eren, "Su Kaynaklarında İleri Oksidasyon Prosesleri (İOP) ile Ötrofikasyon Kontrolü," Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, vol. 8, no. 2, pp. 243-253, 2018.
[38]. N. Duyar, (2015). Hidrotermal Yöntemle ZnO Üretimi ve Fotokatalitik Aktivitesinin İncelenmesi (Doctoral dissertation, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
[39]. Z. Shu, J. R. Bolton, M. Belosevic, and M. G. El Din, "Photodegradation of emerging micropollutants using the medium-pressure UV/H2O2 advanced oxidation process," Water Research, vol. 47, no. 8, pp. 2881-2889, 2013.
[40]. H. Ateş and M. E. Argun, "Advanced oxidation of landfill leachate: Removal of micropollutants and identification of by-products," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 413, art. no. 125326, 2021.
[41]. M. Bagheri, G. Imoberdorf, and M. Mohseni, "Micropollutants removal from surface water using a pilot vacuum-UV advanced oxidation process," Journal of Environmental Engineering, vol. 143, no. 10, art. no. 04017066, 2017.
[42]. T. Macsek, T. Švestková, M. Úterský, P. Landová, P. Hlavínek, and M. Vávrová, "Removal of pharmaceuticals from drinking water matrix in a flow-through AOPs reactor," 15th International Conference on Environmental Science and Technology, Rhodes, Greece, 31 August to 2 September 2017.
[43]. M. Bulut ve Ü. Birben, "AB Su Çerçeve Direktifinin Türkiye'de Su Kaynakları Yönetimine Etkisi," Türkiye Ormancılık Dergisi, vol. 20, no. 3, pp. 221-233, 2019.

KARBON FIBER ESASLI PEROVSKIT KOMPOZITLERININ FOTOKATALITIK AKTIVITELERININ İNCELENMESI

Senem Aksoy[1,*], Özlem Tuna[2,*], Esra Bilgin Simsek[3,*]

Özet

Bu çalışmada; karbon fiber esaslı kalsiyum titanat ($CaTiO_3$) kompozit fotokatalizörlerinin sentezlenmesi ilk kez gerçekleştirilmiştir. Ağırlıkça farklı karbon fiber oranlarında sentezlenen karbon fiber/$CaTiO_3$ katalizörlerin katalitik performansları saf $CaTiO_3$ ile karşılaştırılmıştır. Katalizörlerin karakterizasyonu SEM, XRD, FTIR analizleri ile detaylı olarak incelenmiştir. Katalizörlerin fotokatalitik performansları tetrasiklin antibiyotiğine karşı ultraviyole-A ve görünür ışın altında incelenmiş; ortam parametrelerinin bozunma verimi etkisi (pH, radikal iyon etkisi) araştırılmıştır. Son aşamada katalizörleri kararlılığı fotokatalitik döngü testleri ile incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre kompozit yapıdaki karbon fiber oranının artmasıyla katalitik aktivitede görünür şekilde artış gözlenmiştir. Karbon fiberin perovskit katalizörünün band boşluk enerjisi seviyesini düşürerek elektronik yapısını iyileştirdiği belirlenmiştir. Bu çalışma ile, yeni nesil karbon türlerinden olan karbon fiberin sulardaki antibiyotiklerin fotokatalitik yöntem ile hızlıca uzaklaştırılabildiği kanısına varılmıştır.

OZON BAZLI İLERİ OKSİDASYON PROSESLERİ İLE SULU ÇÖZELTİLERDEN TRİKLOSANIN ARITIMI

Ayla ARSLAN[1], Eylem TOPKAYA[1*]

[1,] Kocaeli Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 41001, İzmit/KOCAELİ*

ataberk@kocaeli.edu.tr, eylem.topkaya@kocaeli.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, Endokrin Bozucu Kimyasallardan olan Triklosan (TCS) sulu çözeltisinin Ozon bazlı İleri Oksidasyon Prosesleri (İOP) kullanılarak arıtımı araştırılmıştır. Bu kapsamda; sentetik olarak hazırlanan triklosan çözeltisinin farklı konsantrasyonlarında (5 mg/L ve 10 mg/L), 5 ppm sabit ozon dozunda, orijinal pH (5-7) değerinde, 2x8 W UVC ışık etkisinde ve 0,1 g/L ZnO katalizör kullanılarak; O_3, O_3/UV, O_3/ZnO ve O_3/UV/ZnO oksidasyon deneyleri yapılmıştır. Proseslerin etkinliği KOİ ve TOK giderim verimleri üzerinden değerlendirilmiştir. 10 mg/L başlangıç TCS konsantasyonu ile yürütülen O_3/UV/ZnO fotokatalitik ozon oksidasyon prosesinde, 30 dakikalık reaksiyon süresinde %72 KOİ ve %75 TOK giderim verimlerine ulaşılmıştır. Çalışmada UV-Vis spektrum taraması da yapılmıştır. O_3/UVC/ZnO, O_3/UVC ve O_3 oksidasyon proseslerinin TCS gideriminde etkin prosesler olduğu belirlenmiştir. Ayrıca Lepidium sativum (bahçe teresi) tohumu ile toksisite test çalışmalarıda yapılmış ve 10 mg/L TCS'nin fitotoksik etkisi O_3 ve O_3/UVC/ZnO oksidasyon proses şartlarında incelenmiştir. TCS çözeltisi başlangıçta bitkinin kökünde toksik etki yaparken; gövdesinde ise hafif toksik etki göstermiştir. 30 dakikalık arıtım sonunda ise her iki proses şartında; bitkinin gövdesinde hafif toksik etkinin olduğu; O_3 prosesinde bitkinin kökünde toksik etkinin azalarak devam ettiği, O_3/UVC/ZnO prosesinde ise toksisitenin azalarak hafif toksik etkide olduğu belirlenmiştir. Böylelikle TCS'nin toksisitesinin fotokatalitik ozon prosesi ile arıtım sonunda azaldığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Endokrin Bozucu Kimyasallar, Fitotoksisite Testi, İleri Oksidasyon Prosesleri, Ozon Bazlı Oksidasyon, Triklosan.*

Abstract

TREATMENT OF TRICLOSAN FROM AQUEOUS SOLUTIONS BY OZONE BASED ADVANCED OXIDATION PROCESSES

In this study, the treatability of Triclosan (TCS) aqueous solution, one of the Endocrine Disrupting Chemicals, using Ozone-based Advanced Oxidation Processes (AOP) was investigated. In this context; using a synthetically prepared triclosan solution at different concentrations (5 mg/L and 10 mg/L), 5 ppm fixed ozone dose, the original pH (5-7), under the influence of 2x8 W UVC light and 0.1 g/L ZnO catalyst; O_3, O_3/UV, O_3/ZnO and O_3/UV/ZnO oxidation experiments were carried out. The effectiveness of the processes were evaluated on the COD and TOC removal efficiencies. In the O_3/UV/ZnO photocatalytic ozone oxidation process were achieved at 72% COD and 75% TOC removal efficiencies with 10 mg/L initial TCS concentration and 30 minutes reaction time. UV-Vis spectrum scanning was also performed in the study. It has been determined that O_3/UVC/ZnO, O_3/UVC and O_3 oxidation processes are effective processes in TCS removal. In addition, toxicity test studies were carried out with Lepidium sativum (garden cress) seed and the phytotoxic effect of 10 mg/L TCS was investigated at O_3 and O_3/UVC/ZnO oxidation process conditions. While the TCS solution initially has a toxic effect on the root of the plant; showed a mild toxic effect in the plant stem. At the end of 30 minutes of treatment, in both process conditions; mild toxic effect on the stem of the plant; It has been determined that the toxic effect continues to decrease in the root of the plant in the O_3 process, while the toxicity decreases and has a mild toxic effect in the O_3/UVC/ZnO process. Thus, it was determined that the toxicity of TCS decreased at the end of treatment with photocatalytic ozone process.

Keywords: *Endocrine Disrupting Chemicals, Phytotoxicity Test, Advanced Oxidation Processes, Ozone Based Oxidation, Triclosan.*

1. GİRİŞ

İleri Oksidasyon Prosesleri (İOP), birçok organik maddenin arıtımında etkili olan önemli yöntemlerdendir. Bu prosesler hidroksil radikallerinin (•OH) oluşumuna dayanmaktadır. •OH 2,8 eV redoks potansiyeline sahip, çok kuvvetli, seçici olmayan ve kısa elektrofilik karakterli bir oksidanttır. Toksik ve kalıcı özellikteki organik maddeler •OH ile oksidasyon reaksiyonuna girerek; organik maddelerin mineralizasyona uğramasını, CO_2 ve H_2O gibi zararsız son ürünlerin oluşmasını sağlamaktadır (Venkatadri ve Peters, 1993; Glaze, 1987; Buxton ve diğ., 1988; Huang ve diğ., 1993; Legrini ve diğ., 1993). İOP'ler kimyasal reaksiyona dayalı yöntemler olup, UV kaynağının kullanılmasına bağlı ve homojen veya heterojen prosesler olarak ayrılmaktadırlar (Mota ve diğ., 2008).

Bu çalışmada ozon bazlı oksidasyon prosesleri kullanılmıştır. Bu proseslerden; Ozon (O_3) ve fotolitik ozon (O_3/UV) prosesleri homojen prosesler; katalitik ozon (O_3/ZnO) ve fotokatalitik ozon (O_3/UV/ZnO) prosesleri ise heterojen prosesler sınıfındandır (Amor ve diğ., 2019). Ozon (O_3); 2,08 eV indirgeme potansiyeline sahip güçlü bir oksitleyici maddedir. Kuru hava ve saf oksijen kullanılarak yerinde üretilen, keskin kokulu ve üç oksijen atomundan oluşan bir gazdır (Rajeswari ve Kanmani, 2009; Beltrán, 2004). Ozon; su ve atıksu arıtımında, ağartma ajanında ve sentezde kimyasal bir reaktif olarak kullanılır (Gray, 2014; Mecha ve diğ., 2018). Organik kirleticiler; moleküler ozon ile doğrudan veya ozonun ayrışmasıyla üretilen OH ile dolaylı reaksiyonlar ile oksitlenirler (Broséus ve diğ., 2009; Rokhina ve Virkutyte, 2010). Fotolitik ozon prosesinde; UV fotonları kullanılarak ozon molekülleri aktive edilir ve •OH radikalleri daha kolay oluşur (Peyton ve Glaze, 1982, 1988). Bu proses organiklerin uzaklaştırılmasında O_3 prosesine göre daha etkili bir yöntemdir (Gong ve diğ., 2008; Rao ve Chu, 2009). Katalitik ozon prosesi; ozonun oksidatif özelliğinin çeşitli katalizör kullanımında modifikasyonu, organik kirleticilerin parçalanması ve mineralizasyonunda en etkili İOP'lerden kabul edilir. Sadece ozonlama ile ayrışması zor organik maddeler katalitik ozonlama ile kolay oksitlenebilir (Rosal ve diğ., 2010; Hordern ve diğ., 2004). Fotokatalitik ozonlama prosesleri ise; fotokataliz ozonlama ile birleştiğinde, yarı iletken metal katalizör ve UV ışık kullanılarak ozonun parçalanma reaksiyonuna bağlı, •OH radikali oluşturan mekanizmadır (Shinpon ve diğ., 2002; Rajeswari ve Kanmani, 2009). Bu prosesler, verimi artırarak ve reaksiyon süresini azaltarak fotokatalitik mekanizmaları etkilerler (Augugliaro ve diğ., 2006) ve ozon dozajını düşürerek (Silva ve diğ., 2019) daha az arıtma maliyetlerine ve dezenfeksiyon yan ürünlerinin oluşmasına yol açarlar (Meunier ve diğ., 2006).

Endokrin Bozucu Kimyasallar (Endocrine Disrupting Chemicals_EDC'ler),''hormonun herhangi bir yönünü etkileyen doğal olmayan bir kimyasal veya kimyasalların karışımı'' olarak tanımlanmaktadır (Gore ve diğ., 2014). EDC'ler sucul çevrede; doğal ve sentetik östrojenler, hormonlar, organoklorlu pestisitler, kişisel bakım ürünlerinin katkı maddeleri, tıbbi ilaçlar, halojenlenmiş aromatik hidrokarbonlar (HAH), polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH'lar), ftalatlar, fenoller, poliklorlu bifeniller (PCB), alkilfenol etoksilatlar (APE), fekal steroitler, antibakteriyeller, kadmiyum ve kurşun gibi bazı ağır metaller ve antidepresanlar şeklinde bulunabilmektedir (Jobling ve diğ., 1995; USEPA, 1998; Kwack ve diğ., 2002; Gore ve diğ., 2014). EDC'ler insanlara ve hayvanlara; kontamine yiyecek veya suyun tüketimi, deri ile temas ve solumayla geçerler (Gore ve diğ., 2014). EDC'ler klasik atıksu arıtma proseslerinde etkili bir şekilde giderilememekte ve sucul alıcı ortamlara deşarj edilmektedirler. Bu kirleticiler, 1,0 ng/L ila 1,0 µg/L arasında değişen konsantrasyonlarda atıksuda ve arıtma tesisi çıkış sularında tespit edilmiştir (Ternes,1998; Esplugas ve diğ., 2007). Bu nedenle atıksularda bulunan EDC'lerin belirlenmesi ve bu kirleticilerden kaynaklanan kontaminasyonun değerlendirilmesi gereklidir (Johnson ve Sumpter, 2001).

Endokrin bozuculardan olan Triklosan (TCS), geniş spektrumlu bir biyosit olarak, yaygın tüketilen ürünlerin (kozmetik ve kişisel bakım ürünlerinin, endüstriyel temizlik ürünlerinin, tekstil ürünlerinin, plastiklerin, ilk yardım malzemelerinin, bilgisayar ekipmanı ve diğer bircok endüstriyel ve ev ürünlerinin) içeriğinde kullanılmaktadır (Dann ve Hontela, 2011; McGinnis, 2008). TCS'nin yaygın kullanımı, bu biyositin evsel ve endüstriyel deşarjlarla alıcı su ortamlarına karışmasıyla sonuçlanmakta ve bu kimyasallara; atıksu arıtma tesislerinin giriş ve çıkışları, yüzey suları ve sedimentler vb. su ortamlarında çeşitli konsantrasyonlarda karşılaşılmaktadır (Perez ve diğ. 2013; Halden ve Paul, 2005).

Bu nedenle bu çalışmada alıcı su ortamlarında sıkça rastlanan EDC'lerden olan TCS kirleticisinin, etkili oksidasyon proseslerinden olan ozon bazlı İOP'ler kullanılarak arıtılabilirliği incelenmiştir. Çalışma sonuçları; KOİ ve TOK parametreleri, UV-Vis spektrumu ve fitotoksisite testleri üzerinden değerlendirilmiştir.

2. MATERYAL ve METOD

2.1. Materyal

Sentetik çözelti olarak; $C_{12}H_7Cl_3O_2$ formülünde, 289,54 g/mol ağırlığında ve 5-kloro-2-(2,4-diklorofenoksi) fenol olarak adlandırılan klorlu bir organik bileşik olan Triklosan kimyasalı kullanılmıştır. Katalizör olarak ise geniş bant aralığına sahip nano toz (nanopowder) ZnO yarı iletken metal oksit tercih edilmiştir. Kullanılan TCS ve ZnO kimyasalları Sigma Aldrich firmasından temin edilmiştir.

2.2. Deney Düzeneği

Çalışmada kullanılan deney düzeneği; ozon jeneratörü, reaksiyon tankı ve UV lambalarından oluşmaktadır. Ozon gazı, havadaki oksijen kullanılarak ozon jeneratörü tarafından üretilmekte ve oluşan bu gaz; reaksiyon tankı içerisine, tankın tabanında bulunan difüzör ile beslenmektedir. Reaksiyon tankı 2 L hacimli bir kuvartz cam reaktörden yapılmıştır, tankın dışında metal koruma ceketi bulunmaktadır. Reaksiyon tankı içerisinde 254 nm dalga boyunda, Osram Germicidal Puritec HNS G5 marka 4 × 8 W UVC lambalar kullanılmıştır. Reaktörden çıkan ozon gazı toplama şişeleri içerisindeki KI çözeltisinde tutulmaktadır. Kullanılan reaktörün ana hatları önceki çalışmamızda belirtilmiştir (Arslan ve diğ., 2018).

2.3. Deneysel Çalışma Prosedürü

TCS sentetik çözeltileri saf su ile 1 L hacminde, oda sıcaklığında ve manyetik karıştırıcıda 1000 rpm karıştırma hızında karıştırılarak hazırlanmıştır. Ozon bazlı oksidasyon deneyleri; 1 L sentetik TCS çözeltisinin 5 mg/L ve 10 mg/L olmak üzere iki farklı başlangıç konsantrasyonlarında, çözeltilerin kendi pH (5-7) değerlerinde ve oda sıcaklığında kesikli olarak

gerçekleştirilmiştir. Jeneratörden ozon dozu 5 ppm olacak şekilde ayarlanmıştır. Katalitik deney şartlarında katalizör olarak nano-toz 0,1 g/L ZnO kullanılmıştır. Katalizorun karışma işlemi ozon gazı ile sağlanmıştır. Foto-oksidasyon deneylerinde 2x8 W UVC lambaları açılarak reaksiyon yürütülmüştür. O_3, O_3/UV, O_3/ZnO ve O_3/UV/ZnO oksidasyon proseslerinde çalışmalar 30 dakikalık reaksiyon süresinde, 1-3-5-10-15 ve 30. dakikalarda alınan numunelerle yapılmıştır. Proseslerin verimlilikleri; KOİ ve TOK giderim verimleri üzerinden, UV-Vis spektrum taraması ve fitotoksisite test çalışmaları ile değerlendirilmiştir. UV-Vis spektrum taramaları Hach Lange DR 6000 marka model spektrofotometre ile yapılmıştır.

2.4. Fitotoksisite Testi

Fitotoksisite testlerinde; N.E.O.Bİ. Tohumculuk A.Ş. İzmir firmasından temin edilen Lepidium sativum (bahçe teresi) tohumları kullanılmıştır. L. sativum tohumları 0,3 cm uzunluğunda, 0,1 cm genişliğinde ve kahverengi rengindedir. Testler; içerisine iki adet 110 mm Whatman 1 filtre kağıdı yerleştirilmiş, 9 cm'lik cam petri kaplarında, 5 mL numune kullanılarak ve 25 adet L. sativum tohumları ekilerek yapılmıştır. 5 mL numune kaplara konulmuş, 25 adet eşit büyüklükte L. sativum tohumu kaplara belli aralıklarla yerleştirilmiş, petri kaplarının kapakları kapatılmış ve 25ºC sıcaklıkta 72 saat karanlık bir ortamda inkube edilmiştir. Bu süre sonunda, en iyi gelişmiş 20 adet L. sativum tohumunun kök ve gövde uzunlukları ölçülerek değerlendirilmiştir (Devare ve Bahadır, 1994). Kontrol deneyleri saf su ile yapılmıştır. 4'er adet kontrol numunelerinden ve 2'şer adette oksidasyon deney numunelerinden olacak şekilde testler yürütülmüştür. Test sonuçları; oksidasyon deney numuneleri ile kontrol numunelerindeki tohumların ortalama kök ve gövde uzunlukları karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Bu sonuçlara göre; (%) inhibisyon, (%) çimlenme indeksleri (GI-germination index), etkili konsantrasyon (EC50) ve toksik birim (TB) değerleri belirlenmiştir (Tongur ve Yıldırım, 2015; Tongur ve diğ.,2019).

% inhibisyon değerleri Denklem (1)'e göre;

$$\%\,\text{İnhibisyon} = \left(\frac{C_0 - C_1}{C_0}\right) \times 100 \quad (1)$$

C_0 ve C_1 (cm); kontrol numunesine ve numuneye ait ortalama kök veya gövde uzunluk değeridir.

% çimlenme indisleri Denklem (2)'ye göre;

$$GI = \frac{G_1 \times L_1}{G_c \times L_c} \quad (2)$$

Numuneye (G_1) ve negatif kontrol ortamına (Gc) maruz kalan filizlenmiş tohum sayısıdır; numuneye (L1) ve negatif kontrol ortamına (Lc) maruz kalan köklerin uzunluğudur (Rizzo ve diğ.,2009; Rizzo ve diğ., 2015).

Organizmaların %50'sinin azalması ile sonuçlanan test maddesi konsantrasyonu EC50, etkili konsantrasyon olarak ifade edilir. TCS sentetik çözeltisinin 1 mg/L, 2 mg/L, 5 mg/L ve 10 mg/L farklı konsantrasyonlarına ait % inhibisyon değerleri ile grafik çizilerek, bu grafikten interpolasyonla EC50 değerleri belirlenir (Aydın ve Kara, 2004).

TB değerleri ise EC50 verileri kullanılarak Denklem (3)'e göre;

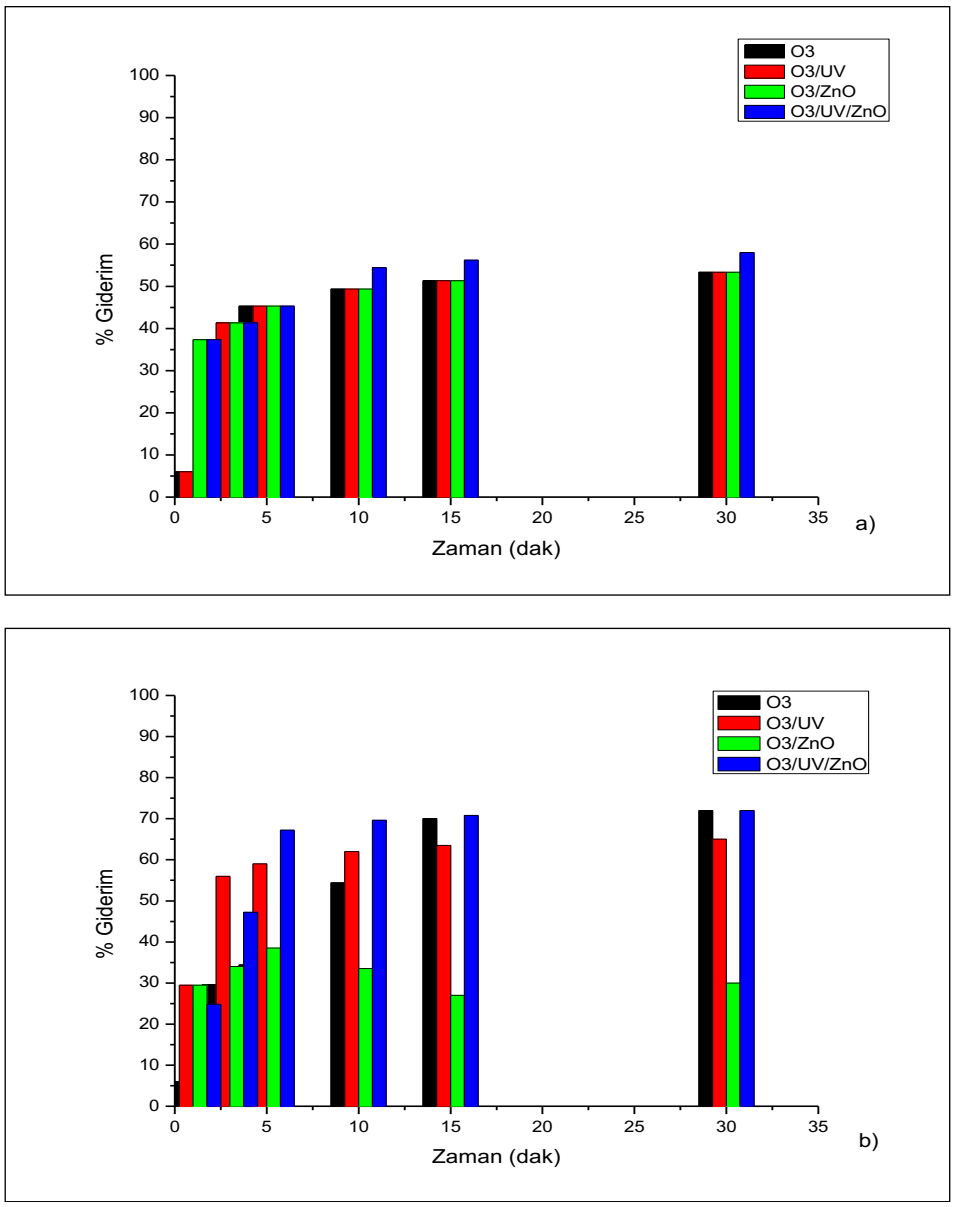
$$TB = \left[\frac{1}{EC_{50}}\right] \times 100 \quad (3)$$

eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır. Sonuçlar, Persoone ve diğ. sınıflandırmasına göre; ''TB=0 toksik değil'', ''0<TB<1 hafif toksik'', ''1<TB<10 toksik'' ve ''11<TB<100 çok toksik'' ifadelerine göre değerlendirilmiştir (Persoone ve diğ., 1993; Persoone ve diğ.,2003).

3. TARTIŞMA

3.1. TCS Başlangıç Konsantrasyonunun Verimlere Etkisi

TCS sentetik çözeltisinin 5 mg/L ve 10 mg/L konsantrasyonlarında, çözeltinin orijinal pH (5-7) değerinde, 5 ppm sabit O_3 dozunda, 0,1 g/L ZnO katalizör kullanımında ve 2x8W UVC ışık etkisinde ozon bazlı İOP yöntemleri (O_3, O_3/UV, O_3/ZnO ve O_3/UV/ZnO) ile arıtılabilirlik çalışmaları yapılmış ve TCS başlangıç konsantrasyonlarının verimler üzerine etkileri belirlenmiştir. Sonuçlar KOİ ve TOK giderim verimleri üzerinden Şekil 1 ve Şekil 2' de verilmiştir.

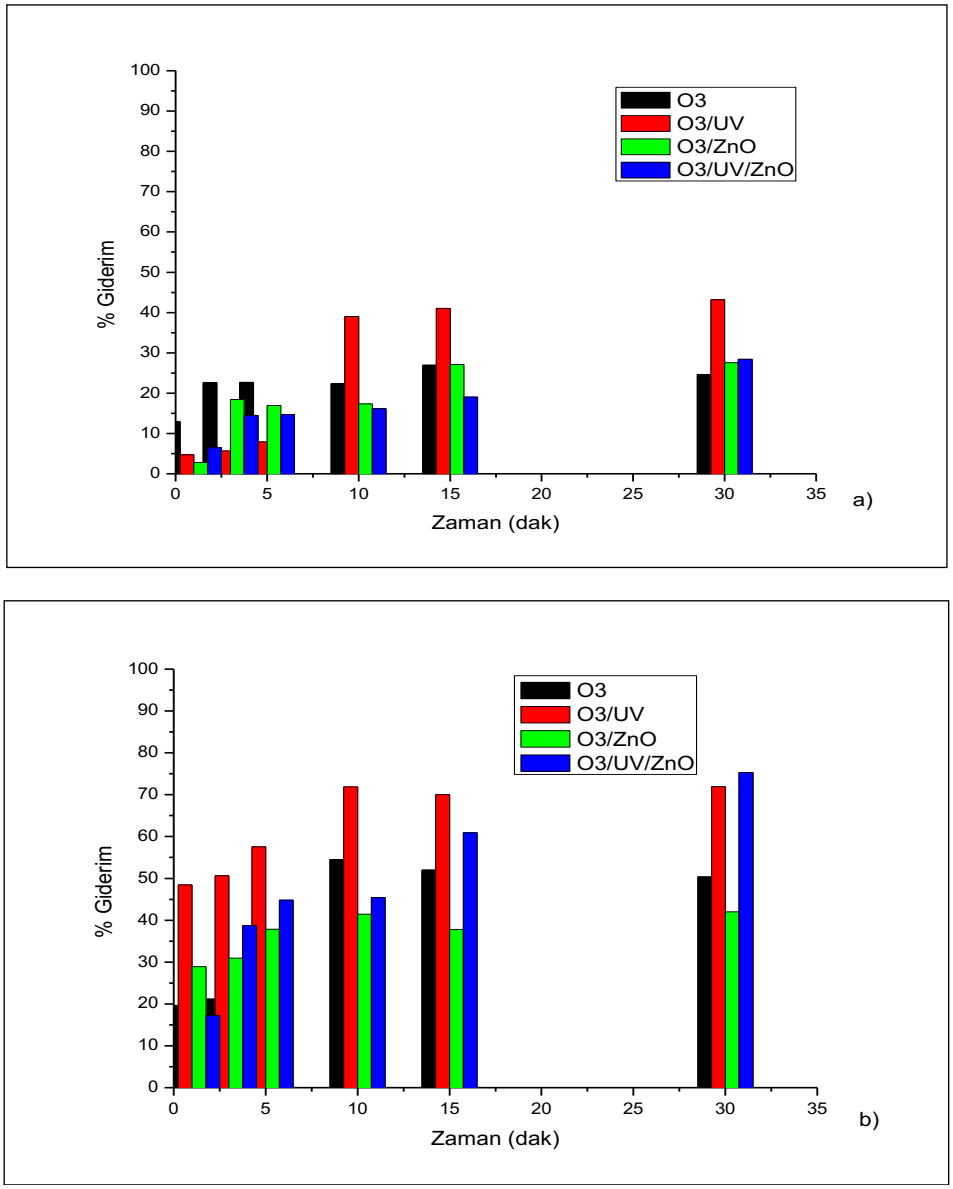


Şekil 1. TCS çözeltilerinin KOİ giderim verimleri üzerine etkisi; a) 5 mg/L TCS ve b) 10 mg/L TCS konsantrasyonu (O_3= 5 ppm, 0,1g/L ZnO, UVC= 2x8W, pH=5-7 arası, t= 30 dak)

Şekil 1.a'ya göre; 5 mg/L TCS başlangıç konsantrasyonunda 30 dakikalık reaksiyon sonunda %53-58 KOİ giderim verimleri sırasıyla, O_3 = O_3/UV = O_3/ZnO < O_3/UV/ZnO oksidasyon proseslerinde elde edilmiştir. Şekil 1.b'de ise; 10 mg/L TCS konsantrasyonunda uygulanan oksidasyon proseslerinden O_3/ZnO < O_3/UV < O_3 = O_3/UV/ZnO şartlarında KOİ giderim verimleri %30-72 aralığında belirlenmiştir.

Şekil 1.a ve 1.b'ye göre; TCS başlangıç konsantrasyonunun artması, O_3 prosesine olumlu etki ederek verimlerin artmasını sağlamıştır. O_3 prosesinde düşük konsantrasyonda verimlerin düşük olmasına yan ürün oluşumu etki etmiş olabilir. TCS'nin ozonlama ile giderim çalışmalarında 2,4-diklorofenol ve 4-klorokatekol gibi yan ürünlerin oluştuğu literatürde yapılan çalışmalarda belirtilmiştir (Chen ve diğ., 2012; Orhon ve diğ., 2017). O_3/UV prosesinde; 10 mg/L TCS başlangıç konsantrasyonunda O_3 prosesinin, O_3/UV prosesine göre etkinliğinin yüksek olduğu ve reaksiyon süresi kısa olduğu zaman daha iyi KOİ giderim verimlerinin elde edildiği görülmüştür. Katalitik ve fotokatalitik ozon oksidasyon çalışmalarında; katalitik aktivitesi yüksek olan ZnO (Kosera ve diğ., 2017; Lee ve diğ., 2016) katalizörü kullanılmıştır. O_3/ZnO prosesinde TCS konsantrasyonun 10 mg/L'ye artması, KOİ verimlerinde düşüşe neden olmuştur. 10 mg/L TCS konsantrasyonunda katalitik ozon prosesinin; ozon, fotolitik ozon ve fotokatalitik ozon proseslerine göre etkinliğinin az olduğu tespit edilmiştir. 5 mg/L TCS konsantrasyonunda ise ozon ve fotolitik ozon proseslerine benzer etkinlik göstermiştir. Yüksek TCS

konsantrasyonlarda katalizör miktarı ve uygulanan ozon dozu değiştirilerek katalitik ozon proses sonuçları iyileştirilebilir veya UV ışık etkisi ile katalizörün etkinliği arttırılabilir. 2x8 W UVC lambalar ile katalizörün etkinliği arttırılarak, fotokatalitik ozon proses çalışmaları da yapılmıştır. O_3/UV/ZnO proses şartında en yüksek KOİ giderim verimlerine ulaşılmıştır. Her iki başlangıç TCS konsantrasyonları için KOİ giderim verimleri esas alındığında fotokatalitik ozon prosesinin TCS'nin mineralizasyonunda en etkili proses olduğu belirlenmiştir. Deneysel çalışma sonuçlarına göre; O_3/UV/ZnO, O_3 ve O_3/UV oksidasyon proseslerinin en etkili prosesler olduğu ve artan başlangıç TCS konsantrasyonu ile verimlerin artarak daha iyi TCS mineralizasyon sonuçlarının elde edildiği tespit edilmiştir.



Şekil 2. TCS çözeltilerinin TOK giderim verimleri üzerine etkisi, a) 5 mg/L TCS ve b) 10 mg/L TCS konsantrasyonu (O_3= 5 ppm, 0,1g/L ZnO, UVC= 2x8W, pH=5-7 arası, t= 30 dak)

Şekil 2.a'ya göre; TOK giderim verimleri %25-43 aralığında sırasıyla, O_3 < O_3/ZnO < O_3/UV/ZnO < O_3/UV proseslerinde 30 dakikalık reaksiyon sonunda elde edilmiştir. Şekil 2.b'de ise; O_3/ZnO < O_3 < O_3/UV < O_3/UV/ZnO proseslerinde, TOK giderim verimleri %42-75 aralığında belirlenmiştir.

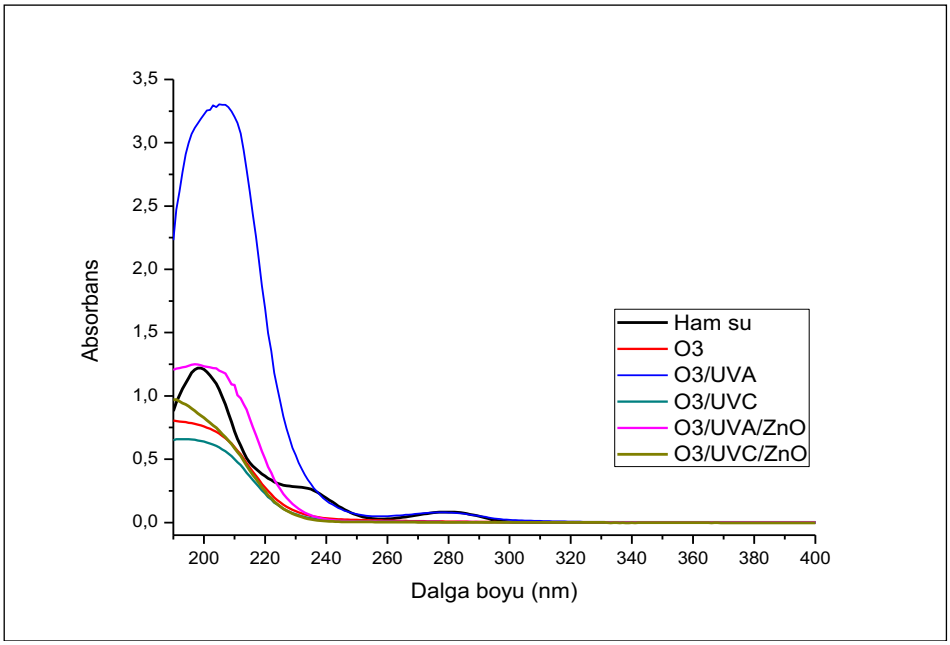
Şekil 2.a ve 2.b'de, O_3 oksidasyon prosesinde başlangıç TCS konsantrasyonunun artması TOK giderim verimlerine olumlu etki etmiştir. Benzer durum fotolitik ozon prosesinde de belirlenmiştir. O_3/UV prosesinde kullanılan UVC ışık etkisi, daha fazla •OH radikallerinin oluşmasına ve bu sayede daha etkili bir arıtım gerçekleşerek daha yüksek verimlerin elde edilmesine

neden olmuştur. Katalitik ozon prosesinde ise konsantrasyonun artması, TOK verimlerine az da olsa etki etmiştir. 10 mg/L TCS konsantrasyonunda ise diğer proseslere kıyasla etkinliği en düşük proses şartı olarak belirlenmiştir. O_3/ZnO oksidasyon prosesinin etkinliğini arttırmak için; UV ışık kaynağı kullanılarak O_3/UV/ZnO oksidasyon çalışmaları yapılmış ve böylelikle daha fazla •OH radikallerinin oluşması sağlanmıştır. O_3/UV/ZnO proses şartında TCS konsantrasyon artışlarına bağlı olarak TOK verimlerinde de artışlar görülmüş ve diğer proseslere göre fotokatalitik ozon prosesinin en etkili proses olduğu tespit edilmiştir.

TCS'nin arıtılabilirlik çalışmalarına ait TOK giderim verimlerine göre; en etkili proseslerin O_3/UV/ZnO ve O_3/UV proseslerinin olduğu, konsantrasyon artışı ile giderim verimlerinin arttığı ve TCS mineralizasyonunu olumlu yönde etkilediği belirlenmiştir.

3.2. UV-Vis Spektrum Taraması

KOİ ve TOK giderim sonuçlarına göre; O_3, O_3/UV ve O_3/UV/ZnO oksidasyon proseslerinde ve 10 mg/L TCS konsantrasyonunda daha iyi verimler elde edildiğinden, bu şartlarda UV-Vis absorpsiyon spektrum çıkarımları yapılmıştır. Ayrıca, TCS'nin arıtımına UV ışığın etkisini belirlemek için farklı dalga boyuna sahip UVA lamba kullanılarak da foto oksidasyon çalışmaları yapılmış ve UV-Vis spektrumları çıkarılmıştır. Sonuçlar Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3. UV-Vis absorbans spektrum taraması (C_0= 10 mg/L TCS, UVA= 2x8W, UVC= 2x8W, O_3= 5 ppm, ZnO= 0,1 g/L, t= 30 dak)

Şekil 3'e göre; UV-Vis spektrum tarama sonucunda 10 mg/L TCS konsantrasyonun 260-300 nm arasında ve 280 nm dalga boyunda pik yaptığı görülmüştür. Literatürde yapılan çalışmalarlada TCS'nin UV-Vis spektrumunun bu dalga boyunda olduğu belirlenmiştir (Weatherly ve diğ., 2013; Lavecchia ve Zuorro, 2009). 190-260 nm dalga boyu arasındaki absorbanslarda ise dalgalanmalar olmuştur. 5 ppm ozon dozu ile yapılan O_3 prosesinde; ham suya göre absorbans değerlerinde azalmalar olmuş ve zamanla bu bantlar kaybolmuştur. O_3/UVA prosesinde; hem ham suya hem de diğer proseslere göre 190-237 nm ve 248-275 nm dalga boylarındaki absorbans bantlarında en yüksek artışlar olmuştur. 276-362 nm'de ise dalgalanmalarla zamanla bu pikler görülmemiştir. O_3/UVA/ZnO prosesinde; O_3/UVA fotolitik ozon prosesi hariç diğer oksidasyon proseslerinde ve ham suya göre 190-223 nm'deki absorbans dğerlerinde artış olduğu ve 224-400 nm aralığında ise bu değerlerin azalarak kayboldukları görülmüştür. O_3/UVC prosesinde; ham su ve diğer ozon bazlı oksidasyon proseslerine göre 190-400 nm dalga boylarında en düşük absorbans değerleri elde edilmiş ve bu absorbans bantların giderek kayboldukları belirlenmiştir. O_3/UVC/ZnO prosesinde ise; 190-400 nm dalga boylarında O_3/UVA, O_3/UVA/ZnO proseslerine ve ham suya göre düşük absorbans değerleri elde edilmiştir. O_3 prosesine kıyasla O_3/UVC/ZnO absorbans değerlerinin 190-208 nm arasında yüksek, 209-332 nm'de ise düşük olduğu; O_3/UVC'ye göre ise absorbansların 190-226 nm'de arttığı, 227-307 nm arasında ise bantların azaldıkları ve kayboldukları tespit edilmiştir. Yapılan oksidasyon proseslerine kıyasla O_3/UVC/ZnO oksidasyon prosesinde, 240 nm ve üzeri dalga boylarında en küçük absorbans değerleri elde edilmiştir.

UV-Vis absorbans spektrumu tarama sonuçları, O_3, O_3/UVC ve O_3/UVC/ZnO proseslerinin TCS'nin arıtımında en etkili prosesler olduğunu desteklemiştir. Belirlenen oksidasyon prosesleri mineralizasyon sonuçları ile uyumlu bulunmuştur. Literatür sonuçlarına ve bu çalışmaya göre; TCS'nin UVC ışık altında daha yüksek verimler elde edilerek uzaklaştırılabildiği belirlenmiştir (Yuval ve diğ., 2017; Wong-Wah-Chung ve diğ., 2007).

3.3. Fitotoksisite Sonuçları

Ozon bazlı İOP'ler ile yapılan TCS arıtılabilirlik çalışma sonuçlarına göre; 10 mg/L TCS konsantrasyonunda ve 5 ppm sabit ozon dozunda yapılan O_3 ve O_3/UVC/ZnO oksidasyon prosesleri en iyi şartlar olarak netleştirilmiştir. Bu şartlarda yapılan 30 dakikalık arıtım sonrası numunelere, L. sativum tohumu kullanılarak fitotoksisite testleri yapılmış ve saf su kontrol numunesine karşılık TCS'nin fitotoksisitesi incelenmiştir. En iyi gelişim gösteren L. sativum tohumlarının ortalama kök ve gövde uzunluklarına ait sonuçlar karşılaştırılarak; (%) inhibisyon, (%) GI, EC50 ve TB değerleri belirlenmiş ve Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. TCS çözeltisinin fitotoksisite test sonuçları

Konsantrasyon	Proses	Zaman (dak)	İnhibisyon Değerleri (%)		Çimlenme İndisi (GI) (%)		Etkili Konsantrasyon (EC_{50})		Toksik Birim (TB)	
			Kök	Gövde	Kök	Gövde	Kök	Gövde	Kök	Gövde
10 mg/L TCS	O_3	0	-52,57	36,36	159,84	66,67	50,70	191,85	1,97	0,52
		30	-54,41	30,81	161,76	72,49	53,62	288,71	1,86	0,35
	O_3/UVC/ZnO	0	-47,43	40,40	168,49	68,11	42,52	121,34	2,35	0,82
		30	-77,57	25,76	202,94	84,85	100,47	376,84	1,00	0,27

Tablo 1'de; saf su kontrol numelerinin ortalama kök ve gövde uzunluk verilerine göre yapılan hesaplamalardan; O_3 ve O_3/UVC/ZnO oksidasyon proseslerinin 0. ve 30. dakika arıtım numunelerinde (%) inhibisyon değerleri kökte negatif, gövde de ise pozitif olarak belirlenmiştir. Negatif inhibisyon değerleri L. sativum bitkisinin kökünde büyümenin pozitif yönde olduğunu; pozitif inhibisyon değerleri ise bitkinin gövdesinde büyümenin olmadığını veya az olduğunu ifade etmektedir. En yüksek inhibisyon değerleri gövdede %36,36 ve %40,40 olarak her iki prosesin başlangıç konsantrasyonunda belirlenmiş ve 30 dakikalık arıtım sonunda az da olsa bu değerlerde düşüşler olmuştur. GI sonuçlarına göre; hem kökte hem de gövdede % GI değerleri artmış ve bu durum çimlenmenin olduğunu oksidasyon proseslerinin işe yaradığını göstermektedir. En yüksek % GI değerleri ise %202,94 kökte ve %84,85 gövdede olmak üzere fotokatalitik ozon prosesi ile arıtım sonrasında elde edilmiştir. Kökte ve gövdede en yüksek EC50 değerleri, O_3/UVC/ZnO prosesinin 30. dakikasında sırasıyla 100,47 ve 376,84 olarak belirlenmiştir. EC50 değerleri kullanılarak TB değerleri de hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar Persone ve diğ. (1993) sınıflandırmasına göre değerlendirilmiştir. Buna göre; 10 mg/L TCS'nin kökte başlangıçta toksik sınıfta olduğu, O_3 prosesi ile arıtım sonunda toksik etkinin devam ettiği; gövdede ise TCS'nin başlangıçta ve O_3 ile arıtım sonrasında da hafif toksik sınıfta olduğu belirlenmiştir. O_3/UVC/ZnO prosesinde ise kökte başlangıçta toksik etkinin arıtım sonunda hafif toksik olarak değiştiği görülmüştür. Gövdede ise hafif toksik etkinin biraz daha azaldığı belirlenmiştir.

Fitotoksisite çalışma sonuçlarından, 10 mg/L TCS'nin arıtımında O_3 prosesine kıyasla O_3/UVC/ZnO prosesinin L. sativum fitotoksisitesi üzerinde daha etkili olduğu, fotokatalitik ozon oksidasyon prosesi ile arıtımının L. sativum bitkisinin büyümesini olumlu yönde etkilediği, bitkinin çimlenmesini hızlandırdığı ve kök ve gövde üzerinde hafif toksik etki yaptığı tespit edilmiştir.

4. SONUÇLAR

Ozon bazlı İOP'ler kullanılarak, farklı başlangıç konsantrasyonlarında yapılan TCS sulu çözeltilerinin arıtılabilirlik çalışmaları sonucunda; KOİ ve TOK giderim verimlerine göre en etkili prosesler olarak O_3/UV/ZnO, O_3 ve O_3/UV oksidasyon prosesleri belirlenmiştir. Bu proseslerle 5 mg/L TCS konsantrasyonunda en yüksek KOİ giderim verimine %58 ve en yüksek TOK giderimine ise %43 olarak sırasıyla O_3/UV/ZnO ve O_3/UV oksidasyon şartlarında; 10 mg/L TCS konsantrasyonunda ise %72 KOİ ve %75 TOK giderim verimlerine O_3/UV/ZnO prosesinde ulaşılmıştır. Başlangıç TCS konsantrasyonunun artması ile daha yüksek giderim verimlerine ulaşılmıştır.

Oksidasyon prosesleri ile arıtım sonrasında numunelere UV-Vis absorbans spektrum taraması da yapılmış ve spektrum sonuçlarından; en iyi prosesler olarak O_3/UVC/ZnO, O_3/UVC ve O_3 oksidasyon prosesleri belirlenmiştir. Bu proseslerin mineralizasyon sonuçları ile de uyumlu olduğu görülmüştür.

L. sativum bahçe teresi tohumu kullanılarak yapılan fitotoksisite testi sonucunda; 10 mg/L TCS çözeltisinin başlangıçta bitkinin kökünde toksik, gövdesinde ise hafif toksik etki gösterdiği belirlenmiştir. O_3 ve O_3/UVC/ZnO prosesleri ile 30 dakikalık arıtım sonrasında ise; her iki proses şartınında bitki gövdesinde hafif toksik etki yaptığı, kökte ise ozon prosesinde toksisitenin devam ettiği ve fotokatalitik ozon prosesinde ise hafif toksik olarak değiştiği tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre TCS'nin toksisitesinin azalmasında O_3/UVC/ZnO prosesinin en etkili proses olduğu bulunmuştur.

Yapılan çalışma sonuçlarına göre TCS'nin arıtılabilirliğinde ozon bazlı İOP'lerin genel olarak etkili prosesler oldukları görülmüştür. TCS'nin mineralizasyonunda etkinliğinin daha fazla olması ve fitotoksik etkisini azaltması nedeniyle, özellikle O_3/UVC/ZnO fotokatalitik ozon prosesi bu çalışma sonucunda TCS'nin arıtımında en etkili proses olarak önerilmektedir.

5. KAYNAKÇA

[1]. R.Venkatadri and R.W. Peters, ''Chemical Oxidation Technologies: Ultraviolet Light/hydrogen Peroxide, Fenton's Reagent, and Titanium Dioxide-assisted Photocatalysis'', J. Hazard. Mater., 10, 107-149, 1993.

[2]. W.H. Glaze, ''Drinking-water Treatment with Ozone'', Environ. Sci. Technol., 21(3), 224–230, 1987.

[3]. G.V. Buxton, C.L. Greenstock, W.P. Helman, A.B. Ross, ''Critical View of Rate Constants for Reactions of Hydrated Electrons, Hydrogen Atoms, Hydroxyl Radicals (˙OH/˙O-) in Aqueous Solution'', J. Phys. Chem. Ref. Data, 17, 513-886, 1988.

[4]. C.P. Huang, C. Dong, Z. Tang, ''Advanced Chemical Oxidation: Its Present Role and Potential Future in Hazardous Waste Treatment'', Waste Manag., 13(5-7), 361-377, 1993.

[5]. O. Legrini, E.Olivers, A.M. Braun, ''Photochemical Processes for Water Treatment'', Chem. Res., 93, 671-698, 1993.

[6]. A.L.N. Mota, L.F. Albuquerque, L.T.C. Beltrame, O. Chiavone-Filho, A. Jr. Machulek, C.A.O. Nascimento, ''Advanced Oxidation Processes and Their Application in the Petroleum Industry: A review'', Braz. J. Pet. Gas., 2(3), 122–142, 2008.

[7]. C. Amor, L. Marchão, M.S. Lucas and J.A. Peres, ''Application of Advanced Oxidation Processes for the Treatment of Recalcitrant Agro-Industrial Wastewater: A Review'', Water, 11, 205, 2019.

[8]. R. Rajeswari, S. Kanmani, ''A study on Synergistic Effect of Photocatalytic Ozonation for Carbaryl Degradation'', Desalin., 242(1), 277–285, 2009.

[9]. F.J. Beltrán, ''Ozone Reaction Kinetics for Water and Wastewater Systems'', Lewis Publishers, New York, Washington, D.C, 2004.

[10]. N.F. Gray, ''Ozone Disinfection'', In: Percival SL, Yates MV, Williams DW, Chalmers RM, Gray NF (eds) Microbiology of waterborne diseases, 2nd edn. Academic Press, London, pp 599–615, 2014.

[11]. A.C. Mecha, M.S. Onyango, A. Ochieng, M.N.B. Momba, ''Inactivation of Waterborne Pathogens in Municipal Wastewater Using Ozone'', In: Mujtaba IM, Majozi T, Amosa MK (eds) Water Management: Social and Technological Perspectives, CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton, pp 275–287, 2018.

[12]. R. Broséus, S. Vincent, K. Aboulfadl, A. Daneshvar, S. Sauvé, B. Barbeau, M. Prévost, ''Ozone Oxidation of Pharmaceuticals, Endocrine Disruptors and Pesticides During Drinking Water Treatment'', Water Res., 43, 4707–4717, 2009.

[13]. E.V. Rokhina, J. Virkutyte, ''Advanced Catalytic Oxidation of Emerging Micropollutants'', In: Virkutyte, J., Varma, R.S., Jegatheesan, V. (Eds.), Treatment of Micropollutants in Water and Wastewater. Integrated Environmental Technology Series. IWA Publishing, London, pp. 360–424, 2010.

[14]. G.R. Peyton, W.H. Glaze, ''Destruction of Pollutants in Water with Ozone in Combination with Ultraviolet Radiation. 1. General Principles and Oxidation of Tetrachloroethylene'', Environ. Sci. Technol., 16, 448-453, 1982.

[15]. G.R. Peyton, W.H. Glaze, ''Destruction of Pollutants in Water with Ozone in Combination with Ultraviolet Radiation. 3. Photolysis of Aqueous Ozone'', Environ. Sci. Technol., 22, 761–767, 1988.

[16]. J. Gong, Y. Liu, X. Sun, ''O_3 and UV/O_3 Oxidation of Organic Constituents of Biotreated Municipal Wastewater'', Water Res., 42(4-5), 1238-1244, 2008.

[17]. Y.F. Rao, W. Chu, ''A new Approach to Quantify the Degradation Kinetics of Linuron with UV, Ozonation and UV/O_3 Processes'', Chemosphere, 74, 1444–1449, 2009.

[18]. R. Rosal, A. Rodriguez, J.A. Perdigon-Melon, A. Petre, E. Garcia-Calvo, M.J. Gomez, A. Aguera, A.R. Fernandez-Alba, ''Occurrence of Emerging Pollutants in Urban Wastewater and their Removal Through Biological Treatment Followed by Ozonation'', Water Res., 44, 578-588, 2010.

[19]. B.K. Hordern, P. Andrzejewski, A. Dabrowska, K. Czaczyk, J. Nawrocki, ''MTBE, DIPE, ETBE and TAME Degradation in Water Using Perfluorinated Phase as Catalysts for Ozonation Process'', Appl. Catal. B: Environ., 51, 51-66, 2004.

[20]. W. Shinpon, S. Fumihide, N. Katsuyuki, ''A Synergistic Effect of Photocatalysis and Ozonation on Decomposition of Formic Acid in an Aqueous Solution'', Chem. Eng. J., 87(2), 261–271, 2002.

[21]. V. Augugliaro, M. Litter, L. Palmisano, J. Soria, ''The Combination of Heterogeneous Photocatalysis with Chemical and Physical Operations: A Tool for Improving the Photoprocess Performance'', J. Photochem. Photobiol. C, 7(4), 127–144, 2006.

[22]. D.B. Silva, A. Cruz-Alcalde, C. Sans, J. Giménez, S. Esplugas, ''Performance and Kinetic Modelling of Photolytic and Photocatalytic Ozonation for Enhanced Micropollutants Removal in Municipal Wastewaters'', Appl. Catal. B: Environ., 249, 211–217, 2019.

[23] .L. Meunier, S. Canonica, U. von Gunten, ''Implications of Sequential use of UV and Ozone for Drinking Water Quality'', Water Res., 40(9), 1864–1876, 2006.

[24]. A.C. Gore, D. Crews, L.L. Doan, M. La Merrill, H. Patisaul, A. Zota, ''Introduction to Endocrine Disrupting Chemicals (EDCs)'', A Guide for Public Interest Organizations and Policy-Makers, Endocrine Society Hormone Science to Health, 2014.

[25]. S. Jobling, T. Reynolds, R. White, M.G. Parker, J.P. Sumpter, ''A Variety of Environmentally Persistent Chemicals, Including some Phthalate Plasticizers, are Weakly Estrogenic'', Environ. Health Perspect., 103(6), 582-587, 1995.

[26]. USEPA, U.S. Environmental Protection Agency, Endocrine Disrupter Screening and Testing Advisory Committee (EDSTAC), Final Report., Washington, D.C., 1998.

[27]. S.J. Kwack, O. Kwon, H.S. Kim, S.S. Kim, S.H. Kim, K.H. Sohn, R.D. Lee, C.H. Park, E.B. Jeung, B.S. An, K.L. Park, ''Comparative Evaluation of Alkylphenolic Compounds on Estrogenic Activity in Vitro and in Vivo'', J. Toxicol. Environ. Health, Part A, 65, 419-431, 2002.
[28]. T.A. Ternes, ''Occurrence of Drugs in German Sewage Treatment Plants and Rivers'', Water Res., 32, 3245–3260, 1998.
[29]. S. Esplugas, D.M. Bila, L.G.T. Krause, M. Dezotti, ''Ozonation and Advanced Oxidation Technologies to Remove Endocrine Disrupting Chemicals (EDCs) and Pharmaceuticals and Personal Care Products (PPCPs) in Water Effluents'', J. Hazard. Mater., 149(3), 631–642, 2007.
[30]. A.C. Johnson, J.P. Sumpter, ''Removal of Endocrine Disrupting Chemicals in Activated Sludge Treatment Works'', Environ. Sci. Technol., 35, 4697–4703, 2001.
[31]. A. Dann, A. Hontela, ''Triclosan: Environmental Exposure, Toxicity and Mechanisms of Action'', J. Appl. Toxicol., 31(4), 285-311, 2011.
[32]. D. McGinnis, ''Toxicological Profile of Triclosan in the Aquatic Environment'', Department of Marine and Environmental Systems, Florida Institute of Technol., 2008.
[33]. A.L. Perez, M.A. De Sylor, A.J. Slocombe, M.G. Lew, K.M. Unice, E.P. Donovan, ''Triclosan Occurrence in Freshwater Systems in The United States (1999-2012): A Meta Analysis'', Environ. Toxicol. Chemistry, 32(7), 1479-1487, 2013.
[34]. R.U. Halden, D.H. Paul, ''Co-occurence of Triclocarban and Triclosan in U.S. Water Resources'', Environ. Sci. Technol., 39(6), 1420–1426, 2005.
[35]. A. Arslan, E. Topkaya, D. Bingöl and S. Veli, ''Removal of Anionic Surfactant Sodium Dodecyl Sulfate from Aqueous Solutions by O_3/UV/H_2O_2 Advanced Oxidation Process: Process Optimization with Response Surface Methodology Approach'', Sustain. Env. Res., 28, 65-71, 2018.
[36]. M. Devare, M. Bahadir, ''Biological Monitoring of Landfill Leachate Using Plants and Luminescent Bacteria'', Chemosphere, 28(2), 261-271, 1994.
[36]. S. Tongur, R. Yıldırım, ''Acute Toxicity Assessment of Antibiotics in Water by Luminiscence Bacteria and Lepidium Sativum'', Procedia Earth and Planetary Sci., 15, 468-473, 2015.
[37]. S. Tongur, S. Yıldız, R. Yıldırım, ''Bazı İlaç Gruplarının Su Ortamına Olan Etkilerinin Akut Toksisite Testleri ile Değerlendirilmesi'', Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt 23, Özel Sayı, 71-75, 2019.
[38]. L. Rizzo, S. Mericb, M. Guida, D. Kassinos, V. Belgiorno, ''Heterogenous Photocatalytic Degradation Kinetics and Detoxification of an Urban Wastewater Treatment Plant Effluent Contaminated with Pharmaceuticals'', Water Res., 43, 4070 – 4078, 2009.
[39]. L. Rizzo, A. Fiorentino, M. Grassi, D. Attanasio, M. Guida, ''Advanced Treatment of Urban Wastewater by Sand Filtration and Graphene Adsorption for Wastewater Reuse: Effect on a Mixture of Pharmaceuticals and Toxicity'', J. Environ. Chem. Eng., 3, 122–128, 2015.
[40]. M.E. Aydın, G. Kara, ''An Investigation on the Toxicity of Sewage'', Fresen. Environ. Bull., 13, 1444-1448, 2004.
[41]. G. Persoone, M. Goyvaerts, C. Janssen, W. De Coen, M. Vangheluwe, ''Cost-effective Acute Hazard Monitoring of Polluted Waters and Waste Dumps with the aid of Toxkits'', Final Report, Commission of the European Communities, ACE 89/BE 2/D3.p 142, 1993.
[42]. G. Persoone, B. Marsalek, I. Blinova, A. Törökne, D. Zarina, L. Manusadzianas, G. Nalecz-Jawecki, L. Tofan, N. Stepanova, L. Tothova, B. Kolar, ''A Practical and User-Friendly Toxicity Classification System with Microbiotests for Natural Waters and Wastewaters'', Environ. Toxicol., 18(6), 395-402, 2003.
[43]. X. Chen, J. Richard, Y. Liu, E. Dopp, J. Tuerk, K. Bester, ''Ozonation Products of Triclosan in Advanced Wastewater Treatment'', Water Res., 46, 2247- 2256, 2012.
[44]. K.B. Orhon, A Koç Orhon., F.B. Dilek, U. Yetiş, ''Triclosan Removal from Surface Water by Ozonation-Kinetics and by-products Formation'', J. Environ. Manag., 204, 327-336, 2017.
[45]. V.S. Kosera, T.M. Cruz, E.S. Chaves, E.R.L. Tiburtius, ''Triclosan Degradation by Heterogeneous Photocatalysis Using ZnO Immobilized in Biopolymer as Catalyst'', J. Photochem. Photobiol. A: Chemistry, 344, 184-191, 2017.
[46]. K.M. Lee, C.W. Lai, K.S. Ngai, J.C. Juan, ''Recent Developments of Zinc Oxide Based Photocatalyst in Water Treatment Technology: A Review'', Water Res., 88, 428–448, 2016.
[47]. L.M. Weatherly, R.H. Kennedy, J. Shim, J.A. Gosse, ''A Microplate Assay to Assess Chemical Effects on RBL-2H3 Mast Cell Degranulation: Effects of Triclosan without Use of an Organic Solvent'', J.Vis. Exp., 81, 50671, 2013.
[48]. R. Lavecchia, A. Zuorro, ''Experimental Study of the Inclusion of Triclosan in Hydroxy propyl-β-cyclodextrins'', 9th International Conference on Chem. and Process Eng., IcheaP-9, Rome, Italy, 17, 1083-1088, 2009.
[49]. A. Yuval, F. Eran, W. Janin, O. Oliver, D. Yael, ''Photodegradation of Micropollutants Using V-UV/UV-C Processes; Triclosan as a Model Compound'', Sci. Total Env., 601–602, 397–404, 2017.
[50]. P. Wong-Wah-Chung, S. Rafqah, G. Voyard, M. Sarakha, ''Photochemical Behaviour of Triclosan in Aqueous Solutions: Kinetic and Analytical Studies'', J. Photochem. Photobiol. A: Chemistry, 191(2-3), 201-208, 2007.

Teşekkür: Yazarlar, Kocaeli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne (KOU BAP), 2019/069-HD projesine yaptıkları maddi destekleri için teşekkür ederler.

14. national 2. international environmental engineering congress

climate crisis & environmental policies

SESSION 5A: Katı Endüstriyel ve Tehlikeli Atık Yönetimi

Paper ID:

19 MİKROPLASTİK VE BİYOKATI VARLIĞINDA TOPRAKTA NİKEL TOKSİSİTE SİNİN BELİRLENMESİ
Emel Topuz - Fatma Cansu Ulutuğ

71 ARITMA ÇAMURLARININ KOMPOSTLANMASINDA TAVUK GÜBRESİNİN ETKİSİ
Büşra Özbek - Selnur Uçaroğlu

75 TOPRAK VE KOMPOST ŞARTLARINDA BİYOPLASTİKLERİN BİYOBOZUNMA LARININ DEĞERLENDİRİLMESİ
Şeyma Erkul - Selnur Uçaroğlu

113 İÇME SUYU ARITMA TESİSİ ÇAMURUNDAN ELDE EDİLEN ADSORBAN MALZEME İLE ARSENİK GİDERİMİ
Berna Kavacık - Deniz Dölgen

90 ARITMA ÇAMURUNUN TERMAL KURUTMA ÖNCESİ YAPIŞKANLIK YAPISI NIN DEĞERLENDİRİLMESİ
Emine Ubay Çokgör - Güçlü İnsel - Didem Güven - Gülsüm Emel Zengin - Didem Okutman - Gökşin Özyıldız - Ece Sağır Kurt - Ezgi Atlı

106 Elektrikli ve Elektronik Atıklardan Değerli Metallerin Geri Kazanımının Değer lendirilmesi
Melisa Nur Şener - Mehmet Sinan Bilgili

57 DEMİR ÇELİK ÜRETİMDEN KAYNAKLANAN BACA GAZI TOZUNUN STABİLİ ZASYON/SOLİDİFİKASYON YÖNTEMİYLE DÜZENLİ DEPOLAMA SAHALA RINDA BERTARAF EDİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI
Bekir Tombul - Merve Özgel - Gurdal Kanat

DETERMINATION OF NICKEL TOXICITY IN SOIL IN THE PRESENCE OF MICROPLASTIC AND BIOSOLID

Emel Topuz[1], Fatma Cansu Ulutuğ[2]

[1] Department of Environmental Engineering, Gebze Technical University, Kocaeli 41400, Turkey
emeltopuz@gtu.edu.tr

[2] Department of Environmental Engineering, Gebze Technical University, Kocaeli 41400, Turkey
cansu.ulutug2017@gtu.edu.tr

Abstract

Plastics are occupied a large place in our lives, but this widespread use also led to a major environmental problem. Microplastics may accumulate in the treatment sludges of Wastewater Treatment Plants and then use of these sludges in agricultural lands cause the spread of pollutants such as heavy metals and microplastics. In this context, the toxicity of microplastics with nickel, the toxicity of the biosolid applications with the nickel, the toxic effect of nickel heavy metal has been investigated. With these test sets, lethal toxic concentration, toxic concentration effective on growth, concentration at no effect observed and accumulation potential of Nickel in E. Crypticus will be determined.

Keywords: Microplastic, Nickel, biosolid, toxicity

1. Introduction

Plastics have been used in a wide range with their features such as being easily available and cheap, and this usage on the environment is increasing day by day. (Ritchie, 2018) In addition, it is estimated that plastics, which are already harmful on their own, can cause indirect effects with the potential to form an adhesion surface with other pollutants in the environment (Boyle et al., 2020). Major sources of microplastics include treatment plant sludges. (Chang et al., 2020). While the nickel concentration in the environment is expressed as 50mg/kg in soils, the nickel concentration in biosolids and soils near metal refineries reaches 24,000 to 53,000 mg/kg. (Liu et al., 2019) In this context, fate of nickel heavy metal in soil, interactions with biosolids and microplastics are important. The aim of this study is to determine the toxicity of Nickel on *E. Crypticus*, one of the organisms representing the soil environment, in the presence of microplastics and biosolids.

2. Material and Method

In this study, for E. Crypticus, Castro-Ferreira et al. (2012) to perform the experiments in 3 weeks, the ISO (2004) and OECD (2004) methods will be used. Experiments were conducted as previously described by Topuz et al., (2018). Nickel toxicity, nickel and microplastic toxicity, nickel and biosolid toxicity were investigated. Toxicity experiments were performed by using Lufa 2.2 and nickel aqueous solutions. In the experimental sets containing microplastics, polystyrene microplastics were sieved under 5 mm and used. In the experiments carried out with nickel, a fixed amount of 0.1 g MP or 0.6 g biosolid was applied in accordance with realistic environmental conditions. After 24 hour homogenization, 10 adult E. crypticus were selected and placed in the soil as specified in the standard method. Moisture content and nutrient source were checked, and the jars were stored at 20 ºC for 12 hours in light and 12 hours in darkness for 21 days. After 21 days, eggs were counted with magnifying glass in accordance with the procedure.

3. Result

Nickel concentrations in the range of 0, 15.3, 38.4, 96, 240 and 600 mg/kg were mixed into Lufa 2.2 soil. After the concentration of 96mg/kg, a significant decrease in egg number was observed. The EC50 value was calculated as 47.6 ±12 mg Ni/kg dry soil. In the presence of microplastics, 0.1gram polystyrene microplastic and nickel concentrations were investigated. Nickel showed a lower toxic effect in the presence of microplastics than alone. The EC50 value was calculated as 150 mg Ni/kg dry soil. Since this result is contrary to expectations, it is necessary to make inferences by examining the possible chemical interactions of nickel and polystyrene. Since there is a high concentration of organic matter in the biosolid, a lower toxic effect was expected so experiments were carried out with also 1500 mg/kg. The EC50 value was found to be 294 mg Ni/kg dry soil. It is estimated that high organic matter forms a complex with Nickel in the soil and reduces biological availability. That is, the presence of biosolids reduces the toxic effect of nickel.

4. Discussion

If Nickel, which is one of the known pollutants for the soil environment, is found together with MP and biosolids, which are increasing in existence today, it has been observed that its effects on living things are affected in different ways. It is recommended that pollutant grouping studies be carried out for environmental risk assessment by examining toxic effects changes. In addition, to review the standard/criteria values established in the soil environment for heavy metals, considering the effects such as MP and biosolids application.

5. References

Hannah Ritchie (2018) - Plastic Pollution

Kellie Boyle and Banu Örmeci, (2020), Microplastics and Nanoplastics in the Freshwater and Terrestrial Environment, A Review

Chang, X., Huang, H. , Jiao, R. nan, & Liu, J. (2020). Experimental investigation on the characteristics of tire wear particles under different non-vehicle operating parameters.

Fang, Liu, Zhang, Yang, Yan, Ding, Han, Zhou, Yang (2018). BfvR Controls Biofilm Formation and pH6 Antigen Production in Opposite Ways in Yersinia pestis Biovar Microtus. Frontiers in Cellular and Infection Microbiology.

Castro-Ferreira, M. P., Roelofs, D., van Gestel, C. A. M., Verweij, R. A., Soares, A. M. V. M., & Amorim, M. J. B. (2012). Enchytraeus crypticus as model species in soil ecotoxicology. Chemosphere

Emel Topuz, Elif Pehlivanoglu-Mantas, Eren Gorenoglu, Egemen Aydin, (2018), Effect of triclosan and its photolysis products on marine bacterium V. fischeri and freshwater alga R. subcapitata, Turkey

6. Acknowledgment

Supported by the project numbered 2021-A-101-1 given by GTU Scientific Research Projects.

ARITMA ÇAMURLARININ KOMPOSTLANMASINDA TAVUK GÜBRESİNİN ETKİSİ

THE EFFECT OF CHICKEN MANURE ON THE COMPOSTING OF TREATMENT SLUDGE

Büşra ÖZBEK[1], Selnur UÇAROĞLU[2*]

[1]Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü 16059, Nilüfer/BURSA busraozbek340@gmail.com

[2]Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü 16059, Nülifer/BURSA selnur@uludag.edu.tr*

Özet

Arıtma tesislerinde oluşan evsel nitelikli arıtma çamurları ülkemizde hala düzenli depolama yöntemi ile bertaraf edilmekte veya yakılmaktadır. Bunun sonucunda da çeşitli çevresel riskler ortaya çıkmaktadır. Bu çevresel risklerin önüne geçebilmek, kirlilik düzeyini minimuma indirebilmek, atık minimizasyonu ve geri kazanım için yürütülen çeşitli çalışmalardan biri de kompostlama yöntemidir. Bu çalışmalarda arıtma çamurları tek başlarına değerlendirilmek için sınırlı kapasiteye sahiptirler. Bu yüzden, arıtma çamurlarının kompostlanmasında substrat olarak hayvan gübreleri, düzenleyici olarak zirai atıklar kullanılabilmektedir. Ülkemizde kanatlı hayvan yetiştiriciliği ucuz olması sebebi ile en çok talep gören sektörler arasındadır. Et tavuğu ve yumurta tavuğu olmak üzere iki çeşit hayvan yetiştiriciliği yapılmakta ve artan talep oranlarıyla birlikte tavuk sayıları da sürekli artış göstermektedir. Bunun sonucunda artan tavuk sayılarına paralel olarak gübre miktarları da sürekli artmaktadır. Ülkemizde tavuk gübreleri herhangi bir işlem uygulanmadan toprakta gübre olarak kullanılabilmekte, yakılabilmekte ya da kontrolsüz bir şekilde doğaya bırakılarak çeşitli çevresel riskler oluşturmaktadırlar. Tavuk gübreleri de arıtma çamurları gibi önemli miktarda organik madde ve nütrient içermeleri sebebiyle tarımda kullanılarak geri kazanımları sağlanabilir. Bu atıklar içerdikleri patojen ve sentetik organik kirleticiler nedeniyle tarımda kullanılmadan önce stabilize edilmeleri ve bu zararlı özelliklerinin giderilmesi gerekir. Bu amaçla bu tip atıklar için kompostlama prosesi, oldukça uygun bir bertaraf ve geri kazanım işlemidir.

Bu çalışmada; arıtma çamuru tek başına ve tavuk gübresi ile birlikte kompostlanmıştır. Tavuk gübresinin arıtma çamurunun kompostlanmasına etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla $Ç_1$ ve $Ç_2$ olmak üzere iki ayrı karışım hazırlanmıştır. $Ç_1$ reaktörüne %80 arıtma çamuru, $Ç_2$ reaktörüne ise %40 arıtma çamuru, %40 tavuk gübresi ilavesi yapılmıştır. Ayrıca bunlara ek olarak her iki reaktöre de %20 oranında düzenleyici katkı maddesi olarak ayçiçeği sapı ilave edilmiştir. 21 günlük proses boyunca reaktörlerde sıcaklık, nem, organik madde, pH ve elektriksel iletkenlik (EC), toplam fosfor (TP), karbon/azot oranı(C/N) ve toplam kjeldahl azotu (TKN) parametreleri izlenmiştir. $Ç_1$ ve $Ç_2$ reaktörlerinde süreç boyunca en yüksek sıcaklıklar sırasıyla 48°C ve 62.2°C olarak tespit edilmiştir. Reaktörlerdeki başlangıç ve bitiş C/N oranları incelendiğinde $Ç_1$ reaktöründe %3.3'lük, $Ç_2$ reaktöründe ise %31.2'lik bir azalma gözlemlenmiştir. Bu durumda, C/N oranının azalması ve sıcaklık yükselmesi en fazla olan $Ç_2$ reaktörü en verimli reaktör olarak tespit edilmiştir. Arıtma çamurunun tek başına kompostlanması sırasında yeterli substrat bulamayan mikroorganizmaların erken inaktivasyonu sonucu proseste istenilen verim elde edilememiştir. Diğer bir yandan, ilave substrat olarak eklenen tavuk gübresi ile $Ç_2$ reaktöründe mikroorganizmalar için yeterli kolay parçalanabilir substrat sayesinde kompost prosesinin verimliliği artmıştır.

Abstract

Domestic treatment sludge formed in treatment plants is still disposed of with landfilling methods or incinerated in our country. As a result, various environmental risks occur. One of the various studies carried out for preventing these environmental risks, minimizing the pollution level, minimizing waste and recycling is the composting method. In these studies, treatment sludge has limited capacity to be evaluated on its own. Therefore, animal manures can be used as a substrate in the composting of treatment sludge, and agricultural wastes can be used as a bulking agent. Poultry breeding in our country is among the most demanded sectors due to its cheapness. Two types of animal breeding are carried out, meat chicken and laying chicken, and the number of chickens is constantly increasing with increasing demand rates. As a result of this, in parallel with the increasing number of chickens, the amount of fertilizer is constantly increasing. Since chicken manure can be used as fertilizer in the soil without any treatment, burned or left to nature in an uncontrolled way in our country, they create various environmental risks. Chicken manures, like treatment sludge, contain a significant amount of organic matter and nutrients, so they can be recovered by using them in agriculture. Because of the pathogens and synthetic organic pollutants they contain, these wastes need to be stabilized and their harmful properties removed before they are used in agriculture. For this purpose, the composting process is a very suitable disposal and recovery process for this type of waste.

In this study; the treatment sludge was composted alone and together with chicken manure. It was aimed to determine the effect of chicken manure on the composting of treatment sludge. For this purpose, two different mixtures were prepared as $Ç_1$ and $Ç_2$. 80% treatment sludge was added to reactor Ç1 and 40% treatment sludge and 40% chicken manure were added to reactor Ç2. In addition to these, sunflower stalk was added to both reactors as a bulking agent at the rate of 20%.

During the 21-day process, temperature, moisture, organic matter, pH and electrical conductivity (EC), total phosphorus (TP), carbon/nitrogen ratio (C/N) and total kjeldahl nitrogen (TKN) parameters were monitored in the reactors. The highest temperatures throughout the process in reactors $Ç_1$ and $Ç_2$ were determined as 48°C and 62.2°C, respectively. When the starting and ending C/N ratios in the reactors are examined, a decrease of 3.3% in reactor $Ç_1$ and 31.2% in reactor $Ç_2$ was observed. In this case, the $Ç_2$ reactor with the highest decrease in C/N ratio and the highest temperature increase was determined as the most efficient reactor. During the composting of the treatment sludge alone, the desired efficiency could not be obtained in the process as a result of the early inactivation of the microorganisms that could not find sufficient substrate. On the other hand, the efficiency of the compost process increased thanks to the chicken manure added as an additional substrate, sufficient easily degradable substrate for microorganisms in the $Ç_2$ reactor.

Anahtar Kelimeler: Arıtma çamuru, Kompostlama, Tavuk gübresi

Keywords: Treatment sludge, Composting, Chicken manure

TOPRAK VE KOMPOST ŞARTLARINDA BİYOPLASTİKLERİN BİYOBOZUNMALARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

EVALUATION OF BIOPLASTICS BIODEGRADATION UNDER SOIL AND COMPOST CONDITIONS

Şeyma Nur ERKUL[1], Selnur UÇAROĞLU[2*]

[1] Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 16059, Nilüfer/BURSA, seymakpinarr@gmail.com

[2]Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 16059, Nilüfer/BURSA, selnur@uludag.edu.tr*

Özet

Plastiklerin yaygınlaşan kullanımı, artan plastik atık birikimine neden olmaktadır. Bir kısmı geri dönüştürülse de bazılarının geri dönüşümü oldukça zordur. Geri dönüştürülemeyen plastik atıklar için en yaygın mevcut bertaraf uygulamaları, toprağa gömmek, yakmak veya açık alanlarda veya çöplüklerde bertaraf etmektir. Bu uygulamalar elbette yasa dışıdır ve çevre sağlığı için ciddi olumsuz sonuçlar doğurmaktadır. Özellikle geri dönüştürülemeyen plastik atıklar için biyobozunma çekici bir alternatiftir. Bu nedenle geleneksel petrol bazlı plastiklerin, ömürlerinin sonunda toprakta toksik veya kirletici bırakmayacak şekilde biyolojik olarak parçalanabilen biyobazlı plastikler ile değiştirilmesi önerilmektedir.

Son zamanlarda, doğal malzemeler içeren veya biyolojik olarak parçalanabilen poli-hidroksilalkanoat (PHA), poli-laktik asit (PLA), poli-bütilen süksinat (PBS) ve PBS-ko-adipat (PBSA) gibi birçok biyoplastik türü polimerler geliştirilmiştir. Bu biyoplastiklerin konvansiyonel plastiklerin yerine kullanılması tarım alanlarında, tıbbi alanlarda ve süt endüstrilerinde denenmektedir. Dünya çapında biyoplastiklerin üretimi, özellikle 2019'da yeni bir direktifin tek kullanımlık plastiklerin kullanımını yasakladığı AB'de artmaya başlamıştır

Biyobozunur polimerlerin biyolojik olarak bozunduğu katı ortamlar ile ilgili olarak, teknik literatürde, normlarda ve piyasada dikkate alınan iki ana kategori vardır. Bunlar kompostlama koşulları altında biyobozunan materyaller ve toprakta biyolojik olarak parçalanan materyallerdir. Biyobozunabilirliği ölçmek için farklı ortamlarda farklı malzemelere farklı parametrelerle uygulanan biyobozunurluk hakkında farklı normlar ve standartlar oluşturulmuştur. Bu çalışmada, biyoplastiklerin toprak ve kompost şartlarında biyobozunmaları konusunda yapılmış çalışmalar değerlendirilmiş ve plastiklerin biyobozunurluğu konusunda uygulanan standartlar belirlenerek incelenmiştir. Biyoplastiklerin biyobozunmaları ile yapılan mevcut çalışmalarda, biyoplastiklerin uygun sıcaklıklarda kompost ve toprak ortamlarında %90'ın üzerinde bozunduğu görülmektedir. Plastiğin "biyolojik olarak bozunabilirliği", sadece üretimi için kullanılan hammaddeler ile değil aynı zamanda nihai ürünün kimyasal bileşimi, yapısı ve ayrıca ürünün biyolojik olarak bozunması beklenen ortam ile bağlantılıdır.

Abstract

The expanding use of plastics results in increased accumulation of plastic waste. Part of this plastic waste may be recycled but another part of the waste is difficult to recycle. The most common current disposal practices for the non-recyclable plastic waste are burying in the soil, burning or disposing them at the open fields or in landfills. These practices are illegal of course and have serious negative consequences for the environment. Specifically for the case of plastic wastes that cannot be easily recycled, a very attractive alternative is biodegradation. This refers to the replacement of conventional plastics, with biodegradable mainly bio-based ones, which will biodegrade in the soil after the end of their useful lifetime without leaving toxic or polluting remains.

Recently, many kinds of bioplastics, such as polyhydroxylalkanoate (PHA), polylactic acid (PLA), polybutylene succinate (PBS) and PBS-co-adipate (PBSA), which contain natural materials or biodegradable polymers, have been developed. The use of these bioplastics as a replacement for conventional plastics is being tried in agricultural fields, medical fields, and the dairy industries. Production of bioplastics is increasing, particularly in the EU, where a new directive banned the single-use plastics in 2019.

Concerning the solid environments under which the polymers biodegrade, the two main categories considered in the technical literature, in the norms and in the market are: the materials that biodegrade under composting conditions and the materials which biodegrade in soil. Different norms and standards have been established about biodegradability applied to different materials in different media with different parameters to quantify the biodegradability. In this study, studies on biodegradation of bioplastics under soil and compost conditions were evaluated and the standards applied on biodegradability of plastics were examined. In the current studies on biodegradation of bioplastics, it is seen that bioplastics degrade over 90% in compost and soil environments at appropriate temperatures. The 'biodegradability' of plastics depends on the raw materials and the chemical composition and structure of the final product, as well as on the environment under which the product is expected to biodegrade. Not just on the raw materials used for its production.

Anahtar Kelimeler: Biyoplastikler, Biyobozunma, Kompost, Toprak
Keywords: Bioplastics, Biodegradation, Compost, Soil

İÇME SUYU ARITMA TESİSİ ÇAMURUNDAN ELDE EDİLEN ADSORBAN MALZEME İLE ARSENİK GİDERİMİ

Berna KAVACIK[1,], Deniz DÖLGEN[2]*

[1]Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Bölümü, 35390, Buca/İZMİR berna_dalkiran@hotmail.com*

[2] Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 35390, Buca/İZMİR deniz.dolgen@deu.edu.tr

Özet

Bu çalışmada içme suyu arıtma tesisi çamurundan elde edilen adsorban malzemenin arsenik adsorplama kapasitesi araştırılmıştır. Susuzlaştırma ünitesi çıkışından alınan ham çamur çeşitli ön işlem (kurutma, öğütme, eleme) ve ısıl işleme tabi tutulmuş, DWTS-200 olarak adlandırılan malzeme elde edilmiştir. Adsorpsiyon için optimum koşulları (pH, adsorban dozu, alıkonma süresi, başlangıç konsantrasyon ve yarışan iyonlar) belirlemek amacıyla kesikli deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneylerde optimum pH 3, adsorban dozu 1 g/L, alıkonma süresi 3 saat olarak bulunmuş ve 50-100 µg/L arsenik konsantrasyonlarında %98'in üzerinde arsenik giderimi elde edilmiştir. Adsorpsiyon kinetiğinin yalancı ikinci derece reaksiyon kinetiği ve adsorpsiyon mekanizmasının Freundlich izotermiyle uyumlu olduğu belirlenmiştir. Sonuçlar DWTS-200'ün sudan arsenik gideriminde etkili ve düşük maliyetli adsorban olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: *adsorban, adsorpsiyon, arsenik, içme suyu arıtma çamuru*

Abstract

In this study, arsenic adsorption capacity of the adsorbent produced from water treatment plant sludge was investigated. The sludge obtained from dewatering unit was pretreated (drying, grinding and sieving) and heated, and the adsorbent called as DWTS-200 was produced. Batch experiments were done to determine the optimum conditions (pH, adsorbent dose, contact time, initial concentration, and competing ions) for adsorption process. In the experiments, optimum pH was found as 3, adsorbent dose was 1 g/L, and contact time was 3 hours. Over 98% arsenic treatment efficiency was obtained for 50-100 µg/L arsenic concentrations. Adsorption kinetic fitted to pseudo second order reaction kinetic and adsorption mechanism was defined by Freundlich isotherm. The results revealed that, DWTS-200 is effective and cost efficient adsorbent and used for arsenic removal from water.

Keywords: *adsorbent, adsorption, arsenic, drinking water treatment sludge*

1. GİRİŞ

Dünyanın birçok bölgesinde gerek yer altı gerek yüzeysel sularda arsenik kirliliğinden söz edilmektedir. Konvansiyonel içme suyu arıtma sistemleri ile arseniğin izin verilebilir limitin (10 ppb) altına indirilebilmesi zor olmakta, ilave düzenlemelerin yapılması gerekmektedir. Literatürde arsenik arıtımına yönelik değişik yöntemler önerilmektedir. Özellikle küçük yerleşimler için, işletimi zor ve maliyetli olan konvansiyonel sistemlerin uygulanması sorunlu olmakta, merkezi tesisler yerine kuyu başı (wellhead) olarak isimlendirilen sistemler tercih edilmektedir. Kuyu başı arıtma seçenekleri arasında ise yüksek arıtma verimi, düşük işletmeci ihtiyacı, güvenilirlik, esneklik gibi özellikleriyle adsorpsiyon yöntemi öne çıkmaktadır.

Adsorpsiyon teknolojisinde, adsorban olarak kullanılan malzeme, tesisin maliyeti ve arıtma verimini önemli oranda etkileyebilmektedir. Literatürde arsenik gideriminde kullanılması önerilen birçok adsorban malzeme (aktif karbon, aktif alümina, yeşil kum, demir esaslı malzemeler, vb.) yer almaktadır. Bunlar arasında özellikle demir esaslı adsorban maddelerin arsenik arıtımında etkili olduğu ifade edilmektedir. Demir esaslı kırmızı çamur, demir hidroksit yüklenmiş selüloz,

demir bazlı silika jel biyokütle kompoziti, demir oksit kaplı sünger, demir oksit kaplı kum, demir oksit kaplı kil, demir oksit kaplı çimento veya perlit, demir oksitle modifiye edilmiş aktif karbon ve zeolit demir esaslı adsorban malzeme örnekleri arasında sunulmaktadır [1-8]. Bunlara ek olarak, atık malzemelerin de adsorban olarak kullanılmasına yönelik pilot ölçekli uygulamalar görülmektedir [9-13]. Ancak, pilot ve/veya tesis ölçeğinde (full scale) kullanılan adsorbanların bir kısmı için yüksek maliyet, sadece düşük pH koşullarında kullanılması, sudaki diğer kirliliklerden etkilenmesi gibi dezavantajlar bulunmaktadır. Adsorpsiyon tesislerinde malzeme önemli bir işletme gideri oluşturduğu için, kullanılacak malzemenin yüksek verimli olmasının yanı sıra kolay temin edilebilir, ekonomik, rejenere edilebilir, işletme koşullarının esnek olması gibi hususlar öne çıkmaktadır. Bu nedenle, son yıllarda özellikle düşük maliyetli ve verimli adsorbanlara yönelik çalışmaların ağırlık kazanmaya başladığı dikkat çekmektedir. Bu kapsamda, endüstriyel üretimler sonucunda oluşan atık malzemelerin (alüminyum üretiminden oluşan kırmızı çamur, demir-çelik işletmelerinden kaynaklanan atıklar, krom kaplama işleminden oluşan çamurları, termik santrallerden oluşan uçucu kül, vb.) adsorban olarak kullanımına dair araştırmalar sürmektedir. Ancak atık malzemelerden elde edilen adsorbanlar henüz ticari anlamda üretim seviyesine ulaşmamıştır [14].

Sunulan çalışmanın amacı, içme suyu arıtma tesisi çamurundan elde edilen adsorbanın (DWTS) arsenik adsorpsiyon kapasitesinin araştırılmasıdır. Elde edilecek adsorbanın paket arıtma sistemlerinde kullanılması ve adsorpsiyon sisteminin köy, kasaba gibi küçük ölçekli yerleşimler için güvenilir, verimli, ekonomik ve çevreye dost bir arıtma alternatifi olarak önerilmesi hedeflenmektedir. Bu anlayışla, koagülant olarak demir üç klorürün eklendiği kimyasal arıtma sürecinden elde edilen ve demiroksit bileşikleri içeren kimyasal çamur kullanılmıştır. Mevcut koşullarda demiroksit bileşikleri içeren atık çamur depolama alanlarına gönderilmekte ve yönetmeliğe uygun şekilde bertarafı sağlanmaktadır. Çalışma kapsamında demir oksit bileşikleri içeren atık çamurun adsorban olarak kullanılması ile atık malzemenin geri kazanımının sağlanabileceği ve depolama alanlarına gönderilen atık miktarının azaltılabileceği öngörülmüştür. Bu amaçla, DWTS kullanılarak kesikli adsorpsiyon deneyleri yapılmış, adsorpsiyon kinetik ve izoterm çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Kesikli deneylerden elde edilen sonuçlar Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm eşitliklerine uygulanmıştır.

2. MATERYAL - METOT

2.1 Adsorban Malzemenin Eldesi

İçme suyu arıtma tesisi filtre pres ünitesinden alınan arıtma çamurları açık havada kurutulmuş, öğütülmüş, 0,25 mm elekten geçirilmiş, deiyonize su ile yıkanarak 105ºC'de kurutulmuştur [10], [15], [16]. Ön işlem sonrası elde edilen malzeme Şekil 1-a'da sunulmuştur. Ardından, ısıl işlem uygulanmıştır. Bu amaçla kurutma sonrası 200, 400, and 600 ºC sıcaklıklarda ve farklı süreler ile (1saat ve 4 saat) fırında tutulmuştur. Isıl işlem Chen v.d., [1], Wang v.d., [15], Wang v.d., [16] ve Li v.d., [17]'de tanımlanan yöntemlere dayandırılarak gerçekleştirilmiştir. Isıl işlem sonrası malzeme deiyonize su ile yıkanmış ve 100ºC de fırında kurutulmuştur. Optimum sıcaklığının belirlenmesi için ham ve ısıl işlem görmüş malzemeler kesikli deneylerde kullanılmıştır. Optimum sıcaklık 200ºC ve temas süresi 1 saat olarak belirlenmiştir. DWTS-200 (Şekil 1-b) malzemesi ile %92.1 arsenik arıtım verimi elde edilmiş ve kesikli adsorpsiyon deneylerinde bu malzeme kullanılmıştır.

2.2. Arsenik çözeltisi ve ölçümler

Deneylerde 1000±6 µg ml^{-1} konsantrasyonunda arsenik stok çözeltisi kullanılmış ve %2 HNO_3 çözeltisi eklenerek saklanmıştır. Adsorpsiyon deneylerinde gerekli olan konsantrasyonlar stok çözeltiden seyreltme yapılarak elde edilmiştir. Arsenik analizleri indüktif eşleşmiş plazma kütle spektrometrisi (ICP-MS) kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Agilent 7700x, with HMI). Numuneler pH 2'nin altına düşene kadar HNO_3 ilave edilerek saklanmıştır.

(b)

Şekil 1. (a) Boyutu < 250µm olan ham çamur, (b) 200ºC'de ısıl işleme tabi tutulmuş arıtma çamuru (DWTS-200)

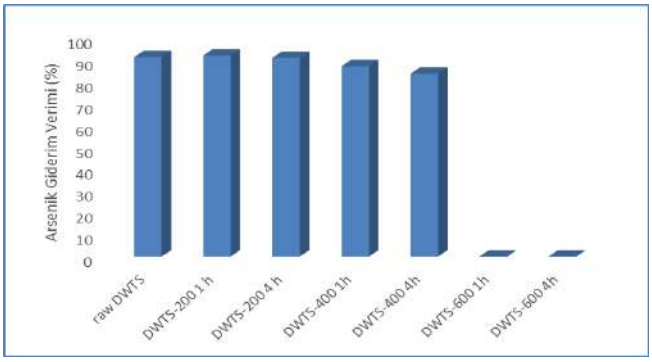
2.3. Kesikli Adsorpsiyon Deneyleri

Kesikli adsorpsiyon deneyleri kapsamında pH, temas süresi, giriş arsenik konsantrasyonu ve adsorban dozunun arsenik giderim verimine etkisi araştırılmıştır. Yarışan iyonların arıtma verimine etkisini ortaya koymak için İzmir Bayındır bölgesindeki kuyudan yer altı suyu temin edilmiş, optimum koşullarda deneyler tekrarlanmıştır.

3. SONUÇLAR

3.1. Isıl İşlem

Deneysel çalışmaların ilk aşamasında ham çamur ve ısıl işlem ile modifiye edilmiş çamur örneklerinin arsenik giderim verimi incelenmiştir. Başlangıç arsenik konsantrasyonu, pH, temas süresi gibi değişkenler sabit tutulmuş, farklı sıcaklıklarda ısıl işlemden geçmiş adsorbanların performansı araştırılmıştır. Hiçbir ısıl işlem uygulanmamış ham çamur (DWTS) kontrol amacıyla kullanılmıştır. Ham çamurun yanı sıra 200°C'de 1saat, 200 °C'de 4saat, 400 °C'de 1saat, 400 °C'de 4saat, 600 °C'de 1saat ve 600 °C'de 4saat süre ile ısıl işlem uygulanmış 6 ayrı çamur numunesi ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen arsenik verimleri Şekil 2'de grafik ile sunulmuştur. Ham çamur ve 200°C'de işlem görmüş çamur ile %91-92 mertebesinde giderim elde edilmiştir. 400°C işlem görmüş çamur kullanıldığında arsenik giderimi azalmış, %83-87 arasında arıtma sağlanmıştır. 600°C ısıl işlem uygulanmış çamur ile yapılan deneylerde çamurdan arsenik bileşiklerinin salınması nedeniyle giriş değerlerinden daha yüksek arsenik miktarı ölçülmüştür. Yüksek sıcaklıklarda gözlenen bu durum literatürde Mg/Al tabakalı hidroksitin adsorban olarak kullanıldığı başka bir çalışmada da raporlanmıştır [18]. Farklı sıcaklıklarda ısıl işlem uygulanmış çamurlar ile yapılan kesikli deneylerde en yüksek arsenik giderimi ham çamur ve 200°C'de işlem görmüş çamurlar ile elde edilmiştir. Ham çamur kullanıldığında malzemenin stabilitesi daha düşük olduğundan ve çözünme riski nedeniyle kesikli çalışmalar 200°C ısıl işlem görmüş malzeme ile (DWTS-200) sürdürülmüştür.

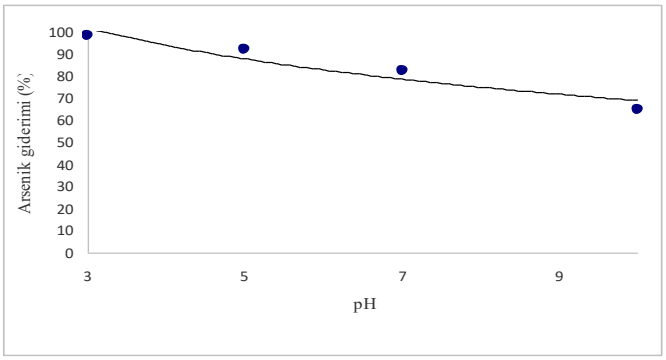


Şekil 2. Farklı sıcaklıklarda işlem görmüş arıtma çamurların arsenik giderim verimi

3.2. Kesikli Adsorpsiyon Çalışmaları

3.2.1. pH Etkisi

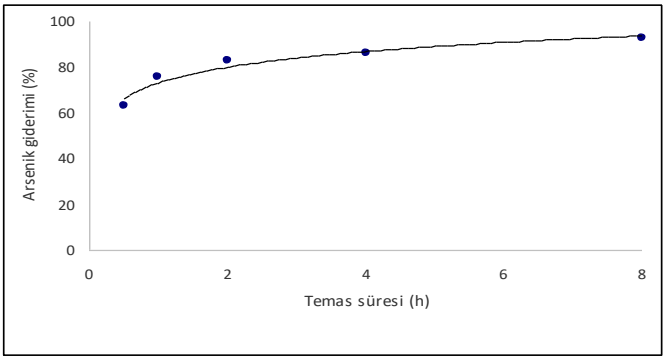
pH'ın etkisini belirlemek için arsenik konsantrasyonu, adsorban dozu, alıkonma süresi gibi değişkenler sabit tutulmuş, pH değeri 3-10 aralığında değişmiştir. Deneyler 50 ml numunelerle gerçekleştirilmiştir. Arsenik konsantrasyonu 50 µg/L olan çözelti hazırlanmış, 1g/L adsorban ilave edilmiş, 3 saat süresince 150 rpm'de çalkalanmıştır. 3 saat sonunda karıştırma durdurulmuş, 0,45 µm filtreden süzülmüş ve çıkış arsenik konsantrasyonu ICP ile ölçülmüştür. Sonuçlar Şekil 3'te grafik ile gösterilmiş ve asidik koşullarda (pH 3-5) arsenik giderimi daha verimli bulunmuştur. pH 3'de maksimum arıtım verimi ~%98 olarak elde edilmiştir. Arıtım verimi pH 5'de %92, pH 7'de 83 ve pH 10'da %65 mertebesine düşmüştür.



Şekil 3. Arsenik giderimine pH etkisi

3.2.2.Temas Süresinin Etkisi

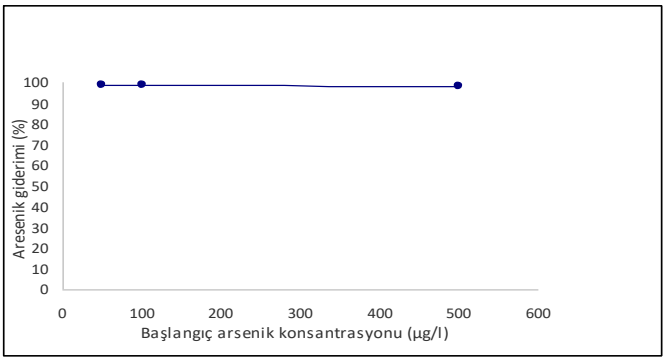
Temas süresinin etkisini ortaya koymak için pH, adsorban dozu, arsenik konsantrasyonu sabit tutulmuş, temas süresi 30 dakika ile 8saat aralığında değiştirilmiştir. Numunelerin pH'ı ayarlandıktan sonra adsorban eklenmiş, 150 rpm'de karışım uygulanmış, 30, 60, 120, 240 ve 480 dakika periyotlarda numuneler alınmıştır. Belirlenen süre sonunda karışım durdurulmuş, numuneler 0,45 µm filtreden süzülmüş ve arsenik konsantrasyonu ölçülmüştür. Sonuçlar Şekil 4'te grafik ile gösterilmiştir. DWTS-200 için 30 dakika içinde %65 arsenik giderimi gerçekleşmiş, 2 saat sonunda giderim verimi %83'e yükselmiştir. 2 saatten sonra arsenik alımı daha yavaş gerçekleşmiş ve 8 saat sonunda %93 mertebesine erişmiştir. Arıtma verimi 3 veya 4 saatten sonra anlamlı bir değişim göstermediği için optimum temas süresi 3 saat olarak seçilmiştir.



Şekil 4. Arsenik giderimine temas süresinin etkisi

3.2.3. Başlangıç Kirletici Konsantrasyonunun Etkisi

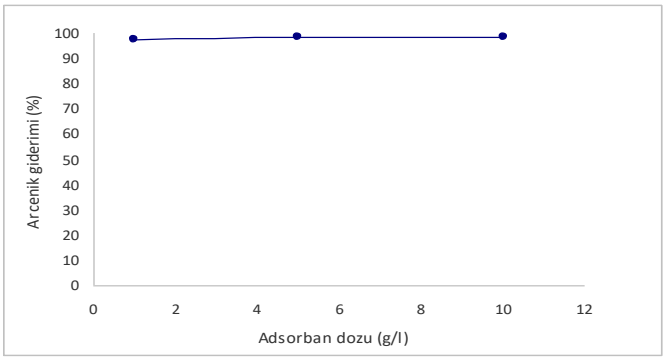
Arsenik konsantrasyonunun verime etkisini belirlemek için 50-500 µg/L arasında değişen konsantrasyonlarda çözelti hazırlanmıştır. pH 3 olarak ayarlanmış, adsorban dozu 1 g/L olarak ilave edilmiştir. 150 rpm'de 3 saat sonunda numuneler alınmış, 0,45 µm filtreden süzülmüş ve arsenik konsantrasyonu ölçülmüştür. Sonuçlar Şekil 5'de grafik ile gösterilmiştir. Artan arsenik konsantrasyonları arsenik giderim veriminde önemli bir değişikliğe neden olmamıştır. DWTS-200 için maksimum arsenik adsorpsiyonu %98-99 (44 ve 94 µg/L konsantrasyonunda) elde edilmiştir. Yüksek arsenik konsantrasyonlarında verimin önemli bir azalma göstermemiş olması kullanılan malzemelerin adsorpsiyon kapasitelerinin yüksek olduğunu göstermektedir.



Şekil 5. Arsenik giderimine başlangıç arsenik konsantrasyonunun etkisi

3.2.4. Adsorban Dozunun Etkisi

Adsorban dozu dışında diğer parametreler sabit tutulmuş, deneyler 1-10 g/L değişen adsorban dozlarında yürütülmüştür. Çalışma, pH 3 ve 50 µg/L arsenik içeren çözelti ile gerçekleştirilmiştir. 150 rpm karışım ve 3 saat sonunda numuneler alınmış, 0,45 µm filtreden süzülmüş ve arsenik konsantrasyonu ölçülmüştür. Şekil 6'dan görüldüğü gibi arıtım verimi 10 g/L'de ~%99 değerine ulaşmıştır. 50 µg/L başlangıç konsantrasyonunda istenen arsenik seviyelerini elde etmek için 1 g/L adsorban dozunun yeterli olduğu görülmüştür.



Şekil 6. Arsenik giderimine adsorban dozunun etkisi

3.2.5. Yer altı Suyunda Var Olan İyonların Adsorpsiyona Etkisi

Suda arsenik dışında bulunabilen iyonların arsenik adsorpsiyonuna etkisi olup olmadığına yönelik fikir sahibi olmak amacıyla kuyudan alınan yer altı suyu numunesi kullanılmıştır. Tablo 1'de kuyudan alınan hamsu numunesinde ölçülen anyon ve katyonların konsantrasyonları görülmektedir. Tablo 12den görüleceği üzere hamsu yüksek konsantrasyonlarda demir, mangan ve antimon içermektedir. Arsenik konsantrasyonu yönetmeliklerde belirtilen sınır değerlere yakındır. Yarışan iyonların etkisini görmek için tasarlanan çalışmada daha önce yapılan kesikli deneylerde belirlenen optimum şartlar kullanılmıştır. Adsorpsiyon prosesi öncesi ve sonrası sudaki iyonların konsantrasyonları ölçülmüştür (Bakınız Tablo 1). Isıl işlem uygulanmış çamur ile adsorpsiyon sonrasında %94 demir, %91 arsenik ve %63 antimon giderimi elde edilmiştir. Arsenik arıtma verimi aynı konsantrasyonda arsenik içeren sentetik su ile elde edilen değerlerden daha düşük gerçekleşmiştir. Sonuçlar genel olarak suda mevcut katyonların arsenik giderimini olumsuz etkilediğini göstermekle birlikte daha detaylı çalışmaların yapılmasında yarar olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, adsorpsiyon sonrasında sudaki mangan konsantrasyonunda artış tespit edilmiştir. Çamurun içinde bulunan mangan iyonlarının adsorpsiyon sonrasında suya salındığı düşünülmektedir.

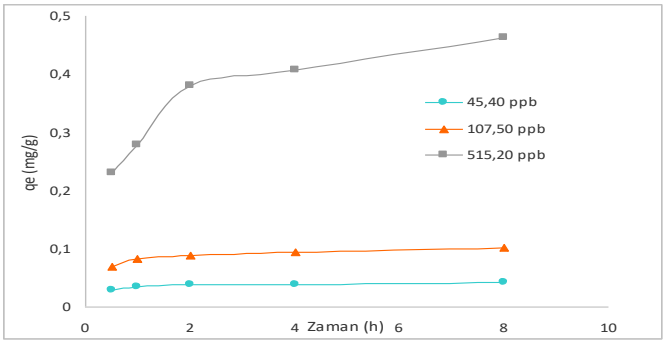
Tablo 1. Adsorpsiyon Öncesi ve Sonrasında Yeraltı Suyunda Mevcut İyonların Etkisi

Ölçülen Parametre	Yeraltı suyu	DWTS-200 ile arıtım sonrası
Fe (µg/L)	300,29	15,36
Mn (µg/L)	269,16	380,14
PO4 (mg/L)	<0,4	n.a
TOC (mg/L)	0	0,89
As (µg/L)	9,21	0,79
Sb (µg/L)	56,76	21,23

3.3. Adsorpsiyon kapasitesinin belirlenmesi

3.3.1 Kinetik Çalışmalar

Adsorban tarafından çözeltiden arseniğin giderim hızı adsorpsiyon prosesi için önemli bir konudur. Kinetik analizle farklı alıkonma zamanlarında arsenik alım hızı hesaplanarak adsorpsiyon sisteminin tasarımda kullanılabilir. Bu nedenle DWTS-200 1 g/L adsorban dozunda kinetik testler gerçekleştirilmiştir. Kinetik çalışmalar 150 rpm karıştırma hızında 8 saatlik periyotlarda 45-515 µg/L arasındaki başlangıç konsantrasyonlarında gerçekleştirilmiştir. Numuneler 30, 60, 120, 240 ve 480 dakikalık zaman aralıklarında alınmış, arsenik ölçümleri yapılmış ve adsorpsiyon kapasitesi hesaplanmıştır. Arsenik adsorpsiyonu için kinetik veriler Şekil 7'de gösterilmiştir. Denge durumunda birim DWTS-200 ağırlığından adsorplanan arsenik miktarı (qe), zamana (t) karşı grafiğe geçirilmiş ve kinetik sonuçları Şekil 7'de grafik gösterimle sunulmuştur.



Şekil 7. DWTS-200 için arseniğin adsorpsiyon kinetikleri

Şekil 7'den görüldüğü üzere, DWTS-200'ün adsorpsiyon kapasitesi başlangıç arsenik konsantrasyonunun artması ile artmaktadır. Yaklaşık 45 µg/L arsenik konsantrasyonunda 8 saat temas süresi sonunda adsorplama kapasitesi 0,0421 mg/g olarak hesaplanmıştır. Giriş konsantrasyonu yaklaşık iki kat arttığında (107µg/L) adsorpsiyon kapasitesi de artmış ve 0,1021 mg/g olarak belirlenmiştir. Giriş arsenik konsantrasyonunun 10 kat artması (515 µg/L) durumunda ise qe 0,4636 mg/g olarak hesaplanmıştır.

DWTS-200'ün arsenik adsorpsiyon mekanizmasını veya hızını belirlemek için elde edilen veriler kinetik modellere (birinci derece, yalancı birinci derece, ikinci derece, yalancı ikinci derece reaksiyon modelleri) uygulanmıştır. Reaksiyon kinetik modelleri eşitlikleri ve R^2 değerleri Tablo 2'de sunulmuştur. En yüksek R^2 değeri (>0,998) yalancı ikinci derece reaksiyon eşitliği için hesaplanmış olup adsorpsiyon prosesinin diğer kinetik modellere gore yalancı ikinci derece kinetiğe uygunluk gösterdiği görülmüştür. Sınırlı adsorpsiyon alanlarından dolayı başlangıç arsenik konsantrasyonu arttıkça adsorpsiyon hızının azaldığı saptanmıştır. DWTS-200 için yalancı ikinci derece reaksiyon hız sabiti (k) 45, 107, 515 µg/L arsenik konsantrasyonları için sırasıyla 78,125 g/mg.dak, 28,465 g/mg.dak ve 2,843 g/mg.dak olarak hesaplanmıştır (Tablo 3).

Tablo 2. DWTS-200 için Kinetik Eşitlikler

Reaksiyon kinetiği	**Başlangıç konsantrasyon (µg/L)**	**Reaksiyon eşitliği**	**R^2**
Birinci derece	45,40	lnCt=-0,2572t+3,0161	0,7398
	107,50	lnCt=-0,3044t+3,9136	0,8217
	515,2	lnCt=-0,2527t+5,7999	0,879
Yalancı-birinci derece	45,40	ln (qe-qt)= -1,5697t-3,544	0,9565
	107,50	ln (qe-qt)= -1,2627t-2,7564	0,8909
	515,2	ln (qe-qt)= -1,3211t-0,92	0,9846
İkinci derece	45,40	1/Ct=0,0021t+0,0022	0,9852
	107,50	1/Ct=0,0208t+0,0109	0,9794
	515,2	1/Ct=0,0324t+0,0434	0,9738
Yalancı-ikinci derece	45,40	t/qt= 23,078t+6,8474	**0,9993**
	107,50	t/qt= 9,481t+3,1563	**0,9991**
	515,2	t/qt= 2,0017t+1,4096	**0,998**

Tablo .3 DWTS-200 için Yalancı İkinci Derece Reaksiyon Hız Sabitleri

Adsorban	**Başlangıç konsantrasyon**	**Reaksiyon eşitliği**	**qe (mg/g)**	**k (g/mg.min)**
DWTS-200	45.40	t/qt= 23,078t+6,8474	0,0433	78,125

	107.50	t/qt= 9,481t+3,1563	0,1055	28,465
	515,2	t/qt= 2,0017t+1,4096	0,4996	2,843

3.3.2 İzoterm Çalışmaları

Denge durumunda birim adsorban ağırlığından adsorplanan kirletici miktarı adsorpsiyon izotermleri ile tanımlanmaktadır. Adsorpsiyon izotermlerini matematiksel olarak ifade eden farklı modeller kullanılmaktadır. Bu çalışmada elde edilen deneysel sonuçlar Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm eşitliklerine uygulanmıştır. 1-10 g/L adsorban konsantrasyonlarında 150 rpm karıştırma hızında 3 saatlik alıkonma süresinde izoterm çalışmaları gerçekleştirilmiş ve DWTS-200 için adsorpsiyon kapasitesi belirlenmiştir. İzoterm sabitleri Tablo 4'te sunulmuştur.

Tablo 4. DWTS-200 için Langmuir, Freundlich ve Temkin İzoterm Sabitleri

Adsorban	Adsorban dozu (g/L)	Langmuir			Freundlich			Temkin		
		qmax (mg/g)	b (L/mg)	R^2	1/n	kf (mg/g)	R^2	A_T (L/g)	bt (kJ/mol)	R^2
DWTS-200	1	13,089	3,84	0,955	0,648	6,527	**0,98**	0,02	0,21	0,658
	5	0,205	65,8	0,904	0,841	9,119	**0,97**	0,29	0,395	0,681
	10	0,071	120,48	0,837	1,01	21,32	**0,97**	0,507	0,637	0,656

Sonuçlar DWTS-200'ün 1, 5 ve 10 g/L dozlarında oldukça yüksek R^2 değerleri (0.97 - 0.98) ile Freundlich modeline daha iyi uyum sağladığını göstermiştir. Freundlich modeliyle belirlenen maksimum adsorpsiyon kapasitesi 21,32 mg/g olarak hesaplanmıştır (Tablo 4). DWTS-200 için hesaplanan adsorpsiyon kapasitesi literatürdeki birçok demir bazlı veya modifiye adsorbana göre (demiroksit kaplı taş 0,36 mg/g [3], demiroksit kaplı kum 0,142 mg/g [19], demiroksit kaplı sepiyolit 0,0501 mg/g [19], demiroksit kaplı perlit 0,39 mg/g [20]) daha yüksek çıkmıştır.

4. TARTIŞMA

Çalışma kapsamında içme suyu arıtma tesisi çamurundan geliştirilen adsorbanın (DWTS-200) arsenik giderim performansı araştırılmıştır. Kesikli adsorpsiyon deneyleri ile pH, temas süresi, başlangıç arsenik konsantrasyonu, adsorban dozu ve yarışan iyonların etkisi gibi parametrelerin etkisi incelenmiştir. Adsorpsiyon kapasitesi ve adsorpsiyon hızının belirlenmesi amacıyla kinetik ve izoterm çalışmaları yapılmıştır.

Yapılan kesikli deneyler sonucunda arsenik arıtımı için optimum pH 3 olarak elde edilmiş olup %98'in üzerinde arıtma verimi gerçekleşmiştir. Optimum temas süresi 3 saat, adsorban dozu 1 g/L elde edilmiştir. Yarışan iyonların etkisi arsenik, antimon, demir ve mangan içeren yeraltı su numunesiyle yapılan deneyler ile belirlenmeye çalışılmıştır. Bu koşullarda %91,5 arsenik giderim verimi elde edilmiştir. Arseniğin yanında demir ve antimon gideriminin de etkili bir şekilde gerçekleştiği saptanmış ve sentetik su numunesiyle yapılan deneylerle kıyaslandığında yeraltı suyunda bulunan iyon ve anyonların arsenik arıtma verimini olumsuz yönde etkilediği görülmüştür.

Adsorpsiyon mekanizmasını en iyi tanımlayan izoterm Freundlich izotermi olarak belirlenmiş, DWTS-200 için adsorpsiyon kapasitesi 6,527 mg/g olarak hesaplanmıştır. Adsorpsiyon hızının yalancı ikinci derece reaksiyon kinetiğine uyum sağladığı gözlenmiştir.

Deneysel sonuçlar DWTS-200'ün sudan arsenik gidermede WHO ve TS 266 sınır değerlerini sağlayabilen yüksek performanslı ve ekonomik bir malzeme olduğunu göstermiştir. DWTS-200'ün içme suyu arıtma tesislerinden elde edilen ve atık olarak bertarafı gereken bir malzemeden üretilmiş olması malzemeye çevresel olarak farklı bir boyut getirmektedir. Ayrıca, yüksek adsoplama kapasitesi DWTS-200'ün yurt dışından ithal edilen, yüksek maliyetli ticari adsorbanlarla yarıştığını ortaya koymakta, özellikle kuyu başı arıtma sistemleri için alternatif olabileceğini göstermektedir.

KAYNAKÇA

[1]. W.R. Chen, R. Parette, J. Zou, F.S. Cannon, and B.A. Dempsey, "Arsenic removal by iron-modified activated carbon," Water Research, vol. 41, pp. 1851-1858, 2007.

[2]. T.V. Nguyen, S. Vigneswaran, H.H. Ngo, J. Kandasamy, "Arsenic removal by iron oxide coated sponge: Experimental performance and mathematical models, " Journal of Hazardous Materials, vol. 182, pp. 723-729, 2010.

[3]. S.K. Maji, Y.H. Kao, C.W. Liu, "Arsenic removal from real arsenic-bearing groundwater by adsorption on iron oxide coated natural rock," Desalination, vol. 280, pp. 72-79, 2011.

[4]. I. Rahman, Z. Begum, H. Sawai, T. Maki, and H. Hasegawa, "Decontamination of spent iron-oxide coated sand from filters used in arsenic removal, " Chemosphere, vol. 92, pp. 196-200, 2013.

[5]. V.S. Mehta and S.K. Chaudhari, "Arsenic removal from simulated groundwater using household filter columns containing iron filings and sand, " Journal of Water Process Engineering, vol. 6, pp. 151-157, 2015.

[6]. I. Pio, A. Scarlino, E. Bloise, G. Mele, O. Santoro, T. Pastore, and D. Santoro, "Efficient removal of low arsenic concentreations from drinking water by combined coagulation and adsorbtion processes," Separation and Purification Technology, vol. 147, pp. 284-291, 2015.

[7]. T. Mishra and D.K. Mahato, "A comparative study on enhaced arsenic(V) and arsenic (III) removal by iron oxide and manganese oxide pillared clays from ground water, " Journal of Environ. Engineering, vol. 4, pp.1224-1230, 2016.

[8]. P.M. Nekhungui, N.T. Tavengwa, and H. Tutu, "Investigation of As(V) removal from acid mine drainage by iron (hydr) oxide modified zeolite, " Journal of Environ. Management, vol. 197, pp. 550-558, 2017.

[9]. M.K. Gibbons and G.A. Gagnon, "Adsorbtion of arsenic from a Nova Scotia groundwater onto water treatment residual solids," Water Resource, vol. 44, pp. 5740-5749, 2010.

[10]. A.G. Caporale, P. Punamiya, M. Pigna, A. Violante, D. Sarkar, "Effect of particle size of drinking water treatment residuals on the sorption of arsenic in the presence of competing ions, " Journal of Hazardous Materials, vol. 260, pp. 644-651, 2013.

[11]. L.S. Yadav, B.K. Mishra, A. Kumar, K.K. Paul, "Arsenic removal using bagasse fly ash-iron coated and sponge iron char," Journal of Environmental Chemical Engineering, vol. 2, pp. 1467-1473, 2014. https://doi.org/10.1016/j.jece.2014.06.019

[12]. D. Ocinski, I.J. Sobala, P. Mazur, J. Raczyk, E.K. Balawajder, "Water treatment residuals containing iron and manganese oxides for arsenic removal from water-characterization of physicochemical properties and adsorption studies," Chemical Engineering Journal, vol. 294, pp. 210-221, 2016.

[13]. K.W. Jung, M.J. Hwang, D.S. Park, K.H. Ahn, "Comprehensive reuse of drinking water treatment residuals in coagulation and adsorption processes, " Journal of Environmental Management, vol. 181, pp. 425-434, 2016.

[14]. D. Mohan, C.U. Pittman Jr., "Arsenic removal from water/wastewater using adsorbents—A critical review," Journal of Hazardous Materials, *vol. 142, pp. 1–53,* 2007. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.01.006.

[15]. C. Wang, Y. Wu, L. Bai, Y. Zhao, Z. Yan, H. Jiang, and X. Liu, "Recycling of drinking water treatment residue as an additional medium in columns for effective P removal from eutrophic surface water, " Journal of Environmental Management, vol. 217, pp. 363-372, 2018.

[16]. C. Wang, H. Jiang, N. Yuan, Y. Pei, Z. Yan, "Tuning the adsorptive properties of drinking water treatment residue via oxygen-limited heat treatment for environmental recycle, " Chemical Engineering Journal, vol. 284, pp. 571-581, 2016.

[17]. F. Li, X. Cao, I. Zhao, J. Wang, Z. Ding, "Effects of mineral additives on biochar formation: carbon retention, stability and properties, " Environmental Science Technology, vol. 48, pp. 11211-11217, 2014.

[18]. S.H. Lee, M. Tanaka, Y. Takahashi, K.W. Kim, "Enhanced adsorption of arsenate and antimonate by calcined Mg/Al layered double hydroxide: Investigation of comparative adsorption mechanism by surface characterization," Chemospher, vol. 211, pp. 903-911, 2018.

[19]. S. Arıkan, "Investigation of arsenic adsorption performance of the modified natural materials," Thesis of Degree of Doctor, Graduate School of Natural and Applied Sciences of Dokuz Eylül University, İzmir, 14p, 2016.

[20]. M.G. Mostafa, Y.H. Chen, J.S. Jean, C.C. Liu, Y.C. Lee, " Kinetics and mechanism of arsenate removal by nanosized iron-oxide coated perlite, " Journal of Hazardous Materials, vol. 187 (1-3), pp. 89-95, 2011.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Dokuz Eylül Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Proje Programı (Proje No: BAP 2018.KB.FEN.036) tarafından desteklenmiştir.

ARITMA ÇAMURUNUN TERMAL KURUTMA ÖNCESİ YAPIŞKANLIK YAPISININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Emine Çokgör[1], Güçlü Insel[1], Didem Güven[2], Gülsüm Emel Zengin[1], Didem Okutman-Taş[1], Gökşin Özyıldız[1], Ece Sağır Kurt[3], Ezgi Atlı[3]

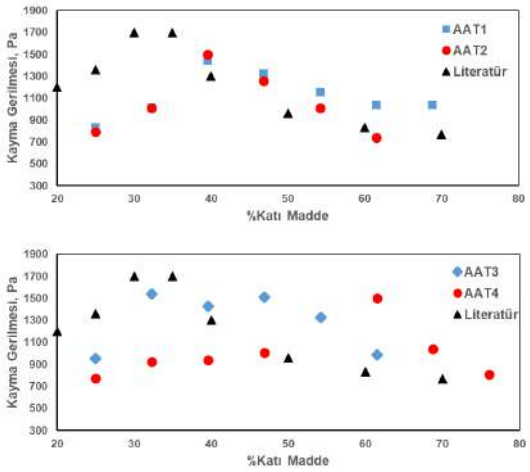
[1]*İstanbul Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 34469, Sarıyer/İstanbul ubay@itu.edu.tr*

[2]*Istanbul Teknik Universitesi, NOVA TTO, 34469, Istanbul.*

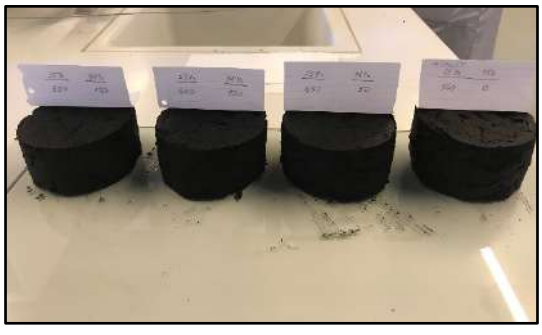
[3]*Istanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi, Strateji Geliştirme Dairesi, 34403, Kağıthane, İstanbul.*

Özet

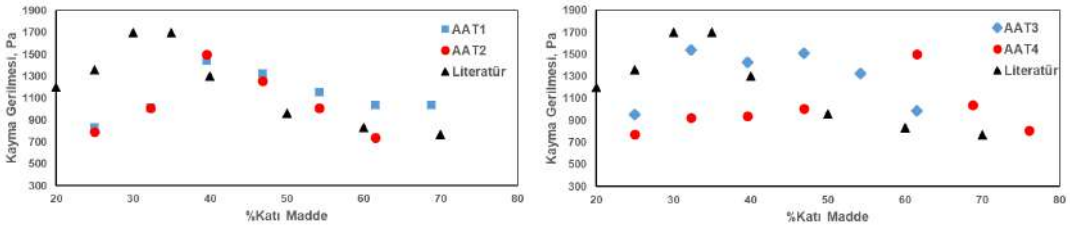
Arıtma çamurunun kurutma prosesleri sırasındaki yapışkan davranışı, çamurun pratikte başarılı bir şekilde kurutulması için kritik bir öneme sahiptir. Çamurun yapışkan yapısı konusunda çok fazla çalışma bulunmamakta, literatürdeki mevcut çalışmaların çoğunun susuzlaştırma ve kurutma teknolojileri üzerine olduğu görülmektedir. Susuzlaştırılmış çamurun yapışkan özelliği çamur kurutma ve yakma proseslerinde çeşitli sorunlara yol açmaktadır. Susuzlaştırılmış aktif çamur numunesinde kurutma veya yakma prosesinde çamurun mekanik ekipmana yapışmayacak katı madde içeriğinin ve çamurun çekme dayanımının (kayma dayanımı) belirlenmesi gereklidir. Kurutma prosesinin seçimi ve tasarlanmasında önem taşımaktadır. Bu çalışmada 4 farklı kentsel atıksu arıtma tesisinin kurutulmuş çamurlarının yapışkan özelliği çekme dayanımı deneyleri ile değerlendirilmiş ve çamurun "yapışkanlığı" ile ilgili işletme sorunlarının üstesinden gelmek için uygulanan stratejiler tartışılmıştır. Çamurların farklı katı madde içeriklerindeki çekme dayanımları **Şekil** 'de verilen bir düzenekle İTÜ Çevre Mühendisliği Bölümü Çevre Biyoteknoloji Laboratuvarı'nda ölçülmüştür. Dört farklı kentsel atıksu arıtma tesisi susuzlaştırılmış çamur (%25) belirli oranlarda kuru çamur (%98) numunesi ile karıştırılarak çekme dayanımları dijital ağırlık ölçme düzeneği ile ölçülmüştür. Kuru maddenin artması ile çamurun yapışkan fazda çekme dayanımının maksimum olması beklenmektedir. Belirli bir %KM seviyesinden sonra çamurun adhezyonu azalarak çekme dayanımı düşüş eğilimi göstermektedir. Bu durumda çamur kurutucu ekipmanlara yapışma riskini azaltacaktır. Çekme dayanımı sonuçlarını gösteren



Şekil incelendiğinde en uzun yapışkan fazın AAT3 çamuruna ait olduğu görülmektedir. Çekme gerilmesinin azaldığı katı madde içeriği %55-60 seviyesindedir. AAT4 çamuru çekme dayanımı daha düşük değerde olup bu durum muhtemelen çamurun inorganik içeriğinin daha fazla olmasından kaynaklanmaktadır. AAT2'a ait çamur, kayma gerilmesinin en düşük ölçüldüğü çamur olmuştur. AATler için ölçülen kayma gerilmeleri EPS ölçümleri ile korelasyon göstermiştir.



Şekil 1. Çamur Çekme Dayanımı Ölçümü için Deney Düzeneği



Şekil 2. Çamur Çekme Dayanımı Ölçümleri ve Literatür ile Karşılaştırılması

Keywords: Atıksu arıtma tesisi, Arıtma çamuru, Yapışkanlık, Termal kurutma, Çekme dayanımı

ELEKTRİKLİ VE ELEKTRONİK ATIKLARDAN DEĞERLİ METALLERİN GERİ KAZANIMININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Melisa Nur Şener[1,*], Mehmet Sinan Bilgili[2,*],

[1] Çevre Mühendisliği Bölümü, İnşaat Fakültesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, 34220 Davutpaşa, Esenler, İstanbul, Türkiye

Özet

1990'lı yıllardan itibaren bilgi ve iletişim teknolojisinin hızla büyümesiyle beraber elektrikli ve elektronik ekipmana (EEE) olan talep belirgin şekilde artmıştır. Elektrik ve elektronik teknolojilerindeki yenilikler bu ürünlerin ömrünü daha da kısaltmış ve böylece elektrikli ve elektronik ekipmanlar, teknolojideki hızlı gelişmeler ile atık elektrikli ve elektronik ekipmanlar (AEEE) veya E-atık haline gelmektedir. Tüketim hızı artmakta olan atık elektrikli ve elektronik ekipmanlar, sahip oldukları organik ve inorganik bileşenlerinin zararlı yapıları sebebiyle çevre ve insan sağlığı için potansiyel tehlike oluşturmaktadır. Bununla birlikte, AEEE, ikincil bir kaynak olarak önemli miktarda değerli metal içermektedir. Altın, gümüş, bakır, paladyum vb. ekonomik değerler içeren elektrikli ve elektronik ekipmanların geri dönüşüm sistemine dahil edilmemesi durumunda ekonomik kayıplar söz konusudur. AEEE'nin geri kazanımı / geri dönüşümü, üretilen katı atık miktarının azaltılması, değerli metal kaynaklarının korunması, toksik ve zararlı bileşenlerinin neden olduğu çevre kirliliğinin azaltılması gibi pek çok ekonomik ve çevresel alanda büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, gelişmekte olan ülkeler arasında yer alan Türkiye'de henüz yeterince ilgi görmemiş konular olan AEEE yönetimi, AEEE geri kazanım / dönüşüm faaliyetlerinin incelenmesi; literatür araştırmasından yola çıkılarak AEEE'lerde bulunan değerli metallerin geri kazanım potansiyelleri ve yöntemleri üzerinden Türkiye için önerilerde bulunulması ve değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Böylece, atık elektrikli ve elektronik eşyaların geri kazanım işlemlerinin verimli ve yasal mevzuata uygun bir biçimde gerçekleştirilmesinin çevre ve insan sağlığı üzerindeki olumlu etkileri ile ekonomik kapsamda bakıldığında bir atıktan ziyade bir hammadde olduğu sunulmaktadır.

Keywords: AEEE, Geri Kazanım, Değerli Metal

DEMİR ÇELİK ÜRETİMDEN KAYNAKLANAN BACA GAZI TOZUNUN STABİLİZASYON/SOLİDİFİKASYON YÖNTEMİYLE DÜZENLİ DEPOLAMA SAHALARINDA BERTARAF EDİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Gürdal Kanat[1], Bekir Tombul[2], Merve Gözde[3]

[1]Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Bölümü, Davutpaşa – İstanbul,gkanat@gmail.com

[2]İSTAÇ İstanbul Çevre Yönetimi Sanayi Ve Ticaret A.Ş., Şişli-İstanbul,btombul@istac.istanbul

[3]İSTAÇ İstanbul Çevre Yönetimi Sanayi Ve Ticaret A.Ş., Şişli-İstanbul mgozde@istac.istanbul

Özet

Sanayileşme ve kentleşmeye paralel olarak oluşan tehlikeli atık miktarı gün geçtikçe artmaktadır. Tehlikeli atıkların insan ve çevre sağlığı üzerindeki olumsuz etkisinin her geçen gün artmasından dolayı atık yönetimi kilit bir öneme sahiptir. Atıkların çevreye kontrolsüz şekilde bırakılmadan geri kazanımı ve/veya bertarafı sağlanmalıdır. Tehlikeli atıkların bertarafında kullanılan belli başlı yöntemlerden biri de düzenli depolama yöntemidir. Düzenli depolanması gereken ancak depolama atık kabul kriterlerini karşılamayan atıklara stabilizasyon/solidifikasyon (S/S) gibi ön işlemler uygulanmaktadır. Yapılan bu çalışmada demir-çelik üretim sektöründen kaynaklanan baca gazı tozu atığının karakterizasyonu için x-ışını floresans spektrometresi (XRF) analizi, sızıntı testi ve sıralı ekstraksiyon prosedürü (SEP) yapılmıştır. Karakterizasyon sonucu yüksek konsantrasyona sahip olan ağır metallerin düzenli depolama limit değerlerini sağlaması için 4 farklı reçete hazırlanmış, böylelikle optimum bağlayıcı malzeme miktarı belirlenmiştir. Solidifiye edilen numunelere de düzenli depolama alanına kabulü için sızıntı testleri uygulanmıştır. Atık ve seçilen optimum reçeteye SEP uygulanmıştır. Elde edilen bulgular üzerinden kirlilik faktörü (Kf) ve risk değerlendirme kodu (RDK) hesaplanarak çevresel değerlendirme yapılmıştır. Bunun yansıra atığın ve belirlenen optimum reçetenin yapısı taramalı elektron mikroskobu (SEM) vasıtasıyla incelenmiştir. Seçilen reçeteye ait 7 ve 14 günlük kür sürelerinde basınç dayanımı uygulanmış ve düzenli depolamalar için belirtilen uluslararası basınç dayanım sınır değerlerine göre karşılaştırmalar yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: tehlikeli atık, baca gazı tozu, stabilizasyon/solidifikasyon, düzenli depolama, bertaraf

Abstract

Waste management is critical for the minimization of the negative effects of the dangerous hazardous wastes on human and environmental health. It is important to recycle and/or dispose of the waste before they are released to the environment in an uncontrolled manner. Landfilling is one of the methods commonly used for the disposal of hazardous waste. Pre-treatments like stabilization/solidification (S/S) are applied for the wastes that need to be landfilled but not meet waste acceptance criteria. In this study, x-ray florescence spectrometer (XRF) analysis, leaching test and sequential extraction procedure (SEP) for the metals were carried out in order to characterize the flue gas dust wastes produced in the iron-steel production sector. After the characterization, 4 different recipes were prepared in order to ensure that the heavy metals with high concentrations meet the landfilling limit values. This way, it was able to determine the optimal binding material quantity. The leaching test to the solidified samples were applied, so that they could be accepted to the landfilling area. SEP was applied to the waste and selected optimum formula. Contamination factor (Cf) and risk evaluation code (REC) were calculated using the findings and carried out an environmental assessment. In addition, an electron microscope was used to examine the structure of the waste and the determined optimum formula. Compressive strength was applied with the selected recipe for 7 and 14-day curing periods and comparisons were made with the international compressive strength threshold values set for landfilling.

Keywords: hazardous wastes, flue gas dust, stabilization/solidification, landfilling, disposal

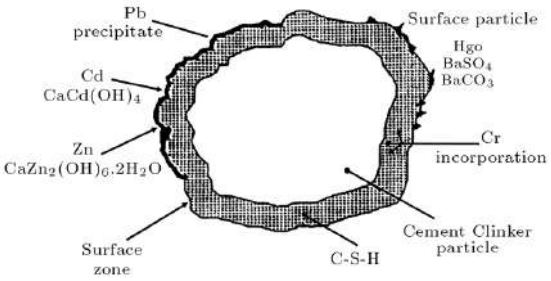
1. GİRİŞ

Sanayi sektörünün 21.yüzyılda sürekli büyümesi, hızlı nüfus artışı ve kentleşmeye bağlı olarak üretilen atık miktarı gün geçtikçe artmaktadır. Atıkların çevreye zarar vermeden arıtılması ve bertaraf edilmesi büyük bir endişe kaynağı haline gelmiştir. Atık yönetimindeki mevcut yaklaşım; kaynağında önleme, yeniden kullanım, geri dönüşüm, geri kazanım ve atığın nihai bertarafı olarak özetlenmektedir [1]. Atıklar toksisite, reaktivite, aşındırıcılık, yanıcılık gibi belirli fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre tehlikeli olarak sınıflandırılmaktadır [2,3]. Tehlikeli atıkların insan ve çevre sağlığı üzerindeki olumsuz etkisinin her geçen gün artmasından dolayı tehlikeli atık yönetimi kilit bir öneme sahip olup, uygun teknolojilerin kullanılarak atıkların çevreye dost bir

şekilde bertaraf edilmesi zorunlu bir süreç haline gelmiştir [2]. Bu sebeple tehlikeli atıklar çevreye kontrolsüz şekilde bırakılmadan geri kazanımı ve/veya bertarafı sağlanmalıdır. Tehlikeli atıkların belli başlı bertaraf yöntemleri; fiziksel ve/veya kimyasal ön işlem, arıtma, yakma ve düzenli depolamadır [3]. Düzenli depolama yöntemi, çevre mevzuatı kapsamında belirlenen atıkların özel mühendislik işlemleriyle koordinatlı alanlarda depolanması ve sonrasında sürekli kontrol altında tutulmasıdır. Düzenli depolanması gereken ancak depolama atık kabul kriterlerini karşılayamayan atıkların bir ön işlemden geçirilmesi gerekmektedir. S/S işlemi düzenli depolama öncesi tehlikeli atıkların arıtılmasında kullanılan başlıca yöntemlerden biridir [4].

S/S ön işlemi atığın belirlenen oranlarda bir bağlayıcı madde ile karıştırılmasını içermektedir [5]. Tehlikeli endüstriyel atıkların arıtılmasında kullanılan S/S işleminde genellikle toksik metaller uygun bir bağlayıcı için oluşturulan reçeteyle hareketsiz hale getirilmektedir [6]. S/S işlemi sırasında atıktaki kirleticide fiziksel veya kimyasal sabitlenme olmakta, bu da tehlikeli atıkları daha az tehlikeli veya tehlikesiz katı maddelere dönüştürmektedir [7]. Stabilizasyon, atığın tehlikeli özelliklerini azaltan kimyasal işlemdir. Tehlikeli bileşeni daha az çözünür forma ve/veya daha az toksik olan bir forma dönüştürmektedir. Solidifikasyon ise tehlikeli atıkları katkı maddeleri kullanarak katı bir forma dönüştürmektir [8].

S/S işlemi uygulanacak olan tehlikeli atıklar için farklı bağlayıcılar kullanılmaktadır [9]. S/S için yaygın olarak kullanılan bağlayıcı malzemeler arasında çimento, kireç, çimento fırını tozu, uçucu kül, kireçtaşı, cüruf, alçı ve fosfat karışımları gibi reaktif ürünler bulunmaktadır [8]. Metal iyonlarının hareketliliğini azalttığı, daha az çözünür metal hidroksit, karbonat veya silikat oluşturduğu için en sık kullanılan tavsiye edilen bağlayıcı malzeme çimentodur [8,9]. Portland Çimento (PÇ); yüksek pH ve metalleri çözünmeyen formlarda çöktürme kabiliyeti nedeniyle ağır metallerin hareketliliğini kısıtlayabildiği için S/S için en yaygın olarak kullanılan çimento türlerinden biridir (Hytiris et al. 2014). PÇ hidrasyonu portlandit (kalsiyum hidroksit), kalsiyum silikat hidrat (CSH), ettringit ($Ca_6Al_2(SO_4)_3 \cdot 26H_2O$) ve mono sülfat ($[Ca_2(Al, Fe)OH_6]_2(SO4) \cdot xH_2O$) dâhil birçok mineral fazdan oluşmaktadır. Buna ek olarak ortamda karbondioksit olduğunda kalsit ($CaCO_3$) de oluşmaktadır. Bu fazlar; çimento hidratlanmasında ve kirleticilerin hareketsizleştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Ettringit, kirletici metalleri Ca^{+2}, Al^{+3} ve $SO2^{-}$ ikamesi ile hareketsiz hale getirilebilmektedir [10]. S/S işlemi sırasında atıkta bulunan ağır metal, mineral yapıda ve fiziksel kapsüllemede iyonik forma dönüştürülebilmektedir. Buna ek olarak S/S işlemi valansta değişiklik yaparak metalin toksistitesini azaltabilmektedir. Ba, Cd, Pb ve Zn ağır metallerinin portland çimentosu hidratları ile solidifikasyonu ve stabilizasyonu Şekil 1'de gösterilmiştir [8].



Şekil 1Portland Çimentosu İle Ağır Metallerin S/S Prosesi

Standart bir hidratasyon süreçlerine ait adımlar sırasıyla karıştırma, 1-2 gün uyku (taşıma-yerleştirme), 3 gün priz başlangıcı, sertleşme ve priz sonu, 4 gün soğuma, 5 gün ve sonrası yoğunlaşma şeklinde özetlenebilir [11]. Çimento; kimyasal koşulları örneğin pH'ı arttırarak ve kirleticileri kapsülleyerek geçirgenliğiyle birlikte yeraltı sularına olabilecek potansiyel kirletici madde konsantrasyonlarını da azaltmaktadır [12]. Kül atıklarının işlenmesi, yeniden kullanımı ve bertarafı için optimum pH aralığı 5-11'olarak önerilmektedir [13].

Çimento tehlikeli atıkları istikrarlı ve dayanıklı monoliteye dönüştürebilir ve tehlikeli bileşenlerin salınmasını zorlaştırabilir. Bu sebeple çimento bazlı S/S arıtımı ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA) tarafından Kaynak Muhafaza ve Kurtarma Yasası (RCRA) listesindeki 57 adet farklı tehlikeli atık için mevcut en iyi kanıtlanmış teknoloji olarak tanımlanmıştır [7]. Fransa'da S/S teknolojisi çoğunlukla atık depolama alanında bertaraf edilen sanayi kaynaklı atıklarıyla ilgili olup, depolanacak atıkların tek arıtım yöntemidir. İngiltere'de ise S/S teknolojisi sanayi atıkları ve kontamine olmuş deniz dibi taramasından çıkan toprağı arıtmak için kullanılmaktadır. Asya kıtasında ise Japonya Geoteknik Topluluğu, S/S teknolojisini 21.yüzyılın kilit ve

öncelikli araştırma konusu olarak seçmiştir [14]. Türkiye'de ise tehlikeli atıkların güvenli bertarafında umut verici bir teknoloji olarak kabul edilmiştir [15].

Katı atıkların depolanarak bertaraf edilmesinden yeraltı ve yüzey suları çevresel olarak olumsuz etkilenebilmektedir. Bu sebeple sızıntı testleri düzenli depolamaya ait yasal limitlerin değerlendirilmesinde önemli bir role sahiptir [16]. Sızıntı testleri işlem görmüş atıkların sulu çözeltilerle temas ettiklerinde kimyasal stabilitelerini incelemek için kullanılmaktadır [15]. Genel olarak sızıntı testleri; (a) belirli bir çevresel senaryo altında (sentetik asit yağmur sızıntı testi veya toksisite karakteristik sızıntı testi (TCLP)) kirletici salımını simüle etmek için tasarlanmış testler, (b) sıralı kimyasal ekstraksiyon testleri veya (c) temel sızıntı parametrelerini değerlendiren testler olarak sınıflandırılmaktadır [17]. Testler kirleticilerin hareketsizleşme derecelerini ve arıtılmış atığın potansiyel çevresel etkilerini göstermektedir [15].

Herhangi matriste bulunan ağır metallerin çevresel değerlendirmesi kirlilik faktörü ve risk değerlendirme kodu üzerinden yapılmaktadır. Ağır metal kirlilik faktörü, çevreye yönelik ağır metal riskinin derecesinin belirlenmesinde önemli bir unsurdur. Yüksek kirlilik faktörü çevre için risk göstergesidir [18]. RDK, bir matristen ağır metallerin sızmasının potansiyel çevresel riskini değerlendirmek için kullanılan yöntemlerden biridir. Sıralı ekstraksiyon prosedürünü kullanarak ağır metallerin kimyasal özelliklerine göre risk seviyeleri sınıflandırılmaktadır [19].

Basınç dayanımı solidifiye edilmiş ve edilmemiş atıklar arasında temel bir karşılaştırma sağlamaktadır. EPA S/S materyali için 0,35 MPa'lık basınç dayanımını yeterli olarak değerlendirmektedir. Bu asgari standart, bir depolama alanına yerleştirilen atıklar için istikrarlı bir temel sağladığı için önerilmektedir. İngiltere'de ise 28 günlük basınç dayanımı 0,70 MPa 'dır ancak numuneye bağlı olarak bu değer 0,35 MPa kadar kabul edilmektedir [9,20]. Hollanda ve Fransa gibi Avrupa ülkelerinde depolama limiti 1,00 MPa olarak önerilmiştir [10].

Diğer taraftan, S/S işleminde oluşan mikro bağların analizi için SEM vasıtasıyla elde edilen görüntüler kullanılmaktadır [16]. SEM görüntüsü yüksek voltaj ile hızlandırılmış elektronların numune üzerine odaklanması, bu elektron demetinin numune yüzeyinde taratılması, taratma sırasında elektron ve numune atomları arasında oluşan girişimler sonucunda meydana gelen etkilerin uygun algılayıcılarda toplanması, bu bilgilerin sinyal güçlendiricilerinden geçirildikten sonra bir katot ışınları tüpünün ekranına aktarılmasıyla elde edilmektedir [21].

S/S işleminin maliyeti işlenen atığın ve kullanılan bağlayıcı malzemenin türüne göre farklılık göstermektedir. Atık yönetiminde S/S işlemindeki atık miktarının arttırılması ve bağlayıcı malzemenin optimumda tutularak yüksek verim elde edilmesi hedeflenmektedir. Bu hedef doğrultusunda farklı sektörlerden kaynaklanan atıklar ve bağlayıcı malzemeler içeren reçete çalışmaları yapılmıştır. Rozumova et al. [1] tarafından bir çalışmada tehlikeli atık yakma tesisinden kaynaklanan cürufun stabilizasyonu için farklı yüzdelerde çimento içeren reçeteler hazırlanmıştır. Çalışmanın sonunda atıktaki zararlı metallere ve bileşiklere ait konsantrasyonların azaldığı görülmüştür. Anastasiadou et al. [16] tarafından yapılan başka bir çalışmada ise atık olarak hastane kaynaklı atıkların termal bertarafından kaynaklanan ve yüksek ağır metal konsantrasyonu içeren baca gazı tozu ve cüruf, bağlayıcı olarak da PÇ kullanılmıştır. Çalışma sonunda solidifiye edilmiş atıkların depolama kriterlerini karşıladığı görülmüştür. Ağır metal kirliliği içeren ve ön işlem görmesi gereken atık kaynaklarının biri de demir çelik üretiminden kaynaklanan baca gazı tozu atıklarıdır. Demir-çelik (demir kütük) üretimi; hurda demir çeliğin elektrik ark ocaklı tesislerde yüksek sıcaklıklarda ergitilmesi ile başlayıp sırasıyla pota işlemi, sürekli döküm işlemi, tav fırını işlemi ve haddehane işlemi ile son bulmaktadır. Üretim esnasında baca gazı tozu, cüruf vb. katı atıklar oluşmaktadır. Oluşan atıklar, içeriğine göre lisanslı metal geri kazanım tesislerine ve/veya lisanslı atık bertaraf tesislerine gönderilmektedir [22]. Geri kazanımın fizibıl olmadığı durumlarda ilgili atık türünün çevreye risk oluşturmadan uygun yöntemlerle bertaraf edilmesi gerekmektedir. Yapılan bu çalışmada demir çelik üretim sektöründen kaynaklanan baca gazı tozundaki yüksek ağır metal parametrelerinin tespit edilmesi, SEP ile metal fazlarının belirlenmesi ve metallerin Türk Çevre mevzuatında yer alan düzenli depolama atık kabul sınırlarına indirgenmesi için gerekli optimum bağlayıcı malzeme (çimento) miktarının belirlenmesi ve solidifiye edilmiş atıkta düzenli depolama için gerekli olan minimum basınç dayanımının karşılanması amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyaller

Çalışmada atık olarak demir çelik üretiminden kaynaklanan ve çoklu ağır metal kirliliği içeren baca gazı tozu (BGT) kullanılmıştır. Numune alımı, TS 12090 Katı Atıklardan Numune Alma Prosedürüne [23] göre gerçekleştirilmiştir. Çalışmada bağlayıcı malzeme olarak CEM 1 42,5 R-SR5 sülfata dayanıklı PÇ kullanmıştır.

2.2. X-Işını Floresans Spektrometresi ile Kimyasal Kompozisyon Belirleme

Atomlar, X ışınları tarafından uyarıldığında belirli enerjilerde (keV) floresan ışı yaymaktadır. Yayılan X ışınları atomun karakteristiğidir ve elementin niteliksel bir tanımlamasını sağlamaktadır [16]. XRF sistemi ile; katı haldeki (kütle veya preslenmiş toz) malzemelerin element içerikleri kalitatif, yarı kantitatif-standartsız ve tam kantitatif olarak belirlenebilmektedir [24]. Atık, çimento ve hazırlanan numunenin kimyasal kompozisyonu için Thermo Scientific ARL 9900 cihazında x-ışını floresans spektrometresi analizi yapılmıştır.

2.3. Ağır Metaller için Sızıntı Testi

Ağır metallerin sızıntısı, S/S tekniğinin etkinliğini değerlendirmede önemli bir parametredir [25]. Atık numunesine Türk Çevre Mevzuatında yer alan Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik (ADDDY) Ek-2'sinde belirtilen depolama atık kabul kriterlerini içeren sızıntı testi uygulanmıştır [26]. Eluat hazırlama işlemi TS 12457-4 [27] metoduna göre yapılmıştır. Kütlece %95'i 10 mm'den küçük tanecik boyutundaki atığın ilk önce nemi ölçülmüştür. Ölçüme göre de standartta belirtilen miktarda deiyonize su ilavesiyle eluat hazırlanmış ve 24 saat ±0.5 saat süreyle çalkalanmıştır. Katı/sıvı oranı 1/10'dur. Katı sıvı ayırması yapmak için santrifüj işlemi yapılmıştır. Santrifüjden çıkan numune önce kaba süzgeç kâğıdından ardından da 0,45µm membran filtreden süzülerek oluşan eluata pH 1-2 arasında olacak şekilde konsantre nitrit asit (HNO_3) ilave edilip analize hazır hale getirilmiştir. Atık, bağlayıcı malzeme ve reçetelere ait sızıntı numuneleri ICP-OES 720 ile analiz edilmiştir.

2.4. Karışımların (Matris) PÇ ile Hazırlanması

Çalışmada BGT, PÇ ve saf su kullanılmıştır. Çalışma esnasında farklı oranlarda BGT, PÇ ve su içeren toplam 4 adet farklı reçete hazırlanmıştır. S/S uygulamalarında çimento maliyeti önemli bir yer tutmaktadır. Bu bakımdan çimento miktarını optimize etmek için atığın bağlayıcılık özelliği de göz önünde alınarak çimento oranı azaltılmış ve en uygun reçeteyi bulmak için farklı çimento ve su oranlarıyla Tablo 1'de verilen Ç00-Ç05-Ç10-Ç12 reçeteleri hazırlanmıştır.

Tablo 1 Karışım Matrisi

Reçete Adı	BGT %	PÇ %	Su %
Ç00	60	0	40
Ç05	55	5	40
Ç10	50	10	40
Ç12	56	12	32

Her bir reçete çalışmasında homojen karışım elde edebilmek için BGT ve PÇ 1 dk. kürekle (elle) sonrasında da Elektrolux marka elektronik hız ayarı 40-240 rpm olan paslanmaz çelik karıştırma haznesine sahip mikserle 3 dk. boyunca yavaş hızda karıştırılmıştır [16]. Su ise kademeli olarak karışıma eklenmiştir. BGT-PÇ-Su karışımı homojen hale gelene kadar mikser yardımıyla 10 dk. boyunca orta hızda karıştırılmıştır [4]. Hazırlanan karışımlar 10x10x10 cm'lik küp kalıplara yerleştirilmiştir. Karışımlar için belirlenen ilk kür süresi 7 gündür. Optimum reçetenin belirlenmesinden sonra aynı reçete için 14 günlük ikinci bir kür süresi uygulanmıştır.

2.5. Sıralı Ekstraksiyon Prosedürü ile Karakterizasyon

Sıralı ekstraksiyon yöntemi ağır metallerin 4 farklı kimyasal fraksiyona ayrılması için kullanılan bir metottur. SEP metoduyla Step-1 (değiştirilebilir fraksiyon),Step-2 (kolayca indirgenebilir fraksiyon), Step-3 (oksitlenebilir fraksiyon) ve Step-4 (kalıntı fraksiyonu) elde edilmektedir.

Step 1: Yaklaşık 1 gr orijinal numune 40 ml 0,11M Asetik asit ile 16 saat karıştırılmış, sonrasında santrifüj yapılmıştır. Üst sıvı faz 0.45 µm membran filtreden süzülmüş ve değiştirilebilir fraksiyon numunesi hazırlanmıştır.

Step 2: Step 1 den gelen katı kısım (kalıntı) 40 ml 0,5 M hidroksil amonyum klorür çözeltisiyle 16 saat karıştırılmış, sonrasında santrifüj yapılmıştır. Üst sıvı faz 0.45 µm membran filtreden süzülmüş ve kolayca indirgenebilir fraksiyon numunesi hazırlanmıştır.

Step 3: Step 2 den gelen katı kısım (kalıntı) 10 ml 8.8 M hidrojen peroksit çözeltisiyle 1 saat karıştırılmış, ardından 85 ‘C su banyosunda 1 saat parçalanması için bekletilmiştir. Sonrasında 10 ml % 30 ‘luk hidrojen peroksit çözeltisiyle 85 ‘C su banyosunda 1 saat daha parçalanmasına devam edilmiş ve soğumaya bırakılmıştır.50 ml 1 M amonyum asetat ilave edilmiş 16 saat karıştırılmıştır. Ardından santrifüj yapılmış, üst sıvı faz 0.45 µm membran filtreden süzülmüş ve oksitlenebilir fraksiyon numunesi hazırlanmıştır.

Step 4: Step 3 den gelen katı kısım (kalıntı) kum banyosunda digestion karışım çözeltisiyle (2 ml nitrik asit+ 6 ml hidroklorik asit) parçalama işlemine tabi tutulmuştur. Parçalama sonrası uygun hacme tamamlanmış, 0.45 µm membran filtreden süzülmüş ve kalıntı fraksiyon numunesi hazırlanmıştır.

Total Digestion: Yaklaşık 0,5 - 1 gr katı numune digestion tüplerine konmuş, üzerine 2 ml nitrik asit + 6 ml hidroklorik asit eklenerek mikrodalga cihazında 175 'C de 20 dakika parçalama işlemi gerçekleştirilmiştir. Soğutma işleminden sonra digestion tüpündeki karışım %2 nitrik asit ile 100 ml ‘ye tamamlanmıştır. 4 stepte hazırlanan numuneler ve total digestion numunesi Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy (ICP-OES) 720, Agilent Technologies cihazında analiz edilmiştir.

2.6. Basınç Dayanımı

Çalışmadaki basınç dayanım testleri; TS EN 12390-1 [28] ve TS EN 12390-3 [29] göre yapılmıştır. Belirtilen TSE standartlarına göre işlem öncesi her bir numunenin boyutları ölçülmüş sonrasında da dayanım testi uygulanmıştır.

2.7. SEM Görüntüleme Analizi

SEM görüntüleme analizleri BGT ve Ç12 numunesindeki bağ oluşumlarını gözlemlemek için yapılmıştır. İncelenecek olan numuneler iletken numune taşıyıcısına konulmuş ve gerekli iletkenliği sağlamak için yüzeyi Quorum SC7620 cihazında altın paladyum ile kaplanmıştır. Bu işlem esnasında cihazın amper değerinin 10-20 MA (mili amper) olmasına dikkat edilmiştir. Numune daha sonra EVO LS10 model SEM cihazı ünitesine yerleştirilmiş ve görüntülemeler yapılmıştır.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

3.1. X-Işını Floresans Spektrometresi ile Kimyasal Kompozisyon Belirleme

Atık, çimento ve Ç12 numunesine ait kimyasal kompozisyon yüzdeleri Tablo 2’de belirtilmiştir. Atığın ve numunenin majör elementi MgO, PÇ’nin majör elementi CaO olarak belirlenmiştir.

Tablo 2 Atık, Çimento ve Numunenin Kimyasal Kompozisyonu

Kimyasal Kompozisyon (%)	Atık	PÇ	Ç12
SiO_2	11,72	18,90	12,47
Al_2O_3	19,83	5,15	18,67
Fe_2O_3	17,59	3,36	22,01
CaO	7,55	63,59	7,16
MgO	24,77	1,57	24,82
SO_3	2,44	2,65	1,94
Na_2O	1,08	0,40	1,04
K_2O	0,88	0,77	0,74
CI^-	3,34	0,02	0,04
Çözünmeyen Kalıntı	-	0,91	-
Na2O Eşd. Cins. Top.Alkali	-	0,31	-
Diğer	10,80	2,37	11,10

3.2. Ağır Metaller için Sızıntı Testi

Sızıntı testine göre BGT’de bulunan Ba-Cd-Pb-Zn parametrelerine ait ağır metal kirlilikleri hem 1.sınıf hem de 2.sınıf düzenli depolama yasal limitlerinin üzerinde çıkmıştır. Bağlayıcı olarak kullanılan PÇ için de sızıntı testi

yapılmıştır. PÇ'ye yapılan analizde takip edilen parametrelerin oldukça düşük konsantrasyonlarda ve yasal limitlerin içinde olduğu tespit edilmiştir. Atık ve çimentoya ait sızıntı testi sonuçları Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3 Atık ve portland çimento ağır metal sızıntı konsantrasyonları

Parametre	Atık	Çimento	Birim	2.Sınıf Sınır Değeri	1.Sınıf Sınır Değeri
Ba	17,6	0,27	mg/L	10	30
Cd	42,2	<0,003	mg/L	0,1	0,5
Pb	16,1	0,013	mg/L	1	5
Zn	1.663	0,017	mg/L	5	20
pH	6,57	11	-	-	-

BGT ve PÇ'ye yapılan sızıntı testi tüm karışım numunelerine aynı şekilde uygulanmıştır. Çalışmada izlenen Ba, Cd, Pb ve Zn parametrelerine ait analiz sonuçları Tablo 4'te verilmiştir. Ba kirlilik konsantrasyonunun hiç PÇ kullanılmayan ve şahit numune olarak izlenen Ç00 reçetesi başta olmak üzere uygulanan reçetelerde depolama limit değerlerinin altına kaldığı tespit edilmiştir. En düşük Ba konsantrasyonu 0,80 mg/lt değeriyle Ç05 numunesinde, en yüksek Ba konsantrasyonunun ise 4,06 mg/lt olarak Ç00 numunesinde ölçülmüştür. Cd ağır metal konsantrasyonu ise Ç00 numunesinde 9,94 mg/L olup, depolama limit değerlerinin oldukça üzerindedir. Cd konsantrasyonu Ç05 numunesinde 0,01 mg/L, Ç10 ve Ç12 numunelerinde ise <0,003 mg/L altında ölçülmüş ve büyük ölçüde stabilizasyonu sağlanmıştır. Pb kirlilik konsantrasyonun ise tüm numunelerde depolama limit değerlerinin altına düştüğü tespit edilmiştir. En düşük Pb konsantrasyonu 0,059 mg/L olarak Ç05 numunesinde ölçülmüştür. Zn ağır metal konsantrasyonu ise Ç00 reçetesinde 80,1 mg/L olup, depolama limit değerinin oldukça üzerinde çıkmıştır. Diğer reçetelerde sırasıyla Ç05-0,12 mg/L, Ç10-0,36 mg/L ve Ç12-0,62 mg/L şeklinde ölçülmüştür Çalışmaya ait depolama analizleri değerlendirildiğinde Ç05-Ç10-Ç12 reçeteleri ile Ba-Cd-Pb ve Zn konsantrasyonlarının depolama limitlerinin altına düştüğü görülmüştür. Çimento miktarının artmasıyla S/S işleminin daha verimli olduğu bilinmekle birlikte numune oluşturulurken kullanılan atık kirlilik yüklerindeki olası farklılıklardan dolayı numune analiz sonuçlarında aynı doğru orantı bire bir görülmemiştir. Buna rağmen çimento içeren tüm numunelerde istenilen limit değerler sağlanmıştır. Benzer şekilde Hashemi et al. [30] tarafından yüksek oranda Cd, Cu, Ni ve Pb ağır metallerini içeren kömür cürufuna çimento ile S/S uygulanmış ve saf su ile yapılan sızıntı testinde ilgili ağır metal konsantrasyonlarının azaldığı görülmüştür. Vinter et al. [6] tarafından yapılan başka bir çalışmada ise galvanizli çelik parçaların üretiminden kaynaklanan ve yüksek oranda Zn içeren uçucu külün de çimento ile stabilizasyonu sağlanmış, EN 12547-4 metoduna göre yapılan analizde Zn ağır metali indirgenmiştir. Anastasiadou et al. (2012) tarafından yapılan çalışmada ise hastane kaynaklı atıkların termal bertarafından kaynaklanan ve yüksek oranda Pb ve Zn içeren baca gazı tozu ve cürufa çimento ile S/S uygulanmış, TCLP metoduna göre yapılan analizde ağır metallerin indirgendiği tespit edilmiştir. Mevcut çalışmada da Türk Çevre Mevzuatında belirtilen depolama atık kabul kriterleri analizinden elde edilen sonuçların Hashemi et al. [30], Vinter et al. [6] ve Anastasiadou et al. [16] tarafından yapılan çalışmalarla uyumlu olduğu ve takip edilen ağır metallerin indirgendiği görülmüştür Çalışma için hazırlanan bütün matrislere ADDDY kapsamında ağır metal sızıntı testi yapılmıştır. Yapılan analiz sonuçları ve kullanılan çimento miktarı göz önüne alındığında ADDDY'e göre sahadaki atık yönetim koşulları için en optimum reçete Ç12 olarak belirlenmiştir. Atığa uygulanan sıralı ekstraksiyon prosedürü, basınç dayanımı ve SEM ile görüntüleme analizi Ç12'ye de uygulanmıştır.

Tablo 4 Katılaştırılmış numunelerin ağır metal sızıntı konsantrasyonları (mg/L)

	Ba	Cd	Pb	Zn	pH	2.Sınıf	1.Sınıf
Ç00	4,06	9,94	1,14	80,1	7,02	10	30
Ç05	0,80	0,01	0,059	0,12	10,1	0,1	0,5
Ç10	0,93	<0,003	0,12	0,36	10,8	1	5
Ç12	0,96	<0,003	0,15	0,62	11,02	5	20

3.3. Sıralı Ekstraksiyon Prosedürü ile Karakterizasyon

Metal fraksiyonlama metallerin hareketliliği ve toksisitesi için potansiyel kritik bir öneme sahiptir [31]. Yapılan çalışmada atık ve Ç12 numunesine SEP uygulanmıştır. Atığa ve Ç12 numunesine ait farklı metal fraksiyon

yüzdeleri sırasıyla Tablo 5'te sunulmuştur. Atıktaki Ba ağır metalinin merkez fraksiyonlarının Step 3 (% 29,43) ve Step 4 (%28,70) olduğu tespit edilmiştir. Pöykio et al. [19] tarafından uçucu kül ve dip külü SEP ile analiz edilmiş, dip külündeki Ba konsantrasyonunun Step 2'de en yüksek olduğu, uçucu küldeki Ba konsantrasyonunun Step 2 ve Step 3'te en yüksek değerlere sahip olduğu raporlanmıştır. Her iki çalışmada da elde edilen sonuçların uyumlu olduğu görülmüştür. Cd ağır metalinde ana fraksiyonunun %90,58 ile Step 1 olduğu görülmüştür. Benzer şekilde Pöykio et al. [19] tarafından yapılan çalışmada dip külünde ve uçucu külde bulunan Cd konsantrasyonunun da en fazla Step 1 'de olduğu raporlanmıştır. Buna ek olarak Chou et al. [32] tarafından belediye atığı yakma tesisine ait uçucu küle yapılan benzer bir analizde de Cd ağır metali için baskın fraksiyonun değiştirilebilir (Step 1) olduğu belirtilmiştir. Nemati et al. [18] tarafından farklı derinliklerdeki nehir tortularında yapılan çalışmada Cd metalinin Step 1 'de oldukça yüksek olduğu tespit edilmiştir. Mevcut çalışmanın diğer örnek çalışmalarla benzer sonuçlara sahip olduğu görülmüştür. Pb ağır metalinin de baskın fraksiyonunun %54,41 ile Step 1 olduğu görülmüştür. Pöykio et al. [19] yapılan çalışmada dip külünde ve uçucu külde bulunan Pb konsantrasyonunun da en fazla Step 2 'de olduğu raporlanmıştır. Nemati et al. [18] tarafından farklı derinliklerdeki nehir tortularında yapılan çalışmada da Pb metalinin Step 2 'de oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir. Zn ağır metalinin merkez fraksiyonlarının Step 2 (%51,03) ve Step 1 (%48,54) olduğu belirlenmiştir. Benzer şekilde Pöykio et al. [19] tarafından yapılan çalışmada dip külünde ve uçucu külde bulunan Zn metalinin en fazla Step 1 ve Step 2'de olduğu raporlanmıştır. Nemati et al. [18] tarafından farklı derinliklerdeki nehir tortularında yapılan çalışmada da Zn metalinin Step 2 'de oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir. Mevcut çalışmanın diğer örnek çalışmalarla benzer sonuçlara sahip olduğu görülmüştür.

Tablo 5 Ham atık ve Ç12 Metal Fraksiyon Yüzdeleri (%)

	Ba	Cd	Pb	Zn
Ham Atık				
Step 1	23,25	90,58	54,41	48,54
Step 2	14,93	9,09	21,21	51,03
Step 3	29,43	1,11	18,09	2,53
Step 4	28,70	0,95	10,55	2,53
Kf	2,36	105,35	8,88	40,22
RDK(%)	24,14	89,02	52,19	46,38
Ç12				
Step 1	22,17	79,63	16,73	41,04
Step 2	17,84	16,52	47,43	56,03
Step 3	32,13	1,14	21,19	2,20
Step 4	31,53	0,91	10,35	2,30
Kf	2,29	106,52	8,25	43,13
RDK(%)	21,38	81,09	17,48	40,40

Ç12 numunesindeki Ba ağır metalinin merkez fraksiyonlarının Step 3 (%32,13) ve Step 4 (%31,53) olduğu belirlenmiştir. Atık ve Ç12'deki Ba metali en fazla Step 3 ve 4 'te bulunmuştur. Cd ağır metalinde ana fraksiyonunun %79,63 ile Step 1 olduğu görülmüştür. Atık ve Ç12'deki Cd metali en fazla Step 1'de görülmüş, S/S işlemi ile daha stabilize olan Cd fraksiyon yüzdesinde azalma meydana gelmiştir. Benzer şekilde Chou et al. [32] tarafından uçucu küle uygulanan önişlem sonrasında Cd'nin ana fraksiyonu olan Step 1 'de azalma meydana gelmiştir. Pb ağır metalinde baskın fraksiyonunun % 47,43 ile Step 2 olduğu görülmüştür. Atıkta daha çok Step 1'de bulunan Pb'nin, stabilize olarak Ç12'de Step 2 de daha fazla bulunduğu belirlenmiştir. Chou et al. [32] tarafından yapılan çalışmada ham uçucu külün Step 2 yüzdesinin uygulanan ön işlem sonrasında arttığı belirtilmiştir. Zn ağır metalinin merkez fraksiyonlarının Step 2 (%56,03) ve Step 1 (%41,04) olduğu belirlenmiştir. Atıktaki ve Ç12 'de Zn fraksiyon değerleri karşılaştırıldığında Step 1'de azalma, Step 2 'de artma meydana geldiği görülmüştür.

3.4. Çevresel Değerlendirme

Atıktaki ve Ç12 numunesindeki takip edilen ağır metallerin kirlilik faktörü ve risk değerlendirme kodu Tablo 5 'te verilmiştir.

- *Kirlilik Faktörü*

Kirlilik faktörü, mobil (kalıntı olmayan) fazdaki konsantrasyon toplamlarının kalıntı fazdaki konsantrasyona bölünmesiyle elde edilmektedir [18]. Atıkta ve numunede takip edilen ağır metaller benzer Kf değerlerine sahiptir, hem atık hem de numune için Kf sıralaması Cd>Zn>Pb>Ba şeklindedir. Atıktaki ve numunedeki en fazla Kf'nin Cd olduğu tespit edilmiştir. Cd gibi Step 1'de fazla olan metallerin hareketli ve kolay erişilebilir olması sebebiyle

toprağa ve suya çabuk karışabileceği ve çevre açısından risk oluşturacağı düşünülmüştür [19] Bununla birlikte; Zn'ye ait Kf değeri de hem atıkta hem de numunede yüksek çıkmıştır. Zn'nin çevresel koşullardaki değişikliğe göre yeniden harekete geçme potansiyelinden dolayı çevre için zararlı olabileceği düşünülmüştür [31]. Atıkta ve numunede en az Kf 'ye sahip olan metal ise Ba olup, çevre şartlarında daha az çözüldüğü ve daha az zararlı olduğu görülmüştür.

- *Risk Değerlendirme Kodu*

Değiştirilebilir ekstraksiyon en kararsız ve reaktif olarak kabul edilmekte ve diğer fraksiyonlara kıyasla çevre üzerinde daha büyük olumsuz etki potansiyeline sahiptir. RDK, değiştirilebilir fraksiyonun hareketli ve hareketsiz fraksiyonların toplamına bölünmesiyle elde edilen yüzdesel bir ölçektir [19].

$$RDK = \left\{\frac{Step\ 1}{Step\ 1 + Step\ 2 + Step\ 3 + Kalan}\right\} * 100$$

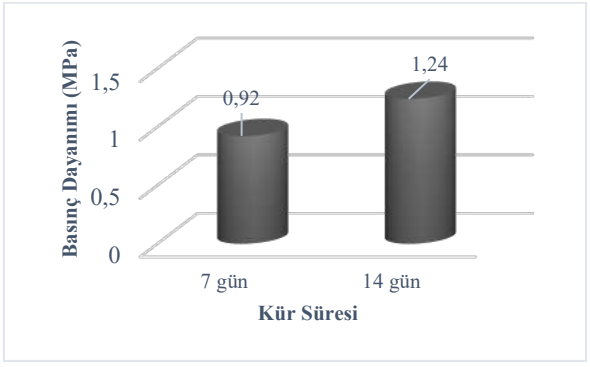
RDK değeri; % 1 'den küçük ise risksiz, % 1-10 arasında ise düşük risk, % 11-30 arasında ise orta risk, %31-50 arasında ise yüksek risk,%50 'den büyük ise çok yüksek risk grubudur [19] .Atık ve numuneye ait risk grupları Tablo 6'da verilmiştir. Buna göre atıktaki en riskli metallerin Cd ve Pb iken, numunedeki en riskli metalin Cd olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 6 Atık ve Numune RDK Sınıflandırması

	Ba	Cd	Pb	Zn
Atık	Orta	Çok Yüksek	Çok Yüksek	Yüksek
Ç12	Orta	Çok Yüksek	Orta	Yüksek

3.5. Basınç Dayanımı

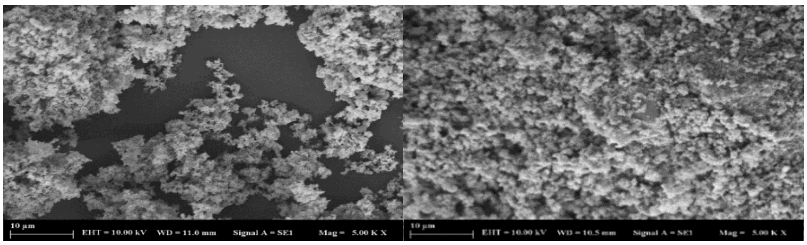
7 günlük kür süresine sahip olan Ç00-Ç05-Ç10-Ç12 numunelerine basınç dayanım testi yapılması planlanmıştır. Deney esnasında Ç00-Ç05-Ç10 numunelerinin hidratasyon sürecini tamamlamadığı görülmüş ve dayanım testi uygulanmamıştır. Ç12 numunesine ise 9,2 kN/dm2 yük uygulanmış ve 0,92 MPa basınç dayanımı elde edilmiştir. Mevcut durumda Ç12'ye ait basınç dayanım değeri hem EPA'nın hem de İngiltere'de belirtilen sınır değerin üzerindedir. Anastasiadou et al. [16] ve Akyıldız et al. [33] tarafından yapılan uçucu külün çimento ile solidifiye edildiği farklı çalışmalarda basınç dayanımının; artan atık miktarı ile azaldığı, karışıma ait kür süresinin artması ile de arttığı görülmüştür. Bu sebeple Ç12 numunesine ait kür süresi 7 günden 14 güne çıkarılmıştır. 14 günlük kür süresine sahip olan Ç12 numunesine yapılan basınç dayanım testinde 12,3 kN/dm2 yük uygulanmış ve 1,24 MPa basınç dayanımı elde edilmiştir. Mevcut çalışmada da yukarıda belirtilen çalışmalarda olduğu gibi artan kür süresi ile basınç dayanım değeri artmıştır. Bunun yansıra Ç12 numunesinin 14 günlük kürlenme süresiyle farklı uluslararası sınır değerleri de karşıladığı da görülmüştür.



Şekil 2 Ç12 basınç dayanım değerleri

3.6. SEM Görüntüleme Analizi

SEM görüntüleme analizi BGT ve sadece optimum reçete olarak seçilen Ç12 numunesi için yapılmıştır. Şekil 3'te verilen görüntüleme işleminde farklı bölgelerden aynı büyültme oranlarında (10µm) görüntü alınmış ve karşılaştırma yapılmıştır. Görsellerdeki siyah düz alanlar kaplama işleminde kullanılan karbon stamp malzeme yüzeyidir. Görüntüleme işlemi sonucunda BGT'nin daha porlu ve dağınık bir yapıda olduğu gözlemlenirken, Ç12 numunesinin ise daha az porlu, birleşik ve katı yapıda olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 3 BGT (a) ve Ç12 (b) numunesi

4. SONUÇLAR

Numunelere ait sızıntı testi sonuçları, kullanılan çimento miktarı ve basınç dayanım değerleri göz önüne alındığında optimum reçetenin Ç12 olduğu tespit edilmiştir. Ç12 numunesine yapılan sızıntı testine ait konsantrasyonların düzenli depolama atık kabul limitlerine uygun olduğu ve Ç12 numunesinin basınç dayanımları uluslararası farklı sınır değerlerini karşıladığı tespit edilmiştir. Yapılan SEP sonuçlarına göre atıkta merkez fraksiyon Step 1 iken, katılaştırılmış numunede Step 1'in azaldığı Step 2 ve Step 3'ün arttığı görülmüştür. Atıkta ve numunede takip edilen ağır metallerin Kf sıralaması Cd>Zn>Pb>Ba şeklindedir. RDK sınıflandırmasında ise; atıkta Cd ve Pb değerlerinin, numunede ise Cd değerinin çok yüksek risk sınıfında olduğu görülmüştür. Zn değeri ise hem atıkta hem numune de yüksek risk grubundadır. SEM görüntüleme analizinde BGT dağınık ve porlu bir yapıda olduğu ancak Ç12'nin homojen ve daha az porlu bir yapıda olduğu görülmüştür. Diğer taraftan belirlenen reçeteye göre S/S işlemi görmüş numuneden çevreye sızabilecek ağır metallerin uzun vadedeki davranışlarının incelenmesi için farklı ortam şartlarında ve periyotlarda yapılan daha çok gözlem ve analizlere ihtiyaç duyulmaktadır. S/S işlemlerinde artan çimento miktarıyla birlikte S/S işlem maliyetlerinin de arttığı unutulmamalıdır. Bu bakımdan farklı bağlayıcılar denenerek oluşan maliyetin azaltılması üzerine çalışmalar yapılabilir.

5. KAYNAKÇA

[1] Rozumova L., Motyka O.,Cabanova K.,Seidlerova J "Stabilization of waste bottom ash generated from hazardous waste incineration facilitys".Jour of Env Chem Eng 3 (1), 1-9, 2015.

[2] Jiang X., Li Y., Yan J. "Hazardous waste incineration in a rotary kiln: a review",Waste Disp & Sus Ener 1,3–37,2019.

[3] Ulinskaitė J., Staniškis J., Motiejūnas J "Analysis and improvement possibilities of hazardous waste management system in Lithuania". Env Res, Eng and Manag 4 (38),40-50,2006.

[4] Hytiris N., Fotis P., Stavraka T. "Leaching and mechanical behaviour of solidified/stabilized nickel contaminated soil with cement and geosta". Proc of the 4th Intern Con on Env Pol and Rem Prague, Czech Republic,71,2014.

[5] Wilk C. M."Solidification/stabilization treatment and examples of use at port facilities". Ports Con 2004, 2012.

[6] Vinter S., Montanes M., Bednarik V., Hrivnova P. "Stabilization/solidification of hot dip galvanizing ash using different binders". Jour of Hazard Mater, 320, 105–113,2016.

[7] Wang P., Xue Q., Li J., Zhang T."Effects of pH on leaching behavior of compacted cement solidified/stabilized lead contaminated soil". Environ Prog & Sus Ener,35(1),149-155,2015.

[8] Gardic V., Obradovic L., & Filipovic S."Review of solidification and stabilization methods of hazardous waste". Min and Metall Inst Bor(4),85-100,2013.

[9] Malviya R., Chaudhary R."Factors affecting hazardous waste solidification/ stabilization: a review"". Jour of Hazard Mat,137(1),267-276,2006.

[10] Mijno V., Catalan L., Martin F., Bollinger J."Compositional changes in cement-stabilized waste during leach tests-comparison of sem/edx data with predictions from geochemical speciation modeling". Jour of Coll and Inter Sci,280(2),465-477.,2004.

[11] Akçansa Heild Cement, Hydration of Cement Technical Notes (3),http://www.akcansa.com.tr/docs/20120216160047_teknik-notlar-3.pdf. Erişim Tarihi 21 Ocak 2021

[12] Pan Y., Rossabi J., Pan C., Xie X."Stabilization/solidification characteristics of organic clay contaminated by lead when using cement". Jour of Hazard Mat,362,132-139,2019.

[13] Yakubu Y., Zhou J., Ping D., Shu Z., Chen Y."Effects of ph dynamics on solidification/stabilization of municipal solid waste incineration fly ash". Jour of Env Manag,207,243-248,2018.

[14] Du Y.,Liu Z.,Chen L.,Zhang F., & Jin F."An overview of stabilization/solidification technique for heavy metals

contaminated soil". Proc. of Int. Symp. on Geoenv Eng.,760-766,2009.
[15] Yılmaz O., Çokça E.,& Ünlü K."Comparison of two leaching tests to assess the effectiveness of cement-based hazardous waste solidification/stabilization". Turk Jour of Eng and Env Sci, 27,201-212,2003.
[16] Anastasiadou K., Christopoulos K., Mousios E. Gidarakos E."Solidification/stabilization of fly and bottom ash from medical waste incineration facility" Jour of Hazard Mat,207–208,165-170,2012.
[17] Tiwari M., Bajpai S., Dewangan UK. Tamrakar RK."Suitability of leaching test methods for fly ash and slag: a review". Jour of Radi Res and App Sci,523-537,2015.
[18] Nemati K., Bakar NK. A., Radzi A., Sobhanzadeh E "Speciation of heavy metals by modified BCR sequential extraction procedure in different depths of sediments from Sungai Buloh, Selangor, Malaysia". Jour of Hazard Mat,192,402-410,2011.
[19] Pöyki R., Makela M.,Watkins G.,Nurmesniemı H. ,Dahl O."Heavy metals leaching in bottom ash and fly ash fractions from industrial-scale BFB boiler for environmental risks assessment". Trans of Nonferr Met Soc of China 26,256-264,2016
[20] Štulovic M., Radovanovic D., Kamberovic Z., Korac' M., Andic Z."Assessment of leaching characteristics of solidified products containing secondary alkaline lead slag". Inter Jour of Env Res and Pub Hea,16(11),2019.
[21] Tübitak MAM Elec Micro Lab https://me.mam.tubitak. gov.tr/tr/laboratuvarlar/elektron-mikroskop-laboratuvarlari-0. Erişim Tarihi 21 Erişim 2021.
[22] Dokuz Eylül Univ, Environmental Engineering Department. Iron and Steel Plants and Air Pollution https://kisi.deu.edu.tr/abayram/Demir_Celik.pdf. Erişim Tarihi 21 Ocak 2021.
[23] TS 12090 Solid Wastes-Rules of Sampling
[24] Tübitak MAM X Ray Lab https://me.mam.tubitak.gov.tr/tr/laboratuvarlar/x-isinlari-laboratuvari-0. Erişim Tarihi 24 Mart 2021.
[25] Wang F., Wang H., Tabbaa A." Leachability and heavy metal speciation of 17-year old stabilised/solidified contaminated site soil".Jour of Hazard Mat,278,144-151,2014.
[26] Minist of Env and Urb , Regulation on the Landfill of Wastes (2010,26March).OfficialJournal(Sayı:27533). https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=13887&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5. Erişim Tarihi 21 Ocak 2021
[27] TS EN 12457-2 Characterisation of waste-Leaching- Compliance test for leaching of granular waste materials and sludges - Part 4: One stage batch test at a liquid to solid ratio of 10 l/kg for materials with particle size below 10 mm (without or with size reduction).
[28] TS EN 12390-1: Testing hardened concrete - Part 1: Shape, dimensions and other requirements for specimens and moulds.
[29] TS EN 12390-3 Testıng hardened concrete-Part 3:Compressıve strength of test specımens.
[30] Hashemi SG., Mahmud H., Ghuan TC., Chin AB., Kuenzel C., Ranjbar N."Safe disposal of coal bottom ash by solidification and stabilization techniques". Const and Build Materials,197,705-715,2019.
[31] Kanat G., Ikizoğlu B.,Erguven GO., & Akgun B"Determination of pollution and heavy metal fractions in golden horn sediment sludge". Pol Jour of Env Stud,27,6,2605-2611,2018.
[32] Chou JD., Wey M. & Chang SH." Evaluation of the distribution patterns of Pb, Cu and Cd from MSWI fly ash during thermal treatment by sequential extraction procedure". Jour of Hazard Mat, 162, 1000-1006,2009.
[33] Akyıldız A., Köse ET., Yıldız A."Compressive Strength and heavy metal leaching of concrete containing medical waste incineration ash". Const and Build Mat, 138,326-332,2017.

Teşekkür: *Yapılan çalışmanın analizleri İstanbul Çevre Yönetimi Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi ve Akçansa Çimento'nun destekleri ile yapılmıştır.*

14. national 2. international environmental engineering congress

climate crisis & environmental policies

SESSION 5B: Havza ve Su Kalitesi Yönetimi

Paper ID:

63 **KÜÇÜK MENDERES NEHİR HAVZASINDAKİ YAYILI KİRLİLİK YÜKLERİNİN SWAT MODELİ İLE TAHMİN EDİLMESİ**
Dilara Temel - Alper Elçi - Selma Ayaz

16 **Türkiye Geneli için Uzun Dönem Ortalama Toplam Yağış Dağılımının Tahmini için Kullanılan Yüzeysel İnterpolasyon Tekniklerinin Kantitatif Analizi**
Behnam Khorrami - Orhan Gündüz

34 **MARMARA DENİZİ 2021 YÜZEY MÜSİLAJ ÖRNEKLERİNİN KARAKTERİZASYONU**
Berat Z. Haznedaroğlu - Engin Bayram - Fahri Koray Sakarya - Duygu Özçelik - Arca Yılmaz - Emren Borhan - Dila Hocaoğlu - Zeynep Şahin - İrem Karamollaoğlu

44 **KENT PLAJLARINDA DENIZ SUYU VE PLAJ KUMUNA COVİD 19 PANDEMİ ETKİSİNİN DEĞERLENDIRMESİ**
Gönül Tuğrul İçemer - Merve Tan - Ulukan Şimşek

48 **HAVZA YÖNETİMİNDE TÜRKİYE'DE UYGULANAN MODELLER**
Solmaz Garan - Arife Şimşek - Gülfem Bakan

KÜÇÜK MENDERES NEHİR HAVZASINDAKİ YAYILI KİRLİLİK YÜKLERİNİN SWAT MODELİ İLE TAHMİN EDİLMESİ

Dilara TEMEL[1,*], Alper ELÇİ[2], Selma AYAZ[3]

*[1],*Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 35390 Buca/İZMİR dilara.temel@ogr.deu.edu.tr*

[2]Dokuz Eylül Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 35390 Buca/İZMİR alper.elci@deu.edu.tr

[3]Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü, TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, Gebze/KOCAELİ selma.ayaz@tubitak.gov.tr

Özet

Havzalardaki su kalitesi, genellikle noktasal ve yayılı kaynaklar şeklinde meydana gelen antropojenik ve doğal çevresel baskılardan etkilenir. Havzalardaki su kaynaklarının sürdürülebilirliğini sağlamak için havzalar için su kalitesi hedeflerinin belirlenmesi önemlidir. Bu nedenle, bir havza sınırları içerisinde kirletici yüklerin ve bunların mekânsal dağılımının belirlenmesi havza yönetiminde önemli bir görevdir. Bu çalışmanın amacı, SWAT modelini kullanarak Türkiye'nin batısında çevresel olarak stresli bir bölgede yer alan Küçük Menderes Nehir Havzası (KMNH) için yayılı kirlilik yüklerinin mekânsal dağılımını ve yıllık değişimini tahmin etmektir. KMNH, Türkiye'nin Ege Bölgesi'nde yer almaktadır ve 3491 km^2 drenaj alanına sahiptir. Nehrin ana kolu 148 km'dir ve suyunu çoğunlukla tarım alanlarından toplar. Çalışma alanı, kurak dönemlerde atık suların baskın hale gelebildiği, aralıklı akan bir nehrin havzasıdır. SWAT modeli için birincil girdi verileri, CORINE arazi kullanımı verileri, sayısal yükseklik haritası, toprak haritası ve meteorolojik verilerden oluşmaktadır. Modelleme amacıyla havza 25 alt havzaya bölünmüştür. Tüm alt havzalar için yüzeysel akış, yüzey altı akışı, sızma, evapotranspirasyon ve akifer beslemesinin akış miktarları hesaplanmıştır. Bu hidrolojik bileşenler, nihai nehir çıkışı akışını hesaplamak için değerlendirilmiştir. Her bir alt havza için nütrientler, kimyasal gübre ve gübre kullanımına ilişkin havza genelindeki veriler, fosseptik atıksuları için nüfus verileri ve arazi kullanımına ilişkin bilgiler dikkate alınarak hesaplanmıştır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçların, benzer nütriente duyarlı havzalar için yayınlanan değerlerle karşılaştırılabilir olduğu ve ilgili yüzey suyu kalitesi modelleme çalışmalarında doğrudan kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: SWAT Modeli, simülasyon, su kalitesi, hidroloji, nütrientler

Abstract

Water quality in basins is affected by anthropogenic and natural environmental pressures, which often occur in the form of point and diffuse sources. In order to ensure the sustainability of water resources in the basins, it is important to determine water quality targets for the basins. Therefore, determining the pollutant loads and their spatial distribution within the boundaries of a watershed is an important task in watershed management. The aim of this study is to estimate the spatial distribution and annual variation of distributed pollution loads for the Küçük Menderes River Basin (KMNH), which is located in an environmentally stressed region in western Turkey, using the SWAT model. KMNH is located in the Aegean Region of Turkey and has a drainage area of 3491 km2. The main tributary of the river is 148 km and collects its water mostly from agricultural fields. The study area is the basin of an intermittent river where wastewater becomes dominant during dry periods. The primary input data for the SWAT model consists of CORINE land use data, digital elevation map, soil map and meteorological data. For modeling purposes, the basin is divided into 25 sub-basins. The flow rates of surface runoff, subsurface runoff, percolation, evapotranspiration and aquifer recharge were calculated for all sub-basins. These hydrological components were evaluated to calculate the final outflow flow. For each subbasin, watershed-wide data on nutrients, chemical fertilizer and fertilizer use, population data for septic tank wastewater, and information on land use were calculated. It was concluded that the results from this study are comparable to published values for similar nutrient-sensitive basins and can be directly used in relevant surface water quality modeling studies.

Keywords: SWAT modeling, simulation, water quality, hydrology, nutrients

1. GİRİŞ

İnsan yaşamı için temel ve değerli kaynakların en başında su ve toprak gelmektedir. Artan nüfus ile birlikte kaynakların planlı kullanılması gerekliliği zaman içerisinde küresel bir politika haline gelmeye başlamıştır [1]. Artan nüfus nedeniyle kaynakların niceliğinin etkilenmesinin yanında, sanayi ve tarımdaki gelişmeler sonucunda kaynakların niteliği de kötü anlamda etkilenmeye başlamıştır. Bu durum giderek kötüleşmiş ve çevre kirliliği sorunlarına yol açmıştır. Ayrıca çevredeki kirletici tipleri ve miktarlarındaki artışlar doğal kaynaklar için riskler oluşturmaktadır.

Su kaynaklarının üzerindeki baskının çoğunlukla endüstriyel ve kentsel atıksu deşarjlarından kaynaklandığı düşünülür, ancak yayılı kaynaklardan gelen yükler de su havzalarında önemli bir baskı oluşturmaktadır. Tarımda gübre ve pestisit kullanımı, kent, inşaat ve maden alanlarından yağışlı zamanlarda yıkanarak gelen sular, kanalizasyon olmayan bölgelerdeki septik hazneler ve düzensiz katı atık depolama sahaları kara kökenli yayılı kirlilik kaynaklarına tipik örnek olarak verilebilir. Bunların dışında atmosfer kaynaklı yayılı kirlenme de baskı oluşturabilmektedir. Özellikle tarımsal faaliyetlerde kullanılan kimyasalların artışının yanı sıra hayvansal gübrelerin toprak katkı maddesi olarak kullanımı neticesinde tarımsal arazilerden azot (N), fosfor (P), pestisit ve ağır metaller gibi kirleticilerin yüzey ve yeraltı sularına taşınması sorununun önemi son yıllarda artmıştır [2].

Yayılı kirliliğin doğrudan ölçülebilir özelliklere sahip olmaması ve bu nedenle tanımlanmasının zor olması, yönetimini karar vericiler için bir zorluk haline getirir. Uygun önlemlerin geliştirilebilmesi için bir havzadaki yayılı kaynak yüklerinin, havzanın hidrolojik bileşenleri dikkate alınarak tahmin edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle bu çalışmanın amacı, Küçük Menderes Nehir Havzasındaki yayılı kirlilik yüklerinin model esaslı bir yaklaşım ile tahmin edilmesidir. Yayılı yükler, SWAT modeli ile hesaplanarak alt havzalardaki dağılımları ve zamana göre değişimleri belirlenmiştir. Ortaya konulan model, havzadaki su miktarının korunması ve dengeli bir şekilde tahsisi için alınması gereken önlemlerin belirlenmesinde kullanılabilecek, bunun yanı sıra gelecekte yapılacak su kalitesi modelleme çalışmaları için de zemin oluşturacaktır.

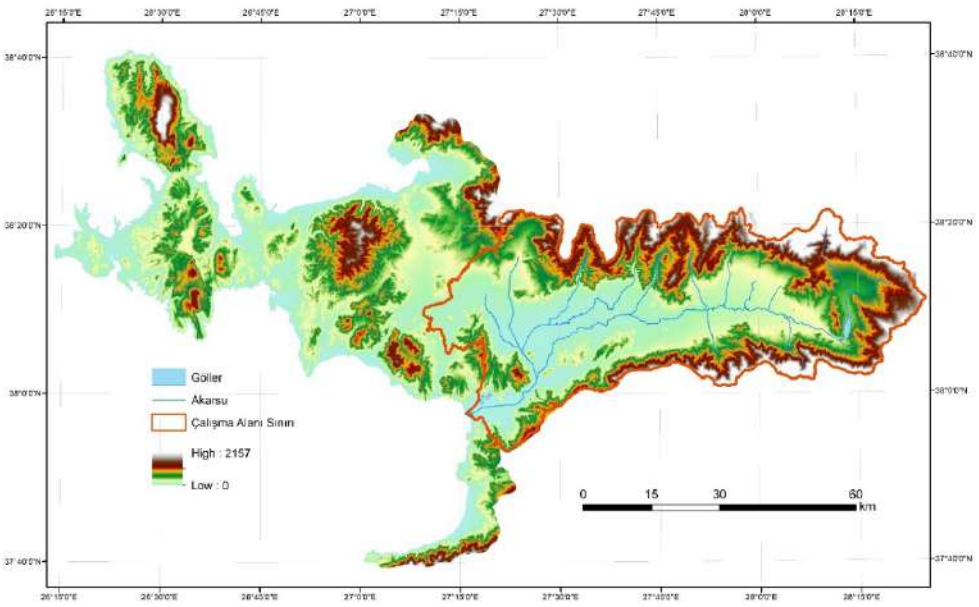
2. MATERYAL VE METOT

2.1. Çalışma Sahası

Çalışma, Küçük Menderes Havzasının ana kol nehir alt havzası için yapılmıştır (Şekil 1). Türkiye'nin Ege bölgesinde yer alan havza, 3491 km^2 drenaj alanına sahiptir. Nehrin ana kolu 148 km uzunluğundadır. Havzadaki su kaynakları yoğun tarım, hayvancılık, düzensiz yapılaşma ve iklim değişikliği nedeniyle hem nitelik hem de nicelik açısından ciddi risk altındadır. Antropojenik faaliyetler Küçük Menderes nehrinin su kalitesini olumsuz etkilemektedir. Havzanın arazi kullanımı incelendiğinde arazinin büyük bir çoğunluğunun tarım alanlarından oluştuğu görülmektedir. Tarım alanlarını ormanlar ve yarı doğal alanlar izlemektedir. Tarım arazilerinin %52'si kuru, %48'i sulu tarım arazisi olarak kullanılmaktadır. Havzadaki su kaynakları, havzada yapılan yoğun tarım sonucu daha çok sulama suyu olarak kullanılmaktadır. Tarımsal sulamanın yaklaşık %93'ü yeraltı suyu ile yapılmaktadır. Küçük Menderes Havzası'nda iklim değişikliğine bağlı olarak gelecekte ortalama sıcaklığın 3-5 °C artması ve yağışların %10-20 oranında azalması beklenmektedir [3]. Bölgede tarımsal faaliyetler yaygın olarak yapıldığından gübreleme ve ilaç kullanımı da oldukça yoğundur. 2016 yılında havzada 516 ton pestisit kullanıldığı tespit edilmiştir [3]. Bu nedenle havzada tarımsal kaynaklı noktasal olmayan kirliliğin önemli olduğu ve bu kirlilik yüklerinin tahmin edilmesi gerekmektedir.

2.2. SWAT Modeli

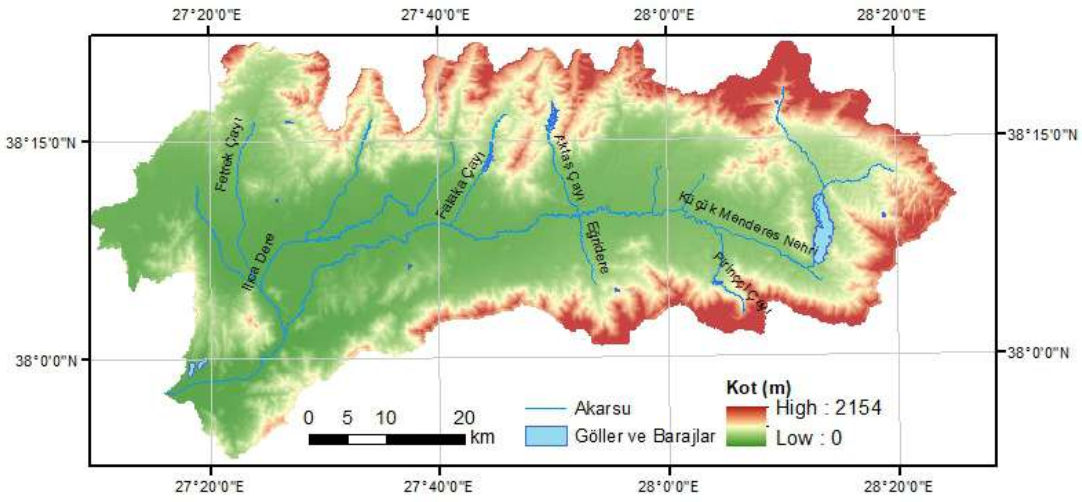
SWAT modeli, nehir havzalarında arazi kullanımı ve tarımsal faaliyetlerin su miktarı ve kalitesi üzerindeki uzun vadeli etkisini değerlendirmek için geliştirilmiştir [4]. SWAT modeli, dünya çapında yaygın olarak kullanılan, havza ölçeğinde hidrolojik bileşenleri hesaplayabilen ve akıntıyla gelen kirletici yükleri tahmin edebilen fiziksel tabanlı bir modeldir. Model, iklim değişikliğinin etkilerini tahmin etmek, kirletici yükleri hesaplamak ve en iyi yönetim uygulamalarını değerlendirmek için tüm dünyada birçok çalışmada kullanılmıştır. SWAT modeli, ülkemizde de pek çok havzada uygulanabilmiştir (örn. [5], [6], [7], [8]). İklim, topografya, arazi kullanımı, toprak özellikleri ve bitki örtüsü hakkındaki bilgiler SWAT modelinin temel girdileridir. Bunların dışında, modelleme çalışmasının amacına bağlı olarak havza ölçeğinde gerekli olan model girdileri arasında; gübre ve pestisit kullanım verisi, havzada hayvancılık yapılıyorsa hayvan sayıları, tarımsal yönetim uygulamaları, kanalizasyon sistemine bağlı olmayan nüfus bilgisi, mevcut katı atık depolama alanları ve baraj gölü, gölet gibi su yapıları hakkında işletme bilgileri sayılabilir. Bu çalışma kapsamında SWAT modelinin ArcGIS 10.4.1 için uygun olan arayüzü ArcSWAT (sürüm 2012.10.8) ve SWAT model sürümü 681 kullanılmıştır.



Şekil 1. Küçük Menderes Havzası ve çalışma alanı

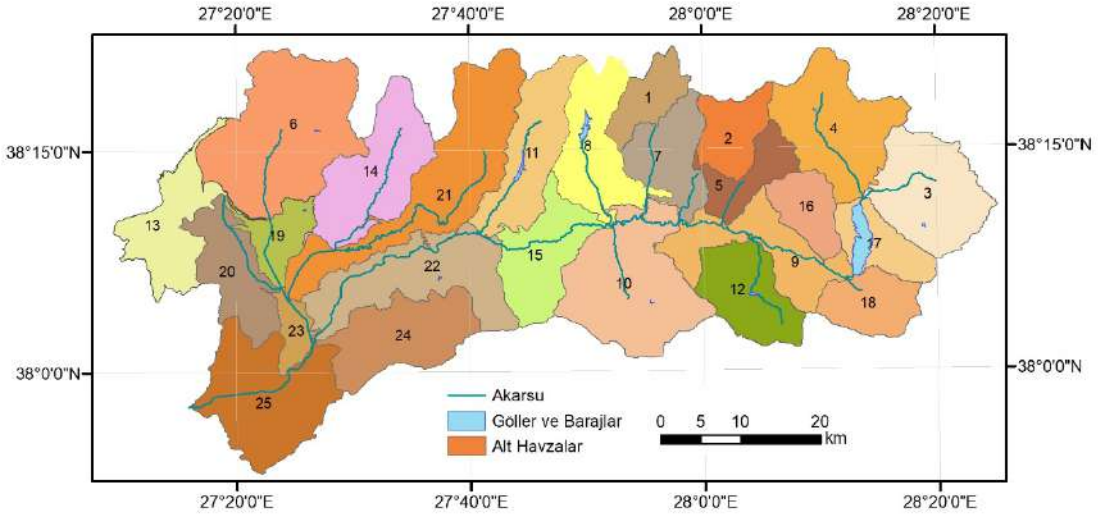
2.2.1. Yükselti Verisi

SWAT modeli ile ilk aşamada DEM (sayısal yükselti modeli) verisini ve akış olan dere ağı bilgisini kullanarak havza sınırı, havza ve alt havzaların jeomorfolojik parametreleri oluşturulur. ArcSWAT ara yüzü ile alt havza poligonların oluşturulması amacıyla Harita Genel Müdürlüğü tarafından üretilen 1:25.000 ölçekli YÜKPAF eşyükselti eğrilerinden üçgenleme metoduyla (TIN) türetilen 10 metre çözünürlüklü sayısal yükselti verisinden yararlanılmıştır (Şekil 2). Bu veri raster biçiminde olup gerekli boşluk doldurma ve hata giderme işlemleri yine CBS ortamında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. Küçük Menderes Nehir Havzası yükselti haritası

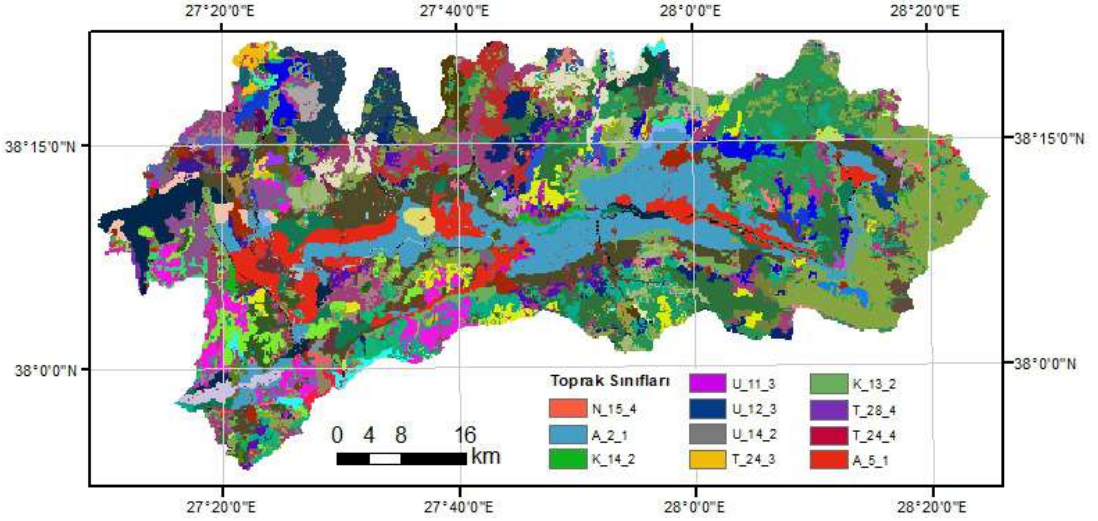
Çalışma kapsamında drenaj alanları 3304 − 25210 ha arasında değişen 25 adet alt havza oluşturulmuştur. Oluşturulan alt havzalar Şekil 3'de gösterilmiştir. Modelin gerekli diğer girdileri ise toprak özellikleri haritası, arazi kullanımı haritası ve eğim haritasıdır.



Şekil 3. SWAT Modeli ile oluşturulan alt havzalar

2.2.2. Toprak Özellikleri

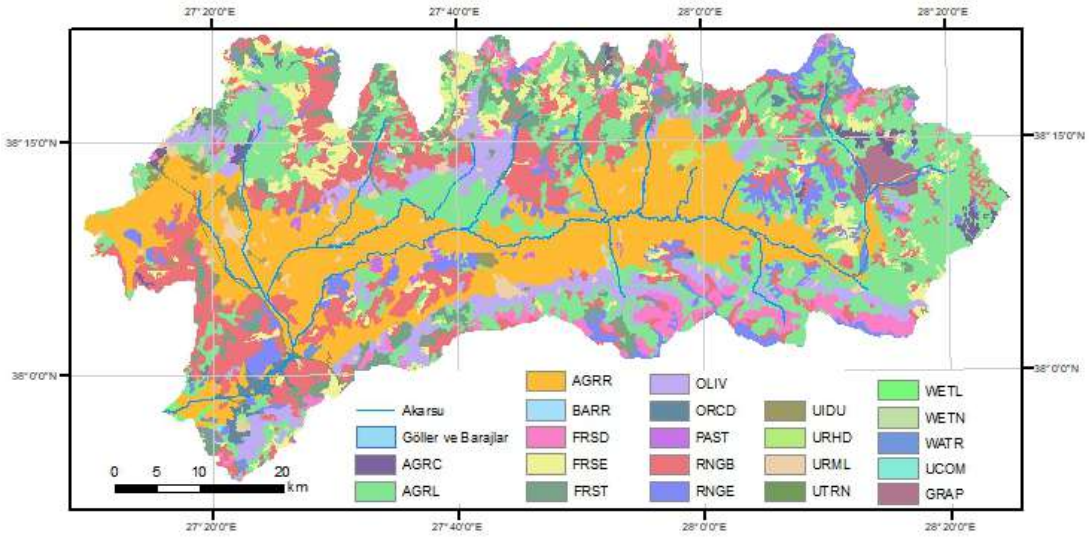
Çalışmada toprak veri girdisini oluşturmak amacıyla Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) ve Büyük Toprak Grupları (BTG) toprak verilerinin kombinasyonu kullanılmıştır. Sadece 5 km çözünürlüklü FAO toprak verileri kullanılsaydı, havza alanı içerisinde sadece 3 farklı toprak sınıfı olurdu. BTG toprak verisi SWAT modeline uyarlandıktan sonra FAO verisi ile birleştirilerek 134 farklı toprak sınıfı elde edilmiştir. Havzadaki toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini barındıran veri katmanı Şekil 4'de gösterilmiştir.



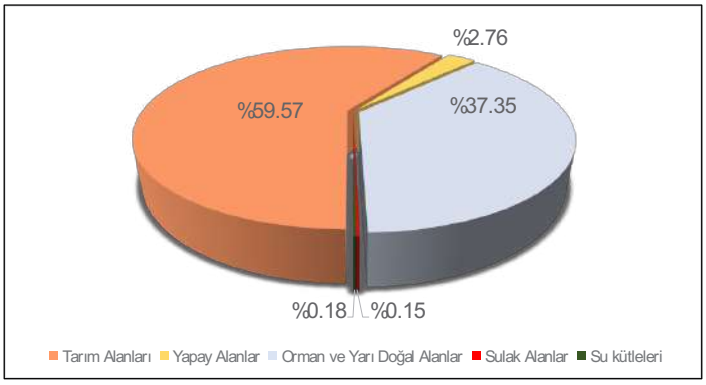
Şekil 4. Toprak tipi haritası

2.2.3. Arazi Örtüsü ve Kullanım Bilgisi

Çalışmada Avrupa Çevre Ajansının CORINE-2018 arazi kullanım verisi kullanılmıştır. CORINE-2018 ham verisi için SWAT proje veri tabanında tanımlanmış olan sınıflamaya uygun eşleştirme işlemi sonucunda elde edilen veri katmanı Şekil 5'de sunulmuştur. Elde edilen arazi kullanım dağılımı Şekil 6'da verilmiştir. Buna göre tarım alanları, çalışma sahasının %59,6'sını kaplamaktadır. Orman ve yarı doğal alanlar sınıfı, %37,3 alan yüzdesi ile ikinci büyük arazi örtüsü sınıfı olarak yer almaktadır.



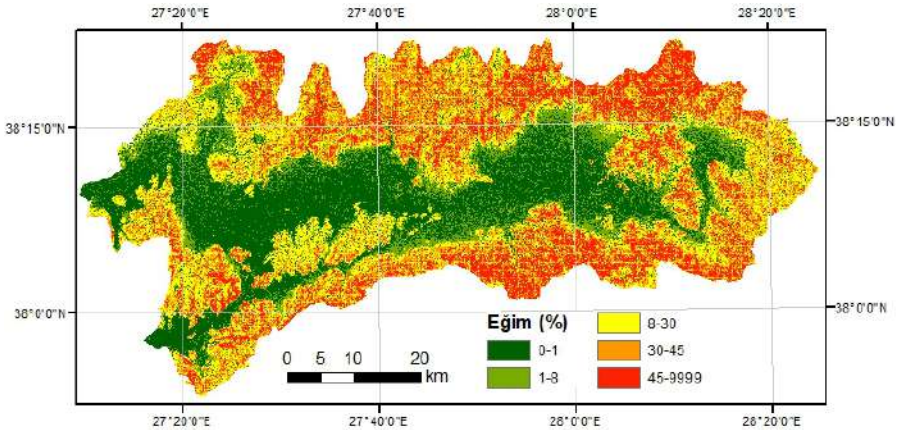
Şekil 5. SWAT sınıflandırmasına göre arazi örtüsü ve kullanımı



Şekil 6. SWAT arazi örtüsü/kullanım sınıflandırmasına göre sınıf yüzölçümlerin dağılımı

2.2.4. Zemin Eğimleri

Modele yükselti verisinin tanımlanmasıyla Şekil 7'deki gibi eğim haritası oluşturulmuştur. Çalışma alanında eğim 5 farklı sınıfa ayırılmıştır. Bu sınıflar %0-1, %1-8, %8-30, %30-45 ve %45'in üzeri olarak ayarlanmıştır.



Şekil 7. Eğim haritası

2.2.5. Meteoroloji Verisi

SWAT modeli ile yayılı yük tahminlerin yapılması için öncelikle havzadaki akarsuları besleyen yüzey, yeraltı suyu sızma ve yüzey altı akışları yaklaşık olarak hesaplanmaktadır. Akışların hesaplanmasına temel girdi teşkil eden arazi örtüsü/kullanımı, arazi eğimi ve toprak özelliklerinin yanında havzaya ait meteoroloji verilerinin modele öncelikli olarak girilmesi gerekmektedir. SWAT modelinin çalıştırılması için gerekli olan meteoroloji verileri havzadaki meteoroloji gözlem istasyonlarında kaydedilen yağış, sıcaklık, nem ve rüzgâr hızı ölçüm zaman serileridir. Küçük Menderes Nehir Alt Havza sınırları içerisinde ve sınırlardan itibaren 10 km'lik bir uzaklık bandı içerisinde Meteoroloji Genel Müdürlüğünce (MGM) işletilen 14 meteoroloji istasyonu bulunmaktadır.

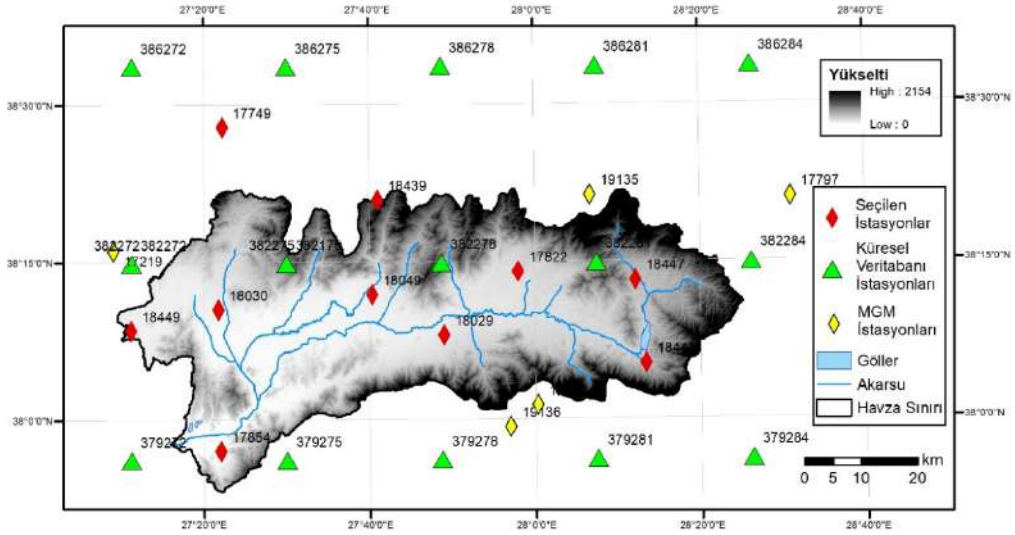
İklim verilerinin gerek seçilen modelleme süresini kapsaması gerekse eksik verilerin mümkün olduğunca az olması bakımından uygunluğunu araştırmak için bir boşluk analizi yapılmıştır. Boşluk analizinde, bir istasyondaki ilk ve son gözlem tarihleri arasında veri olmayan gün sayısı belirlenmiş ve bir gözlem süreklilik oranı hesaplanmıştır. Gözlem sürekliliği uygun olan zaman aralıkları incelenerek modelleme dönemi belirlenmiştir. Ayrıca tüm istasyonların 2009 su yılından (1.10.2008) itibaren olmak üzere 2019 yılının sonuna kadar (31.12.2019) seçilen modelleme dönemi için referans veri doluluk oranları bulunmuştur.

Boşluk analizi sonucunda havzadaki tüm meteoroloji istasyonları için belirlenen SWAT modelleme dönemi referans veri doluluk yüzdeleri **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**'de verilmiştir. Veri doluluk oranı göreceli yüksek olan istasyonlar arasından Şekil 8'de gösterilen 10 adet meteoroloji istasyonu seçilmiş ve SWAT modelinde bunlara ait veriler kullanılmıştır. Zaman serilerindeki boşluklar, 'National Centers for Environmental Prediction (NCEP)' tarafından sağlanan Climate Forecast System Reanalysis (CFSR) isimli küresel iklim veri tabanından yararlanılarak doldurulmuştur. SWAT modeli, 1.10.2008 – 31.12.2019 tarih aralığı için 11 yıl 3 aylık bir modelleme dönemi için çalıştırılmıştır.

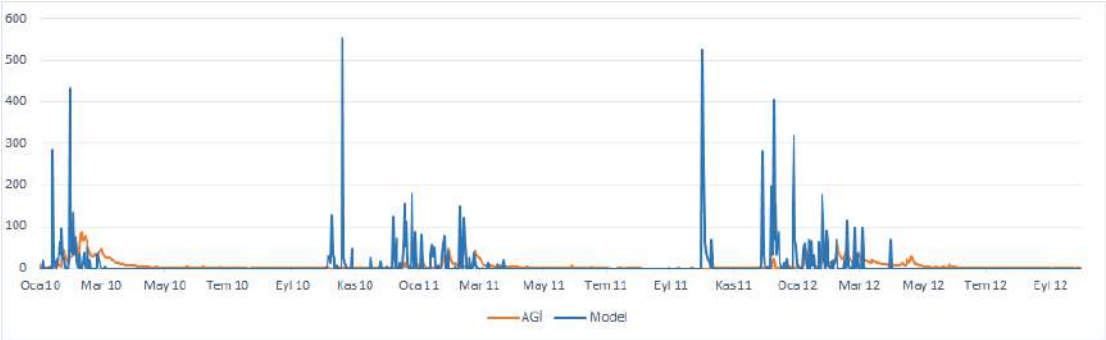
Sildi: Tablo

Tablo 1. Çalışma sahasındaki tüm meteoroloji istasyonlarının SWAT modelleme dönemindeki veri doluluk oranları (%) (SWAT modeli için seçilen istasyon numaralarının altı çizilidir)

İstasyon No.	17822	17854	18029	18030	18049	18439	18441	18447	18449	18599	17219	17749	730	19135
Yağış	96	100	63	62	63	51	53	53	53	42	26	90	0	20
Nem	87	90	51	53	53	41	42	44	42	25	91	81	0	0
Sıcaklık	96	100	63	62	63	51	53	53	52	34	99	90	0	18
Rüzgâr Hızı	100	100	100	76	77	0	99	99	0	0	100	0	0	0



Şekil 8. SWAT modelleme çalışması için belirlenen iklim istasyonları ve küresel veritabanı noktaları



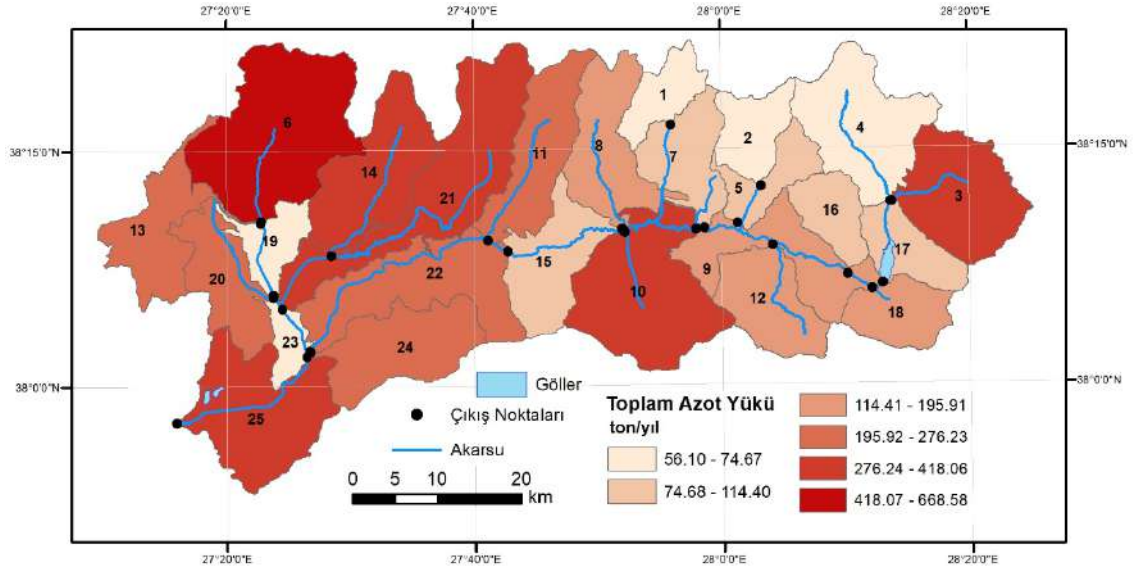
Şekil 9. Modelden elde edilen akışın ve akım gözlem istasyonunda ölçülen debinin karşılaştırılması

3. SONUÇ

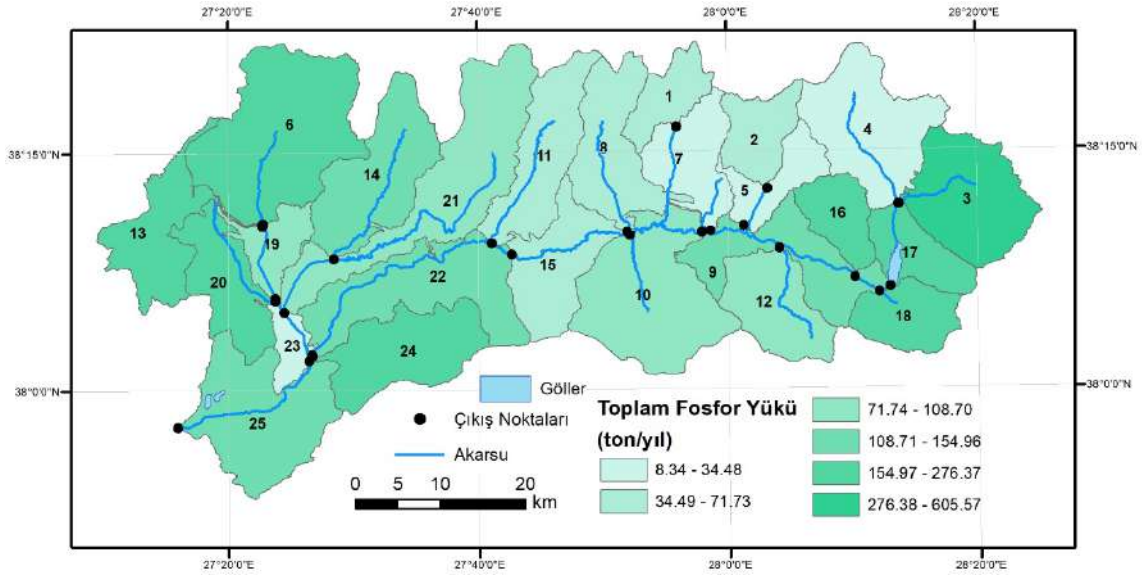
Modelin kalibrasyonunda, havza çıkışında kurulu olan D06-001 ve E06-001 numaralı istasyonlarda ölçülen günlük debi değerleri kullanılmıştır. Model kalibrasyonu için 7 yıllık veri (1.10.2008 – 30.9.2015) kullanılabilmiştir. Kalibrasyonda CN2, CH_K1, GWQMN, GW_REVAP, RCHRG_DP, REVAPMN, ESCO, SURLAG, GW_DELAY, SOL_AWC ve SOL_K model parametrelerin manuel olarak değiştirilerek model performans ölçütü sağlanmaya çalışılmıştır. Kalibrasyon sonucunda havza çıkışı için elde edilen hidrograf Şekil 9'da sunulmuştur. SWAT modelleme dönemi için günlük zaman adımlarıyla hesaplanan TN ve TP yayılı yüklerinin alt havzalar temelinde yıllık yüklere dönüştürülmesi sonucunda Şekil 10 ve Şekil 11'deki dağılım haritaları elde edilmiştir. SWAT model sonuçlarına göre birim yayılı yükler için TN yükünün 56,1 – 668,58 t/yıl, yıllık TP yükünün 8,34 – 605,57 t/yıl arasında değiştiği görülmektedir.

Biçimlendir

Sildi: Şekil 9



Şekil 10. Havzadaki toplam azot yükünün dağılımı



Şekil 11. Havzadaki toplam fosfor yükünün dağılımı

4. TARTIŞMA

Modelleme çalışması sonucunda Küçük Menderes Nehir Havzasında yayılı kaynaklardan gelen azot ve fosfor yükü her alt havza için farklı miktarlarda elde edilmiştir. 3, 6, 10, 14, 21 ve 25 numaralı alt havzalar toplam azot bakımından en yüksek kirlilik yüküne sahip olsa da toplam fosfor için bakıldığında Küçük Menderes Nehir Havzasının genelinde yüksek yük değerleri gözlenmiştir. Havza için yayılı kaynaklardan gelen toplam azot ve fosfor yükü, yönetilmesi zor olduğu için büyük bir baskı oluşturmaktadır. Bu baskının önüne geçmek için havzada tarım amaçlı kullanılan pestisit ve hayvansal gübrenin azaltılması, tarımsal faaliyetlerin, maden ve inşaat sahalarının kontrollü işletilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Model performansı ve tahmin doğruluğu, model parametrelerinin çalışmanın en son aşamasında otomatik kalibrasyon ile iyileştirilerek arttırılabilir. Böylelikle hem akarsu hidrografın gözlem verileri ile daha uyumlu hale gelebilecek hem de alt havzalarda oluşan yayılı yük değerlerdeki tahmin belirsizliği azaltılabilecektir.

KAYNAKÇA

[1] Ö. Sarı, «Aşağı Seyhan Havzası Hidrolojik Dinamiklerinin Swat Model Yaklaşımı ile Modellenemesi,» Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2018.

[2] Z. Akdoğan, A. Küçükdoğan ve B. Güven, «Yayılı Kirleticilerin Havzalardaki Taşınım Süreçleri: Antibiyotikler, Ağır Metaller Besi Maddeleri Üzerine Modelleme Yaklaşımları,» *Marmara Fen Bilimleri Dergisi,* pp. 21-31, 2015.

[3] «Küçük Menderes Havzası Nehir Havza Yönetim Planı Hazırlanması Projesi,» T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, 2019.

[4] J. G. Arnold, D. N. Moriasi, P. W. Gossman, G. C. Abbaspour, M. J. White, R. Srinivasan, C. Santhi, R. D. Harmel, A. van Griensven, M. W. Van Liew, N. Kannan ve M. K. Jha, «SWAT: Model use, Calibration and Validation,» *Transactions of the ASABE,* pp. 55-1491, 2011.

[5] A. Elçi, «Evaluation of nutrient retention in vegetated filter strips using the SWAT model,» *Water Science and Technology,* pp. 2742-2752, 2017.

[6] K. Güngör, N. Karakaya, F. Evrendilek, S. Akgül, O. Başkan, H. Cebel, H. J. Farhoud, O. Türkecan, S. Yaşar ve O. Gümüş, Spatiotemporal modeling of watershed nutrient transport dynamics: Implications for eutrophication abatement., *Ecological Informatics*, 2016.

[7] E. Bulut ve A. Aksoy, «Impact of fertilizer usage on phosphorus loads to Lake Uluabat,» %1 içinde *10th IWA International Specialized Conference on Diffuse Pollution and Sustainable Basin*, İstanbul, 2008.

[8] Z. Özcan, O. Başkan, H. Ş. Düzgün, E. Kentel ve E. Alp, «A pollution fate and transport model application in a semi-arid region: Is some number better than no number?,» *Science Of The Total Environment,* no. 595, pp. 425-440, 2017.

[9] E. Baltacı, «İnebolu Havzasında Yüzeysel Akış Ve Sediment Yükünün Tahmin Edilmesinde Swat Modelinin Uygulanması,» Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, 2019.

[10] Z. Özcan, «Evaluatıon Of The Best Management Practıces To Control Agrıcultural Dıffuse Pollutıon In Lake Mogan Watershed Wıth Swat Model,» Orta Doğu Teknik Üniverstesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2016.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, TÜBİTAK Öncelikli Alanlar Ar-Ge Projeleri Destekleme Programı (1003) tarafından 116Y415 numaralı ve "Alıcı Ortam Bazlı Deşarj Limiti Belirlenmesi – Küçük Menderes Havzası Örneği" başlıklı proje kapsamında desteklenmiştir. SWAT modeli girdi verisinin coğrafi bilgi sisteminde işlenmesinde yardımını esirgemeyen Ömer Visali Sarıkaya'ya (TÜBİTAK-MAM ÇTÜE) teşekkür ederiz.

TÜRKİYE GENELİ İÇİN UZUN DÖNEM ORTALAMA TOPLAM YAĞIŞ DAĞILIMININ TAHMİNİ İÇİN KULLANILAN YÜZEYSEL İNTERPOLASYON TEKNİKLERİNİN KANTİTATİF ANALİZİ

Behnam Khorrami[1], Orhan Gündüz[2]*

[1] Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, CBS Bölüm, İzmir, Türkiye
behnam.khorrami@ogr.deu.edu.tr
[2] İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Bölümü
orhangunduz@iyte.edu.tr

Özet

Tüm hidrometeorolojik parametreler gibi yağış da çoğunlukla noktasal olarak ölçülmektedir. Öte yandan pek çok mühendislik çalışmasında yağışın mekansal dağılımı ön plana çıkmakta ve noktasal ölçüm sonuçlarının buna uygun olarak hazırlanması gerekmektedir. Bu bağlamda, ölçülmüş noktasal verilerden süreklilik yüzeylerinin üretilmesi önem taşımaktadır. Bu çalışmada Türkiye genelindeki meteoroloji istasyonlarından elde edilen uzun yıllar yağış ölçümleri kullanılarak, farklı deterministik (kesin) ve stokastik (tahmini) mekansal interpolasyon algoritmaları yardımıyla, ülke geneli için yağış dağılım haritaları oluşturulmuştur. Elde edilen bulgulara göre kesin yöntemlerden daha iyi performans gösteren stokastik yöntemlerin arasında Ordinary Kriging en iyi sonuçları vermiştir. Ayrıca, bulgular Ordinary Kriging ve Simple Kriging tekniklerin sırasıyla Universal Kriging ve Disjunctive Kriging tekniklerine benzer sonuçlar ürettiğini de ortaya koymaktadır. İnterpolasyon işlemine yardımcı değişken(ler)in dahil edilmesi çoğu zaman sonuçların iyileşmesine neden olabilmektedir. Bu çalışma kapsamında ikincil değişken olarak tahminlerin kesinliğini arttırmak amacıyla yükseklik ve hava sıcaklığı değerleri kulalnılmıştır. Elde edilen bulgular, yükselti destekli tek değişkenli Ordinary Co-Kriging yöntemine dayalı interpolasyon yönteminin uygulanan tüm diğer interpolasyon yöntemleri arasında en doğru sonucu verdiğine işaret etmektedir. Çalışma sonuçları ayrıca, Türkiye genelinde yürütülen bu gibi bir çalışmada, uzun dönem yıllık toplam yağış yüzeylerinin tahmininde uzun yıllar yıllık ortalama hava sıcaklığının uygun bir yardımcı değişken olmadığını da göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: *Yağış, süreklilik yüzeyi, interpolasyon, jeoistatistiksel yöntemler, CBS, Türkiye.*

Abstract

Like all hydrometeorological parameters, precipitation is often measured pointwise. On the other hand, in many engineering studies, the spatial distribution of precipitation becomes a concern and point measurement results need to be prepared accordingly. In this context, it is important to produce continuity surfaces from measured point data. In this study, rainfall distribution maps have been created using long term rainfall measurements obtained from meteorological stations in Turkey with different deterministic (exact) and stochastic (estimated) spatial interpolation algorithms. According to the findings, Ordinary Kriging has given the best results among the stochastic methods that overall perform better than the exact methods. Furthermore, the findings revealed that Ordinary Kriging and Simple Kriging techniques produced results similar to Universal Kriging and Disjunctive Kriging techniques, respectively. Inclusion of the auxiliary variable(s) in the interpolation process can often lead to improved results. In this study, altitude and air temperature values were used as a secondary variable to increase the accuracy of the forecasts. The findings indicated that the interpolation method based on the elevation-supported univariate Ordinary Co-Kriging method gives the most accurate result among all other interpolation methods applied. Study results also revealed that long-term annual surface temperature averages were not suitable as an auxiliary variable for improving spatial interpolation of precipitation.

Keywords*: Precipitation, continuity surface, interpolation, geostatistical methods, GIS, Turkey.*

1. GİRİŞ

Yağış en temel hidrolojik parametrelerden biridir. Özellikle yarı kurak bölgelerde toprak neminin ve her türlü antropojenik ihtiyacın ana kaynağıdır. Yağış haritaları, su kaynakları yönetimi ve hidrolojik simülasyon gibi geniş bir uygulama alanına sahiptir (Feki vd., 2012). Yağış gözlemleri, hidroloji, meteoroloji, jeoloji, klimatoloji ve çevresel izleme ve analiz için çok önemlidir. Bununla birlikte, özellikle insan aktivitesinin olmadığı alanlarda, bu analizler için gerekli hidrometeorolojik veriyi (yağış, sıcaklık, rüzgar vb.) temin edecek istasyonlar çoğu zaman bulunmamaktadır. Bu gibi durumlarda kullanılan en yaygın yöntem, mevcut istasyonlarda elde edilen verilerin mekansal interpolasyonu sonucunda veri olmayan noktalardaki değerlerin kestirimine gitmektir. Bu bağlamda, meteorolojik parametrelerinin mekansal interpolasyonu çoğu hidrolojik çalışma için önemli bir aşama olarak kabul edilmektedir (Lam vd., 2015; Xu vd., 2015). Bu bağlamda, hidrolojik ve çevresel modelleme çalışmaları için gereken belirli bir bölgedeki ölçülmemiş noktalardaki meteorolojik parametre değerlerinin tahmin edilebilmesi için noktasal bazda ölçülmüş istasyon verileri kullanılmaktadır.

Yağışın interpolasyonu neticesinde elde edilen sonuçlar, kullanılan interpolasyon yöntemi, meteorolojik istasyonların sayısı ve mekansal dağılımı gibi parametrelerden etkilenmektedir (Zhang vd., 2016). Mekansal yağış dağılımlarını üretmek için deterministik yöntemlerden stokastik (jeoistatistiksel) yöntemlere kadar farklı interpolasyon algoritmaları kullanılabilmektedir. Bu teknikler farklı kavramlara dayanmakta ve buna bağlı olarak da farklı sonuçlar üretmektedir. Kullanılan farklı interpolasyon yöntemlerinin doğruluğunu kontrol etmek için hesaplamalı istatistiklerden yararlanılmaktadır. Yağışın interpolasyonu için kullanılan iki temel yöntem olan deterministik ve jeoistatistiksel yöntemlerin analizi sonucunda dünya genelindeki pekçok çalışmada [ör. Javadi (2017), Vicente-Serrano vd. (2003), Da Silva vd. (2018), Hadi ve Tombul (2018), Mendez ve Calvo-Valverde (2016)] jeoistatistiksel yöntemlerin genel performansının deterministik yöntemlerinkinden daha iyi olduğu görülmüştür.

Yağışın interpolasyonununda yaygın olarak kullanılan jeoistatistiksel kriging yönteminin bir varyantı olan co-kriging yaklaşımı, kriging interpolasyon yöntemlerinin performansını artırmak için geliştirilmiş ileri seviye bir interpolasyon algoritmasıdır. Bu yaklaşımda, temel değişken olan yağışa ek olarak bununla ilişkili olabileceği öngörülen ikincil veya yardımcı değişkenler tanımlanmakta ve bu değişkenler interpolasyon performansını artırmak için birincil değişkenle birlikte kullanılmaktadır (Khorrami ve Gündüz, 2019). Dünyada yağışların interpolasyonu ile ilgili yapılan çalışmaların pek çoğunda (Vicente-Serrano vd., 2003; Shi vd., 2016; Wang vd. 2003), yağış değerlerinin tahminini arttırmak için sadece bir yardımcı değişkenin (çoğunlukla istasyonların deniz seviyesinden yüksekliği) kullanıldığı tek değişkenli co-kriging yöntemi kullanılmıştır. Bu noktadan hareketle bu bildiride sunulan çalışmada, ana meteoroloji istasyonlarının Türkiye genelindeki yağış ölçümlerinin yıllık toplamını tahmin etmek için en iyi interpolasyon yöntemi belirlemek amacıyla farklı mekansal interpolasyon yöntemleri incelenmiş, farklı yardımcı değişkenlerin yağış tahminlerini artırmadaki etkisini görmek için de tek değişkenli ve çok değişkenli co-kriging çalışmalar yürütülmüş ve tüm yöntemlerinin kantitatif performansı incelenmiştir.

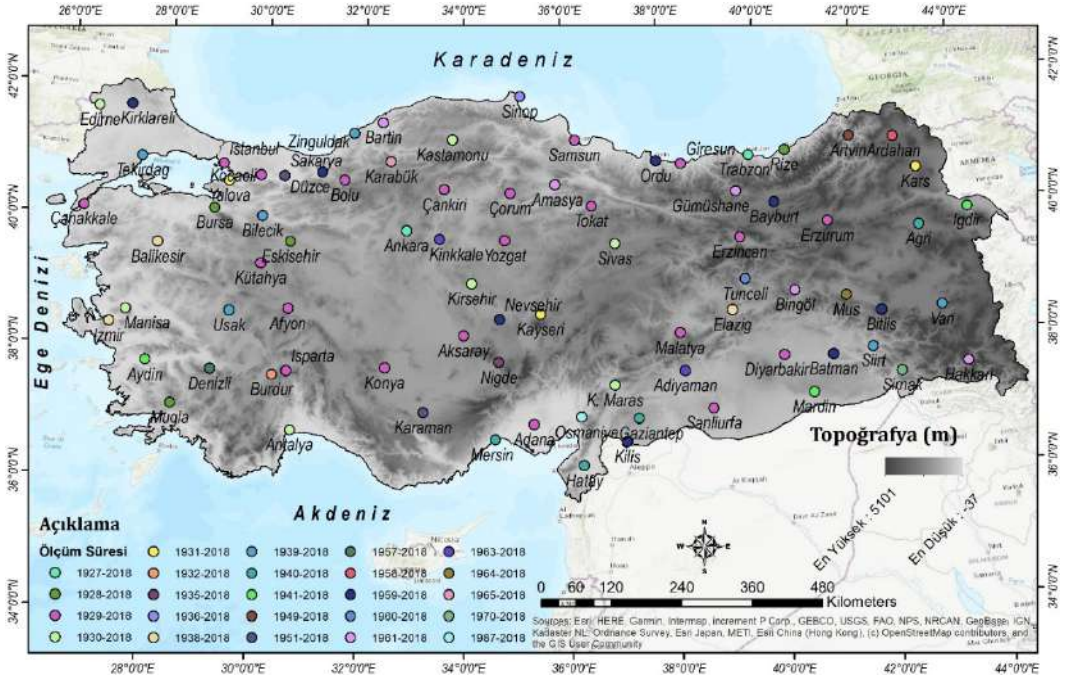
2. METODOLOJİ VE YÖNTEM

2.1. Çalışma Alanının Özellikleri ve Kullanılan Veri Seti

Türkiye, Asya ve Avrupa kıtalarında yer alan ve pekçok iklim tipinin aynı anda gözlenebildiği bir coğrafi konuma sahiptir. Gerek yüzölçümü gerekse nüfus bakımından bölgenin büyük ülkeleri arasında yeralmaktadır. Ülke, deniz seviyesinden -37 ila 5101 m aralığında değişen bir topografyaya sahiptir. İklim koşullarının oldukça ılıman olduğu Akdeniz iklim kuşağında yer almasına rağmen, topoğrafik ve morfolojik özellikleri sebebiyle çok farklı alt iklim tiplerinin oluştuğu bir coğrafyada bulunmaktadır (Sensoy, 2004). Özellikle kıyı bölgeleri daha ılıman bir iklime sahipken, İç Anadolu platosu daha az yağış alan ve daha ekstrem koşulların yaşanabildiği karasal iklim özellikleri göstermektedir. Üç tarafı denizlerle çevrili ülkenin kıyı bölgelerinin çoğunda tipik Akdeniz iklimi hakimken, Alp-Himalaya dağ kuşağının bir parçası olan dağlar arasında kalan iç kesimlerinde tipik bozkır iklimi hüküm sürmektedir (Ediger ve Kentel, 1999). Ülkenin yıllık yağış toplamlarının ortalama değeri yaklaşık 639 mm olup, söz konusu yağışın %40'ının kış aylarında, %26'sının ise bahar aylarında gerçekleştiği görülmektedir (Türkeş, 1996).

Türkiye'de 1927'den 2018'e kadar olan uzun süreli aylık ve yıllık yağış toplamları ile sıcaklık ortalamaları Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) kayıtlarından derlenmiştir. Veriler, her ili temsil eden ana istasyonda yapılan ölçümlerden elde edilmiş olup, bu şekilde derlenen veriler ile ülke genelinde toplam 81 meteoroloji

istasyonuna ait yağış ve sıcaklık zaman serileri elde edilmiştir. İstasyonların mekansal dağılımı ve veri periyotları ile verilerin tanımlayıcı istatistiki bilgileri sırasıyla Şekil 1 ve Tablo 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Türkiye'nin Sayısal Yükselti Modeli Haritası ve Çalışmada Kullanılan Meteoroloji İstasyonların Mekansal Dağılımı

Tablo 1. Verilerin Tanımlayıcı İstatistikleri

İstatistikler	Yıllık toplam yağış (mm)	Yıllık toplam yağışın logaritması	Yıllık Ortalama Sıcaklık (°C)
En Düşük	257,20	5,5479	3,90
En Yüksek	2296,10	7,739	19,20
Ortalama	639,35	6,3788	13,13
Ortanca	564,00	6,34	13,30
Std. Sapma	299,59	0,38897	3,24
Basıklık	13,05	3,6463	3,29
Çarpıklık	2,49	0,65174	-0,43
3. Kartil	733,88	6,60	14,93

2.2. Deterministik İnterpolasyon Yaklaşımı

Deterministik interpolasyon yöntemleri, benzerlik derecesine veya düzleme derecesine bağlı olarak gözlemlenen noktalardan yüzeyler oluşturur (Childs, 2004). Deterministik interpolasyon teknikleri kesin veya kesin olmayan interpolatörler olabilir. Kesin interpolatörler, kontrol noktalarından geçen bir yüzey oluşturken, kesin olmayan interpolatörler ise bilinen noktadan farklı olan noktadaki bir değeri tahmin eder. Deterministik yöntemler dört tekniğe ayrılır:

2.2.1. Ters mesafe ağırlıklandırma (IDW)

Ters mesafe ağırlıklandırma (IDW), Shepard (1968) tarafından önerilen deterministik bir yöntemdir. Bu yöntem kapsamında tahminleri gerçekleştirmek için ilgilenilen noktanın, gözlemin (veri noktasının) pozisyonununa olan mesafesi arttıkça, interpolasyon değeri üzerindeki etkisinin düşük olacağını varsayar (Da Silva vd., 2018). IDW'nin genel denklemi şu şekilde ifade edilir:

$$\hat{Z}_{(S0)} = \sum_{i=0}^{N} \lambda_i Z_{(Si)} \quad \text{Eş.1}$$

Burada $\hat{Z}_{(S0)}$ değeri S_0 noktasında olan tahmin değerini, N kullanılan gözlem nokta sayısını, $Z_{(Si)}$ gözlem değerini ve λ_i de nokta ağırlığını temsil etmektedir. Noktaların ağırlığı ise aşağıdaki formül ile hesaplanır:

$$\lambda_i = \frac{d_{i0}^{-P}}{\sum_{i=1}^{N} d_{i0}^{-P}} \quad \text{Eş. 2}$$

Burada P interpolasyonun gücünü, di ise tahmini s_0 noktası ile bilinen s_i noktası arasındaki uzaklığı temsil etmektedir.

2.2.2. Radyal Temel Fonksiyonları (RBF)

Radyal temel fonksiyonları (RBF), aynı noktada ölçülenlerle tahminlerin aynı değerleri alacağı şekilde bir yüzey oluşturulmasını baz alan ve her ölçülen noktadan geçmeyi gerektiren deterministik bir interpolasyon yöntemidir. Ancak bu yöntem ile öngörülen değerler, ölçülen değerlerin minimumunun altında veya maksimumunun üzerinde olabilmektedir (Li vd., 2007 ve Li vd., 2011). RBF yöntemi, beş kesin deterministik interpolasyon tekniğinden oluşan bir ailedir. Bu teknikler: Thin Plate Spline (TPS), spline with tension (SPT), completely regularized spline (CRS), multi-quadratic function (MQ and inverse multi-quadratic function (IMQ) olarak tanımlanmaktadır. RBF, yüzeyin toplam eğriliğini en aza indirirken ölçülen veri değerlerinden geçen bir yüzeye uydurur (Bhunia vd., 2018). RBF yönteminde ölçülmemiş değerler aşağıdaki formüle göre hesaplanır:

$$S(y) = \sum_{i=1}^{N} \lambda_i \varphi(\|y - x_i\|) \quad \text{Eş.3}$$

Burada λ_i katsayıları, x_i merkez noktasını, φ temel fonksyonu ifade etmektedir (Üstüntaş, 2006).

2.2.3. Küresel Polinom İnterpolasyonu (GPI)

Küresel Polinom İnterpolasyon (GPI) yöntemi, örneklenmiş noktalarına matematiksel bir fonksiyonla tanımlanan düz bir yüzey uydurur (Apaydın vd., 2004). Aykırı (outlier) değerlere karşı aşırı derecede hassas olan bu yöntem,bazı fiziksel süreçleri tanımlayan düşük dereceli polinomları kullanarak yavaşça değişen bir yüzey oluşturur (Johnston vd., 2001).

2.2.4. Yerel Polinom İnterpolasyonu (LPI)

Global yöntemler bilinmeyen bir değeri tahmin etmek için bilinen tüm değerleri kullanırken, bu metotda olduğu gibi yerel yöntemler, bilinmeyen bir değeri değerlendirmek için yalnızca belirli sayıda ve en yakın komşularını kullanılır (Ali vd., 2012). Daha sonra komşular üst üste gelebilir ve komşunun merkezindeki yüzey değeri öngörülen değer olarak tahmin edilir. LPI, kısa menzil değişimini yakalayan yüzeyler üretme yeteneğine sahiptir (ESRI, 2001).

2.3. Jeostatistiksel İnterpolasyon Yaklaşımı

Jeoistatistiksel yöntemler, interpolasyon sürecinde örnekleme noktalarının istatistiklerinin hesaplanması ve bu bilginin verinin mekansal dağılımının belirlenmesinde kullanılması prensibine dayanır. Bu yaklaşımın temeli, tahminlerin kalitesinin hata tahminlerine veya interpolasyon sırasında üretilen belirsizlik yüzeylerine dayanılarak değerlendirilebilmesidir (Armstrong, 1989). Jeoistatistiksel teknikler, doğal olaylarda gözlemlenen mekansal varyasyonların en azından bir kısmının mekansal otokorelasyon ile rastgele işlemlerle modellenebileceğini ve mekansal otokorelasyonun açıkça modellenmesinin gerektirdiğini varsayar. Jeoistatistiğin tüm yöntemleri kriging yönteminin alt dallarıdır. Nokta değerlerinin veya blok ortalamalarının en iyi (veya minimum değişkenlik) doğrusal yansız tahminlerini elde etmenin bir yöntemidir (Journel ve Huijbregts, 1978). Kriging yöntemi, Basit Kriging (SK), Sıradan Kriging (OK), Universal Kriging (UK),

Disjunctive Kriging (DK), Multi-Gauss Kriging, Lognormal Kriging, Co-Kriging ve İndikatör Kriging gibi farklı teknikler içermektedir (Wackernagel, 2003). Bu çalışmada dört Kriging türü (SK, OK, UK, DK) ve bunların Co-Kriging versiyonları incelenmiştir.

2.3.1. Simple (Basit) Kriging (SK)

Basit kriging'in varsayımı durağanlık teorisidir. Bu teori, ortalama ve varyansın sabit kaldığını ve tüm konumlarda bilindiğini belirtir (Goovaerts, 1997). Bu Kriging türünde, verilerin ortalaması bilinir ve koordinatlardan bağımsız olarak kabul edilir. Bilinmeyen bir noktadaki değişken, aşağıdaki eşitlik kullanılarak tahmin edilir (Ligas ve Kulczycki, 2010):

$$\widehat{\boldsymbol{Z}}_{(\boldsymbol{X0})} = \boldsymbol{m} + \sum_{\boldsymbol{i=1}}^{\boldsymbol{n}} \boldsymbol{\lambda_i} \left(\boldsymbol{Z}_{(\boldsymbol{Xi})} - \boldsymbol{m} \right) \qquad \text{Eş.4}$$

Burada m; değişkenin ortalaması, λ krigin katsayısı ve Z_((Xi)) ise ana değişkenin gözlenen değerini temsil etmektedir.

2.3.2. Ordinary (Sıradan) Kriging (OK)

Sıradan kriging, interpolasyon ile lokal tahmin sağlayan doğrusal bir jeoistatistiksel yöntemidir. Sıradan Kriging, hata farkının en aza indirildiği mekansal bir tahmin yöntemi olup, bölgesel değişkenlerin ortalamasının (m) bilinmediği yerlerde durağan olduğunu varsaymaktadır (Romman vd., 2019).

2.3.3. Universal (Evrensel) Kriging (UK)

Bu yöntem verilerde bir eğilim olduğunda kullanılır. Yöntem tahminle ilgili hatayı en aza indirirken, verilerdeki yerel eğilimleri dikkate alır (Bostan, 2017). Bu şekilde, verilerdeki mevcut süreç tanımlanır ve kaldırılır. Tahmin, azaltılmış verilerin geri kalanına dayanarak gerçekleştirilir. Son olarak, düşülen trendin değerleri tahmini değerlere eklenir.

2.3.4. Disjunctive (Ayırıcı) Kriging (DK)

Disjunctive Kriging, doğrusal olmayan bir yöntem olup parametriktir. Disjunctive kriging, genel olarak doğrusal kriging metotlarına göre bir gelişme sunan bir doğrusal olmayan kriging formunu temsil eder (Yates vd., 1986). Bu yöntem karar verme için çok değerli olup hem tahmini hem de olasılıkları belli bir limitten daha fazla ve daha az belirleyebilmektedir.

2.3.5. Co-Kriging (CK)

Co-Kriging, örneklenmemiş yerleri tahmin etmek için tek değişkenli kriging yönteminin potansiyelini arttırmak için yardımcı verilerin (varsa) kullanıldığı, optimize edilmiş bir kriging metodudur. Co-Kriging, ana değişkene ek olarak bir veya daha fazla yardımcı değişkeni kullanarak doğrusal kombinasyon ile interpolasyon gerçekleştirir (Xu vd., 2015).

2.4. Çapraz Doğrulama ve Performans Değerlendirmesi

Farklı interpolasyon yöntemlerinin performansını değerlendirmek ve karşılaştırmak için çapraz doğrulama yöntemi uygulanmıştır (Isaaks ve Srivastava, 1989). Bu prosedür için, veri kümesinden bir gözlem kaldırılır ve çıkarılan değerin xi konumunda bir tahmin üretmek için interpolasyon yapılır (Clark, 2000). Elde edilen interpolasyon sonucu kaldırılan gözlemle karşılaştırılarak performans değerlendirilmesi gerçekleştirilir. Bu çalışmada farklı interpolasyon tekniklerinin doğruluğu, RMSE (Kök Ortalama Kare Hatası), MBE (Ortalama Yanlı Hata), MAE (Ortalama Mutlak Hata), ME (Model Verimliliği), D (Willmott Anlaşma İndeksi), R (Korelasyon Katsayısı) ve R2 (Regresyon Katsayısı) gibi bazı istatistiksel performans indikatörleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Hata istatistiklerinin düşük/yüksek değerleri mekansal interpolasyonun daha yüksek doğruluğunu gösterir. Bu çalışmada kullanılan performans değerlendirme parametreleri ve kriter değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmadaki mekansal interpolasyon işlemleri bir coğrafi bilgi sistemi yazılımı olan ArcGIS platformunda yer alan Geostatistical Analyst eklentisi ile gerçekleştirilmiştir. Kullanılan her mekansal interpolasyon tekniği, bilinmeyen değerleri tahmin etmek için çeşitli farklı özelliklere sahiptir. İnterpolasyon ile yağış yüzeylerinin oluşturulması sırasında kullanılan her metoda özgü bazı parametreler bulunmaktadır. Bu çalışmada kullanılan araç, kullanıcılara bazı başlangıç doğrulama istatistikleri sağlamakta ancak en iyi yöntemin seçimi için bazı ek parametreler gerektirmektedir. Çalışmada 81 ile ait ana meteoroloji istasyonunda uzun yıllar boyunca toplanmış aylık ve yıllık yağış toplamlarının ortalamalarının interpolasyonu sonucunda ülke genelinde zamana ortalamalı bir yağış yüzeyi oluşturulmuştur. Farklı yöntemlerle elde edilen farklı yağış yüzeylerinin doğrulukları, çapraz doğrulama yöntemi ile ve Tablo 2'de sunulan performans kriterleri baz alınarak yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında deterministik yöntemler olarak IDW, RBF, LPI ve GPI kullanılırken, jeoistatistiksel yöntemler olarak da SK, OK, UK, DK ve bunların co-kriging versiyonları kullanılmıştır.

Tablo 2. Bu Çalışmada Kullanılan Doğrulama Parametreleri

Parametre	Denklem	Kriterler
RMSE	$\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left[Z(s_i)-\check{Z}(s_i)\right]^2}$	En Düşük Değer
MBE	$\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left[Z(s_i)-\check{Z}(s_i)\right]$	En Düşük Değer
MAE	$\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left\lvert Z(s_i)-\check{Z}(s_i)\right\rvert$	En Düşük Değer
ME	$1-\frac{\sum_{i=1}^{n}\left[Z(s_i)-\check{Z}(s_i)\right]^2}{\sum_{i=1}^{n}\left[\check{Z}(s_i)-\bar{Z}\right]^2}$	En Yüksek Değer
D	$1-\frac{\sum_{i=1}^{n}\left[Z(s_i)-\check{Z}(s_i)\right]^2}{\sum_{i=1}^{n}\left[\lvert Z(\acute{s}_i)\rvert+\lvert\check{Z}(\acute{s}_i)\rvert\right]^2}$	En Yüksek Değer
R and R ^{2}	$\frac{\left[\sum_{i=1}^{n}\{Z(s_i)-\bar{Z}\}\{\check{Z}(s_i)-\bar{Z}\}\right]^2}{\sum_{i=1}^{n}\{Z(s_i)-\bar{Z}\}^2\sum_{i=1}^{n}\{\check{Z}(s_i)-\bar{Z}\}^2}$	En Yüksek Değer

$\mathbf{Z(s_i)}$: Tahmin edilmiş değer, $\check{Z}(\mathbf{s_i})$: Gözlemlenen değer, $\bar{\boldsymbol{Z}}$: Gözlemlenen değerlerin ortalaması, $\mathbf{Z(\acute{s}_i)} = Z(s_i)-\bar{Z}$ ve $\check{Z}(\acute{\mathbf{s}}_\mathbf{i}) = \check{Z}(s_i)-\bar{Z}$.

Jeoistatistiksel yaklaşımda, kullanılan yönteme göre semivariogram modellerinin incelenmesi ve analizi yapılmış ve ölçüm bulunan noktalara uyacak şekilde en iyi modelin seçilmesi gerçekleştirilmiştir. Jeoistatistiksel yaklaşım kullanılarak yapılan interpolasyon işleminde her yönteme dair semivaryogram modeli tipi ve model parametreleri Tablo 3'de gösterilmiştir.

Her yöntem için en uygun parametrelerin seçiminin ardından, interpole edilen yüzeyler oluşturulmuş ve gözlemlenen ve tahmin edilen değerler kullanılarak her bir tahmini yüzey için çapraz doğrulama yapılmıştır. Bunu takiben de her metodun yağışın interpolasyonu esnasındaki performansı ortaya çıkartılmıştır. Bu çalışmada interpolasyon sonuçlarını karşılaştırmak için Tablo 2'de verilen ortak parametreler kullanılmıştır. Elde edilen çapraz doğrulama bulguları Tablo 4'de sunulmaktadır.

Tablo 3. Semivariogram Modellerinin Özellikleri

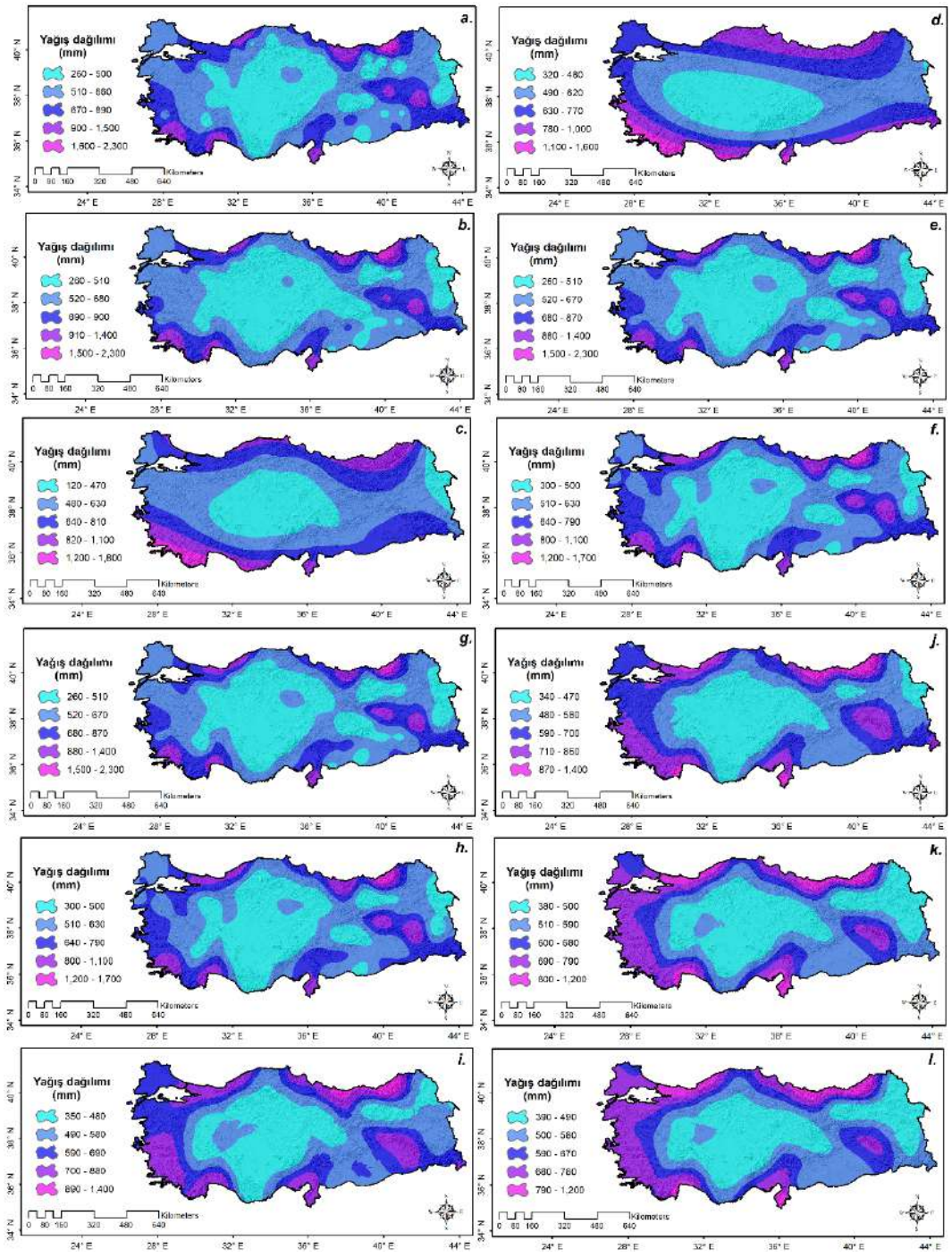
İnterpolasyon	Yöntem	Model	Eşik (Sill)	Etki Mesafe (Nugget)	Mesafe (Range)
Jeoistatistiksel Yaklaşım	OK	Hole Effect	0,0909	0,043	186107,2
	SK	Rational Quadratic	0,1644	0,0003	278539,5
	UK	Hole Effect	0,0909	0,043	186107,2
	DK	Rational Quadratic	0,1644	0,0003	278539,5
	OCK*1	Hole Effect	0,0647	0,0777	239907,3
	OCK*2	Gaussian	0,0816	0,0644	190806,6
	SCK*1	Gaussian	0,0786	0,0678	197572,7
	SCK*2	Gaussian	0,0715	0,0749	211833,4
	UCK*1	Hole Effect	0,0647	0,0777	239907,3
	UCK*2	Gaussian	0,0816	0,0644	190806,6
	DCK*1	Gaussian	0,0786	0,0678	197572,7
	DCK*2	Gaussian	0,0715	0,0749	211833,4

Açıklama: *1 ve *2 CoKriging metotlarının sırasıyla tek ve çift değişkenli olduğunu ifade etmektedir.

Elde edilen sonuçlar inclendiğinde jeoistatistik yaklaşımın deterministik yaklaşımdan daha iyi performansa sahip olduğu görülmektedir. Jeoistatistiksel yöntemler arasında ise OK ve SK'nin performansı sırasıyla UK ve DK'ye benzediği gözlenmektedir. Bu yüzden Türkiye genelinde bir yağış dağılımı hesaplanması gerektiğinde tüm modeller yerine bu ikili gruplardan birer tanesinin denenmesinin yeterli olacağı tespit edilmiştir. Doğruluk değerlendirme tablosuna göre de OK sonuçlarının SK'dan daha tatmin edici olduğu gözlenmiştir.

Kriging sonuçlarının doğruluğunu artırmak için Co-kriging yaklaşımı uygulanmış ve yardımcı değişkenler olarak istasyonların yükseklik değerleri ve istasyonlarda ölçülmüş ortalam sıcaklık ölçümleri entegre edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre tek değişkenli Ordinary Cokriging (OCK*1), en düşük RMSE ve MAE ve en yüksek ME, R ve R2 değerleri alarak diğer yöntemler arasında en yüksek doğruluğa sahip yöntem olarak öne çıkmıştır. Ancak, MBE ve D parametrelerine göre bu yöntemin performansı da pek tatmin edici bulunmamıştır. Wilmot'un OCK*1 için D değeri, UCK*1 ve OCK*2'den daha düşük olan 0,66'dır. OCK*1 için MBE değeri, EBK, OK ve UK yöntemlerinden daha düşük ve -4,88'dir. Tüm kriging yöntemlerinin çok değişkenli (CK) varyantları, yüzey topoğrafiyasının yağış tahmininde destekleyici rolü nedeniyle en iyi performansı göstermektedir.

Sonuçlar ayrıca Türkiye genelinde hava sıcaklığı değerlerinin CK yöntemi kapsamında ikincil bir değişken olarak kullanılmasının, tahminlerin doğruluğunun arttırmasında katkı sağlamadığını da ortaya koymuştur. Bu durumun temel olarak eldeki verilerde yağış ile sıcaklık arasındaki negatif korelasyonun bir sonucu olabileceği düşünülmektedir. Bu durum, yıllık sıcaklık ortalamalarının yağış üzerinde pozitif bir etkisinin olmadığı şeklinde de yorumlanabilir. Çalışmada kullanılan farklı interpolasyon yöntemlerinden elde edilen Türkiye'nin toplam yıllık yağış yüzeyleri Şekil 2'de gösterilmektedir. Metotların verdiği farklı dağılımlar ve sonuçlardaki değişkenlikler, interpolasyon metodu seçiminde istatistiksel performans kriterlerinin önemine işaret etmektedir. Mekana dağınık yağış verilerinin kullanılması gereken tüm çalışmalarda ilgili performans kriterlerinin en iyi sonucu verdiği yöntemin kullanılması gereklidir. Aksi taktirde elde edilecek sonuçların doğruluğu ile ilgili sorunlar ortaya çıkabileceği açıktır.



Şekil 2. Kullanılan Yöntemlere Göre Üretilmiş Ortalama Toplam Yağış Dağılımı Haritaları: IDW (a), RBF (b), LPI (c), GPI (d), DK (e), UK (f), SK (g), OK (h), OCK1 (i), OCK2 (j), SCK1 (k) ve SCK2 (l).

Tablo 4. Farklı İnterpolasyon Yöntemlerinin Performans Değerlendirme Sonuçları

	Yöntem	Özellikler	RMSE	MBE	MAE	ME	D	R	R^2
Deterministik	IDW	Power : 3	277,7896	1,3344	180,9320	0,0738	0,5508	0,3831	0,1467
	RBF	Model : Completely Regularized Spline	275,8860	-0,0567	177,1786	0,0864	0,5556	0,3992	0,1594
	GPI	Order of Polynomial : 3	285,5790	3,8323	202,0980	0,0211	0,5496	0,3460	0,1197
	LPI	Kernel: Epanechnikov	278,9380	26,1078	196,6271	0,0661	0,4670	0,2751	0,0757
Jeoistatistiksel	OK	Model : Hole Effect	262,3474	-7,0312	168,2651	0,1739	0,5577	0,4772	0,2277
	SK	Model : Rational Quadratic	263,2423	-0,8055	170,0294	0,1683	0,5449	0,4695	0,2204
	UK	Kernel: Exponential Model : Hole Effect	262,3474	-7,0312	168,2651	0,1739	0,5577	0,4772	0,2277
	DK	Model : Rational Quadratic	263,2423	-0,8055	170,0294	0,1683	0,5449	0,4695	0,2204
	OCK[*1]	Model : Hole Effect	244,6534	-4,8897	160,6710	0,2816	0,6648	0,5747	0,3302
	OCK[*2]	Model : Gaussian	245,8591	-4,4137	160,0110	0,2745	0,6742	0,5642	0,3184
	SCK[*1]	Model : Gaussian	251,5718	-0,4760	169,5365	0,2404	0,6253	0,5376	0,2890
	SCK[*2]	Model : Gaussian	254,6503	-1,1116	171,9656	0,2217	0,6117	0,5203	0,2707
	UCK[*1]	Kernel: Exponential Model : Hole Effect	244,6534	-4,8897	160,6710	0,2816	0,6648	0,5747	0,3302
	UCK[*2]	Kernel: Exponential Model : Gaussian	245,8591	-4,4137	160,0110	0,2745	0,6742	0,5642	0,3184
	DCK[*1]	Model : Gaussian	251,5718	-0,4760	169,5365	0,2404	0,6253	0,5376	0,2890
	DCK[*2]	Model : Gaussian	254,6503	-1,1116	171,9656	0,2217	0,6117	0,5203	0,2707

*[1]: Tek Değişkenli
*[2]: Çift Değişkenli

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Noktasal yağış ölçümlerinin süreklilik yüzeylerine dönüştürülmesi hidrolojide çeşitli modelleme uygulamaları için çok önemli bir gerekliliktir. Deterministik veya stokastik mekansal interpolasyon, hedef noktaların yakınındaki sınırlı örneklenmiş noktalara dayalı olarak örneklenmemiş nokta değerlerini tahmin etmek için yaygın olarak kullanılan bir yaklaşımdır. Deterministik interpolasyon yöntemleri, sadece noktalar arasındaki mesafeye veya düzeltme derecesine göre tahminler yaparken, jeoistatistiksel interpolasyon yöntemleri veri noktalarının yapısını da tahmin sürecinde dikkate almaktadır. Veri setinin yapısını ve istatistiksel özelliklerini de dikkate alan bu yöntem günümüzde yağış dağılımlarının oluşturulmasında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışmada Türkiye'deki uzun yıllar yağış ortalamalarının mekansal dağılımlarının tespiti için bir analiz gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla 81 istasyonda noktasal olarak kaydedilmiş yağış ve sıcaklık ölçümlerinin uzun dönem aylık ve yıllık ortalamaları kullanılmıştır. Sonuçlar, jeoistatistiksel yaklaşımın deterministik yaklaşımdan daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymuştur. Elde edilen bulgular, sıradan kriging yönteminin (OK) Türkiye'deki ortalama yıllık toplam yağış için en iyi tek değişkenli interpolatör olduğunu ortaya koymuştur. Türkiye'nin değişken topografyası, yağışların oluşma patterni ve ülke genelindeki hakim iklimsel alt bölgelerin varlığı, analizi güçleştirmekte ve anlamlı sonuçların tüm ülke genelinde ortaya konulmasında zorluklar yaratmaktadır.

Ayrıca, yağış ve istasyon rakımı arasındaki korelasyonun çok yüksek olmaması, çok değişkenli interpolasyon yöntemlerinin tahmin performansını arttırmakla birlikte dünyadaki benzerlerine nazaran artışın daha düşük

kalmasına neden olmaktadır. Sonuçlar, istasyon rakımının yardımcı değişken olarak kullanıldığı sıradan co-kriging yönteminin (OCK) de en iyi çok değişkenli interpolatör olduğunu göstermektedir. OCK yöntemine, yağış ile daha yüksek korelasyona sahip diğer yardımcı değişkenlerin dahil edilmesiyle tahminlerin daha da iyileştirileceği öngörülmektedir.

Sonuçların daha da iyileştirilmesi için birden fazla yardımcı değişken kullanımı da söz konusu olabilmektedir. Yağış üzerinde etkisi olduğu düşünülen diğer etkenlerin (örneğin bitki örtüsünün bir göstergesi olan NDVI değeri gibi) de interpolasyon sürecine dahi edilmesinin sonuçları daha da iyileştirebileceği düşünülmektedir. Ayrıca Küresel İlkim Modelleri'nden elde edilecek Re-analiz verilerinin de kullanılarak, çok değişkenli entegre bir interpolasyon yönteminin gerliştirilmesi de mümkündür. Bu çalışmanın bir devamı olarak söz konusu gelişmiş entegre interpolasyon yaklaşımına dönük çalışmalar yapılması hedeflenmiştir.

Kaynakça

[1]. Ali, S. M., Mahdi, A. S., & Shaban, A. H. (2012). Wind speed estimation for Iraq using several spatial interpolation methods. environmental protection, 1, 2.

[2]. Apaydin, H., Sonmez, F. K., & Yildirim, Y. E. (2004). Spatial interpolation techniques for climate data in the GAP region in Turkey. Climate Research, 28(1), 31-40.

[3]. Armstrong, M. (1989). Basic linear Geostatistics. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York.

[4]. Bhunia, G. S., Shit, P. K., & Maiti, R. (2018). Comparison of GIS-based interpolation methods for spatial distribution of soil organic carbon (SOC). Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 17(2), 114-126.

[5]. Bostan, P. (2017). Basic Kriging Methods in Geostatistics. YYÜ TAR BİL DERG, 27(1), 10-20.

[6]. Childs, C. (2004). Interpolating surfaces in ArcGIS spatial analyst. ArcUser, July-September, 3235, 569.

[7]. Clark, I. (2000). Practical Geostatistics. Otterbein College, Columbus, Ohio, USA.

[8]. Da Silva, A. S. A., Stosic, B., Menezes, R. S. C., & Singh, V. P. (2018). Comparison of Interpolation Methods for Spatial Distribution of Monthly Precipitation in the State of Pernambuco, Brazil. Journal of Hydrologic Engineering, 24(3), 04018068.

[9]. Ediger, V. Ş., & Kentel, E. (1999). Renewable energy potential as an alternative to fossil fuels in Turkey. Energy conversion and management, 40(7), 743-755.

[10]. ESRI (2001). Using ArcGIS Geostatistical Analyst. ESRI Press, Redlands, CA.

[11]. Feki, H., Slimani, M., Cudennec, C. (2012). Incorporating elevation in rainfall interpolation in Tunisia using geostatistical methods. Hydrological Sciences Journal, 57(7), 1294-1314.

[12]. Goovaerts, P. (1997). Geostatistics for Natural Resource Evaluation. Oxford University Press, New York.

[13]. Hadi, S. J. & Tombul, M. (2018). Comparison of spatial interpolation methods of precipitation and temperature using multiple integration periods. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 46(7), 1187-1199.

[14]. Isaaks, E. H., & Srivastava, R. M. (1989). Applied Geostatistics. New York; Oxford: Oxford University Press.

[15]. Javadi, M. (2017). Comparison of interpolation methods for modeling spatial variations of precipitation in Iran. International Journal of Environmental and Science Education, 12, 1037-1054.

[16]. Journel, A.G. & Huijbregts C.J., (1978). Mining Geostatistics. Academic Press, New York

[17]. Khorrami, B. & Gündüz, O (2019). Aylık Ortalama Yağış İçin Jeoistatistiksel İnterpolasyon Tekniklerine Dayalı Geliştirilmiş Mekansal Varyasyon Deseni: İzmir-Türkiye'den Örnek Bir Çalışma. 10. Ulusal Hidroloji Kongresi, Muğla, Türkiye.

[18]. Lam, K. C., Bryant, R. G., & Wainright, J. (2015). Application of spatial interpolation method for estimating the spatial variability of rainfall in Semiarid New Mexico, USA. Mediterranean Journal of Social Sciences, 6(4), 108.

[19]. Li, Y., Shi, Z., Wu, C.F., Li, H.X. & Li, F. (2007). Improved prediction and reduction of sampling density for soil salinity by different geostatistical methods. Agric. Sci. China 6, 832–841.

[20]. Li, X.F., Chen, Z.B., Chen, H.B. & Chen, Z.Q. (2011). Spatial distribution of soil nutrients and their response to land use in eroded area of South China. Proc. Environ. Sci. 10, 14–19.

[21]. Ligas, M. & Kulczycki, M. (2010). Simple spatial prediction-least squares prediction, simple kriging, and conditional expectation of normal vector. Geodesy and Cartography, 59(2), 69-81.
[22]. Mendez, M. & Calvo-Valverde, L. (2016). Assessing the performance of several rainfall interpolation methods as evaluated by a conceptual hydrological model. Procedia Engineering, 154, 1050-1057.
[23]. Romman, Z. A., Al-Bakri, J., & Al Kuisi, M. (2019). Estimation of Rainfall Missing Data in an Arid Area using Spatial and EM Methods. Journal of Software Engineering and Applications 9(3):76-80.
[24]. Sensoy, S. (2004). The mountains influence on Turkey climate. In Balwois Conference on Water Observation and Information System for Decision Support.
[25]. Shepard, D. (1968). A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data. In Proc. 23rd ACM National Conf., 517–524. New York: ACM.
[26]. Shi, H., Li, T., Wei, J., Fu, W., & Wang, G. (2016). Spatial and temporal characteristics of precipitation over the Three-River Headwaters region during 1961-2014. Journal of Hydrology: Regional Studies, 6, 52-65.
[27]. Türkeş, M. (1996). Meteorological Drought in Turkey: A Historical Perspective, 1930-–93.
[28]. Vicente-Serrano, S. M., Saz-Sánchez, M. A., Cuadrat, J. M. (2003). Comparative analysis of interpolation methods in the middle Ebro Valley (Spain): application to annual precipitation and temperature. Climate research, 24(2), 161-180.
[29]. Xu, W. B., Zou, Y. J., Zhang, G. P., & Linderman, M. (2015). A comparison among spatial interpolation techniques for daily rainfall data in Sichuan Province, China. International Journal.
[30]. Wackernagel, H. (2003). Multivariate geostatistics. An introduction with applications, 3rd edn. Springer, Berlin, Heidelberg. https ://doi.org/10.1007/978-3-662-05294 -5_1.
[31]. Wang, J., Rich, P. M., & Price, K. P. (2003). Temporal responses of NDVI to precipitation and temperature in the central Great Plains, USA. International journal of remote sensing, 24(11), 2345-2364.
[32]. Yates, S. R., Warrick, A. W., & Myers, D. E. (1986). Disjunctive kriging: 1. Overview of estimation and conditional probability. Water Resources Research, 22(5), 615-621.
[33]. Zhang, X., Lu, X., & Wang, X. (2016). Comparison of Spatial Interpolation Methods Based on Rain Gauges for Annual Precipitation on the Tibetan Plateau. Polish journal of environmental studies, 25(3).
[34]. Üstüntaş, T. (2006). Sayısal Arazı Modellerinde Bazı Emterpolasyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması. Journal of Technical-online. Cilt 5, sayı 2.
[35]. Johnston, K., Ver Hoef, J.M., Krivoruchko, K. & Lucas, N. (2001). Using ArcGIS Geostatistical Analyst. ESRI, Redlands, CA

MARMARA DENİZİ 2021 YÜZEY MÜSİLAJ ÖRNEKLERİNİN KARAKTERİZASYONU

Berat Z. Haznedaroğlu[1,*], Engin Bayram[2], F. Koray Sakarya[3], Duygu Özçelik[4], Arca Yılmaz[5], Emren Borhan[6], Dila Hocaoğlu[7], Zeynep Şahin[8], İrem Karamollaoğlu[9]

[1,*] *Boğaziçi Üniversitesi, Çevre Bilimleri Enstitüsü 34342, Beşiktaş/İSTANBUL* berat.haznedaroglu@boun.edu.tr

[2] *Boğaziçi Üniversitesi, Çevre Bilimleri Enstitüsü 34342, Beşiktaş/İSTANBUL* engin.bayram@boun.edu.tr

[3] *Boğaziçi Üniversitesi, Çevre Bilimleri Enstitüsü 34342, Beşiktaş/İSTANBUL* koray.sakarya@boun.edu.tr

[4] *Boğaziçi Üniversitesi, Çevre Bilimleri Enstitüsü 34342, Beşiktaş/İSTANBUL* duygu.ozcelik@boun.edu.tr

[5] *Boğaziçi Üniversitesi, Çevre Bilimleri Enstitüsü 34342, Beşiktaş/İSTANBUL* arca.yilmaz@boun.edu.tr

[6] *Boğaziçi Üniversitesi, Çevre Bilimleri Enstitüsü 34342, Beşiktaş/İSTANBUL* emren.borhan@boun.edu.tr

[7] *Boğaziçi Üniversitesi, Çevre Bilimleri Enstitüsü 34342, Beşiktaş/İSTANBUL* dila.hocaoglu@boun.edu.tr

[8] *Boğaziçi Üniversitesi, Çevre Bilimleri Enstitüsü 34342, Beşiktaş/İSTANBUL* sahinze16@itu.edu.tr

[9] *Boğaziçi Üniversitesi, Çevre Bilimleri Enstitüsü 34342, Beşiktaş/İSTANBUL* irem.karamollaoglu@boun.edu.tr

Özet

Okyanus ve deniz ekosistemlerinin birincil üretiminden sorumlu fitoplanktonların doğal yaşam döngülerinin bir parçası olan deniz müsilajı, son yıllarda iklim değişikliğine bağlı sıcaklık artışı, noktasal ve yaygın kaynaklardan gelen tarımsal ve endüstriyel kirleticilerin artışı gibi çeşitli sebepler ile birlikte son 20 yılda Türkiye Deniz ve Boğaz sistemlerinde yoğun olarak gözlenmeye başlanmıştır. Farklı fiziksel ve kimyasal parametrelerin fitoplanktonlarca sentezlenen ekzopolimerik yapıların (EPS) kümeleşmesine sebep olmasıyla 2021 yılında Marmara Denizi yüzeyi ve altında müsilaj problemleri yaşanmıştır. Bu çalışmada Haziran 2021 döneminde İstanbul çevresinde yoğun müsilaj gözlenen üç farklı lokasyondan (Kınalıada, Kalamış, Kurbağalıdere) yüzey örneklemesi gerçekleştirmiş ve alınan müsilaj örneklerinin biyolojik, fiziksel ve kimyasal karakterizasyon çalışmaları yapılmıştır. Toplanan yüzey müsilaj örneklerinden biyolojik (indikatör bakteri ve virüs), kimyasal (toplam azot, toplam fosfor, kimyasal oksijen ihtiyacı), ve fiziksel (pH, çözünmüş oksijen, iletkenlik, tuzluluk, katı madde) gibi temel karakterizasyonlar ve tür tayinine yönelik mikroskobik analizler tamamlanmıştır. Temel karakterizasyon çalışmalarına ek olarak tarımsal veya endüstriyel kirlilik tayinine yönelik olarak pestisit, herbisit, poliaromatik hidrokarbon (PAH) ve ağır metal analizleri, toparlanan müsilajın biyoyakıt vb. uygulamalar için değerlendirilme potansiyeline yönelik olarak toplam yağ, toplam protein ve toplam karbonhidrat miktarları belirlenmiştir. Elde edilen ilk veriler, total ve fekal koliform için 9000-11350 CFU/ml ve 660-2600 CFU/ml; E. coli için 1667-2000 CFU/ml seviyelerinde olduğunu göstermiştir. pH seviyeleri 7.2-7.5; tuzluluk ve iletkenlik nominal, çözünmüş oksijen ise 2.8-4 mg/L olarak belirlenmiştir. Toplam azot 2.4 mg/L, toplam fosfor 0.2-0.3 mg/L, KOİ 400-600 mg/L ve toplam çözünmüş katı miktarı 37 g/L olarak ölçülmüştür.

Abstract

Even though sea mucilage is part of the natural lifecycle of primary producer phytoplanktons in sea and ocean ecosystems, climate change related temperature rises, agricultural and industrial pollutants from point and non-point sources created heavy mucilage events around Turkish Seas and Straits system in the last 20 years. Several physical and chemical parameters cause extracellular polymeric substances (EPS) synthesized by phytoplanktons to agglomerate and generate mucilage events in both sea surface and water column in The Sea of Marmara during 2021. In this study surface mucilage samples collected from three heavily impacted areas around İstanbul (Kınalıada, Kalamış, Kurbağalıdere) and biological, physical and chemical characterizations were conducted. Total and fecal colifom amounts were 9000-11350 CFU/ml and 660-2600 CFU/ml respectively, whereas E. coli was measured at 1667-2000 CFU/ml concentration. pH levels were 7.2-7.5; nominal salinity and condyuctivity whereas dissolved oxygen was measured at 2.8-4 mg/L. TN were 2.4 mg/L; TP 0.2-0.3 mg/L, COD 400-600 mg/L and TDS were 37 g/L.

Keywords: Sea of Marmara, mucilage, exopolymeric substances

1. GİRİŞ

Deniz müsilajı, deniz ve okyanus ekosistemlerinde karbon, azot ve fosfor gibi besleyici elementlerin çevrimlerinde önemli role sahip olduğu bilinen doğal bir olaydır. Ağırlıklı olarak diyatom türü fitoplanktonların mevsimsel olarak değişen şartlar altında optimal koşullar sağlandığında sayılarının çoğalması, diyatomlar tarafından sentezlenen ekzopolimerik yapılar ile kümelenmesi ve takiben yaşam periyotlarını tamamlarken dibe çökmesi ile oluşur. Müsilaj oluşumuna sebep olan ve ağırlıklı olarak kompleks polisakkaritler, yağ ve protein moleküllerinden oluşan ekzopolimerik yapıların bir kısmı biyotik faktörler olarak nitelendirilen ve diyatomlar ile beslenen avcı türlere karşı kendilerini koruma (hücre boyutunu büyüterek) veya viral enfeksiyonlara karşı yine kendini koruma sebepli olarak sentezlenirler.

Biyotik faktörlere ek olarak abiyotik olarak nitelendirilen fiziksel ve/veya kimyasal etkenler de diyatomlarda ekzopolimerik yapıların sentezlenmesine yol açmaktadır. Bu faktörler ağırlıklı olarak sıcaklık, pH, tuzluluk, ışık, besin (nutrient) miktarlarındaki değişimler, bunların yanında diyatomların belirgin bir kimyasal veya kirleticiye maruz kaldıklarında yine kendilerini koruma amaçlı tepki olarak ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışma kapsamında 2021 yılında Marmara Denizi'nde yoğun olarak gözlemlenen yüzey müsilaj örnekleri karakterize edilerek müsilaj oluşumunu tetikleyebilecek fiziksel ve kimyasal parametreler belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar ışığında noktasal veya yaygın kaynaklardan gelen nutrient miktarlarındaki değişimler, iklim değişikliği kaynaklı pH değişimleri, tarımsal veya endüstriyel kirletici tabanlı etmenlerden hangilerinin müsilaj oluşumunda etkili olabileceği sorgulanırken, Türkiye deniz ekosistemlerinde müsilaj oluşumunu engellemeye yönelik bilimsel veri odaklı çözümlerin ortaya konulması amaçlı bir çalışma yürütülmüştür.

2. MATERYAL METOD

2.1. Örnekleme

Çalışma kapsamında örnekleme işlemleri Kalamış Kınalıada ve Kurbağalıdere bölgelerinden, deniz yüzeyi (0-5cm) müsilajı olarak alınmıştır (Şekil 1). Alınan müsilaj örnekleri buz üstünde muhafaza edilerek laboratuvara ulaştırılmıştır.

Şekil 1. Marmara Denizi müsilaj örnekleme çalışmalarından çeşitli görüntüler.

2.2. Mikrobiyolojik Karakterizasyon

Total ve fekal koliform bakteri sayımları American Public Health Association (APHA) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater ilgili protokolleri [1], termotoleranslı *E. coli* sayımları ise USEPA 1603 numaralı standart metoda [2] göre yapılmıştır. Özetle, uygun dilüsyona getirilen örnekler 0.22 µm gözenek çaplı membran filtreden geçirilmiştir. Membranlar daha sonra total koliformlar için mEndo-LES, fekal koliformlar ise mFC agar plakaları üzerine alınarak sırasıyla 35 °C ve 44.5 °C derece sıcaklıklarda 24 saat inkübe edilmiştir. Termotoleranslı *E. coli* türleri 35 °C'de 2 saat 44.5 °C derecede is 22 saat inkübe edilmiştir.

2.3. Fiziksel Karakterizasyon

Müsilaj örneklerinin toplam katı, toplam uçucu katı ve askıda toplam katı madde miktarları APHA Standard Methods protokolleri takip edilerek belirlenmiştir [1].

2.4. Kimyasal Karakterizasyon

Müsilaj örneklerinde toplam azot (TA) miktarları alkalin peroksodisülfat oksidasyonunu takip eden vanadium klorit tabanlı spektrofotometrik yöntemle belirlenmiştir [3]. Toplam (orto)fosfat (TF) tayini için amonyum molibdat tabanlı standart metod takip edilmiştir [4]. Kimyasal oksiyen ihtiyacı (KOİ) tuzlu suda ölçüm için uygun kitler (HACH, Colorado, ABD) yardımıyla üretici direktifleri takip edilerek belirlenmiştir.

2.5. Biyokimyasal Karakterizasyon

Müsilaj örneklerinin toplam protein içeriğinin belirlenmesi için Lowry Metodu [5], toplam karbonhidrat tayini için fenol-sülfirik asit metodu takip edilmiştir [6]. Toplam yağ içeriklerinin belirlenmesi için de Bligh and Dyer protokolü takip edilmiştir [7].

2.6. Analitik Ölçümler

Toparlanan örneklerde genel organik kirleticilerin taraması için Q Exactive Series UPLC-HRAM kütle spektrometri (Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA USA) ve TSQ-9000 GC-MS/MS (Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA USA) cihazları kullanılmıştır.

3. SONUÇLAR

3.1. Mikrobiyolojik, Fiziksel ve Kimyasal Analizler

Kınalıada, Kalamış, Kurbağalıdere bölgelerinden toplanan örneklere ait mikrobiyolojik, fiziksel ve kimyasal analizler Tablo 1.'de sunulmuştur. Mikrobiyolojik analizlerde genel olarak indikatör organizma sayıları Marmara Denizi normal koşullarının 100-150 kat fazlası miktarlarda gözlenmiştir. Çözünmüş oksijen miktarları nominal değer olan 8-9 mg/L seviyesinin altında 2.8 - 4 mg/L seviyelerinde gözlenirken, pH değerleri normalde 8-8.5 seviyelerinden biraz daha asidik olarak kaydedilmiştir. Tuzluluk ve iletkenlik oranları normal seviyelerde görüşmüştür.

Toplam azot miktarları 16-32 µM, toplam fosfor 6.45-9.67 µM, kimyasal oksijen ihtiyacı 400-600 mg/L, toplam askıda katı madde miktarı ise 37-38 g/L seviyelerinde gözlenmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Marmara Denizi müsilaj örneklerine ait ön mikrobiyolojik, fiziksel ve kimyasal karakterizasyon sonuçları.

Analizler	***Sonuçlar***
Mikrobiyolojik	
Total coliform	*9000-11000 CFU/mL*
Fecal coliform	*650-2600 CFU/mL*
E. coli	*1600-2000 CFU/mL*
Fiziksel	
pH	*7.2-7.5*
Tuzluluk	*24 ppt*
İletkenlik	*37-38 mS/cm*
Çözünmüş oksijen	*2.8-4 mg/L*
Kimyasal	
TN	*16-32 µM*
TP	*6.45-9.67 µM*
KOİ	*400-600 mg/L*
TDS	*37-38 g/L*

3.2. Biyokimyasal analizler

Müsilaj örneklerinin olası bir faydalı ürüne dönüştürülebilme potansiyelinin incelenmesi için biyokimyasal karakterizasyon gerçekleştirilmiş olup toplam yağ miktarlarının kuru kütle başına %17-20 seviyelerine ulaştığı gözlenmiştir (Tablo 2). Toplam protein miktarları ise %8-10 seviyelerinde iken toplam karbonhidrat

miktarlarının %3-4 aralığında olduğu belirlenmiştir (Tablo 2). Örneklerin içerik olarak kül miktarlarının fazla olduğu (%65-72) belirlenmiştir.

Tablo 2. Marmara Denizi müsilaj örneklerine ait ön biyokimyasal karakterizasyon sonuçları.

Analizler	*Sonuçlar (% kuru ağırlık)*
Toplam karbonhidrat	*3-4%*
Toplam protein	*8-10%*
Toplam yağ	*17-20%*
Kül	*65-72%*

3.3. Analitik Ölçümler

Müsilaj örneklerini üzerinde gerçekleştirilen analitik taramalarda çok zincirli aromatik hidrokarbonlar (PAH) rastlanmamış olup, ilk belirlemelere göre varlığı tespit edilen kimyasallar ve ait oldukları sınıflar Tablo 3'de sunulmuştur. Elde edilen veriler kalitatif ilk bulgular olup, standartlar eşliğinde kantitatif konsantrasyon ölçümleri yapılmaya devam etmektedir.

Tablo 3. Marmara Denizi müsilaj örneklerine varlığı tespit edilen kimyasallar ve ait oldukları sınıflar

Kimyasal	*Kimyasal sınıfı*	*CAS No*
2-Acetamidophenol	*Farmasötik*	*614-80-2*
3-Acetamidophenol	*Farmasötik*	*621-42-1*
Atrazine	*Herbisit*	*1912-24-9*
Diuron	*Herbisit*	*330-54-1*
DEET (Diethyl Toluamide)	*Böcek ilacı*	*134-62-3*
Desmethyl Nefopam	*Farmasötik*	*147656-98-2*
Fenofibrate	*Farmasötik*	*49562-28-9*
Penbutolol	*Farmasötik*	*36507-48-9*
Promecarb	*İnsektisit*	*2631-37-0*
Valethamate	*Farmasötik*	*90-22-2*
Valpromide	*Farmasötik*	*2430-27-5*

4. TARTIŞMA

2021 yılı içerisinde Marmara Denizi çevresinde gözlemlenen müsilaj sorununun incelenmesi için Kınalıada, Kalamış, Kurbağalıdere bölgelerinden toplananan örneklere ait mikrobiyolojik, fiziksel, kimyasal, biyokimyasal karakterizasyonlar ile analitik ölçümler gerçekleştirilmiş olup, detaylı karakterizasyon çalışmaları halen devam etmektedir. Çevre Mühendisliği Kongresi bildiri kitapçığında sunulan bu veriler henüz ön bulgular olup, detaylı değerlendirme ve tartışmaları yakın zamanda kamuyoyu ve meslektaşlarımıza sunulacaktır.

5. KAYNAKÇA

[1]. Eaton, A., et al., *Standard methods for the examination of water and wastewater 22nd Edition.* APHA, Washington DC, 2012.

[2]. Carner, N., Z.S. Carroll, and S.C. Long, *A Comparison of Rapid Bacterial Methods to US EPA-Approved Methods for Biosolids.* Water environment research, 2013. **85**(7): p. 643-649.

[3]. Koistinen, J., M. Sjöblom, and K. Spilling, *Total nitrogen determination by a spectrophotometric method*, in *Biofuels from Algae*. 2019, Springer. p. 81-86.

[4]. Standard, D. and B. ISO, *Water quality: determination of phosphorus—ammonium molybdate spectrometric method.* DS/EN ISO, 2004. **6878**: p. 2004.

[5]. Safi, C., et al., *Influence of microalgae cell wall characteristics on protein extractability and determination of nitrogen-to-protein conversion factors.* Journal of Applied Phycology, 2013. **25**(2): p. 523-529.

[6]. Mecozzi, M., et al., *Ultrasound-assisted analysis of total carbohydrates in environmental and food samples.* Ultrasonics sonochemistry, 1999. **6**(3): p. 133-139.

[7]. Garoma, T. and D. Janda, *Investigation of the effects of microalgal cell concentration and electroporation, microwave and ultrasonication on lipid extraction efficiency.* Renewable energy, 2016. **86**: p. 117-123.

Teşekkür: *Örneklerin toparlanmasında yardımları için İstanbul Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma ve Kontrol Daire Başkanlığı'na ve ilgili personeline teşekkür ederiz.*

KENT PLAJLARINDA DENIZ SUYU VE PLAJ KUMUNA COVİD 19 PANDEMİ ETKİSİNİN DEĞERLENDIRMESİ

Merve TAN[1,*], , Gönül TUĞRUL İÇEMER[2] N. Ulukan ŞİMŞEK[3]

[1], Akdeniz Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü 07070, ANTALYA tan.merve.91@gmail.com*

[2] Akdeniz Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü 07070, ANTALYA gicemer@homail.com

[3] Akdeniz Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü 07070, ANTALYA ulukansimsek@gmail.com

Özet

Günümüzde dünyada ve ülkemizde turizm potansiyelinde ciddi bir artış görülmektedir. Antalya'ya 2020 yılında yabancı turist sayısı 3,5 milyon civarına ulaşmıştır. Antalya'nın merkezinde bulunan ünlü Konyaaltı plajı, kentin turizm açısından öne çıkmasında rol oynamaktadır. Bölgedeki yoğun turizm faaliyetlerinden kaynaklanan evsel atıklar ve kullanıma bağlı deniz faaliyetleri ile ortaya çıkan sintine – balast suları nedeniyle ciddi bir kirlenme ile karşı karşıyadır. Kirli suların içerdiği çok sayıda patojen mikroorganizma insanlar ve su ortamında yaşayan canlılar için potansiyel tehlike oluşturmaktadır. Ayrıca rekreasyon amaçlı kullanılan plajlarda dalgaların etkisiyle ve yoğun kullanım sonucunda, kumda patojen mikroorganizmaların yaşam alanı bulması halk sağlığını olumsuz etkileyebileceği araştırmalara konu olmuştur. Deniz suyu ve plaj kumu kalitesini belirlemek üzere incelenecek olan kirlilik indikatörü bakterilerin (Escherichia coli (E.coli), Stapylococcus aureus spp., maya ve mantarlar, Enterococcus spp. ve Pseudomonas spp. vb.) birbirleriyle ve onların deniz suyuna ve plaj kumuna adaptasyonunu etkileyen çevresel faktörler ile indikatör bakterilerin bulunuşu arasında bir ilişki olup olmadığı araştırılması ve halk sağlığı bazında incelenmesi amaçlanmıştır. Sonuç olarak, pandemi yasakları dönemi ile pandemi sonrası verilerin karşılaştırılmasında, pandemi yasakları döneminde kullanıcı sayısında azalma ve kirlilik yükünde de yüksek bir düşüş olduğu belirlenmiştir.

Abstract

Today, there is a serious increase in tourism potential in the world and in our country. The number of foreign tourists to Antalya reached around 3.5 million in 2020. The famous Konyaaltı beach, located in the center of Antalya, plays a role in making the city stand out in terms of tourism. It is faced with a serious pollution due to domestic wastes arising from intense tourism activities in the region and bilge-ballast waters arising from marine activities related to use. A large number of pathogenic microorganisms contained in polluted waters pose a potential danger to humans and living creatures in the aquatic environment. In addition, it has been the subject of research that pathogenic microorganisms can find a habitat in the sand as a result of the effect of waves and intensive use on the beaches used for recreational purposes, which can negatively affect public health. In order to determine the quality of sea water and beach sand, the pollution indicator bacteria (Escherichia coli (E.coli), Stapylococcus aureus spp., yeast and fungi, Enterococcus spp. and Pseudomonas spp. etc.) to be examined and their adaptation to sea water and beach sand. It is aimed to investigate whether there is a relationship between environmental factors affecting the environment and the presence of indicator bacteria and to examine it on the basis of public health. As a result, it was determined that there was a decrease in the number of users and a high decrease in the pollution load during the period of pandemic bans and post-pandemic data.

Keywords:, Public Health, Pathogen bacteria, Coast, Pandemic, Covid-19, Beach sand, Indicator bacteria

1. GIRIŞ:

21. yüzyılın en büyük küresel halk sağlığı tehdidi olan dünya iklimi, küresel etkileri, insanları ve çevreyi birçok yönden ciddi ve yıkıcı etkileriyle artık tehlikeli bir hızla değiştiği her geçen gün daha da net görülüyor. Bu değişim, gıda üretim sistemlerine ek olarak eko-çevre, biyolojik çeşitlilik ve doğal ekosistemlerin işleyişinin hızlı bozulmasına neden olmaktadır Denizlerde ve kıyılarda ekolojik kaliteyi olumsuz etkileyen faktörler mevcuttur. Bunlar; başta turizm olmak üzere; deniz taşımacılığı, sanayi, atıklar (kara ve deniz kaynaklı) ve deniz kazaları gibi faktörlerdir. Günümüzde dünyada ve ülkemizde turizm potansiyelinde ciddi bir artış görülmektedir. Bu çalışma, 7 km sahil uzunluğuna sahip Konyaaltı plajının, pandemi yasakları ve pandemi sonrası yoğun turizm baskısı ve kent nüfusunun kullanımından kaynaklı maruz kaldığı çevresel baskılar ve halk sağlığı ile ilişkilendirilmesi amaçlanmaktadır.

2. MATERYAL METOD

Bu çalışmada, Pandemi yasakları dönemini kapsayan 2020 yılı ve pandemi sonrası 2021 yılı yaz dönemi Konyaaltı Plajı'nda seçilen 4 noktada gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). Çalışma alanında kıyı ve su aktiviteleri, deniz suyu ve plaj kumu kalitesini belirlemek üzere incelenen kirlilik indikatörü bakterilerin birbirleriyle ve onların deniz suyuna ve plaj kumuna adaptasyonunu etkileyen çevresel faktörler ile indikatör bakterilerin bulunuşu arasında bir ilişki olup olmadığı araştırılmıştır. Kum numuneleri, her örnekleme noktasında 3 farklı tabakadan toplanmıştır. Bu tabakalardan biri deniz suyu numunesinin alındığı diz boyu seviyesindeki dip kumu (DBK), ikincisi dalga zonu (DZ) ve üçüncüsü ise kullanıcıların rekreasyon amacıyla kullandığı, güneşlendiği kuru kum plaj (KK) bölgesidir. Kum ve deniz suyu numunelerinde İ. Ent. ve Salmonella spp. P. aeroginosa.; E. coli, ve Maya-Mantarlar seçici besiyerlerinde inkübasyona bırakıldı. Sonuçlar KOB/ 100 ml su – 10 gr kum cinsinden ifade edilmiştir.

Arazide yerinde yapılan olan ölçümler ve numune alımı ile laboratuvarda yapılan analizler Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği – Numune Alma ve Analizleme Tebliği ile "Standart Methodlar" (APHA vd 1995)'da [1] belirtilen yöntemler kullanılmıştır.

Şekil 2. Çalışma Alanı, Konyaaltı Sahili, ANTALYA

3. SONUÇ:

Genel olarak Konyaaltı plajında 2020 yılında %18-%5500 aralığında tüm mikroorganizmalarda bir azalma gözlendi. Bu azalmanın, Covid-19 salgını nedeniyle plajda kullanıcı yoğunluğunun azalması, diğer endüstriyel ve turizm faaliyetlerinin kısıtlanmasına bağlı olduğu tahmin edilmektedir. Elde edilen yeni veriler ile eski verilerin karşılaştırılmasında, kullanıcı sayısında azalma ve kirlilik yükünde de yüksek bir düşüş olduğu belirlenmiştir. Örneğin, pandemi yasakları dönemi 2020 yılı temmuz ayında deniz suyundaki *E. coli*, ortalaması, 2021 temmuz ayında 204.000 kat artış göstermiştir. İncelenen diğer bakteri ve mantar mayalar için de benzer sonuçlar elde edilmiştir.

4. TARTIŞMA:

Patojen ve sağlık riski oluşturan *Salmonella* spp, *P. aeroginosa* ve Maya ve Mantarlar mevzuatlarda yer almamaktadır. Araştırmamızda, özellikle kıyı bölgesi, diz boyu, dalga zonu ve kumda *E. coli* ve İ. Ent. sonuçları değerlendirildiğinde yönetmelikteki sınır değerleri, özellikle temmuz ayında, çok fazla aştığı hesaplanmıştır.

Evsel atık su ile kontamine olmuş denizel rekreasyonel sular ile gastrointestinal hastalık riski değerlendirme çalışmasında, yüzücülerin %34,5'inin gastrointestinal rahatsızlıklara, %65,8'inin kulak enfeksiyonlarına maruz kaldığı (2) ve enterekok türlerin gastrointestinal rahatsızlıklardaki artışında pozitif eğilim gösterdiği bildirildi (3, 4). ıslak kumda veya sedimentte, E. coli'nin canlılığını sürdürebilmesi sonucu E. coli'nin kumda yeniden üreyebileceğini ve bu nedenle tropikal bölgelerde yüzücüler ve plajı sadece rekreasyon amacıyla kullananlar

açısından sağlık riski oluşturabileceğini ileri sürüldü (5). İçemer ve ark. (6), Phaselis'te deniz suyunda, tekne ve kıyıdaki yüzücü sayıları ile E. coli ve intestinal enterokok arasında yakın ilişki (r=0,7) bulunduğunu ve öğle ile akşam saatlerinde alınan numunelerde mikrobiyolojik kirliliğin tamamen tekne ve yüzücü (kullanıcı) kaynaklı olduğunu gösterdi.

Halk sağlığının geleceğini korumak için etkin plaj yönetiminde, sadece kum-su sürekliliğinde kirlenmesini izlemek iklim değişimin yıkıcı etkilerini dikkate alan bir yaklaşım da benimsenmesi önemlidir. Plaj yöneticilerinin, özellikle ısınan hava ve su sıcaklıklarından etkilenen ılıman bölgelerde, halk sağlığını güvence altına almak için geçmişte olduğundan daha fazla çeşitlilik gösteren patojen mikroorganizmalar için hem sahil kumu hem de rekreasyon suyunu izlemeleri önemli hale gelmektedir.

5. *KAYNAKÇA:*

[1]. APHA, AWWA, WPCF. 1995. Standart Methods fort he Examination of Water and Wastewater, 19. Edition., USA.
[2]. Yaşar AB. İstanbul halk plajlarında total ve fekal koliform ölçümlerinin değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, 2019.
[3]. Fleisher JM, Kay D, Wyer MD, Godfree AF. Estimates of the severity of illnesses associated with bathing in marine recreational waters contaminated with domestic sewage. Int J Epidemiol, 1998; 27: 722–6.
[4]. Wade TJ, Calderon Rl, Sams E, Beach M, Brenner KP, Williams AH, et al. Rapidly measured indicators of recreational water quality are predictive of swimming-associated gastrointestinal illness. Environ Health Perspect, 2006; 114:24–8
[5]. Nazario EES, Prospective epidemiological study on the morbidity of bathers exposed to marine bathing water. Intercampus Doctoral Programme, University of Porto Rico, Rio Piedras Campus and Medical Science Campus, Biology. 2006.
[6]. İçemer GT, Bayrak-Çamlıca YB, Atıcı T. Phaselis- Antalya yüzme alanında rekreasyonal yat/bot atık suları ve insan aktivitelerinin yüzme suyu ve halk sağlığı üzerine etkileri. Turk Hij Den Biyol Derg, 2017; 74(EK-1): 87-94.

6. TEŞEKKÜR: PROJE KAPSAMINDA YAPILAN ÇALIŞMALAR IÇIN TEŞEKKÜR BÖLÜMÜNDE BELIRTILMELIDIR.

HAVZA YÖNETİMİNDE TÜRKİYE'DE UYGULANAN MODELLER

MODELS APPLIED IN TURKEY IN BASIN MANAGEMENT

Solmaz Garan[1], Arife Şimşek[2], Gülfem Bakan[3]

[1]Amasya Üniversitesi, Suluova Meslek Yüksekokulu, Çevre Koruma Teknolojileri Programı Bölümü Suluova/AMASYA solmazgaran@gmail.com ,
[2]Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Karadeniz İleri Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi 55200, Samsun, arife.simsek@omu.edu.tr ,
[3]Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü ,55139 Samsun, gbakan@omu.edu.tr

Özet

Su hem insan yaşamı için hem de ekolojik denge için gerekli olan doğal ama sınırlı bir kaynaktır. İklim değişikliği, hızlı ekonomik gelişme ve insan nüfusunun artması, su kaynakları yönetiminde artan zorlukların başlıca nedenleri olarak kabul edilmektedir. Arazi kullanımı ve arazi örtüsü değişikliği, buharlaşmayı, toprak sızma kapasitesini ve yüzey ve yeraltı rejimlerini etkileyerek ve nihayetinde su miktarını ve su kalitesini etkileyerek havza hidrolojisini değiştirebilir. Su kaynaklarının sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesi dünya genelinde oldukça büyük önem taşıyan bir konu haline gelmiştir. Su kaynakları yönetiminde karar verme sürecinde yer alan matematiksel modelleme, 1960'ların sonlarından bu yana çevre bilimlerinde önemli bir bileşen olarak kullanılmaktadır. Çevresel modeller, kirliliğin nedenleri ve etkileri arasındaki ilişkilerin hızlı bir şekilde değerlendirilmesini sağlamaktadır. Çevresel modellemeler bunun yanında su havzalarının gelecekleri hakkında oluşturduğu senaryolar ile yönetimlere bilgi sağlayabilmektedir. Özellikle gelişmiş ülkelerde "Bütünsel Havza Modelleri" olarak anılan ve havzada yer alan tüm ekosistemleri, olayları ve bunların etkileşimlerini inceleyen havza benzeşim modelleri geliştirilmiştir. Su ekosistemlerini korumak için Avrupa Birliği gibi bölgeler ve Amerika Birleşik Devletleri gibi ülkeler, politikalarına nehir yönetiminde ekolojik statü kavramını dahil etmişlerdir. Bu çalışmada ise Türkiye'nin su havzalarında kullanılan havza yönetim modellerinden olan Toprak ve Su Değerlendirme Aracı (SWAT) modeli, Havza Analizi Risk Yönetim Çerçevesi Modeli (WARMF) , Hidrolojik Benzeşim Programı (HSPF) modellerinin birbirlerine göre kullanım avantaj ve dezavantajlarının araştırılması yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Havza yönetimi, modelleme, SWAT, WARFM, HSPF

Abstract

Water is a natural but limited resource necessary for both human life and ecological balance. Climate change, rapid economic development and human population growth are recognized as the main causes of increasing difficulties in water resource management. Land use and land cover change can change watershed hydrology by influencing evaporation, soil seepage capacity, surface and subsurface regimes, and ultimately, water quantity and water quality. Sustainable management of water resources has become an issue of great importance worldwide. Mathematical modeling, which is involved in the decision-making process in water resources management, has been used as an important component in environmental sciences since the late 1960s. Environmental models provide a rapid assessment of the relationships between the causes and effects of pollution. Environmental models can also provide information to the administrations with the scenarios they create about the future of water basins. Especially in developed countries, watershed simulation models have been developed, which are known as "Integral Basin Models" and examine all elements, events and their interactions in the basin. To protect aquatic ecosystems, regions such as the European Union and countries such as the United States have incorporated the concept of ecological status in river management into their policies. In this study, the advantages and disadvantages of the Soil and Water Assesment Tool (SWAT) model, Watershed Analysis Risk Management Framework (WARMF), Hydrological Simulation Program - Fortran (HSPF) models, which are among the watershed management models used in Turkey's watersheds, were investigated.

Keywords: Basin management, modeling, SWAT, WARFM, HSPF

1.GİRİŞ

Dünyanın dörtte üçünün sularla kaplı olmasına rağmen suların %97,5 i tuzlu su olduğu için kullanılamamaktadır. Kalan % 2,5 lik kısımdaki tatlı suyun ise yaklaşık % 69,5 i kutuplarda buzul olarak veya donmuş toprak tabakasında bulunmakta olup bu sulara erişiminde mümkün olmamasından dolayı mevcut bulunan ve ulaşılabilen yeraltı ve yüzey sularının etkili, verimli ve sürdürülebilir bir şekilde kullanılması geçtiğimiz yüzyılın sorunları arasında yer almaktadır. Hem çevre hem de sosyo-ekonomik kalkınma için temel bir kaynak olan su, nüfus ve ekonomik büyüme, eşit olmayan kaynak dağılımı ve iklim değişikliğinin artan baskısı altındadır[1,3].

Su kaynakları yönetimi evsel, tarımsal ve endüstriyel ihtiyaçların gereksinimlerini karşılamak için yüzey ve yeraltı suyunun optimum kullanımından oluşan mevcut su kaynaklarını optimize etmeyi amaçlamaktadır. Dünyanın bazı yerlerinde su bolluğu varken, dünyanın diğer yerlerinde kaynaklar özellikle gelişmekte olan ve az gelişmiş ülkelerde kıttır. Seller ve kuraklıklar, bu ülkelerdeki nüfusun çoğunun geçim kaynaklarını tehdit etmeye ve etkilemeye devam ediyor[4]. Özellikle gelişmekte olan ve az gelişmiş ülkelerde artan nüfusla birlikte, suyun temel ihtiyaç olduğu nüfusun ihtiyaçlarının karşılanması acil bir ihtiyaçtır. Yeraltı ve yüzey suları tarımda çok önemli bir rol oynamaktadır. Bu bölgelerde yeraltı suyunun büyük bir kısmı tarım alanlarını sulamak için kullanılmaktadır[5]. Geçtiğimiz birkaç on yılda su kaynaklarının verimli bir şekilde kullanılması için suyun arıtılmasının yerini su havzalarının bütünleşik bir şekilde yönetilmesi yaklaşımı ön plana çıkmıştır. Su sistemlerinde karşılaşılan; ötrofikasyon, sularda kalıcı ve toksik maddelerin birikimi, yağ kirlenmeleri, yapay radyonükleitlerin kullanılması, mineral ve yaşam kaynaklarında bozulma, yüzme alanlarında sağlıksız koşullar, kıyısal bozulmalar ve sudaki biyolojik çeşitliliğin azalması vb. sorunlar için su havzasına bütüncül bir yaklaşımla bakılmaya başlanmıştır[6,7].

Sürdürülebilir bir havza yönetimi planlanırken dikkate alınması gereken noktalar; arazinin ve doğal kaynakların uzun dönem sürdürülebilirlik ilkesine uygun olarak sektör ve alt sektörlerle paylaşımı, özel değeri olan arazilerin, doğal kaynakların ve oluşumlarının korunması, zarar görmüş ekosistemlerin, görsel değerlerin ve doğal kaynakların iyileştirilmesi, alan ve doğal kaynak kullanımında rekabet eden ve uyuşmazlık yaratan durumlara çözüm, doğal kaynakların sağladığı yarar ve fırsatların eşit paylaşımını sağlama, plan uygulamalarının etkilerini izleme ve değerlendirme süreçlerini tanımlama ve örgütleme olarak sayılabilir[8, 9]. EPA'nın hazırlamış olduğu havza yönetim model programlarından olan Havza Analizi Risk Yönetim Çerçevesi Modeli (WARMF), Hidrolojik Benzeşim Programı (HSPF), Noktasal ve Yayılı Kaynaklarda Daha İyi Bilimsel Değerlendirme Yönetimi (BASINS), Toprak ve Su Değerlendirme Aracı (SWAT), Havza Yönetimi Optimizasyonu Destek Aracı (WMOST) kullanılan bütünsel havza modelleri olarak verilebilir [6, 10, 11].

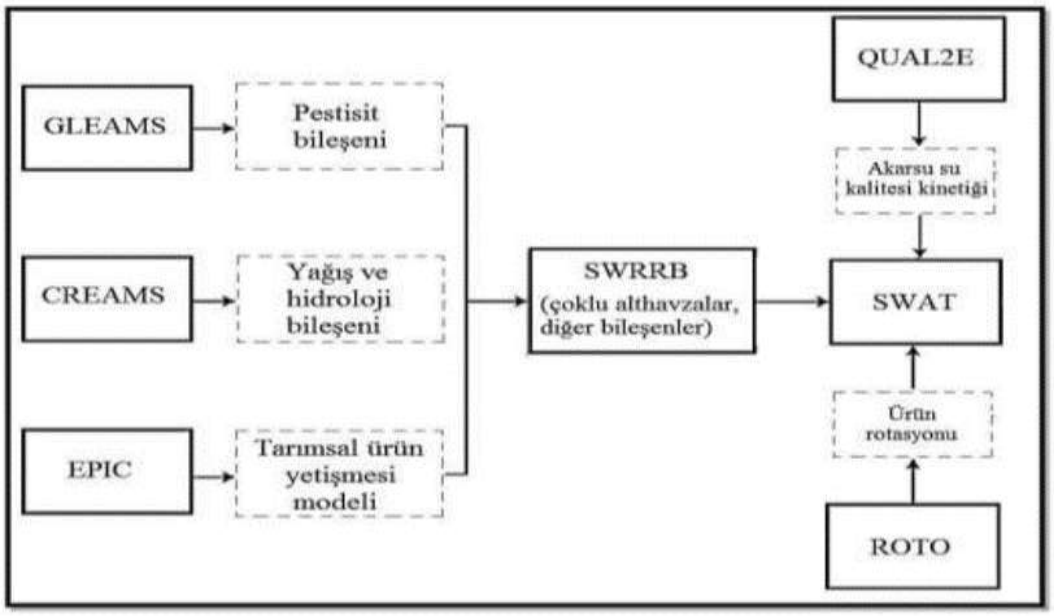
Bu çalışmanda Türkiye'deki su havzalarında kullanılan WARMF, HSPF, SWAT modellerinin uygulanan bölgelere sağladığı avantaj ve dezavantajlarının karşılaştırılması yapılmıştır. Bu modeller bilgisayar destekli veri analizi ve görselleştirme araçları olarak su kaynaklarının korunması, geliştirilmesi ve yönetimi çalışmalarında önem taşımaktadır. Bütün dünyada olduğu gibi Türkiye'de de iklim değişikliğinin su kaynaklarına olan etkileri üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Su kaynaklarının yönetiminde kaynakların havza bazında bütünleşik bir şekilde değerlendirilmesine imkan tanınmaktadır.

2. HAVZA YÖNETİM MODELLERİ

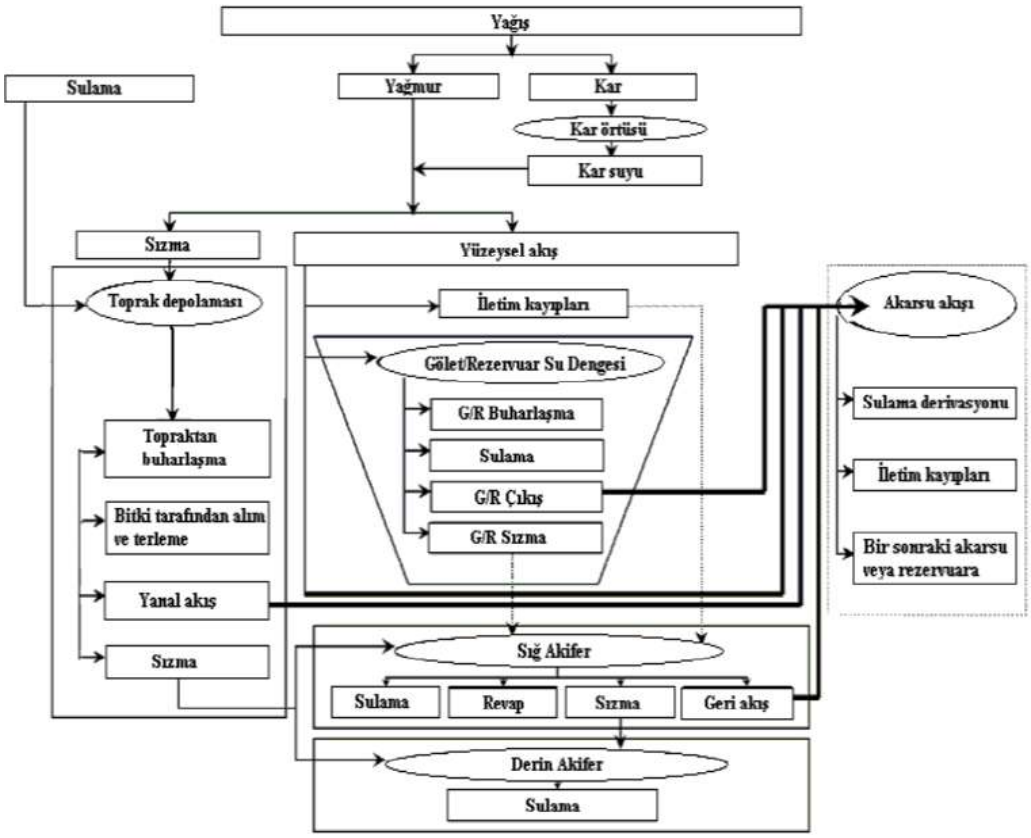
2.1. Swat Modellemesi

Dr. Jeff Arnold tarafından farklı toprak ve arazi koşullarına sahip büyük havzalarda tarımsal faaliyetler sonucunda ortaya çıkan kirliliğin su, sediman ve gübre verimi üzerine olan etkilerinin tahmin edilmesi için geliştirilmiştir. Su havzası yönetimi uygulamalarının su üzerindeki etkisini tahmin etmek için başlangıçta Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı Tarımsal Araştırma Servisi tarafından geliştirilen yarı dağıtılmış, havza ölçekli bir hidrolojik modeldir[12, 13]. SWAT modelinin geçmişi USDA-ARS tarafından geliştirilen birkaç modelin bir araya getirilmesi ile başlamıştır. Toprak ve Su Değerlendirme Aracı (SWAT), büyük havza ve nehir havzası ölçeklerinde su mevcudiyeti, su kalitesi, akarsu kanalı erozyonu, bitki büyümesi, iklim değişikliği ve havza yönetimi seçeneklerini araştırmak için yaygın olarak uygulanmıştır.

Bununla birlikte, model çok sayıda ölçülemeyen parametre ve çeşitli belirsizlik kaynakları içerdiğinden, dikkatli model kalibrasyonu ve belirsizlik analizi zorunludur. Model benzeşimlerinin hesaplama yükünü azaltmak ve son derece sağlam hidrolojik modeller oluşturmak için, son birkaç on yılda hidroloji topluluğu, SWAT ile büyük ölçekli hidrolojik modellemede hesaplama süresini azaltmak için birçok yöntem ve teknoloji geliştirmiştir[6, 14]. SWAT önce bir havzayı alt havzalara böler ve daha sonra toprak, arazi örtüsü ve eğim aralığı özellikleri kombinasyonlarına sahip hidrolojik müdahale birimlerini (hydrological response units, HRU) tanımlar. SWAT'de, kara aşaması benzeşiminde herhangi iki ayrı alt havza arasında etkileşim yoktur, bu da alt havzaların kara aşaması süreçlerinin eş zamanlı olarak benzeştirilebileceği anlamına gelir. HRU'lar arasında mekansal bir ilişki veya etkileşim yoktur; yani, her bir HRU'dan gelen sediman, kimyasallar veya besin yükleri bağımsız olarak hesaplanır ve bu nedenle SWAT modellerinin paralelleştirilmesi için bir temel olarak hizmet edebilir. SWAT, yüzey akışı, yağış, evapotranspirasyon, rüzgar, sıcaklık, süzülme , yanal yüzey altı akışı, sığ akifer ve tortu verimi ara bağlantıları gibi ana hidrolojik bileşenleri mümkün olduğunca mantıklı bir şekilde benzeştiren bir yüzey suyu modelidir. SWAT açık kaynaklı bir yazılım olduğundan, verileri diğer modellerle birleştirerek yaygın olarak kullanılır[6, 15, 16]. Modelin gelişim sürecinin anlatımı Şekil 1'de gösterilmektedir. SWAT'a suyun hareketinin nasıl olduğu Şekil 2 gösterilmiştir.



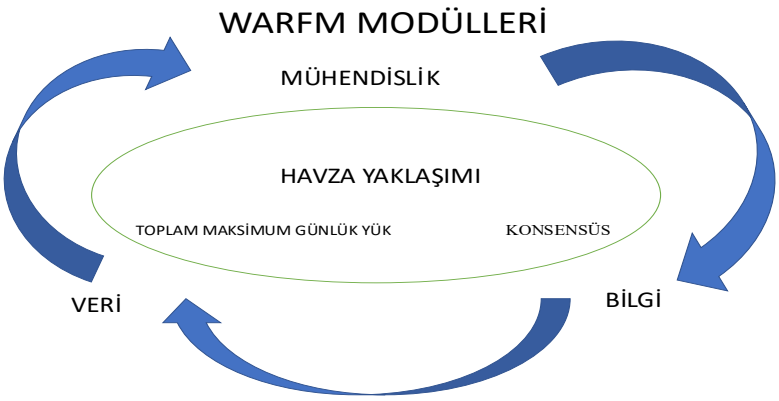
Şekil 1.SWAT modelinin gelişim süreci[27]



Şekil 2. SWAT modelindeki su hareketinin şematik gösterimi[17]

2.2. WARMF Modeli

WARMF (Havza Analizi Risk Yönetim Çerçevesi) modeli, havza yönetim yaklaşımını desteklemek üzere tasarlanmış bir araçtır. WARMF, bir dönüm noktası karar destek sistemi olarak sınıflandırılmıştır; ilgili taraflar arasında işbirliğine dayalı karar vermeyi kolaylaştıran bilgi ve araçlar sağlar. WARMF, coğrafi bilgi sistemi (CBS) tabanlı bir grafik kullanıcı arayüzü altında beş bağlantılı modül mühendislik, veri, bilgi ve fikir birliliği ve toplam maksimum günlük yük (TMDL) halinde düzenlenmiş, kullanıcı dostu bir araçtır. Model, akarsu/yeraltı suyu/yanal akış ve tortu yüklemelerini benzeştirebilir. Ayrıca, nitrojen, fosfor, ağır metaller ve pestisitlerin akıbeti ve taşınması da bir havza ölçeğinde benzeştirir. Mühendislik Modülü, bir havzanın günlük akışını, sığ yeraltı suyu akışını ve su kalitesini hesaplayan bir havza modelidir. Bir su havzası, hidrolojik ve su kalitesi benzeşimleri için bir kara havzaları, akarsu bölümleri ve göl katmanlarından oluşan bir ağa bölünmüştür. Kar ve toprak hidrolojisi, kara havzalarındaki yağışlar kullanılarak hesaplanır. Su daha sonra bir nehir bölümünden diğerine, nehir bölümlerinden rezervuarlara ve rezervuarlardan nehir bölümlerine havza çıkışına kadar yönlendirilir. Her akış yolu boyunca, kimya modülü kütle dengesini ve kimyasal dengeyi hesaplar. Kirleticiler, geçiş, sızma, toprak adsorpsiyonunda su ile yönlendirilir. Noktasal olmayan yüklerin kaynağının arazi kullanımına ve konumuna geri izlenebilmesi için noktasal ve noktasal olmayan yüklerin kaynakları kütle ile sistem üzerinden yönlendirilir. Veri Modülü, modeli çalıştırmak için kullanılan meteoroloji, hava kalitesi, nokta kaynakları ve akış saptırma verilerini içerir. Ek havza verileri, belgeler, vaka çalışmaları veya geçmiş modelleme faaliyetlerine ilişkin raporlar, model kullanıcıları tarafından kolay erişim için bilgi modülünde saklanır. Son iki havza yaklaşımı modülü, karar verme sürecinde paydaşlara rehberlik sağlayan yol haritaları olan fikir birliği oluşturma ve TMDL hesaplaması içindir[9, 18, 19].



Şekil 3. WARFM modelinin modülleri[20]

2.3. HSPF Modeli

Hidrolojik Simülasyon Programı-FORTRAN (HSPF), dünya çapında çeşitli düzenleyici ve planlama uygulamalarını desteklemek için yaygın olarak kullanılan en kapsamlı havza modellerinden biridir. Hidrolojik Simülasyon Programı-FORTRAN (HSPF), doğal ve yapay su sistemlerinde hidrolojik ve su kalitesi süreçlerini benzeştirmek için Çevre Koruma Ajansı sponsorluğunda geliştirilmiş matematiksel bir modeldir. HSPF, su kaynakları sistemlerinin planlanması, tasarımı ve işletilmesinde uygulamaları olan analitik bir araçtır. Model, hidroloji ve su kalitesi yönetimi alanlarında olasılık analizinin kullanılmasını sağlar. HSPF, yağışın zaman geçmişi gibi bilgileri kullanır; sıcaklık; buharlaşma ve bir havzada meydana gelen süreçleri benzeştirmek için arazi kullanım modelleri, toprak özellikleri ve tarımsal uygulamalarla ilgili parametreleri kullanır. Halihazırda mevcut en kapsamlı ve esnek havza hidrolojisi ve su kalitesi modellerinden biri olan HSPF, hem hidrolojik/hidrolik hem de su kalitesi süreçlerinin sürekli, dinamik olay veya kararlı durum davranışını benzeştirebilen mevcut birkaç modelden biridir. Model, çok çeşitli akarsu ve nehirlerin hidrolojik rejimlerini makul bir doğrulukla temsil etme yeteneği bakımından benzersizdir ve tüm dünyada çeşitli iklim rejimlerine uygulanmıştır[11, 14, 21].

HSPF, havzadaki noktasal ve noktasal olmayan kirleticilerin kaynaklarının entegre benzeşimlerini gerçekleştirir. Kentsel ve kentsel olmayan arazi kullanımları dahil olmak üzere çeşitli bölgesel ölçekler ve arazi kullanım türlerindeki esnekliği, bu modeli geniş çapta uygulanabilir kılmıştır. HSPF, fitoplankton büyüme oranını hesaplamak için besin konsantrasyonları, su derinliği, su sıcaklığı dahil olmak üzere ışık yoğunluğu gibi çeşitli sınırlayıcı faktörleri içeren Monod kinetiğini kullanır. Ana modelleme bileşenleri HSPF su miktarı ve geçirgen toprak katmanı (PERLND) ve geçirgen olmayan arazi kesimi (IMPLND) üzerinde kalite işlemleri, ve serbest akışlı erişim ya da iyi karıştırılmış rezervuar (RCHERS) vardır. Geçirgen arazi katmanında (PERLND) dikkate alınan süreçler arasında su bütçesi, kar erimesi, tortu üretimi ve uzaklaştırılması, azot ve fosfor davranışı ve pestisit davranışı yer alır. Modele veri girişi, meteorolojik verileri, mekansal verileri, izleme verilerini ve nokta kaynak verilerini içerir[14, 22, 23].

3. HAVZA YÖNETİM MODEL UYGULAMALARI

Özbayrak ve Bakan (2012) Orta Karadeniz bölgesinde yer alan Abdal Irmağı havzasında WARFM modeli ile çalışılmıştır. Çalışmada havzadaki noktasal ve yayılı kaynaklarda gelen kirlilik parametreleriyle havzadaki kirlilik profili oluşturulup kirliliğe sebep olan parametreler için iyileştirilme çalışmaları planlanmıştır. WARFM modeli havza yönetimi üzerine çalışan bir model olmasından dolayı havzadaki hem çevresel kirlilik boyutlarını ele almıştır hem de havzadaki toplam maksimum günlük yükü hesaplamaları yapılmıştır. WARFM bu çalışmada kullanılmasının başlıca amacı toplam maksimum günlük yük hesapları sağlamasının yanında yönetim planını oluşturmak için paylaşımcı kurum ve kuruluşlara alternatif senaryolarda oluşturmasına imkan sağlamasıdır. Çalışma alanı 41º 44’ 40º 05’ enlem ve 37º 05’ 35º 30’ boylam arasında

Samsun'un Çarşamba ilçesi sınırlarında bulunmaktadır. Çalışma alanındaki arazinin hem jeomorfolojik yapısındaki farklılıklar hem de bölgedeki arazilerin kullanım amaçlarının çeşitli olması nehir havzasını etkilemektedir. Modelde kullanılan havza katsayıları, nehir katsayıları ve rezervuar katsayıları bu havzaların spesifik özelliklerine göre verilmiştir. Havza alanındaki noktasal kaynaklı kirleticilerin veri modülü altında dosyası oluşturulmuş olup Abdal ırmağı havzasında noktasal kaynak yükü tanımlaması yapılmış. Abdal Irmağı havzasına WARMF modeli ile toplam maksimum günlük yüklerin hesaplanmasında su kalite standartlarının oluşturulması ile havzada yapılacak iyileştirme çalışmalarında bu değerler göz önünde bulundurulmuştur [24].

Ertürk vd. (2014) tarafından Türkiye'nin Batı Akdeniz bölgesinde yer alan Köyceğiz-Dalyan Havzasında iklim değişikliğinin etkisi ve son yıllarda kış aylarındaki yağış azlığı ile yer altı sularındaki değişimler incelenmiştir. Bu havzada hidrolojik modelleme için SWAT modeli kullanılmış. Havzadaki hem su kullanımlarının hem de arazi kullanımlarının suya olan etkileri incelenmiş ve gelecek hakkında senaryolar oluşturulmuş. Sonuçlar, su eksikliğinin gelecekte bir sorun olmasının beklendiğini göstermiştir. Bu doğrultuda, iklim değişikliği etkilerine uyum önlemleri olarak daha verimli sulama yöntemlerine ve daha az su tüketen mahsullere geçiş konusunda araştırmalar yapılması önerilmiştir. İklim değişikliğinin son derece hızlı bir şekilde etkilerinin göstermesinin başlıca sebebi hızlı nüfus artışına bağlı olarak havzadaki arazi kullanımlarının farklılaşmasından ileri gelmektedir. İklim değişikliğinin bir havzanın hidrolojik döngüsü ve su kalitesi üzerindeki etkileri, hem iklim projeksiyonlarından hem de hidrolojik modelleme yaklaşımlarından kaynaklanan büyük belirsizliklerle ilişkilidir. Havza modelleri, araştırmacılar ve karar vericiler tarafından hidrolojik, ekolojik ve biyojeokimyasal süreçleri anlamanın yanı sıra insan faaliyetlerinin ve iklim değişikliğinin/değişkenliğinin su miktarı ve kalitesi üzerindeki etkilerini incelemek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Çalışmada kullanılan alan da tarımsal faaliyetler için uygun arazilerin olması, balıkçılık ve su ürünleri yetiştiriciliğinin yapılması, turizm amaçlı alanların olması, bazı türlerin üremesi sahası olması vb. pek çok amaca hizmet etmektedir. Çalışma alanında bulunan lagünün suyunun tuzlu olması bu alanda yapılan tarımsal faaliyetler için sulamanın yer altı suyundan sağlanmasına neden olmaktadır. Toprak ve Su Değerlendirme Aracı (SWAT) modeli, dünya çapında en yaygın olarak kullanılan su kalitesi ve havza modellerinden biridir ve çok çeşitli hidrolojik ve çevresel problemler için yaygın olarak uygulanır. SWAT, mekansal olarak açık parametreleştirme ile fiziksel tabanlı, hesaplama açısından verimli, sürekli bir zaman modelidir. Model, havzayı bir akış ağıyla birbirine bağlı alt havzalara böler. SWAT'ın kullanıldığı çalışmaların, giriş parametre değerlerinin, çok çeşitli hidrolojik sistemlerde ve coğrafi konumlarda, önceden edinilmiş bilgilere dayalı olarak geliştirilmiş, hazır CBS veri tabanları kullanılarak, kalibrasyon olmadan veya minimum kalibrasyonla başarıyla tahmin edilebileceğini göstermektedir. Bölgede tarım, başlıca su talep eden sektör olduğundan, daha verimli sulama yöntemlerine ve daha az su talep eden mahsullere geçişle ilgili olasılıklar hakkında daha fazla araştırma yapılması tavsiye edilmiş. Bu tür çalışmalar, bu senaryoları sosyal ve çevresel bağlama uyum açısından test edebilecek kapsamlı model uygulamaları ile desteklenmeli. Sulamanın gerekli olmadığı dönemlerde yağmur sularının toplanması sağlanmalı[25].

Göncü ve Albek (2010) tarafından beklenen iklim değişikliğinin su havzalarının hidrolojisi ve su kaynakları üzerindeki etkilerini ele alınmıştır. HSPF, su havzası tepkisinin gerçekleşmeleri olarak akarsu akışını ve rezervuar hacmini modellemek için kullanılmış. Arazi kullanımı, toprak tipi ve iklim değişikliği nedeniyle akarsu akışındaki değişiklikler, taşkın sıklığı ve düşük akış analizi kullanılarak incelenmiş. Benzeşimler, bitki örtüsü olmayan ve ormanlık veya otlaklı su havzalarının sıcaklık ve yağış eğilimlerine verdiği tepkiler arasındaki farkı nicel olarak ortaya koymuş. Senaryolar, toprak tipleri ve arazi kullanımları arasında aylık bazda akarsu akışlarında ve rezervuar hacimlerinde önemli farklılıklar gözlemlenmiş. HSPF, günümüzde havza hidrolojisinin ve su kalitesinin modellenmesi için yaygın olarak kullanılmaktadır ancak bu modelin iklim değişikliği konusunda kullanımına ilişkin çalışmalar daha sınırlıdır. Çalışma alanında yirmi birinci yüzyılda sıcaklık ve yağış değerlerinin önemli ölçüde değişmesi beklenmektedir. Tarım, sanayi ve insan ihtiyaçları için suya olan ihtiyaçların artmasıyla hem niceliksel hem de niteliksel olarak su talepleri karşılanmalıdır. Bu nedenle, iklim değişikliğinin olası etkilerini havza yönetim planlarına dahil eden ve yukarıda belirtilen sorunların çözümüne yardımcı olacak kaynakların su verimi için yeterli tahminlere ihtiyaç vardır. Bitki örtüsü olmayan ve toprağı geçirgen bir su havzasında bulunan rezervuar en fazla suyu depolarken, iğne yapraklı orman ve geçirimsiz toprak ortamında en az tasarruf sağlayan rezervuardır. Toprak grupları arasındaki fark, suyun toprak içinde depolanmasından ve daha sonra rezervuara bırakılmasından ve

böylece suyun buharlaşmadan korunmasından kaynaklanmaktadır. Bitkili havzalardaki daha küçük depolama miktarları, evapotranspirasyon kayıplarının bir sonucudur. İklim değişikliği etkileri, akarsu akışlarında olduğu gibi yıllık değerler karşılaştırıldığında mütevazıdır. Benzeşimler, bir havza tarafından üretilen veya akarsu akışı olarak salınan ya da bir rezervuarda depolanan su üzerinde arazi kullanımının, toprak tipinin ve iklim değişikliğinin etkilerine ilişkin bir takım sonuçlar üretmiş. Bitki örtüsü, akarsu akışlarının ve rezervuar depolarının belirlenmesinde de büyük rol oynar. Çorak bir araziden gelen akarsu akışı, ormanlarla kaplı bir su havzasından çıkan akarsu akışından 5 kat daha yüksek olabilir. Ancak, bitki örtüsünün olmaması nedeniyle, yağış sıçrama erozyonuna ve bunun sonucunda yüzey akışı dere ve oyuntu erozyonuna neden olacaktır. Aşınmış topraktaki kirletici maddeler su kalitesini düşürmüştür. Daha fazla düşük kaliteli su ile daha az kaliteli su arasındaki denge, su talebi gereksinimleri göz önünde bulundurularak dikkatlice incelenmelidir. Mevsimler arası değişimler göz önüne alındığında, çorak arazinin akarsu akışı ve rezervuar hacimleri açısından daha geniş bir alana sahip olduğu da her zaman göz önünde bulundurulmalıdır. Bu bakımdan, bitkili havzaları boşaltan akarsular, dalgalanma durumunda daha iyi davranmaktadır. İklim değişikliği ve artan talepler insanları iyi yönetime, hatta havzaların tasarımına zorluyor. Tasarım, katı mühendislik anlamında değil, entelektüel bir ekolojik perspektifi kapsamalıdır. Bu açıdan planlamacılar ve yöneticiler için araçlar büyük önem taşımaktadır. Modelleme bu araçlardan biridir ve insana etkileri önceden tahmin edilebilen doğru kararlar vermede yardımcı olabilir[26].

4. SONUÇ

Son yıllarda arazi kullanımı değişikliğinin hidrolojik süreçler üzerindeki etkilerini daha iyi anlamak için çeşitli havza modelleri ile araştırmalar yapılmıştır. Mekansal olarak dağıtılmış hidrolojik modeller , arazi kullanımı değişikliğine verilen hidrolojik tepkileri tahmin etmek için yaygın olarak kullanılmıştır. HSPF bir havzanın çeşitli hidrolojik süreçlerini ve su kalitesi bileşenlerini benzeştiren kapsamlı, sürekli, yarı dağıtılmış, kavramsal bir modeldir. SWAT, bir havzadaki sürekli uzun süreli akış, sediman ve tarımsal kimyasal verimi tahmin etmek için tasarlanmış, fiziksel tabanlı ve yarı dağıtılmış bir hidrolojik modeldir. HSFP ve SWAT, havzayı sayısal yükseklik modeline (DEM) dayalı olarak bir dizi alt havzaya böler ve ardından alt havzalar hidrolojik müdahale birimlerine ayrılır. SWAT, arazi kullanımı, toprak tipi ve eğim sınıfının homojen bir kombinasyonuna dayalı olarak HRU'lar oluşturur. HSPF ise alt havzaları arazi kullanımı ve meteorolojik koşullara dayalı olarak geçirimli ve geçirimsiz arazi bölümlerine ayırır. HSPF ve SWAT, temel akışı hesaplamak için doğrusal bir depolama yaklaşımı benimser. Aktif olmayan yeraltı suyu depolaması, taban akışına katkıda bulunmazken, aktif yeraltı suyu depolaması nehir sistemine bağlıdır. HSPF için verilerin periyodikliği önemlidir. WARMF modeli havzayı hidrolojik bir kara havzaları, akarsu bölümleri ve göl katmanları ağına böler. Hidrolojik bileşenlerin fiziksel boyutları, US Geological Survey (USGS) web sitesinden indirilebilen dijital yükseklik haritası verileriyle belirlenir. WARFM model katsayıları için değerler, model kalibrasyonu sırasında kullanıcı tarafından değiştirilebilir. Model, kullanıcının yağış ve kuru tozdan kaynaklanan atmosferik birikimi, nokta kaynaklı deşarjları (kanalizasyon deşarjları) ve çiftlik arazilerine uygulanan gübreleri dahil etmesine olanak tanır. WARFM'de benzeşimlerin zaman adımı tipik olarak bir gündür. Modelin veritabanı, benzeşim sonuçlarını değerlendirmek için varsayılan giriş verilerini içerir. Model ayrıca dijital yükseklik haritaları, arazi kullanımı, gübre uygulaması, hava kalitesi, meteoroloji ve nokta kaynaklı deşarjlar dahil olmak üzere girdileri kullanır. WARFM modeli kompleks bir yapıya sahip olan ve çok değişken bulunduran havzalarda uygulanması avantaj sağlamaktadır. HSPF modeli iyi karışmış baraj göletlerinde ve akarsularda hem hidrolojik süreçleri benzeştirmek hem de su kalitesi parametrelerini modellemek amacıyla kullanılması avantaj sağlarken SWAT modeli ise izleme verileri olmayan havzalarda modelleme çalışmaları, iyi yönetim uygulamaları, iklim senaryoları, bitki örtüsü gibi alternatif senaryo uygulamalarını sağlamaktadır. SWAT büyük ölçekli havzalarda etkili matematiksel hesaplamalar kullanarak düşük maliyet ve etkili performans sunmaktadır. Homojen olmayan yapıya sahip arazilerde SWAT kullanılması tavsiye edilmektedir. WARFM tüm havzadaki TMDL, noktasal ve yayılı deşarjlara izin veren yaklaşımdır. WARMF modelinde, bununla birlikte, çeşitli su yollarındaki atık deşarjı da tanımlanmaktadır ayrıca WARMF modeli aşağıdan yukarıya metodunu kullanarak, nehrin alt ve üst kontrol noktalarında TMDL hesaplamalarını bir seri şeklinde yapmaktadır. WARFM havzadaki ormanları, tarlaları, şehirleri, ırmakları ve gölleri içermektedir. Yukarıda özellikleri anlatılan üç model programının SWAT-HSPF, SWAT-WARFM, HSPF-WARFM vb. ikili kombinasyonlar şeklinde çalıştırılması ile su kaynaklarının yönetiminde yeni bir yaklaşım olan hidrolojik ve ekolojik risk değerlendirmeleri için farklı senaryolar oluşturmayı sağlayabilir.

5. Kaynakça

[1] T. Aküzüm, B. Çakmak, and Z. Gökalp, "Türkiye'de su kaynakları yönetiminin değerlendirilmesi," International Journal of Agricultural and Natural Sciences, vol. 3, no. 1, pp. 67-74, 2010.

[2] D. Aras, "Türkiye'de Yüzeysel Su Kaynaklarının Yönetimi," Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi. Ankara, 1997.

[3] E. Getahun, and L. Keefer, "Integrated modeling system for evaluating water quality benefits of agricultural watershed management practices: Case study in the Midwest," Sustainability of Water Quality and Ecology, vol. 8, pp. 14-29, 2016.

[4] M. Mohamed, Water quality models in river management: Universiti Teknologi Malaysia, 2003.

[5] K. Wang, E. G. Davies, and J. Liu, "Integrated water resources management and modeling: A case study of Bow river basin, Canada," Journal of Cleaner Production, vol. 240, pp. 118242, 2019.

[6] Ç. Güzel, "Application of SWAT Model in a Watershed in Turkey," 2010.

[7] N. B. Harmancıoğlu, A. Gül, and O. Fıstıkoğlu, "Entegre Su Kaynakları Yönetimi," 2002.

[8] M. S. Aygün, "Akarsu havzalarında stratejik yönetim planlarının oluşturulması: Gediz Havzası örneği," DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.

[9] S. Dayyani, S. O. Prasher, A. Madani, and C. A. Madramootoo, "Development of DRAIN–WARMF model to simulate flow and nitrogen transport in a tile-drained agricultural watershed in Eastern Canada," Agricultural water management, vol. 98, no. 1, pp. 55-68, 2010.

[10] A. G. Adeogun, B. F. Sule, and A. W. Salami, "Simulation of sediment yield at the upstream watershed of Jebba Lake in Nigeria using SWAT model," Malaysian Journal of Civil Engineering, vol. 27, no. 1, 2015.

[11] P. Duda, P. Hummel, A. Donigian Jr, and J. Imhoff, "BASINS/HSPF: Model use, calibration, and validation," Transactions of the ASABE, vol. 55, no. 4, pp. 1523-1547, 2012.

[12] K. Özdemir, and Ö. Güngör, "Filyos Çayı Havzasında SWAT Modelinin Uygulaması," Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, vol. 1, no. 2, pp. 90-102.

[13] M. M. Saddıqı, and M. E. Karpuzcu, "Küçük Menderes Alt Havzası'nın SWAT ile Modellenmesi," Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, vol. 34, no. 4, pp. 55-70.

[14] A. Saleh, and B. Du, "Evaluation of SWAT and HSPF within BASINS program for the upper North Bosque River watershed in central Texas," Transactions of the ASAE, vol. 47, no. 4, pp. 1039, 2004.

[15] H. Xie, and Y. Lian, "Uncertainty-based evaluation and comparison of SWAT and HSPF applications to the Illinois River Basin," Journal of Hydrology, vol. 481, pp. 119-131, 2013.

[16] J. Daramola, T. Ekhwan, J. Mokhtar, K. Lam, and G. Adeogun, "Estimating sediment yield at Kaduna watershed, Nigeria using soil and water assessment tool (SWAT) model," Heliyon, vol. 5, no. 7, pp. e02106, 2019.

[17] Y. Luo, and M. Zhang, "Management-oriented sensitivity analysis for pesticide transport in watershed-scale water quality modeling using SWAT," Environmental Pollution, vol. 157, no. 12, pp. 3370-3378, 2009.

[18] C. W. Chen, J. Herr, R. Goldstein, G. Ice, and T. Cundy, "Retrospective comparison of watershed analysis risk management framework and hydrologic simulation program Fortran applications to Mica Creek watershed," Journal of environmental engineering, vol. 131, no. 9, pp. 1277-1284, 2005.

[19] S. Girgin, Z. Akyürek, and N. Usul, "Türkiye için Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Su kalitesi Veri Analiz Sistemi Geliştirilmesi, 3," Coğrafi Bilgi Sistemleri Bilişim Günleri, pp. 231-247, 2004.

[20] M. E. Karpuzcu, "Wetlands as Best Management Practices to Mitigate Agricultural Nonpoint Source Pollution," UC Berkeley, 2012.

[21] M. S. Johnson, W. F. Coon, V. K. Mehta, T. S. Steenhuis, E. S. Brooks, and J. Boll, "Application of two hydrologic models with different runoff mechanisms to a hillslope dominated watershed in the northeastern US: a comparison of HSPF and SMR," Journal of Hydrology, vol. 284, no. 1-4, pp. 57-76, 2003.

[22] M. Albek, Ü. B. Öğütveren, and E. Albek, "Hydrological modeling of Seydi Suyu watershed (Turkey) with HSPF," Journal of Hydrology, vol. 285, no. 1-4, pp. 260-271, 2004.

[23] J. Singh, H. V. Knapp, J. Arnold, and M. Demissie, "Hydrological modeling of the Iroquois river watershed using HSPF and SWAT 1," JAWRA Journal of the American Water Resources Association, vol. 41, no. 2, pp. 343-360, 2005.

[24] E. Ozbayrak, and G. Bakan, "Orta Karadeniz Kıyı Şeridi Abdal Irmağı Havzasında Toplam Maksimum Günlük Yük Belirlenmesi," Ekoloji Dergisi, vol. 21, no. 85, 2012.

[25] A. Ertürk, A. Ekdal, M. Gürel, N. Karakaya, C. Guzel, and E. Gönenç, "Evaluating the impact of climate change on groundwater resources in a small Mediterranean watershed," Science of the Total Environment, vol. 499, pp. 437-447, 2014.

[26] S. Göncü, and E. Albek, "Modeling climate change effects on streams and reservoirs with HSPF," Water resources management, vol. 24, no. 4, pp. 707-726, 2010.

[27] https://www.epa.gov

14. national 2. international environmental engineering congress

climate crisis & environmental policies

SESSION 6A: Katı, Endüstriyel ve Tehlikeli Atık Yönetimi

Paper ID:

10 **İNSAN SAÇI ÖRNEKLERİNDE CİVA MEVCUDİYETİNİN ÇEŞİTLİ FAKTÖRLER AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ**
Merve Özkaleli Akçetin - Beyda Sönmez - Hatice Kübra Gül - Perihan Kurt Karakuş

56 **TÜRKİYE'DE ENTEGRE KİRLİLİK ÖNLEME VE KONTROLÜ UYGULAMALARI NIN DEĞERLENDİRİLMESİ**
İpek Gevinç - Selnur Uçaroğlu - Sami Giray Doğrultucu

64 **DETERMINATION OF BEST AVAILABLE RECOVERY STRATEGY FOR CONST RUCTION AND DEMOLITION WASTES BY USING ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS**
Ezgi Özdemir

112 **Fethiye İlçesi Katı Atık Yönetimi Optimizasyonu**
Mualla Elif Engin - Mehmet Sinan Bilgili

120 **ARTVİN (MERKEZ) KATI ATIK TOPLAMA TAŞIMA SİSTEMİNİN COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ İLE DESTEKLENMESİ VE GERİ KAZANIM UYGULAMA LARI**
Özlem Uçar - Semra Çoruh

121 **Ara Depolama Tesisi Verileri Kullanılarak Tehlikeli Atıkların İncelenmesi**
Beril Akkuş - Nezih Kamil Salihoğlu

İNSAN SAÇI ÖRNEKLERİNDE CİVA MEVCUDİYETİNİN ÇEŞİTLİ FAKTÖRLER AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Beyda Sönmez[1], Merve Özkaleli Akçetin[1], Hatice Kübra Gül[1], Perihan Binnur Kurt-Karakuş[1]

[1]Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü

Özet

Çevresel ortamlar için kirleticiler organik ve ingorganik kirleticiler olarak sınıflandırılmaktadır. Periyodik cetvelde bulunan bir element olan civa, aynı zamanda sahip olduğu özelliklerinden dolayı inorganik bir çevresel kirleticidir. Civanın insanların yanısıra biyotik ve abiyotik çevresel ortamlar için toksik/ekotoksik olduğu bilinmektedir. Biyotik ve abiyotik çevresel ortamlara karışan civa, çeşitli taşınım/alınım mekanizmaları ile çevresel ortamlardan canlı vücuduna alınabilmekte ve biyolojik birikime uğramaktadır.

Bu çalışmada; Bursa ve Kocaeli illerinde yaşayan ve çalışmaya katılma hususunda gönüllü olan kişilerden toplanan saç örneklerinde civa mevcudiyeti incelenmiştir. İlaveten, belirlenen civa miktarları ile, örnekleri veren kişilerin yaşadıkları/çalıştıkları çevre, beslenme ve kişisel bakım alışkanlıkları gibi hususlar göz önünde bulundurularak toplanan veriler ışığında belirlenen faktörler arasındaki ilişkiler iredelenmiştir. Saç örnekleri, mevcut ikamet adreslerinde en az 1 yıldır ikamet eden 42 gönüllü kişiden toplanmıştır. Çalışma kapsamında yapılan anket ile katılımcıların demografik bilgilerinin yanısıra balık ve diğer deniz canlılarını tüketim alışkanlıkları, çalışma ortamı, saç kestirme sıklığı, saç boyama alışkanlıkları, sigara kullanımı ve sıklığı hususunda sorular sorulmuştur. Toplanan örnekler gerekli ön işlemlerin ardından doğrudan civa analizörü (Milestone DMA-1 Direct Mercury Analyzer) ile analiz edilmiştir. Bursa'dan toplanan saç örneklerindeki (n= 39) civa konsantrasyonu 0,0238-0,6061mg/kg (medyan= 0,0667 mg/kg) aralığında, Kocaeli'den toplanan saç örneklerindeki (n=3) civa konsantrasyonu ise 0,025-0,366 mg/kg (medyan= 0,0127 mg/kg) aralığında bulunmuştur. Analizlerden elde edilen sonuçlar için istatistiksel veri değerlendirmesi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre Bursa'da tespit edilen ortalama civa konsantrasyonu Kocaeli'nde tespit edilen civa konsantrasyonundan yaklaşık olarak 8 kat daha yüksektir. Civa konsantrasyonları kadın ve erkek bireylere göre kıyaslandığında ise kadınlarda tespit edilen civa konsantrasyonu erkeklerde tespit edilen civa konsantrasyonundan yaklaşık olarak 2 kat daha yüksektir.

Keywords: Civa kirliliği, saç, çevresel faktörleri, kişisel alışkanlıklar

TÜRKİYE'DE ENTEGRE KİRLİLİK ÖNLEME VE KONTROLÜ UYGULAMALARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

EVALUATION OF INTEGRATED POLLUTION PREVENTION AND CONTROL PRACTICES IN TURKEY

İpek GEVİNÇ[1], Sami Giray DOĞRULTUCU[2], Selnur UÇAROĞLU[3*]

[1]Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 16059, Nilüfer/BURSA
ipek_gevinc@hotmail.com
[2]Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 16059, Nilüfer/BURSA
samigiray@gmail.com
[3]Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 16059, Nilüfer/BURSA*
selnur@uludag.edu.tr

Özet

Sanayinin gelişmesi ve yeni teknolojilerin günden güne üretim faaliyetlerine dahil olması ile endüstriyel sektörlerin çevreye olan etkileri çeşitlilik göstermeye başlamıştır. Çevresel etkiler arttıkça gerek Türkiye'de gerekse diğer dünya ülkelerinde çevre kirliliği ile mücadele konusu önem kazanmış, sürdürülebilir üretimin önemi artmış ve bu durum ulusal ve uluslararası politikaların ve yasal mevzuatların ortaya çıkması gerekliliğini ortaya koymuştur. Bu doğrultuda Avrupa Birliği (AB)'nde 1996 yılında Beşinci Çevre Eylem Programı ile "Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrol Direktifi (IPPC-96/61/EC)" yürürlüğe girmiştir. IPPC olarak anılan bu direktif; Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrolü (EKÖK) konusunda Avrupa Birliği Sanayi Mevzuatı'nın çevre açısından temel taşıdır. Bu direktifin en önemli ayağı olan "Mevcut En İyi Teknikler (BAT)" ile endüstriyel tesisler kirliliği önlemeye yönelik gerekli önlemleri almakla yükümlüdür. Alınan önlemler sonucunda sektörlere izin vermekle yükümlü otoritenin faydalanması adına "Mevcut En İyi Teknikler İçin Referans Dokümanları (BREF)" oluşturulmuştur. Bu referans dökümanlar ile üye ülkelerin kendi koşullarına uygun olarak her sektör için Mevcut En İyi Teknikleri ortaya koyması hedeflenmiştir. İlerleyen süreçte IPPC direktifi ve birçok ilgili mevcut direktiflerin birleştirilmesi ile 2010 yılında güncel direktif "Endüstriyel Emisyonlar Direktifi (Industrial Emission Directive-IED) (2010/75/EC)" yayınlanmıştır. Türk Çevre Mevzuatı incelendiğinde EKÖK gerekliliklerini karşılayacak yasal düzenlemenin halen taslak halinde olduğu, aynı şekilde bazı sektörlere yönelik EKÖK tebliğlerinin de taslak halinde olduğu görülmektedir. Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrolü çalışmalarının son derece teknik içerik ve özellikle de yüksek yatırım maliyeti gerektirmesi nedeniyle bu konuda ülkemizde yayınlanacak yasal mevzuatın uzun soluklu ve detaylı çalışmalar gerektiren zorlu bir süreç olduğu aşikardır. Bu çalışma ile EKÖK Mevzuatının incelenmesi ve bu doğrultuda farklı sektörlerde EKÖK Mevzuatı'na ve EKÖK uygulamalarına olan yaklaşım ve mevcut durumu değerlendirmek amaçlanmıştır. Amaca yönelik olarak EKÖK kavramının bileşenleri açıklanmış olup bu kavrama yönelik AB'de ve Türkiye'de uygulanan politika ve mevzuatlar incelenmiştir. Sektörlere yönelik araştırma yapılmıştır ve işletmelerde örnek uygulamalardan elde edilen kazançlar sunulmuştur. Çalışma, sektörel araştırmanın tamamlanması amacıyla bir anket ile desteklenmiştir. Yapılan anket çalışmasında, Türkiye'de sektörlerde EKÖK Kavramı ve yasal durum hakkında genel bilgi sahibi olunduğu fakat EKÖK uygulamalarının hayata geçirilmesinde teknik bilgi eksikliği ve finansal kaygılar başta olmak üzere çeşitli zorlukların olduğu sonucuna varılmıştır.

Abstract

The effects of industrial sectors on the environment have begun to vary with the development of the industry and the inclusion of new technologies in production activities day by day. As environmental effects increase, the issue of combating environmental pollution has gained importance, both in Turkey and in other countries of the world, the importance of sustainable production has increased, and this has revealed the necessity of the emergence of national and international policies and legal regulations. In this direction, the "Integrated Pollution Prevention and Control Directive (IPPC-96/61/EC)" came into force in 1996 with the Fifth Environment Action Program in the European Union (EU). This directive, called IPPC; is the environmental cornerstone of the European Union Industry Legislation on Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC). With the "Best Available Techniques (BAT)", which is the most important pillar of this directive, industrial facilities are obliged to take the necessary measures to prevent pollution. As a result of the measures taken, "Reference Documents for Best Available Techniques (BREF)" have been created for the benefit of the authority responsible for issuing the sectors. With these reference documents, it is aimed to present the Best Available Techniques for each sector in accordance with the own conditions of the member countries. In the following process, the IPPC directive and many related existing directives were combined and the current directive "Industrial Emissions Directive (IED) (2010/75/EC)" was published in 2010. When the Turkish Environmental Legislation is examined, it is seen that the legal regulation that will meet the IPPC requirements is still in draft form, and IPPC communiqués for some sectors are also in draft form. Since Integrated Pollution Prevention and Control studies require highly technical content and especially high investment costs, it is obvious that the legal legislation to be published in our country is a difficult process that requires long-term and detailed studies. With this study, it is aimed to examine the IPPC Legislation and to evaluate the current situation and approach to IPPC Legislation and IPPC applications in different sectors. For the purpose, the components of the IPPC concept have been explained and the policies and legislations applied in the EU and Turkey for this concept have been examined. A research has been done for the sectors and the gains obtained from the sample applications in the enterprises are presented. The study was supported by a

questionnaire to complete the sectoral research. In the survey study, it was concluded that there is general knowledge about the IPPC Concept and the legal situation in the sectors in Turkey, however there are various difficulties, especially the lack of technical knowledge and financial concerns, in the implementation of IPPC applications.
Anahtar Kelimeler: Entegre Kirlilik Önleme, Mevcut En İyi Teknikler, Sürdürülebilir Üretim, Temiz Üretim

Keywords: Integrated Pollution Prevention, Best Available Techniques, Sustainable Production, Cleaner Production

DETERMINATION OF BEST AVAILABLE RECOVERY STRATEGY FOR CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTES BY USING ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS

Emel TOPUZ [1], Ezgi ÖZDEMİR [2]

[1] *Gebze Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü 41400, Gebze/KOCAELİ* emeltopuz@gtu.edu.tr

[2] *Gebze Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü 41400, Gebze/KOCAELİ* e.karaagac2020@gtu.edu.tr

Özet

Kentsel dönüşüm projeleri kapsamında günümüz Türkiye'sinde inşaat gittikçe önem kazanan bir sektör haline gelmiştir. İnşaat faaliyetleri beraberinde farklı bileşimlerde ve farklı hacimlerde atıklar meydana getirmektedir Bu atıklar genellikle beton, tuğla, metal gibi biyolojik olarak ayrışamayan malzemeleri ihtiva etmektedir. İnşaat atıkları dünyanın birçok yerinde hala dökülmesi yasak olan alanlara terkedilmektedir. Bu atıkların yer işgali, görüntü kirliliği gibi fiziksel etkilerinin yanısıra çevre ile temasları sonucu su, toprak, hava bünyelerine muhteviyatlarındaki toksik maddelerin sızması hem habitata hem habitatta yaşayan canlılara geri dönüşü olmayan zararlar vermektedir. Bu zararları önlemek için böylesine büyük oranlarda üretilmekte olan atıklar için sürdürülebilir çözümlerin uygulamaya konulması gerekmektedir. Bu çalışma inşaat atıkları için ekonomi, çevresel etki, sosyal faktörler çerçevesinde inceleme yapıp Analitik Hiyerarşi Proseslerini kullanarak optimum atık yönetimini seçmek amacıyla hazırlanmıştır.

Abstract

In the frame of urban transformation projects, construction sector is getting importance in today's Turkey. Building activities bring wastes which have different composition and different volumes. This wastes are generally non-biodegradable like concrete, block, metal etc. Around the World, construction and demolition wastes are left at non-suitable sites which is banned to do this activity. It is a beyond of physical effects like occupying place or visual pollution. It can be leaked into water, ground and air so it can harm to habitat and livings in the habitat. To prevent harm of wastes which are continuously produced, sustainable solutions should be found. The study evaluates economic, environmental effects and social factors with Analytical Hierarchy Processes to find optimum waste management method.

Keywords: Urban transformation, Construction and Demolition Wastes, AHP, LCA, Circular economy

1. INTRODUCTION

Building activities are so common in today's World. There are some trigger factors of increasing in building activities. The reason is urban transformation projects for Turkey, especially in Marmara region. Turkey has fault lines and these lines have earthquake potential. To decrease loss of lives in a possible intense earthquake, Turkish government has started an ''Urban Transformation Project'' in 2012, frame of 6306 numbered law [1].

These increasing in building activities of urban developments were resulted as occurring of huge amounts of Construction and Demolition wastes. Wastes include lots of hazardous materials like asbestos, paint, fluorescence..etc. [2]. Interfere of hazardous materials to water, soil and air bodies cause damages on habitats and livings in the habitats. To eliminate the hazard, wastes must been managed properly with respect to environmental, economic and social aspects.

Circular economy is a term which prevents materials to become wastes, increase productivity, utilize the material efficiently [3]. As a summary it means transform a material in a cycle of production without occurring waste. In the project, circular economy term and application in this area will been evaluated.

There are different ways to manage C&D wastes. For all wastes there is a common waste hierarchy pyramid. It represent less favorable waste management method to more favorable waste management method. Less favorable method is at the bottom of the pyramid and covers more area, because less favorable method is also more preferable method.

For C&D wastes, most common method is landfilling (disposal). It is easy to manage but it is not a sustainable way. In today's economy, construction materials are so expensive so they are precious to be wasted.

Other alternative is recycling, located at second step. Recycling can be done in different areas. Concrete can be transformed to coarse aggregate. It is a common method in many countries. The method is applicable for providing sustainability but it is less preferable way with respect to landfilling due to low quality of recycled material [4]. Recycled aggregate concrete also can be used in road base or recycle to concrete again. Iron, steel, aluminum materials in C&D wastes can be recycled to raw material again in any shape. Wood wastes can be recycled to veneer boards or paper pulp. Glass wastes can mix with cement if it is fine material [5].

Reuse alternative which is located at third step, is not applicable for all C&D wastes. Paint can be reused as paint. Brick and blocks can be used in narrow areas, turn walls..etc.

Minimization is most environmental friendly step and top step of the pyramid. It aims to reduce/inhibit of occurrence of wastes.

To choose optimum waste management method, all alternatives including disposal, recycling, reusing and minimization will been evaluated by Analytical Hierarchy Method to evaluate all criteria deeply.

2. MATERIAL METHOD

The project will be done via AHP (Analytical Hierarchy Process) which is a Multi-Criteria Decision Making method. Several (social, economic and environmental) criteria have been evaluated via AHP to select optimum waste management method of construction and demolition wastes.

Also, the project includes LCA (Life Cycle Assessment). LCA helps to find steps of a waste from material extraction to disposal/recycle. It gives us an information about which step of the production occurs wastes, so it can been interfere at point of waste source.

All criteria will be determined with respect to literature. Expert opinion will be evaluated for each criteria and optimum alternative will be calculated in this way.

3. RESULT

End of the project, optimum waste management will be determined by using AHP. More applicable method is recycling methods and weighting will be on recycling processes. It provide easiness to decide waste management method to decision makers. It will be easy to see which alternative is best for which criteria. Every criteria has a point and decision makers can focus on each criteria that they care/have about.

4. DISCUSSION

The project shows a way to waste disposal facilities, recycling facilities, municipalities and building companies how to manage wastes effectively, properly.

5. REFERENCES

[1] AFET RİSKİ ALTINDAKİ ALANLARIN DÖNÜŞTÜRÜLMESİ HAKKINDA KANUN [Online], Available: https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2012/05/20120531-1.htm

[2] Bergsdal, H., Bohne, R. A., & Brattebø, H. (2008). Projection of Construction and Demolition Waste in Norway. Journal of Industrial Ecology, 11(3), 27–39.

[3] Oliveira, Maria do Perpétuo Socorro Lameg, de Oliveira, Evailton Arantes, Fonseca, Ana Margarida, Strategies to promote circular economy in the management of construction and demolition waste at the regional level: a case study in Manaus, Brazil, Clean Technologies and Environmental Policy: Focusing on Technology Research, Innovation, Demonstration, Insights and Policy Issues for Sustainable Technologies. :1-13

[4] Waskow, R., Maciel, V. G., Tubino, R., Passuello, A., Environmental performance of construction and demolition waste management strategies for valorization of recycled coarse aggregate, Journal of environmental management [J Environ Manage] 2021 Oct 01; Vol. 295, pp. 113094. Date of Electronic Publication: 2021 Jun 19.

[5] Yeheyis, M., Hewage, K., Alam, M. S., Eskicioglu, C., & Sadiq, R. (2012). An overview of construction and demolition waste management in Canada: a lifecycle analysis approach to sustainability. Clean Technologies and Environmental Policy, 15(1), 81–91. doi:10.1007/s10098-012-0481-6

6. CONGARTS

FETHİYE İLÇESİ KATI ATIK YÖNETİMİ OPTİMİZASYONU

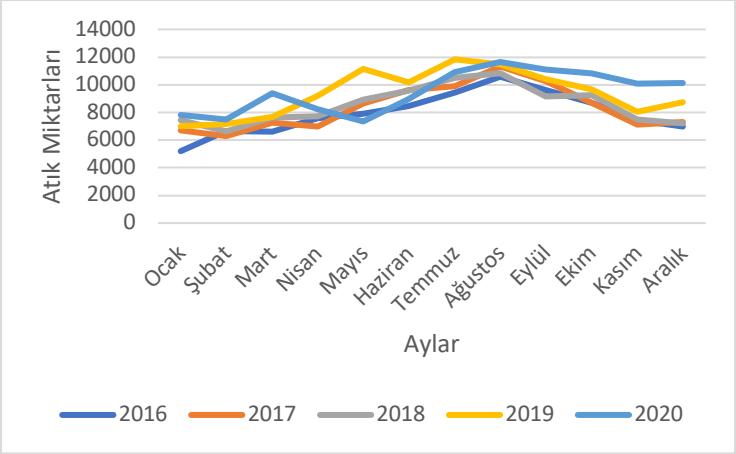
Mualla Elif ENGİN*[1], Mehmet Sinan BİLGİLİ*[2]

[1]**Yıldız Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü İSTANBUL* f0220008@std.yildiz.edu.tr

[2]**Yıldız Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü İSTANBUL* mbilgili@.yildiz.edu.tr

Özet

Geçim kaynağı turizm olan kıyı kentlerinde dönemsel nüfus artışı ile atık yönetiminde sorunlarla karşılaşılmaktadır.Bölgeyi ziyaret eden turistlerin atık yönetimine hakim olmaması, yerel nüfusa göre yapılan atık yönetimleri en önemli sorunlardır. Atık yönetiminin başarısız olması, çevresel, sağlık ve güvenlik açısından olumsuz etkiler ortaya çıkarmaktadır Bu çalışmada turizm kentlerindeki atık yönetim sorunlarından yola çıkılarak Fethiye ilçesi için atık yönetim optimizasyonu üzerinde çalışılmıştır. Bölgede 2020 yılında yerleşik nüfus 167114 kişidir. Aynı yılın verilerine göre 113962 ton atık girişinin yapıldığı Fethiye Düzenli Depolama sahasına 41 mahalleden atık kabul edilmektedir. Fethiye ilçesinin turizm merkezi olması sebebiyle atık miktarı yaz aylarında artış göstermektedir Bu dağılım şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Yıllara göre aylık atık miktarları

Genel olarak en fazla artış temmuz-ağustos aylarında görülmektedir. Tesiste atıkların bertaraf edildiği lot (atık döküm alanı), mekanik ön işleme tesisi ve elektrik üretim tesisi bulunmaktadır. Çalışma kapsamında Fethiye ilçesi için gelecek 30 sene için nüfus ve atık projeksiyonları oluşturulmuştur. Mevcut atık yönetimi değerlendirelerek, en uygun atık yönetim sistemi için önerilerde bulunulmuştur.2019 yılı karakterizasyon çalışmasında 162 ton biyobozunur ve park bahçe atıkları oluşmuştur. Bu doğrultuda, 30 ton/gün kapasiteli biyometanizasyon tesisi ve 50 ton/gün kapasiteli kompost tesisi yapılması planlanmaktadırr.Ambalaj ve organik atıklar olarak ikili ayırma sistemi önerilmektedir. %20 oranında geri dönüşüm hedeflenmektedir.%10 biyomethanizasyon %16 kompost ve %49 oranında düzenli depolama planlanmaktadır.

Bu çalışmada, bir kıyı kenti Fethiye için etkili bir atık yönetimi belirlenmesi amaçlanmıştır. Geçim kaynağı turizm olan Fetiye ilçesinde gerçekleşecek başarılı bir atık yönetimi turizmi de olumlu yönde etkileyecektir.

Anahtar Kelimeler: Atık Yönetimi, Kompostlaştırma, Biyometanizasyon

ARTVİN (MERKEZ) KATI ATIK TOPLAMA TAŞIMA SİSTEMİNİN COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ İLE DESTEKLENMESİ VE GERİ KAZANIM UYGULAMALARI

Özlem UÇAR[1,*], Semra ÇORUH[2,*]

[1,*] *Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü 55139 Samsun,Türkiye*
ozlemucar088@gmail.com

[2] Ondokuz Mayıs *Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 55139 Samsun,Türkiye*
semcoruh@omu.edu.tr

Özet

Katı atık miktarı, nüfus artışı, sanayileşme ve hızlı şehirleşmeye bağlı olarak, dünyada ve ülkemizde sürekli bir artış göstermektedir. Atık miktarının artışına bağlı olarak, katı atık yönetimi için yapılan yatırımlar da sürekli artmaktadır. Yerel yönetimler için, katı atıkların toplanması ve taşıma işlemleri, maliyet bakımından en yüksek paya sahiptir. Bu nedenle, bu süreçlerin iyi yönetilmesi, maliyet, çevre ve zaman açısından büyük önem teşkil eder. Aksi durumlarda; aşırı yakıt tüketimi, zaman israfı, amortisman gideri, çevre ve kamu sağlığı açısından önemli problemler ortaya çıkar. Bu bağlamda çalışma; bahsedilen hususların, Artvin Belediyesi özelinde irdelenmesini içermektedir. Çalışmada katı atıkları toplama sistemine ait yol ağları, çalışma alanının demografik yapısı ve bu bölgede ortaya çıkan atık miktarları ile ilgili veri setleri oluşturulmuştur. Bu veriler yardımıyla, katı atık toplama ve taşıma operasyonlarında, CBS tabanlı rota ve güzergâh optimizasyonu ile her mahalleye ait optimum güzergâh tespiti yapılmış ve fayda-maliyet ilişkisi değerlendirilmiştir.

Anahtar kelimeler: katı atık, toplama-taşıma, güzergah belirleme, CBS

Abstract

The amount of solid waste shows a continuous increase in the world and in our country, depending on population growth, industrialization and rapid urbanization. Depending on the increase in the amount of waste, investments made for solid waste management are constantly increasing. For local administrations, the collection and transport of solid wastes has the highest share in cost. Therefore, good management of these processes is of great importance in terms of cost, environment and time. Otherwise, significant problems arise in terms of excessive fuel consumption, waste of time, depreciation expense, environment and public health. In this context, this study includes the examination of the issues mentioned in the municipality of Artvin. At the end of the study, data sets related to road network about collection system, demographic structure and solid waste amounts were formed. With the help of these data, GIS-based route and route optimization was performed to determine the optimum route for each neighborhood in solid waste collection and transportation operations. spatial solid waste distribution maps were extracted and the cost-benefit relationship was evaluated.

Keywords: solid waste, collection-transportation, routing, GIS

1. GİRİŞ

Günümüzde çevre problemleri, sanayileşme, aşırı nüfus artışı ve kentleşme ile beraber meydana gelmektedir. Katı atıklar bu çevre problemlerinin arasında önemli bir role sahiptir. Başta evler olmak üzere endüstri, hastane gibi kaynaklardan oluşan katı atıklar uygun bir şekilde yönetilemezlerse toplum ve çevre sağlığını tehdit edecek problemlere neden olmaktadırlar (Şahin, 2014).

Katı atık toplama ve taşımada araçların, atık toplamak için bir noktadan başlayıp yine aynı noktaya döndüğü güzergâha tur denilmektedir. Bu tur belirleme, katı atık yönetim sistemi harcamaların en maliyetli kısmını oluşturduğundan daha sistematik çözümler ve bilimsel yöntemler araştırılmalıdır. Atıkların verimli ve ekonomik olarak toplanması için belediyelerin en kısa süre içerisinde, maksimum miktarda atık toplanmasını sağlayacak planları yapmaları gerekmektedir. Atıkların toplanacağı yollar için güzergâh çalışmaları sahada yapılmalıdır (Yaydırgan, 2018). Bunun yanında atıkların toplanması ve taşınmasından da belediyeler sorumludur. Atık Yönetimi Yönetmeliği'ne göre belediyeler "yönetiminden sorumlu olduğu atıkların taşımasında kullandıkları araçların kaydını tutmakla, araç takip sistemi kurmakla ve talep edilmesi halinde kayıtları bakanlığa ve il müdürlüğüne sunmakla" yükümlüdürler (Çakır, Yetiş, Yeşilnacar, & Ulukavak, 2019).

Bu çalışmada, Artvin ilinin mevcut katı atık yönetim sistemi araştırılmıştır. Bu amaçla; Artvin Belediyesi katı atık toplama sisteminin güzergahları, atık miktarları ile ilgili veri bankası oluşturulmuş ve bu veriler eşliğinde katı atık toplama-taşıma sisteminde mevcut durum ortaya çıkarılmıştır. Katı atık toplama taşıma sisteminin güzergah optimizasyonu yapılarak teknik, işletme ve maliyetler açısından analizinin yapılarak atık toplama materyalleri, akaryakıt, harcanan zaman, bakım onarım maliyetleri gibi çeşitli parametrelerin tasarrufu sağlanmıştır.

2. MATERYAL VE METOD

2.1.Artvin İli Katı Atık Toplama Taşıma Sistemi

Artvin, Türkiye'nin Karadeniz Bölgesi'nin Doğu Karadeniz Bölümü'nde yer alan, Karadeniz'e kıyısı bulunan bir ildir. İlin yüz ölçümü 7.436 km²'dir. Artvin ili nüfusu:169.501'dir. İlde km²'ye 23 kişi düşmektedir. (Bu sayı merkez ilçede 30'dur.) 2020 yılında TÜİK verilerine göre merkez ilçeyle beraber 9 İlçe, 9 belediye, bu belediyelerde 39 mahalle ve ayrıca 320 köyü vardır (Türkiye İstatistik Kurumu, 2021).

Şekil 1. Çalışma alanı Google Earth Görüntüsü

Artvin ilinde katı atık yıllar boyu süregelen bir problemdir ve evsel nitelikli atıklar mevcut yönetim planı içerisinde ayrı bir değerlendirmeye tabi tutulmadan diğer atıklarla beraber bertaraf edilmektedir. Bununla birlikte çalışma yapılan bölgede katı atık düzenli depolama tesisi bulunmamakta olup atıklar 2015 yılına kadar Şekil 2'de görünen alanda depolanmakta iken 2015 yılından sonra Şekil 3'de gösterilen vahşi depolama alanlarında bertaraf edilmektedir.

Şekil 2. Eski vahşi depolama alanı

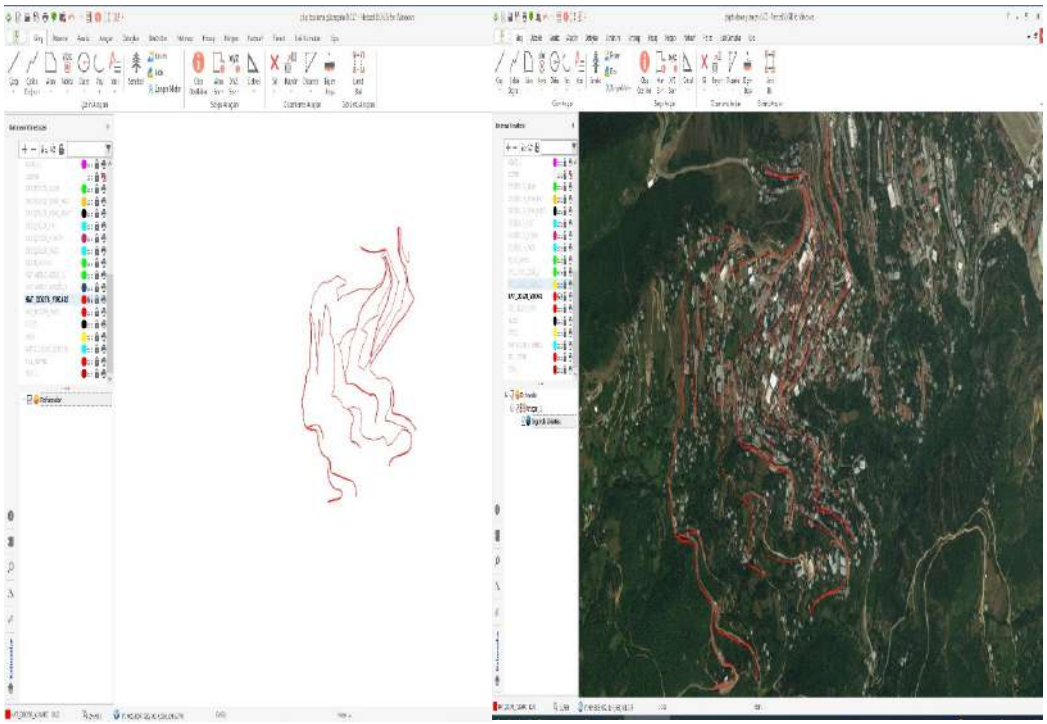
Şekil 3. Yeni çöp depolama alanı

Artvin ili sınırları içerisinde atık yağ, tıbbi atık, ambalaj atığı ya da tehlikeli atık bertaraf tesisi bulunmamaktadır.1 adet Toplama Ayırma Taşıma (TAT) tesisi bulunmaktadır. Ancak geri dönüşüm tesisi bulunmamaktadır. Tüm atıklar il dışında çeşitli yerlerde bulunan bertaraf ya da geri dönüşüm tesislerine gönderilmektedir.

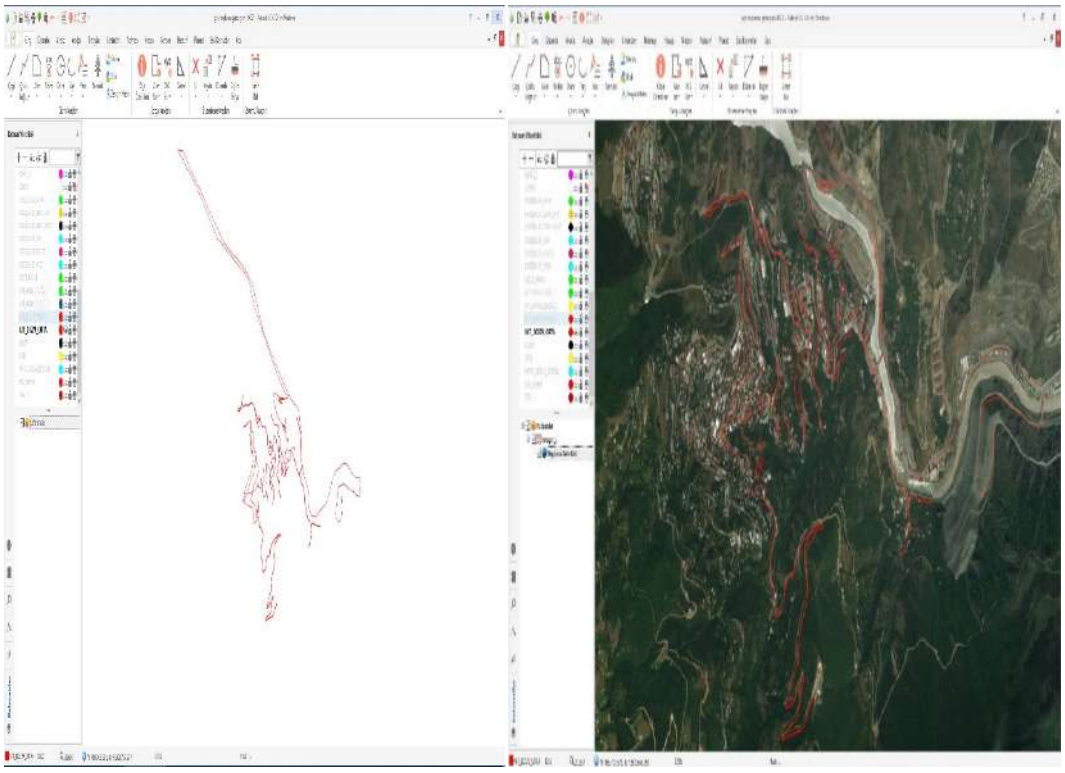
Artvin (Merkez) de katı atıkların biriktirilmesi, toplanması ve taşınması münferit sistem ile gerçekleştirilmektedir. Katı atıklar 400-800 litrelik konteynır sistemi ile biriktirilmekte olup konteynerlerin büyüklükleri ve yerleştirilme sıklıkları üretilen katı atık miktarına göre değişiklikler göstermektedir. Artvin İl Merkezi'nde günlük olarak toplanan katı atık miktarının yaklaşık olarak 30 ton olduğu bilinmektedir. Üretilen katı atıklar ilgili belediye tarafından belirlenen saatlerde 3 adet 4,5 m^3'lük hidrolik sıkıştırmalı çöp kamyonlarında toplanarak 30 tonluk büyük çöp toplama kamyonuna aktarılmakta olup dolması halinde bahse konu atıklar Artvin Hamamlı Köyü sınırları içerisinde belirlenen ara depolama merkezinde depolanmaktadır.

Artvin ili Merkez ilçesinde yapılan çalışmalarda gözlemler sonucu katı atık toplama/taşıma sisteminin bilimsel bir çalışmaya dayanmadığı, mevcut bir metot çalışması, araç rotalama veya çizelgeleme çalışmalarının yapılmadığı gözlemlenmiştir. Var olan hâlihazır sistemde araç şoförleri tamamıyla inisiyatiflerini kullanarak güzergahları kendilerine göre düzenlemekte olduğu görülmektedir.

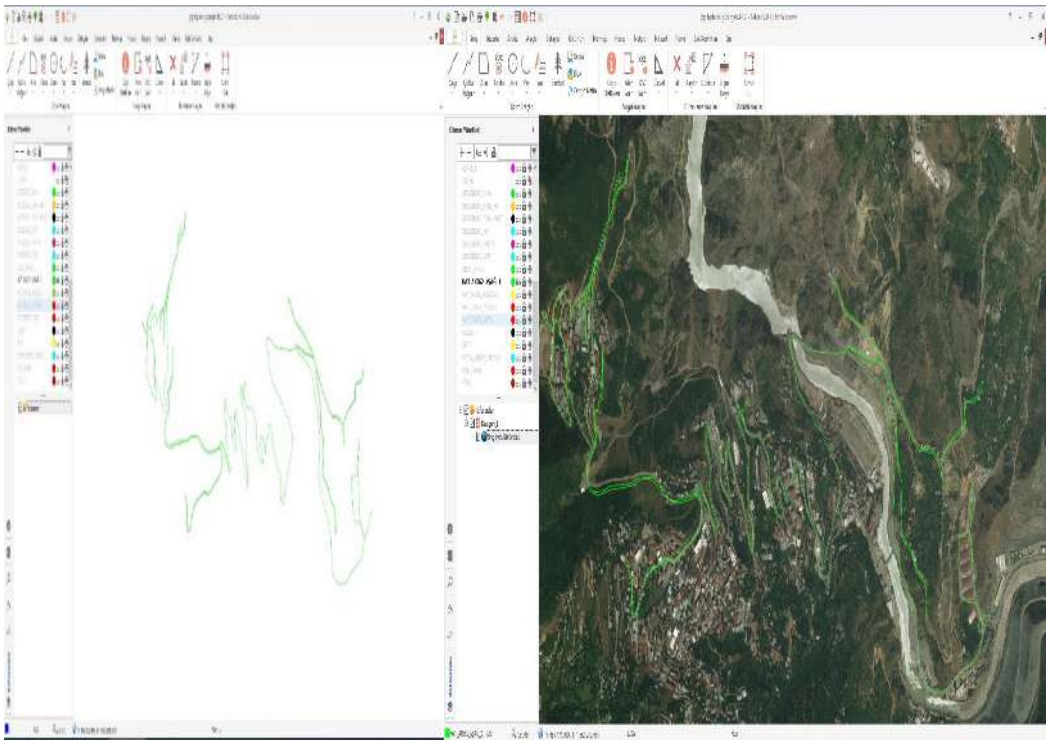
Artvin Belediyesi sınırları içerisinde çalışan 4,5 m^3 lük üç aracın CBS den faydalanarak günlük güzergahları tespit edilmiştir. Araçların güzergâh belirlemesinde herhangi bir sistem söz konusu değildir. Gelişi güzel çalışan güzergahlar 3 adettir. Her biri teker teker incelenmiştir.



Şekil 4. Mevcut Güzergah 1



Şekil 5. Mevcut Güzergah 2



Şekil 6. Mevcut Güzergah 3

Mevcut Güzergah 1 şu mahalleleri içermektedir; Çarşı Mahallesi, Orköy Mahallesi, Balcıoğlu Mahallesi, Dere Mahallesi

Mevcut Güzergah 2 şu mahalleleri içermektedir; Orta Mahalle, Çarşı Mahallesi AVM mevki, Çarşı Mahallesi, Yukarı Şehitlik Köyü Atatepe mevki, Aşağı Şehitlik Köyü, Artvin-Borçka yolu Marina Tesisleri

Mevcut Güzergah 3 şu mahalleleri içermektedir; Sanayi Mevki, İskebe(Yenimahalle), Seyitler Köyü

Tablo 1. Güzergahların Genel Durumu

Mevcut Güzergahlar	**Konteynır Sayısı**	**Yapılan km**	**Toplam Süre(saat)**
Mevcut Güzergah 1	270	55	5
Mevcut Güzergah 2	350	43	5
Mevcut Güzergah 3	296	32	4

Bu çalışmada; CBS kullanılarak katı atık toplama, optimum güzergah (taşıma optimizasyonu) haritaları hazırlanmıştır. Bu çerçevede güzergâh analiz optimizasyonu haritaları için gerekli veriler belirlenmiştir. Her bir verinin hangi şekilde kullanılması gerektiği ve hangi analiz yönteminin seçilmesi gerektiği tespit edilmiştir. Buna göre Artvin ili Merkez ilçesinin katı atık toplama ve optimum güzergah tespitinin yapılabilmesi için ArcGıs yazılımının network analiz modülü kullanılmıştır. En küçük kapsayan ağaç metoduyla aynı mantıkta çalışan bu yazılım, elde edilmiş katı atık koordinatlarını yol verisi üzerinde, aralarındaki en kısa mesafeleri hesap ederek numaralandırıp, bu numaralar arasındaki optimum güzergâhı bizlere vermektedir.

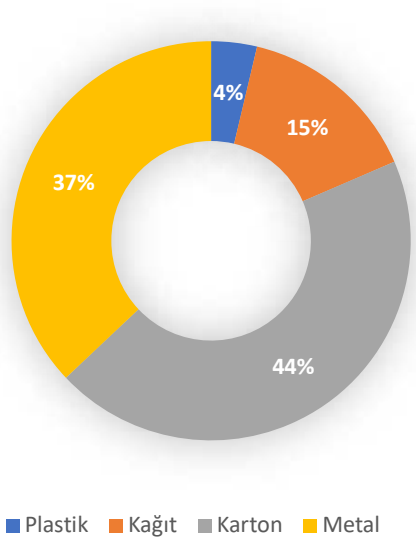
2.2.Artvin Geri Kazanım Sistemi

Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından 24 Haziran 2007 tarih ve 26562 sayılı resmi gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği çerçevesinde Artvin ilinde oluşan ambalaj atıklarının (kağıt-karton, plastik, metal, cam, komp. vb.) toplanması ve ayrıştırılmasını yapmak ve geri dönüşümünü sağlamak üzere Artvin Belediyesi'ne bağlı toplama ayırma tesisi olan yetkili firma Seçkin Reklam Geri Dönüşüm/Hurdacılık tarafından toplanmaktadır.

Artvin ili Merkez ilçesinde belirlenen noktalara geri dönüşüm kafesleri yetkili firma tarafından yerleştirilmiştir. Bu konulan geri dönüşüm kafeslerinde biriken geri dönüştürülebilir atıkları ise her gün yetkili firmaya ait araçlar toplamaktadır.

Toplanan geri dönüştürülebilir atık çeşitleri şu şekildedir: Ambalaj, kağıt-karton, plastik ve türevleri, metal vb.

Seçkin Reklam Geri Dönüşüm/Hurdacılık taşıma araçlarıyla geri dönüştürülebilir atıklar tesise getirilmektedir. Gelen ürünler atık sahasına indirilmektedir. Gelen atıkları atık kabul ünitesinde görevli saha sorumlusu tarafından kontrol edilmektedir. Toplanan tüm geri dönüştürülebilir atıklar belediye tarafından tahsis edilen alanda insan eli ile ayrıştırılmaktadır. Ayrıştırılan tüm geri dönüştürülebilen atıklar ayrı ayrı pres makinesi ile preslenmektedir. Daha sonra preslenerek biriktirilen tüm geri dönüştürülebilir atıklar belirlenen lisanslı geri dönüşüm firmalarına gönderilmektedir.



Şekil 7. Günlük Toplanan Geri Dönüştürülebilir Atık Miktarları

3. SONUÇ VE TARTIŞMA

Sonuç olarak, belediyelerin katı atık toplama ve taşıma işlemlerinde; güzergâh belirleme işlemlerinde, alansal katı atık dağılım haritalarının hazırlanması işlemlerinde coğrafi bilgi sistemi altyapısına sahip teknolojilerinin kullanılması, ekonomik ve çevresel kazançlar açısından ciddi bir paya sahip olduğu görülmüştür. Tasarruf kapsamında yapılacak çalışmaların hayata geçirilmesi ile birlikte elde edilecek toplam fayda, direkt olarak ülke kaynaklarına büyük katkı sağlayacaktır. Analizler, seçilen bölgeye ait gerçek veriler yardımı ile yapılmıştır. Güzergâh optimizasyonu ve alansal katı atık dağılım haritaları ile özellikle yerel yönetimlerde karar vericilerin çözüme daha kolay ve hızlı ulaşılabileceği düşünülmektedir. Araçların yaklaşık 1/3 oranında daha az kullanılmalarından dolayı ortaya çıkan amortisman, bakım ve onarım, yedek parça ve işçilik maliyetleri gibi kullanıma bağlı masraflardaki düşüş dikkate alındığında buradan elde edilecek tasarrufun da giderek artacağı düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

[1]. Çakır, M. E., Yetiş, A., Yeşilnacar, M., & Ulukavak, M. (2019). Katı Atıklar için Optimum Güzergâh Tespiti ve Alansal Dağılım Haritalarının CBS Ortamında Oluşturulması:Suruç (Şanlıurfa) Örneği. *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 595-603.

[2]. Şahin, C. (2014). *Sinop İli Kentsel Katı Atık Toplama ve Taşıma Optimizasyonu.* Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.

[3]. *Türkiye İstatistik Kurumu*. (2021, 10 25). TÜİK: https://www.tuik.gov.tr/ adresinden alındı

[4]. Yaydırgan, T. (2018). *MAHALLİ İDARELER İÇİN EVSEL KATI ATIK TARİFE BELİRLEME YÖNTEMİ.* Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Bölümü, Tekirdağ.

ARA DEPOLAMA TESİSİ VERİLERİ KULLANILARAK TEHLİKELİ ATIKLARIN İNCELENMESİ

Beril Akkuş[1,*], Nezih Kamil Salihoğlu[2]

[1],*Bursa Uludağ Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü 16000, Nilüfer/BURSA 501804012@ogr.uludag.edu.tr
[2] Bursa Uludağ Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 16000, Nilüfer/BURSA nkamils@uludag.edu.tr

Özet

Bu çalışmada; endüstrilerden kaynaklanan tehlikeli atıkların yönetiminde bir ara depolama tesisinin verileri ele alınmıştır. Çalışma kapsamında tehlikeli atıkların oluştuğu sektörler, atık miktarları ve bertaraf yöntemleri, ülkemizin sanayi yoğun kentlerinden biri olan Bursa'daki bir ara depolama tesisi verilerine dayanılarak ele alınmıştır.

Atık üreticileri birçok farklı atık bertaraf ve geri kazanım firması ile anlaşmak yerine tek bir firma ile atık yönetimlerini devam ettirmek istemektedir. Bu da çevresel olarak ekolojik ayak izi ve her sevkiyatta ayrı araçlarda oluşacak emisyon miktarını azaltmakta ve bununla birlikte atık üreticisi atık taşıma esnasında uzak lokasyonlardaki taşıma riskini azaltmakta ve olası çevre kazalarının önüne geçmektedir.

Çalışmada incelenen tesis verilerine göre; kabulü yapılan atıkların %55'inin atıktan türetilmiş yakıt (ATY) tesislerine, %20'sinin tehlikeli atık yakma tesislerine, kalan %25'inin ise geri kazanım tesislerine gönderildiği belirlenmiştir.

Atık ara depolama tesisinde ağırlıklı olarak öne çıkan başlıca kodlar tesise gelen miktarlar baz alındığında; tüm sektörler için evrensel bir atık kodu olan 150202 'Tehlikeli maddelerle kirlenmiş emiciler, filtre malzemeleri, temizleme bezleri, koruyucu giysiler', Bursa'daki üretim sektörünün niteliği dikkate alınarak otomotiv sektöründen oluşan 120109 ve 080111kodlu atıkların öne çıktığı sağtanmıştır. Tekstil sektöründen kaynaklı kontamine olmuş ambalajları ifade eden 150110 atık kodlu ve endüstriyel atık suyun arıtılmasından kaynaklı 190813 atık kodlu tehlikeli atık çamurlarının da önemli bir kütle oluşturduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: *Tehlikeli Atık, Ara Depolama, Atık Kodu, Endüstriyel Sektörler*

Evaluation of Hazardous Wastes Using Interim Waste Storage Facility Data

Abstract

In this study; The data of an intermediate storage facility in the management of hazardous wastes originating from industries are discussed. Within the scope of the study, the sectors, waste amounts and disposal methods of hazardous wastes are discussed based on the data of an intermediate storage facility in Bursa, one of the industrial densest cities of our country.

Instead of making agreements with many different waste disposal and recycling companies, waste producers want to continue their waste management with a single company. This, in turn, reduces the ecological footprint and the amount of emissions that will occur in separate vehicles in each shipment, and also reduces the risk of transportation in remote locations during the transportation of waste-generating waste and prevents possible environmental accidents.

According to the facility data examined in the study; It has been determined that 55% of the accepted wastes are sent to waste-derived fuel (ATY) facilities, 20% to hazardous waste incineration facilities, and the remaining 25% to recycling facilities.

The main codes that stand out in the waste interim storage facility are based on the amounts arriving at the facility; 150202, which is a universal waste code for all sectors, 'Absorbents, filter materials, cleaning cloths, protective clothing contaminated with hazardous substances', it has been ensured that wastes coded 120109 and 080111 from the automotive sector stand out, taking into account the nature of the production sector in Bursa. It has been observed that the hazardous waste sludge with the waste code 150110, which refers to the contaminated packaging originating from the textile industry, and the waste code 190813, originating from the treatment of industrial waste water, also form a significant mass.

Keywords: Hazardous Waste, Intermediate Storage, Waste Code, Industrial Sectors

1. GİRİŞ

Teknolojik gelişmeler ve sanayileşme ile paralel olarak yaşanan hızlı kentleşme ve nüfus artışı, hem ülkemizde hem de tüm dünyada insan faaliyetlerinin çevre üzerindeki baskısını hızla artırmaktadır. Bu süreçte üretim ve pazarlama faaliyetlerindeki genişleme, doğal kaynakların daha yoğun kullanımını kaçınılmaz kılarken, sürekli artan tüketim eğilimi ile birlikte oluşan atıklar da, hem miktar hem de zararlı içerikleri nedeniyle çevre ve insan sağlığını tehdit eder boyutlara ulaşmıştır [1].

Birleşmiş Milletler Çevre Programına göre (UNEP) katı atık, "Sahibinin istemediği, ihtiyacı olmadığı, kullanmadığı, arıtılması ve uzaklaştırılması gereken maddeler" olarak tarif edilmektedir [2].

Tehlikeli atıklar, Atık Yönetimi Genel Esasları Yönetmeliği; tehlikelilik özelliğine göre 15 sınıfa ayrılmıştır: Patlayıcı, oksitleyici, yüksek oranda tutuşabilenler, tahriş edici, zararlı, toksik, kanserojen, korozif, enfeksiyon yapıcı, üreme yetisini azaltıcı, mutajenik, havayla, suyla veya bir asitle temas etmesi sonucu zehirli veya çok zehirli gazları serbest bırakan madde veya preparatlar. Yukarıda listelenen karakterlerden herhangi birine sahip olan atıkların bertarafı esnasında ortaya çıkan madde ve preparatlar, ekotoksik atıklardır [3].

Tehlikeli atıklar, maruz kaldıklarında insanlara ve serbest bırakıldıklarında çevreye zararlı etkilere neden olma potansiyeline sahip atıklardır. Tehlikeli atıklar ve çeşitli endüstrilerden ve belediyelerden gelen yan ürünler, standart bertaraf protokolü izlenerek bertaraf edilmelidir. Bununla birlikte, tehlikeli atıkların güvenli bir şekilde taşınması ve bertarafı ile ilgili zorluklar vardır [4].

Endüstriyel atıklar, endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan atıklardır. Endüstriyel işlemler sırasında ve/veya endüstriyel işlemler sonucunda oluşan atıkları kapsamaktadır [5].

Tehlikeli atıkların ara depolaması; atıkların geri kazanım veya nihai bertaraf tesislerine ulaştırılmadan önce atık miktarının yeterli kapasiteye ulaşıncaya kadar güvenli bir şekilde depolanmasını ifade etmektedir [6].

Ülkemizde oluşan başlıca tehlikeli atıklara; tehlikeli madde ile kontamine olmuş ambalajlar (boya kutuları, kimyasal kapları, yağ teneke ve varilleri), atık yağlar (motor, makine ve türbin yağları, sentetik ve mineral yağlar, emülsiyon ve solüsyonlar), metallerin mekanik olarak işlenmesi esnasında oluşan ve yağ bulaşmış atıklar (yağlı metal talaşları, metalik çamurlar), tehlikeli madde ile pislenmiş bez, eldiven, üstübü gibi atıklar, boya ve vernik kalıntıları, eski piller ve aküler, organik solventler, floresan lambalar, kartuş ve tonerler vb. örnek olarak verilebilir [7].

Çalışmada ulaşılmak istenen hedef; atık ara depolama tesisi verilerinin bir kentin tehlikeli atık oluşum yapısı ve yönetim stratejisi hakkında bilgi altyapısının oluşturulması için kullanılmasıdır.

Tehlikeli atıklar, kanserojen, toksik, patlayıcı, tutuşabilen, korozif, tahriş edici vb. özelliklerinden dolayı çevre ve insan sağlığı açısından risk teşkil eden atıklardır. Endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan atıklardır. Endüstriyel işlemler sırasında ve/veya endüstriyel işlemler sonucunda oluşan atıkları kapsamaktadır [5].

1.1. Atık Yönetimi Hiyerarşisi

Katı atık yönetimi; katı atıkların insan ve çevre sağlığı, ekonomi, mühendislik, kaynakların korunması, estetik ve diğer çevresel konularla ilgili biçimde toplumun üretim ve tüketim alışkanlıklarını da dikkate alarak atık miktarının kontrolü, toplama, biriktirme, taşıma-aktarma, işleme ve son uzaklaştırma aşamalarını kapsayan disiplin olarak tanımlanabilir [8]. Temel amacı; istenmeyen malzemenin yok edilmesi yani bertarafıdır [9].

Bunun sonucunda; sürdürülebilir katı atık yönetim sistemi için;

- Çevre sağlığını korumak,
- Kentsel çevre kalitesini yükseltmek,
- Ekonominin verimliliğini ve yeterliliğini desteklemek,
- İstihdam ve gelir elde etmek, hedeflerini içermelidir [10].

Bu hedef için;

- Atık üretiminin minimize edilmesi,
- Tekrar kullanımın ve geri dönüşümün maksimize edilmesi,
- Değerlendirilmeyen atıkların kontrollü şekilde depolanması,
- Atık yönetimi sektörleri arasında koordinasyonun sağlanması,
- Tüketiciler, özel sektör ve yerel yönetimler için uygun finansal sistemlerin oluşturulması,
- Uygun istihdam koşullarının sağlanması,
- Sağlık ve güvenliğe önem verilmesi,
- Temiz ve sağlıklı bir kentin hedeflenmesi,
- İlgili kişi ve kurumları yönlendirecek yasal düzenlemelerin yapılması gerekmektedir [11].

Geri kazanımla birlikte ürünlerin hem hammadde maliyetlerinde hem de üretim maliyetlerinde önemli tasarruflar elde edilecektir. Sürdürülebilirliğin temelini oluşturan kaynakların etkin bir şekilde kullanılması bu şekilde gerçekleşmiş olacaktır. Ayrıca yakma sonucu enerji elde etme ve kompost üretimi de yine sürdürülebilirliği sağlayan yöntemler olarak karşımıza çıkmaktadır [12].

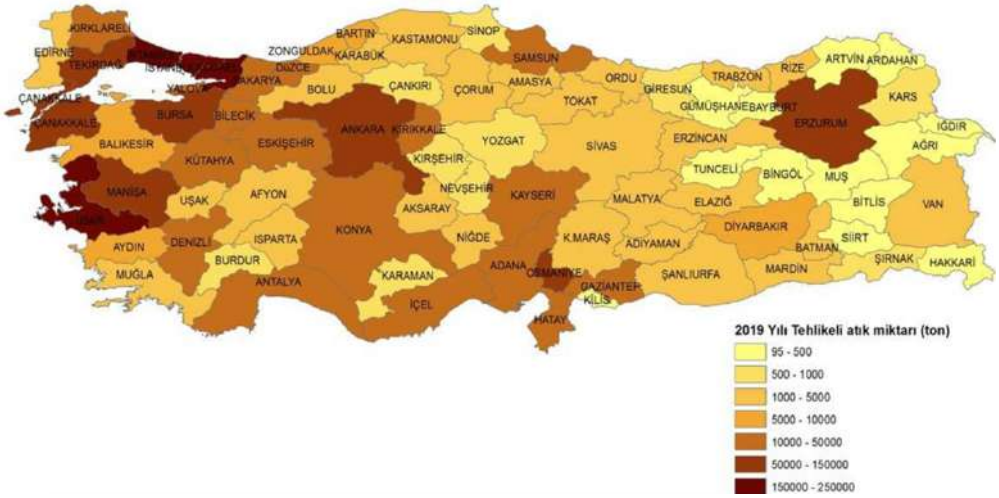
Katı atık yönetiminde sürdürülebilirlik kavramı, katı atık yönetim sisteminin, yerel özelliklere ve kapasiteye uygun biçimde siyasal, kurumsal, sosyal, ekonomik, mali ve teknik özelliklere dikkat edilerek belirlenmesi ve ilgili faktörler (yerel yöneticiler, halk, sivil toplum örgütleri, özel sektör) tarafından kullanılarak uygulanması olarak ifade edilmektedir [13].

2. TÜRKİYE'DE ATIK YÖNETİMİ

Ülkemizde, 2872 sayılı Çevre Kanunu ile oluşturulan çevre yönetim politikaları ve mevzuatı uluslararası ölçekte ülke şartlarına uyumlaştırılarak geliştirilmekte ve uygulanmaktadır. Farklı türdeki atıklar; belediye atıkları, ambalaj atıkları, tıbbi atıklar, tehlikeli atıklar, hafriyat toprağı, inşaat ve yıkıntı atıkları, atık pil ve akümülatörler, atık motor yağları, atık sanayi yağları, bitkisel atık yağlar, ömrünü tamamlamış lastikler, atık elektrikli ve elektronik eşyalar ve ömrünü tamamlamış araçlar; mevzuat dikkate alınarak yönetilmektedir. Başta Çevre Kanunu olmak üzere tüm yasal düzenlemeler atık yönetim hiyerarşisi dikkate alınarak uygulanmaktadır. Kalkınma Bakanlığı tarafından yayınlanan ve 2019-2023 yıllarını kapsayan 11'inci Kalkınma Planında çevre hedefleri arasında "Mineral Atıklar Hariç Kişi Başına Üretilen Tehlikeli Atık" Miktarını 2016'daki 15 Tondan 11 Tona indirmek olarak belirtilmiştir. Ayrıca, atıkların insan ve çevre sağlığına etkilerinin en aza indirilerek etkin yönetiminin gerçekleştirilmesi için azaltılması, geri dönüşüm ve geri kazanımın sağlanması ve bertaraf edilmesi kentsel altyapı hedeflerinden sayılmıştır. Atık yönetimi mevcut durumu, ilk aşamada 81 ilin tamamını kapsayacak şekilde atık bazlı belirtilmiş olup ikinci aşamada her il için atık miktarları ve atık yönetim faaliyetlerini içeren il kartları ve bölge kartları şeklinde oluşturulmuştur. [14]. 2019 yılında beyan edilen tehlikeli atığın %85,74'ü geri kazanılmak üzere atık işleme tesislerine gönderilirken %12,01'i bertaraf edilmek üzere sterilizasyon, düzenli depolama ve yakma tesislerine gönderilmiştir. Bununla birlikte %2,09'u stok, % 0,15'i ise ihracat olarak kaydedilmiştir [15]. Ülkemizde tehlikeli atıkların insan ve çevre sağlığı üzerindeki olumsuz etkisinin her geçen gün artması tehlikeli atık yönetiminin önemini artırmaktadır. Tehlikeli Atık Beyan Sistemi'nden (TABS) alınan tehlikeli atık verisine göre; Türkiye genelinde 2010 yılında beyan edilen toplam tehlikeli atık miktarı 629.933 ton iken, bu miktar yaklaşık %55,6'lık bir artışla 2014 yılında 1.413.220 tona ulaşmıştır. TABS'a atık beyanında

bulunan firma sayısı 2010 -2014 döneminde %47,7 oranında artmıştır. 2019 yılında ülke genelinde 76.496 adet tesis tarafından atık beyan formu doldurulmuştur.

2019 yılı için Türkiye genelinde Tehlikeli Atık Miktarı toplamı 1.650.106 ton olarak belirlenmiştir.[15] Şekil 1'de 2019 yılı Tehlikeli atık Miktarı verilmiştir.



Şekil 1: 2019 yılı Tehlikeli atık Miktarı Türkiye'de 8 adet I. Sınıf Düzenli Depolama Tesisi [15]

2019 yılında geri kazanım amacıyla atık işleme tesislerine gönderilen atık miktarı 1.408.869 ton, bertaraf edilmek üzere atık işleme tesisine gönderilen atık miktarı ise 204.326 ton olarak gerçekleşmiştir. Yılsonu itibariyle tesiste stok olarak tutulan tehlikeli atık miktarı 34.418 ton, ihraç edilen tehlikeli atık miktarı ise 2.493 ton olarak gerçekleşmiştir (Tablo1) [15].

Yıl	Geri Kazanım	Bertaraf	Stok	İhracat	Toplam (Ton)
2015	1.129.088	167.222	53.251	7.779	1.357.340
2016	1.089.809	222.263	40.933	10.222	1.363.227
2017	1.190.764	209.930	13.673	10.678	1.425.045
2018	1.286.363	200.767	17.434	9.060	1.513.624
2019	1.408.869	204.326	34.418	2.493	1.650.106

Tablo1. *Atık İşleme Yöntemine(*) Göre Tehlikeli Atık Miktarı (Ton)*

Ülke genelinde 25 adet ara depolama tesisinde 48.435 ton atık işlem görmüştür. Türkiyedeki ATY tesis sayısı 23'tür. Aynı zamanda "Atıktan Türetilmiş Yakıt, Ek Yakıt ve Alternatif Hammadde Tebliği" 'ne göre atıklar parça boyu, kalorifik değeri, metal içeriği gibi önemli parametrelerine göre atıktan türetilmiş yakıt hazırlama (ATY) tesislerinde işlenmektedir. ATY hazırlama tesislerinde hazırlanan atıklar, ek yakıt olarak değerlendirilmek üzere çimento fabrikalarına gönderilmektedir. 2014 yılı içerisinde (R12) kodu ile işlem gören atık miktarı 273.595 tondur.

85.854 ton tehlikeli atık R1 (Enerji üretimi amacıyla başlıca yakıt olarak veya başka şekillerde kullanma) kodu ile çimento fabrikalarında değerlendirilmektedir. Türkiye genelinde bulunan 71 adet çimento fabrikasından 35'i (%49) ek yakıt ve alternatif hammadde kullanımına yönelik lisans almıştır. Bunun yanı sıra Ege Bölgesi'nde bulunan kireç fabrikasında da beraber yakma kapsamında atık bertarafı yapılmaktadır [14].

3. MATERYAL YÖNTEM

Bu çalışmada, Bursa'da bulunan lisanslı bir atık ara depolama tesisi verilerinden istifade edilmiştir. Tesisin son 5 yıllık verilerinin aritmetik ortalaması alınarak elde edilen atık miktarları ve atık kodları incelenmiştir. Çalışmada TÜİK ve T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ile konuyla ilgili makalelerden elde edilen bilgiler, tablo ve grafikler yorumlanmıştır. Değerlendirmelerle, atık değişim eğilimi ve son durumlar tespit edilmiştir.

İncelenen veriler istatistiki olarak değerlendirilerek, atığın geldiği sektörlerin belirlenmesi ve kentin tehlikeli atık profilinin oluşturulmasında altlık oluşturmuştur. Çalışma sonunda atık ara depolama tesisleri hakkında kısa bir SWOT çalışması gerçekleştirilmiştir.

3.1. Araştırma Bulguları ve Tartışma

Tesisi verileri incelendiğinde Tablo 2'de verilen atık kodları ve miktarları elde edilmiştir. 2020 yılı öncesi verilerinin farklı atık kodları için %1 ile %6 standart sapma değeri aralığında salınım gösterdiği hesaplanmıştır. Tablo 2'de elde edilen verilerin medyan (ortanca) değerleri verilmiştir.

Atık Kodu		**2020 Öncesi Toplam Miktar (kg)**	**2020 Sonrası Toplam Miktar (kg)**
02 01 08*	Tehlikeli maddeler içeren zirai kimyasal atıklar	29330	47860
03 01 04*	Tehlikeli maddeler içeren talaş, yonga, kıymık, ahşap, kontraplak ve kaplamalar	96870	27557
05 01 08*	Diğer ziftler	80	340
05 01 09*	Saha içi atıksu arıtımından kaynaklanan tehlikeli madde içeren çamurlar	1920	13143
06 02 04*	Sodyum ve potasyum hidroksit	5612	2706
06 03 13*	Ağır metal içeren katı tuzlar ve solüsyonlar	1460	2500
07 01 01*	Su bazlı yıkama sıvıları ve ana çözeltiler	13120	16340
07 01 03*	Halojenli organik çözücüler, yıkama sıvıları ve ana çözeltiler	10440	7920
07 01 04*	Diğer organik çözücüler, yıkama sıvıları ve ana çözeltiler	30260	28910
07 01 08*	Diğer dip tortusu ve reaksiyon kalıntıları	6290	15340
07 01 09*	Halojenli filtre keki ve kullanılmış absorbanlar	250	-
07 02 08*	Diğer dip tortusu ve reaksiyon kalıntıları	32545	92010
07 02 10*	Diğer filtre kekleri ve kullanılmış absorbanlar	45	500
07 02 11*	Saha içi atıksu arıtmından kaynaklanan tehlikeli maddeler içeren çamurlar	880	200
07 02 14*	Tehlikeli maddeler içeren katkı maddelerinin atıkları	186947	498835
07 02 16*	Zararlı silikonlar içeren atıklar	113020	110174
07 03 03*	Halojenli organik çözücüler, yıkama sıvıları ve ana çözeltiler	1420	-
07 03 04*	Diğer organik çözücüler, yıkama sıvıları ve ana çözeltiler	3963	51280
07 03 08*	Diğer dip tortusu ve reaksiyon kalıntıları	790	1900
07 04 04*	Diğer organik çözücüler, yıkama sıvıları ve ana çözeltilerDiğer organik çözücüler, yıkama sıvıları ve ana çözeltiler	580	-
07 06 01*	Su bazlı yıkama sıvıları ve ana çözeltiler	25620	20940
07 06 08*	Diğer dip tortuları ve reaksiyon kalıntıları	3950	440
07 06 11*	Saha içi atıksu arıtımından kaynaklanan tehlikeli maddeler içeren çamurlar	60	900

07 07 04*	Diğer organik çözücüler, yıkama sıvıları ve ana çözeltiler	115635	192406
07 07 08*	Diğer dip tortusu ve reaksiyon kalıntıları	15280	7740
07 07 11*	Saha içi atıksu arıtımından kaynaklanan tehlikeli maddeler içeren çamurlar		
08 01 11*	Organik çözücüler ya da diğer tehlikeli maddeler içeren atık boya ve vernikler	434502	451998
08 01 13*	Organik çözücüler ya da diğer tehlikeli maddeler içeren boya ve vernik çamurları	412440	222610
08 01 15*	Organik çözücüler ya da diğer tehlikeli maddeler içeren boya ve vernikli sulu çamurlar	13220	2015
08 01 17*	Organik çözücüler ya da diğer tehlikeli maddeler içeren boya ve verniğin sökülmesinden kaynaklanan atıklar	1220	50
08 01 19*	Organik çözücüler ya da diğer tehlikeli maddeler içeren boya ve vernik sökülmesinden kaynaklanan sulu süspansiyonlar	140	3790
08 01 21*	Boya ya da vernik sökücü atıkları	109288	48670
08 03 12*	Tehlikeli maddeler içeren mürekkep atıkları	3995	1145
08 03 14*	Tehlikeli maddeler içeren mürekkep çamurları	2970	4340
08 03 17*	Tehlikeli maddeler içeren atık baskı tonerleri	7480	6429
08 04 09*	Organik çözücüler ya da diğer tehlikeli maddeler içeren atık yapışkanlar ve dolgu macunları	191305	72954
08 04 11*	Organik çözücüler ya da diğer tehlikeli maddeler içeren yapışkan ve dolgu macunu çamurları	5260	-
08 04 15*	Organik çözücüler ya da diğer tehlikeli maddeler içeren sulu yapışkan veya dolgu macunlarının sıvı atıkları	71655	68377
08 05 01*	Atık izosiyanatlar	7770	8967
09 01 02*	Su bazlı ofset plakası banyo solüsyonu	100	-
09 01 03*	Çözücü bazlı banyo solüsyonları	500	-
09 01 04*	Sabitleyici solüsyonlar	500	-
10 01 20*	Saha içi atıksu arıtımından kaynaklanan tehlikeli maddeler içeren çamurlar	91520	-
10 03 19*	Tehlikeli maddeler içeren baca gazı tozu	100204	57680
10 03 21*	Tehlikeli maddeler içeren diğer partiküller ve tozlar (öğütücü değirmen tozu dahil)	39062	24680
10 03 29*	Tuz cürufları ve kara cürufların arıtımından çıkan ve tehlikeli maddeler içeren atıklar	4460	-
10 04 01*	Birincil ve ikincil üretim cürufları	338	672
10 09 07*	Döküm yapılmış tehlikeli madde içeren maça ve kum döküm kalıpları	28195	39125
10 09 09*	Tehlikeli maddeler içeren baca gazı tozu	4716	3659
10 09 15*	Tehlikeli madde içeren çatlak belirleme kimyasalları atığı	80	-
11 01 05*	Sıyırma asitleri (parlatma asitleri)	12640	51600
11 01 06*	Başka bir şekilde tanımlanmamış asitler	36240	-
11 01 08*	Fosfatlama çamurları	158327	172974
11 01 09*	Tehlikeli maddeler içeren çamurlar ve filtre kekleri	257741	190697
11 01 11*	Tehlikeli maddeler içeren sulu durulama sıvıları	6250	20800
11 01 13*	Tehlikeli maddeler içeren yağ alma atıkları	57571	109532
12 01 09*	Halojen içermeyen işleme emülsiyon ve solüsyonları	680534	536591

12 01 12*	Kullanılmış (mum) parafin ve yağlar	13185	27520
12 01 14*	Tehlikeli maddeler içeren işleme çamurları	34268	55201
12 01 16*	Tehlikeli maddeler içeren kumlama maddeleri atıkları	53962	155227
12 01 20*	Tehlikeli maddeler içeren öğütme parçaları ve öğütme maddeleri	11759	32649
12 03 01*	Sulu yıkama sıvıları	15000	17724
13 05 02*	Yağ/su ayırıcısından çıkan çamurlar	4860	1100
13 07 01*	Fuel-oil ve mazot	1250	79440
13 07 02*	Benzin	40	-
13 07 03*	Diğer yakıtlar (karışımlar dahil)	300	-
14 06 03*	Diğer çözücüler ve çözücü karışımları	14541	28982
15 01 10*	Tehlikeli maddelerin kalıntılarını içeren ya da tehlikeli maddelerle kontamine olmuş ambalajlar	689350	867527
15 01 11*	Boş basınçlı konteynırlar dahil olmak üzere tehlikeli gözenekli katı yapılı (örneğin asbest) metalik ambalajlar	8981	14698
15 02 02*	Tehlikeli maddelerle kirlenmiş emiciler, filtre malzemeleri (başka şekilde tanımlanmamış ise yağ filtreleri), temizleme bezleri, koruyucu giysiler	918500	818760
16 01 07*	Yağ filtreleri	14085	14912
16 01 13*	Fren sıvıları	1879	-
16 01 14*	Tehlikeli maddeler içeren antifriz sıvıları	11655	13879
16 01 21*	16 01 07'den 16 01 11'e ve 16 01 13 ile 16 01 14 dışındaki tehlikeli parçalar	1700	4000
16 02 13*	16 02 09'dan 16 02 12'ye kadar olanların dışındaki tehlikeli parçalar2 içeren ıskarta ekipmanlar	4781	2463
16 02 15*	Iskarta ekipmanlardan çıkartılmış tehlikeli parçalar	775	2693
16 03 03*	Tehlikeli maddeler içeren anorganik atıklar	48105	76823
16 03 05*	Tehlikeli maddeler içeren organik atıklar	70337	39592
16 05 06*	Laboratuvar kimyasalları karışımları dahil tehlikeli maddelerden oluşan ya da tehlikeli maddeler içeren laboratuvar kimyasalları	19101	61101
16 05 07*	Tehlikeli maddeler içeren ya da bunlardan oluşan ıskarta anorganik kimyasallar	2560	10130
16 05 08*	Tehlikeli maddeler içeren ya da bunlardan oluşan ıskarta organik kimyasallar	2167	-
16 06 01*	Kurşunlu piller	941	1715
16 07 08*	Yağ içeren atıklar	1515	11221
16 07 09*	Diğer tehlikeli maddeler içeren atıklar	46395	22870
16 08 02*	Tehlikeli geçiş metalleri ya da tehlikeli geçiş metal bileşenlerini içeren bitik katalizörler	7560	6000
16 08 07*	Tehlikeli maddelerle kontamine olmuş bitik katalizörler	2260	120
16 09 04*	Başka bir şekilde tanımlanmamış oksitleyici malzemeler	1365	884
16 10 01*	Tehlikeli maddeler içeren sulu sıvı atıklar	1420	7680
16 11 03*	Metalürjik proseslerden kaynaklanan, tehlikeli maddeler içeren diğer astarlar ve refraktörler	1200	2650
17 02 04*	Tehlikeli maddeler içeren ya da tehlikeli maddelerle kontamine olmuş ahşap, cam ve plastik	3090	2140
17 04 09*	Tehlikeli maddelerle kontamine olmuş metal atıkları	5280	4600
17 04 10*	Yağ, katran ve diğer tehlikeli maddeler içeren kablolar	483	2930
17 05 03*	Tehlikeli maddeler içeren toprak ve kayalar	7400	43900

17 06 01*	Asbest içeren yalıtım malzemeleri	16040	35440
17 06 03*	Tehlikeli maddelerden oluşan ya da tehlikeli maddeler içeren diğer yalıtım malzemeleri	40310	16707
18 01 06*	Tehlikeli maddeler içeren ya da tehlikeli maddelerden oluşan kimyasallar	40	-
18 01 08*	Sitotoksik ve sitostatik ilaçlar	343	466
19 02 05*	Fiziksel ve kimyasal işlemlerden kaynaklanan tehlikeli maddeler içeren çamurları	55259	191180
19 02 11*	Tehlikeli maddeler içeren diğer atıklar	1060	870
19 08 06*	Doymuş ya da kullanılmış iyon değiştirici reçineler	10160	860
19 08 10*	19 08 09 dışındaki yağ ve su ayrışmasından çıkan yağ karışımları ve gres	4597	21035
19 08 11*	Endüstriyel atık suyun biyolojik arıtılmasından kaynaklanan tehlikeli maddeler içeren çamurlar	4980	4950
19 08 13*	Endüstriyel atık suyun diğer yöntemlerle arıtılmasından kaynaklanan tehlikeli maddeler içeren çamurlar	417927	350522
19 10 03*	Tehlikeli maddeler içeren uçucu atık parçacıkları ve tozlar	288	-
19 11 01*	Kullanılmış filtre killeri	950	-
20 01 21*	Flüoresan lambalar ve diğer cıva içeren atıklar	13269	16003
20 01 27*	Tehlikeli maddeler içeren boya, mürekkepler, yapıştırıcılar ve reçineler	20348	14315
20 01 35*	20 01 21 ve 20 01 23 dışındaki tehlikeli parçalar6 içeren ve ıskartaya çıkmış elektrikli ve elektronik ekipmanlar	33796	23735

***Tablo2**. Atık Kodlarına Göre Atık Miktarı (kg)*

Tablo 2 verilerine göre; incelediğimiz atık ara depolama tesisinde ağılıklı olarak öne çıkan başlıca kodlar tesise gelen miktarlar baz alınarak 15 02 02, 15 01 10, 08 01 11, 12 01 09, 19 08 13 olarak sınıflandırılabilir. '150202 Tehlikeli maddelerle kirlenmiş emiciler, filtre malzemeleri (başka şekilde tanımlanmamış ise yağ filtreleri), temizleme bezleri, koruyucu giysiler'; Tüm sektörler için genel bir atık kodu olduğu söyleyenebilir. Söz konusu atık kodu içeriğinde kontamine eldiven, iş ayakkabısı, tulumlar ve iş kıyafetlerini kapsamasından dolayı İSG mevzuatı uygulamalarının yaygınlaşmasından ve kişisel koruyucu donanım kullanımının artması ile tüm sektörlerden bu atık kodu oluşmaktadır. Sıralamaya bakıldığında '120109 Halojen içermeyen işleme emülsiyon ve solüsyonları', olarak geçen atık kodu sektördeki tanımlı adı 'Bor Yağ Atıkları' olarak geçmektedir. Tesisin bulunduğu bölgede gelişen sanayi sektörlerine bakıldığında Otomotiv ve Teksil ön plana çıkmaktadır. Otomotiv endüstrisinde CNC tezgahları'nın yaygın bir kullanıma sahip olması ve bor yağların kesim işleri sırasında soğutma amaçlı kullanılması açığa çıkan atık miktarını arttırmaktadır. Tekstil sektörünün yoğun olduğu bölgelerde yoğun boya kullanımından dolayı gelen boyaların boş ambalajları '15 01 10 Tehlikeli maddelerin kalıntılarını içeren ya da tehlikeli maddelerle kontamine olmuş ambalajlar', boyaların işlem görmesinden dolayıda '08 01 13* Organik çözücüler ya da diğer tehlikeli maddeler içeren boya ve vernik çamurları' atık kodu yoğunluklu olarak çıkmaktadır. Bölgesel olarak gelişmiş bir sanayinin bulunduğu ve çevre mevzuatının uygulandığınıda göz önünde bulundurularak bir çok tesiste arıtma tesisi bulunmaktadır. Bu arıtma tesislerinden kaynaklı '19 08 13* Endüstriyel atık suyun diğer yöntemlerle arıtılmasından kaynaklanan tehlikeli maddeler içeren çamurlar' oluşmaktadır.

Ara depolama tesisi için 2020 öncesi bir yılı baz aldığımızda gelen toplam atık miktarı; 6.731.121 kg'dır. Toplamda 114 adet tehlikeli atık kodu girişi olduğu tespit edilmiştir. Toplam üzerinden aritmetik ortalama; 59.567 olarak bulunur.

2020 sonrasını baz aldığımızda tesise gelen toplam atık miktarı; 7.660.624 kg'dır. Toplamda 96 adet tehlikeli atık kodu olduğu tespit edilmiştir. Toplam üzerinden aritmetik ortalama; 79.798 olarak bulunur.

SWOT Analizi

Strengths (Güçlü Yönler) ✓ Atık yönetimi yaklaşımı ✓ Geri dönüşüm ve bertarafta yeni kazanımlar ✓ Ulaşılabilirlik ✓ Endüstriyel firmaların düzenli atık çıkışları ✓ Sürekli gelişim ✓ İhtiyaçların artması ✓ Denetimlerin giderek artması ✓ Atıkların bertaraf ve geri kazanım tesisleri için yeterli atık gönderim miktarına ulaştırılması	**Weaknesses (Zayıf Yönler)** ▪ Atık yönetiminin sosyal sorumluluk olarak görülmesi ▪ Yavaş karar mekanizmaları ▪ Sektör standartlarının olmaması ▪ Sektörde atık yönetimi anlayışının olmaması ▪ Denetimlerde uygulama farklılıkları
Opportunities (Fırsatlar) ✓ Beyan edilen ve sisteme girilen atık miktarlarının artması ✓ Tesislerin atıkları tek bir yere gönderme isteği ✓ Anlaşmalı olunan entegre tesisler	**Threats (Tehditler)** ▪ Taşıma ve bertaraf maliyetlerinin giderek artması ▪ Aynı sektörde farklı firmaların olması (Rekabet) ▪ Endüstriyel firmaların atıklar için ödenen maliyeti düşürmek istemesi

4. **SONUÇLAR**

Yapılan çalışma sonunda elde edilen veriler miktarlara göre kentin ağırlıklı tehlikeli atık kodlarının kentteki üretime bağlı atık profile hakkında görüş oluşturmaya yardımcı olabileceğini göstermektedir.

Çalışmada incelenen tesis verilerine göre; kabulü yapılan atıkların %55'inin atıktan türetilmiş yakıt (ATY) tesislerine, %20'sinin tehlikeli atık yakma tesislerine, kalan %25'inin ise geri kazanım tesislerine gönderildiği belirlenmiştir.

Atık ara depolama tesisinde ağırlıklı olarak öne çıkan başlıca kodlar tesise gelen miktarlar baz alındığında; tüm sektörler için evrensel bir atık kodu olan 150202 'Tehlikeli maddelerle kirlenmiş emiciler, filtre malzemeleri, temizleme bezleri, koruyucu giysiler', Bursa'daki üretim sektörünün niteliği dikkate alınarak otomotiv sektöründen oluşan 120109 ve 080111 kodlu atıkların öne çıktığı sağtanmıştır. Tekstil sektöründen kaynaklı kontamine olmuş ambalajları ifade eden 150110 atık kodlu ve endüstriyel atık suyun arıtılmasından kaynaklı 190813 atık kodlu tehlikeli atık çamurlarının da önemli bir kütle oluşturduğu görülmüştür.

Tesisin verilerinin 2020 yılı öncesi ve 2020 yılı sonrası kıyaslamasına baktığımızda bazı atıkların azaldığı bazılarının ise artış gösterdiği gözlemlenmiştir. Atık kodlarındaki bu değişimlerin farklı firma anlaşmaları ile bağdaştığı sonucuna ulaşılmıştır.

Atık ara depolama tesisleri ile ilgili olarak gerçekleştirilen SWOT analizinde güçlü yanların işletmelerin tercih sebepleri ile örtüştüğü görülmüştür. Atık üreticilerinin sürdürülebilir atık yönetiminin bir parçası ve paydaşı olarak atık ara depolama tesislerini daha yoğun kullanmalarının çevresel ve ekonomik olarak avantaj sağlayabileceği düşünülmektedir.

5. KAYNAKÇA

[1]. Kaçtıoğlu, S., Şengül, Ü. (2010). Erzurum Kenti Ambalaj Atıklarının Geri Dönüşümü İçin Tersine Lojistik Ağı Tasarımı ve Bir Karma Tam Sayılı Programlama Modeli. Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 24, 1.
[2]. Öztürk, İ. (2010), Katı Atık Yönetim ve AB Uygulamaları. İSTAÇ A.Ş. Teknik Kitaplar Serisi 2, İstanbul.
[3]. Atık Yönetimi Genel Esasları Yönetmeliği, RG.05.07.2008 tarih ve 26927 Sayı.
[4]. Charles C.Barton, Martins O.Ainerua, Environmental Toxicology: Hazardous Waste, Information Resources in Toxicology (Fifth Edition) Volume 1: Background, Resources, and Tools 2020, Pages 321-329.
[5]. Sayar, Ş. (2012). Sakarya İli Entegre Atık Yönetimi ve Ambalaj Atıklarının Geri Dönüşümü. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi. Sakarya.
[6]. Atık Ara Depolama Tesisleri Tebliği, RG.26.04.2011 tarih ve 27916 Sayı.
[7]. Doğru, B., (2012). Türkiye'de Tehlikeli Atıkların Yönetimi ve Yasal Düzenlemeler. Tehlikeli Atık Yönetimi Eğitimi, 2012, İstanbul.
[8]. Tchobanoglous, G.,Theisen, H. ve Eliossen, R. (1977). Solid Wastes: EngineeringPrinciples and Management Issues, McGraw-Hill.
[9]. Dhindaw, J. (2004). Developing a Framework of Best Practicesfor Sustainable Solid Waste Management in Small Tourist Islands. University of Cincinnati, MScthesis in Community Planning, USA.
[10]. Schübeler P., W. K. (1996). Conceptual Framework for Municipal Solid WasteManagement in Low-Income Countries. Urban Management And Infrastructure.
[11]. Bound, Isa, Stelios Grafakos, Micheala Hordijk, Johan Post (2001). "Quality of Life and Alliances in solid Waste Management, Contributions to Urban Sustainable Development Cities, Vol.18, No.1, 2001, 3-12.
[12]. Asuman Akdoğan, Sevcan Güleç, "Surdurulebilir Katı Atık Yonetimi Ve Belediyelerde Yoneticilerin Katı Atık Yonetimiyle İlgili Tutum Ve Dusuncelerinin Analizine Yonelik Bir Arastırma", H.U. İktisadi ve idari Bilimler Fakultesi Dergisi, Cilt 25, Sayı 1, 2007, s. 39-69.
[13]. Palabıyık, H. (2001), Belediyelerde Kentsel Katı Atık Yönetimi: İzmir Büyükşehir Belediyesi Örneği, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir.
[14]. Ulusal Atık Yönetimi ve Eylem Planı 2023 (ÇŞB, 2016).
[15]. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Tehlikeli Atık İstatistikleri Bülteni (2019), 25.02.2021 tarih ve 10 Sayı.

14. national 2. international environmental engineering congress

climate crisis & environmental policies

SESSION 6B: Önleyici Çevre Yönetimi, Temiz Üretim ve Risk Değerlendirme

Paper ID:

31 **BİR KESİMHANENİN ÇEVRESEL ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ**
Nur Seda Şahin

93 **ENDÜSTRİYEL ÇEVRE KİRLİLİĞİ KONTROLÜNDE ÇEVRE ETİKETİ UYGULA MALARI-TURİZM SEKTÖRÜ ÖRNEĞİ**
Serkan Atay

12 **Kozloduy Nükleer Güç Santralinde Yaşanacak Olası Bir Kazanın Türkiye'de Yaratacağı Radyolojik Risklerin Değerlendirilmesi**
Efem Bilgiç - Orhan Gündüz

58 **BURSA'DA YER ALAN ÇOCUK PARKI TOZLARINDA CİVA SEVİYELERİ VE SAĞLIK RİSK DEĞERLENDİRMESİ**
Hatice Kübra Gül -Ozan Veli Kaya - Özge Korkusuz - Perihan Binnur Kurt Karakuş

105 **GEMİLERDEN KAYNAKLI ATIKLARIN MONTE CARLO YÖNTEMİ KULLANI LARAK RİSK DEĞERLENDİRMESİ**
Ömer Harun Özkaynak - Gönül Tuğrul İçemer

BİR KESİMHANENİN ÇEVRESEL ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ

Nur Seda Şahin[1,*], İlda Vergili[2], Yasemin Kaya[3]

[1,]İstanbul Ayvansaray Üniversitesi, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Zeytinburnu / İstanbul*
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Çevre Mühendisliği Bölümü, Avcılar/ İstanbul
nursedasahin@ayvansaray.edu.tr
[2] İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Çevre Mühendisliği Bölümü, Avcılar/ İstanbul ilda@iuc.edu.tr
[3] İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Çevre Mühendisliği Bölümü, Avcılar/ İstanbul y_kaya@iuc.edu.tr

Özet

Et ve et ürünleri üretim ve tüketimi, tüm gelişmekte olan ülkelerde olduğu gibi ülkemizde de artmaktadır. Türkiye'de hayvancılık ve buna bağlı olarak et entegre sektörleri gelişmiştir. Ülkemizde hayvan varlığı Doğu Anadolu'nun kuzeyinde yoğunlaşmasına rağmen et işleme tesisleri tüketim ve sanayileşmenin daha fazla olduğu batı bölgelerinde yoğunlaşmıştır. Et ürünleri besin değeri yüksek gıda ürünleridir ancak aynı zamanda diğer gıda ürünlerine göre yüksek çevresel etkiye sahiptirler. Et ürünleri eldesinde çevresel etkilerin değerlendirilmesi söz konusu olduğunda özellikle hayvan yetiştiriciliği aşaması ile ilgili pek çok çalışma yapılmıştır. Et üretiminin bir basamağı olan kesimhaneler ile ilgili olarak ise nispeten daha az çalışma mevcuttur. Covid 19 pandemisi sürecinde gıda üretimi ile ilgili olarak artışların yaşandığı dünya çapında rapor edilmiştir. Bu çalışmanın amacı, bir kesimhane tesisinin Covid 19 pandemisi öncesi ve sonrası çevresel etkilerini karşılaştırmaktır. Çalışmada Afyonkarahisar Organize Sanayi Bölgesi'nde yer alan büyükbaş hayvan kesimi yapılan bir kesimhane tesisi ele alınmıştır. Yaşam Döngüsü Analizi kullanılarak ortaya çıkan çevresel yüklerin pandemi sürecinde değişiminin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla çalışmada 2019 ve 2020 yılına ait iki senelik veri kullanılmıştır. Kesimhaneye ait akış diyagramı ve sistem sınırları Şekil 1'de gösterilmiştir. SimaPro 9 yazılımı ve IMPACT 2002+ etki analizi metodundan yararlanılmıştır. Fonksiyonel birim olarak 1 kg karkas et üretimi seçilmiştir. Fonksiyonel birim başına üretimin hammadde girdisi, nakliye ve üretim aşamasında kullanılan enerjinin çevresel etkileri kategorize edilmiş, sonuçlar Yaşam Döngüsü Ağaç Diyagramı oluşturularak verilmiştir. Ayrıca enerji, su ve hammadde kullanımlarının ozon tüketimi, asidifikasyon, ötrofikasyon, iklim değişikliği ve ekosistem gibi çevre etki kategorilerine etkisi incelenmiştir.

Abstract

The production and consumption of meat and meat products is increasing in our country as well as in all developing countries. Livestock and, accordingly, integrated meat industries have developed in Turkey. Although the presence of animals in our country is concentrated in the north of Eastern Anatolia, meat processing facilities are concentrated in the western regions where consumption and industrialization are more. Meat products are food products with high nutritional value, but they also have a high environmental impact compared to other food products. When it comes to the evaluation of environmental effects in the production of meat products, many studies have been carried out especially on the stage of animal breeding. There are relatively few studies on slaughterhouses, which are a step in meat production. During the Covid 19 pandemic, increases in food production have been reported worldwide. The aim of this study is to compare the environmental impacts of a slaughterhouse facility before and after the Covid 19 pandemic. In the study, a slaughterhouse facility located in Afyonkarahisar Organized Industrial Zone, where cattle are slaughtered, is discussed. It is aimed to determine the change in environmental burdens during the pandemic process by using Life Cycle Analysis. For this purpose, data for two years (2019 and 2020) were used in the study. The flow diagram and system boundaries of the slaughterhouse are shown in Figure 1. SimaPro 9 software and IMPACT 2002+ impact analysis method were used. 1 kg carcass meat production was chosen as the functional unit. The raw material input of the production per functional unit, the environmental effects of the energy used in the transportation and production stages are categorized, and the results are given by creating a Life Cycle Tree Diagram. In addition, the effects of energy, water and raw material usage on environmental impact categories such as ozone consumption, acidification, eutrophication, climate change and ecosystem were examined.

Keywords: Environmental impact; Slaughterhouse; SimaPRO IMPACT 2002+; Life Cycle Analysis;
Anahtar Sözcükler: Çevresel etki, Kesimhane, SimaPRo; IMPACT 2002+, Yaşam Döngüsü Analizi

ENDÜSTRİYEL ÇEVRE KİRLİLİĞİ KONTROLÜNDE ÇEVRE ETİKETİ UYGULAMALARI-TURİZM SEKTÖRÜ ÖRNEĞİ

ENVIRONMENTAL LABEL APPLICATIONS IN INDUSTRIAL ENVIRONMENTAL POLLUTION CONTROL-TOURISM SECTOR EXAMPLE

Serkan Atay[1,*], Beril Salman Akın[2]

[1] Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Bilimleri Anabilim Dalı, YL Öğrencisi, Teknikokullar ANKARA serkanatay1986@gmail.com*

[2] Gazi Üniversitesi, Gazi Eğitim Fakültesi, Biyoloji Eğitimi Anabilim Dalı, Teknikokullar/ANKARA bsakin@gazi.edu.tr

Özet

Ülkemizde ciddi gelir getiren ve dış ticarette önemli paya sahip olan sektörlerin başında gelen turizm sektörü, görünen ya da bilenen yüzünün aksine arka bahçesinde birçok çevresel sorunu barındırmaktadır. Çevresel yönü ile ele alındığında özellikle turistik konaklama tesislerinin çevreye verdikleri zararlar ulusal mevzuatlar ile kontrol altına alınmaya çalışılmasına rağmen ortaya çıkardıkları çevresel olumsuzlukların birçoğu kontrol altına alınamamaktadır. Bu noktada turistik konaklama tesisleri için ulusal mevzuatın zorunlu kılmadığı ancak çevreye olan etkilerini daha da azaltacak ya da belirli noktalarda yok edecek sistemler geliştirilmiştir. Turistik konaklama tesisleri özelinde zorunluluğu olmayan gönüllülük ve teşvik etme esasına dayalı çevre etiket sistemleri oluşturulmuştur. Bu kapsamda çevre etiket sistemleri; temiz üretim, sürdürülebilir tüketim ve üretim, yeşil satın alım gibi önemli çevresel konuları içerisinde barındırmaktadır. Büyüyen ve yakın zamanda odak noktası haline geleceğini düşündüğümüz sürdürülebilir çevre hedeflerini kapsayan sistemlerin Ülkemizde de daha fazla yer alması gerekliliği kaçınılmaz bir gerçektir.

Bu çalışmada, turistik konaklama tesisleri özelinde örnek teşkil edecek su yönetiminden atık yönetimine, çevre yönetim sistemlerinden enerji yönetimine kadar birçok çevreyi ilgilendiren konuyu kapsayan çevre etiketi kriterleri oluşturulmuştur. Kriterler oluşturulurken 2 temel kaynaktan yararlanılmıştır. Bu kaynaklardan ilki Ülkemizdeki mevcut turistik konaklama tesisleri özelinde yapılan bilimsel tabanlı Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi çalışmalarıdır. Bir diğer kaynak ise çevre etiketi konusunda öncü, çevresel eylemler konusunda ileri seviyeyi temsil eden ve 25 yılı aşkın tecrübeleri ile Avrupa Birliği, Amerika Birleşik Devletleri ve Japonya devletlerine ait çevre etiket sistemlerinin turistik konaklama tesisleri ile ilgili olan kriterleridir. Turistik konaklama tesisleri için örnek çevre etiketi kriterleri oluşturulurken bilimsel tabanlı çalışmalar, küresel ölçekte gerçekleşen girişimler ve ülkemizin yerel özellikleri de göz önüne alınmıştır. Bu kapsamda hazırlanan örnek "Turizm Sektörü Çevre Etiketi Kriterleri" Ülkemizde gerçekleştirilen detaylı çevre etiketi çalışmalarından birisi olarak dikkat çekmektedir. Belirlenen kriterler sürdürülebilir bir turizm inşa edebilmek adına turizm sektörünün en önemli hammaddesi olan çevrenin ve insan sağlığının korunmasını ön gören, uygulanabilir, turistik konaklama tesislerinin geneline hitap eden, teşvik edici ve kademeli geçişi benimseyen bir takım çevre etiket kriterlerini içermektedir.
Anahtar Kelimeler: Çevre Etiketi (Eco-Label), Çevre Kirliliği, Turizm sektörü

Abstract

The tourism sector, which is one of the leading sectors that bring serious income and has a significant share in foreign trade in our country, has many environmental problems in its backyard, contrary to its visible or known face. Considering the environmental aspect, although the damage caused by the touristic accommodation facilities to the environment is tried to be controlled by national legislation, most of the environmental negativities they cause cannot be controlled.

At this point, systems have been developed for tourist accommodation facilities, which are not required by national legislation but will further reduce their impact on the environment or eliminate them at certain points. Environmental labeling systems based on volunteering and incentives, which are not obligatory for touristic accommodation facilities, have been established. In this context, environmental label systems; include important environmental issues such as clean production, sustainable consumption and production, and green purchasing. It is an inevitable fact that systems covering sustainable environmental targets that are growing and that we think will become the focal point shortly, should take place more in our country.

In this study, environmental label criteria covering many environmental issues from water management to waste management, from environmental management systems to energy management, which will set an example for touristic accommodation facilities, have been created. While creating the criteria, two main sources were used. The first of these sources is the scientific-based Life Cycle Assessment studies conducted specifically for the existing touristic accommodation facilities in our country. Another source is the criteria of environmental label systems related to touristic accommodation facilities, which are pioneers in environmental labeling, represent the advanced level in environmental actions, and belong to the European Union, the United States, and Japan with their experience of more than 25 years. While establishing exemplary environmental label criteria for touristic accommodation facilities, scientific-based studies, global initiatives, and local characteristics of our country were also taken into consideration. The sample "Tourism Sector Environmental Label Criteria" prepared in this context draws attention as one of the detailed environmental label studies carried out in our country. To build sustainable tourism, the determining criteria include a set of environmental label criteria that are applicable, appealing to the general tourist accommodation facilities, encouraging the protection of the environment and human health, which are the most important raw materials of the tourism sector, and adopting a gradual transition.

Keywords: Environmental Label (Eco-Label), Environmental Pollution, Tourism Sector

KOZLODUY NÜKLEER GÜÇ SANTRALİNDE YAŞANACAK OLASI BİR KAZANIN TÜRKİYE'DE YARATACAĞI RADYOLOJİK RİSKLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Efem Bilgiç[1,*], Orhan Gündüz[2,3*]

[1]*Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 35390, Buca/İZMİR efem.bilgic@deu.edu.tr*
[2]*Dokuz Eylül Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 35390, Buca/İZMİR*
[3]*İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Bölümü, 35430, Urla/İZMİR*
orhangunduz@iyte.edu.tr

Özet

Nükleer güç santralleri (NGS), yüksek miktarlarda ve sürekli enerji temin edebilmeleri sebebiyle birçok devlet için cazip bir teknolojidir. Ancak, özellikle ciddi kazalar sonrası atmosfere ve diğer çevresel ortamlara salınan radyoaktif kirleticiler, önemli ekolojik ve radyolojik risklere sebep olmaktadır. Bu çalışmada, Türkiye'nin yoğun nüfuslu bölgelerine en yakın büyük nükleer tesis olan ve Bulgaristan sınırları içerisinde yer alan Kozloduy NGS'nin olası bir kaza durumunda Türkiye'ye olan potansiyel etkileri incelenmiştir. Bu amaçla Çernobil NGS kazasının yaşandığı 1986 yılı baz alınmış ve bu yıl içindeki farklı meteorolojik koşullar dikkate alınarak Kozloduy NGS için 24 adet simülasyon gerçekleştirilmiştir. Simülasyonlar için nükleer risk çalışmalarında yaygın olarak kullanılan FLEXPART isimli Lagrange parçacık yayılım modeli kullanılmıştır. Modelin ihtiyaç duyduğu meteorolojik veriler Avrupa Orta Vadeli Hava Tahminleri Merkezi'nin (ECMWF), ERA – Interim isimli reanaliz ürünlerinden temin edilmiştir. Simülasyonlar üç farklı radyonüklit (^{131}I, ^{134}Cs ve ^{137}Cs) için gerçekleştirilmiş ve Türkiye genelinde neden oldukları kontaminasyonlar incelenmiştir. Buna ek olarak, çeşitli doz dönüşüm faktörleri aracılığıyla model sonuçlarından toplam etkin doz eşdeğerleri (TEDE) de hesaplanarak radyolojik analizler gerçekleştirilmiştir. Yürütülen çalışmanın sonuçları incelendiğinde, toplam üç farklı senaryoda Türkiye için görece yüksek radyosezyum birikimleri hesaplanmıştır. Bu üç senaryoda ülke geneli ortalama 2,6 – 3,0 kBq/m^2 arasında değişen birikimler hesaplanmış olup, bu değerler Çernobil NGS kazası sonrası Türkiye ortalamasına benzer değerlerdir. 10'dan fazla senaryoda ise Trakya'da ve Marmara bölgesindeki yüksek nüfuslu şehirlerin her birinde şehir ortalama ^{137}Cs birikimleri 1 kBq/m^2'den yüksek bulunmuştur. Buna karşılık, hiçbir senaryoda 37 kBq/m^2'den yüksek birikimler tespit edilmemiştir. Türkiye'nin en kalabalık üç şehri İstanbul, Ankara ve İzmir'de sırasıyla 19 kBq/m^2, 6 kBq/m^2 ve 4 kBq/m^2'ye ulaşan ^{137}Cs birikimleri hesaplanmıştır. Simülasyon sonuçlarından hesaplanan 1 yıllık toplam etkin doz eşdeğerleri ise, tüm senaryolarda 1 mSv'in altında bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Nükleer Güç Santrali Kazası, Kozloduy, Atmosferik Dispersiyon, Radyoaktivite, FLEXPART

Abstract

Nuclear power plants (NPP) are an attractive technology for many governments because they can supply large amounts of energy continuously. However, radioactive pollutants released into the atmosphere and other environments, especially after serious accidents, cause significant ecological and radiological risks. In this study, the potential effects of a possible accident in Kozloduy NPP, which is the largest nuclear plant closest to the densely populated regions of Turkey and located within the borders of Bulgaria, on Turkey were investigated. For this purpose, 24 simulations were conducted for Kozloduy NPP considering different meteorological conditions in 1986, when the Chernobyl NPP accident occurred. Lagrangian particle dispersion model, FLEXPART, which is widely used in nuclear risk studies, was used in the simulations. The meteorological data required by the model were obtained from the reanalysis products of the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), named ERA – Interim. Simulations were performed for three different radionuclides (^{131}I, ^{134}Cs and ^{137}Cs) and the contaminations they caused throughout Turkey were analyzed. In addition, radiological analyzes were carried out by calculating the total effective dose equivalents (TEDE) from the model results using various dose conversion factors. Results of the simulations demonstrated that relatively higher radiocesium depositions were calculated for Turkey in three different scenarios. In these three scenarios, the country-wide average depositions ranging from 2.6 to 3.0 kBq/m^2 were calculated, and these values are similar to Turkish averages reached after the Chernobyl NPP accident. In more than 10 scenarios, city average of ^{137}Cs deposition were found to be higher than 1 kBq/m^2 in each of the highly populated cities in Thrace and the Marmara region. On the other hand, depositions higher than 37 kBq/m^2 were not detected in any scenarios. ^{137}Cs deposition values reaching up to 19 kBq/m^2, 6 kBq/m^2 and 4 kBq/m^2 were calculated in the three most populated cities of Turkey, i.e., Istanbul, Ankara and Izmir, respectively. The 1-year TEDE estimated from the simulation results were found below 1 mSv in all scenarios.

Keywords: Nuclear Power Plant Accident, Kozloduy, Atmospheric Dispersion, Radioactivity, FLEXPART

1. GİRİŞ

İklim krizinin dünya gündeminin en önemli konularından biri haline gelmesiyle birlikte, gelişmiş ve gelişmekte olan çok sayıda ülke Paris Anlaşması'nı imzalayarak orta ve uzun vadede fosil yakıtları terk edeceklerini deklare ettiler. Ancak tüketimin hızla artmaya devam etmesi sebebiyle, aksini iddia eden çalışmalar da olmasına rağmen [1], birçok otorite ve bilim insanı sıfır-karbon hedeflerine ulaşmakta nükleer enerjinni önemli bir araç olabileceğini öne sürmektedir [2, 3, 4]. Öte yandan, 1986 yılındaki Çernobil Nükleer Güç Santrali (NGS) ve 2011 yılındaki Fukushima NGS kazaları gibi felaketler, nükleer teknolojinin ekolojik açıdan yıkıcı bir teknoloji olabileceğini ortaya koymuştur [5, 6]. Buna ek olarak, ne kadar güvenli olurlarsa olsunlar, mevcut nükleer reaktörlerin her zaman yüksek radyoaktif malzeme yayılımına neden olan katastrofik ciddi kaza riskleri taşıdığı da ortaya konmuştur [1, Sehgal, 2012, 8].

Halihazırda dünya genelinde faal olan 442 reaktörün toplam küresel elektrik üretiminin %10'unu temin ettiği göz önüne alındığında, nükleer teknolojinin uzunca bir süre daha önemli bir enerji üretim alternatifi olarak kullanılmaya devam edileceği söylenebilir [9, 10]. Bu nedenle, bu tesislerde oluşabilecek olası nükleer kazaların yaratacağı potansiyel risklerin belirlenebilmesi için yürütülecek matematiksel modelleme çalışmaları büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmalar genellikle atmosferik taşınım modelleriyle yapılmakta olup, ciddi kaza senaryoları için ağırlıklı olarak orta menzilli modeller kullanılmaktadır. Seibert vd. [8] böyle bir taşınım modeli kullanarak Avrupa'daki nükleer tesislerde yaşanabilecek nükleer kazaları farklı senaryolar ve meteorolojik dönemler için simule etmiş ve çok kapsamlı bir risk analizi gerçekleştirmiştir. Zhu vd. [11] benzer bir yöntemle daha düşük ölçekte bir çalışma yapmış ve Çin'deki Sanmen NGS'nin olası çevresel etkilerini simule etmiştir. Benzer seviyede bir başka çalışmada Min ve Kim [12], Çin'deki Haiyang NGS'nin olası radyolojik etkilerini incelemiştir. Türkiye'de ise benzer bir uygulama Akkuyu NGS için gerçekleştirilmiş ve iki uç meteorolojik dönem için radyolojik risk değerlendirmesi yapılmıştır [13].

Türkiye'de henüz işletme aşamasında bir nükleer santral olmasa da, Bulgaristan, Ermenistan, Romanya ve Ukrayna gibi çevre ülkelerde uzun yıllardır işletmede olan çok sayıda nükleer santralin neden olduğu riskler yaşanmaktadır. Türkiye'ye yaklaşık 1000 km mesafede yer alan Çernobil NGS kazasının etkileri göz önüne alındığında komşu ülkelerde yaşanacak olası kazaların neden olacağı söz konusu risklerin doğru bir şekilde tahmin edilmesinin gerekliliği göz ardı edilemez bir gerçektir. Bu çalışmada Türkiye'nin en yoğun nüfuslu bölgesi olan Marmara bölgesine kuş uçumu yaklaşık 300 km mesafede yer alan Kozloduy NGS çalışılmıştır. Bu tesiste meydana gelebilecek olası kazalar sonrası çıkacak radyoaktif materyallerin atmosferik taşınımı incelenmiş ve radyolojik risk analizi yapılmıştır. Bu amaçla farklı meteorolojik dönemleri temsil eden 24 adet atmosferik taşınım simülasyonu yapılmış ve atmosferde taşınan ve yer seviyesinde biriken radyoiyodin ve radyosezyum aktiviteleri hesaplanmıştır. Ayrıca model sonuçları kullanılarak, toplam etkin doz eşdeğeri hesaplanmış ve radyolojik değerlendirmeler gerçekleştirilmiştir.

2. YÖNTEM

2.1. Atmosferik Taşınım Modeli

Bu çalışmada, Bulgaristan sınırları içerisinde yer alan Kozloduy NGS'de yaşanacak olası kazaların Türkiye üzerindeki çevresel ve radyolojik etkileri incelenmiştir. Bu amaçla tesisten kazalar sonrası salınacak radyoaktif malzemelerin taşınımı FLEXPART isimli bir atmosferik taşınım modeli ile simule edilmiştir. FLEXPART, bir Lagrange Parçacık Taşınım Modeli olup, bir veya birden fazla kaynaktan çıkan kirleticilerin ileri yönlü olarak atmosferdeki taşınımının hesaplanmasında veya çeşitli reseptörlerde tespit edilen kirleticilerin geri yönlü olarak olası kaynaklarının tespitinde kullanılmaktadır. FLEXPART ıslak ve kuru çökelme mekanizmalarını dikkate alarak, yer seviyesi birikimlerini de hesaplamaktadır. Nükleer kaza uygulamaları, volkanik kül, orman yangınları, toz taşınımı, troposferik-stratosferik kirletici taşınımı gibi çok sayıda alanda hizmet veren FLEXPART, radyoaktif bozunum ve reaktivite gibi giderim mekanizmalarını da dikkate almaktadır [14, 15, 16, 17]. Nükleer kaza uygulamalarında çok yaygın olarak kullanılan FLEXPART hem geçmişte yaşanmış kazaların analizlerinde [18, 19, 20, 21] hem de olası kazaların risk değerlendirme çalışmalarında [8, 11, 12, 13, 22] yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışmada farklı meteorolojik koşulların etkisini gözlemleyebilmek için 1 yıl içerisindeki 24 farklı dönem için simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Çalışma yılı olarak Çernobil NGS kazasının gerçekleştiği 1986 yılı seçilmiş olup, tüm simülasyonlar 26 Aralık 1985'ten itibaren 15 günde bir ilerleyecek şekilde her ayın iki farklı gününde başlatılmış ve toplamda 24 kaza senaryosu oluşturulmuştur (Tablo 1). FLEXPART'ın ihtiyaç duyduğu

meteorolojik veriler, Avrupa Orta Vadeli Hava Tahminleri Merkezi'nin (ECMWF) yaygın olarak kullanılan reanaliz ürünü ERA-Interim verilerinden temin edilmiştir. ERA-Interim zamansal olarak 3 saatlik, yatay olarak 0,75°x0,75° mekansal çözünürlüğe sahip olup, 60 adet düşey katmandan oluşmaktadır.

Tablo 1. Simülasyon dönemleri ve ilgili dönemlerde salım bölgesindeki sıcaklık ve yağış verileri (ERA-Interim).

Simülasyon		Başlangıç	Bitiş	Yağış (mm)	Günlük Ortalama Sıcaklık (°C)		
				Toplam	Ortalama	En Düşük	En Yüksek
1	Oca1	25/12/1985 21.00	10/01/1986 00.00	2,91	3,0	-2,3	7,5
2	Oca2	09/01/1986 21.00	25/01/1986 00.00	1,29	0,2	-2,8	6,6
3	Şub1	25/01/1986 21.00	10/02/1986 00.00	4,29	-1,1	-9,4	6,1
4	Şub2	09/02/1986 21.00	25/02/1986 00.00	4,58	0,0	-3,6	3,6
5	Mar1	25/02/1986 21.00	13/03/1986 00.00	2,61	-1,5	-10,2	3,5
6	Mar2	09/03/1986 21.00	25/03/1986 00.00	0,31	2,3	0,2	6,7
7	Nis1	25/03/1986 21.00	10/04/1986 00.00	1,28	14,6	10,2	17,0
8	Nis2	09/04/1986 21.00	25/04/1986 00.00	2,53	12,2	6,9	16,3
9	May1	25/04/1986 21.00	11/05/1986 00.00	1,53	16,2	14,1	18,7
10	May2	09/05/1986 21.00	25/05/1986 00.00	4,04	18,0	14,3	22,2
11	Haz1	25/05/1986 21.00	10/06/1986 00.00	4,51	19,3	15,9	22,6
12	Haz2	09/06/1986 21.00	25/06/1986 00.00	6,32	21,6	15,9	24,0
13	Tem1	25/06/1986 21.00	11/07/1986 00.00	6,04	19,5	17,2	22,9
14	Tem2	09/07/1986 21.00	25/07/1986 00.00	3,81	21,1	18,8	24,0
15	Ağu1	25/07/1986 21.00	10/08/1986 00.00	3,03	21,9	17,8	24,9
16	Ağu2	09/08/1986 21.00	25/08/1986 00.00	2,06	22,8	19,0	25,5
17	Eyl1	25/08/1986 21.00	10/09/1986 00.00	0,44	19,0	15,7	23,5
18	Eyl2	09/09/1986 21.00	25/09/1986 00.00	0,46	19,9	12,8	24,3
19	Eki1	25/09/1986 21.00	11/10/1986 00.00	1,37	14,1	10,7	18,1
20	Eki2	09/10/1986 21.00	25/10/1986 00.00	1,05	10,7	7,9	15,6
21	Kas1	25/10/1986 21.00	10/11/1986 00.00	0,77	7,2	4,1	10,0
22	Kas2	09/11/1986 21.00	25/11/1986 00.00	0,03	3,1	-0,1	6,1
23	Ara1	25/11/1986 21.00	11/12/1986 00.00	0,16	2,9	-1,5	5,8
24	Ara2	09/12/1986 21.00	25/12/1986 00.00	2,14	-0,5	-3,9	3,6

Modelleme çalışmaları için bir diğer önemli girdi kaynak terimidir. Bu çalışmada Kozloduy NGS'de ciddi ölçekte kaza olma durumu çalışılmaktadır. Bu amaçla Kozloduy NGS için literatürden bir kaynak terimi elde edilmiştir [8]. Bu çalışmada ^{134}Cs için herhangi bir bilgi olmadığı için kazadan kaynaklı ^{134}Cs salımı Brandt vd. [23]'de ^{134}Cs/^{137}Cs oranından elde edilmiştir. Simülasyonu yapılan tüm kazalarda kirletici salımlarının zamanla değişmediği ve 5 gün sürdüğü kabul edilmiş olup dikey dağılımın 0-100 m arasında homojen olduğu varsayılmıştır- (Tablo 2). Simülasyon çıktıları saatlik olarak ve 0.1° x 0.1° yatay çözünürlükte elde edilmiştir.

Tablo 2. Kaynak Terimi

	^{131}I (PBq)	^{137}Cs (PBq)	^{134}Cs (PBq)	Salım Süresi (Gün)	Salım Yüksekliği (m)	Enlem	Boylam
Kozloduy NPP	731	54	34	5	100	23,7694	43,7459

2.2. Toplam Etkin Doz Eşdeğeri

Bu çalışmada ayrıca radyolojik değerlendirme yapmak için toplam etkin doz eşdeğerleri (TEDE) de hesaplanmıştır. TEDE radyoaktif maddelerin neden olduğu biyolojik etkileri değerlendirmede kullanılan önemli bir parametredir ve geçmişte yapılmış nükleer kazalar sonrası çalışmalarda sıklıkla hesaplanmıştır [24, 25, 26]. Nükleer kazalar sonrasında çok sayıda radyonüklit çevreye yayılsa da, özellikle geniş menzilli analizlerde üç adet radyonüklite odaklanılmaktadır: ^{131}I, ^{134}Cs ve ^{137}Cs. Bu çalışmada da bu üç radyonüklitten kaynaklı yetişkinler için 1 yıllık TEDE değerleri hesaplanmıştır.

Nükleer kazalar sonrası çevreye yayılan radyonüklitler dört temel yoldan insan sağlığını tehdit etmektedir: solunum, beslenme, havadan-ışınlanma ve yerden-ışınlanma. Doz değerleri her bir radyonüklitin, ilgili ışınlanma yolu için belirlenen doz dönüşüm faktörüyle çarpılmasıyla elde edilmektedir [27, 28]. TEDE bu dört maruziyet yolundan kaynaklı doz eşdeğerlerinin toplanmasıyla hesaplanmaktadır:

$$TEDE = D_{cl} + D_{gr} + D_{inh} + D_{ing} \quad (1)$$

burada D_{cl} buluttan ışınlanma sonucu oluşan doz eşdeğerini temsil etmekte olup şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$D_{cl} = \sum_{i=1}^{3} TIAC_i * DCF_i * f_L \quad (2)$$

burada $TIAC_i$ modelleme sonucu elde edilen radyonüklit i'nin zaman entegreli aktivite konsantrasyonunu temsil etmektedir. Her bir radyonüklitin doz dönüşüm faktörü (DCF_i) Tablo 3'de yer alan ICRP [27, 28] raporlarından elde edilmiştir. Bununla birlikte, insanlar vakitlerin bir bölümünü bina dışında geçirirken, bir bölümünü bina içerisinde geçirmekte ve bina içerisindeki radyasyona maruziyet "kalkan etkisi" nedeniyle daha az olmaktadır. Bu azaltıcı faktör, f_L, UNSCEAR [24]'de ve WHO [26]'da sırasıyla 0,36 ve 0,3624 kabul edilmiştir. Bu çalışmada daha güncel olan 0,3624 değeri kullanılmıştır.

Yer sevisinde biriken radyonüklitlerin maruziyetinden kaynaklı doz eşdeğerini temsil eden, D_{gr}, değeri ise aşağıdaki gbi hesaplanmaktadır:

$$D_{gr} = \sum_{i=1}^{3} DEP_i * DCF_i * t * f_L * f_r \quad (3)$$

burada DEP_i, modelleme sonucu elde edilen i radyonüklitinin eklenik birikimini (Bq m^{-2}), t maruziyet süresini (sa) ve f_r biriken kirleticilerin zaman için topraktaki azalma faktörünü temsil etmektedir. Bu çalışmada 1 yıllık TEDE hesabı yapıldığı için f_r değeri 0,8 olarak kabul edilmiştir [8]. Bununla birlikte her bir radyonüklit için 1 yıllık radyoaktif bozunma da dikkate alınmıştır.

^{137}Cs'nin bozunum ürünü olan ^{137m}Ba'nin birikimden kaynaklı maruziyette önemli payı olduğu için, ^{137}Cs + ^{137m}Ba toplamından kaynaklı doz Eckerman ve Ryman [29] tarafından sunulan ve Denklem 3'ün modifiye edilmiş hali olan bir yaklaşımla hesaplanmıştır:

$$D_{gr} = DEP \sum_{i=1}^{n} \left\{ DCF_{gr,i} \left\{ \prod_{j=1}^{i-1} \left(f_{j,j+1} \lambda_{j+1} \right) \right\} \sum_{j=1}^{i} \frac{1-e^{-\lambda_j t}}{\lambda_j \prod_{\substack{k=1 \\ k \neq j}}^{i} (\lambda_k - \lambda_j)} \right\} * f_L * f_r \quad (4)$$

burada $f_{j,j+1}$, j'nin bozunma ürünü olan $j+1$'in oransal verimi (^{137}Cs'ten ^{137m}Ba'e 0,944) ve λ ilgili radyonüklitin bozunma sabitidir.

Solunum yoluyla maruziyetten kaynaklı doz eşdeğerini temsil eden D_{inh} ise aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

$$D_{inh} = \sum_{i=1}^{3} TIAC_i * IR * DCF_i \quad (5)$$

burada IR farklı yaş grupları için solunum hızı olup, yetişkinler için 22,2 m^3 gün^{-1} kabul edilmiştir [30]. Beslenme yoluyla maruziyetten kaynaklı doz (D_{ing}) hesabı olduça karmaşık olup, beslenme alışkanlıkları, tüketilen gıdanın kontaminasyon miktarı gibi belirsizliği yüksek verilere ihtiyaç duymaktadır. Bu nedenle beslenme yoluyla maruziyetten kaynaklı doz hesabı, benzer birçok modelleme çalışmasında olduğu gibi bu çalışmada da yok varsayılmıştır [8, 31].

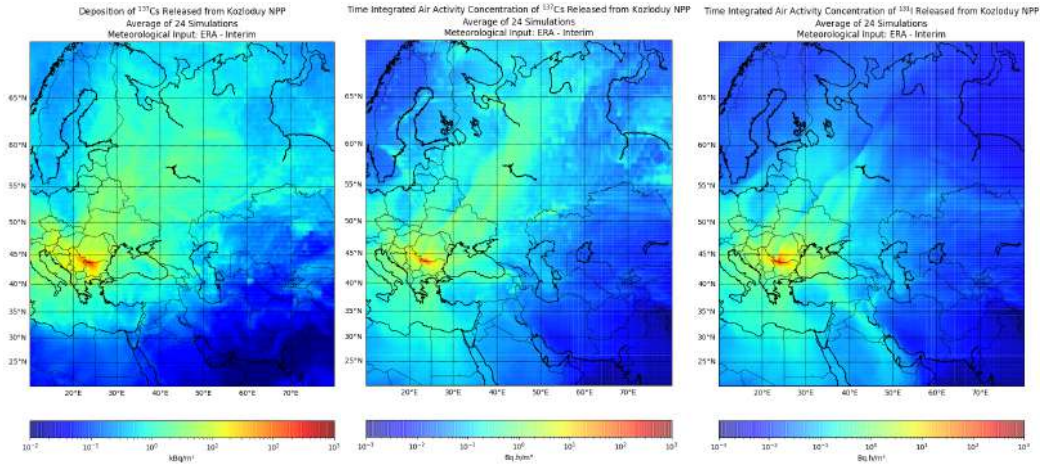
Tablo 3. Bu çalışmada dikkate alınan radyonüklitlerin dışsal (Havadan ve yerden ışınlanma)[28] ve içsel maruziyet (solunum) [27] için doz dönüşüm faktörleri ve yarılanma ömürleri [32]

Tür	Form	Yarı Ömür	Solunum	Havadan Işınlanma	Yerden Işınlanma
			Sv/Bq	(nSv/sa)/(Bq/m^3)	(nSv/sa)/(Bq/m^2)
^{131}I	Gaz	8,02070 gün	1,70x10^{-08}	5,63x10^{-02}	8,25x10^{-04}
^{134}Cs	Aerosol	2,0648 yıl	9,50x10^{-09}	2,42x10^{-01}	3,47x10^{-03}
^{137}Cs	Aerosol	30,1671 yıl	9,30x10^{-09}	-	4,11x10^{-07}
^{137m}Ba	Aerosol	2,552 dakika	-	9,13x10^{-02}	1,33x10^{-03}

3. BULGULAR

Bu çalışmada farklı meteorolojik dönemlerde, Kozloduy NGS'den kaynaklanabilecek kazalar sonrası yayılacak radyonüklitlerin Türkiye üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu bölümde FLEXPART isimli atmosferik taşınım modeliyle hesaplanan dispersiyon ve birikim sonuçları ile model çıktılarının ileri işlemlerle dönüştürülmesi sonucu elde edilen TEDE sonuçları analiz edilmiştir.

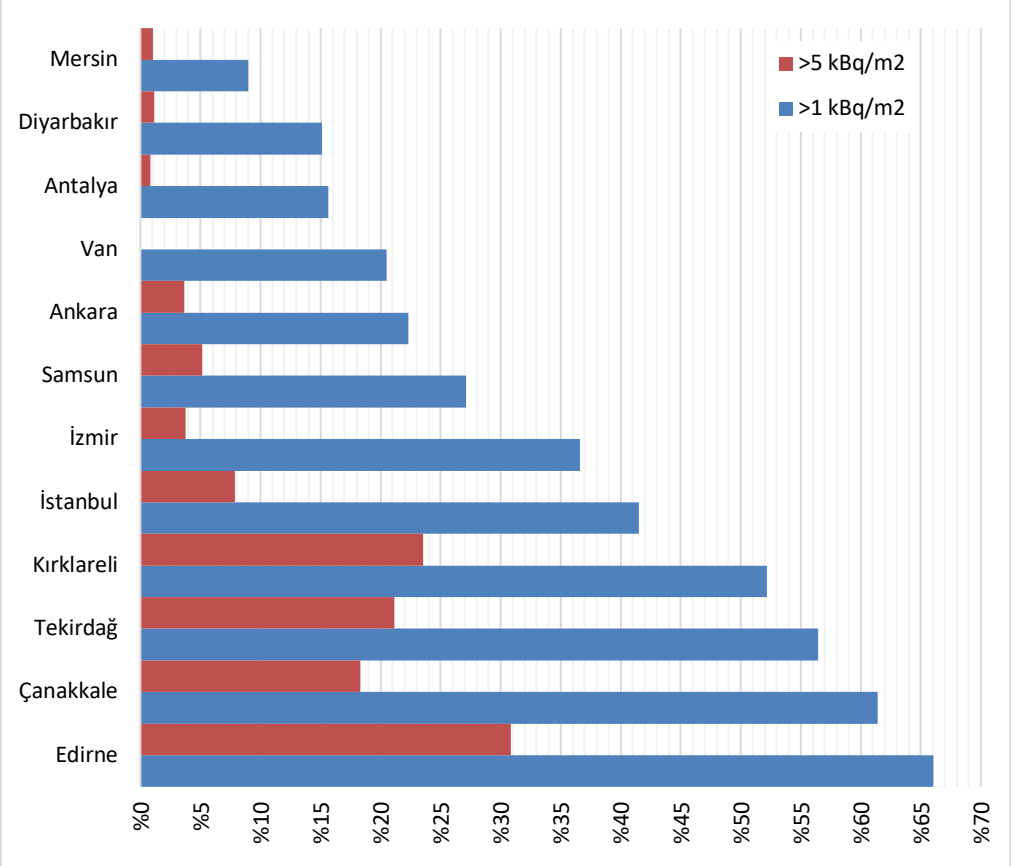
Taşınım ve birikim sonuçları ortalamaları incelendiğinde genel olarak yüksek kontaminasyonların Balkan bölgesi sınırları içinde kaldığı, santralin kuzey ve batısında kalan bölgelerin güneyinde ve doğusunda kalan bölgelere göre daha fazla risk altında olduğu tespit edilmiştir. Türkiye özelinde ise, özellikle Trakya başta olmak üzere, Marmara bölgesinin ve Batı Karadeniz'in biraz daha fazla risk altında olduğu söylense de, bu risklerin çok ciddi boyutlarda olmayacağı tespit edilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Kaza sonrası yayılan ^{137}Cs'un birikimi ile ^{137}Cs ve ^{131}I'un zaman entegreli hava aktivite konsantrasyonları (24 simülasyonun ortalaması alınarak görselleştirilmiştir).

^{137}Cs birikimleri insan kaynaklı radyoaktif kirliliğin değerlendirilmesinde önemli bir göstergedir. 24 senaryo içerisinde genel olarak Türkiye genelinde toplam ^{137}Cs birikimi görece düşük olsa da, May1, Kas1 ve Oca2 simülasyonlarında ülke geneli ortalaması sırasıyla 3,00 kBq/m^2, 2,98 kBq/m^2 ve 2,58 kBq/m^2 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler Çernobil NGS kazası sonrası Türkiye ortalamasıyla aynı seviyelerdedir. En düşük ülke geneli ^{137}Cs ortalaması birikimleri ise 0,02 kBq/m^2 ile Mar1 ve Mar2 simülasyonlarında elde edilmiştir. Bu değerlerin düşük olma sebebi santral civarındaki yerel rüzgarların yönleriyle ilişkili olup, radyoaktif kirleticilerin taşınımının genel olarak Türkiye'nin aksi yönünde olmasıdır.

İl ortalamaları incelendiğinde, 81 ilin 24 simülasyon ortalamaları sıralandığında en yüksek birikimler Trakya ve Marmara illerinde tespit edilmiştir. Edirne'de ortalama 5,22 kBq/m^2 ^{137}Cs birikimi tespit edilirken, Haz2, Nis2, Oca2 ve Nis1 simülasyonlarında bu değer sırasıyla 30,80 kBq/m^2, 15,39 kBq/m^2, 11,25 kBq/m^2 ve 10,91 kBq/m^2 olarak hesaplanmıştır. Edirne'de 24 simülasyondan 9'unda 5 kBq/m^2'den, 16'sında ise 1 kBq/m^2'den yüksek ^{137}Cs birikimleri tespit edilmiştir. Tekirdağ'da ise ortalama 3,46 kBq/m^2 ^{137}Cs birikimi tespit edilmiş olup, Haz2 ve Oca2 simülasyonlarında sırasıyla 21,66 kBq/m^2 ve 16,79 kBq/m^2 birikimler hesaplanmıştır. Tekirdağ'da 5 senaryoda 5 kBq/m^2'den yüksek, 15 senaryoda ise 1 kBq/m^2'den yüksek ^{137}Cs birikimleri elde edilmiştir. Çanakkale'de ortalama 3,23 kBq/m^2 ^{137}Cs birikimi bulunmuş olup, en yüksek birikimler Haz2 ve Oca2 senaryolarında sırasıyla 19,63 kBq/m^2 ve 12,57 kBq/m^2 olarak elde edilmiştir. Çanakkale'de 4 senaryoda 5 kBq/m^2'den yüksek, 15 senaryoda ise 1 kBq/m^2'den yüksek değerler hesaplanmıştır. Kırklareli'nde ortalama 3,21 kBq/m^2 ^{137}Cs birikimi tespit edilirken, en yüksek birikimler Nis2 ve Tem1 senaryolarında sırasıyla 13,76 kBq/m^2 ve 11,07 kBq/m^2 olarak hesaplanmıştır. Kırklareli'nde 6 senaryoda 5 kBq/m^2'den yüksek, 14 senaryoda ise 1 kBq/m^2'den yüksek değerler hesaplanmıştır. Bölgenin ve Türkiye'nin en kalabalık şehri İstanbul'da ise 1,89 kBq/m^2 ortalama ^{137}Cs birikimi hesaplanmış olup, Oca2 simülasyonunda 18,91 kBq/m^2 birikim tespit edilmiştir. Bu senaryo dışında İstanbul'da 5 kBq/m^2'den yüksek ^{137}Cs birikimi tespit edilemezken, toplam 11 senaryoda 1 kBq/m^2'den yüksek değerler hesaplanmıştır. Tüm bu sonuçlar göz önüne alındığında, özellikle Haz2 ve Oca2 simülasyonlarının yoğun nüfuslu bu bölgede yüksek ^{137}Cs kontaminasyonlarına sebep olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 2. Bazı illerdeki 1 kBq/m^2 ve 5 kBq/m^2'den yüksek ^{137}Cs birikimi oluşma olasılığı

Trakya kentlerine ek olarak diğer bölgelerdeki yoğun nüfuslu kentler incelendiğinde, İzmir ve Samsun'da nispeten yüksek birikimler elde edilmiştir. İzmir'de 1,14 (en yüksek 4,00) kBq/m^2, Samsun'da ise 1,07 (en yüksek 5,89) kBq/m^2 ^{137}Cs ortalama birikimi elde edilmiştir. Diğer yoğun nüfuslu kentlerde ise kent ortalamaları genelde 1 kBq/m^2'nin altında tespit edilmiştir. Ankara'da 0,79 (en yüksek 6,30) kBq/m^2, Diyarbakır'da 0,67 (en yüksek 4,47) kBq/m^2, Van'da 0,61 (en yüksek 2,75) kBq/m^2 ve Antalya'da 0,54 (en yüksek 3,23) kBq/m^2 ^{137}Cs ortalama birikimi elde edilmiştir. En düşük ortalama ^{137}Cs birikimi ise 0,39 kBq/m^2 olarak Mersin'de hesaplanmıştır. Bunların dışında hiçbir senaryoda 37 kBq/m^2'den yüksek ^{137}Cs birikim ortalamasına sahip şehir tespit edilmemiştir.

1 yıllık TEDE grid bazlı olarak incelendiğinde, neredeyse tüm senaryolarda TEDE değerleri 1 mSv'in altında hesaplanmıştır. Sadece Ara2 senaryosunda bazı gridlerde 1 mSv'e ulaşan (en yüksek 1,03 mSv) değerler bulunmuştur. Bunun dışında Oca1 ve Ara1 simülasyonlarında sırasıyla en yüksek 0,83 mSv ve 0,71 mSv değerler elde edilmiştir. İl ortalamaları incelendiğinde en yüksek değerler Trakya ve Marmara illerinde gözlemlenmiştir. 24 simülasyon ortalaması baz alınarak yapılan sıralamada Edirne en fazla radyolojik riske sahip il olarak tespit edilirken, ikinci ve üçüncü yüksek risk Kırklareli ve Tekirdağ'da tespit edilmiştir. En kötü durumlar incelendiğinde ise Tekirdağ'da Oca2 senaryosunda 0,30 mSv, Edirne'de Haz2 senaryosunda 0,28 mSv TEDE gözlemlenmiştir. Oca1 senaryosunda ise Bartın'da 0,49 mSv, Zonguldak'ta 0,44 mSv, Samsun'da 0,29 mSv, İstanbul'da 0,27 mSv TEDE hesaplanmıştır (Tablo 4).

Tablo 4. Bazı illerin 24 simülasyon arasındaki ortalama ve en yüksek TEDE değerleri (mSv)

İl	Ortalama TEDE (mSv)	En Yüksek	
		TEDE (mSv)	Senaryo
Edirne	0,09	0,28	Haz2
Kırklareli	0,07	0,21	Nis2
Tekirdağ	0,07	0,30	Oca2
Çanakkale	0,05	0,20	Oca2
İstanbul	0,04	0,27	Oca1
Samsun	0,02	0,29	Oca1
Bartın	0,04	0,49	Oca1
Zonguldak	0,03	0,44	Oca1
İzmir	0,02	0,05	Nis2
Ankara	0,01	0,05	May1
Diyarbakır	0,01	0,04	Oca1
Antalya	0,01	0,04	Agu1
Van	0,01	0,06	Oca1
Mersin	0,01	0,04	Kas1

4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada Bulgaristan'da yer alan Kozloduy NGS'de yaşanacak olası bir kazanın çeşitli meteorolojik koşullar altında, Türkiye üzerinde olan radyolojik etkileri araştırılmıştır. Hem ^{137}Cs birikimleri hem de TEDE sonuçları incelendiğinde en büyük riskin, Trakya başta olmak üzere Marmara bölgesinde olduğu tespit edilmiştir. Bu bölge Türkiye'nin nüfus yoğunluğunun çok ciddi bir kısmını taşıdığı için bu santraldeki olası kazalar Türkiye için önemli bir tehdit oluşturacaktır. Ancak hem ^{137}Cs birikimlerinde hem de TEDE hesaplarında genel olarak çok yüksek değerler tespit edilmemiştir. Özellikle radyolojik etki için önemli bir ölçüt olan TEDE değerleri tüm senaryolarda 1 mSv'in altında kalmıştır. Ancak bu noktada modellemesi oldukça zor olan beslenmeden kaynaklı TEDE'nin hesaba katılmadığı unutulmamalıdır. Beslenme kaynaklı dozlar da dikkate alındığında bazı senaryolarda görece tehlikeli değerler tespit edilebilir.

Modelleme ve risk yönetimi açısından incelendiğinde en yüksek kontaminasyonun Edirne ve diğer Trakya illerinde görünmesi, kaynağa yakınlığın önemli bir faktör olduğunu ortaya koymaktadır. Bazı istisnalar olsa da hem birikim ortalamalarında hem de TEDE ortalamalarında tesisten uzaklaştıkça değerlerin azaldığı görülmüştür. Diğer yandan bazı senaryolarda önemli birikimler tespit edilmesine rağmen, toplam iki senaryoda Türkiye genelinde neredeyse sıfıra yakın değerler elde edilmiştir. Bu da meteorolojik parametrelerden rüzgar yönünün, sonuçlara doğrudan etkisi olduğunun göstergesidir.

Bu çalışma ERA Interim verisi kullanılarak, 1986 yılındaki farklı meteorolojik dönemler için gerçekleştirilmiştir. Bu uygulamanın ileri çalışması olarak hem dönem sayısı arttırılıp, hem de farklı yıllardan veriler kullanılarak meteorolojik koşullar çeşitlendirilebilir. Bu sayede daha hassas sonuçlar tespit edilirken, daha kötü senaryoların olup olmadığı belirlenebilir. Öte yandan, ECMWF'in son reanaliz ürünlerinden olan ERA-5 daha yüksek çözünürlüklere sahip olduğu için sonuçların biraz daha iyileştirilmesi mümkün olabilir.

Kaynakça

[1]. N. Muellner, N. Arnold, K. Gufler, W. Kromp, W. Renneberg, W. Liebert, Nuclear energy - The solution to climate change?,Energy Policy, Vol. 155, , (2021). ISSN 0301-4215, https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112363

[2]. World Nuclear Association (WNA), How can nuclear combat climate change?, (2021). https://world-nuclear.org/nuclear-essentials/how-can-nuclear-combat-climate-change.aspx

[3]. International Atomic Energy Agency (IAEA), Nuclear power and climate change, (2021). https://www.iaea.org/topics/nuclear-power-and-climate-change

[4]. D.S. Siqueira, J. de Almeida Meystre, M.Q. Hilário, D.H.D. Rocha, G.J. Menon, R.J. da Silva, Current perspectives on nuclear energy as a global climate change mitigation option. Mitig Adapt Strateg Glob Change 24, 749–777 (2019). https://doi.org/10.1007/s11027-018-9829-5

[5]. De Cort, M., Dubois, G., MG, G., A., I., Janssens, A., Jones, A., N., K., Knaviskova, E., I., M., M., N., YM, P., VA, S., ED, S., LY, T., YS, T., 1998. Atlas of Caesium 137 deposition on Europe after the Chernobyl accident. EUR 1673 EN/RU, European Commission Report EUR.

[6]. Ten Hoeve, J. E., & Jacobson, M. Z. (2012). Worldwide health effects of the Fukushima Daiichi nuclear accident. Energy & Environmental Science, 5(9), 8743-8757. https://doi.org/10.1039/C2EE22019A

[7]. Seghal, B. R. (2012). Nuclear Safety in Light Water Reactors: Severe Accident Phenomenology, SARNET (Severe Accident Network) Framework Program of Research of the European Commission, Academic Press.

[8]. Petra Seibert, Delia Arnold, Nikolaus Arnold, Klaus Gufler, Helga Kromp-Kolb, Gabriele Mraz, Steven Sholly, Antonia Wenisch (2013): Flexrisk - Flexible tools for assessment of nuclear risk in Europe. Final Report. PRELIMINARY

VERSION MAY 2013. BOKU-Met Report 23 https://meteo.boku.ac.at/report/BOKU-Met_Report_23_PRELIMv2_online.pdf
[9]. International Atomic Energy Agency (IAEA), The Database on Nuclear Power Reactors, (2021). https://pris.iaea.org/pris/
[10]. World Nuclear Association (WNA), Nuclear Power in the World Today, (2021). https://world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/nuclear-power-in-the-world-today.aspx
[11]. Zhu Y, Guo J, Nie C, Zhou Y (2014) Simulation and dose analysis of a hypothetical accident in Sanmen nuclear power plant. Ann Nucl Energy 65:207–213. https://doi.org/10.1016/j.anucene.2013.11.016
[12]. Min JS, Kim HR (2018) Environmental impact on the Korean peninsula due to hypothetical accidental scenarios at the Haiyang nuclear power plant in China. Prog Nucl Energy 105:254–262. https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2018.01.012
[13]. Bilgiç E, Gündüz O (2020) Dose and risk estimation of Cs-137 and I-131 released from a hypothetical accident in Akkuyu Nuclear Power Plant. J Environ Radioact 211:106082. https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2019.106082
[14]. Stohl, A., M. Hittenberger, and G. Wotawa (1998): Validation of the Lagrangian particle dispersion model FLEXPART against large scale tracer experiments. Atmos. Environ. 32, 4245-4264. https://doi.org/10.1016/S1352-2310(98)00184-8
[15]. Stohl, A., D. J. Thomson (1999): A density correction for Lagrangian particle dispersion models. Bound.-Layer Met. 90, 155-167. https://doi.org/10.1023/A:1001741110696
[16]. Stohl, A., Forster, C., Frank, A., Seibert, P., Wotawa, G., 2005. Technical note: The Lagrangian particle dispersion model FLEXPART version 6.2. Atmos. Chem. Phys. 5, 2461–2474. https://doi.org/10.5194/acp-5-2461-2005
[17]. Pisso, I., Sollum, E., Grythe, H., Kristiansen, N.I., Cassiani, M., Eckhardt, S., Arnold, D., Morton, D., Thompson, R.L., Groot Zwaaftink, C.D., Seibert, P., Stohl, A., 2019. The Lagrangian particle dispersion model FLEXPART version 10.4. Geosci. Model Dev. 12, 4955–4997. https://doi.org/10.5194/gmd-12-4955-2019
[18]. Evangeliou N, Hamburger T, Cozic A, Balkanski Y, Stohl A (2017) Inverse modeling of the Chernobyl source term using atmospheric concentration and deposition measurements. Atmos Chem Phys 17:8805–8824. https://doi.org/10.5194/acp-17-8805-2017
[19]. Stohl A, Seibert P, Wotawa G, Arnold D, Burkhart JF, Eckhardt S, Tapia C, Vargas A, Yasunari TJ (2012) Xenon-133 and caesium-137 releases into the atmosphere from the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant: Determination of the source term, atmospheric dispersion, and deposition. Atmos Chem Phys 12:2313–2343. https://doi.org/10.5194/acp-12-2313-2012
[20]. Srinivas CV, Rakesh PT, Hari Prasad KBRR, Venkatesan R, Baskaran R, Venkatraman B (2014) Assessment of atmospheric dispersion and radiological impact from the Fukushima accident in a 40-km range using a simulation approach. Air Qual Atmos Health 7:209–227. https://doi.org/10.1007/s11869-014-0241-3
[21]. Bilgiç, E., Gündüz, O, 2021. Analysis of the impact of various vertical release patterns on the atmospheric dispersion and total deposition of 137Cs from Chernobyl Nuclear Power Plant accident. Environ Sci Pollut Res (2021). https://doi.org/10.1007/s11356-021-15211-8
[22]. Srinivas CV, Venkatesan R (2005) A simulation study of dispersion of air borne radionuclides from a nuclear power plant under a hypothetical accidental scenario at a tropical coastal site. Atmos Environ 39:1497–1511. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.11.016
[23]. Brandt, J., Christensen, J.H., Frohn, L.M., 2002. Modelling transport and deposition of caesium and iodine from the Chernobyl accident using the DREAM model. Atmos. Chem. Phys. 2, 397–417. https://doi.org/10.5194/acp-2-397-2002
[24]. UNSCEAR, 1988. UNSCEAR 1988 Report, Sources, effects and risks of ionizing radiation, United Nations, New York. https://www.unscear.org/unscear/en/publications/1988.html
[25]. Cardis, E., Krewski, D., Boniol, M., Drozdovitch, V., Darby, S.C., Gilbert, E.S., Akiba, S., Benichou, J., Ferlay, J., Gandini, S., Hill, C., Howe, G., Kesminiene, A., Moser, M., Sanchez, M., Storm, H., Voisin, L., Boyle, P., 2006. Estimates of the cancer burden in Europe from radioactive fallout from the Chernobyl accident. Int. J. Cancer 119, 1224–1235. https://doi.org/10.1002/IJC.22037
[26]. WHO, 2012. Preliminary dose estimation from the nuclear accident after the 2011 Great East Japan earthquake and tsunami. https://www.who.int/publications/i/item/9789241503662
[27]. ICRP, 2017. ICRP Publication 137 - Occupational Intakes of Radionuclides: Part 3, ICRP Publication 137. ed. https://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20137
[28]. ICRP, 2020. ICRP Publication 144 - Dose Coefficients for External Exposures to Environmental Sources, ICRP Publication 144. ed. https://icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20144
[29]. Eckerman, K.F., Ryman, J.C., 1993. Federal Guidance Report No. 12: External Exposure to Radionuclides in Air, Water, and Soil. Washington. https://www.epa.gov/radiation/federal-guidance-report-no-12-external-exposure-radionuclides-air-water-and-soil
[30]. ICRP, 1995. ICRP Publication 71 Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides - Part 4: Inhalation Dose Coefficients. https://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%2071
[31]. Simsek, V., Pozzoli, L., Unal, A., Kindap, T., Karaca, M., 2014. Simulation of ^{137}Cs transport and deposition after the Chernobyl Nuclear Power Plant accident and radiological doses over the Anatolian Peninsula. Sci. Total Environ. 499, 74–88. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.08.038
[32]. ICRP, 2007. ICRP Publication 107 - Nuclear Decay Data for Dosimetric Calculations , ICRP Publication 107. ed. https://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20107

BURSA'DA YER ALAN ÇOCUK PARKI TOZLARINDA CİVA SEVİYELERİ VE SAĞLIK RİSK DEĞERLENDİRMESİ

Ozan Veli Kaya[1], Hatice Kübra Gül[2], Özge Korkusuz[3], Perihan Binnur Kurt-Karakuş[4]

[1] *Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 16310 Yıldırım/BURSA* ozannkaya2@gmail.com

[2] *Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 16310 Yıldırım/BURSA* kubra.akdogan@btu.edu.tr

[3] *Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 16310 Yıldırım/BURSA* korkusuzozge@gmail.com

[4] *Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 16310 Yıldırım/BURSA* perihan.kurt@btu.edu.tr

Özet

Çocuklar, hem fizyolojik özellikleri hem de günlük rutin davranışları/alışkanlıkları nedeniyle kirleticilere maruziyet açısından savunmasızdırlar. Tehlikeleri ve zarar kaynaklarını tespit etmek için gerekli deneyime sahip olmamalarının yanısıra gün içerisinde sıklıkla ellerini ağızlarına götürme alışkanlıklarından dolayı kirleticilere daha fazla maruz kalabilmektedirler. Mevcut çalışmada, Bursa ilinde 2021 yılı Mart-Nisan aylarında nilüfer (şehirin batı kısmı) ve Kestel (şehirin doğu kısmı) ilçelerinde yer alan 23 adet çocuk oyun parkından toplanan toz örneklerinde toplam civa (∑Hg) miktarları değerlendirilmiş, çocukların parkta geçirdikleri oyun sürelerinde maruz kaldıkları Hg miktarı belirlenerek risk değerlendirmesi yapılmıştır. Nilüfer ve Kestel ilçelerinde bulunan çocuk parklarından toplanan toz örneklerinde, ∑Hg konsantrasyonlarının 0,020 - 2,742 mg/kg arasında değiştiği, ortalama ∑Hg konsantrasyonun 0,198 mg/kg olduğu ve bunun da arka plan değerinden (0,099 mg/kg) iki kat daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Kestel bölgesindeki parkların ortalama civa konsantrasyonu, (0,423 mg/kg), geri plan alan konsantrasyonuna göre 4,3 kat, Nilüfer bölgesindeki parkların ortalama civa konsantrasyonuna (0,059 mg/kg) göre ise yaklaşık 7,2 kat fazla olduğu görülmüştür. En yüksek ∑Hg konsantrasyonu Kestel bölgesinde yer alan bir çocuk parkında belirlenmiş olup (2,742 mg/kg), söz konusu bu park bölgede bulunan çimento fabrikasına oldukça yakın bir mesafede bulunmaktadır.

Toz örneklerinde belirlenen ortalama ∑Hg konsantrasyonları kullanılarak 6 ve 12 yaş grubu çocuklar için sağlık risk değerlendirilmesi yapılmıştır. Kanserojen olmayan günlük alım miktarları 6 ve 12 yaş grubunda soluma yoluyla maruziyet için sırasıyla $5{,}15x10^{-11}$ ve $1{,}93x10^{-11}$ mg/kg.gün; yutma yoluyla maruziyet için sırasıyla $1{,}84x10^{-6}$ ve $6{,}92x10^{-7}$ mg/kg.gün; dermal temas yoluyla maruziyet için sırasıyla $1{,}55x10^{-9}$ ve $8{,}96x10^{-10}$ mg/kg.gün olarak belirlenmiştir. Risk değerlendirmesinin sonuçları, en yüksek riskin toz partiküllerinin yutulmasıyla ilişkili olduğunu olduğunu göstermektedir. Tehlike indeksi (HI) ($3{,}30x10^{-3}$ (6 yaş) ve $1{,}24x10^{-3}$ (12 yaş)) EPA tarafından verilen güvenli değeri (HI<1) aşmamıştır. Risk değerlendirmesi sonuçları, kanserojen olmayan risk açısından, çocuk parkları civarındaki tozlar vasıtasıyla ∑Hg maruziyetinin olumsuz bir etkiye sahip olmadığını göstermektedir.

Keywords: *Civa, çocuk parkı, toz, maruziyet, risk değerlendirmesi*

GEMİLERDEN KAYNAKLI ATIKLARIN MONTE CARLO YÖNTEMİ KULLANILARAK RİSK DEĞERLENDİRMESİ

SHIPBORNE WASTES RISK ASSESSMENT WITH THE MONTE CARLO METHOD

Ömer Harun ÖZKAYNAK*[*], Gönül Tuğrul İÇEMER[2]

[,] Akdeniz Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü 07058, Konyaaltı/ANTALYA*
ozkaynak104@hotmail.com

[2] Akdeniz Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü 07058, Konyaaltı/ANTALYA
gicemer@hotmail.com

Özet

Deniz yolu ile yapılan ticaret daha az maliyetli olması ve taşınabilecek yük miktarının da diğer yollara göre çok daha fazla olması nedeniyle giderek artan bir ivme ile büyümektedir. Bunu sonucunda da daha fazla gemi denizlerde seyir yapmakta ve gemi kaynaklı atıklardan kaynaklı deniz kirliliği riski artmaktadır. Bu riskin önüne geçebilmek amacıyla risk değerlendirmesi yapılarak bu konuda alınabilecek önlemlerin belirlenmesi ile yönetim konusunda ihtiyaçların belirlenip eksiklerinin giderilmesi sağlanabilmektedir. Risk değerlendirmesi bir belirsizlik hesaplamasıdır. Monte Carlo Yöntemi son yıllarda belirsizlik hesaplamaları konusunda özellikler çevre kirliliği ve güvenliği konularında yapılan risk değerlendirmelerinde yaygın hale gelmiştir. Bu çalışmada, gemilerden kaynaklı atıkların neden olduğu deniz kirliliğinin Monte Carlo yöntemi kullanılarak risk değerlendirme konusunda yapılan çalışmalar incelenmiş olup bu riskin yönetimiyle ilgili ihtiyaçlar belirlenmeye çalışılmıştır.

Abstract

Trade by sea is growing with increasing momentum, as it is less costly and the amount of cargo that can be transported is much higher than other routes. As a result, more ships are navigating the seas and the risk of marine pollution from ship-derived waste increases. In order to prevent this risk, risk assessment can be carried out, and the measures that can be taken in this regard are determined. Management needs are determined, and deficiencies can be eliminated. Risk assessment is an uncertainty calculation. In recent years, the Monte Carlo Method has become widespread in risk assessments on uncertainty calculations, especially on environmental pollution and safety. In this study, studies on risk assessment of shipborne marine pollution using the Monte Carlo method were examined, and the needs for the management of this risk were tried to be determined.

Keywords: Marine Pollution, Risk Management, Ship's waste.

1. INTRODUCTION

According to the International Maritime Organization (IMO), marine pollution is 40% land-based discharges, 30% atmosphere-based sources, 11% maritime transport, 10% illegal discharges from ships to the sea, 8% rivers. And rivers and 0.5% from oil extraction activities in the open ocean (Küçük and Topçu 2012). Although it constitutes 21% of the total marine pollution, the sea pollution caused by the wastes originating from the ships is the part that is especially emphasized.

In 2018, 84% of the world trade and 88% of Turkey's foreign exchange were made by sea (Chamber of Shipping 2019). It has been determined that the number of ships arriving at ports in Turkey is 75 thousand on average between 2007 and 2018 (Chamber of Shipping 2019). With the impact of the Covid-19 epidemic, for the first time since 2009, global maritime trade decreased by 3.4% (Chamber of Shipping 2020).

The world's seas are polluted approximately every year with 10 billion tons of ballast water, 10 million tons of sewage, 3.25 million tons of oil, and millions of solid waste (NEPA 2015).

Marine pollution; can be defined as the harm of various substances discharged directly or indirectly into the sea by humans, harming the living species living in the ocean and human health, and preventing multiple activities carried out in the sea, such as fishing (Albaiges 1989; Falconer 1992). Although the most significant contribution to marine pollution is land-based, most marine pollution caused by ships consists of the discharge of petroleum and especially fuel oil derivatives such as bilge into the sea. Therefore, the negative impact on natural life in the ocean is much more than the pollution coming from the land. Marine pollution originating from ships can occur with the normal activities of ships and wastes such as wastewater discharged from ships into the sea uncontrolled, bilge water, slop, sludge and polluted ballast water.

MARPOL Convention; It is the most important and only international convention made by the International Maritime Organization (IMO) to prevent marine pollution due to ships' routine activities or accidents. Wastes from ships are classified as wastewater, bilge water, ballast water and solid wastes according to MARPOL (MARPOL73/78).

When examining the literature on waste from ships, there is the study about greywater (Ytreberg et al. 2020), black water (Alaska Department of Environmental Protection 2018), bilge water (Tiselius and Magnusson 2017), cleaning water (Koski et al. 2017), ballast water (David et al. 2013) and antifouling paints (Thomas and Brooks 2010). A general summary of the effects of ship-derived waste on the environment is shown in Figure-1.

In the study conducted by EMSA (2016) on wastes from ships, the wastes that a ship can produce according to its age, number of personnel, size and power of its

machinery were calculated, and it was determined that a ship could produce bilge water between 0.01 and 13 m^3. Ship-derived wastes; can be classified into 11 different types: oily bilge water, oily residues, tank washing waters (slop), wastewater, plastics, food waste, domestic wastewater, cooking oils, incineration ash, and operational wastes and cargo residues. At the same time, petroleum-based wastes are caused by cargoes carried in crude oil and petroleum product tankers; It can be divided into groups such as used lubricating oil, dirty ballast water, fuel wastes, washing water of tanks with oil, oily or fueled bilge water, fuel sludge residues. In general, the wastes originating from ships, their production amounts and the waste source are given in Table 1.

It is complicated to determine the distribution of waste from ships in the sea and the effects of pollutants on biota due to the wide variability of various conditions in the marine environment. Extensive experimental studies are often needed to determine different toxicants' individual or combined distributions and effects in different environments. Due to these uncertainties, it is challenging to determine the exact impact on the ecosystem. However, other types of discharges can be examined in more detail, or the effects of pollutants can be analyzed in-depth experimentally (Andersson et al., 2016). For this reason, researchers aimed to determine the environmental impact uncertainty by risk assessment.

Table 1. *Amounts of waste a ship can generate and sources of waste (EMSA 2016).*

Waste Type	Production Amount	Waste Source
Bilge Water	0.01-13 m^3	Leaks from machinery (varies with age and size of the vessel)
Oily Residues (Sludge)	0,01-0,03 m^3 (For 1 ton of fuel) 0-0,01 m^3 (For 1 ton of crude oil)	It varies according to the type of fuel and the amount of consumption.
Tank Washes (Slop)	20-100 m^3	It varies according to the number of tanks cleaned and their capacity.
Wastewater	0,01-0,06 m^3 (daily for a person) 0,01-0,45 m^3 (Daily when mixed with other wastes)	It varies according to the number of personnel and the duration of the cruise.
Plastic	0,001-0,008 m^3	It depends on the number of the person on board.

Risk assessment is generally an uncertainty calculation, especially environment risk determination. Monte Carlo Simulation is the most widely used method in the literature on uncertainty. In this method, parameters are defined by probability distributions instead of a single value. In engineering analysis, Monte Carlo Simulation is used to evaluate system responses under uncertainty (Yegnan et al. 2002). The basic principle in Monte Carlo Simulation is to make simulations for the estimation of risks depending on the randomly selected values from the probability distributions of the input parameters with uncertainty. Due to the fate of the environmental effects of ship-derived waste and the uncertainty of the amount of waste produced by a ship, the Monte Carlo method is the most appropriate method to determine the risk in this regard.

In this study, studies on risk assessment of ship-sourced waste were examined. As a result of the examination, it has been tried to determine the methods that can be applied in the risk assessment and management of wastes originating from ships. In addition, with the proposed risk assessment calculation model, the waste reception facility needs at the ports will be determined, and the inspection and control of ship-sourced waste will be more effective.

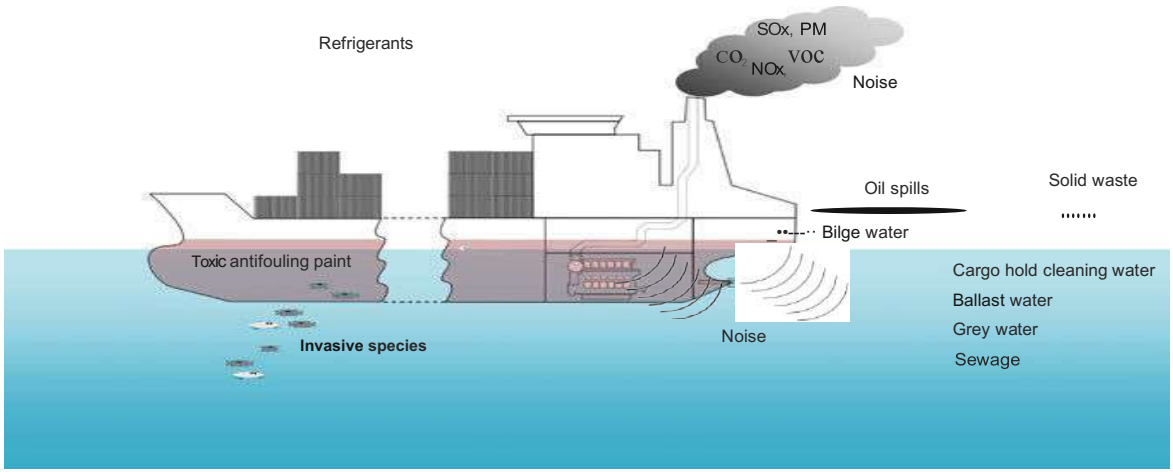


Figure 1. *Wastes from ships and their effects on the environment (Anderson et al. 2016).*

2. MATERIAL AND METHODS

The risk of wastes that may arise from a ship can be determined precisely by calculating the bilge, wastewater, and solid wastes formed in the highest amount on ships and have the most significant negative impact on the environment by calculating with MCS (Monte Carlo Simulation) using the formulas below.

Bilgewater is a complex mixture consisting of many contaminants such as oils, fuels and washing water originating from the machine. Therefore, in order to calculate the bilge water that a ship can produce, a lot of information is needed, such as malfunctions that may occur in the machines during the cruise, engine power, the quality of the fuel and oil used, the age of the ship, the last maintenance time for the machines. While calculating the amount of bilge a ship will produce, the following formula was used (Jalkanen et al. 2020);

$b_{pas} = 0.1313p + 373.4$ (1)

$b_{other} = 0.0247p + 154.4$ (2)

where the amount of daily bilge waste that a ship can produce (l/day), the ship's machinery power (p(kW)), "$bpas$" refers to passenger ships and "$bother$" refers to other ships other than passenger ships. When the variables in the formula here are entered into the Monte Carlo simulation (MCS) as distribution, the risk of shipborne bilge waste for a region can be determined as distribution. In the study conducted by Özkaynak and İçemer (2021), the risk of bilge waste that a ship can produce using MCS was calculated using a similar method.

The amount of wastewater that a ship can produce varies depending on the number of personnel on the ship, the number of passengers, and the cruise's duration. Using the sailing time in a zone of a ship and the number of people on the cruise ship, the amount of black and grey wastewater produced can be calculated using the following formula (Perić and Račić 2019);

$$Amount\ of\ Gray\ Wastewater\ (m^3) = \frac{Kx\ Fgx\ t}{1000} \quad (3)$$

$$Amount\ of\ Black\ Wastewater\ (m^3) = \frac{Kx\ Fbx\ t}{1000} \quad (4)$$

where K is the average number of people on board, Fg is the amount of greywater produced per person, 1.325 l/person/hour, Fb is the amount of black water produced per person, 10.54 l/person/hour, and t is the cruising time in the region.

The number of personnel to be on board the ship here and the cruise time of the ships can be calculated as the amount of bilge water and the distribution of the risk of ship-derived wastewater in the coming years by entering the MCS as a distribution.

Solid waste quantification can be calculated using the following formula, based on the total number of passengers (passenger and crew members on passenger and cargo ships), assuming that each person produces 1 kg of solid waste per day;

SWA (kg)= NOP x t x1 (5)

Here, SWA shows the solid waste amount in kg, NOP indicates the number of people on board, and t shows the duration of the ship in days. The risk of solids

originating from ships can be determined as distribution by entering NOP and t values into MCS as distribution.

3. DISCUSSION

Research is being conducted on the determination of the environmental impacts and risks of ship-sourced waste, and there are uncertainties in the assessment due to the multifactorial nature of these effects. Especially about the bilge water, it was determined by EMSA (2016) that the amount of bilge water a ship can produce can vary between 0.01-13 m^3. According to the literature, the amount of bilge waste calculated according to the ship type and tonnage varies between 0.01-50 m^3.

The Monte Carlo method based on statistics and probability theory was used to eliminate the uncertainty caused by random sampling in the environmental risk model and to predict the distribution of heavy metal concentrations in the coming years. Qu et al. (2018). In the study on modelling the discharge of ship-sourced bilge water to the sea using the Monte Carlo method, it was determined that container ships produced more bilge water compared to the bilge water produced according to ship types and age ship (Motoyoshi and Nishi 2020). The amount of bilge waste that a ship can produce was calculated using the MCS method, and it was determined that it would vary between 0.78-3.16 m^3 (Özkaynak and İçemer, 2021).

Since it has been determined in previous studies that a person on board produces 31.8 l/day of black water and 253 l/day of greywater, it is possible to calculate how much black and grey wastewater a ship can produce in a given period using this information (EPA 2008). Estimation of greywater produced by ship type in the Baltic Sea, where there is heavy ship traffic, Ytreberg et al. (2020) determined that the amount of greywater waste per person per day varies between 105-222 lt. Vicente-Cera et al. (2019) calculated wastewater 0.15 ± 0.03 m^3 per person per day on cruise ships.

Solid wastes produced on ships can reach high amounts., it has been calculated that the ship with a capacity of 2000-3000 passengers can produce 7000-10.500 kg of solid waste with determining the number of passengers and personnel (Oceana 2008). The density of solid waste generated on ships is estimated to be 0.25 kg/dm^3. It has been determined that the daily amount of solid waste produced per person is approximately four dm^3 (Presburger et al. 2011).

Şahin and Vardar (2020) reveal that the wastes generated on the ships due to national and international ship traffic create pressure on the marine ecosystem and that these wastes should be planned according to the increasing needs for waste reception in ports. On the subject, Wilewska-Bien and Anderberg (2018) tried to determine the current situation and needs of ports according to MARPOL Annex IV in the study on the management of ship-sourced wastewater in the Baltic Sea.

Ulnikovic et al. (2012) used the necessary information about the ship traffic, types and numbers, and the number of berthings to the port were obtained from the surveys made to the ship owners and the interviews with the researchers.

When the studies in the literature on wastes originating from ships are examined, it is seen that it covers a particular type of waste, is for a specific type of ship and is intended for certain areas. However, more reliable data can obtain in the risk assessments using the formulas with MCS suggested in this study and the procedures used for other wastes. Thus, it will be possible to determine and manage the needs in matters such as a waste reception facility, a waste reception ship or a change in legislation for ship-derived wastes more efficiently and effectively by using the data obtained with the calculation methods suggested in the article.

4. REFERENCES

[1]. Alaska Department of Environmental Protection 2018.Wastewater Sampling Results for Large Cruise Ships. Commercial Passenger Vessel Environmental Compliance Program.

[2]. Albagies, J., 1989. Marine Pollution: an introduction, in "Marine Pollution", Hemisphere Pub. Corp, USA.

[3]. Andersson, K., Brynolf, S.J., Lindgren, F. and Wilewska-Bien,M. 2016. Shipping and the Environment. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

[4]. David, M., Gollasch, S., and Leppäkoski, E. 2013. Risk assessment for exemptions from ballast water management–the Baltic Sea case study. Marine pollution bulletin, 75(1-2), 205-217.

[5]. Chamber of Shipping, 2019. Maritime Industry Report. https://www.denizticaretodasi.org.tr/media/SharedDocuments/sektorraporu/sektor_raporu_tr_2020.pdf

[6]. Chamber of Shipping, 2020. Maritime Industry Report. https://www.denizticaretodasi.org.tr/media/SharedDocuments/sektorraporu/DenizcilikSektorRaporu2021.pdf.

[7]. EMSA (The European Maritime Safety Agency), 2016. The Management of Ship-Generated Waste On-board Ships report.

[8]. EPA (Environmental Protection Agency) 2008. Cruise Ship Discharge Assessment Report. Washington, D.C: Environmental Protection Agency, Office of water.

[9]. Falconer, R., 1992. Flow and water quality modelling in coastal and inland waters, Journal of Hydraulics Research, 30(4), 437-452.

[10]. Jalkanen, J. P., Johansson, L., Wilewska-Bien, M., Granhag, L., Ytreberg, E., Eriksson, K. M., ... & Moldanova, J. 2020. Modelling of discharges from Baltic Sea shipping. Ocean Science Discussions, 1-54.

[11]. Koski, M., Stedmon, C., and Trapp, S. 2017. Ecological effects of scrubber water discharge on coastal plankton: Potential synergistic effects of contaminants reduce survival and feeding of the copepod Acartia tonsa. Marine Environmental Research, 129, 374–385.

[12]. Küçük, Y.K. ve Topçu A. (2012). Deniz Taşımacılığından Kaynaklanan Kirlilik, Ankara Üniversitesi Çevrebilimleri Dergisi, 4(2), 75-79.

[13]. MARPOL (International Convention for the Prevention of Pollution from Ships) 73/78. http://www.mar.ist.utl.pt/mventura/Projecto-Navios-I/IMO-Conventions%20%28copies%29/MARPOL.pdf

[14]. NEPA (National Environmental Policy Act) (2015). Marine Pollution. Erişim adresi: www.nepa.gov.jm%2Fstudent%2Fresource-material%2Fpdf%2FMarine _Pollution. Pdf.

[15]. Oceana, 2008. Report on Contamination by cruise ships. Protecting the World's Oceans. Oceana, Rue Montoyer 39, 1000 Brussels, Belgium.

[16]. Özkaynak.Ö.H. ve İçemer,G.T. 2021.Determining the bilge water waste risk and management in the Gulf of Antalya by the Monte Carlo method, Journal of the Air & Waste Management Association, DOI: 10.1080/10962247.2021.1972055

[17]. Perić, T., ve Račić, N. 2019. Evaluation model of marine pollution by wastewater from cruise ships. Brodogradnja: Teorija i praksa brodogradnje i pomorske tehnike, 70(3), 79-92.

[18]. Presburger-Ulniković, V., Vukić, M., Jančić-Heinemann, R., & Antonović, D. (2011). Ship waste quantities prediction model for the port of Belgrade. Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly/CICEQ, 17(2), 239-248.

[19]. Qu, L.; Huang, H.; Xia, F.; Liu, Y.; Dahlgren, R.A.; Zhang, M.,and Mei, K., 2018. Risk analysis of heavy metal concentration in surface waters across the rural-urban interface of the Wen-Rui Tang River, China. Environ. Pollut. 237, 639e649.

[20]. Şahin, V., and Vardar, N. 2020. Determination of Wastewater Behavior of Large Passenger Ships Based on Their Main Parameters in the Pre-Design Stage. Journal of Marine Science and Engineering, 8(8), 546.

[21]. Thomas, K. V., and Brooks, S. 2010. The environmental fate and effects of antifouling paint biocides. Biofouling, 26(1), 73-88.

[22]. Tiselius, P. and Magnusson, K. 2017. Toxicity of treated bilge water: The need for revised regulatory control, Mar. Pollut. Bull.,114(2), 860–866, doi:10.1016/j.marpolbul.

[23]. Ulnikovic, V., P., Vukic, M. Ve Nikolic, R. (2012). Assessment of vessel-generated waste quantities on the inland waterways of the Republic of Serbia, Journal of Environmental Management 97 (2012) 97e101.

[24]. Vicente-Cera, I., Moreno-Andrés, J., Amaya-Vías, D., Biel-Maeso, M., Pintado-Herrera, M. G., Lara-Martín, P. A., ... and Nebot, E. 2019. Chemical and microbiological characterization of cruise vessel wastewater discharges under repair conditions. Ecotoxicology and environmental safety, 169, 68-75.

[25]. Westhof, L., Köster, S. and Reich, M. 2016. Occurrence of micropollutants in the wastewater streams of cruise ships. Emerging Contaminants, 2(4), 178-184.

[26]. Wilewska-Bien, M., Granhag, L. Ve Andersson, K. (2016). The nutrient load from food waste generated on board ships in the Baltic Sea. Marine Pollution Bulletin 105 (2016) 359–366.

[27]. Wilewska-Bien, M. And Anderberg, S. 2018 . Reception of sewage in the Baltic Sea–The port's role in the sustainable management of ship wastes. Marine Policy, 93, 207-213.

[28]. Yegnan, A., Williamson, D.G., Graettinger, A.J. 2002. Uncertainty Analysis in air Dispersion Modeling, Environmental Modelling & Software, 17:639-649.

[29]. Ytreberg, E., Eriksson, M., Maljutenko, I., Jalkanen, J. P., Johansson, L., Hassellöv, I. M., and Granhag, L. 2020. Environmental impacts of greywater discharge from ships in the Baltic Sea. Marine pollution bulletin, 152, 110891.

14. national 2. international environmental engineering congress

climate crisis & environmental policies

SESSION 7A: Yenilenebilir Enerji

Paper ID:

7 **AYDIN İLİ JEOTERMAL ENERJİ SANTRALLERİNDEN ÇIKAN ATIK ISININ ŞEHİR ISITMADA KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI**
Çağatay Kahriman - Kamil Erkan

29 **MISIR SÖMEĞİ İLE DİGESTAT'IN BİRLİKTE-ÇÜRÜTÜLMESİ: HİDROTERMAL ÖN İŞLEMİN METAN ÜRETİMİNE ETKİSİ**
Tuğba Çelik Çağlar - Tuba H. Bayramoğlu

43 **Environmental Controling of Hydropower Plants with Legislations in Turkey**
Fatma Aysun Kaplan - Hikmet Polat

83 **İLETKEN MADDELER YARDIMIYLA KONVANSİYONEL ANAEROBİK ÇÜRÜT ME SİSTEMİNİN PERFORMANSININ ARTIRILMASI**
Yasin Odabaş - Dilşad Yılmazel

90 **ARITMA ÇAMURUNUN TERMAL KURUTMA ÖNCESİ YAPIŞKANLIK YAPISI NIN DEĞERLENDİRİLMESİ**
Emine Ubay Çokgör

23 **START-UP PERIOD OF BIOGAS PLANTS - A CASE STUDY**
Hakan Dulkadiroğlu- Emre Avcu

AYDIN İLİ JEOTERMAL ENERJİ SANTRALLERİNDEN ÇIKAN ATIK ISININ ŞEHİR ISITMADA KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI

Çağatay KAHRİMAN[1], Kamil ERKAN[2]

[1]*Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 34734, Kadıköy/İSTANBUL,*

cagataykahriman@marun.edu.tr

[2]*Marmara Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 34734, Kadıköy/İSTANBUL,*

kamil.erkan@marmara.edu.tr

Özet

Jeotermal enerji, yer ısıl enerjisi anlamına gelmektedir ve günümüzde kullanımı artan bir enerji türüdür. Türkiye jeotermal enerji bakımından önemli kaynaklara sahip bir ülkedir. Özellikle Ege Bölgesi'ndeki Büyük Menderes havzasında çok sayıda jeotermal enerji santrali (JES) mevcuttur. Bu santrallerin çoğu Aydın ilinde bulunmaktadır. Bu çalışmanın amacı, Aydın ilindeki JES'lerden çıkan atık ısının konut ısıtılmasında değerlendirilmesi ve böylece şehirde ortaya çıkan CO_2 emisyonundaki azalımın hesaplanmasıdır. Aydın ilindeki JES'lerin ve bunlardan çıkan atık ısı miktarlarının yüksek olmasının yanında ısıtılması planlanan havza içindeki ilçe merkezlerinin konumları ve nüfus yoğunlukları bu çalışmanın temel motivasyonudur. Çalışma kapsamında Aydın ilinde halen faal olan JES'lerle ilgili verilerin elde edilmesinden sonra çıkan atık ısı miktarı ayrı ayrı her santral için hesaplanmıştır. Enerji dağıtımında ortaya çıkan ısı eşanjör ve radyatör verimleri Türkiye'deki faal olan jeotermal ısıtma uygulamaları referans alınarak hesaplanmıştır.Isıtılması planlanan havza içindeki ilçelerin merkez mahallelerinin yıllık ısı yükleri; nüfus, hane halkı büyüklüğü vb. gibi veriler kullanılarak hesaplanmıştır. Yapılan tüm hesaplamaların sonucunda JES'lerden elde edilen atık ısı ile Büyük Menderes havzası içinde bulunan Söke, Germencik, İncirliova, Efeler, Köşk ilçelerinin % 93,79'unu, Sultanhisar, Nazilli, Kuyucak ve Buharkent ilçelerinin merkez mahallerinin ısıtma ve sıcak su ihtiyaçlarının ise tamamını karşılayabilecek miktarda olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu yolla temin edilebilecek ısıl enerji, 10.119,92 TJ olup 578.196 kişinin ısıtma ve sıcak su ihtiyacı karşılanabilmektedir. Havza içindeki ilçe merkezleri doğalgaz ve kömür yerine jeotermal olarak ısıtıldığında Aydın ilindeki konutlardan oluşan yıllık toplam CO_2 emisyonunun % 40,84 oranında azalacağı hesaplanmıştır. Ayrıca Aydın ilinde ortaya çıkan yıllık toplam CO_2 emisyonunun % 14 azalacağı hesaplanmıştır.

Abstract

Geothermal energy is the thermal energy inside the earth, and has been increasing in use today. Turkey is a country with significant resources in terms of geothermal energy. Especially in the Büyük Menderes Basin in the Aegean Region, there are many geothermal power plants (GPP). Most of these power plants are located in Aydın province. The aim of this study is to evaluate the district heating fromwaste heat from GPP's in Aydın province and to calculate the decrease in CO2 emission in the city as a result of this. In addition to the fact that the GPP's in Aydın province and the amount of waste heat generated from them are high, the high number of dwellings and population densities of the city centers in the basin are the main motivation of this study. Within the scope of the study, after obtaining data on the GPP currently active in Aydın province the waste heat released from the power plants were calculated. The heat exchanger and radiator efficiency of the heated environment have been calculated by taking into account the geothermal heat applications that are active in Turkey. Annual heat demand of the city centers that are planned to be heated were calculated by taking data on population, household size, etc. into account. As a result of all the calculations,the waste heat obtained from JESin Büyük Menderes Basin that is located can supply hot water needs of 93,79 percent in Söke, Germencik, Incirliova,Efeler, Köşk, and meet the all of the heating and hot water need for Sultanhisar, Nazilli, Kuyucak,and Buharkent. The heat energy that can be provided in this way is 10.119,92 TJ and the number of people whose heating and hot water needs can be met is 578.196. It has been calculated that the total annual CO2 emissions will decrease by 40.84% when geothermal is used in dwellings in Aydın Province, instead of natural gas and coal. In addition, it has also been calculated that the total annual CO2 emissions to the environment in Aydın province will decrease by 14%.

Keywords: Jeotermal, Aydın, Şehir Isıtma, Türkiye, Sürdürülebilirlik, Atık Isı, Geothermal, Aydın, District Heating, Turkey, Sustainability, Waste Heat

1. GİRİŞ

Jeotermal kelimesi; Yunan kökenli jeo (yer) ve termal (ısı) kelimelerinin birleşiminde oluşmaktadır.Jeotermal enerji; yerkabuğunun farklı derinliklerinde birikmiş ısının oluşturduğu, sıcaklıkları ortalama atmosferik sıcaklığının üzerinde olan ve çevresindeki yeraltı ve yerüstü sularına göre daha fazla erimiş mineral, tuz ve gaz içeren, sıcak su ve buhardan oluşan, doğrudan veya başka enerji çeşitlerine dönüştürülerek yararlanılan, bir hidrotermal kütledir [1].

Ege Bölgesi'ndeki Büyük Menderes havzasında çok sayıda JES mevcuttur. Bu JES'lerin çoğu Aydın ilinde bulunmaktadır. Bu çalışmada hedef olarak Aydın ilindeki JES'lerden çıkan atık ısının konut ısıtılmasında değerlendirilmesi ve böylece şehirde ortaya çıkan CO_2 emisyonundaki azalımın hesaplanmasıdır.

Günümüzde jeotermal enerjinin çok sayıda kullanım alanı mevcuttur. Bunlar; elektrik enerjisi üretimi, konut ısıtma, sera ısıtma, tropikal bitki yetiştirme, kent ısıtma ve sıcak su sağlama, havaalanı pistlerini ısıtma, kaplıca vb. gibi çeşitli alanlardır. Jeotermal enerji ayrıca endüstriyel alanlarda da kullanılmaktadır

2. MATERYAL VE METOT

2.1. JES'lerdeki Atık Isının Hesaplanması

Bu çalışmada kaynak sıcaklığı 200 °C ve altında olan santraller hesaba katılmıştır. Bu özelliklere sahip bölgede üretim yapan santrallerin tamamı çift-döngü (binarycycle) çevrim teknolojisi kullanmaktadır. Verilerin toplanması sonrasında atık ısı hesaplamaları çift-döngülü sistemlerdeki dünyadaki uygulamalar esas alınarak yapılır [2]. Atık ısı hesaplamasının yapılabilmesi için öncelikle JES'lere giren jeotermal akışkanın giriş sıcaklıklarının bulunması gerekmektedir. Jeotermal akışkanın, JES'lere giriş sıcaklık verileri elde edildikten sonra JES'ten çıkan atık ısının hesaplanması için JES'in ısıl veriminin ve JES'ten yıllık elde edilen gücün bilinmesi gerekmektedir. Isıl verim hesabı ise denklem 2.1'de gösterilmektedir [2].

$$\eta_1 = (6{,}9681 * \ln(T_{in})) - 29{,}713 \quad (2.1)$$

η_1: JES'in Isıl Verimi

T_{in}**:** Jeotermal Akışkanın JES'e Giriş Sıcaklığı (^oC)

Denklem 2.1'in sonucunda JES'in ısıl verimi elde edilmektedir. Sonrasında güç hesabı ise şu şekilde yapılmaktadır.

$$W = \frac{K}{t}$$

K: JES'in Yıllık Enerji Üretim Miktarı (GWsa)

t: Zaman (sa)

Isıl verimi ve yıllık elde edilen gücü hesaplanan JES'in termal enerjisi (MWt) denklem 2.2'denhesaplanmaktadır [2].

$$MWt = \frac{100-\eta 1}{\eta 1} * W \quad (2.2)$$

W: JES'ten Yıllık Elde Edilen Güç (MW)

η_1: JES'in Isıl Verimi

Yukarıdaki denklem sonucunda JES'in termal enerjisi hesaplanmış olmaktadır.

2.2. Jeotermal Akışkanın JES'lerden Çıkış Sıcaklıklarının Hesaplanması

Jeotermal kaynaklardan elde edilen jeotermal akışkan, JES'lere ulaştırılmaktadır. Bu akışkan, elektrik enerjisi üretilmek üzere kullanıldıktan sonra belli bir sıcaklıkta JES'lerden çıkmaktadır. Buna da jeotermal akışkanın çıkış sıcaklığı denir. JES'lerdeki çıkış sıcaklığının hesaplanması şöyledir;

Giriş sıcaklığı verileri (T_{in}) elde edilen JES'lerdeki jeotermal akışkanın çıkış sıcaklıkları (T_{out}) hesaplanmalıdır. Jeotermal akışkanın JES'ten çıkış sıcaklığı (T_{out}), denklem 2.3'tenelde edilmektedir [2].

$$\mathbf{Tout} = Tin + \frac{W}{0{,}098701-(0{,}0039645*Tin)} \quad (2.3)$$

2.3. Atık IsınınTaşınmasında Oluşan Isı Kayıplarının Hesaplanması

JES'lerden elde edilen atık ısı, havza içindeki bölgelere taşınırken ısı kaybı gerçekleşmektedir. Oluşan ısı kaybı çeşitli etkenlere bağlı olarak JES'lere göre değişmektedir. Atık ısının taşındığı özel borularda sıcaklık 5 km'de 1°C düşmektedir [3]. Denklem 2.4'tenJES'in ısı kaybı hesaplanmaktadır.

$$\mathbf{Q_{kayıp}} = m*c_p*\Delta T \quad (2.4)$$

$Q_{kayıp}$:JES'ten Elde Edilen Atık Isının Taşınmasından Oluşan Isı Kaybı (TJ)
m : JES'ten Elde Edilen Atık Isının Debisi (kg/s)
c_p: Jeotermal Akışkanın Özgül Isısı (J/kg°C)
ΔT: Sıcaklık Değişimi (°C)
Yukarıdaki bağıntının sonucunda Aydın ilinde JES'lerden elde edilen atık ısının özel borularla havza içindeki bölgelere taşınması sonucunda toplamda % 11,12 ısı kaybı meydana gelmektedir.

2.4. Verim Hesaplamaları

2.4.1. Isı Eşanjör Veriminin Hesaplanması

Tablo 2.1. *Balçova İçin Isı Eşanjörü ile İlgili Veriler [4]*

Bölge	TW (°C)	TWR (°C)	ΔT (°C)	Q (kg/s)	E_{in} (kW)	E_{out} (kW)	ΔE (kW)	η_2
1	110	50	60	0,2	88,73	38,29	50,44	0,568
2	107,3	78,7	28,6	1,32	570,57	409,29	161,28	0,283
3	90	57	33	3,66	1314,09	807,73	506,36	0,385
4	90	57	33	4,88	1751,97	1076,97	675	0,385
5	90	57	33	5,42	1945,83	1196,14	749,69	0,385
6	105	80	25	5,82	2457,55	1845,06	612,49	0,249
7	111,6	80	31,6	9,4	4158,75	2979,99	1178,76	0,283
8	105	55	50	11,2	4729,31	2378,1	2351,21	0,497
9	58	40	18	16,3	3670,43	2439,78	1230,65	0,335

10	108	58	50	16,3	7093,11	3670,43	3422,68	0,483
11	75	60	15	25,47	7540,39	5940,62	1599,77	0,212
12	105	65	40	51,95	21936,41	13203,6	8732,8	0,398
Ortalama								**0,37**

TW: Eşanjöre Giren Jeotermal Akışkanın Sıcaklığı (ºC)

TWR: Eşanjörden Çıkan Jeotermal Akışkanın Sıcaklığı (ºC)

Δ**T**: Sıcaklık Farkı (ºC)

Q: Jeotermal Akışkanın Debisi (kg/s)

Isı eşanjörünün verimi denklem 2.5'tenelde edilmektedir.

$$\eta_2 = \frac{\Delta E}{Eout} \quad (2.5)$$

η_2: Eşanjör Verimi

Δ**E:** Eşanjördeki Enerji Farkı (kW)

Yukarıdaki bağıntı sonucunda 12 farklı bölgenin ısı eşanjörünün ortalama verimi (η_2) % 37 elde edilmektedir. Çalışmada, Aydın ili içinde ısı eşanjör verimi % 37 olarak kabul edilmiştir [4].

2.4.2. Radyatör Veriminin Hesaplanması

Tablo 2.2. *Balçova İçin Radyatör ile İlgili Veriler [4]*

	Sıcaklık (ºC)	**Debi kg/s)**	**Enerji (kW)**
Giren Akışkan	81	12,383	4123,56
Çıkan Akışkan	57,7	12,83	2872,64

Radyatör veriminin bulunması için yukarıdaki tablodaki veriler kullanılmaktadır. Denklem 2.6'danradyatör verimi hesaplanmaktadır.

$$\eta_3 = \frac{\Delta kW}{kW giren} \quad (2.6)$$

η_3: Radyatör Verimi

$\mathbf{kW_{giren}}$: Radyatöre Giren Enerji (kW)

$\mathbf{kW_{çıkan}}$: Radyatörden Çıkan Enerji (kW)

Δ**kW:** Radyatördeki Enerji Farkı (kW)

Yukarıdaki bağıntı sonucunda radyatör verimi (η_3) % 30 elde edilmektedir. Bu değer Aydın ili hesaplamalarında da referans olarak alınmıştır [4].

2.5. Bölgesel Isı Yükü Hesaplamaları

2.5.1. Aylık Isı Yükü Oranı Hesaplama Metodu

Aydın ilinin dış ortam tasarım sıcaklığı -3ºC dir [5]. Aydın ili için tasarım sıcaklığı denklem 2.7'den elde edilmektedir [6].

$\mathbf{T_{tas}} = T_{iç} - T_{dış}$ (2.7)

$\mathbf{T_{tas}}$: Tasarım Sıcaklığı (ºC)

$\mathbf{T_{iç}}$: İç Ortam Sıcaklık Farkı (ºC)

$\mathbf{T_{dış}}$: Dış Ortam Tasarım Sıcaklığı (ºC)

Yukarıdaki bağıntının sonucunda Aydın ili için tasarım sıcaklığı 25°C elde edilmektedir.

Aydın ilinin aylık ısı yükü oranı (AIYO) hesabı ise denklem 2.8'den elde edilmektedir.

$$\mathbf{AIYO} = \frac{\text{Tiç-Tort Aydın}}{\text{Ttas}} \quad (2.8)$$

$\mathbf{T_{ort\ Aydın}}$: Aydın İlinin Aylık Ortalama Sıcaklığı (°C)

Tablo 2.3*. Aydın ilinin 1991-2020 yılları arasındaki aylık ortalama sıcaklık verileri ve diğer bilgiler[7]*

AYLAR	Ort. Sıcaklık (°C) (1991-2020)	Aylık Isı Yükü Oranı	Gün Yüzdesi	Isıtma Yapılacak Gün Sayısı	Saat
Ocak	8,2	0,552	% 100	31	744
Şubat	9,5	0,5	% 100	28	672
Mart	12,3	0,388	% 100	31	744
Nisan	16,1	0,236	% 100	30	720
Mayıs	21,2	0,032	% 50	(31*0,5) ≈ 16	384
Ekim	19,1	0,116	% 75	(31*0,75) ≈ 24	576
Kasım	13,5	0,34	% 100	30	720
Aralık	9,5	0,5	% 100	31	744
TOPLAM				**221**	**5304**

2.5.2. İl ve İlçe Merkezlerindeki Mahallelerinin Aylık Isı Yükü Hesaplaması

Bir mahallenin aylık ısı yükü hesabı denklem 2.9'daverilmiştir.

$\mathbf{q_{mah}} = (q_{aydın})*(AIYO)*(A)*(h)$ (2.9)

$\mathbf{q_{mah}}$: Mahallenin Aylık Isı Yükü (kcal)

$\mathbf{q_{aydın}}$: Aydın İlinin Birim Alan Ortalama Pik Isı Yükü (kcal/h.m^2)

A: Tahmini Isıtılacak Alan (m^2)

h: Aylık Isıtma Yapılacak Süre (sa)

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Tablo 3.1. *Bölgedeki JES'lerden Temin Edilen Isıl Enerji Miktarlarının, Isıtılması Planlanan Havza İçindeki İlçe Merkezlerinin Yıllık Toplam Isı Yükünü Karşılaması*

Bölgeler	Yıllık Toplam Isı Yükü (TJ)	Bölgedeki JES'lerden Temin Edilen Isıl Enerji (TJ)	Karşılama Yüzdesi	Bölgeye Bağlanan JES'ler
Bölge 1 (Söke-Germencik-İncirliova-Efeler)	6499,65	6096,11	% 93,79	KenKipaş, KenKipaş 3 Umurlu, Umurlu 2, İncirliova, Melih, Mehmethan ,Maren Gümüşköy, Kubilay, Dora 1,2,3a-3b,4
Bölge 2 (Köşk-Sultanhisar-Nazilli-Kuyucak)	2568,25	3809,6	% 148,33	Sultanhisar 1,2 Kuyucak. Pamukören 1,2,3,4,5
Buharkent	152,44	214,21	% 140,52	Buharkent
TOPLAM	**9220,34**	**10.119,92**	**%109,75**	

Tablo 3.2. *Aydın İlinde Hesaplanan Tahmini Isıtılacak Konut, Kişi Sayılarının ve Diğer Bilgilerle Karşılaştırılması*

Bölgeler	Tahmini Isıtılacak Konut Sayısı	Aydın İli Konut Sayısı (TÜİK,2020)	%	Tahmini Isıtılacak Kişi Sayısı	Aydın İli Nüfusu (TÜİK,2020)	%
Bölge 1 (Söke-Germencik-İncirliova-Efeler)	130.879			413.962		
Bölge 2 (Köşk-Sultanhisar-Nazilli-Kuyucak)	51.715			155.261		
Buharkent	3.069			8.973		
TOPLAM	**185.663**	381.646	**48,64**	**578.196**	1.119.084	**51,66**

3.1. Isıtılması Planlanan İlçelerdeki mevcut CO_2 Emisyonunun Hesaplanması

3.1.1. Doğalgaz ile Isıtılan Konutların Oluşturduğu CO_2 Emisyonunun Hesaplanması

Doğalgaz ile ısıtılan konutların toplam enerjisinin hesaplanması denklem 3.1'de gösterilmiştir.

$$\mathbf{Cng}=\frac{Ztop}{\text{toplam konut sayısı}}*Hng \quad (3.1)$$

C_{ng}: Doğalgaz ile Isıtılan Konutların Toplam Enerjisi (TJ)

Z_{top}: Isıtılacak Bölgelerin Toplam Isı Yükü (TJ)

H_{ng}: Doğalgaz ile Isıtılan Konut Sayısı

Elde edilen veriler yerine konulduğunda;

$$\mathbf{Cng}=\frac{9220{,}34\ \text{TJ}}{185.663}*100.000$$

Doğalgaz ile ısıtılan konutların toplam enerjisi 4.996,16 TJ olarak bulunmuştur. Doğalgaz için CO_2'nin emisyonfaktörü ise 55,09 ton CO_2/TJ dür [8]. Doğalgaz ile ısıtılan konutların oluşturduğu CO_2emisyonudenklem 3.2'den hesaplanmaktadır.

$$\mathbf{B_{ng}}= C_{ng}* F_n \quad (3.2)$$

B_{ng}: Doğalgaz ile Isıtılan Konutların Oluşturduğu CO_2 Emisyonu (TJ)

F_n: Doğalgaz İçin CO_2 Emisyon Faktörü (CO_2/TJ)

$$\mathbf{B_{ng}}= (4.996{,}16\ \text{TJ}*55{,}09\ \text{ton } CO_2/\text{TJ})$$

Bu işlem sonucunda, Aydın'da doğalgaz ile ısıtılan konutlardan 273.586,29 ton CO_2 salınımı gerçekleşmektedir.

3.1.2. Kömür ile Isıtılan Konutların Oluşturduğu CO_2 Emisyonunun Hesaplanması

Kömür ile ısıtılan konutların toplam enerjisi denklem 3.3'ten hesaplanmaktadır.

$$\mathbf{Cc}=\frac{Ztop}{\text{toplam konut sayısı}}*Hc \quad (3.3)$$

C_c: Kömür ile Isıtılan Konutların Toplam Enerjisi (TJ)

Z_{top}: Isıtılacak Bölgelerin Toplam Isı Yükü (TJ)

H_c: Kömür ile Isıtılan Konut Sayısı

Elde edilen veriler yerine konulduğunda;

$$\mathbf{Cc}=\frac{9220{,}34\ \text{TJ}}{185.663}*(85.663)$$

Kömür ile ısıtılan konutların toplam enerjisi 4.254,17 TJ olarak bulunmuştur. Kömür için CO_2'nin emisyon faktörü ise 110,9 ton CO_2/TJ dür [8]. Kömür ile ısıtılan konutların oluşturduğu CO_2emisyonudenklem 3.4'ten hesaplanmaktadır.

$$\mathbf{B_c}= (C_c* F_c) \quad (3.4)$$

B_c: Kömür ile Isıtılan Konutların Oluşturduğu CO_2 Emisyonu (TJ)

F_c: Kömür İçin CO_2 Emisyon Faktörü (CO_2/TJ)

Denklem 3.4'te veriler yerine konulduğunda, kömür ile ısıtılan konutlardan yıllık toplam 471.787,46 ton CO_2 salınımı gerçekleşmektedir

Tablo 3.3. *Aydın İlindeki Konutlardan Oluşan Yıllık CO_2 Emisyonu ile Çalışmada Isıtılacak İlçelerde Oluşan Yıllık Toplam CO_2 Emisyonu ile Karşılaştırılması*

	Isı Yükü (TJ)	**NG (ton CO_2)**	**Kömür (ton CO_2)**	**Toplam (ton CO_2)**
Aydın İli	18.953,81	273.595,27	1.551.211,24	1.824.806,51
Isıtılacak İlçeler	9.220,34	273.586,29	471.787,46	745,373,75
Jeotermal Isıtma Sonrası				**1.079.432,76**

4. SONUÇ

JES'lerden çıkan atık ısı ile Büyük Menderes havzası içinde bulunan Söke, Germencik, İncirliova, Efeler, Köşk ilçelerinin % 93,79'unu; Sultanhisar, Nazilli, Kuyucak ve Buharkent ilçelerinin merkez mahallerinin ısıtma ve sıcak su ihtiyaçlarının ise % 100'ünü karşılayabilecek miktarda olduğu sonucuna ulaşılmıştır. JES'lerden çıkan atık ısı özel borularla havza içindeki bölgelere taşınması sırasında ısı kayıpları meydana gelmektedir. Hesaplama sonrası toplam atık ısıda % 11,12'lik bir kayıp meydana gelmektedir. Bu yolla JES'lerden temin edilebilecek ısıl enerji 10.119,92 TJ olup 578.196 kişinin ısıtma ve sıcak su ihtiyacı karşılanabilmektedir.Havza içindeki ilçe merkezleri doğalgaz ve kömür yerine jeotermal olarak ısıtıldığında Aydın ilindeki konutlardan oluşan yıllık toplam CO_2 emisyonunun % 40,84 oranında azalacağı hesaplanmıştır. Ayrıca Aydın ilinde ortaya çıkan yıllık toplam CO_2 emisyonunun % 14 azalacağı hesaplanmıştır.

Sonuç olarak; jeotermal enerji ile ısıtma diğer enerji kaynaklarına göre daha çevreci ve daha az maliyetli olması sebebiyle her geçen gün önem kazanmaktadır. Jeotermal enerjinin ısıtma da kullanılması, ülkemizde ısıtma kaynaklı kullanılan fosil yakıtların (kömür,doğalgaz) kullanımının azalmasına, daha temiz bir çevreye sahip olunması anlamına gelmektedir. Gelecek nesillere daha temiz ve yaşanılabilir bir çevre bırakılması adına jeotermal enerji ile ısıtma ile ilgili projelerin, sistemlerin günümüzde ve gelecekte yaygınlaşarak uygulanması düşünülmelidir.

KAYNAKÇA

[1]Dinçer, İ., Ezan M.A., (2020) TÜBA Jeotermal Enerji Teknolojileri Raporu Türkiye Bilimler Akademisi Yayınları TÜBA Raporları No: 41, Ankara.

[2]Zarrouk, J.S., Moon, H., (2014) Efficiency of geothermalpowerplants: A worldwidereview, Geothermics 51,149.

[3]Poliüretan Köpük Ön İzoleli Çelik Boru, http://tr.worldironsteel.com/pre-insulated-pipe/polyurethane-foam-pre-insulated-steel-pipe.html, (10.08.2021).

[4]Özgener, L.,Hepbaşlı, A., Dinçer, İ., (2007) A keyreview on performanceimprovementaspects of geothermaldistrictheatingsystemsandapplications, RenewableandSustainableEnergyReviews 11, 1684-1688.

[5]Aydın iç dış ortam tasarım sıcaklıkları, https://www.alfaenerji.com/turkiye-icin- d%C4%B1s-ortam-tasar%C4%B1m-sicakliklari, (09.04.2021).

[6] Toksoy, M., Şener, A.C., (2005) Jeotermal Bölge Isıtma Sistemlerinde Kavramsal Planlama, Jeotermal Enerji Seminer Kitabı, Yayın No: E/2005/393-2, İzmir.

[7] Aydın ilinin 1991-2020 yılları arasındaki ortalama sıcaklık verileri, Meteoroloji Genel Müdürlüğü,https://mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceleristatistik.aspx?k= H&m=AYDIN, (26.05.2021).

[8] Junrich, K., (2016) CO_2EmissionFactorsforFossilFuels, ClimateChange 28, 44, Germany.

MISIR SÖMEĞİ İLE DİGESTAT'IN BİRLİKTE-ÇÜRÜTÜLMESİ: HİDROTERMAL ÖN İŞLEMİN METAN ÜRETİMİNE ETKİSİ

Tuğba Çelik Çağlar[1], Tuba Hande Ergüder[1,]*

[1] Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü 06800, Çankaya/ANKARA
tugbacelikcaglar@gmail.com, etubahan@metu.edu.tr, etubahan@metu.edu.tr

Özet

Küresel ısınmanın artması ve fosil yakıt rezervlerinin tükenmesi ile her geçen gün yenilenebilir enerji kaynaklarına ihtiyaç artmaktadır. Ülkemizin tarım ülkesi olması ve çok büyük oranda tarımsal atık oluşması sebebiyle biyokütle enerjisi ülkemiz için oldukça uygundur. Biyokütle enerjisi açısından mısır atığı, Türkiye'deki tahıl atıkları içinde en yüksek payı (%33) oluşturmaktadır. Dünyada da diğer tahıllarla karşılaştırdığımızda mısır üretimi ilk sırada yer almaktadır (%43). Bu bağlamda, mısır atığından biri olan mısır sömeği de ülkemizde ve dünyada yenilenebilir enerji kaynağı olarak büyük bir potansiyele sahiptir. Mısır sömeği, sert bir yapıya sahip olması sebebiyle hayvanlar tarafından tüketilemeyen gıda dışı bir atıktır. Bertarafı için, kalorifik değerinin yüksek olması (18 MJ/kg) nedeniyle, kontrolsüz şekilde yakılmaktadır; bu durum da ciddi miktarda sera gazı üretimine sebep olmaktadır. Bir diğer önemli ve değerli atık, biyogaz tesislerinin reaktör çıkışında oluşan Digestattır. Digestat ülkemizde ve dünyada gübre olarak kullanılmaktadır. Fakat digestat yeterli çürütme sağlanmadığında hala (artık) biyogaz üretim potansiyeline sahip olan bir atıktır. Ayrıca içerdiği çözünmüş sera gazlarından dolayı küresel ısınmaya sebep olacağı öngörülmektedir. Öte yandan, Digestat zengin besin ve bakteri toplulukları içerdiği için metan üretim verimini artırır. Dolayısıyla, Digestat'ın ko-sübstrat olarak kullanılması hem enerji üretimini artırmak hem de çevreye olan olası olumsuz etkilerini azaltmak adına önemli bir uygulama olabilir.

Bu çalışmada, mısır sömeğinin (Ham-MS) yenilenebilir enerji kaynağı potansiyeli ve Digestat'ın ko-sübstrat olarak kullanımı ile birlikte-çürütümü yarı-sürekli reaktörlerde araştırılmıştır. Mısır sömeğinin önemli bir karbon kaynağı olması ve Digestat'ın da içerdiği yüksek azot miktarı ve zengin besin/bakteri topluluklarını içermesi sebebiyle, bu iki atığın birlikte-çürütülmesinin olumlu bir sinerjitik etki oluşturacağı düşünülmüştür. Reaktör işletimleri optimum KOİ/N oranı baz alınarak oluşturulmuştur. Bu çalışmada, Ham-MS'ye ek olarak 150 °C'de hidrotermal ön işlem görmüş mısır sömeği (HT150-MS) de Digestat ile birlikte işletilerek; hidrotermal ön işlemin metan üretimine etkisi araştırılmıştır. Deneysel sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Ham-MS veya HT150-MS ile Digestat'ın potansiyel bir yenilenebilir enerji kaynağı olabileceği saptanmıştır.
  - Hem Ham-MS hem de HT150-MS ile Digestat arasında pozitif sinerjitik bir etki olduğu gözlemlenmiştir.
- Ham-MS + Digestat ve HT150-MS + Digestat reaktörleri, işletim süresince 10 ve 15 günlük HBS ve 2, 3 ve 4,5 organik yükleme hızlarında (OYH) işletilmiş ve en yüksek metan veriminin elde edildiği işletim koşulları belirlenmiştir.
  - HT150-MS içeren reaktör için en yüksek metan veriminin (392 mL CH_4/g $UKM_{eklenen}$) 10 günlük HBS ve 4,5 g UKM/L.g OYH'de olduğu belirlenmiştir. Aynı koşullarda metan üretim hızı 1,7 L/L/gün olarak hesaplanmıştır.
  - Bu değer Ham-MS reaktörünün ulaştığı metan verimin neredeyse iki katıdır. Dolayısıyla, Ham-MS'e uygulanan HT150 ön işleminin etkin olduğu belirlenmiştir.
  - Ham-MS içeren reaktör için ise en yüksek metan verimi (270 mL CH_4/g $UKM_{eklenen}$), 15 günlük HBS ve 3 g UKM/L.g OYH'de elde edilmiştir. Buna ek olarak, metan üretim hızı 0,8 L/L/gün olarak belirlenmiştir.
- 10 günlük HBS'nin HT150 ön işlem uygulanmış reaktörde uygun olduğu belirlenirken 15 günlük HBS'nin Ham-MS uygulanan reaktörde organik maddelerin çözünmesi için yeterli olmadığı saptanmıştır.
  - Düşük HBS değeri, biyogaz tesisi için daha küçük hacim ve daha düşük sermaye maliyeti anlamına gelir.
- Deneyler sonucunda mısır sömeğinin önemli bir yenilenebilir enerji kaynağı olarak kullanılabileceği gözlemlenmiştir.
- Özellikle, hidrotermal ön işlem görmüş mısır sömeğinin Digestat ile birlikte-çürütmesinin enerji verimini artırılabileceği saptanmıştır. Elde edilen bulguların büyük ölçekli biyogaz tesislerinde uygulanabilir olduğu düşünülmektedir.
  - Mısır sömeğinin, biyogaz tesislerinde Digestat ile birlikte kullanımı sera gazı salınımının azaltılmasına da katkı sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Anaerobik birlikte çürütme, Digestat, Enerji, Hidrotermal ön işlem, Mısır sömeği, Yarı-sürekli reaktör

ENVİRONMENTAL CONTROLİNG OF HYDROPOWER PLANTS WİTH LEGİSLATİONS İN TURKEY

TÜRKİYE'DEKİ MEVZUATLAR IŞIĞINDA HIDROELEKTRİK ENERJİ SANTRALLERİNİN ÇEVRESEL KONTROLÜ

[1] Fatma Aysun KURUGÖL, [2] Hikmet POLAT

[1] Fatma Aysun KURUGÖL, Çevre Yük. Müh., Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Adıyaman 203.Şube Müdürlüğü, fatmaaysun@dsi.gov.tr
[2] Hikmet POLAT, Çevre Müh. Adıyaman Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü hikmet.polat@csb.gov.tr

Özet

Hidroelektrik santrallerin (HES) inşaası ve işletilmesi sırasında meydana gelen çevresel etkilerin azaltılması, koruma ve güvenlik önlemlerin yeterli hale getirilmesi için düzenlenmiş mevzuatlar bulunmaktadır. HES'ler; Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK), Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Tarım ve Orman Bakanlığı'na bağlı, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ), Orman Genel Müdürlüğü (OGM), Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü (DKMP) mevzuatlarına göre rutin kontrole tabidir. Tüm bu mevzuatlar, uygulamakla yükümlü olan HES işletmelerinin çevresel farkındalığını artırmaları açısından önemlidir. Bu kontrollerde verilen tavsiye ve uygulama kararları doğrultusunda işletme sahası içerisinde birçok iyileştirmeler vuku bulmaktadır. Elektrik üretimi başta olmak üzere HES'lerin ekonomimize olan faydaları dikkate alındığında çevresel açıdan yeterli ve gerekli önlemler alındığı takdirde vazgeçilemez bir enerji kaynağı olduğu savunulmaktadır.

Abstract

There are regulations designed to reduce the environmental impacts that occur during the construction and operation of hydroelectric power plants (HEPPs) and to make protection and safety measures adequate. HEPPs; It is subject to control by the Energy Market Regulatory Authority (EMRA), the Ministry of Environment and Urbanization, the General Directorate of State Hydraulic Works (DSI) under the Ministry of Agriculture and Forestry, the General Directorate of Forestry (OGM), the General Directorate of Nature Conservation and the National Parks (DKMP). All these regulations are important in terms of increasing the environmental awareness of HEPP enterprises that have to apply. Many improvements are made in the field of operations in line with the recommendations and implementation decisions made during these controls.Considering the benefits of HEPPs for our economy, especially for electricity generation, it is claimed that it is an indispensable source of energy if environmentally sufficient and necessary measures are taken.

Keywords: *HEPP, Hydroelectric Power Plant Environmental Control, Renewable Energy, Life Water, Fish Passage, Environmental Safety and Protection Measures*

Anahtar Kelimeler: HES, Hidroelektrik Enerji Santralinin Çevresel Kontrolü, Yenilenebilir Enerji, Can Suyu, Çevresel Güvenlik ve Koruma Önlemleri

1. Giriş

Bir elektrik santrali, jeotermik, hidrolik, nükleer, termik, rüzgâr ve gelgit enerjileri gibi değişik doğal enerjiler kullanan alternatörlerle elektrik üretir. Enerji santralleri birbirinin alternatifi değil tamamlayıcısıdır. Ülkemizin enerji açısından dışa bağımlılıktan kurtulması için her bir potansiyel kaynaktan faydalanması önem arz etmektedir. Hidroelektrik Enerji Santralleri (HES); yüksek bir noktadan düşen hareket halindeki suyun kinetik enerjisinden yararlanılarak elektrik enerjisinin üretildiği elektrik santrali türüdür. Türkiye'nin 2019 yılında tüketilen enerji miktarı 290.445 GWh olmakla birlikte, işletmedeki HES'lerin ortalama enerjisi 44.950 GWh dır.(1)

Hidroelektrik Enerji Santrallerinde su tutma yapısı rezervuarlı santrallarda baraj, kanal tipi santrallerde tünel ya da açık kanal, nehir tipi santrallerde ise regülatör şeklinde olabilir. İletim kanalı; hidroelektrik tesisin işletmede öngörülen debideki suyun baraj veya regülatörden santral binasına iletmesinde kullanılır. Bir hidroelektrik santral projesi, su alma yapısı (regülatör), su iletim hattı, yükleme havuzu, cebri boru ve santralden oluşmaktadır. Ayrıca inşa sırasında beton santrali, konkasör tesisi (taş kırma tesisi), depo sahası, şantiye gibi yapıları da gerektirmektedir. İşletilmesi aşamasında herhangi bir zehirli atık oluşmamakta ve bu haliyle enerji üretiminde fosil yakıt kullanan enerji santrallerine göre sera gazı salınımı (CO_2) oldukça düşük bir seviyededir. Bu sebeple güneş, rüzgar ve jeotermal kaynaklarla birlikte son yıllarda yenilenebilir enerjinin en yaygın olarak kullanılan şeklidir.(2) Bazı dezavantajlarına karşın; ilk yatırım yapıldıktan sonra, enerji üretiminin ana kaynağı su olduğundan üretim maliyeti çok ucuz olmaktadır. Baraj/regülatör gibi gölet yapısı bulunan HES'lerin elektrik üretiminin yanı sıra;

1.Balikçılık

2.Taşkınların önlenmesi,

3.Tarım arazilerinin sulanması

4.Ağaçlandırma çalışmaları

5.İklimin yumuşaması

6.Ulaşıma katkı sağlanması

7.Turizmin gelişmesi

8.İstihdam

9.Rekreasyon gibi yararları bulunur.

Bunlarla birlikte insan tarafından gerçekleştirilen tarım, kentleşme, hidroelektrik santral rezervuarları, taşkın koruma yapıları, kum çekimi, balıkçılık ve turizm faaliyetleri su kütleleri üzerinde fiziksel değişikliklere sebep olmakta yani hidromorfolojik baskılar oluşturmaktadır. Hidromorfolojik baskılar su çekimi, akış düzenlemesi ve suyun morfolojisine etki eden baskıları içermektedir. Akış düzenlemeleri su miktarını etkilediği gibi, kıyı habitatına zarar vermekte ayrıca bazı canlıların yok olmasına sebep olmaktadır. Su çekimi ise suyun miktarını ve sediman hareketlerini etkilemektedir. Su çekimlerinin etkileri özellikle nehrin mansabında daha fazla görülmektedir. Geçtiğimiz son iki yüzyılda bu tür rezervuarların yapımı oldukça artmıştır. Barajlar ve setler su akışını ve sediman hareketini etkilemekte, balık geçişini engellemektedir.(3)

Hidroelektrik enerji üretiminin doğal, tarihî, kültürel varlıklar ve sosyo ekonomik çevre üzerinde etkileri mevcuttur. Su altında kalan taşınmazlar ve buraların istimlakı ile ilgili sorunlar ortaya çıkmaktadır. Bu konuda ilgili kurumlarla, vatandaş arasında mutabakata varılamayan durumlar ortaya çıkarsa vatandaşın mahkeme yolu her daim açıktır. Bununla birlikte mahkeme yoluna gidilmeden önce ilgili mevzuatlar ışığında inceleme yapılmalıdır. Hidrolik enerjinin mikroklimatik, hidrolojik ve biyolojik çevreye etkileri vardır. Özellikle regülatörden iletim kanalına alınan su sebebiyle dere yatağında meydana gelen su azalışı sulama suyu ve flora, fauna açısından etkili olabilmektedir. Bu dezavantajı gidermek için can suyu ve yöre halkının ihtiyacı kadar sulama suyu bırakılması, balık geçidinin yapılması gibi mevzular mevzuatlarla düzenlenmiştir. HES'lerden kaynaklanacak her türlü kirliliğin, erezyonun, doğa tahribatının önlenmesi konularına da mevzuatlarda yer verilmiştir. Mevzuatlar kararname, kanun,

yönetmelik, genelge ve rehber döküman şeklinde olabilir. Mevzuatlara uyulmadığı durumlarda devletimizin HES işletmesine idari yaptırım uygulama hakkı bulunmaktadır.

2. Mevzuatlar

2.1 4 Sayılı Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi ile DSİ Genel Müdürlüğü'ne verilen yasal yükümlülükler arasında "İşletmeye açılan hidroelektrik santrallerin su kullanım hakkı anlaşmalarına uygun olarak işletilip işletilmediğini kontrol etmek, bunlarla ilgili her türlü hesap ve tahsilât işlemlerini yapmak, baraj, gölet ve kanal gibi su yüzeyleri ile rezervuar alanında azami su kotu ile işletme kotu arasında kalan yerlerde güneş enerjisi sistemlerinin kurulmasına yönelik taleplerden uygun görülenleri bedeli karşılığında kiralamak" bulunmaktadır.(4)

2.2 1380 Sayılı Su Ürünleri Kanunu ile Tarım ve Orman Bakanlığının müsaadesi alınmadan akarsularda su ürünlerinin geçmesine veya yetişmesine engel olacak şekilde ağlar kurulması, bent, çit ve benzeri engeller yapılması yasaktır. Akarsular üzerinde kurulmuş veya kurulacak olan baraj ve regülatör gibi su yapılarında su ürünlerinin geçmesine mahsus balık geçidi yapılması ve işler durumda bulundurulması zorunludur. Ancak yüksekliği yirmi metreden fazla olan su yapılarında, masrafları müteşebbisçe karşılanmak üzere Tarım ve Orman Bakanlığınca yapılacak veya yaptırılacak bilimsel araştırma ve inceleme sonucu balık geçitlerinin işlevsiz olacağının anlaşılması halinde balık geçidi dışında farklı göç yapıları, asansörle taşıma, yapay ortamda üretilip kaynağa bırakma gibi tedbirler alınabilir. Bu madde kapsamındaki balık geçidi, balık asansörü ve diğer yapılara ilişkin projenin onayı, kontrollüğü ve kabulü inşaat tekniği açısından Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü tarafından yapılır veya yaptırılır. Balık geçidi veya diğer göç yapıları bulunduğu halde bunları çalışır vaziyette tutmayanlara, taşıma yapmayanlara ve Tarım ve Orman Bakanlığınca öngörülen tedbirleri yerine getirmeyenlere, elli bin Türk lirası idarî para cezası verilir. (5)

2.3 6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu ile DSİ' ye verilen yasal yükümlülükler çerçevesinde "Hidrolik kaynaklar için üretim lisansı almak maksadı ile su kullanım hakkı anlaşması imzalamak üzere yapılan başvurularda, **su kullanım hakkı anlaşması** imzalanacak tüzel kişiyi belirlemeye DSİ yetkilidir." 6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu ve Su Kullanım Hakkı Anlaşması çerçevesinde "Elektrik enerjisi üretmek amacıyla yapılacak olan hidroelektrik tesislerinin baraj, regülatör, yükleme havuzu, tünel, kanal, borulu isale hattı gibi su yapısıyla ilgili kısımları ile gerçek ve tüzel kişiler tarafından yapılacak baraj, gölet ve regülatör gibi su yapılarının inşasının inceleme ve denetimi zorunludur; diğer su yapılarından sulama tesisi, isale hattı, kolektör, arıtma tesisi, taşkın ve nehir yatağı düzenlemesi gibi su yapılarının da denetim masrafları ilgililerine ait olmak üzere denetim hizmeti DSİ tarafından yapılır."(6)

2.4 10 Aralık 2019 Tarih Ve 30974 Sayılı Resmî Gazete Su Tahsisleri Hakkındaki Yönetmelik madde 7' de suyun miktarı, kalitesi, havzanın özelliği, zorunlu ihtiyaçlar ve şartlar başka türlü bir çözüm yolu gerektirmedikçe, su kaynaklarının kullanım amaçlarında aşağıdaki öncelik sırası uygulanır:

a) İçme ve kullanma suyu ihtiyacı.

b) Çevresel su ihtiyacı.

c) Tarımsal sulama ve su ürünleri yetiştiriciliği.

ç) Enerji üretimi ve sınai su ihtiyaçları.

d) Ticari, turizm, rekreasyon, madencilik, taşıma, ulaşım ile sair su ihtiyaçları.

Su kaynağının yeterli olması halinde, havza planları çerçevesinde kaynağın birden fazla amaçla kullanımına öncelik sırası gözetilerek izin verilebilir. (7)

2.5 15.06.2019 Tarih Ve 30802 Resmi Gazetede Yayınlanan Sayılı Elektrik Piyasasinda Üretim Faaliyetinde Bulunmak Üzere Su Kullanim Hakkı Anlaşması İmzalanmasına İlişkin Usul Ve Esaslar Hakkında Yönetmelik gereğince; doğal hayatın devamı için bırakılacak su miktarı ile ÇED ve mansap su hakları raporu aşağıdaki şekilde düzenlenmiştir.

Madde – (1) Şirket, dere yatağının su alma yeri mansabında doğal hayatın idamesini sağlar ve bu kesimde su haklarını karşılayacak miktardaki suyu kesintisiz ve dalgalanma yapmadan yatağa bırakır. Doğal hayat için dere yatağına bırakılacak suyun miktar ve zamanlaması, kurulacak hidroelektrik enerji üretim tesisleri ile ilgili şirket tarafından hazırlanacak ÇED raporunda/Proje Tanıtım Dosyasında belirlenir. Ancak, doğal hayatın devamı için mansaba bırakılacak su miktarı projeye esas alınan son on yıllık ortalama akımın en az %10'u kadar

olmak zorundadır. ÇED raporu sürecinde ekolojik ihtiyaçlar göz önüne alındığında bu miktarın yeterli olmayacağının belirlenmesi durumunda miktar artırılır. Belirlenen bu miktara mansaptaki diğer teessüs etmiş su hakları ayrıca ilave edilerek, kesin proje çalışmaları belirlenen bu toplam miktar dikkate alınarak yapılır. Nehirde son on yıllık ortalama akımın %10'undan daha az akım olması halinde suyun tamamı doğal hayatın devamı için mansaba bırakılır.

Bu mevzuatlarda adı geçen **Su Kullanım Hakkı Antlaşması** ile HES'lerin çevreye olan etkilerinin minimuma indirilmesi hedeflenmiştir. Örneğin;

Madde 10- Depolama ve çevirme yapılarında(regulator) Su Ürünleri Kanunu hükümleri çerçevesinde yapısal ve işlevsel balık geçiş yapılarının tesis edilmesi gerekmektedir. Şirket, balık geçidinin amacına uygun olarak çalışması için gerekli su miktarını sağlamak, balık geçidini ve balıkların ana kanala veya cebri boru girişini önleyen ızgara, filtre, sesli ve ışıklı uzaklaştırıcılar ve benzeri sistemleri sürekli çalışır halde bulundurmakla, HES tesisi balık geçidi bitişiginde tesis edilecekse ses ve gürültü düzeyi ile ilgili olarak gerekli önlemleri almakla ve DSİ'nin çakıl geçidi ve balık geçidi kapaklarıyla ilgili direktiflerine uymakla yükümlüdür.

Madde 11- Depolamalı hidroelektrik santrallarda su tutma safhasında, mansaptaki su haklan ve ihtiyaçlar göz önünde bulundurularak DSİ tarafından belirlenecek miktardaki su, şirket tarafından dere yatağına bıraktırılacaktır. Aksi takdirde dogacak bütün zararlardan şirket sorumludur.

Madde 13- Regulatör, rezervuar yapı kenarlarında, kanal veya servis yolları kenarlarlarında şirket ağaçlandırma, yeşil alan koridorları ve gerekli çevre düzenlemelerini yapacaktır.

Yine aynı anlaşmanın eki olan **Su Kullanım İzin Belgesindeki** maddelere göre

Madde 10 - İsale hatlarında kurulacak hidroelektrik enerji üretim tesislerinde enerjiye, alınacak suların belirlenmesinde ve diğer amaçlar (çevresel akış , tahsisli sular ve benzeri) için çevirme yapısından mansaba bırakılacak suyun sağlıklı ve güvenilir bir şekilde ölçülmesinde, DSİ'ce uygun görülecek yerlerde, tesis, teçhizat ve yapım bedeli tüzel kişi tarafından karşılanmak üzere DSİ'ce uygun görülen elektronik sistemli akim gözlem-debi ölçüm istasyonu DSİ kontrollüğünde tüzel kişi tarafından uzaktan algılama sistemleriyle kombine edilmiş olarak kurulacaktır. Ölçüm istasyonları, ölçümlerin tüzel kişi, DSİ Bölge Müdürlüğü ve DSİ tarafından anlık (real-time) izlenebileceği şekilde kurulacak ve işletilecektir.Tüzel kişi gözlem istasyonlarını sürekli olarak çalışır vaziyette tutacak, koruma ve güvenliğini sağlayacaktır. Ölçüm istasyonlarının bakım ve onarımı ile gerektiğinde yenilenmesi işleri, tüzel kişi tarafından yapılacak ve DSİ yetkili elemanlarınca kontrol edilecektir. Herhangi bir sebeple işlevini kaybeden ölçüm istasyonunun yerine geçici ölçüm istasyonu koyacak ve bu durumu DSİ'ye bildirecektir. Tüzel kişi, söz konusu ölçüm istasyonunun yenisini ise DSİ onayı ve kontrollüğünde 15 (onbeş) gün içinde kuracaktır.[8]

2.6 Tarım Ve Orman Bakanlığı Doğa Koruma Ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü 28.10.2013 Tarihli HES İzleme Ve Kontrol Komisyonuna Dair Genelge (2013/15) ile su kaynaklarımızın sürdürülebilir şekilde geliştirilmesi, korunması ve yönetilmesi vizyonu ile hareket edilmekte olup, bu kapsamda dere yatakları ve çevresindeki ekosistemin, flora ve faunanın korunması hedeflenmiştir. Yatırım sermayesi özel sektör tarafından karşılanan hidroelektrik enerji üretim tesislerinin, belirlenen birtakım olumsuzlukların tespiti ve giderilmesi maksadı ile **Tarım ve Orman Bakanlığı'na bağlı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü koordinasyonunda Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü ve Orman Genel Müdürlüğü, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı İl Müdürlükleri teşkilatı** teknik çalışanlarından her il için ayrı ayrı oluşturulacak heyetler ile gerek inşa safhasında, gerekse işletme döneminde genel bir izleme ve kontrole tabi tutulması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bu genelge ile;

1-İnşa sırasında, su iletim kanalları, tünel, cebri boru güzergahları, regülatör, baraj ve HES tesisi için gerçekleştirilen hafriyatın gelişi güzel depo edilmemesi, orman alanlarında tahribatların oluşturulmaması, hafriyatların dere yataklarına;

* İçme suyu havzalarında yapılan/yapılacak faaliyetler için 31.12.2004 tarih ve 25687 Sayılı Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğinin 16-20 nci maddelerine ve yürürlükte bulunan Özel Hükümlere,

*17.10.2012 tarih ve 28444 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan "Su Havzalarının Korunması ve Yönetim Planlarının Hazırlanması Hakkında Yönetmeliğe,

*30.11.2012 tarih ve 28483 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan Yüzeysel Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliğine,

*07.04.2012 tarih ve 28257 sayılı Resmi Gazete' de yayımlanarak yürürlüğe giren Yeraltı Sularının Kirlenmeye ve Bozulmaya Karşı Korunması Hakkında Yönetmeliğe,

*09.09.2006 tarih ve 26284 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan 2006/27 sayılı "Dere Yatakları ve Taşkınlar" konulu Başbakanlık genelgesine,

* DSİ Genel Müdürlüğü İşletme ve Bakım Dairesi Başkanlığı'nın 2005/29 sayılı "Taşkın Tesisleri" konulu genelgesine,

* DSİ Genel Müdürlüğü İşletme ve Bakım Dairesi Başkanlığı'nın 2005/2 sayılı "Taşkın" konulu genelgesine,

* DSİ Genel Müdürlüğü İşletme ve Bakım Dairesi Başkanlığı'nın 2006/15 sayılı "Taşkın Tesisleri" konulu genelgesine aykırı olarak boşaltılmaması ve dere kesitlerinin daraltılmaması, dere akış rejimlerinin değiştirilmemesi, dere yatağı içinde sürüklenerek mansapta biriken serbest malzemenin dere yatağı ve köprü kesitlerini daraltarak taşkınlara sebebiyet vermemesi, söz konusu serbest malzemenin su kalitesini ve dolayısı ile canlı hayatını olumsuz etkilememesi;

2- HES inşaatlarında onaylı projelerinde olmayan, projenin çevresel etki değerlendirmesinin yapıldığı "Proje Tanıtım Dosyasında" ya da "Çevresel Etki Değerlendirme (ÇED) Raporunda" belirtilmeyen, dolayısı ile gerekli yasal izinler alınma şekilde santral binası mansabından itibaren nehir taraması yapılarak dere talveg kotunun düşürülmemesi, akış rejiminin değiştirilmemesi, canlı hayatının olumsuz etkilenmemesi,

3- Dere yatakları ve çevresindeki ekosistemin, flora ve faunanın varlığını sürdürebilmesi için dere yatağına sürekli olarak bırakılması gereken asgari miktarda suyun bırakılması ya da projenin çevresel etki değerlendirmesinde belirtilen çevresel akış miktarında su bırakılması,

4- Balık geçitlerinin projesine uygun yapılmaları ve çalıştırılmaları,

5- Şantiyelerde özellikle ulaşım ve taşıma yollarında toz önleme konusunda gerekli tedbirlerin alınması,

6- Katı atıkların, sıvı atıkların ve atık yağların kontrolleri konusunda mevzuat hükümlerine uygun hareket edilmesinin takibi için bu izleme ve kontrollerin rutin olarak sürdürülmesi gerekliliği öngörülmüştür. **(9)**

2.7 Enerji Amaçlı Tesislerde Çevresel Güvenlik ve Koruma Önlemleri Rehberi ise DSİ Genel Müdürlüğü tarafından yayınlanan bir rehber doküman olup; HES'lerin sebep olabileceği tehlikelere karşı, insan ve iş sağlığı güvenliği açısından alınan güvenlik ve koruma önlemlerinden bahsetmektir. Hazırlanan bu Rehber ile; Türkiye genelinde belli bir standardın oluşturulması ve kriterlerin belirlenmesi ile HES'lerin işletilmesi sırasında rezervuar alanları ve HES mansabında maruz kalınabilecek tehlikelere karşı uygulanacak koruyucu güvenlik önlemlerinin alınması ve uygulamalarda birlikteliğin temini hedeflenmektedir.(10)

2.8 6831 Sayılı Orman Kanunu ile devlete ait veya başkasına ait olan bütün ormanlar, bu Kanunun hükümleri dairesinde Orman Genel Müdürlüğünün murakabesine tabidir. (11)

* Orman Kanununun 17/3 ve 18.madde Uygulama Yönetmeliği ve

* 23.08.2012 tarih 28390 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanmış olan Ağaçlandırma Yönetmeliği kapsamında orman arazilerine ait izin için gerekli bedel ve teminatlarla ilgili hususlar takip edilirken, yapılan kontrollerle verilen izinlerin maksadı dışında kullanılıp kullanılmadığı izlenir, ağaçlandırma ve erezyonun önlenmesi ile ilgili tavsiyelerde bulunulur.

2.9 2872 Sayılı Çevre Kanunu baz alınarak baraj ve hidroelektrik santrallerin çevreye olabilecek etkileri inşaat aşaması, işletme aşaması ve kapanış sonrası olası etkileri Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından değerlendirilmektedir. Bu kanuna göre kirlenme ve bozulmanın önlenmesi, sınırlandırılması, giderilmesi ve çevrenin iyileştirilmesi için yapılan harcamalar kirleten veya bozulmaya neden olan tarafından karşılanır. (12)

İnşaat, işletme ve faaliyete kapandıktan sonraki aşamada oluşabilecek çevresel etkiler ile ilgili yönetmeliklere de aşağıda yer verilmiştir. Bu yönetmelikler, yapılan kontrollerde dikkate alınarak, çevresel etkilerin minimize edilmesi hedeflenmektedir.

* 18.03.2004 tarih ve 25406 sayılı Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği

* 11 08.06.2010 tarihli ve 27605 sayili "Toprak Kirliliğinin Kontrolü Ve Noktasal Kaynakli Kirlenmiş Sahalara Dair Yönetmelik

* 12 03.07.2009 tarih ve 27277 sayılı Sanayi Kaynakli Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği

* 11.03.2017 tarih ve 30004 sayili Egzoz Gazi Emisyonu Kontrolü Yönetmeliği

* 04.06.2010 tarih ve 27601 sayılı Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi Ve Yönetimi Yönetmeliği

2.10 02.04.2015 Tarih Ve 29314 Sayılı Resmi Gazetede Yayımlanarak Yürürlüğe Giren Atık Yönetimi Yönetmeliği atık üreticisinin ve atık sahibinin yükümlülüklerini açıklamaktadır. HES işletmeleri de potansiyel bir atık üreticisi olduğundan mevzuata uymakla yükümlüdürler. Atık üreticisi; atık üretimini en az düzeye indirecek şekilde gerekli tedbirleri almakla, atıklarını ayrı toplamak ve geçici depolamakla, atıklarını bu Yönetmelik hükümleri ve Bakanlıkça belirlenen esaslara uygun olarak izin/çevre lisansı almış atık işleme tesislerine göndermekle, atığın niteliğinin belirlenmesi, toplanması, taşınması ve işlenmesi için yapılan harcamaları karşılamakla, yükümlüdür. (13)

2.11 21.12.2019 Tarih Ve 30985 Sayılı Atık Yağların Yönetimi Yönetmeliği ile atık yağ üreticisinin yükümlülükleri belirlenmiştir. Atık yağ üreticileri; atık yağ oluşumunu en az düzeye indirecek şekilde gerekli tedbirleri almakla, geçici depolama alanı kurmakla, atık yağları yetkilendirilmiş kuruluşlara veya Bakanlıktan toplama yetkisi almış rafinasyon tesislerine teslim etmekle yükümlüdür (14). Bu yönetmeliğe ilave olarak

* 06.06.2015 tarih ve 29378 sayılı Bitkisel Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği
* 31.08.2004 tarih ve 25569 sayılı Atik Pil Ve Akümülatörlerin Kontrolü Yönetmeliği
* 25.01.2017 tarih ve 29959 sayılı Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği
*22.05.2012 tarih ve 28300 sayılı Atık Elektrikli Ve Elektronik Eşyaların Kontrolü Yönetmeliği
* 12.07.2019 tarih ve 30829 Sayılı Sıfır Atık Yönetmeliği

hem inşa hem işletme aşamasındaki kontrollerde dikkate alınmakta; atıkların azaltılması, geri kazandırılması ve uygun şekilde bertaraf edilmesi hedeflenmektedir.

2.12 23.01.2010 Tarih Ve 27471 Sayılı Madencilik Faaliyetleri İle Bozulan Arazilerin Doğaya Yeniden Kazandırılması Yönetmeliği inşaa aşamasında yapılan kazı ve malzeme temini ile ilgili faaliyetlerle ilgili uyulması gereken bir yönetmeliktir. Bu Yönetmelik, orman sayılan alanlar, tarım veya mera alanları, su kaynaklarının korunması ile ilgili mevzuata uyulması şartı ile baraj ve gölet projelerinde rezervuar altında kalacak alanlar dışındaki madencilik faaliyetleri, malzeme ve toprak temini için arazide yapılan kazılar, dökümler ve doğaya bırakılan atıklarla bozulan doğal yapının yeniden kazanılmasına ilişkin usul ve esasları kapsar. Doğaya yeniden kazandırma çalışmaları için hazırlanan veya bu amaçla seçilen projenin uygulanması sonucunda ortaya çıkacak yapının kullanımında, yerel koşullara ve çevre koşullarına uyum sağlanır ve tüm canlılar için güvenli bir ortam oluşturulur. (15)

2.13 31.12.2004 Tarih ve 25687 Sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği ile suyu kirletecek herhangi bir deşarjın önlenmesi hedeflenmiştir. Yönetmeliğe göre işletme paket arıtma tesisi veya fosseptik kullanmak zorundadır. Evsel atık sularını sızdırmaz nitelikteki fosseptikte toplayan ve vidanjör vasıtası ile atıksu altyapı tesislerine veren atıksu kaynakları, atıksu yönetimleriyle yaptıkları protokolü ve vidanjörle atıksu bertarafı sonucunda aldıkları belgeleri beş yıl süreyle saklamak ve denetimler sırasında görevlilere beyan etmek zorundadırlar. (16)

3.Sonuç

HES lerin inşası ile akarsu ekosistemi kaybolur ve göl ekosistemine dönüşür, nehir sürekliliği kesintiye uğrar, balık ve diğer tür çeşitliliği değişir, bazı türlerin habitatları kaybolur,

bunlarla birlikte rezervuar alanında su ürünlerinin gelişimi için yeni bir alan oluşur (Foto 1). Bu habitatlara uyumlu türlerin popülasyonu artar. Nehrin sürekliliğinin sağlanması, türlerin neslinin devamı ve genetik çeşitliliğin sürdürülmesi için balık geçitleri hayati önemdedir. Türlerin göç döngüsünün ve neslinin sürdürülmesi balık geçitlerinin işlevsel bir şekilde yapılması ve işletilmesi ile mümkündür. Sadece su değil orman varlıkları ve doğal hayat da bu işletmelerden etkilenebilir. Bununla birlikte yapılan iyileştirmelerle doğal hayat yeniden bu yeni yapılara uyum sağlamaktadır. Örneğin HES rezervuarını su kaynağı veya sulak alan olarak kullanan su kuşları ve yabani keçi, domuz gibi hayvan varlığının arttığı gözlenmiştir. Ağaçlandırma çalışmaları ile HES çevrelerinde iyileşme sağlanmaktadır. Sadece elektrik üretimi değil, istihdam da yaratan HES'ler aracılığı ile inşaat, işletme ve faaliyete kapandıktan sonraki aşamalarda öngörülen çevresel etkiler, alınacak önlemler ile birlikte dengeli bir planlama yapılması, çevre dengesi ve doğal çevrenin gözetilmesi durumunda, sudan elektrik enerjisi üretmek yenilenebilir ve temiz bir enerji kaynağı olarak değerlendirilebilir.

Mevzuatlarla sıkı sıkıya düzenlenen HES'lerin çevreye olan zararlarının minimuma indirilmesi konusu, her ilde Tarım ve Orman Bakanlığı'na bağlı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü koordinasyonunda Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü, Orman Genel Müdürlüğü, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı İl Müdürlükleri teşkilatı teknik personellerinden oluşturulan ekiplerce rutin kontroller ile sürekli olarak takip edilmektedir. Bu mevzuatlar ve kontroller HES işletme sahası içerisinde;

1-Ağaçlandırma çalışmalarında artış (Foto 2)

2-Balık geçidinin çalıştırılarak, balık göçünün sağlanması (Foto 3)

3-Sulama suyu ve can suyu debisinin düzenli olarak bırakılması ve online akım gözlem istasyonlarının aktif tutulması (Foto 4)

4-Su kirliliğinin ve katı atık kirliliğinin önlenmesi (Foto 5-6)

5-Güvenlik ve koruma önlemlerinde artış (Foto 7-8)

6-Dere yatağındaki bozulmaların önlenmesi

Gibi çevresel açıdan faydalı sonuçlar doğurmaktadır.

Tüm bu mevzuatlar, uygulamakla yükümlü olan HES işletmelerinin çevresel farkındalığını artırmaları açısından önemlidir. Ülkemizin enerji açısından dışa bağımlılığını azaltan hidroelektrik santrallerde genel olarak bu çevresel mevzuatlara uyulduğu görülmektedir. Yeterli ve gerekli önlemlerin alınmadığı tesislerde idari yaptırım uygulanmaktadır. Devletimizin ilgili kurumları tarafından yapılan rutin kontroller ile verilen ve tavsiye ve uygulama kararları doğrultusunda HES'lerin çevreye olan etkilerinin azaltıldığı ve iyileştirmelerin sağlandığı bir gerçektir. Elektrik üretimi başta olmak üzere HES'lerin ekonomimize olan faydaları dikkate alındığında, çevresel açıdan yeterli ve gerekli önlemler alındığı takdirde, vazgeçilemez bir enerji kaynağı olduğu savunulmaktadır.

Foto 1: Doğankaya HES Rezervuar Alanı Adıyaman, 2020, F.A.KAPLAN)

Foto 2: Murat HES Ağaçlandırma Çalışmaları (Adıyaman,2020, F.A.KAPLAN)

Foto 3: Adıyaman Hidroelektrik Santralleri Balık Geçidi Örnekleri (Adıyaman, 2020, F.A.KAPLAN)

Foto 4: Online Akım Gözlem İstasyonu ile Can Suyu Debisi Takibi (Adıyaman,2020, F.A.KAPLAN)

Foto 5: Doğankaya Hidroelektrik Santrali Paket Arıtma Tesisi (Adıyaman, 2020, F.A.KAPLAN)

Foto 6: Erkenek Hidroelektrik Santrali Geçici Depolama Alanı (Adıyaman, 2020, F.A.KAPLAN)

Foto 7: Kaleköy HES Koruma ve Güvenlik Önlemleri (Adıyaman, 2020, F.A.KAPLAN)

Foto 8: Pınar HES Koruma ve Güvenlik Önlemleri (Adıyaman, 2020, F.A.KAPLAN)

Kaynakça

1- 2019 Yılı DSİ Haritalı İstatistik Bülteni
2- Türkiye'de Hidroelektrik Santraller'in Durumu (Hes'ler) Ve Çevre Politikaları Bağlamında Değerlendirilmesi, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 2012
3- Ekosistem Esaslı Su Kalitesi Yönetimi, Tarım Ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, 2019
4- 4 Sayılı Cumhurbaşkanı Kararnamesi,30479 Sayılı Resmi Gazete
5- 1380 Sayılı Su Ürünleri Kanunu,13799 Sayılı Resmi Gazete
6- 6446 Sayılı Elektrik Piyasası Kanunu,28603 Sayılı Resmi Gazete
7- Su Tahsisleri Hakkındaki Yönetmelik, Dsi,30974 Sayılı Resmi Gazete
8- Elektrik Piyasasında Üretim Faaliyetinde Bulunmak Üzere Su Kullanım Hakkı Anlaşması İmzalanmasına İlişkin Usul Ve Esaslar Hakkında Yönetmelik, Tarım Ve Orman Bakanlığı, 30802 Sayılı Resmi Gazete
9- HES İzleme Ve Kontrol Komisyonuna Dair Genelge (2013/15), Tarım Ve Orman Bakanlığı Doğa Koruma Ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü
10- Enerji Amaçlı Tesislerde Çevresel Koruma, Güvenlik Ve Uyarı Sistemleri Rehberi (2015), Tarım Ve Orman Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
11- 6831 Sayılı Orman Kanunu
12- 2872 Sayılı Çevre Kanunu
13- Atık Yönetimi Yönetmeliği, Çevre Ve Şehircilik Bakanlığı, 29314 Sayılı Resmi Gazete
14- Madencilik Faaliyetleri İle Bozulan Arazilerin Doğaya Yeniden Kazandırılması Yönetmeliği, Çevre Ve Şehircilik Bakanlığı, 27471 Sayılı Resmi Gazete
15- Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, Çevre Ve Şehircilik Bakanlığı, 25687 Sayılı Resmi Gazete

İLETKEN MADDELER YARDIMIYLA KONVANSİYONEL ANAEROBİK ÇÜRÜTME SİSTEMİNİN PERFORMANSININ ARTIRILMASI

Yasin Odabaş[1], Yasemin Dilşad Yılmazel[2]*

[1]*Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü 06800, Ankara, Türkiye, yasin.odabas@metu.edu.tr*

[2]*Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü 06800, Ankara, Türkiye, dilsad@metu.edu.tr*

Özet

Konvansiyonel anaerobik çürütme (AÇ) hem biyokütlenin arıtılması hem de metan gazı üretimiyle global karbon döngüsüne katkı sağlaması amacıyla uzun yıllardır uygulanan bir prosestir. Konvansiyonel AÇ prosesinin efektif bir şekilde çalışmasında bakterilerin ve metanojenlerin arasındaki sintrofik etkileşimler temel oluşturmaktadır. Yakın zamanda yapılan araştırmalar bakteri ve metanojenik arkelerin iletken maddeler yardımıyla türler arası doğrudan elektron transferini (TADET) daha efektif ve hızlı bir şekilde gerçekleştirdiklerini öne sürmektedir (Rotaru ve ark., 2014). Bu çalışmada iki farklı iletken maddenin granül aktif karbon (GAK) ve hematit (Fe_2O_3), sığır gübresi beslenen AÇ prosesine etkisi incelenmiştir. Bu iletken maddelerin farklı dozlarda kullanılmasıyla elde edilen sonuçları AÇ prosesinde metan verimine ve üretim hızına olan etkileri açısından değerlendirdik (Set 1). Çalışmamızda GAK üç farklı (20 g/L, 40 g/L ve 60 g/L) ve hematit ise iki farklı (20 mM Fe ve 50 mM Fe) konsantrasyonda reaktörlere eklenmiştir. 20 g/L GAK içeren reaktörde 725 ml CH_4 kümülatif metan üretimi elde edilmiş olup bu değer iletken madde eklenmeyen kontrol reaktöründe elde edilen metan hacminden (561 ml CH_4) %29 daha fazladır. 50 mM Fe içeren hematit eklenen reaktörde metan verimliliği iletken madde içermeyen kontrol reaktörünün metan verimliliğinden %31 daha fazladır. Aynı zamanda kontrol reaktörüne kıyasla GAK (40 g/L) reaktörünün başlangıç fazı süresini %17 azalmıştır. İletken madde eklenmesinde gözlenen iyileşmenin sebebinin iletkenlik yerine mikroorganizmalara sağladığı yüzey alanı kaynaklı olup olmadığının tayini için kontrol reaktörlerine GAK yerine aynı tanecik boyutuna sahip kum parçacıklar (iletken olmayan madde) eklenmiştir. Yine performansa karıştırmanın etkisini anlamak amacıyla reaktörler karıştırma olduğu ve olmadığı durumlarda işletilmiştir. Karıştırma olduğu durumda konvansiyonel AÇ reaktörüne göre GAK ve kum parçacıklarda metan üretimi artışı gözlenirken, karıştırma olmadığı durumda kontrol ve GAK içeren reaktörlerde ciddi bir fark gözlemlenmemiştir.

Anahtar kelimeler: Anaerobik çürütme, metan, granül aktif karbon (GAK), hematit, türler arası doğrudan elektron transferi (TADET)

Abstract

Conventional anaerobic digestion (AD) is a process that has been applied for many years in order for both biomass treatment and contribution to global carbon cycle by methane production. The syntrophic interactions between bacteria and methanogens is the basis for conventional AD process to work effectively. Recent studies suggest that bacteria and methanogenic archaea perform direct interspecies electron transfer (DIET) more effectively and faster via conductive material. In this study, we investigated the effect of two different conductive materials i.e. granular activated carbon (GAC) and hematite (Fe_2O_3) on anaerobic digestion of cow manure. We also evaluated the effect of different concentrations of conductive materials on methane yield and methane production rate (Set 1). Three different GAC concentrations (20 g/L, 40 g/L ve 60 g/L) and two different hematit concentrations (20 mM Fe ve 50 mM Fe) were added into the reactors in our study. Cumulative methane production of 20 g/L GAC reactor was 725 ml CH_4 which was 29% times higher than control reactor (561 ml CH_4). Methane yield of 50 mM Fe hematite reactor was 31% higher than control reactor. Also, 17% decrease of lag time in 40 g/L GAC reactor were obtained as compared to control reactor. In order to understand whether conductive materials enhance performance of AD because of surface area rather than conductivity or not, we added GAC and the same size of sand particles into the reactors. Also, reactors were operated in both mixing and non-mixing conditions to understand the effect of mixing on the performance. In mixing conditions, GAC and sand particles enhanced methane production with respect to conventional AD. On the other hand, there was no significant different between GAC and conventional AD reactor in terms of methane production in non-mixing condition.

Keywords: Anaerobic digestion, methane, granular activated carbon (GAC), hematite, direct interspecies electron transfer (DIET)

1. Giriş

Konvansiyonel anaerobik çürütme (AÇ) prosesi hem biyokütlenin arıtılması hem de metan gazı üretimiyle global karbon döngüsüne katkı sağlaması amacıyla uzun

yıllardır uygulanan bir sistemdir. AÇ prosesi sonucunda yaklaşık olarak %60-70 metan ve %30-40 karbondioksit gazı içeren biyogaz üretilebilir (Speece, 1996). Bu proses yavaş büyüyen anaerobik mikroorganizmaların aktivitesine bağlıdır. Mikroorganizmaların yavaş büyümesi anaerobik metabolizmadan kazanılan enerjinin az olması ve bu enerjinin de farklı gruplar tarafından tüketiliyor olmasından kaynaklıdır. AÇ prosesinin aşamaları sırasıyla hidroliz, asidojenesis, asetojenesis ve metanojenesis basamaklarından oluşmaktadır. Konvansiyonel AÇ prosesinin efektif bir şekilde çalışmasında bakterilerin ve metanojenlerin arasındaki sintrofik etkileşimler temel oluşturmaktadır. Bu mikroorganizmalar enerji ihtiyaçlarını karşılayabilmek açısından kendi aralarında elektron transferi gerçekleştirirler. Yakın zamanda yapılan araştırmalar bakteri ve metanojenik arkealerın iletken maddeler yardımıyla türler arası doğrudan elektron transferini (TADET) gerçekleştirdiklerini öne sürmektedir (Rotaru ve ark., 2014).

Bu çalışmada karbon ve demir bazlı olmak üzere, iki farklı iletken maddenin sığır gübresinin konvansiyonel anaerobik olarak çürütülmesi prosesine etkisi incelenmiştir. Çalışmamızda granül aktif karbon (GAK) ve hematit (Fe_2O_3) iletken maddeler olarak seçilmiştir. Deneysel çalışmamızda iletken maddelerin farklı dozlarda kullanılmasıyla elde edilen sonuçları konvansiyonel AÇ prosesinin performansı açısından değerlendirdik. Bunlara ek olarak iletken maddenin konvansiyonel AÇ prosesinde etkisinin mikroorganizmalara sağladığı yüzey alanından mı yoksa sistemin iletkenliğine olumlu anlamda yaptığı katkıdan dolayı mı sorusu üzerinde durduk. Bu kapsamda iletken madde (GAK) içeren reaktörler ile aynı parçacık boyutunda fakat iletken olmayan madde (kum parçacıklar) eklenen reaktörlerden oluşan kontrol seti işlettik. Yine deneylerimizde karıştırma uygulanması ve uygulanmaması koşulu ile anaerobik reaktörler işletilerek, iletken maddelerin performansa etkilerinin karıştırmaya bağlı değişimi gözlemlenmiştir.

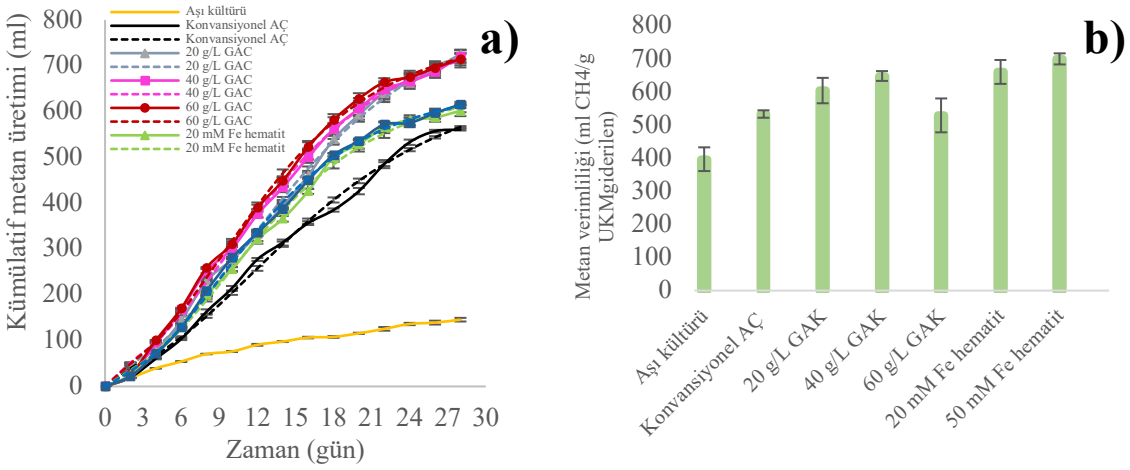
2. Materyal Metod

Deneylerde kullanılan aşı kültürü Eskişehir Atıksu Arıtma Tesisinin AÇ tanklarının içinden sığır gübresi ise Polatlı'da bulunan bir biyogaz tesisinin giriş havuzundan alınmıştır. 250 ml serum şişeler reaktörlerin işletimi için kullanılmış ve aktif hacim 150 ml olarak belirlenmiştir. Set 1 kapsamında sadece aşı kültürü bulunan reaktörler, konvansiyonel AÇ reaktörleri (iletken madde içermeyen), GAK içeren reaktörler (3 farklı konsantrasyonda 20 g/L, 40 g/L ve 60 g/L) ve hematit içeren reaktörler (2 farklı konsantrasyonda 20 mM Fe ve 50 mM Fe) kurulmuştur. Reaktörler B/A (Aşı-Besin oranı) oranı 1 tutularak (uçucu katı madde (UKM) bazlı) üçlü olarak 35 ^{0}C'de inkübe edilmiştir. Reaktörler inkübasyon süresince otomatik bir çalkalayıcı yardımıyla 150 rpm hızda çalkalanmış ve metan üretimleri izlenmiştir. Reaktörlerin kümülatif metan üretimleri 3 defa arka arkaya %10'un altına düştüğünde reaktör işletimi durdurulmuştur. Set 2 kapsamında da sadece aşı kültürü bulunan reaktörler, konvansiyonel AÇ reaktörleri (iletken madde içermeyen), GAK içeren reaktörler (20 g/L) ve kum içeren reaktörler (20 g/L) kurulmuştur. Reaktörlerde aynı şekilde B/A (Aşı-Besin oranı) oranı 1 tutulmuş ve 35 ^{0}C'de inkübe edilmiştir. Bu sette reaktörlerin karıştırılma etkisini de incelemek

amacıyla 150 rpm hızla çalkalanan ve çalkalanmayan reaktörler kurulmuştur. Reaktör işletimleri sırasında üretilen toplam biyogaz su yer değiştirme cihazı yardımıyla, biyogazın kompozisyonu ise gaz kromatografisi ile belirlenmiştir.

3. *Sonuç*

Set 1 kapsamında iletken madde içeren reaktörlerde konvansiyonel AÇ reaktörlerine kıyasla metan üretimi açısından bir artış gözlemlenmiştir. GAK içeren reaktörlerde (sırasıyla 20 g/L, 40 g/L ve 60 g/L) 725 ml CH_4, 720 ml CH_4 ve 715 ml CH_4 kümülatif metan üretimi elde edilmiş olup bu değer konvansiyonel AÇ reaktöründe 561 ml CH_4 olarak elde edilmiştir (Şekil 2-a). Metan verimliliği hesap edildiğinde GAK reaktörlerinde (sırasıyla 20 g/L ve 40 g/L) konvansiyonel AÇ rektörüne göre %13 ve %26 artış kaydedilmiştir (Şekil 2-b). Bununla beraber hematit içeren reaktörlerde ise (sırasıyla 20 mM Fe ve 50 mM Fe) 662 ml CH_4/g $UKM_{giderilen}$ ve 701 ml CH_4/g $UKM_{giderilen}$ metan verimliliği elde edilmiştir. Bu değerler ortalama olarak 534 ml CH_4/g $UKM_{giderilen}$ verim elde edilen konvansiyonel AÇ reaktörünün üzerindedir.



***Şekil 2**. a) Set 1 boyunca kümülatif metan üretimi b) Set 1'e ait metan verimliliği (kesikli çizgiler her sete ait Gompertz modellemesi eğrisini belirtmektedir)*

Reaktör performanslarının hesaplanması için Gompertz denklemi ile kümülatif metan üretimleri modellenmiştir. İletken madde ile Gompertz modellemesinde hesaplanan performans parametrelerinde de bir artışa yol açmıştır (Tablo 1).

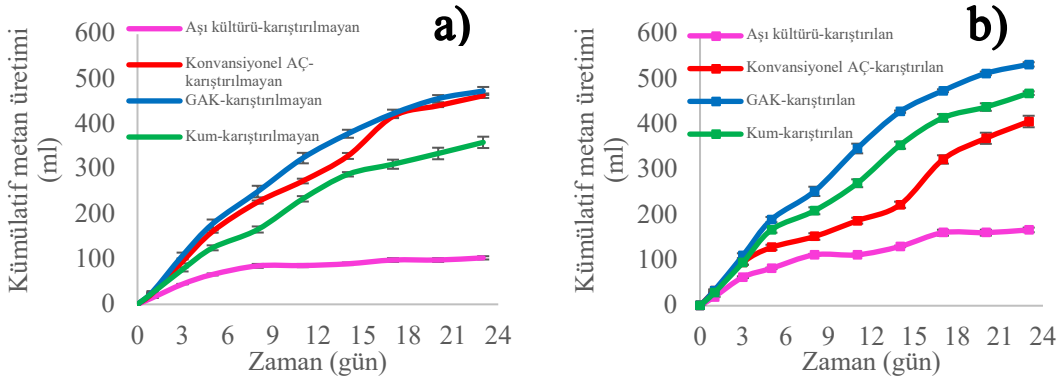
***Tablo1**. Gompertz modellemesine ait sonuçlar*

	Konvansiyonel AÇ	20 g/L GAK	40 g/L GAK	60 g/L GAK	20 mM Fe hematit	50 mM Fe hematit
P (ml)	671	828	777	767	657	648
Rm (ml/gün)	27	36	38	40	34	36
λ (gün)	2.4	2.5	2.0	2.1	2.5	2.5

P: Metan üretim potansiyeli **(mL) ; Rm:** Maksimum metan üretim hızı **(mL/gün); λ:** Başlangıç fazı süresi **(gün)**

Set 2 kapsamında karıştırılmayan reaktörler içinde konvansiyonel AÇ reaktörü (464 ml CH_4) ve GAK içeren reaktör (474 ml CH_4) arasında metan üretimi açısından

ciddi bir fark gözlenmemiştir (Şekil 3-a). Kum parçacık içeren reaktörde (360 ml CH_4) ise metan üretimi bir miktar azalmıştır. Diğer yandan 150 rpm hızda karıştırılan reaktörlerde ise GAK ve kum parçacık içeren reaktörler (sırasıyla 533ml CH_4 ve 470 ml CH_4,) konvansiyonel AÇ reaktörüne (407 ml CH_4,) kıyasla daha fazla metan üretmiştir (Şekil 3-b).



***Şekil 3**. Set 2 boyunca kümülatif metan üretimi a) karıştırılmayan reaktörler içim b)karıştırılan reaktörler için*

4. *Tartışma*

Farklı iletken maddelerin farklı miktarlarda kullanılmasının incelenmesi amacıyla yürütülen Set 1 kapsamında, GAK içeren reaktörlerde (sırasıyla 20 g/L, 40 g/L ve 60 g/L) kümülatif metan üretimi açısından konvansiyonel AÇ reaktörüne kıyasla sırasıyla %29, %28 ve %27 daha fazla metan üretilmiştir (Şekil 2-a). Metan üretiminin artışı GAK'ın mikroorganizmaların büyümesi için sağladığı geniş yüzey alanı veya mikroorganizmalar arası elektron transferini hızlandırması ile açıklanabilir (Johnravindar ve ark., 2020). Şekil 3-b'de belirtildiği üzere 50 mM Fe hematit metan verimliliğini konvansiyonel AÇ reaktörüne kıyasla %31 artırmıştır. Bir başka çalışmada da hematitin metan üretiminde artışa sebep olduğu gözlemlenmiş olup bu artışın sebebi hematitin TADETe imkân sağlamasıyla açıklanabilir, ancak bunun ispatı için daha detaylı bir deneysel çalışma yürütülmelidir (Zhuang ve ark. 2015). Gompertz modellememizin sonuçları değerlendirildiğinde ise GAK (60 g/L) ve hematitin (50 mM Fe) metan üretim hızını konvansiyonel AÇ prosesine kıyasla sırasıyla %48 ve %33 artırdığı görülmüştür. Aynı zamanda konvansiyonel AÇ reaktörüne kıyasla GAK (40 g/L) reaktörünün başlangıç fazı süresini %17 azalmıştır. Bu da yine TADET sayesinde hızlanan bir degradasyon prosesine işaret etmektedir.

İletken maddenin metan verimliliğine etkisinin ve karıştırmanın incelenmesi için kurulan Set 2 kapsamında, karıştırma olmadığı durumda iletken maddenin metan üretimi açısından olumlu bir etkisi gözlemlenmemiştir (Şekil 3-a). Öte yandan 150 rpm hızda karıştırma uygulanan reaktörlerde ise sırasıyla GAK ve kum içeren reaktörlerin konvansiyonel AÇ reaktörüne kıyasla metan üretimleri %31 ve %15 daha fazladır (Şekil 3-b). GAK ve kum parçacıkları içeren reaktörlerin metan üretimi açısından farklılık göstermesi GAK'ın sağladığı yüzey alanından ziyade sahip olduğu iletkenlik özelliğine dayanmaktadır (Zhang et al 2017).

5. ***Kaynakça***

Johnravindar, D., Liang, B., Fu, R., Luo, G., Meruvu, H., Yang, S., Yuan, B., and Fei, Q., 'Supplementing granular activated carbon for enhanced methane production in anaerobic co-digestion of post-consumer substrates' *Biomass and Bioenergy*, vol. 136, 105543. https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105543, 2020

Rotaru, A. E., Shrestha, P. M., Liu, F., Markovaite, B., Chen, S., Nevin, K. P., and Lovley, D. R., 'Direct Interspecies Electron Transfer between Geobacter metallireducens and Methanosarcina barkeri' *Applied and Environmental Microbiology* vol. 80, pp. 4599–4605, 2014

Speece, R. E., Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewaters. Archae Press, Nashville, Tennessee, USA, 1996

Zhang, S., Chang, J., Lin, C., Pan, Y., Cui, K., Zhang, X., Liang, P., and Huang, X., 'Enhancement of methanogenesis via direct interspecies electron transfer between Geobacteraceae and Methanosaetaceae conducted by granular activated carbon' *Bioresource Technology*, vol 245, pp. 132–137. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.08.111, 2017

Zhuang, L., Tang, J., Wang, Y., Hu, M., and Zhou, S., 'Conductive iron oxide minerals accelerate syntrophic cooperation in methanogenic benzoate degradation' *Journal of Hazardous Materials*, vol. 293, pp. 37–45. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2015.03.039, 2015

ARITMA ÇAMURUNUN TERMAL KURUTMA ÖNCESİ YAPIŞKANLIK YAPISININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Emine Çokgör[1], Güçlü Insel[1], Didem Güven[2], Gülsüm Emel Zengin[1], Didem Okutman-Taş[1], Gökşin Özyıldız[1], Ece Sağır Kurt[3], Ezgi Atlı[3]

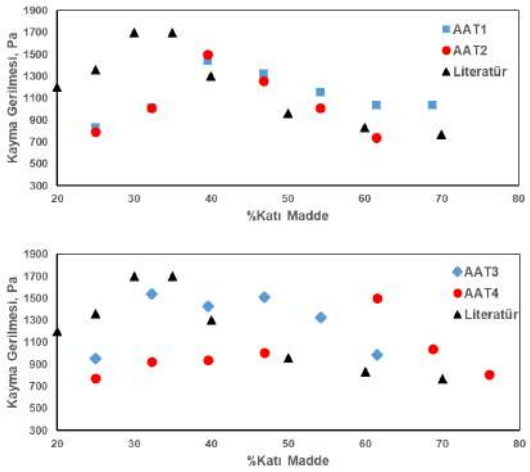
[1]İstanbul Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 34469, Sarıyer/İstanbul ubay@itu.edu.tr

[2]Istanbul Teknik Universitesi, NOVA TTO, 34469, Istanbul.

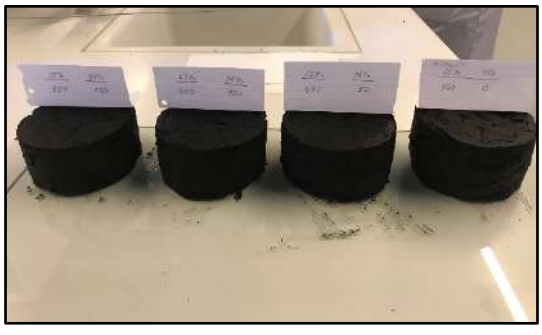
[3]Istanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi, Strateji Geliştirme Dairesi, 34403, Kağıthane, İstanbul.

Özet

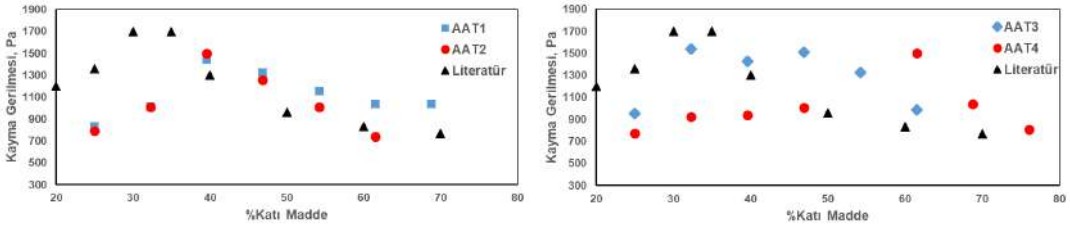
Arıtma çamurunun kurutma prosesleri sırasındaki yapışkan davranışı, çamurun pratikte başarılı bir şekilde kurutulması için kritik bir öneme sahiptir. Çamurun yapışkan yapısı konusunda çok fazla çalışma bulunmamakta, literatürdeki mevcut çalışmaların çoğunun susuzlaştırma ve kurutma teknolojileri üzerine olduğu görülmektedir. Susuzlaştırılmış çamurun yapışkan özelliği çamur kurutma ve yakma proseslerinde çeşitli sorunlara yol açmaktadır. Susuzlaştırılmış aktif çamur numunesinde kurutma veya yakma prosesinde çamurun mekanik ekipmana yapışmayacak katı madde içeriğinin ve çamurun çekme dayanımının (kayma dayanımı) belirlenmesi gereklidir. Kurutma prosesinin seçimi ve tasarlanmasında önem taşımaktadır. Bu çalışmada 4 farklı kentsel atıksu arıtma tesisinin kurutulmuş çamurlarının yapışkan özelliği çekme dayanımı deneyleri ile değerlendirilmiş ve çamurun "yapışkanlığı" ile ilgili işletme sorunlarının üstesinden gelmek için uygulanan stratejiler tartışılmıştır. Çamurların farklı katı madde içeriklerindeki çekme dayanımları **Şekil** 'de verilen bir düzenekle İTÜ Çevre Mühendisliği Bölümü Çevre Biyoteknoloji Laboratuvarı'nda ölçülmüştür. Dört farklı kentsel atıksu arıtma tesisi susuzlaştırılmış çamur (%25) belirli oranlarda kuru çamur (%98) numunesi ile karıştırılarak çekme dayanımları dijital ağırlık ölçme düzeneği ile ölçülmüştür. Kuru maddenin artması ile çamurun yapışkan fazda çekme dayanımının maksimum olması beklenmektedir. Belirli bir %KM seviyesinden sonra çamurun adhezyonu azalarak çekme dayanımı düşüş eğilimi göstermektedir. Bu durumda çamur kurutucu ekipmanlara yapışma riskini azaltacaktır. Çekme dayanımı sonuçlarını gösteren



Şekil incelendiğinde en uzun yapışkan fazın AAT3 çamuruna ait olduğu görülmektedir. Çekme gerilmesinin azaldığı katı madde içeriği %55-60 seviyesindedir. AAT4 çamuru çekme dayanımı daha düşük değerde olup bu durum muhtemelen çamurun inorganik içeriğinin daha fazla olmasından kaynaklanmaktadır. AAT2'a ait çamur, kayma gerilmesinin en düşük ölçüldüğü çamur olmuştur. AATler için ölçülen kayma gerilmeleri EPS ölçümleri ile korelasyon göstermiştir.



Şekil 1. Çamur Çekme Dayanımı Ölçümü için Deney Düzeneği



Şekil 2. Çamur Çekme Dayanımı Ölçümleri ve Literatür ile Karşılaştırılması

Keywords: Atıksu arıtma tesisi, Arıtma çamuru, Yapışkanlık, Termal kurutma, Çekme dayanımı

BİYOGAZ TESİSLERİNDE DEVREYE ALMA SÜRECİ – BİR TESİS ÖRNEĞİ

Emre Avcu[1], Hakan Dulkadiroğlu[2, *]

[1] Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü 50300, NEVŞEHİR, emre.avcu.ae@gmail.com

[2,] Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü 50300, NEVŞEHİR, hakandulkadiroglu@nevsehr.edu.tr*

Özet

Tüm dünyada olduğu gibi, Türkiye'de de yenilenebilir enerjiye yönelim her geçen gün artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri de biyogaz kaynaklı elektrik üretimidir. Ülkemizde hayvancılığın ve tarımın yaygın oluşundan dolayı, biyogaz üretimi için hammadde oldukça fazladır. Fakat biyogaz santrallerinin ülkemizdeki geçmişi çok eskiye dayanmadığından, sektörde kalifiye personel açığı ve tecrübe eksikliğini mevcuttur. Bu çalışmada Konya'da faaliyet gösteren bir biyogaz tesisinin işletmeye alınma süreci ve işletme sırasında karşılaşılan sorunlar ve uygulanan çözümler incelenmiştir. Bu amaç doğrultusunda tesise ait işletme verileri toplanmış, karşılaşılan sorunlar kaydedilmiş ve değerlendirilmiştir. Öncelikle biyogaz tesislerinde işlenecek atıkların içeriği çok önemlidir. Türkiye'deki biyogaz tesisleri çoğunlukla hammaddelerini dışarıdan temin etmektedir. Dışarıdan temin edilen ham maddeler ağır metaller vb. toksik kimyasallar, deterjanlar ve antibiyotikler gibi prosesin işleyişine zarar verebilecek içeriğe sahip olabilmektedir. Tesise gelen atıkların bu kapsamda analize tabi tutularak kontrol edilmesi gerekmektedir. Hammaddeler reaktörlere alınmadan önce karıştırma, parçalama, presleme gibi bazı ön işlemlerden geçirilir. Önişlemler sonrasında bunların reaktöre hızlı bir şekilde beslenmesi iç ortam sıcaklığını düşürmektedir. Sıcaklığın düşmesi ise sistemin devreye alınma sürecinin uzamasına neden olmaktadır. Ayrıca, hızlı besleme ortamın pH değerini düşürerek asidik ortam oluşturmaktadır. Asidik ortam ise bakteriler üzerinde olumsuz etki yapacağından, sürecin işleyişini etkileyecektir. Organik yükleme hızı ayarlanan ve sisteme yeteri miktarda beslenen hammaddenin C/N oranı da kontrol edilmelidir. Oranın düşük olması amonyak oluşumuna neden olurken, yüksek olması ise uçucu yağ asitlerini artıracağı için her iki durumda da sistem inhibe olmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir enerji, biyogaz, devreye alma, işletme sorunları

Abstract

Like as in the world, the intention to renewable energy is rising every day in Turkey. One of the renewable energy sources is electricity production from biogas. Since agriculture and livestock farming is widespread in our country, raw material for biogas production is quite high. But, since the background of biogas plants in Turkey is not too old, there is a lack of qualified staff and experience. In this study, the start-up and operation periods of a biogas plant in Konya were investigated in terms of problems and solutions. With this aim, operational data belong the plant was collected, encountered problems were noted and evaluated. Firstly, the wastes which will be processed in the plant is very important. Most biogas plants in Turkey are supplying their raw material from outside of the plant. These materials may include some toxic chemicals like heavy metals, detergents, and antibiotics which can be harmful to the process. The supplied wastes should be analyzed and checked in this context. Raw materials are subjected to some pretreatment processes like mixing, crushing, and pressing. After pretreatment, their feeding to the reactor fast could cause a decrease in the inside temperature. This situation causes longer start-up periods. Also, fast feeding may cause an acidic environment in the reactor by decreasing pH value. Since an acidic environment is harmful to bacteria, the process will be affected negatively. C/N ratio of the raw material in adjusted organic loading rate and fed to the reactor sufficiently should be checked. While lower C/N ratios cause ammonia production, higher C/N ratios will increase volatile fatty acids and both of these situations will inhibit the process.

Keywords: Renewable energy, biogas, start-up, operational problems

14. national 2. international environmental engineering congress

climate crisis & environmental policies

SESSION 7B: Su Kirliliği ve Yönetimi - Mikroplastikler

Paper ID:

119 **Poşet Çaylarda Kullanılan Dokumasız Kumaşların Mikroplastik Fiber Salımı nın İncelenmesi**
Merve Kuriş - Meral Yurtsever

22 **MICROPLASTIC POLLUTION IN KIZILIRMAK**
Hakan Dulkadiroğlu - Beyza Ozkor

36 **DETERMINATION OF THE IMPACT MICROPLASTICS IN GREYWATER ON WATER STABLE AGGREGATE RATIO**
Derya Ayral Çınar - Betül Balcı

37 **DETERMINATION OF THE EFFECT OF POLYPROPYLENE MICROPLASTICS ON NICKEL ADSORPTION IN SOIL AT DIFFERENT HUMIDITY CONDITIONS**
Derya Ayral Çınar - Dilara Büşra Bartan

47 **SU VE SEDİMAN ORTAMINDAKİ MİKROPLASTİKLERİN AKIBETİ VE ETKİ LERİ: SAMSUN KIYI ŞERİDİ ÖRNEĞİ**
Burak Özpolat - Arife Şimşek - Mehmet Ak - Gülfem Bakan

99 **EVSEL/KENTSEL NİTELİKLİ ATIKSULARDA MİKROPLASTİK KİRLİLİĞİ**
Neriman Baylan - Pelin Koyuncuoğlu - Gulbin Erden

20 **OCCURRENCE AND MEASUREMENT OF MICROPLASTICS IN WASTEWATER**
M. Dilara Hatinoğlu, İrem Şimşek, Göksu Yurtseven, F. Dilek Sanin

POŞET ÇAYLARDA KULLANILAN DOKUMASIZ KUMAŞLARIN MİKROPLASTİK FİBER SALIMININ İNCELENMESİ

Merve Kuriş[1,*], Meral Yurtsever[2]

*,*Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü ,Serdivan/Sakarya*merve.kuris2@ogr.sakarya.edu.tr

[2]*Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, ,Serdivan/Sakarya*mevci@sakarya.edu.tr

Özet

Günümüz itibarı ile tüm dünyada artan plastik kullanımı ve oluşan plastik kirliliği problemi dikkate alındığında, bu kirliliğin canlılara ve insana etkileri konusunda halen eksiklik bulunmaktadır. Yapılan bazı araştırmalar gıda ürünlerinde bulunan mikroplastiklerin yutma yoluyla sağlık açısından olumsuz etkilerinin olabileceği üzerinde dursa da gıdalar aracılığıyla alınan mikroplastiklerin kaynakları, miktarı ve özellikleri de tam olarak bilinmemektedir.

Bu çalışmanın temel amacı çay poşetlerinin tipik bir demleme işleminden sonra mikroplastik ve/veya nanoplastiksalımının incelenmesi, farklı bir ayırma yöntemi kullanarak mikroplastik fiber salım potansiyelinin belirlenmesidir. Yapılan bu çalışmanın ön araştırmalarında özellikle gıda temaslı nonwoven tekstil ürünlerinde selüloza ilaveten farklı polimerlerin kullanıldığı ATR-FT-IR (Zayıflatılmış Toplam Yansımalı- Fourier Dönüşümlü InfraredSpektrofotometre) analizleri ile ortaya çıkarılmıştır.Demleme sonrası mikroplastik fiber ekstrasksiyonu yapılarak, mikroplastik fiberler bir filtre kağıdı üzerine alınmıştır. Daha sonrasında ise Nil kırmızısı ile boyama yapılarak floresan mikroskop altında incelenmiştir. İncelenen tüm numunelerde rastlanan mikroplastikler türlerine göre sınıflandırılarak kategorize edilmiştir. Ayrıca ekstraksiyon aşamalarında, doğrudan, peroksit ile muamele ve Cuam çözeltisi ile muamele edilerek kıyaslamalar yapılmıştır.

Abstract

Considering the increasing use of plastic all over the world and the problem of plastic pollution, there is still a deficiency in the effects of this pollution on living things and humans. Although some studies emphasize that microplastics in food products may have negative effects on health through ingestion, the sources, amount and properties of microplastics ingested through food are not fully known. The main purpose of this study is to examine the microplastic and/or nanoplastic release of tea bags after a typical brewing process and to determine the microplastic fiber release potential using a different separation method. In the preliminary research of this study, it was revealed by ATR-FT-IR (Attenuated Total Reflection-Fourier Transform Infrared Spectrophotometer) analyzes that different polymers are used in addition to cellulose, especially in food contact nonwoven textile products. After brewing, microplastic fiber extraction was performed and the microplastic fibers were taken on a filter paper. Afterwards, it was stained with Nile red and examined under a fluorescent microscope. Microplastics found in all samples examined were classified according to their types. In addition, comparisons were made by direct treatment with peroxide and treatment with Cuam solution in the extraction stages.

Keywords: *Poşetçay; dokumasız; mikroplastik; mikrofiber; Cuam; Nil kırmızısı boyama*

1. GİRİŞ

Son yüzyılın en büyük sorunlarından olan biri olan plastik, kullanımının kolay olması, düşük maliyetli ve dayanıklı olması gibi avantajlarından dolayı günlük yaşamda yaygın olarak kullanılmaktadır. Aynı zamanda plastik malzemeler ahşap, metal taş gibi doğal malzemelere göre esnek ve kolay işlenebilir olması, pratik kullanım alanlarıyla II. Dünya Savaşı sonrası insanlar tarafından en çok tercih edilen malzeme olmuştur. Plastikler çok sayıda monomer zincirden oluşan, poliproplilen (PP), polietilen (PE), polistiren (PS), polivinilklorür (PVC), polietilen tereftalat (PET), poliamidler (PA) gibi polimer yapılarda bulunabilen malzemelerdir. Plastiklerin üretimde bazik bir polimerin sentezlenmesi, polimerin

kullanılabilir bir fraksiyona birleştirilmesi ve son adım olarak plastiğin şekillendirilmesi ile üretimi gerçekleştirilebilir. *(Tiseo, 2021)* Temel olarak %99'u gaz, petrolve fosil yakıtlardan üretilmiş oldukları için plastikler sadece atık sorunu değil, iklim ve sağlık açısından da büyük sorun oluşturmaktadır *(Akçay, 2020)* .

Plastiklerin 1950 yılından 2019 yılına kadar olan süreçte küresel olarak üretimi 368 milyon olarak gerçekleştiği tespit edilmiştir *(Tiseo, 2021).* Son 50 yılda küresel plastik üretimi, yıllık % 8,7 artışla yaklaşık 9,1 milyar ton olmuştur. *(Öğüt, 2021)* Yapılan araştırmalara göre, herhangi bir canlı yaşamayan ıssız adalardan kutuplara, okyanus yüzeylerinden dünyanın en derin noktalarına kadar plastik atıklarına rastlanılmaktadır. Nüfus, endüstrileşme, şehirleşme ve refah seviyesinin artışına paralel olarak plastik kullanımının artışı ve bunun sonuncunda da ortaya çıkan plastik atıklarının yönetilmemesi problemi küresel ölçekte bir sorun haline dönüşmüştür. Günümüzde yıllık plastik üretimi yaklaşık 330 milyon ton iken bunun yalnızca yüzde 10'u geri dönüştürülmektedir. *(Yurtsever, 2015)* Diğer bir araştırmaya göre 2012 yılında Avrupa Birliği (AB) ve ABD'de sırasıyla yaklaşık olarak 6 milyon ton ve 2, 5 milyon ton plastik tüketilmiş ve AB'de 8,75 milyon tondan fazla, ABD'de ise bu rakam 29 milyon tondan fazla plastik atık atılmıştır. Oluşan bu plastik atıkların sucul ekosisteme karışması maalesef kaçınılmaz olmaktadır (Hamid, 2018). Bu yüzden iyi bir atık yönetimi ve atık minimizasyonunu sağlanabilmesi şarttır ve tüm paydaşların sorumluluğundadır.

Birleşmiş Milletler (BM) Çevre Programı'nın raporuna göre açık denizlerde her kilometre başına ortalama 13 bin plastik düşmekte, denizlerde akıntılar ile bu çöpler dünyanın her yerine ulaşmaktadır. *(Kurt, 2019)* . Sucul ekosistemde ulaşan plastik atıklar orada yaşayan canlılar için yaşam tehlikesi oluşturmaktadır. Çöpler ve dolayısıyla içerisindeki plastik parçacıkları, sularda farklı canlı grupları tarafından yutularak, canlıların gelişim ve büyümeleri, hatta yaşamlarını durduracak sonuçlar doğurabilmektedir. Sözü edilen plastik kirliliği makrodan mikro ve nano boyutlara kadar geniş bir yelpazede bulunabilmekte ve tüketilen gıdalarda da aşırı miktarlarda girebilmektedir. Çok sayıda gıda ürünlerin de artan mikro ve nano-plastikler insan sağlığını tehdit edicidir *(Vc Shruti, vd , 2021)*Bu kirliliğin kaynakları ve sağlığa olabilecek olumsuz etkileri halen araştırılmakta olup, literatürde konuyla ilgili araştırmalar ve incelemeler de gittikçe detaylanmaktadır *(Vethaak ve Legler, 2021).* Büyük plastik parçalar rüzgârlar, dalgalar, ultraviyole ışınlarının etkisiyle parçalanarak mikroplastiklere dönüşmekte, akarsular aracılığıyla göllere, denizlere ve okyanuslara ulaşmaktadır. Günümüzde ayrıca doğrudan mikron boyutunda üretilen plastikler birçok alanda kullanılmaktadır.

2. Mikroplastik Kirliliği

Literatürlerde mikroplastiklerle ilgili halen standartlaştırılmış tanım bulunmamakla birlikte, mikroplastik terimi ilk olarak 2004 yılında Thompson tarafından kullanılmıştır *(Thompson, 2004).* Oxford sözlüğünde mikroplastikler, tüketici ürünlerinin parçalanması sonucu oluşan küçük plastik parçaları olarak ele

alınmıştır. Mikroplastikler, genellikle doğrudan 5 mm'nin altında bir boyuta kadar üretilmiş (birincil mikroplastikler) ya da büyük plastiklerden parçalanarak oluşmuş (<5 mm, ikincil) katı, çözünmez, polimerik malzemeler olduğu tespit edilmiştir. Frias ve Nash (2019) da mikroplastikleri, suda çözünmeyen 1 µm-5 mm arasında değişen, düzenli veya düzensiz şekilli olan herhangi bir sentetik katı parçacık veya polimerik matriksler olarak tanımlamıştır *(Yurtsever, 2018)* Plastiklerin parçalanmalarından oluşan mikro altı boyutlara mikroplastik olarak değerlendirilmektedir. Mikroplastik kirliliğinin güncel bir mesele olmasının yanı sıra çevrede bozunmadan yüzyıllar boyunca kalabilmesi, birikmesi, doğal yaşam alanlarına etkisi ve insan sağlığı üzerine muhtemel etkilerinden dolayı büyük bir tehdit unsurudur.Mikroplastiklerin boyutlarına göre sınıflandırılması Tablo 1'de gösterilmiştir *(Linda A. Zettler, vd., 2015)*.

Tablo 1 Plastiklerin Boyutlarına Göre Sınıflandırılması

Megaplastikler	**>1 m**
Makroplasitkler	<1 m
Mezoplastikler	<2.5 cm
Büyük Mikoplastikler	1mm-5mm
Küçük Mikroplastikler	1mm-20µm
Nanoplastikler	1nm-100nm

Mikroplastiklerin birincil kaynakları olarak günümüzde bazı ülkelerde diş macunlarında da bulunan ve kozmetiklerde kullanımı yasaklanmış olan mikroboncuklar (microbeads), plastik fabrikalarının üretim peletlerinde, *(Yurtsever, 2019)* uçak ve roket nozulları gibi yüksek teknolojili ürünlerde, tıp alanında (Hamid, 2018)ikincil kaynakları olarak ise, sentetik tekstil ürünlerinden dökülen mikrolifler (microfiber, MF), araç lastiği döküntüleri, yol kaplama ve boya döküntüleri gibi büyük plastik parçaların güneş ışığı, rüzgara maruz kalarak küçük parçalarak ayrılmasıdır. Fielanın yaptığı bir araştırmaya göre de gıdalardaki mikroplastikler incelenecek olursa, bu plastiklerin bazı ürünler için temel hammadde içerisinde, bazılarında üretim süreçleri aşamasında bazılarında ise paketleme de kullanılan ambalaj malzemelerinden dolayı ve ürünün tüketimi esnasında (havadan vb.) gıdalara geçebilmesi mümkündür. (Yurtsever, 2019) Plastiklerin hem üretilirken eklenen kimyasal katkılarının hem de yüzeyinde adsorplanma potansiyeline sahip kimyasallarıntoksik olabileceği ve organizmaların dokularında birikerek biyoakümülasyona neden olması söz konusudur (*Besseling vd., 2013; Wang vd., 202).*

Besin yoluyla tüketilen ürünlerde mikroplastiklere rastlanması hem canlılar hem de insanlar için büyük riskler barındırmaktadır. Bir çok bilimsel araştırmada dünyanın dört bir yanından çok çeşitli balık türlerinin film, parçacık veya mikrolif yapısında çeşitli sentetik polimerleri yuttuğu gösterilmiştir *(Bråte, vd, 2016) (Possatto , vd., 2011) (Lusher, vd., 2013) (Rummel, vd., 2015).* PP, PE ve PET gibi plastiklerin üretim aşamalarında kullanılan kimyasallar ve bunların sucul ortamdan dolaylı olarak insana ulaşması ciddi sağlık riskleri (kanser, hormon

bozukluğu vb.)oluşturabilmektedir. Yakın zamanda yayınlanan bazı raporlarda da insan dışkısında mikroplastikler olması durumu insan sağlığı açısından endişe verici bir boyuta taşımıştır *(CIEL, 2019).* Yakın zamanlardaEndonezya'nın doğusunda kıyıya vuran 9,5 metre uzunluğundaki ölü balinanın karnından çıkan, 115 parça plastik bardak, 4 plastik şişe, 25 naylon poşet, iki çift parmak arası terlik ve 1000'den fazla farklı plastik parçalar ve sayılamayacak kadar mikroplastikler, bu kirliliğin doğada her yerde ve aşırı miktarda bulunabildiğinin ve yaşamı ciddi boyutta tehdit ettiğinin kanıtıdır. Dünya nüfusunun kıyı bölgelerinde orantısız artışı ve kıyı bölgelerdeki sentetik lifler, plastik kullanımı denizlerde, okyanuslarda yaşanan mikroplastik kirliliğini artıcı etkenler olarak gösterilmektedir *(Bardon, 2019).*

Mikroplastikler yüzey üzerinde oluşan bozulmalara göre şekilleri farklılıklar gösterebilir (elyaf, film, parçacık, lif) *(Concetta Pironti, 2021).*Buna bağlı olarak fiziksel zarar verme potansiyeli şekillerine ve büyüklüklerine gore değişkenlik gösterebilir. Austin D. Grey ve arkadaşının yapmış olduğu bir çalışmada mikroplastiklerin boyutları ve şekillerine gore karidese (Palaemonetes pugio) etkisini incelemiştir. Bu çalışmaya gore liflerin aynı polimer matrisine sahip parçacıklara göre deniz omurgasızları üzerinde daha toksik olduğunu ileri sürmektedir *(Weinstein, 2017).* Farklı çevresel matrislerde petrol türevli plastik liflere ek olarak sentetik selüloz lifler tespit edilmiştir *(Concetta Pironti, 2021).* Selülozik lif türü biyolojik olarak parçalanabilir özellikte olsa da, içerebilecekleri çeşitli katkı maddeleri nedeniyle böyle lifler de bilim camiası açısından dikkat çekicidir.Biyoplastikler yapısı doğal olarak bozunabilen malzemelerden (örneğin; polibütilen süksinat, PBS) veya doğal hammaddelerden (biyo-bazlı, örneğin, Biyo-polietilen, Biyo-PE) oluşmaktadır *(Zimmermann, 2020).* Fakat göz ardı edilen durum biyoplastik denilen malzemelerinde kimyasal malzemeler içerebileceğidir. Zimmermann ve arkadaşlarının (2020) yapmış olduğu çalışmada gıda teması bulunan bazı plastik yapılı ürünlerde invitro toksisitesi ve kimyasal bileşimi araştırılarak kıyaslanmıştır. Polilaktik asitten (PLA) yapılan tüm "biyoplastiklerde" yüksek bazal toksisite tespit edilmiştir. Düşük yoğunluklu polietilen (LDPE), polistiren (PS) ve polipropilen (PP) toksisiteleri değişen oranda tespit edilmiştir. Buna göre gıdalarda kullanılan bitki bazlı malzemelerin ve biyoplastiklerin toksisiteye neden olan kimyasallar içerdiğini ortaya çıkarmıştır. Bu nedenle piyasa sürülen daha iyi plastik alternatifleri kimyasal güvenlik yönlerinden de ele alınmalıdır.

Gıdalardaki mikroplastik kirliliği konusunda yapılan bu çalışmada ise, günlük hayatta yoğun kullanımı olan "çay" içeceklerinde kullanılan örgüsüz (nonwoven) çay poşetlerinden kaynaklı mikroplastik salımı ve demleme yoluyla içeceğe geçişi araştırılmıştır. Çalışmadaki esas amaç, farklı ayırma yöntemleri ile poşet çaylardan mikroplastik liflerin salımlarının değerlendirilmesi ve gıda güvenliği açısından mikroplastik kirliliğine dikkat çekmektir.

3. MATERYAL ve METOT

3.1. Malzeme temini

Bu araştırmada, ülkemizde marketlerde yaygın olarak satılan farklı marka poşet çay örnekleri alınarak bu malzemelerdeki mikroplastik kirliliği mevcudiyeti ve miktarları incelenmiştir. Demlik poşeti şeklinde olan poşet çaylar Sakarya'daki farklı marketlerden, 10 adet farklı marka ürünü temin edilmiştir. Günlük hayatta kullandığımız çoğu tek kullanımlık malzemelerden gıdalara kadar birçok üründe kumaşımsı yapıdaki dokumasız (nonwoven) malzemeler veya plastik yapılı malzemeler kullanılmaktadır.Gıda ürünlerinde kullanılan selüloz yapının yanı sıra üretimindeki farklı avantajlardan dolayı plastik malzemelerle desteklendiği anlaşılmıştır.

Araştırmada, 10 farklı markanın, demleme çay poşetleri kullanılarak inceleme yapılmıştır.Market reyonlarında poşet çayların, dökme çaylara nazaran hiç de azımsanamayacak miktarlarda yer alması, siyah çayın yanı sıra diğer bitkisel çayların da çoğunlukla poşet çay şeklinde satılıyor olması, poşet çaylara karşı arz-talep ilgisini göstermektedir.Poşet çaylar kullanım kolaylığı, arzu edildiği andave miktarda demlenebilmesi vb. avantajları sayesinde yaygın olarak tüketilmektedir. Nonwoven (örgüsüz) dokulardan üretilen çay poşetlerinin tek kullanımlık olması ve yüksek sıcaklıkta demleme yoluyla poşet dokusundaki mikroliflerin doğrudan içilen sıvıya geçebilme potansiyeli bulunmaktadır. Bu torbaların plastik içerdiğiği konusunda paket üzerlerinde maalesef herhangi bir bilgi bulunmamaktadır.

3.2. Mikroplastik İnceleme

Çay poşetleri içerisindeki çaylar, kenardan açılan küçük bir kesikten alınarak, poşet, beher içerisindeki kaynatılmış suya konulur ve demleme süresi boyunca beklenir. Demleme işlemi tamamlanmış çay poşetleri cam beher içerisinden alınarak cam petri kaplarına konulur. Ardından beherdeki su cidarlarında lif kalmamasına dikkat ederek 0,45 µm selüloz asetat filtre kağıdına alınarak vakum filtrasyon işlemi ile süzülmesi sağlanır. Numunenin süzüldüğü selüloz asetat filtre kağıtları filtrasyon düzeneğinden dikkatlice alınarak ayrı petri kaplarına konularak kapakları kapatılır ve 24 saat boyunca oda sıcaklığında kuruması beklenir. Daha sonra filtre kağıtları floresan mikroskop altında incelenerek rastlanan liflertip ve boyutlarına göre sınıflandırılarak kaydedilir ve görüntüleri alınır. Aynı işlemler yalnızca saf su konulan blank numune üzerinde de yapılarak ortamdan geçmesi muhtemel plastik parçacıkların hataya sebep olmasını önlemek için değerlendirmeye katılır.

3.3. Peroksit ile muamele sonrası inceleme

Yine çayı çıkarılmış poşetler cam beher içerisinde demleme işlemine tabi tutulur. Ardından beherdeki su cidarlarında lif kalmamasına dikkat ederek 0,45 µm selüloz asetat filtre kâğıdına alınarak filtrasyon işlemi ile süzülmesi sağlanır. Filtrasyon işleminden sonra selüloz asetat filtre kağıdı10 mL, %35'lik hidrojen peroksit ilave edilerek yüzeyi yıkanarak aynı behere alınır. Peroksit ile oksidasyonun tamamlanması için 5 gün bekletilir. 5 gün bekletildikten sonra filtre kağıtları üzerine filtrasyon işlemi uygulanır ardından filtre kağıtlarında lif sayımı yapmak için mikroskop altında incelemesi yapılarak, görseller ile birlikte kayıt altına alınır.

3.4. Cuam ile muamele sonrası inceleme

Demleme işlemi tamamlanmış çay poşetleri beher içerisinde alınarak numaralarına göre sınıflandırılmış olan petri dishlere konulur. Ardından beherdeki su cidarlarında lif kalmamasına dikkat ederek 0,45 µm selüloz asetat filtre kâğıdına alınarak filtrasyon işlemi ile süzülmesi sağlanır. Filtrasyon işleminden sonra, filtre kağıtlarının kuruduklarından emin olduktan sonra kapalı kaplara filtre kağıtları alınır, ardından üzerilene 10 mL cuam çözeltisi eklenir. Gözlemler sonucu 15-20 dk arasında çalkalama yaparak cuamın filtreyi çözdüğü görülmüştür. Ardından tam filtrenin çözüldüğünden emin olduktan sonra, yeni bir asetat filtre kağıdı filtrasyon cihazına yerleştirilir ve üzerine filtresi çözülmüş olan Cuam çözeltisinden geçirililerek çözülmesi sağlanır. Cuam çözeltisi ile filtrasyon işlemi tamamlandıktan sonra üzerine 10 mL saf su eklenir ve tekrar filtasyon işlemi yapılır. Ardından üzerine 50 mL seyreltik HCl- Saf su karışımı eklenir ve tekrardan filtrasyondan geçirilir. Burada amacımız cuam çözeltisi tamamen süzerek liflerin kalmasını sağlamak. Tüm işlemler 10 numune için tekrarlandıktan sonra mikroskopta incelemeye geçirilir.

3.5. Kullanılan ekipmanlar

Çalışmada kullanılan başlıca ekipmanlar, Bruker minispec mq one serisi-ATR-FT-IR cihazı, Hassas terazi WLC X2 serisi (OHAUS), OLYMPUS CX23 floresan ataçmanlı binoküler araştırma mikroskobudur. Çalışmada kullanılan kimyasal maddeler; %35'lik Hidrojen Peroksit (Merck), Cuam hazırlamada kullanılan $CuSO_4.5H_2O$ amonyum ve NaOH,HCl, ultra safsu (Millipore Direct Q5). Nilkırmızısı çözeltisi(9-diethylamino-5H-benzo[α]phenoxazine-5-one).

4. BULGULAR

4.1. ATR-FT-IR Analizleri

Çalışmada öncelikle 10 adet farklı markanın demlik poşet çay poşetleri incelenmiştir. Çay poşetlerin dokusu üzerine yapılan ATF-FT-IR analizlerinden,

tüm çay poşetlerinde selüloz olan kısımlarında plastik yapısı tespit edilmiştir.Demlik poşetlerin ATF-FT-IR analizleri Tablo 3' te gösterilmiştir.

Çay örnekleri	ATF-FT-IR Analizleri
Ç1	PE-LD
Ç2	PE-LD
Ç3	PE-LD
Ç4	PE-LD
Ç5	PE-LD
Ç6	PES
Ç7	PE-LD
Ç8	PE-LD
Ç9	PP
Ç10	PE-LD

Tablo 3. ATF-FT-IR Analizi

Ç1, Ç2, Ç3, Ç4, Ç5,Ç7, Ç8 ve Ç10 düşük yoğunluklu polietilen içerirken, Ç6 polyester ve Ç9 ise polipropilen içerikli malzemedir. Literatürdeki çalışmalar ve patentler de, çay poşetlerinde selüloza (kağıt) ilaveten dayanıklığını sağlamak ve poşetin kapatılması işleminde ısı ile kolayca yapışmasını sağlamak gibi amaçlarla farklı polimerlerin (polipropilen, polietilen, polyester vb.) kullanıldığını doğrulamaktadır.

4.2. Nil kırmızısı boyama tekniği ile mikroplastik inceleme

Nil kırmızısı boyası hazırlama; Lipofilik Nil kırmızısı (9-diethylamino-5H-benzo[α]phenoxazine-5-one) boyası ile mikroplastik türü belirleme işlemi çok pahalı cihaz gerektirmeyen kolay bir işlemdi *(Shim, vd., 2016); (Erni Cassola, vd., 2017).* Nil kırmızısı ile boyama tekniği için çözücüler hazırlandı *(Jang, 2016).* Hekzanda daha yavaş çözündüğünden dolayı, ilk önce aseton içinde çözülüp sonra hekzan ekleyerek (0.05 gr/L) stok çözeltisi hazırlanmış ve koyu renkli şişeye konularak buzdolabında (4 ºC' de) muhafaza edilmiştir. Daha sonra hekzan ile 10 kat kadar seyreltilerek 5 mg/L hazırlanan standart çözelti kullanılmıştır (Yurtsever, 2020). Doğal malzemeleri boyamayan Nil kırmızısının plastiği boyamaözelliğibulunmaktadır. Nil kırmızı boyama tekniği ile cisimlerin plastik olup olmadığı anlaşılabilmektedir. Nil kırmızısıı ile boyama tekniği ile 20 µm'ye kadar boyuttaki plastik parçacıkları incelenebilmektedir.20 µm' den küçük mikroplastiklerin belirlenmesinde ise Raman teknikleri uygulanabilir. *(Catarina F. Araujo, vd., 2018)*

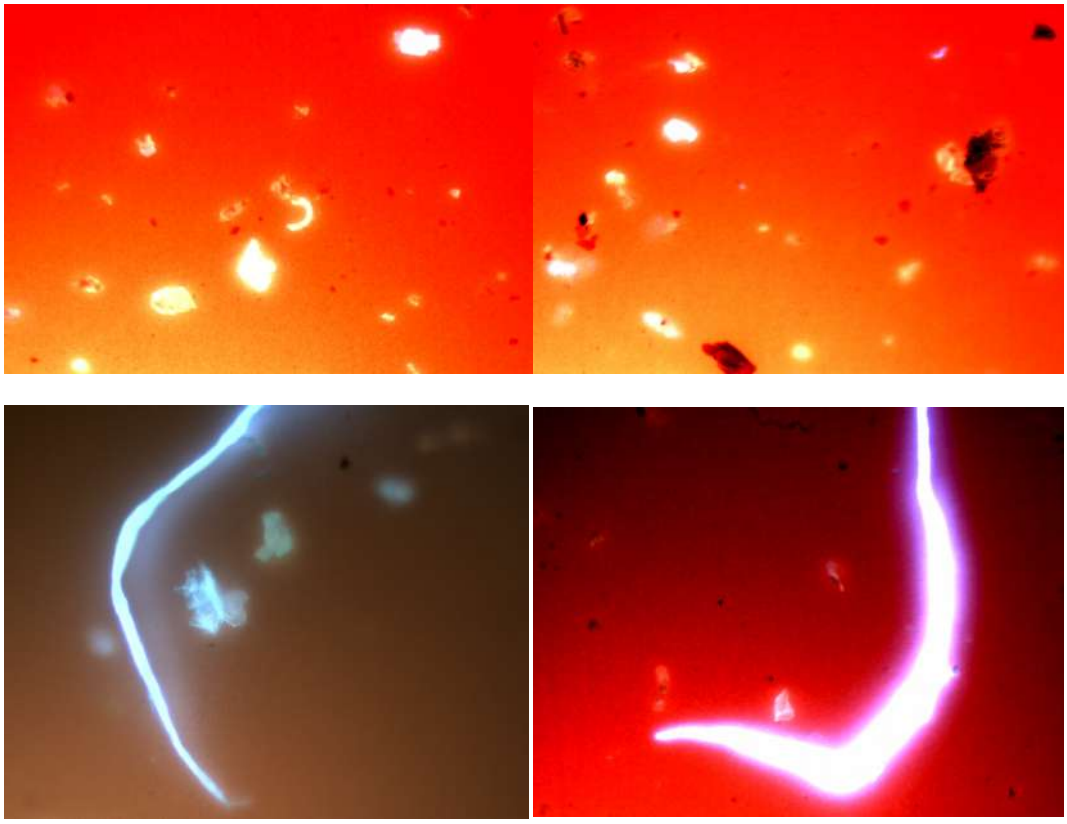
Bu kapsamda her ayırma yönteminden sonra numuneler, Nil kırmızısı boyama tekniği ile; filtre kağıtların üzerine bir kaç damla Nil kırmızı çözeltisi eklenerek, 15 dakika etüvde karanlıkta beklettikten sonra Floresan mikroskop altında

incelenir. Yapılan floresan mikroskobu incelemeleriyle sentetik liflerin varlığı anlaşılmış ve uygulanan farklı ayırma yöntemlerine göre oluşan MP salımları UV, green ve blue dalga boylarındaki ışık altında sayılarak tespit edilmiştir.

Her bir ayırma metodu 10'ar adet numune 2 tekrar olarak incelemeleri yapılmıştır. Son işlemden sonra filtre kağıtları, Floresan mikroskopunda Nil kırmızısı boyama tekniği uygulanarak incelenmiş ve UV ışığı altında salım potansiyellerine göre değerlendirilmiştir.

İlk incelemede mikroskop altında, yeşil ve mavi ışıkta incelemer yapılmış ancak ışıma olmadığı için numelere UV ışıma altında bakılarak incelemeler devam ettirilmiştir. Normal mikroskopta yapılan incelemelere gore Nil kırmızısı boyama tekiniği ile floreasan mikroskop altında yapılan incelemeler daha güvenilir sonuçlar verdiği görülmüştür.

Çay poşeti numunelerindeki mikrolif ve mikroparçacıklara ait Nil Kırmızısı boyama-Floresan mikroskobu görüntüleri Şekil 1' de örnek olarak gösterilmiştir.



Şekil 1Çay numunlerindeki plastik mikrolif ve parçacıklar

Nil kırmızısı boyama tekniği ile yapılan çalışmada poşet çay numunelerinde uzun lifler ve bunun yanı sıra çok yoğun şekilde küçük mikro parçacıkların bulunduğu görülmektedir. Nil kırmızısı boyama tekniği ile 20 µm' ye kadar olan bazı plastik

cisimler kolaylıkla tespit edilebilmektedir *(Shim, vd., 2016); (Erni Cassola, vd., 2017).*

Floresan mikroskopta UV ışıma altında doğrudan analiz yöntemi ile incelenen poşet çay numuneleri ait sonuçlar Tablo 2'de gösterilmiştir. Farklı farklı çay poşetlerinden alınan numunelerde doğrudan analiz yöntemi ile sentetik liflere ve parçacıklara rastlanmıştır.

Çay örnekleri	Toplam MP (Adet)	Lif (Adet)	Parçacık (Adet)	Film (Adet)
Ç1	190	35	115	40
Ç2	282	110	103	69
Ç3	188	40	105	43
Ç4	176	31	111	34
Ç5	118	14	104	45
Ç6	152	16	95	41
Ç7	221	39	150	32
Ç8	170	26	128	16
Ç9	226	31	130	65
Ç10	230	30	159	41
Blank	35	9	15	11

Tablo 2. çay numunelerinde mp sayımı

Bu çalışmada demlik poşetlerinde mikroplastik salımlarının değerlendirebilmesi için, farklı MP ayırma işlemleri denenmiştir. Peroksit ile muamelede ve Cuam ile muamalede sırasıyla organiklerin oksidasyonu ve selülozik liflerin çözülmesi işlemleri başarıyla gerçekleştirilmiştir.

5. TARTIŞMA

Plastikler günümüzde pek çok alanda kullanımı olan dayanıklı malzemelerdir. Plastiklerin çeşitli fizikler etkilerden dolayı parçalanarak daha küçük parçalara ayrılması ile mikro boyutta plastikler oluşabilmektedir. Yapılan araştırmalar oluşan mikro boyutlu parçacıkların tarım arazilerine, besin zincirinde ve sucul ekosisteme ulaşması olumsuz etkilerinin olabileceğini göstermektedir. Napper (2016) sentetik tekstil ve giyim ürünlerinin yıkanmasında kopan lifler sonucu ortaya çıkan mikroplastiklerin sucul ekosisteme ulaştığını göstermiştir. Diğer bir araştırmada işlenmemiş sularda ve arıtma tesislerinden toplanılarak, arıtılmış içme sularının mikroplastik varlığı bildirilmiştir. İnsanların sıkça tükettiği maddelerde bu denli mikroplastik bulunması henüz insan sağlığına net etkisi bilinmese de, uzun süreli maruziyet sonucunda toksik etkisinin olabileceği tahmin edilebilmektedir.

Dr Fay Couceiro'nun İngiltere'de yapmış olduğu bir araştırma sonucunda evlerde mikroplastik tehlikesinin sanıldığından 100 kat daha kötü olduğunu bildirmektedir. En az asbest ve tütün kadar tehlikeli olan ve kıyafetlerimizden, oyuncaklarımıza her yerde yer alan bu partiküllerin solunarak maruz kalındığını ve günde yaklaşık 7000'e yakın MP solunduğunu belirtmiştir. Nur Hazimah Mohamed Nor yapmış olduğu çalışmada (2021) insanların maruz kaldığı mikroplastik ve ömür boyu birikimi çözülememiş olsa da, mikroplastiklerin vücut dokularında birikmesi, fiziksel strese, iltihaplanmaya ve bağışıklık üzerine olumsuz etkisinin olabileceği üzerine çalışma yapmıştır.Çeşitli alanlarda kullanılan nonwoven plastik elyaf dokulu malzemelerin, özellikle tek kullanımlık ürünlerin hayatımıza bu kadar girmiş olmasının yanlış olduğu görülmektedir. 2019 yılında Kanada'da yapılan araştırmada, yılda 74.000 - 121.000 arasında mikroplastik yutulabileceği ve solunabileceği bildirilmiştir. Gıdalarda dahil her alanda kullanılan nonwoven dokulardaki MP salınımlarının üzerine yapılan bu araştırma, gıda kirliliği ve güvenliği açısından önem arz etmektedir.

Mikroplastiklerin imalatında kullanılan bazı monomer ve oligomerler gibi kimyasalar maddeler, özellikle dış yüzeyine yerleşen kalıcı poliklorlu bifeniller, hidrokarbonlar, organoklorlu pestitsler gibi hidrofobik organik maddelerin mikroplastikler ile insan vücuduna alınması sağlık üzerine zararlı etkileri ortaya çıkabilmektedir. Gıdalardaki mikroplastik kirliliği, üretim proses aşamalarında, üretilen malzemelerden veya ürün paketleme esnasında tercih edilen ürünlerden kaynaklı olabilmektedir. Bu çalışma, çay poşeti gibi gıda temaslı olarak kullanılan dokumasız kumaş gibi malzemelere dikkat verilmesi gerektiğini ortaya çıkarmaktadır. Kullanılan demleme çay poşetlerin dökme çaylara göre hem atık miktarını arttırması hem de plastik içeren çay poşetlerin kompostlanamayacak olması dikkate alındığında bu durum sıfır atık kavramı ve sürdürülebilirlik yaklaşımına uygun düşmemektedir. Kompostlama ve atık bertaraf süreçlerinde içerisinde barındığı mikroplastiklerin toprağa karışması ve yüzyıllar boyunca toprakta kalması muhtemeldir. Bundan dolayı, gıda üretim süreçleri ,yaşam döngüsü ve etkileriyle ilgili değerlendirmelerd eMP kirliliğinin de dikkate alınması gerekli görünmektedir.

6. SONUÇ

Mikroplastiklerin gıdalarda bulunuşu üzerine yapılan çalışmalar, gıda tüketimi yoluyla insanların mikroplastik parçacıkları göz ardı edilemez bir şekilde yutulma potansiyeli taşıdığını göstermektedir. Günlük hayatta sıklıkla kullanılan plastik veya plastik ilaveli gıda temaslı ürünlerden yoğun miktarlardamikro ve nanoplastiğe maruz kalınabilir. İnsanlar için yağın ve yoğun kullanılan bir ürün olan demleme çay poşetleri üzerine araştırma yapılmış olup, buradaki potansiyel mikroplastik salımının değerlendirilmiştir. Poşet çayların (demlik poşeti) nonwoven dokuları üzerinde yapılan ATF-FT-IR analizleri sonucunda poşetlerin selüloz ile karışmış şekilde,sekiz çay markasının PE-LD (Low-density polyethylene) içerdiği, birinin polipropilen (PP) ve bir tanesinin ise polyester

(PET %30 glass fiber) içerdiğitespit edilmiştir.Toplumumuzda çok fazla tüketilen bir içecek olan poşet çayların (demlik poşeti), ne kadar mikroplastik içerebileceği ve insanların bu yolla ne kadar mikroplastiğe maruz kalabileceği konusunda bulgular elde edilmiştir. İnceleme yapmış olduğumuz yöntem doğrultusunda, bir adet demlik poşetinden ortalama 190 adet MP salım yaptığı ortaya çıkarılmıştır. Buna ilaveten demleme sırasında havadan (özellikle lifler) ve demleme yapmak için kullanılan sulardan (musluk veya şişe) içeceğe mikroplastiklerin geçmesi söz konusudur. Concetta Pironti ve arkadaşlarının (2021) yapmış olduğu çalışmada gıdadan alınan mikroplastiklerin ve insan maruziyet dozu dikkate alınırsa, sağlık açısından toksik etkilerinin olabileceği bildirilmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma 118Y515 nolu TÜBİTAK projesi ile desteklenmiştir.

1. KAYNAKÇA

Akçay, Fatih Törnük, Hasan Yetim (2020). Mikroplastikler: Gıdalarda Bulunuşu ve Sağlık Üzerine Etkileri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi Cilt , Sayı 20,* 530-538

VC Shruti, Fermin Perez-Guevara, Ben Elizalde-Martínez, Gurusamy Kutralam-Muniasamy (2021). Toward a Unifeid Framework For İnvestigating Micro (nano) Plastics İn Packaged Beverages İntended For Human Consumption. *Enviromental Pollution* , 268-269.

Bardon, J. A., William Jones, Mark D. Ohman (2019). Multidecadal increase in plastic particles in coastal ocean sediments. *Scienes Advances* v.5(9), 1-9.

Bråte, I. L. N., Eidsvoll, D. P., Steindal, C. C., & Thomas, K. V. (2016). Plastic ingestion by Atlantic cod (Gadus morhua) from the Norwegian coast. *Mar Pollut Bull, 2016 Nov 15;112(1-2)* , 105-110.

Catarina F. Araujo, Mariela M Nolasco, Antonio M P Ribeiro , Paulo JA Ribeiro-Claro (2018). Identification of microplastics using Raman spectroscopy: Latest developments and future prospects. *Water research 1;142*, 426-440.

CIEL. (2019). *Plastic & Health: The Hidden Costs of a Plastic Planet.* Washington: CIEL.

Concetta Pironti, M. R. (2021). Microplastics in the Environment: Intake through the Food Web, Human Exposure and Toxicological Effects. *Toxics* , 1-29.

Erni-Cassola, G., Gibson, M. I., Thompson, R. C., & Christie-Oleza, J. A. (2017) Lost, but Found with Nile Red: A Novel Method for Detecting and Quantifying Small Microplastics (1 mm to 20 μm) in Environmental Samples. *Environ. Sci. Technol. 2017, 51, 23* , 13641–13648.

Gabriel Erni Cassola, a. (2017). Lost, but Found with Nile Red: A Novel Method for Detecting and Quantifying Small Microplastics (1 mm to 20 μm) in Environmental Samples. *Environmental Science Technology,51* , 13641−13648.

Gündoğdu, D., & Çevik, P. C. (2019). *Türkiye'deki Deniz Canlılarında Mikroplastik Kirliliği.* İstanbul: Greenpeace Akdeniz.

Fauziah Shahul Hamid, Mehran Sanam Bhatti, Norkhairiyah Anuar, Norkhairah Anuar, Priya Mohan and Agamuthu Periatham Worldwide distribution and abundance of microplastic:How dire is the situation? *Waste Management & Research 2018, Vol. 36(10) 873–897* , 837-897.

Jang, W. J. (2016). Identification and quantification of microplastics using Nile Red staining. *Elsevier* , 469-476.

Kurt, İmam B. Kanlı (2019). Türkiye'nin Çevre Politikaları Kapsamında Mikroplastik Kirlilik Üzerine Bir. International Congress On New Horizons In Education And Social Sciences (ICES-2019) Proceedings, 495-514.

Linda A. Zettler, vd. (2015). *GESAMP REPORTS & STUDIES No. 93.* LONDON: GESAMP.

Lusher, A. L., Mchugh, M., & Thompson, R. C. (2013). Occurrence of microplastics in the gastrointestinal tract of pelagic and demersal fish from the English Channel. Marine pollution bulletin, 67(1-2), 94-99

Öğüt, M. A. (2021). Mikroplastikler ve Çevresel Etkileri. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi* , 861.

Possatto, F. E., Barletta, M., Costa, M. F., do Sul, J. A. I., & Dantas, D. V. (2011Plastic debris ingestion by marine catfish: an unexpected fisheries impact. *Mar Pollut Bull 2011 May;62(5):1098-102* , 1098-102.

Rummel, C. D., Löder, M. G., Fricke, N. F., Lang, T., Griebeler, E. M., Janke, M., & Gerdts, G. (2016). Plastic ingestion by pelagic and demersal fish from the North Sea and Baltic Sea. Marine pollution bulletin, 102(1), 134-141.

Selen Akçay, F. T. (2021). *Mikroplastikler: Gıdalarda Bulunuşu ve Sağlık Üzerine Etkileri* , 530.

Shim, W. J., Song, Y. K., Hong, S. H., & Jang, M. (2016). Identification and quantification of microplastics using Nile Red staining. *Marine Pollution Bulletin 113* , 469-476.

Richard C. Thompson, Ylva Olsen, Richard P. Mitchell, Anthony Davis, Steven J. Rowland, Anthony W. G. John, Daniel McGonigle, Andrea E. Russell (2004). Lost at Sea: Where Is All the Plastic? *Science, vol.304, no. 5672* , 838.

Tiseo, I. (2021). dünya çapında: statista.

Vethaak, D., Legler, J. (2021). Microplastics and human health: Knowledge gaps should be addressed to ascertain the health risks of microplastics. *Science, 371(6530)* , 672-674.

Weinstein, A. D. (2017). Size- and shape-dependent effects of microplastic particles on adult daggerblade grass shrimp (Palaemonetes pugio). *Environmental Toxicology and Chemistry* , 1-30.

Yurtsever, M. (2020). *Bazı Gıdalarda Mikroplastik.* İsranbul: Tubitak.

Yurtsever, M. (2020). *Gıdalardaki Mikroplastik Kirliliğinin İncelenmesi.* Sakarya: Türkiye Bilimsel ve Teknolojil araştırma.

Yurtsever, M. (2018, 02 10). Küresel Plastik Kirliliği, Nano-mikroplastik Tehlikesi ve Sürdürebilirlik. *Çevre Bilim ve Teknoloji* , 171-90.

Yurtsever, M. (2015). Mikroplastiklere Genel Bir Bakış. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi* , 68/83.

Yurtsever, M. (2019). NANO- VE MİKROPLASTİK' LERİN İNSAN SAĞLIĞI VE EKOSİSTEM. *Menba Kastamonu Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Dergis* , 17-24.

Zimmermann, a. (2020). Are bioplastics and plant-based materials safer than conventional plastics? In vitro toxicity and chemical composition. *Environment International* , 1-11.

KIZILIRMAK'TA MİKROPLASTİK KİRLİLİĞİ

Beyza Özkor[1], Hakan Dulkadiroğlu[2, *]

[1] *Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü 50300, NEVŞEHİR, beyzaozkor70@gmail.com*

[2,*] *Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü 50300, NEVŞEHİR, hakandulkadiroglu@nevsehr.edu.tr*

Özet

Mikroplastikler, boyutu 5 mm'nin altındaki sentetik katı partiküller veya polimerik yapılar olarak tanımlanmaktadır. Düzenli veya düzensiz şekilli olabilmekte ve suda çözünmemektedirler. Kökenleri birincil kaynaklar olabildiği gibi, büyük plastik parçaların mekanik, ışık veya biyolojik etkenlerle parçalanması sonucu ikincil kaynaklar da olabilmektedir ve uzak mesafelere taşınabilmektedirler. Mikroplastikleri iç kesimlerden denizlere taşıyan en önemli vasıta akarsulardır. Bu nedenle akarsular üzerinde yapılacak araştırmalar mikroplastik kirliliğinin belirlenmesi ve önlenmesi bakımından büyük önem taşımaktadır. Dünyada ve ülkemizdeki mevcut çalışmalar ise oldukça sınırlıdır. Bu çalışmada Kızılırmak nehrinin Nevşehir ve Kırşehir kesiminde belirlenen noktalarda mikroplastik kirliliği araştırılmıştır. Çalışmada iki farklı örnekleme yöntemi uygulanmıştır: İlk yöntemde ırmağın yüzeye yakın noktasından alınan 100 L su numunesi 200 µm gözenek çaplı elekten geçirilmiş ve elek üstündeki katı maddeler oksidasyon ve yoğunluk farkıyla ayırma yöntemleriyle ayrıştırıldıktan sonra kalıntı mikroskop altında 40x büyütme ile incelenmiştir. İkinci yöntemde ise 500 µm gözenek çaplı kepçe ırmağın akıntılı bir noktasında ve yüzeye yakın şekilde 5 dk tutulmuş, yakalanan katı maddeler ilk yöntemdeki işlemlere tabi tutulmuştur. Çalışma sonucunda elekle örneklemede hem Nevşehir, hem de Kırşehir'den alınan örneklerde mikroplastiğe rastlanmış fakat miktarı tespit edilememiştir. Kepçeyle örneklemede ise mikroplastiğe rastlanmamıştır.

Anahtar Kelimeler: Mikroplastik, Kızılırmak, akarsu

Abstract

Microplastics are defined as synthetic solid particles having size under 5 mm. They can be in regular or irregular shapes and not soluble in water. Their origins can be primary sources or secondary sources which is the degradation of larger size plastics by mechanical, photo, or biological factors, and they can be transported far away. Rivers are the most important vehicle transporting microplastics from inland to seas. Therefore, researches on rivers are very important concerning determining and prevent of microplastic pollution. But, the studies in the world and our country are limited. In this study, microplastic pollution was investigated on the points determined in Nevşehir and Kırşehir district of Kızılırmak river. Two different sampling methods were applied in the study: In the first method, 100 L water sample taken from the point near the surface of the river was filtered from the sieve having 200 µm pore size, and after the material on the sieve were decomposed by oxidation and density difference, microplastics were searched under a microscope by 40x magnification. In the second method, the sampling net with 500 µm was held at a streaming point and near the water surface for 5 min, and then the procedure was applied to the material captured in the net. Both on the sampling points in Nevşehir and Kırşehir, microplastics were determined in the samples taken by sieve, but they could not be quantified. Any microplastic was not determined in the samples taken by the net.

Keywords: Microplastic, Kızılırmak, river

DETERMINATION OF THE IMPACT MICROPLASTICS IN GREYWATER ON WATER STABLE AGGREGATE RATIO

Betül BALCI[1], Derya AYRAL ÇINAR[2]

[1]Gebze Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, 41400, Gebze/KOCAELİ b.balci2020@gtu.edu.tr

[2]Gebze Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, 41400, Gebze/KOCAELİ deryacinar@gtu.edu.tr

Abstract

Grey water is defined as a domestic wastewater category generally produced from bathroom, laundry and kitchen except for toilet waste. Reuse of grey water is an option for water management and contributes to the reduction of freshwater use for irrigation. Furthermore, grey water has the potential to promote plant growth when used as irrigation water because of the nutrients it involves. However, the use of grey water for irrigation can adversely affect soil properties and plant growth despite its potentials. Particularly in recent years, microplastics, whose environmental effects have started to be understood, are released into grey water by use through laundry and personal care products. It is observed that microplastics in grey water also negatively affect plant growth and the biophysical properties of the soil. In the literature, it is determined that microplastics especially affect the physical properties of the soil like bulk density, ratio of water stable aggregate and water holding capacity, as well as root, shoot length, and dry weight of the plants. Water stable aggregates are structures that protect the soil against erosion, improve its physical, biological and chemical properties, and increase its productivity. Therefore, the ratio of water stable aggregates in the soil is an important parameter.

The aim of this study is to determine how synthetic grey water containing microplastics affects the water stable aggregate ratio in the soil. To prepare synthetic grey water, two major components of grey water, washing machines and personal cosmetics, were considered. The dominant microplastic types in these two components, polyester and polyethylene, were used to prepare synthetic grey water. Microplastic concentration was determined based on the minimum and maximum microplastic concentrations reported in the literature. The initial moisture of the soil filled in the pots was adjusted to remain in the range of 10-30%, which was specified as the water content of the agricultural soils. Afterwards, the soil samples filled in approximately 2 liter pots and the plants were irrigated with the synthetic grey water and the water stable aggregate ratio is being measured. For water stable aggregate analysis, the soil dried at room temperature will be placed on 2.0 mm, 0.25 mm sieves and the soil will be wetted slowly using a spray bottle until the aggregates are saturated with water. The sieves will be immersed in a bucket filled with water 30 times for 10 minutes and removed. The soil material passing through the sieve and the remaining fraction of the sieve shall be collected, dried and weighed to calculate the ratio of water resistant soil aggregates (WSA).

Keywords: Grey water, microplastic, , irrigation, water stable aggregate ratio

Acknowledgement:

This study was supported by G2021-A-101-14 GTU scientific research project.

DETERMINATION OF THE EFFECT OF POLYPROPYLENE MICROPLASTICS ON NICKEL ADSORPTION IN SOIL AT DIFFERENT HUMIDITY CONDITIONS

Dilara B. BARTAN[1], Derya AYRAL ÇINAR[1],

[1] *Gebze Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü 41400, Gebze/KOCAELİ*

dilara.bartan2016@gtu.edu.tr ;deryacinar@gtu.edu.tr

Abstract

Microplastics (MP), which are plastic particles smaller than 5 mm, are produced for various uses or are formed by the decomposition of plastics under various environmental conditions. The main risks of MP are the damage they cause to living organisms in both aquatic and soil environments and their entry into the food chain. In addition, MPs may pose environmental risks as they can facilitate the transport of these pollutants in environment by adsorbing various organic and inorganic pollutants. Studies on the adsorption of various pollutants on MPs have increased in recent years, but many studies on MP pollution have focused on the aquatic environment and studies on understanding the fate of pollutants in the soil system contaminated with MPs have been limited.

The application of biosolids to agricultural soils has become more widespread to increase the organic matter content of the soil and achieve waste recycling at the same time. However, heavy metal transfer from biosolids to soil can be an important source of pollution. It has been reported that the concentration of Nickel heavy metal in the biosolid can be higher than the amount declared in the regulation. In addition, it has been observed that agricultural soils may contain MP due to plastic mulches, and it has been found that especially Polypropylene (PP) type microplastics are common in the soil environment. Therefore, agricultural soils have been determined as environments where MP and heavy metals can coexist and MPs can affect the fate of heavy metals. In addition, impact of environmental conditions such as pH, dissolved organic matter content, and ionic strength on adsorption kinetics of MPs in soil media was investigated in the literature. However, the effect of soil moisture content has not been studied although it is predicted that conditions such as high temperatures and droughts due to climate change may decrease the moisture content of the soil.

The aim of the study is to examine the effect of PP, one of the common MP species in the soil environment, on the adsorption of Ni heavy metal, which can be transferred to the soil environment by biosolid applications, in soil. Moreover, the effect of the expected decrease in soil moisture content due to climate change on Nickel adsorption in a soil medium was investigated. For this purpose, soil samples containing 150 mg/kg Nickel at moisture content of 30% and 45% were prepared. Then, 0.1%, 1% and 10% by weight of PP MP was added to the soil samples and the prepared mixtures were shaken mechanically. Supernatant was obtained at different times by centrifuging the soil mixtures. The nickel concentration in the filtrate was measured by ICP. For all cases. The amount of Nickel adsorbed was calculated using the difference between the initial dissolved Nickel and the amount of Nickel in the filtrate.

Nickel adsorption capacity of the soil was calculated at different MP concentrations and moisture contents, and adsorption rate constants were determined according to pseudo first order, pseudo second order and intraparticle diffusion models. Among the kinetic models, the second order pseudo model was found to represent the adsorption kinetics best. It ıs found that 0.1% and 1% MP concentration did not have a significant effect on Nickel adsorption capacity, but low moisture content caused a decrease of about 30% in adsorption capacity. This shows that regardless of MP concentration, moisture changes that may occur due to climate change may affect the fate of Nickel in the soil.

Keywords: ***Microplastic, soil, nickel, adsorption, moisture***

Acknowledgement:

This study was supported by the TUBITAK project number 2209-A.

SU VE SEDİMAN ORTAMINDAKİ MİKROPLASTİKLERİN AKIBETİ VE ETKİLERİ: SAMSUN KIYI ŞERİDİ ÖRNEĞİ

INVESTIGATION OF MICROPLASTIC POLLUTION IN SAMSUN COASTLINE SEA WATER AND SEDIMENT ENVIRONMENT

H.Burak ÖZPOLAT[1,*], Mehmet AK[1,*], Arife ŞİMŞEK[2,*], Gülfem BAKAN[1]

[1]Ondokuz MayisUniversity,Faculty of Engineering, Environmental Engineering Department,55139 Samsun, Turkey.

[2]Ondokuz Mayis University, Karadeniz Advanced Technology Research and Application Center,55200, Samsun, Turkey.

Özet

Plastikler, modern toplumda vazgeçilmez rol oynayan organik polimerlerdir. Bunlara örnek olarak çantalar, elektronik ürünler, mobilyalar ve giysiler gibi günlük eşyaların üretiminde yaygın olarak kullanılır. Mikroplastikler (MP) ise, boyutu 5 mm'den küçük olan plastik döküntüleri ifade eder. Bunlar ya doğrudan çevreye salınır ya da daha büyük plastik döküntülerin bozunmasıyla oluşur. Plastik döküntülerle birlikte mikroplastikler, çevre kirliliği, çeşitli karasal ve sucul ekosistemlerin yaşayabilirliği ve sürdürülebilirliği için bir tehdit haline gelmiştir. İnsanların günlük plastik malzeme kullanımlarına ek olarak COVID-19 salgını nedeniyle tek kullanımlık plastik tüketimi (maske ve eldiven gibi kişisel koruyucu ekipmanlar dahil) artmıştır. COVID-19'un mikroplastik kirliliğine etkileri, çevre ve insan sağlığı üzerindeki potansiyel riskleri hakkında kısa ve uzun vadeli senaryolar göz önüne alınarak mikroplastiklerin varlığı sorgulanmalıdır. Mikroplastik kirliliği, ortaya çıkan küresel bir tehlikedir. Mevcut araştırmaların çoğunun odak noktası deniz ortamındaki mikroplastikler olmuştur. Ancak çalışmaların kapsamının arttırılması hem atmosfer hem su, hem sediman ortamlarında araştırmaların geliştirilmesi ve etkilerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, Orta Karadeniz Bölgesi Samsun kıyı şeridinde (Costal sahili, Golf kulübü, Atakum sahili, Atakent sahili, Kurupelit sahili, Çatalçam sahili) 6 örnekleme noktasından alınan su ve sediman numunelerinde mikroplastik kirliliği belirleme çalışması yürütülmüştür. Optik mikroskop kullanılarak mikroplastiklerin sayısı ve renklere göre dağılımı belirlenmiştir. Mikroplastiklerin türünü testpit etmek için FTIR (Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi) kullanılmıştır. Çalışmamızda elde edilen sonuçlara göre mikroplastiklerin Samsun kıyı şeridindeki mevcut durumu belirlenmiş, ekosistem üzerinde ki olası olumsuz durumlar ele alınarak bu etkilerinin en aza indirgenmesi için öneriler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Deniz Kirliliği, Mikroplastik, Mikroplastik Kirliliği, Sediman

Abstract

Plastics are organic polymers that play an indispensable role in modern society. It is widely used in the manufacture of everyday items such as bags, electronics, furniture, and clothing, for example. Microplastics (MP) refers to plastic debris smaller than 5 mm in size. These are either released directly into the environment or are formed by the decomposition of larger plastic debris. Along with plastic debris, microplastics have become a threat to environmental pollution, the viability and sustainability of various terrestrial and aquatic ecosystems. In addition to people's daily use of plastic materials, disposable plastic consumption (including personal protective equipment such as masks and gloves) has increased due to the COVID-19 outbreak. The existence of microplastics should be questioned considering the short and long-term scenarios about the effects of COVID-19 on microplastic pollution and its potential risks on the environment and human health. Microplastic pollution is an emerging global hazard. The focus of most current research has been on microplastics in the marine environment. However, it is necessary to increase the scope of the studies, to develop researches in both atmosphere, water and sediment environments and to determine their effects. In this study, microplastic pollution determination study was carried out in the water and sediment samples taken from 6 sampling points in the Central Black Sea Region Samsun coastline (Costal beach, Golf club, Atakum beach, Atakent beach, Kurupelit beach, Çatalçam coast). The number of microplastics and their distribution by color were determined using an optical microscope. FTIR (Fourier transform infrared spectroscopy) was used to test the type of microplastics. According to the results obtained in our study, the current situation of microplastics on the Samsun coastline was determined, possible negative situations on the ecosystem were discussed and suggestions were presented to minimize these effects.

Keywords: Marine Pollution, Microplastic, Microplastic Pollution, Sediment

1. GİRİŞ

Plastikler, dayanıklılık, su direnci ve güçlü korozyon direnci gibi mükemmel fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip bir tür yüksek moleküler polimerlerdir. Plastik döküntüler olarak karşımıza çıkan mikroplastik kaynakları birincil ve ikincil mikroplatikler olarak ayrılmaktadır. Birincil mikroplastikler, belirli endüstriyel veya evsel uygulamalar için mikroskobik boyutta olacak şekilde üretilen mikroplastiklerdir. Yüz temizleyicilerinde, diş macununda, reçine topaklarında ve duş/banyo jelleri, fırçalar, peeling'ler, göz farı, deodorant, maskara, tıraş kremi gibi kozmetik ürünlerinde kullanılan plastik parçacıkları içerir [1]. Süpermarketlerdeki yüz temizleyicilerin yaklaşık %7,1'inin günlük yıkama yoluyla doğrudan denizlere girebilen mikroplastiklerin olduğu görülmüştür [2]. Bunun yanı sıra bebek ürünleri, saç boyası, oje, böcek kovucular ve güneş kremleri de mikroplastik içermektedir. Sentetik elyaf içeren giysiler günlük yaşamımızda yangın olarak kullanılan mikroplastik içeren ürünlerdendir. Bu ürünlerin kullanımıyla birlikte yıkama işlemi neticesinde mikroplastikler atıksu arıtma tesisinden doğaya karışmakta ve çevre kirliliğine neden olmaktadır.

İkincil mikroplastikler ise büyük mikroplastik parçacıkların kontrolsüz bir şekilde doğal ortama bırakılması ve parçalanması sonucu (güneş ışınları ve Uv ışınları etkisiyle) bu ortamlarda kirliğe sebep olurlar [3]. Her iki kaynaktan gelen mikroplastikler, denizlere yüzey akışı, atıksu arıtma tesisi çıkışları, su ürünleri yetiştiriciliği ve balıkçılık, evsel ve endüstriyel atıkların boşaltılması ve hatta atmosferik emisyonlar yoluyla girebilir [4,5].

2004 yılında İngiliz bilim adamı Thompson, mikroplastikleri ilk olarak küçük boyutlu plastik parçacıklar olarak tanımlamıştır [6,7]. Mikroplastikler genellikle (1-5mm çapında plastikler) okyanuslar, denizler, göller, nehirler ve sediman ortamlarında bulunabilirler. Kararlı kimyasal özellikleri nedeniyle bu ortamlarda çok uzun yıllar kalabilirler [8]. Hem kum hem de çakıldan oluşan tüm plajlar, dünyanın hızla değişen kıyı ekosistemleri arasındadır [9]. Plajlar, sık olmayan plaj kumundan (sertleşmemiş sediman) oluşan sedimanlardır ve bu parçacıklar (örn. kum, çakıl taşları, parke taşları) tipik olarak kaya parçalarından, mineral taneciklerinden ve biyolojik kaynaklardan (örn. kabuklar, algler, parçalanmış iskelet malzemesi) oluşur.

Endüstrilerde üretilen ürünlerin kullanımından kaynaklanan döküntüler, cam, tuğla ve çeşitli çöp türleri de dahil olmak üzere, sanayi devriminden bu yana yüz yıllar boyunca birçok plajın sedimanında önemli bir bileşen haline gelmiştir. Son yıllarda, mikroplastikler, sahil sedimanları için, baskın bir bileşendir ve bu materyallerin artık birçoğu kıyı kirliliği çöpü çalışmaları için odak noktası olarak ele alınmaktadır [9].

Bugüne kadar, mikroplastikler yalnızca deniz suyu ve sedimanlarda dağılmakla kalmamakta, aynı zamanda küçük boyutları nedeniyle çok çeşitli deniz organizmaları tarafından kolayca yutulmaktadır [7]. Böylece, mikroplastik kirlilik deniz ekosistemleri için potansiyel bir tehdit haline gelmektedir.

Mikroplastikler, Polietilen tereftalat (PET); yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE); sert PVC, esnek PVC, poli-vinil asetat (PVAc) olarak da değişebilen poli-vinil klorür (PVC); düşük yoğunluklu polietilen (LDPE); polipropilen (PP) ve polistiren (PS) gibi plastik polimerlerin ürünüdür. Mikroplastiklerin dağılımı, büyüklükleri ve olumsuz yan etkileri tüm kıyı ve deniz ortamlarında belgelenmiştir. Bu ortamlar arasında derin deniz, kıta sahanlığı, su sütunu, kutup bölgeleri, plajlar, kum tepeleri, lagünler , haliçler, fiyortlar gibi birçok ortamda bulunması nedeni ile mikroplastikler artık kıyı deniz ortamında yaygın ve geniş alanlara dağılımları önemli bir tehdit oluşturmuştur [10]. Bu çalışmanın amacı, su ve sedimandaki farklılıkların ve benzerliklerin Karadenizde 'de gözlenen MP bolluklarını nasıl etkilediğini özetlemek, Karadeniz Bölgesi Samsun Kıyı Şeridinde ki mevcut mikroplastik varlığını değerlendirmektir.

2. MATERYEL METOT

2.1. Çalışma Alanının Tanıtılması

Samsun, Karadeniz Bölgesi'nin Orta Karadeniz Bölümü'nde merkezî bir noktada yer almaktadır. Orta Karadeniz Bölgesinde yer alan Samsun'un Karadeniz sahilinin toplam uzunluğu 120 km'dir. Yakakent'ten Terme Miliç'e kadar uzanan bu sahil, derinliği kimi yerlerde 200 metreye ulaşan kumsalı içermektedir. Samsun merkezden ve özellikle Atakum bölgesinden başlayarak plaj sayısı çoğalmaktadır. Yine Atakum ve Ondokuzmayıs bölgelerinden başlayarak sahil otelleri, restoran ve eğlence mekanlarının artmasıyla kıyı faaliyetleri nedeniyle kirlilik potansiyeli de artış göstermektedir. Kıyı yerleşimlerinden kaynaklanan atıksuların deşarjı ve sahil şeridini kirleten katı atıkların bertarafı kaçınılmaz sorunlar arasındadır.

Bu çalışmada su analizleri için; Costal (W1),Golf kulübü (W2), Atakum (W3), Atakum iskele sonu (W4), Atakum iskele sonu ikinci tekrar (W5) Atakent (W6), Atakent iskele sonu (W7), Atakentiskele sonu ikinci tekrar (W8), Kurupelit (W9), ve Çatalçamdan (W10), sediman numuneleri ise Tablo 1'de verilen noktalardan alınmıştır.

Tablo 1: Sediman numunelerinin derinlik, mesafe ve tanımlamaları

Numuneni adı		Deniz içi derinlik (m)	Deniz suyunun vurduğu mesafe (m)	Sahil şeridi (m)
Costal deniz	S1	10	-	-
Costal dalgalı alan	S2	2,5	-	-
Costal sahil	S3	-	-	3
Costal deniz ikinci tekrar	S4	20	-	-
Golf kulubü deniz	S5	10	-	-
Golf kulubü dalgalı alan	S6	-	1,5	-
Golf kulubü sahil	S7	-	-	3
Atakum deniz	S8	10	-	-
Atakum dalgalı alan	S9	-	1,5	-
Atakum sahil	S10	-	-	3
Atakum iskele	S11	100	-	-
Atakent deniz	S12	8	-	-
Atakent dalgalı alan	S13	-	3	-
Atakent sahil	S14	-	-	1,5
Atakant iskele	S15	200	-	-
Kurupelit deniz	S16	10	-	-
Kurupelit dalgalı alan	S17	-	3	-
Kurupelit sahil	S18	-	-	2,5
Çatalçam deniz	S19	15	-	-
Çatalçam dalgalı alan	S20	-	1	-
Çatalçam sahil	S21	-	-	2,5
Çatalçam deniz ikinci tekrar	S22	20	-	-

Costal Samsun'un tarım ve sanayi bölgesinde bulunduğu için kirlilik yükü diğer bölgelere oranla fazladır. Golf kulübü bölgesinde de ise endüsriyel tesislerden kaynaklı atık yoğunluğu gözlemlenmektedir. Atakum, Atakent, Kurupelit ve Çatalcam bölgelerinde plaj ve balıkçılık faaliyetlerinden dolayı oluşan kirlilik yaz aylarında oldukça yüksektir. Bu nedenle bu bölgelerde ki kirlilik yoğunluğunun mikroplastiklerin etkisi olduğu düşünülerek mevcut örnekleme noktaları ele alınmıştır.

2.2. Örnekleme ve Analiz

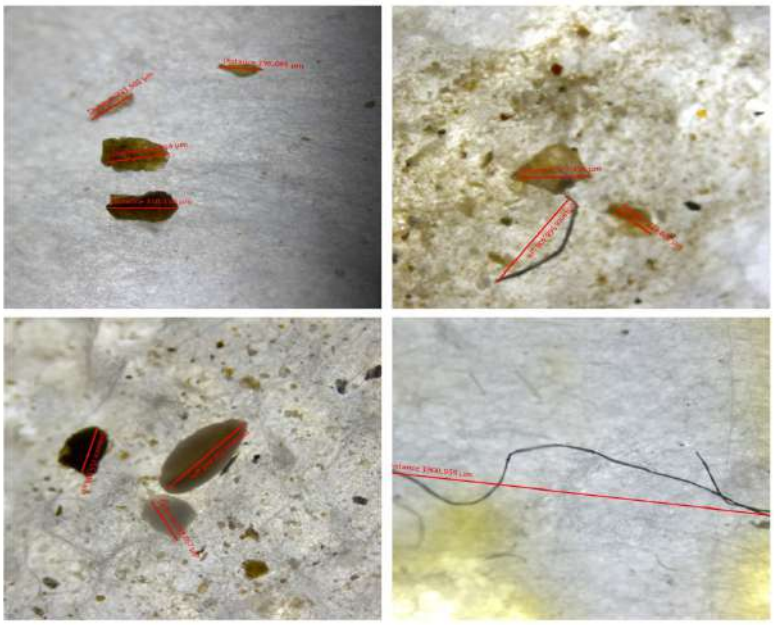
Bu çalışmada, belirlenen toplam altı numune bölgesi seçilmiş olup bazı bölgeler için ikinci bir ölçüm işlemi gerçekleştirilmiştir. Çalışmamızın doğruluğunu teyit etmek için hata ve standart sapmalar ele alınmış ve bunun neticesinde değerlendirilme yapılmıştır. Su numunelerinde NOAA, 2015 [11] mikroplastikler için laboratuvar metotları rehber alınarak mikroplastiklerin tayini yapılmıştır. Mikroplastik analizi; alınan 100 mL su numunesinin içerisine 20 mL Demir Çözeltisi, 20 mL %30 Hidrojen Peroksit (H_2O_2) ve yoğunluğu artırmak için 6 gr NaCl eklendi. Behere alınan numuneler 75 ^oC'de 30 dakika karıştırılmıştır. Numuneler içerisinde plastik türevleri varsa beher içerisinde mikroplastikler belirmeye başlayacaktır. ZEISS AX10 Lab-1 Mikroskop Axiocam 105 color marka mikroskop ile mikroplastik resimleri çekilmiştir. Olympus CX31 marka mikroskop ile mikroplastiklerin sayımı yapılmıştır. Mikroplastiklerin polimer türünü belirmek için PerkinElmer UATR Two marka Atr-FTIR yardımıyla belirlenmiştir.

Sediman numunelerinde mikroplastikleri incelemek için; her kuru sediman numunesinden 10g, 250 mL'lik behere aktarılmış ve 150 mL konsantre NaCl solüsyonu (yoğunluk: 1.2 g/ mL) üç adımda 50 mL ilave

edilerek manyetik karıştırıcı yardımıyla 1dakika karıştırılmış ve 5 dakika çökmesi sağlanmıştır. Daha sonra organik maddeyi sindirmek için 5 mL %30 w/w H_2O_2 ilave edilmiş, beher kontaminasyonunu önlemek için alüminyum folyo ile kaplanmış ve 24 saat bekletilmiştir. Numuneler selüloz filtre kağıdından vakum filtrasyonu düzeneğiyle süzülmüş ve filtre kağıtları petri kabına yerleştirilmiştir. Sonra ZEISS AX10 Lab-1 Mikroskop Axiocam 105 color marka mikroskop ile mikroplastik resimleri çekilmiştir. Olympus CX31 marka mikroskop ile mikroplastiklerin sayımı yapılmıştır [12]. Son olarak mikroplastiklerin polimer türünü belirmek için PerkinElmer UATR Two marka Atr-FTIR yardımıyla belirlenmiştir.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Belirlenen noktalardan alınan su ve sediman numunelerinden yoğunluk ayrımı yapıldıktan sonra optik mikroskop ile mikroplastik sayımı yapılmış ve toplamda 4389 adet mikroplastik sayılmıştır. Optik mikroskopta sayım yapılırken siyah, kırmızı, mavi, yeşil, turuncu, sarı, kahverengi ve mor renkte mikroplastikler belirlenmiştir. Şekil 1' de optik mikroskop ile çekilen mikroplastik görüntüleri verilmiştir.



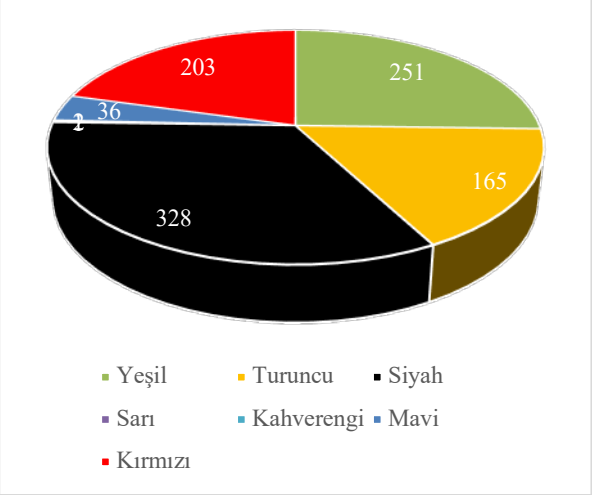
Şekil 1: Optik mikrroskop ile çekilen resimlerin görütüleri

3.1. Su Numuneleri İçin Mikroplastik Dağılımı

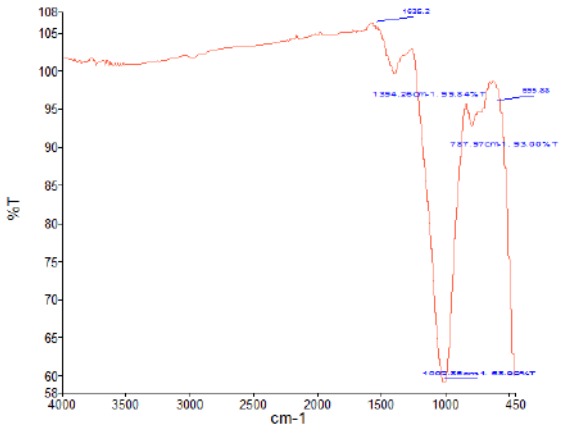
Optik mikroskopta sayımı yapılan mikroplastiklerin renklere ve numune noktalarına göre dağılımı ve toplam sayısı aşağıda Tablo 2'de ve toplam renk dağılımı Şekil 2'de verilmiştir. Şekil 3 ve 4 'te ise sırasıyla Atakent iskele ve costal örnekleme noktalarından alınan su örneklerinin FTIR sonuçları yer almaktadır.

Tablo 2: Su numuneleri mikroplastik renk dağılımları

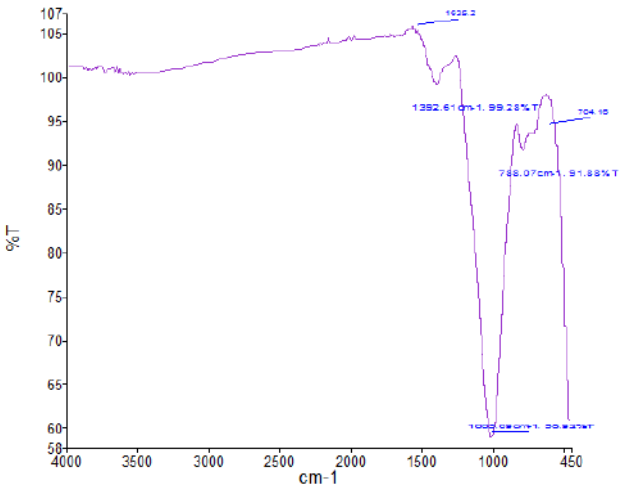
	Numune Noktaları										
Renkler	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8	W9	W10	Toplam
Yeşil	9	13	65	41	7	12	9	45	38	12	251
Turuncu	5	0	103	10	10	7	0	6	9	15	165
Siyah	10	20	70	79	33	13	6	31	37	29	328
Sarı	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Kahverengi	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Mavi	0	0	13	3	0	4	0	13	3	0	36
Kırmızı	5	7	34	50	13	15	0	50	21	8	203



Şekil 2: Su numuneleri mikroplastiklerin renk diyagramı



Şekil 3 : Atakent İskele örnekleme noktası su numunesi FTIR analizi



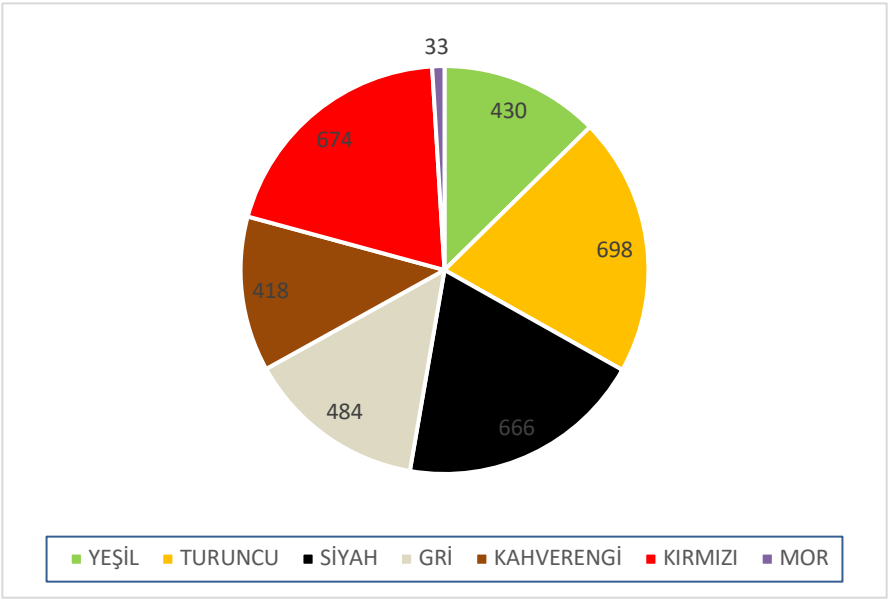
Şekil 4: Costal örnekleme noktası su numunesi FTIR analizi

3.2. Sediman Numuneleri için Mikroplastik Dağılımı

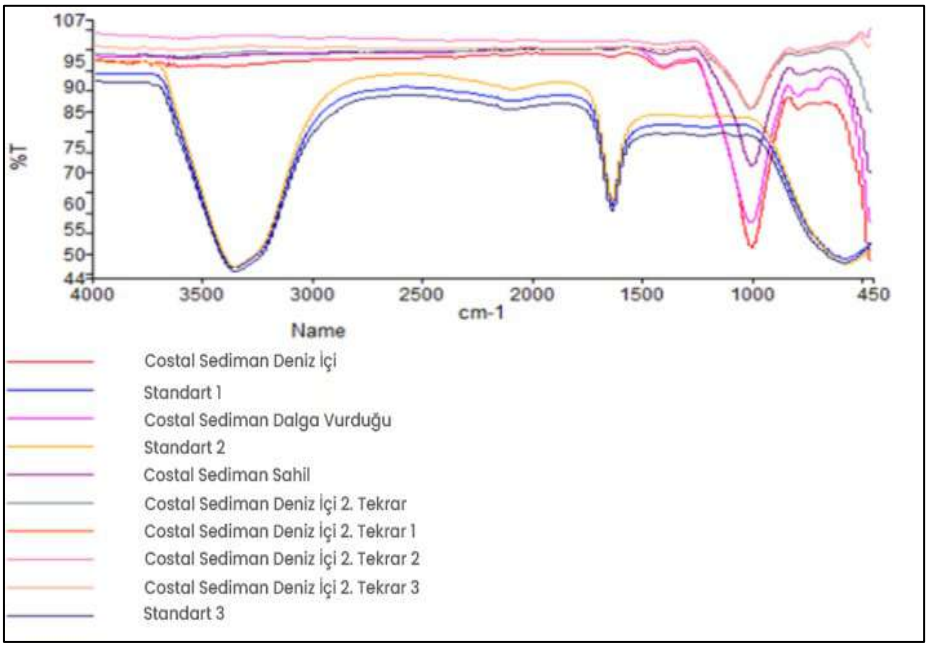
Optik mikroskopta sayımı yapılan mikroplastiklerin renklere ve numune noktalarına göre dağılımı ve toplam sayısı aşağıda Tablo 3'de ve toplam renk dağılımı Şekil 5'te verilmiştir. Şekil 6'da Costal örnekleme noktasından alınan sediman numunesi FTIR sonucu yer almaktadır.

Tablo 4: Sediman numuneleri mikroplastik renk dağılımları

Noktalar / Renkler	Yeşil	Turuncu	Siyah	Gri	Kahverengi	Kırmızı	Mor
S1	43	39	48	33	40	41	0
S2	8	14	15	26	11	26	0
S3	28	33	29	34	6	27	0
S4	39	34	18	20	24	23	0
S5	21	61	67	69	31	75	0
S6	29	13	44	31	2	69	0
S7	24	16	43	29	13	43	0
S8	8	21	27	12	20	22	0
S9	3	13	21	26	11	11	0
S10	9	8	12	14	3	15	0
S11	16	16	35	42	30	22	0
S12	19	22	31	12	31	31	0
S13	3	25	22	22	12	34	0
S14	30	35	23	20	13	33	0
S15	41	50	51	8	36	38	0
S16	17	65	33	24	16	26	0
S17	32	78	54	33	32	39	0
S18	20	67	22	0	58	23	1
S19	9	14	8	12	13	1	8
S20	10	32	23	2	7	26	4
S21	17	19	29	3	0	22	17
S22	4	23	11	12	9	26	3
Toplam	430	698	666	484	418	674	33
Genel toplam	3403						



Şekil 5: Sediman numuneleri mikroplastiklerin renk diyagramı



Şekil 6: Costal örnekleme noktası sediman numunesi FTIR görünümü

Ftır sonucunda çıkan pick değerleri litarütür araştırılması yapıldığında [13] oluşan picklerin aynı olduğu gözlenmiştir. Bununla birlikte, önceki çalışmalara göre, araştırmacılar genellikle bir şeridi veya filmi mikroskoplarla filtre kağıtları üzerinde mikroplastik olarak tanımlarlar. Elbette bu şeritleri veya filmleri FTIR ile PP, PS, PE olarak da kanıtlıyoruz. Ortaya çıkardıkları önemli bilgiler potansiyel kaynaklarla ilgili ipuçları sağlayabileceğinden, nitel sonuçlar MP çalışmalarında önemli bir rol oynar. MP raporları için en çok kullanılan dört özellik şunlardır; doğa (polimer kimyasal bileşimi ve yoğunluk), biçim, boyut ve renk. MP doğasını oluşturmak için, kimyasal bileşimi referans verilen bir plastik malzemeye karşılık geldiğinde bir parçacığın plastikten yapıldığı kabul edilir. Literatür, çökeltilerde bulunan başlıca MP'lerin, PE (oyuncaklar, süt şişeleri), PP (torbalar), PS (gıda ambalajı) ve PET (su şişeleri) dahil olmak üzere dört polimer türünü içerdiğini göstermektedir.

Ayrıca, Polietilen Tereftalat (PET), Polivinil Alkol (PVA), PS ve Polivinil Klorür (PVC) gibi diğer polimer türlerinin, endüstriyel önemi ve günlük kullanımdaki yüksek PE ve PP seviyeleri nedeniyle beklenmedik bir sonuç değildi. Ambalaj endüstrisi küresel olarak açık ara en büyük PE tüketen sektördür [14]. PP ve PE elyafların kullanımı tekstil endüstrisinde çok popülerdir. Bununla birlikte, diğer maddeler, plastik torbalar, filmler ve şişeler dahil olmak üzere bu polimerlerin parçalarından oluşabilir. Balık ağları, naylonun deniz ortamında temel uygulamalarından biridir, çünkü kimyasal morfolojileri bakımından güçlüdür ve uzun süre tuzlu suya maruz kaldığında bozulmaz. Deniz çökeltilerindeki ana mikroplastik türleri olarak PE, PP ve naylonun yaygınlığı daha önce bildirilmiştir [15, 16, 17]

4. SONUÇ

Yapmış olduğumuz çalışmada FTIR analiz verilerine dayanarak Karadeniz Bölgesi Samsun İli için mikroplastik atık olarak çıkan polyester ve polietilen polimer ve polimer türevleri etrafında mikroplastik türleri belirlenmiştir. Bu polimer türleri birincil ve ikincil mikroplastik kaynaklarıdır. Mikroplastikler, iki ana kaynak yoluyla deniz ortamına giren çok küçük plastik parçacıklarıdır; kozmetik ürünler ve genellikle daha büyük plastik döküntüler daha küçük parçalara ayrılır. Genellikle, bu plastik türü nehirler, atıksu arıtma tesislerinden gelen akış, rüzgar ve dalgaların etkisiyle deniz ekosistemine girer [18,19].

PET ve PP polimerler, balık ağları ve plastik şişeler üretmek için kullanılır. PE, plastik poşet ve saklama kaplarının imalatında kullanılmaktadır.

Sediman örneklerinden görünür bir mikroplastik plastik parçacığın FTIR analizi, karakteristik piklerin ortaya çıkması nedeniyle polietilen (PE), polipropilen (PP), polyesterler (PEST), polietilen tereftalat (PET) ve polivinil klorür (PVC) ile daha büyük bir benzerlik sergiledi. Bu polimerlerin FTIR spektrumunun incelenmesi, bu nedenle, çalışmadaki mikroplastik parçacıkların çeşitli polimerlerin bir karışımı olduğunu

göstermektedir. Bu mikroplastiklerin mevcudiyeti, sadece onların kaynağını ve kökenini göstermekle kalmaz, aynı zamanda bölgedeki plastik kirliliğinin büyüklüğü ile de ilişkilendirilebilir.
Yapılmış olan çalışmaları incelediğimizde mikroplastiklerin kirliliğinin çevre ve insan sağlığına etkilerinin daha fazla araştırılmasına ihtiyaç vardır. Şimdiye kadar yapılan araştırmalarda tehlike görülmüş ancak tam olarak tehlikenin boyutu kestirilememiştir Mikroplastik kirliliğinin azaltılabilmesi / önlenebilmesi amacıyla bazı önlemler alınmalıdır;

- Geri dönüşüm oranı artırılmalı, kaynağında ayrıştırma tercih edilmeli ve plastik malzemenin düzenli depolama sahalarına gönderilmemesinin sağlanması gerekmektedir,
- Plastik üretiminde ham madde olarak biyo-bozunur malzemeler kullanılmalı,
- Çamaşır makinelerinden kaynaklı mikro fiber salınımını önlemek için filtre kullanılmalı,
- Tek kullanımlık plastik kaşık, çatal, bıçak, pipetler yerine tekrar kullanılabilir nitelikte ürünler tercih edilmeli,
- Yasal düzenlemeler getirilmeli plastik üretimi, tüketimi, geri dönüşümü, bertarafı kontrol altına alınmalıdır.

5. Kaynakça

[1] Van Wezel, A., Caris, I., Kools, S.A., 2016. Release of primary microplastics from consumer products to wastewater in The Netherlands. Environ. Toxicol. Chem. 35, 1627–1631. https://doi.org/10.1002/etc.3316.

[2] Hintersteiner, I., Himmelsbach, M., Buchberger, W.W., 2015. Characterization and quantitation of polyolefin microplastics in personal-care products using hightemperature gel-permeation chromatography. Anal. Bioanal. Chem. 407, 1253–1259. https://doi.org/10.1007/s00216-014-8318-2.

[3] Efimova, I., Bagaeva, M., Bagaev, A., Kileso, A., Chubarenko, I.P., 2018. Secondary microplastics generation in the sea swash zone with coarse bottom sediments: laboratory experiments. Front. Mar. Sci. 313, 5. https://doi.org/10.3389/ fmars.2018.00313.

[4] Wright, S.L., Thompson, R.C., & Galloway, T.S. 2013. The physical impacts of microplastics on marine organisms: A review. Environmental Pollution, 178, 483-492. https://doi.org/10.1016/j. envpol.2013.02.031

[5] Zou Y., Ye C., Pan Y., 2020, Abundance and characteristics of microplastics in municipal wastewater treatment plant effluent: a case study of Guangzhou, China.

[6] Thompson RC, Olsen Y, Mitchell RP, Mitchell RP, Davis A, RowlandJ, John AWG, McGonigle D, Russell AE. 2004 . Lost at sea: Where is all the plastic? Science, 304(5672), 838–838. doi: 10.1126/science.1094559

[7] Liu R., Dong Y., Quan G., Zhu H., Xu Y., 2021, Ewardany R.M., Microplastic pollution in surface water and sediments of Qinghai-Tibet Plateau: Current status and causes,. http://dx.doi.org/10.31035/cg2021011

[8] Jiang Y., Yang F., Kazmi S.S.U.H., Zhao Y., Chen M., Wang J., 2022,A review of microplastic pollution in seawater, sediments and organisms of the Chinese coastal and marginal seas, https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131677

[9] Buitrago N.R., Olarte H.A., Trilleras J., Arana V.A., Barbosa E.M., Gracia C. A., Mendoza A.V., Neal W.J., Williams A.T., Micallef A., 2021, Microplastics pollution on Colombian Central Caribbean beaches, https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112685

[10] Sanchez L.S., Grelaud M., Franci M., Ziveri P., 2021, Are research methods shaping our understanding of microplastic pollution? A literature review on the seawater and sediment bodies of the Mediterranean Sea, https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118275

[11] Masura, J., Baker J. , Foster G. , Arthur C. 2015. Laboratory methods for the analysis of microplastics in the marine environment: recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments. NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-48.

[12] Pritzker P., Sullivan K.D., Callender R., July 2015, Laboratory Methods for the Analysis of Microplastics in the Marine Environment: Recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments NOAA Marine Debris Program National Oceanic and Atmospheric Administration U.S. Department of Commerce Technical Memorandum NOS-OR&R-48.

[13] Dilshad A., Taneez M., Younas F., Jabeen A., Rafiq M.T., Fatimah H., 2021. Microplastics Pollution in the Surface Water and Sediments from Kallar Kahar Wetland, Pakistan: Occurrence, Distribution and Characterization by FTIR

[14] Hong,Y.,Coombs, S.J., Cooper-White, J.J, Mackay, M.E., Hawker, C.J., Malmstöm, E., Rehnberg, N., 2000. Film blowing of linear low-destiny polyethylene blended white a novel hyperbranched polymer processing aid. Polymer 41,7705-7713

[15] Klein, S., Worch, E., Knepper, T.P., 2015. Occurrence and Spatial Distribution of Microplastics in River Shore Sediments of the Rhine-Main Area in Germany. Environ. Sci. Technol. 49, 6070–6076

[16] Naji, A., Esmaili, Z., Mason, S.A., Vethaak, A.D., 2017b. The occurrence of microplastic contamination in littoral sediments of the Persian Gulf, Iran. Environ. Sci. Pollut. Res. 24, 20459–20468.

[17] Sathish, N., Jeyasanta, K.I., Patterson, J., 2019. Abundance, characteristics and surface degradation features of microplastics in beach sediments of five coastal areas in Tamil Nadu, India. Mar. Pollut. Bull. 142, 112–118.

[18] Auta, H.S., Emenike, C.U., Fauziah, S.H., 2017. Distribution and importance of microplastics in the marine environment: a review of the sources, fate, effects, and potential solutions. Environ. Int. 102, 165–176. https://doi.org/10.1016/j. envint.2017.02.013.

[19] Esmeray E., Armutcu C., 2020. Mikroplastikler, Çevre-İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri ve Analiz Yöntemleri, 839-868.

EVSEL/KENTSEL NİTELİKLİ ATIKSULARDA MİKROPLASTİK KİRLİLİĞİ

Neriman Baylan[1,*], Pelin Koyuncuoğlu[2],Gülbin Erden[3]

[1*] *Pamukkale Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 20160, Pamukkale/DENİZLİ nbaylan12@posta.pau.edu.tr*

[2] *Pamukkale Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 20160, Pamukkale/DENİZLİ palicanoglu@pau.edu.tr*

[3] *Pamukkale Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 20160, Pamukkale/DENİZLİ gerden@pau.edu.tr*

Özet

1950 yılında yaklaşık olarak 2 milyon ton ile başlayan seri üretim süreci, yıllar içinde artış göstererek 2020 yılında 367 milyon tonluk bir plastik üretimi ile devam etmektedir. Plastiğin dayanıklılığı, uygun olmayan bir şekilde bertarafı ve aşırı kullanımı nedeniyle kontrol edilemeyen miktarda plastik atık birikimi gerçekleşmektedir. Bu plastik atıklar, hava koşullarına, bozunmaya ve mikrobiyal faktörlere bağlı olarak mikroplastik olarak adlandırılan parçacıklara ve liflere parçalanmaktadır. Mikroplastikler ilk olarak 1972 yılında Sargasso Denizi'nde denizanası ve alglerin yüzeyinde tespit edilmiştir. "Mikroplastik" terimi ilk olarak 2004 yılında kullanılmış; 2009 yılında da çapı 5 mm'ye kadar olan parçacıklar mikroplastik olarak tanımlanmıştır. Mikroplastik içerikli kişisel kozmetik ürünlerinin kullanımı, polyester gibi sentetik giysilerin yıkanması ve çeşitli endüstriyel faaliyetler sonucunda oluşan mikroplastikler doğrudan atıksu bünyesine alınmaktadır. Bu atıksular, günde milyonlarca mikroplastiği atıksu arıtma tesislerine ulaştırmaktadır. Atıksu arıtma tesisleri, mikroplastiklerin çevreye salınmasında önemli bir rol oynamaktadır. İstatistiksel bir analiz, dünya çapındaki atıksu arıtma tesislerinin her gün su ekosistemlerimize 8 trilyon mikroboncuk taşıdığını ortaya koymaktadır. Arıtma yöntemine bağlı olarak, atıksu arıtma tesisleri bazı mikroplastikleri giderebilmektedir. Ancak, mikroplastiklerin atıksu arıtma tesislerinden su kütlelerine girebileceği ve nihayetinde çevrede birikebileceği tespit edilmiştir. Bu yüzden, atıksu arıtma tesisleri hem deniz hem de tatlı su için bir mikroplastik kaynağı olarak tanımlanmaktadır. Bu bildiri kapsamında, literatür bilgisi ışığında evsel/ kentsel nitelikli atıksularda mikroplastiklerden numune alma, ön arıtma ve tanımlama tekniklerine yönelik yöntemler detaylı olarak incelenmiş; atıksulardaki mikroplastik türleri; şekil, renk, polimer tipi ve konsantrasyon açısından değerlendirilmiştir. Atıksu arıtma tesislerinde giriş ve çıkış noktalarında tespit edilen mikroplastik konsantrasyonları dikkate alınarak klasik atıksu arıtma tesislerinde mikroplastik giderme verimi irdelenmiştir.

Abstract

The mass production process, which started with approximately 2 million tons in 1950, has increased over the years and continues with a plastic production of 367 million tons in 2020. Due to the durability, improper disposal and excessive use of plastic, an uncontrollable amount of plastic waste accumulates. These plastic wastes are broken down into particles and fibers called microplastics depending on weather conditions, degradation and microbial factors. Microplastics were first detected on the surface of jellyfish and algae in the Sargasso Sea in 1972. The "microplastic" term first used in 2004 and in 2009 it was defined as particles up to 5 mm in size. Microplastics are taken directly into wastewater as a result of the use of microplastic-containing personal cosmetic products, the washing of synthetic clothes such as polyester, and various industrial activities. These wastewaters transport millions of microplastics to wastewater treatment plants per day. Wastewater treatment plants play an important role in the release of microplastics into the environment. A statistical analysis reveals that wastewater treatment plants around the world carry 8 trillion microbeads into our aquatic ecosystems every day. Depending on the treatment method, wastewater treatment plants can remove some microplastics. However, it has been found that microplastics can enter water bodies from wastewater treatment plants and eventually accumulate in the environment. Therefore, wastewater treatment plants are identified as a source of microplastics for both marine and fresh water. Within the scope of this paper, the methods for sampling, pretreatment and identification techniques of microplastics in domestic/municipal wastewater were examined in detail in the light of the literature; microplastic types in wastewater; evaluated in terms of shape, color, polymer type and concentration. Microplastic removal efficiency in conventional wastewater treatment plants was examined by considering the microplastic concentrations detected at the inlet and outlet points of wastewater treatment plants.

Keywords: Domestic/Municipal Wastewater, Microplastics, Isolation, Identification

1. GİRİŞ

Mikroplastikler ilk olarak 1972 yılında Sargasso Denizi'nde denizanası ve alglerin yüzeyinde tespit edilmiştir (Carpenter & Smith, 1972). Mikroplastik olarak adlandırılması ise 2004 yılında gerçekleşmiştir (Thompson vd., 2004). Mikroplastik terimi, Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi tarafından boyutu 5 mm'den küçük olan plastik parçalar olarak tanımlanmaktadır (Arthur vd., 2009). İki tür mikroplastik kaynağı bulunmaktadır. Birincil mikroplastikler, belirli amaçlara yönelik olarak özellikle mikro boyutta üretilen mikroplastiklerdir. İkincil mikroplastikler ise makroplastiklerin parçalanması ve bozunmasıyla oluşan mikroplastiklerdir (GESAMP G., 2016). Mikroplastikler, vektör görevi görerek organizmalara ve çevreye taşınmaktadır. Mikroplastikler, güçlü yüzey hidrofobikliği ve geniş spesifik yüzey alanı nedeniyle, ağır metaller ve organik kirleticiler gibi diğer çevresel kirlilikleri kolayca adsorbe edebilmektedir (Koelmans vd, 2016). Çeşitli kirleticilere maruz kalan mikroplastikler, bu kirleticilerin birikimine ve toksisitesinin artmasına sebep olmaktadır (Zhao vd, 2020).

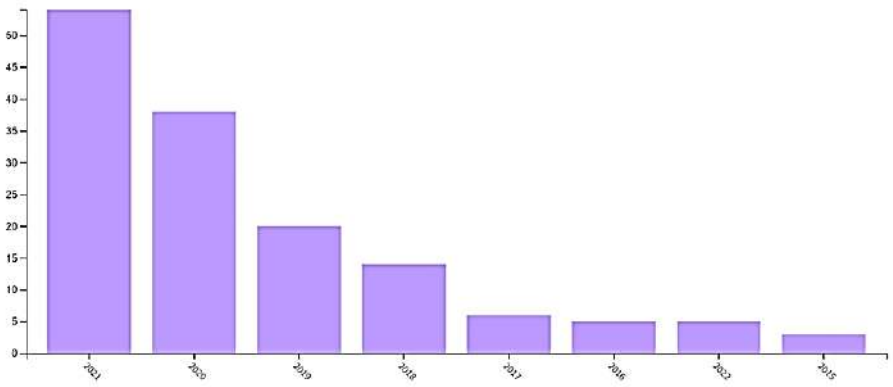
Mikroplastikler, besin zincirini etkilemekte, bakteri topluluklarına müdahele ederek türlerin gelişimi ve sucul ekosistemin işleyişi üzerinde olumsuz etkilere sebep olmaktadır (Ma vd., 2020). Bundan dolayı, sucul ortamlarda çalışmalar yapılmakta ve mikroplastikler sıklıkla tespit edilmektedir (Mao vd., 2020; Sayed vd., 2021; Tsering vd., 2021). Okyanus yüzeyinde 93-236 bin ton mikroplastik olduğu düşünülmektedir (Van Sebille vd., 2015). Mikroplastiklerin varlığı, sucul ekosistemde bulunan canlılar üzerinde çeşitli olumsuz sonuçlar doğurmaktadır. Örneğin, *daphnia magna* mikroplastiklere maruz kaldığında, yeni doğanların gelişimini ve üremesini azaltıcı yönde etki göstermektedir (Besseling vd, 2014). Avrupa'da her yıl 43.000–63.000 ton mikroplastiğin tarım topraklarına girdiği tahmin edilmektedir (Nizzetto vd, 2016). Mikroplastikler, vektör görevi görerek toprak kirliğinin artmasına sebep olmaktadır (Li vd, 2019). Mikroplastikler, mikrobiyal toplulukları ve topraktaki işleyişi olumsuz şekilde etkilemektedir (Guo vd, 2020). Mikroplastiklerin toprak üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle toprak canlıları zarar görmektedir. Örneğin, *caenorhabditis elegans*, bünyesine mikroplastik aldığında vücut uzunluğu, üreme kabiliyeti ve hayatta kalma oranları azalmaktadır (Lei vd, 2018). Mikroplastiklerin bünyeye alınması, hayvanlarda yalancı tokluk hissi yaratarak yetersiz beslenme ve ölüm gibi sonuçlara yol açabilmektedir (Duis ve Coors, 2016; Setälä vd, 2016b). Mikroplastikler, bitkilerde kök uzunluğu ve çimlenme oranları gibi hayati faktörler üzerinde olumsuz etkileri bulunmaktadır (Bosker vd, 2019). İnsanlar da mikroplastiklere çeşitli yollarla maruz kalmaktadır. Bu durum; içme suyu, sucul ve karasal gıda ürünlerinin tüketilmesi ve solunum yoluyla gerçekleşmektedir (Vethaak ve Leslie, 2016). Yapılan çalışmalarda içme suyu (Mason vd, 2018), bal (Liebezeit ve Liebezeit, 2015), şeker, (Liebezeit ve Liebezeit, 2013), bira (Liebezeit ve Liebezeit, 2014), maden suyu (Oßmann vd, 2018) ve sütte (Kutralam-Muniasamy vd, 2020) mikroplastiklere rastlanmıştır. Ayrıca, yapılan bir diğer çalışmanın sonuçlarına göre, bir fincan poşet çay tüketimi ile yaklaşık $3{,}1\times10^{9}$ adet mikroplastiğe maruz kalındığı tespit edilmiştir (Hernandez vd, 2019). Atmosferde bulunan mikroplastikler ise solunum yoluyla doğrudan ve sürekli olarak insan bünyesine alınmaktadır. 2019 yılında yapılan bir çalışmada, bir kişinin günde 272 adet mikroplastik soluduğu belirlenmiştir (Vianello vd, 2019). İnsanlarda mikroplastiklerin solunması ve yutulmasının oksidatif stres, hücresel hasar ve DNA hasarı gibi birçok biyolojik etkiye neden olabileceği bilinmektedir (Yong vd, 2020).

Mikroplastikler; evsel kullanım, endüstriyel deşarj ve yüzeysel akış gibi nedenlerle atıksu arıtma tesislerine ulaşmaktadır. Bu şekile, atıksu arıtma tesislerine her gün yüksek konsantrasyonlarda mikroplastik girişi olmaktadır (Dris vd, 2015). Mikroplastikler, atıksu arıtma kademelerinde yüksek verimlerle giderilmesine rağmen, atıksu arıtma tesisleri çok yüksek hacimlerde su arıttıkları için alıcı ortama deşarj edilen mikroplastik konsantrasyonları ciddi boyutlara ulaşmaktadır. Deşarj edilen atıksu, hem deniz hem de tatlı suya ulaşarak potansiyel bir mikroplastik kaynağı olarak tanımlanmaktadır (Cole vd, 2011).

Bildiri kapsamında, evsel ve kentsel nitelikli atıksularda mikroplastik kirliliği üzerinde yapılan çalışmalar incelenmiştir. Çalışmalardan elde edilen veriler ışığında, evsel ve kentsel atıksu kaynaklı mikroplastik kirlilik profilinin ortaya konması amacıyla mikroplastiklerin boyutu, konsantrasyonu, şekli ve polimer türü değerlendirilmiştir. Bunun yanı sıra atıksularda mikroplastiklerin tespiti için gerekli ön işlemler ve analiz yöntemleri detaylı olarak irdelenmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

Denizlerde mikroplastik kirliliği konusunda son yıllarda yoğun olarak araştırmalar bulunmaktadır (Sainio vd., 2021; Tošić vd., 2020 ; Zhu vd., 2021). Atıksularda mikroplastik kirliliğinin tespitine yönelik çalışmalar ise 2015 yılından itibaren yoğunlaşmıştır. Bildiri kapsamında, çalışmaların yoğunlaştığı 2015 yılından itibaren yapılan yayınlar için Web of Science veri tabanında bir literatür taraması yapılmıştır."Microplastics" ve "wastewater" kelimeleri ile başlık kategorisinde gerçekleştirilen arama ile aşağıdaki grafik elde edilmiş olup; 2015 yılı içerisinde konu ile ilgili yayın sayısı 3 iken, bu sayı yıllar içericinde dereceli olarak artış göstermiş, 2021 yılında konu ile ilgili yayın sayısı 55 adete ulaşmıştır. Bu sonuç, atıksularda mikroplastik kirliliği konusuna olan ilginin son 6 yıl içerisinde ivme kazandığı gözlenmiştir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. 2015-2021 yılları arasında atıksularda mikroplastik kirliliği üzerine yapılan yayın sayıları

3. ATIKSULARDA MIKROPLASTIK KIRLILIĞININ TESPITINE YÖNELIK ÖN IŞLEMLER

3.1. Numune Alma

Mikroplastiklerin çevresel numunelerde tespiti için ilk adım numune alma aşamasıdır. Mikroplastiklerin örnekleme işlemleri yerinde veya laboratuvar ortamında gerçekleştirilir. Yerinde numune alma yöntemi ile, belirli hacimdeki atıksuları belirli zaman aralığında tek veya bir dizi elek kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Kullanılan elek sayısı ve gözenek boyutu; tespit edilmek istenen mikroplastik boyut aralığı ve giderilmesi istenen mikroplastiklerin boyutuna göre seçilir (Cutroneo vd., 2020). Özel ekipman gerektirmemesi, hızlı ve kolay kullanımı ve mikroplastik boyutunun sahada doğrudan seçilebilmesi bu yöntemin avantajları arasındadır. Orta ve düşük hacimdeki örnekleme kapasitesi, zahmetli ve zaman alıcı olması, eleklerin sahip olduğu potansiyel kontaminasyon riski ise dezavantajları arasında sayılabilir (Prata vd., 2019; Thomas vd., 2020). Yerinde yapılan örnekleme işlemleri taşınan materyal miktarını artırırken çapraz kontaminasyon riskini azaltmaktadır (Alvarez-Zeferino vd., 2020). Yerinde numune almanın dışında, tesislerden doğrudan atıksu numuneleri alınarak laboratuvara transfer edilmektedir. Yaygın olarak kompozit veya anlık numune alma yöntemi kullanılmaktadır. Kompozit numune, belirli bir zaman dilimi içinde sürekli numune alınarak ya da ayrık numunelerin karıştırılması ile elde edilmektedir. Bir kompozit numune, örnekleme işlemi boyunca mevcut olan ortalama atıksu özelliklerini temsil etmektedir. Kontaminasyon riskinin az olması, mikroplastik boyutunun sahada doğrudan seçilebilmesi, belirlenen hacimdeki atıksuyun hassas bir şekilde filtrelenebilmesi bu yöntemin avantajları arasındadır. Ekipmanların pahalı olması, elektirik enerjisi gerektirmesi, cihaz tarafından kontaminasyon riskinin olması ve taşınmasının zor olması ise dezavantajları arasında sayılabilir (Prata vd., 2019; Thomas vd., 2020). Anlık numune, 15 dakikayı geçmeyecek bir süre boyunca toplanan tek bir numuneden veya farklı numunelerden oluşur. Anlık numune, örnekleme sırasındaki atıksu koşullarını temsil etmelidir. Numune hacmi, yapılacak analizlerin türüne ve sayısına bağlıdır.

3.2. Atıksulardan Mikroplastik İzolasyonu

Mikroplastiklerin bulundukları ortamdan izolasyonu için, çalışmalarda organik ve inorganik maddeleri gidererek net bir görüntü elde etmek amaçlanmaktadır. Geliştirilen çeşitli izolasyon işlemleri ile mikroplastiklere zarar vermeden organik maddenin giderimi sağlanmaktadır. Bu yöntemlerden yaygın olarak kullanılanları; kimyasal oksidasyon yöntemi, yoğunluk farkına dayalı ayırma işlemi ve filtrasyon işlemidir. Bunlardan ilki olan kimyasal oksidasyon yöntemi, organik maddelerin giderilmesinde kullanılan etkili bir yöntemdir (Nuelle vd., 2014). Oksidan olarak H_2O_2 ve fenton reaktifi sıklıkla tercih edilmektedir. Kimyasal oksidasyonun verimini etkileyen bazı faktörler bulunmaktadır. Bunlar; kullanılan oksidanın dozu, sıcaklık ve ortamda bulunan plastiğin konsantrasyonudur. Kimyasal oksidasyon yönteminin bazı dezavantajları bulunmaktadır. Yüksek maliyetlidir ve karmaşık sayılabilecek bir çalışma prosedürüne sahiptir (Y. Zhang vd., 2021).

Yoğunluk farkına dayalı ayırma yöntemi, mikroplastikleri inorganik maddelerden ayırmak için kullanılmaktadır (Stock vd, 2019). Bu yöntemde, doymuş bir tuz çözeltisi kullanılarak tuzluluk bazlı bir yoğunluk ayırma işlemi gerçekleştirilmektedir. Yoğunluğu çözeltiden düşük olan mikroplastiklerin yüzdürülmesi ile inorganik maddelerin numuneden ayrılması sağlanmaktadır (Campanale vd., 2020). Çözeltinin uygun yoğunlukta olabilmesi ve plastiğin en iyi geri kazanım oranının elde edilebilmesi için tuz seçimi aşamasında dikkatli olmak gerekmektedir. Kullanılacak tuzun maliyeti, toksisitesi ve yoğunluk ayırma yeteneği önemli faktörlerdendir (Bellasi vd., 2021; Campanale vd., 2020).

Filtrasyon, sadece sıvının geçebileceği bir ortam kullanılarak katıların sıvıdan ayrıldığı basit bir yöntemdir. Filtre kâğıdının gözenek boyutu, ayrılan katının boyutunu belirlemektedir. Filtrasyon genellikle bir huni, filtre membranı ve vakum pompası sistemi ile yapılmaktadır (Crawford ve Quinn, 2016). Filtrasyon işleminden sonra filtrenin petri kabına aktarılması sırasında mikroplastik kaybı olabilmekte, bu durum da mikroplastik sayısının olduğundan farklı tahmin edilmesine sebep olabilmektedir (Lares vd, 2019).

3.3. Mikroplastiklerin Analizi

Mikroplastiklerin örneklenmesi ve izolasyonu işlemleri gerçekleştirildikten sonra analiz aşamasına geçilmektedir. Bunun için çeşitli analiz yöntemleri kullanılmaktadır. Bunlar görsel analiz yöntemi, spektroskopik yöntem ve termogravimetrik yöntem olmak üzere üç ana başlık altında incelenmektedir.

Görsel analiz yönteminde; ışık mikroskopu, stereo mikroskop ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmaktadır. Işık mikroskopu ile 1 mm'den küçük parçacıkların ayırt edilmesi zordur. Düşük maliyet ve kolay kullanım avantajlarının yanı sıra zaman alan ve yanlış gözlem ihtimalinden dolayı hata payının yüksek olabileceği bir yöntemdir (Wu vd., 2020). Çalışmalarda kullanılan mikroskoplar arasında, ışık mikroskobuna göre yüksek çözünürlüğe sahip olması nedeniyle stereo mikroskop yaygın olarak kullanılmaktadır (Priyanka & Udayashankara, 2018). Morfolojik özellikleri belirlemek ve sayım yapmak amacıyla kullanılan stereo mikroskop, büyütme kapasitesinin düşük olması nedeniyle verimliliği kullanıcıyla ilişkilendirilen bir mikroskop türüdür. Fazla zaman ve emek gerektirmesi ve hata payının yüksek olması gibi dezavantajları bulunmaktadır (Arias vd, 2019; Chaudhry & Sachdeva, 2021; Hidalgo-Ruz vd., 2012). Taramalı elektron mikroskobu (SEM), numuneyi görüntülemek için yüksek yoğunluklu elektron demeti kullanarak numunenin şekli, boyutu ve yüzeyi hakkında bilgi vermektedir (Tirkey ve Upadhyay, 2021). 20 µm ve 100 nm boyut aralığındaki mikroplastikler görüntülenebilmektedir (Lastovina ve Budnyk, 2021). Elde edilen görüntüler siyah-beyazdır ve yüksek maliyetli bir işlemdir (Qiu vd., 2016).

Spektroskopik yöntemlerde Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR) ve raman spektroskopisi bulunmaktadır. FTIR, güvenirliği, mikroplastiklere zarar vermemesi ve hızlı sonuç vermesi nedeniyle mikroplastik tespitinde oldukça yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir (Ojeda vd, 2009). Mikroplastiklerin polimer türleri, FTIR spektrumlarının ile bilinen spektrumların karşılaştırılması ile belirlenmektedir FTIR, minimum 20 µm boyutundaki mikroplastikleri tanımlayabilmektedir (Wu vd., 2020). FTIR, yalnızca mikroplastiklerin polimer türlerini doğru bir şekilde tanımlamakla kalmaz, aynı zamanda oksidasyon yoğunluklarını analiz ederek mikroplastiklerin fizikokimyasal aşınması hakkında daha fazla bilgi sağlar (Cooper ve Corcoran, 2010). Raman Spektroskopisi, titreşim spektrumları şeklinde bilgi sağlayan bir titreşimsel spektroskopi yöntemidir. Elde edilen spektrum, numunede bulunan parçacıkların tanımlanmasına izin veren kimyasal yapının bir parmak izi gibi kabul edilmektedir (Araujo vd., 2018). Raman Spektroskopisi ile tespit edilebilen en küçük boyut 1 µm'dir. Numuneye zarar vermeden analiz işlemi gerçekleştirilmektedir. Analiz işlemi için uzman personele ihtiyaç duyulmaktadır ve pahalı bir yöntemdir (Campanale vd., 2020).

Termogravimetrik analiz yöntemlerinden ise yaygın olarak Kütle Spektrometresi İle Birleştirilmiş Piroliz Gazı Kromatografisi (Pyr-GC/MS) tercih edilmektedir. Pyr-GC/MS, mikroplastik polimerlerini tanımlamak için kullanılan termal analiz yöntemidir. Numunenin yüksek sıcaklıklarda ayrıştırılarak gaz kromatografisi ile ayrılması ve kütle spektrometrisi ile analiz edilmesi esasına dayanır (Nguyen ve diğ., 2019). Numunelerin boyut dağılımları ve şeklinin belirlenememesi, zaman alıcı oluşu ve uzman personele ihtiyaç duyulması gibi dezavantajları bulunmaktadır (Can Tunçelli ve Erkan, 2021).

4. ATIKSULARDA MIKROPLASTIK KIRLILIĞINE YÖNELIK YAPILAN ÇALIŞMALAR

2015 yılından itibaren atıksularda mikroplastik kirliliğine yönelik olarak yürütülen çalışmalar detaylı olarak incelenmiş, çalışmalardan elde edilen veriler ışığında evsel/kentsel nitelikli atıksu içeriğindeki mikroplastiklerin tespit edilen en küçük boyutu, konsantrasyonu, şekli ve polimer türlerini içeren profilleri Tablo'4.1'de özetlenmiştir. Bu bölümdeki diğer grafikler (Şekil 4.1 ve 4.2) Tablo 4.1'deki veriler kullanılarak oluşturulmuştur. Tablo 4.1'de incelenen çalışmalar atıksu kaynaklarına göre evsel ya da kentsel olmalarına göre sınıflandırılmıştır.

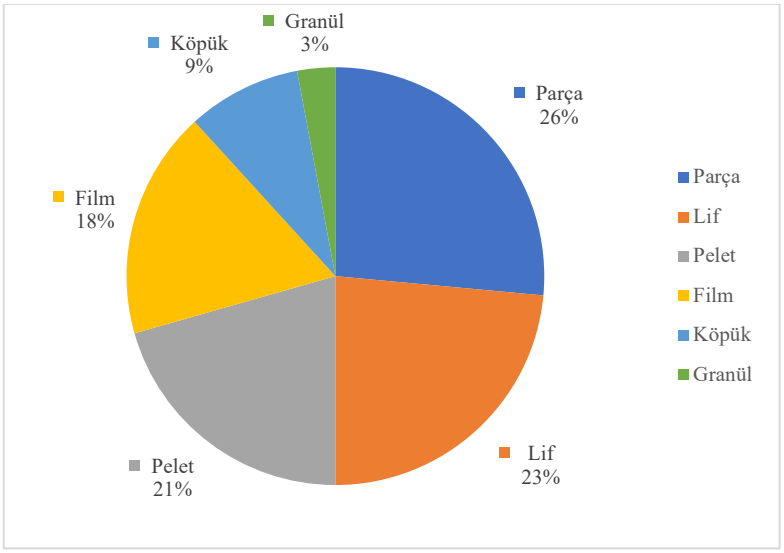
İncelenen çalışmalarda tespit edilen en küçük mikroplastik boyutları 13 µm-200 µm aralığında değişmektedir. Çalışmalarda kullanılan en küçük gözenek boyutu farklılığının tespit edilen mikroplastiğin konsantrasyonunu etkilediği belirlenmiştir (Lindeque vd., 2020). Tablo 4.1'de incelenen çalışmalarda ham atıksularda mikroplastik konsantrasyonları 2,98-890 mp/L aralığında değişmektedir. Çalışmalarda mikroplastik konsantrasyonları genellikle litredeki mikroplastik sayısı (mp adedi/atıksu hacmi) olarak ifade edilmiştir. Arıtılmış atıksularda ise tespit edilen en düşük mikroplastik konsantrasyonu 0,075 mp/L'dir (Zou vd., 2021). Amerika'da gerçekleştirilen bir çalışmada ise arıtılmış atıksularda mikroplastik konsantrasyonunun tespit edilebilir sınırın altında olduğu görülmüştür (Lv vd., 2019).

Atıksu arıtma tesisleri mikroplastikleri oldukça yüksek verimlerle gidermektedir. Tablo 4.1'deki çalışmalar mikroplastik giderim verimleri açısından incelendiğinde %35-%99,5 arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Yüksek giderim verimleri elde edilmesine rağmen atıksu arıtma tesislerinden sucul ekosisteme mikroplastik deşarjı ciddi boyutlara ulaşmaktadır (Elkhatib ve Oyanedel-Craver, 2020). Zou vd., (2021) tarafından yapılan bir çalışmada Pearl nehrine arıtılmış atıksu deşarjı ile günlük olarak $5{,}36\times10^{6}$ - $3{,}40\times10^{9}$ adet mikroplastik salınımı gerçekleştiği ortaya konmuştur. Lv vd., (2019) tarafından gerçekleştirilen diğer bir çalışmada ise, günlük mikroplastik deşarjını kütlesel bazda hesaplamışlardır. Tesiste, paralel olarak işletilen debisi 50.000 m^3/gün olan membran biyoreaktör (MBR) ve debisi 70.000 m^3/gün olan oksidasyon hendeği (OD) çıkış sularında mikroplastik analizi çalışmaları yürütülmüştür. Çalışma sonuçlarına göre, MBR ve OD sistemlerinin çıkışında sırasıyla 1,96 kg/gün ve 8,4 kg/gün arasında değişen miktarda mikroplastiğin alıcı ortama deşarj edildiği görülmüştür. Mikroplastik gideriminde MBR sisteminin daha verimli olduğunu göstermiştir.

Tablo 4.1 Evsel/kentsel nitelikte olan atıksu örneklerinde yapılan çalışmaların özeti

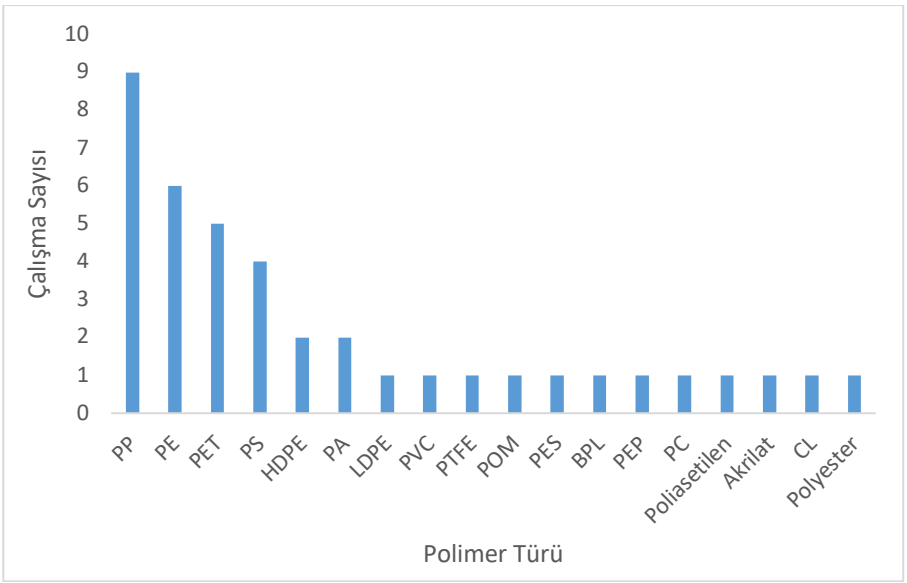
Ülke	Atıksu Kaynağı	En Küçük Mikroplastik Boyutu	Mikroplastik Konsantrasyonu		Giderim Verimi (%)	Mikroplastik Şekli	En Çok Bulunan Polimer Türü
			Giriş	Çıkış			
Çin (Zou vd., 2021)	Kentsel	100 µm	-	0,075- 6,735 mp/L	-	Lif, parça, pelet	PP, PET, PE, HDPE, poliasetilen
İspanya (Bretas Alvim vd., 2020)	Kentsel	150 µm	-	2,8 mp/L	-	Lif, parça, film, pelet	PE, PP, polyester
Türkiye (Bilgin vd., 2020)	Kentsel	50 µm	30,7 mp/L	6,3 mp/L	%79	Lif, film, parça	PP, PE, PA
İspanya (Bayo vd., 2020)	Kentsel	200 µm	-	1,23 (±0,15) ML/L 0,31(±0,06) mp/L	-	Parça, film, pelet, lif, köpük	LDPE, PP, HDPE, akrilat, BPL, PEP
ABD (Lv vd., 2019)	Kentsel	25 µm	5,6±0,09 mg/L	0,28 ± 0,01-168 ± 0,02 mg/L	%97-%99,5	Parça, lif, film, köpük	PET, PS, PE, PP
İsrail (Ben-David vd., 2021)	Evsel	20 µm	64,78-129,67 mp/L	1,97-7,30 mp/L	%94,4-%97	Parça, film, pelet, köpük	PVC, CL, PP, PC, PTFE
Çin (Wei vd., 2020)	Evsel	30,8 µm	430-2154 mp/m^3	0 – 1308 mp/m^3	%65–%82,3	Parça, lif, pelet, diğer	PP, PS, PET, PES
Çin (Wang vd., 2020)	Evsel	13 µm	18-890 mp/L	6-26 mp/L	%35-%98	Parça, film, pelet, lif	PS, PP, PE, PET, PA
Çin (Long vd., 2019)	Evsel	43 µm	2,98-142,98 mp/L	120,22-348,71 mp/L	%90,52	Granül, parça, lif, film, pelet	PP, PE, PS, PET

İncelenen çalışmalarda en çok karşılaşılan mikroplastik şekli %26 oranla parça olduğu görülmüştür (Şekil 4.1). Diğer mikroplastik şekilleri ise; lif (%23), pellet (%19), film (%19), köpük (%10) ve diğer olarak tanımlanan mikroplastik şekli ise %3 oranında bulunmaktadır. Mikroplastik şekillerinin, mikroplastiğin kaynağı hakkında bilgi verdiği düşünülmektedir. Liflerin çoğunlukla tekstil ürünlerinden (Salvador Cesa vd., 2017), filmlerin ambalaj atıklarından (Zhang vd, 2015), peletlerin çeşitli prosesler ve nakliye işlemlerinden (Acosta-Coley ve Olivero-Verbel, 2015), köpük ve düzensiz olarak tanımlanan şekillerin ise plastik materyallerin bozunmasından kaynaklandığı belirlenmiştir (Eriksen vd, 2013a). En yüksek bulunma yüzdesine göre ikinci sırada olan liflerin, pürüzsüz yüzeyi ve kolay giderilmelerini engelleyen yüksek uzunluk-genişlik oranı nedeniyle giderilmesi en zor mikroplastik şekli olduğu düşünülmektedir (Talvitie vd, 2017). Lifin yüksek bulunma oranı üzerinde bu faktörün etkili olabileceği düşünülmüştür.



Şekil 4.1 Evsel ve kentsel nitelikli atıksularda tespit edilen mikroplastik şekilleri

İncelenen çalışmalarda 17 farklı polimer türü tespit edilmiştir (Şekil 4.2). Tüm çalışmalarda en sık karşılaşılan polimer türleri sırasıyla PP>PE>PET>PS>HDPE>PA olarak belirlenmiştir. PE, PP ve PS polimerlerinin gıdalarda kullanılan ambalajlarda, plastik şişe, plastik çatal ve bıçak gibi ürünlerden kaynaklandığı belirlenmiştir (Lares vd, 2018; Mintenig vd, 2017, Talvitie vd, 2017b). PA, PET ve PES polimerleri ise evsel mikroplastiklerin ana kaynağı olan tekstil ürünlerinden kaynaklanmaktadır (Hernandez vd, 2017; Sun vd, 2019; Wei vd, 2019).



Şekil 4.2 Evsel ve kentsel nitelikli atıksularda tespit edilen polimer türleri

Evsel nitelikli atıksulardaki mikroplastik yoğunluğu ve türleri ülkeden ülkeye ev içi su tüketim geleneklerine bağlı olmakla birlikte, karşılaştırma açısından nispeten kolay olmaktadır. Kentsel nitelikli atıksular için mikroplastik çalışmaları arasındaki sonuçların karşılaştırılması, örnekleme teknikleri, incelenen mikroplastik kategorisi ve sonuçların raporlanmasında kullanılan birimlerdeki farklılıklar nedeniyle daha karmaşıktır (Hoellein vd., 2014). Bir diğer etken, atıksu arıtma tesislerinin kabul ettiği endüstriyel atıksu türleri ve miktarlarıdır. Dolayısıyla, kentsel nitelikli atıksulardaki mikroplastik kirliliğinin bölgesel bazda çalışılması önem arz etmektedir. Ayrıca, metodolojiler arasında belirli bir standardizasyonun olmaması, bu verilerin yorumlanması ile ilgili sorunlara sebep olmaktadır (K. Zhang vd., 2018).

Kaynaklar

Acosta-Coley, I., & Olivero-Verbel, J. (2015). Microplastic resin pellets on an urban tropical beach in Colombia. *Environmental monitoring and assessment*, *187*(7), 1-14.Alvarez-Zeferino, J. C., Cruz-Salas, A. A., Vázquez-Morillas, A., Ojeda-Benitez, S. 2020. "Method for quantifying and characterization of microplastics in sand beaches". Revista Internacional de Contaminacion Ambiental, *36*(1), 151–164.

Arthur, C., Baker, J., Bamford, H. 2009. "Proceedings of the International Research Workshop on the Occurrence , Effects , and Fate of Microplastic Marine Debris". Group, (January), 530

Arias, A.H., Ronda, A.C., Oliva, A.L. *et al.* Evidence of Microplastic Ingestion by Fish from the Bahía Blanca Estuary in Argentina, South America. *Bull Environ Contam Toxicol* 102, 750–756 (2019). https://doi.org/10.1007/s00128-019-02604-2

Araujo, C. F., Nolasco, M. M., Ribeiro, A. M. P., Ribeiro-Claro, P. J. A. 2018. "Identification of microplastics using Raman spectroscopy: Latest developments and future prospects". Water Research, *142*, 426–440.

Bayo, J., Olmos, S., López-Castellanos, J. 2020. "Microplastics in an urban wastewater treatment plant: The influence of physicochemical parameters and environmental factors". Chemosphere, *238*, 124593.

Bellasi, A., Binda, G., Pozzi, A., Boldrocchi, G., Bettinetti, R. 2021. "The extraction of microplastics from sediments: An overview of existing methods and the proposal of a new and green alternative". Chemosphere, *278*, 130357.

Ben-David, E. A., Habibi, M., Haddad, E., Hasanin, M., Angel, D. L., Booth, A. M., Sabbah, I. 2021. "Microplastic distributions in a domestic wastewater treatment plant: Removal efficiency, seasonal variation and influence of sampling technique". Science of The Total Environment, *752*, 141880.

Besseling, E., Wang, B., Lürling, M., & Koelmans, A. A. (2014). Nanoplastic affects growth of S. obliquus and reproduction of D. magna. *Environmental science & technology*, *48*(20), 12336–12343. https://doi.org/10.1021/es503001d

Bilgin, M., Yurtsever, M., Karadagli, F. 2020. "Microplastic removal by aerated grit chambers versus settling tanks of a municipal wastewater treatment plant". Journal of Water Process Engineering, 38, 101604.

Bosker, T., Bouwman, L. J., Brun, N. R., Behrens, P., Vijver, M. G. 2019. "Microplastics accumulate on pores in seed capsule and delay germination and root growth of the terrestrial vascular plant Lepidium sativum". Chemosphere, 226, 774–781.

Bretas Alvim, C., Bes-Piá, M. A., Mendoza-Roca, J. A. 2020. "Separation and identification of microplastics from primary and secondary effluents and activated sludge from wastewater treatment plants". Chemical Engineering Journal, 402(June), 126293.

Campanale, C., Savino, I., Pojar, I., Massarelli, C., Uricchio, V. F. 2020. "A practical overview of methodologies for sampling and analysis of microplastics in riverine environments". Sustainability (Switzerland), *12*(17).

Carpenter, E. J., Smith, K. L. 1972. "Plastics on the Sargasso sea surface". Science, *175*(4027), 1240–1241.

Chaudhry, A. K., Sachdeva, P. 2021. "Microplastics' origin, distribution, and rising hazard to aquatic organisms and human health: Socio-economic insinuations and management solutions". Regional Studies in Marine Science, *48*, 102018.

Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., & Galloway, T. S. (2011). Microplastics as contaminants in the marine environment: a review. *Marine pollution bulletin*, *62*(12), 2588-2597.

Cooper, D. A., & Corcoran, P. L. (2010). Effects of mechanical and chemical processes on the degradation of plastic beach debris on the island of Kauai, Hawaii. *Marine pollution bulletin*, *60*(5), 650–654. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2009.12.026

Crawford, C. B., & Quinn, B. (2016). *Microplastic pollutants*. Elsevier Limited.
Cutroneo, L., Reboa, A., Besio, G., Borgogno, F., Canesi, L., Canuto, S., … Capello, M. 2020. "Correction to: Microplastics in seawater: sampling strategies, laboratory methodologies, and identification techniques applied to port environment (Environmental Science and Pollution Research, (2020), 27, 9, (8938-8952), 10.1007/s11356-020-07783-8)". Environmental Science and Pollution Research, *27*(16), 20571

Dris, R., Gasperi, J., Rocher, V., Saad, M., Renault, N., & Tassin, B. (2015). Microplastic contamination in an urban area: a case study in Greater Paris. *Environmental Chemistry*, *12*(5), 592-599.

Duis, K., & Coors, A. (2016). Microplastics in the aquatic and terrestrial environment: sources (with a specific focus on personal care products), fate and effects. *Environmental sciences Europe*, *28*(1), 2. https://doi.org/10.1186/s12302-015-0069-y

Elkhatib, D., Oyanedel-Craver, V. 2020. "A Critical Review of Extraction and Identification Methods of Microplastics in Wastewater and Drinking Water". Environmental Science and Technology, *54*(12), 7037–7049.

Eriksen, M., Mason, S., Wilson, S., Box, C., Zellers, A., Edwards, W., … Amato, S. 2013. "Microplastic pollution in the surface waters of the Laurentian Great Lakes". Marine Pollution Bulletin, *77*(1–2), 177–182.

GESAMP, G. (2016). Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: part two of a global assessment. *(IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection). Rep. Stud. GESAMP No. 93*, 220.

Guo, J. J., Huang, X. P., Xiang, L., Wang, Y. Z., Li, Y. W., Li, H., … Wong, M. H. 2020. "Source, migration and toxicology of microplastics in soil". Environment International, *137*, 105263.

Hernandez, E., Nowack, B., & Mitrano, D. M. (2017). Polyester textiles as a source of microplastics from households: a mechanistic study to understand microfiber release during washing. *Environmental science & technology*, *51*(12), 7036-7046.

Hernandez, L. M., Xu, E. G., Larsson, H. C., Tahara, R., Maisuria, V. B., & Tufenkji, N. (2019). Plastic teabags release billions of microparticles and nanoparticles into tea. *Environmental science & technology*, *53*(21), 12300-12310.

Hidalgo-Ruz, V., Gutow, L., Thompson, R. C., & Thiel, M. (2012). Microplastics in the marine environment: a review of the methods used for identification and quantification. *Environmental science & technology*, *46*(6), 3060–3075. https://doi.org/10.1021/es2031505

Hoellein T, Rojas M, Pink A, Gasior J, Kelly J (2014) Anthropogenic Litter in Urban Freshwater Ecosystems: Distribution and Microbial Interactions. PLOS ONE 9(6): e98485. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0098485

İdil Can Tunçelli, N. E. 2021. "Gıda güvenliği açısından su ürünlerinde mikroplastik riski ve araştırma yöntemleri", *4*(1), 73–87.

Koelmans, A.A., Bakir, A., Burton, G.A., & Janssen, C.R. (2016). Microplastic as a Vector for Chemicals in the Aquatic Environment: Critical Review and Model-Supported Reinterpretation of Empirical Studies. *Environmental Science & Technology, 50*, 3315 - 3326.

Kutralam-Muniasamy, G., Pérez-Guevara, F., Elizalde-Martínez, I., Shruti, V. C. 2020. "Branded milks – Are they immune from microplastics contamination?". Science of The Total Environment, *714*, 136823.

Lares, M., Ncibi, M.C., Sillanpää, M. *et al.* Intercomparison study on commonly used methods to determine microplastics in wastewater and sludge samples. *Environ Sci Pollut Res* **26,** 12109–12122 (2019). https://doi.org/10.1007/s11356-019-04584-6

Lastovina, T. A., Budnyk, A. P. 2021. "A review of methods for extraction, removal, and stimulated degradation of microplastics". Journal of Water Process Engineering, *43*, 102209.

Lei, L., Wu, S., Lu, S., Liu, M., Song, Y., Fu, Z., Shi, H., Raley-Susman, K. M., & He, D. (2018). Microplastic particles cause intestinal damage and other adverse effects in zebrafish Danio rerio and nematode Caenorhabditis elegans. The Science of the total environment, 619-620, 1–8. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.103

Li, X., Mei, Q., Chen, L., Zhang, H., Dong, B., Dai, X., … Zhou, J. 2019. "Enhancement in adsorption potential of microplastics in sewage sludge for metal pollutants after the wastewater treatment process". Water Research, *157*, 228–237.

Liebezeit, G., & Liebezeit, E. (2013). Non-pollen particulates in honey and sugar. *Food Additives & Contaminants: Part A*, *30*(12), 2136-2140.

Liebezeit, G., & Liebezeit, E. (2014). Synthetic particles as contaminants in German beers. *Food Additives & Contaminants: Part A*, *31*(9), 1574-1578.

Liebezeit, G., & Liebezeit, E. (2015). Origin of synthetic particles in honeys. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, *65*(2).

Lindeque, P. K., Cole, M., Coppock, R. L., Lewis, C. N., Miller, R. Z., Watts, A. J. R., … Galloway, T. S. 2020. "Are we underestimating microplastic abundance in the marine environment? A comparison of microplastic capture with nets of different mesh-size". Environmental Pollution, *265*, 114721.

Liu, M., Ding, Y., Huang, P., Zheng, H., Wang, W., Ke, H., … Cai, M. 2021. "Microplastics in the western Pacific and South China Sea: Spatial variations reveal the impact of Kuroshio intrusion". Environmental Pollution, *288*, 117745.

Long, Z., Pan, Z., Wang, W., Ren, J., Yu, X., Lin, L., … Jin, X. 2019. "Microplastic abundance, characteristics, and removal in wastewater treatment plants in a coastal city of China". Water Research, *155*, 255–265.

Lv, X., Dong, Q., Zuo, Z., Liu, Y., Huang, X., Wu, W. M. 2019. "Microplastics in a municipal wastewater treatment plant: Fate, dynamic distribution, removal efficiencies, and control strategies". Journal of Cleaner Production, *225*, 579–586.

Ma, H., Pu, S., Liu, S., Bai, Y., Mandal, S., Xing, B. 2020. "Microplastics in aquatic environments: Toxicity to trigger ecological consequences". Environmental Pollution, *261*, 114089.

Mao, R., Hu, Y., Zhang, S., Wu, R., Guo, X. 2020. "Microplastics in the surface water of Wuliangsuhai Lake, northern China". Science of The Total Environment, *723*, 137820.

Mason, S. A., Welch, V. G., & Neratko, J. (2018). Synthetic polymer contamination in bottled water. Front Chem 6: 407.

Nguyen, B., Claveau-Mallet, D., Hernandez, L. M., Xu, E. G., Farner, J. M., & Tufenkji, N. (2019). Separation and Analysis of Microplastics and Nanoplastics in Complex Environmental Samples. Accounts of chemical research, 52(4), 858–866. https://doi.org/10.1021/acs.accounts.8b00602

Nizzetto L, Futter M, Langaas S. Are Agricultural Soils Dumps for Microplastics of Urban Origin? Environ Sci Technol. 2016 Oct 18;50(20):10777-10779. doi: 10.1021/acs.est.6b04140. Epub 2016 Sep 29. PMID: 27682621.

Nuelle, M. T., Dekiff, J. H., Remy, D., Fries, E. 2014. "A new analytical approach for monitoring microplastics in marine sediments". Environmental Pollution, 184, 161–169.

Ojeda, J.J., Romero-González, M.E. and Banwart, S.A. (2009) Analysis of bacteria on steel surfaces using reflectance micro-Fourier transform infrared spectroscopy. Analytical Chemistry 81: 6467-647.

Oßmann, B. E., Sarau, G., Holtmannspötter, H., Pischetsrieder, M., Christiansen, S. H., Dicke, W. 2018. "Small-sized microplastics and pigmented particles in bottled mineral water". Water Research, *141*, 307–316.
Prata, Joana C., da Costa, J. P., Girão, A. V., Lopes, I., Duarte, A. C., Rocha-Santos, T. 2019. "Identifying a quick and efficient method of removing organic matter without damaging microplastic samples". Science of The Total Environment, *686*, 131–139.

Prata, Joana Correia, da Costa, J. P., Duarte, A. C., Rocha-Santos, T. 2019. "Methods for sampling and detection of microplastics in water and sediment: A critical review". TrAC Trends in Analytical Chemistry, *110*, 150–159.

Priyanka G M, Dr. Udayashankara T H, "Methodology for Sampling, Purification, Extraction and Identification of Microplastic - A Review", International Journal of Science and Research (IJSR),

https://www.ijsr.net/get_abstract.php?paper_id=ART20179449, Volume 7 Issue 1, January 2018, 1006 – 1009.

Qiu, Q., Tan, Z., Wang, J., Peng, J., Li, M., Zhan, Z. 2016. "Extraction, enQiu, Q., Tan, Z., Wang, J., Peng, J., Li, M., Zhan, Z. 2016. "Extraction, enumeration and identification methods for monitoring microplastics in the environment". Estuarine, Coastal and Shelf Science, 176, 102–109.umeration and identificatio". Estuarine, Coastal and Shelf Science, 176, 102–109.

Russell, M., Webster, L. 2021. "Microplastics in sea surface waters around Scotland". Marine Pollution Bulletin, *166*, 112210.

Sainio, E., Lehtiniemi, M., Setälä, O. 2021. "Microplastic ingestion by small coastal fish in the northern Baltic Sea, Finland". Marine Pollution Bulletin, *172*, 112814.

Salvador Cesa, F., Turra, A., Baruque-Ramos, J. 2017. "Synthetic fibers as microplastics in the marine environment: A review from textile perspective with a focus on domestic washings". Science of The Total Environment, *598*, 1116–1129.

Sayed, A. E. D. H., Hamed, M., Badrey, A. E. A., Ismail, R. F., Osman, Y. A. A., Osman, A. G. M., Soliman, H. A. M. 2021a. "Microplastic distribution, abundance, and composition in the sediments, water, and fishes of the Red and Mediterranean seas, Egypt". Marine Pollution Bulletin, *173*, 112966.

Setälä, O., Norkko, J., Lehtiniemi, M. 2016. "Feeding type affects microplastic ingestion in a coastal invertebrate community". Marine Pollution Bulletin, *102*(1), 95–101.

Stock, F., Kochleus, C., Bänsch-Baltruschat, B., Brennholt, N., Reifferscheid, G. 2019. "Sampling techniques and preparation methods for microplastic analyses in the aquatic environment – A review". TrAC Trends in Analytical Chemistry, *113*, 84–92.

Sun, J., Dai, X., Wang, Q., van Loosdrecht, M. C. M., Ni, B. J. 2019. "Microplastics in wastewater t Talvitie, J., Mikola, A., Koistinen, A., Setälä, O. 2017. "Solutions to microplastic pollution – Removal of microplastics from wastewater effluent with advanced wastewater treatment technologies". Water Research, 123, 401–407.

Thomas, D., Schütze, B., Heinze, W. M., Steinmetz, Z. 2020. "Sample preparation techniques for the analysis of microplastics in soil—a review". Sustainability (Switzerland), 12(21), 1–28.

Thompson, R. C., Olson, Y., Mitchell, R. P., Davis, A., Rowland, S. J., John, A. W. G., … Russell, A. E. 2004. "Lost at Sea: Where Is All the Plastic?". Science, 304(5672), 838.

Tirkey, A., Upadhyay, L. S. B. 2021. "Microplastics: An overview on separation, identification and characterization of microplastics". Marine Pollution Bulletin, 170, 112604.

Tošić, T. N., Vruggink, M., Vesman, A. 2020. "Microplastics quantification in surface waters of the Barents, Kara and White Seas". Marine Pollution Bulletin, 161, 111745.

Tsering, T., Sillanpää, M., Sillanpää, M., Viitala, M., Reinikainen, S. P. 2021. "Microplastics pollution in the Brahmaputra River and the Indus River of the Indian Himalaya". Science of the Total Environment, 789.

Van Sebille, E., Wilcox, C., Lebreton, L., Maximenko, N., Hardesty, B. D., van Franeker, J. A., … Law, K. L. 2015. "A global inventory of small floating plastic debris". Environmental Research Letters, 10(12), 124006.reatment plants: Detection, occurrence and removal". Water Research, *152*, 21–37.

Vethaak, A. D., & Leslie, H. A. (2016). Plastic Debris Is a Human Health Issue. *Environmental science & technology*, *50*(13), 6825–6826. https://doi.org/10.1021/acs.est.6b02569

Vianello, A., Jensen, R. L., Liu, L., & Vollertsen, J. (2019). Simulating human exposure to indoor airborne microplastics using a Breathing Thermal Manikin. *Scientific reports*, *9*(1), 1-11.

Wang, F., Wang, B., Duan, L., Zhang, Y., Zhou, Y., Sui, Q., … Yu, G. 2020. "Occurrence and distribution of microplastics in domestic, industrial, agricultural and aquacultural wastewater sources: A case study in Changzhou, China". Water Research, 182, 115956

Wei, S., Luo, H., Zou, J., Chen, J., Pan, X., Rousseau, D. P. L., Li, J. 2020. "Characteristics and removal of microplastics in rural domestic wastewater treatment facilities of China". Science of The Total Environment, 739, 139935.

Wei, W., Huang, Q. S., Sun, J., Wang, J. Y., Wu, S. L., & Ni, B. J. (2019). Polyvinyl chloride microplastics affect methane production from the anaerobic digestion of waste activated sludge through leaching toxic bisphenol-A. *Environmental science & technology*, *53*(5), 2509-2517.

Wu, F., Wang, Y., Leung, J. Y. S., Huang, W., Zeng, J., Tang, Y., … Cao, L. 2020. "Accumulation of microplastics in typical commercial aquatic species: A case study at a productive aquaculture site in China". Science of The Total Environment, 708, 135432.

Wu, M., Yang, C., Du, C., Liu, H. 2020. "Microplastics in waters and soils: Occurrence, analytical methods and ecotoxicological effects". Ecotoxicology and Environmental Safety, 202, 110910.
Yong, C., Valiyaveetill, S., & Tang, B. L. (2020). Toxicity of Microplastics and Nanoplastics in Mammalian Systems. *International journal of environmental research and public health*, *17*(5), 1509. https://doi.org/10.3390/ijerph17051509

Zhang, K., Gong, W., Lv, J., Xiong, X., Wu, C. 2015. "Accumulation of floating microplastics behind the Three Gorges Dam". Environmental Pollution, 204, 117–123.

Zhang, K., Shi, H., Peng, J., Wang, Y., Xiong, X., Wu, C., Lam, P. K. S. 2018. "Microplastic pollution in China's inland water systems: A review of findings, methods, characteristics, effects, and management". Science of The Total Environment, 630, 1641–1653.

Zhang, Y., Jiang, H., Bian, K., Wang, H., Wang, C. 2021. "A critical review of control and removal strategies for microplastics from aquatic environments". Journal of Environmental Chemical Engineering, 9(4), 105463.

Zhao, H. J., Xu, J. K., Yan, Z. H., Ren, H. Q., Zhang, Y. 2020. "Microplastics enhance the developmental toxicity of synthetic phenolic antioxidants by disturbing the thyroid function and metabolism in developing zebrafish". Environment International, 140, 105750.

Zhu, J., Zhang, Q., Huang, Y., Jiang, Y., Li, J., Michal, J. J., … Lan, W. 2021. "Long-term trends of microplastics in seawater and farmed oysters in the Maowei Sea, China". Environmental Pollution, 273, 116450.

Zou, Y., Ye, C., Pan, Y. 2021. "Abundance and characteristics of microplastics in municipal wastewater treatment plant effluent: a case study of Guangzhou, China". Environmental Science and Pollution Research, 28(9), 11572–11585.

U.S. Environmental Protection Agency Science and Ecosystem Support Division Athens, Georgia. Wastewater Sampling.(https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-06/documents/Wastewater-Sampling.pdf, 10 Kasım, 2021).

.

ATIKSULARDA MİKROPLASTİKLERİN VARLIĞI VE ÖLÇÜMÜ

M. Dilara Hatinoğlu[1,*], İrem Şimşek[2], Göksu Yurtseven[3], F. Dilek Sanin[4]

[1,] Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Çevre Müh. Bölümü, 06800 Ankara, Türkiye, dilara.hatinoglu@metu.edu.tr*

[2] Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Çevre Müh. Bölümü, 06800 Ankara, Türkiye, simsek.irem@metu.edu.tr

[3] Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Çevre Müh. Bölümü, 06800 Ankara, Türkiye, goksu.yurtseven@metu.edu.tr

[4] Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Çevre Müh. Bölümü, 06800 Ankara, Türkiye, dsanin@metu.edu.tr

Özet

Mikroplastikler (MP'ler), 5 mm'den küçük boyutlara sahip, çevre sistemleri arasında taşınımları kolay plastik parçacıklardır. Başta doğada kontrolsüz yayılmalarının, daha sonra da ekosistem ve insan sağlığı üzerine yarattıkları olumsuz etkinin fark edilmesi ile MP'ler, son 10 yıldır (ağırlıklı olarak da son 5 yıldır) çevre araştırmalarında önemli yer tutmaya başlamıştır. MP'ler enzim inhibisyonu, immobilizasyon gibi proseslerle biyotaya doğrudan etki edebildikleri gibi; üzerlerine adsorbladıkları ağır metaller, PCB, DDT gibi tehlikeli kimyasalları taşıyarak bu kimyasalların organizmalarda tutulumlarına da sebep olabilmektedirler. Plastiklerin günlük yaşamdaki yaygın kullanımları sebebiyle MP'ler atıksu arıtma tesislerine (AAT'ler) yüksek miktarlarda ulaşmaktadır. AAT'lerin MP giderim oranı yüksek olmasına karşın, giriş suyundaki yüksek konsantrasyonları nedeniyle MP'ler AAT çıkış sularıyla alıcı ortamlara yüksek miktarda deşarj edilmektedir. Uluslararası literatürde yer alan tüm bu kaygılara rağmen MP'lerin çevre sistemlerinde ölçümlerine dair standart bir metot henüz oluşmamıştır. Analiz yaklaşımlarının bir çalışmadan diğerine fark etmesi, sonuçların raporlanması ve karşılaştırılmasında zorluklar çıkarmaktadır. Buradan hareketle çalışmanın amacını atıksularda MP analizi için güvenilirliği ve tekrarlanabilirliği kabul edilmiş bir metodun geliştirilmesi oluşturmaktadır. Geliştirilen metot polimer analizine girişim yapan organik maddelerin giderimini kimyasal oksijen ihtiyacı parametresinin takibi ile gerçekleştirmesi yönüyle özgün olup, %90 organik madde giderimi ve yaklaşık %80 MP geri kazanım oranına sahiptir. Çalışma kapsamında geliştirilen bu analiz metodu bir membran biyoreaktör (MBR) AAT'den örneklenen giriş atıksuyuna uygulanmıştır ve tesise ulaşan MP konsantrasyonu 2423,3 MP/L olarak tespit edilmiştir.

Abstract

Microplastics (MPs) are plastic particles with dimensions less than 5 mm, easily transported in environmental systems. MPs have started to hold a significant place in environmental research for the last 10 years (predominantly in the last 5 years) by realizing their unrestrained spread in nature and negative impacts on the ecosystem and human health. MPs can directly affect the biota through processes such as enzyme inhibition and immobilization or by carrying hazardous chemicals such as heavy metals, PCBs, and DDT via adsorption to cause accumulation in the organisms. MPs reach wastewater treatment plants (WWTPs) in high amounts due to the widespread use of plastics in daily life. Although WWTPs' MP removal rates are high, large numbers of MPs are still released with the effluent due to the very high number of MPs in the influent wastewater. Despite all these concerns in the international literature, a standard method for measuring MPs in environmental systems has not yet been developed. The variety of analysis approaches from one study to another creates difficulties in reporting and comparing the results. From this point of view, the aim of the study is to develop a method with accepted reliability and repeatability for MP analysis in wastewater. The developed method ensuring 80% MPs recovery efficiency is unique in that it achieves removal of organic substances (up to 90%) interfering with polymer analysis by monitoring the chemical oxygen demand parameter. The analysis method developed was applied to an influent wastewater sampled from a membrane bioreactor (MBR) WWTP and the level of MPs pollution reaching the plant was determined as 2423.3 MPs/L.

Keywords: Microplastics, wastewater treatment plants, wastewater, analysis method

1. GİRİŞ

Plastik üretimi ve kullanımının yoğunlaşması ile birlikte dünya genelinde artan plastik kirliliği bilimsel ve sosyal açıdan endişe yaratmakta ve gelişmekte olan atık yönetim faaliyetlerine karşın plastik atıkların büyük çoğunluğu çevreye salınmaya devam etmektedir [1]. Küresel plastik üretimi 1950 yılında 1,5 milyon ton iken 2019 yılında 368 milyon tona yükselmiştir [2]. Üretim ve atık yönetim faaliyetlerinin bugünkü trendi sürdüreceği varsayımı ile yapılan projeksiyonlar bu sayının 2050'de 1,1 milyar tona ulaşacağını ön görmektedir. Ayrıca 1950 ile 2050 yılları arasında biyobozunur olmayan plastik üretiminin toplam 34 milyar tona ulaşacağı beklenmektedir [3]. Bu durum sadece estetik kaygı ve çevre kirliliği oluşturması bakımından değil; plastiklerin insan başta olmak üzere ekosistem sağlığına etkileri nedeniyle de endişe yaratmaktadır. Plastiklerin çevre sistemlerinde kolaylıkla taşınımı mümkün olan bir grubunu oluşturan mikroplastikler (MP'ler), 5 mm'den küçük boyutlara sahip plastik parçacıklardır ve insan sağlığı üzerine yarattığı potansiyel tehdit sebebiyle MP'ler, son yıllarda çevresel araştırmalarda önemli yer tutmaya başlamıştır [4]. MP'ler oluşum biçimine göre iki gruba ayrılırlar [5]. Birincil MP'ler kozmetik ve kişisel bakım ürünlerinde kullanılmak üzere bilinçli olarak üretilirken; sudaki MP varlığının büyük kısmını oluşturan ikincil MP'ler paketleme ve tekstil ürünleri gibi diğer plastiklerin bozunma ve aşınması sonucu meydana gelmektedir [6]. Yüzeysel akış, havadan çökme ve atıksu arıtma tesislerinden (AAT) deşarj yoluyla sucul ekosisteme geçiş yapan MP'ler kara ekosistemi ile sürekli etkileşim halindedir. Toprakta biriken plastikler erozyon sonucu rüzgar ve su yoluyla atmosfere ve su kaynaklarına ulaşmaktadır. Dolayısıyla MP kirliliği su, toprak, hava, sediman gibi her tür çevre sisteminde görülmektedir. Bunun yanı sıra MP'ler sucul ekosistemdeki hayvanların sindirim sistemini tıkama ve kirleticilerin biyotaya taşınmasında vektör görevi görme potansiyelleri ile de endişe yaratmaktadır [7]. Hidrofobik özelliğe ve yüksek spesifik yüzey alanına sahip olmaları sebebiyle MP'ler kalıcı organik kirleticileri ve ağır metalleri yüzeylerinde tutarak besin zincirine taşıyabilmektedirler [8]. Ayrıca bu özelliği ile MP'ler zararlı mikroorganizmalar için biyofilm oluşturabilecekleri yüzeyler sağlayarak bu organizmaların da canlı bünyesine taşınmasına sebep olabilmektedirler. Bu etmenler canlılarda toksisite [9], enzim inhibisyonu [10] ve immobilizasyon [11] gibi çeşitli olumsuz etkileri beraberinde getirmektedir. Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) 2019 yılında yayınladığı bildiri ile doğada bulunan MP'lerin insan sağlığı üzerindeki etkilerine dikkati çekmiş ve bu konunun daha yoğun araştırılması gerektiğini belirtmiştir [12].

İnsan kaynaklı su döngüsünün son adımı olan AAT'ler, evsel ve endüstriyel atıksu, yağmur suyu ve düzenli depolama sızıntı suyu gibi çeşitli yollarla taşınan yüksek miktarda plastik parçacığın toplandığı ortam olması sebebiyle, çevreye salınan MP'lerin önemli bir kaynağını oluşturmaktadır [13]. Dolayısıyla, AAT'lerin etkili giderim yapması ekosistem ve insan sağlığındaki tehdidi azaltmada büyük önem taşımaktadır [14]. MP'lerin birincil arıtmada %63-98 ve ikincil arıtmada %7-20 oranlarında atıksulardan ayrıldığı dikkate alındığında, AAT'lerin MP'lerin yaklaşık %40 ila %99,9'unu atıksu hattından giderebildiği sonucuna varmak mümkündür [15]–[18]. Yüksek giderim oranlarına rağmen, kapasite ve türüne bağlı olarak AAT'lerin arıtılmış sularından günlük ortalama 10^5-10^8 plastik parçacık doğaya deşarj edilmektedir [15]. Ayrıca atıksulardan ayrılan MP'lerin gerçek anlamda giderilmek yerine arıtma çamurlarında biriktikleri çalışmalarda çok net gösterilmiştir [19]. AAT'lerde uygulanan atıksu arıtma prosesi seçiminin yanı sıra MP'lerin polimer türü, morfolojisi, boyutu ve yoğunluğu gibi faktörler de MP'lerin atıksudan giderilme verimlerini etkilemektedir. Aynı atıksu arıtma prosesi için her bir AAT'nin tesis tasarımında ve işletme özelliklerinde çeşitli farklılıklar vardır ve bunlar giderim oranlarındaki gözlenen farklılıklara katkıda bulunabilir [20]. Ayrıca atıksuyun mevsimsel (yağışlı ya da kuru sezon) değişiminin ve kentselleşmenin atıksu niteliğine ve dolayısı ile tesise gelen MP yüküne getirdiği önemli etkinin de değerlendirmeye alınması gerekmektedir. Öyle ki, AAT'lerin giriş atıksuyundaki MP konsantrasyon aralığı oldukça geniş olup; literatürde 0,14 MP/L – 3,14 x 10^4 MP/L olarak belirlenmiştir [21].

AAT'lerin giriş atıksuyunda en çok rastlanan polimer türleri polistiren (PS, %20–90), polyester (PES, %40–75), polietilen (PE, %5–60), polipropilen (PP, %2–40), polietilen tereftalat (PET, %3–38), polyamid (PA, 2 - %35) ve akrilat (Acryl, %2-28) olarak sıralanmaktadır. Atıksuda en sık rapor edilen MP'ler şekillerine göre fiber, fragman, boncuk ve köpükten meydana gelmektedir. Plastik renkleri günlük yaşantıda sıklıkla yer alan ürünleri yansıtmakta olup; çoğunluğu şeffaf, siyah, mavi, kırmızı, yeşil ve beyaz oluşturmaktadır [21]. MP boyutları ise analiz metoduna bağlı olarak çalışmalar arasında büyük değişkenlik göstermekle birlikte giriş atıksuyundaki MP'lerin %70'i 500 µm'yi geçkin boyutlarda iken çıkış suyundakilerin %90'ından fazlası 500 µm'den küçük boyutlu olarak rapor edilmiştir [15].

Herhangi bir çevresel ortamdaki MP'lerin tanımlanması, miktarının ve akıbetinin belirlenmesinde numunelerin doğru bir şekilde alınması, ön işlemlere tabi tutulması ve bu örneklere etkili analitik metotların uygulanması önemlidir. Literatürde MP'lerin örneklenmesi ve analizi için standart bir metot bulunmamakta, uygulanan yöntemler numune ortamına (su, atıksu, arıtma çamuru ya da toprak) bağlı olarak farklılık göstermektedir. Anlık ya da kompozit örnekleme yöntemleri ile alınan numuneler, yaygın olarak farklı gözenek açıklıklarına sahip metal eleklerin üst üste yerleştirilmesiyle hazırlanan filtrasyon düzeneklerinden geçirilmekte ve numunenin içindeki parçacıklar boyutlarına göre sınıflandırılabilmektedir [22]. Çoğu görece temiz su içeren

alıcı su ortamları için geliştirilen metotların, atıksuya özgü basamakları içerecek şekilde geliştirilerek uygulanması gerekmektedir. MP'lerin atıksu ya da arıtma çamurlarından ayrıştırıldığı ortamlarda analiz sırasında girişim yapacak olan başta organik madde olmak üzere pek çok madde bulunmaktadır. Girişim etkisinin engellenmesi için bu maddelerin plastiklerin boyut ve polimer yapısını bozmadan ön işlemler ile giderilmesi gerekmektedir. Literatürde organik maddelerin giderimi için çoğunlukla hidrojen peroksit uygulaması, Fenton oksidasyonu, enzimatik önişlem, NaOH, KOH ve önişlemlerin kullanılmadığı analiz yöntemleri uygulanmaktadır. Ancak bu metotların verimleri tespit edilmemektedir [23]. Analizin etkili bir şekilde gerçekleştirilebilmesi, atıksu arıtma tesislerinde MP'lerin doğru tespiti ve giderimlerinin irdelenebilmesi için bu yöntemlerin numunedeki organik madde miktarını nicel olarak yansıtacak kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) ya da Kjeldahl azotu gibi parametrelere dayandırılarak standardize edilmesi gerekmektedir. Organik madde gideriminden sonra yoğunluk farkına dayanan ayırma metodu uygulanan MP'ler yüzdürme, santrifüjleme ya da ultrasonik yöntem ile numuneden ayrılmaktadır [22]. Bu metot, NaCl, NaI ve $ZnCl_2$ gibi kimyasalların doygun çözelti oluşturacak şekilde numuneye eklenmesi ile yoğunluğu artırılacak olan sıvıda düşük yoğunluğa sahip MP'lerin yüzeye toplanarak ayırılması esasına dayanır. Kolay bulunabilir ve uygun fiyatlı olması sebebiyle yaygın olarak kullanılan NaCl yüksek yoğunluğa sahip MP'lerin ayırılmasında etkili değildir. Hem yüksek hem de düşük yoğunluklu MP'leri ayırmak ve sayılarını doğru belirlemek amacıyla yüksek fiyat ve görece toksik özellik gibi dezavantajları olmasına rağmen NaI ve $ZnCl_2$ de önerilmektedir [13].

MP'lerin bulundukları çevre örneklerinden ayrılmaları sonrasında tanımlanmaları ve miktarlarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu kapsamda literatürde uygulanmış farklı yöntemler bulunmaktadır. En yaygın kullanılan analiz yöntemi optik ve spektroskopik tekniklerin birlikte kullanıldığı görsel tanımlama ve ardından polimerin kimyasal yapısının tespit edilmesidir [24]. Görsel tanımlama yöntemi ile incelenecek olan plastiklerin boyutuna bağlı olarak ışık mikroskobu, floresan mikroskobu, stereomikroskop ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) gibi cihazlar kullanılarak sonraki aşamalarda kimyasal yapısı incelenecek olan plastiklerin örnekten ön-ayırması gerçekleştirilmektedir. Bu yöntem ile MP'lerin boyut, şekil, renk gibi fiziksel özellikleri ve sayısı belirlenebilmektedir. Sentetik maddeleri boyamayıp plastikleri boyayan Nil kırmızısı (Nile Red), Safranine-T ve çeşitli tekstil boyaları ya da organik maddeleri boyayıp plastikleri boyamayan Rose Bengal kimyasalı [25] kullanılarak floresan mikroskobu altında MP'ler örneğin içinde kalan diğer maddelerden ayırt edilerek sayma işlemi gerçekleştirilebilmektedir. MP analizinde sıkça kullanılan bir diğer yöntem olan titreşim spektroskopisinde ise polimerlerin uyarılması ile elde edilen soğurma ve yansıtma spektrumları referans spektrum ile karşılaştırılarak plastiklerin kimyasal yapıları bulunabilmektedir [26]. Bu yöntemde 20 µm'den küçük plastik parçacıklar için Raman [27]; 20 µm'den büyük olanlar için Fourier Dönüşümlü Kızılötesi (FTIR) spekroskobunun [28] kullanımı önerilmektedir. Titreşim spektroskopisinden daha hassas analiz yapabilen kütle spektroskopisi yöntemi ile TDS-GC-MS ve py-GC-MS gibi cihazlar kullanılarak nano boyuttaki plastiklerin de incelenebileceği belirtilmiştir [22].

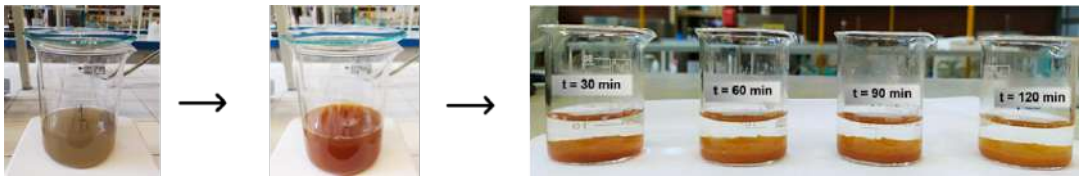
Sonuç olarak, tüm çevre kompartımanlarında artmakta olan MP kirliliğinin önlenebilmesi için MP'lerin miktar, şekil, boyut, kimyasal tür ve kaynaklarının doğru analiz edilmesi ve bu bilgiler dahilinde mevcut arıtma teknolojilerinin verimliliklerinin belirlenmesi yeni teknolojilerin geliştirilmesi gerekmektedir. Buna ek olarak, MP analizlerinin her basamağına ilişkin birden çok alternatif metodun ya da kimyasalın mevcut olduğu ve bu alternatiflerin her farklı ortam için (su/atıksu/çamur) tek tek değerlendirilmesi gerektiği ortaya çıkmaktadır. Bu bulgulardan, analizlerin belli kalite güvence/kalite kontrol (QA/QC) tekniklerinin uygulanmasıyla yapılması konusunda önemli eksiklik olduğu görülmüş olup çalışma kapsamında tekrarlanabilir, güvenilir ve standartlaşabilecek bir analiz metodunun ortaya konması hedeflenmiştir.

2. MATERYAL & METOT

Atıksu örnekleri Ankara'da evsel atıksu arıtan bir membran biyoreaktör (MBR) AAT'nin girişinden grab örnekleme metodu ile alınmıştır. Geliştirilen MP analiz metodunun geri kazanım veriminin belirlenmesinde değirmende öğütülmüş PE MP'ler kullanılmıştır. Geri kazanım oranlarının hesaplanması 100-500 µm boyut aralığına sahip fragman tipi PE MP'lerin atıksu örneklerine belirli sayılarda atılması metoduna dayanmaktadır. Metot geliştirme çalışmaları Şekil 1'de verilen şemanın her bir adımının optimize edilmesini kapsamaktadır.

Şekil 1. Atıksuda MP'lerin analizi için geliştirilen metot

Örneklenen numunelerdeki organik maddelerin gideriminde etkinliği yüksek bir metal katalizli ileri oksidasyon reaksiyonu olan Fenton işlemi kullanılmıştır. Oksidasyon, atıksu örneklerine farklı seviyede kimyasal dozlamalarının yapılması ile optimize edilmiştir. Reaksiyon farklı dozlarda %35'lik H_2O_2 ve 0.1 M Fe(II) çözeltisinin eklenmesi ile 120 dakika boyunca pH=3'te gerçekleştirilmiş olup pH'ın nötralize edilmesi ile sonlandırılmıştır. Etkin koşulların belirlenmesi amacıyla reaksiyon süresince belirli zaman aralıklarında karışımdan örnekler alınmış, KOİ değerleri ölçülmüş ve optimal oksidasyon süresi belirlenmiştir (Şekil 2).



(a) **(b)** **(c)**

Şekil 2. Fenton oksidasyonunun aşamaları: başlangıçtaki atıksu örneği (a); reaksiyon süreci (b); düzenli aralıklarda alınmış ve çöktürülmüş örnekler (c)

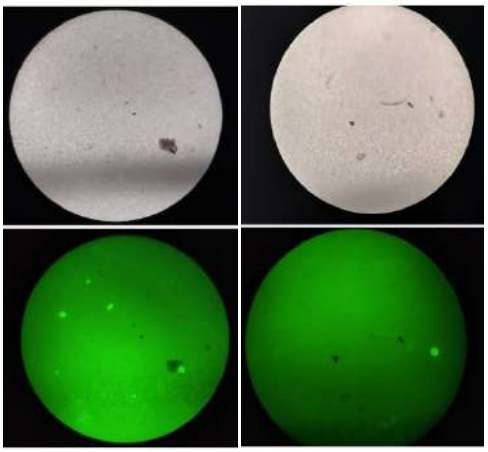
Organiklerin oksidasyonunu takiben atıksudaki MP'ler, ardışık günlerde NaCl ve $ZnCl_2$ kullanımına dayanan iki aşamalı yoğunluk bazlı ayırma işlemi ile ayırma hunilerinde ekstrakt edilmiştir. İlgili tuzlar ile sırasıyla karışımın yoğunluğu 1.15 g/cm^3 ve 1.5 g/cm^3 seviyesine getirilmiştir. Yüzdürülen kısımlar bir araya getirilerek beşli elek sisteminden (5,00 mm; 1,00 mm; 0,500 mm; 0,106 mm ve 0,038 mm) geçirilmiş; eleklerin yıkama suları ayrı ayrı boyut grupları olarak vakum filtrasyon sisteminde polikarbonat membran (PCTE) filtreler (siyah, 1.0 µm) üzerinde tutulmuştur. Filtre üzerinde tutulan parçacıklar floresan boya Nil Kırmızısı ile boyanmış ve 15 dk karanlıkta ve oda sıcaklığında inkübe edilmiştir. İnkübasyonun ardından filtreler, GFP filtresi kullanılarak ZEISS Axio Scope.A1 Floresan Mikroskobu altında incelenmiştir. UV ışığı altında parlayan parçacıklar MP olarak kabul edilmiş ve atıksudaki MP'lerin sayısal tespiti yapılmıştır. Eş zamanlı olarak Floresan Mikroskobu'nun aydınlık alan görüntüleme fonksiyonu ile MP'lerin renk, şekil ve boyut belirleme ve sınıflandırması gerçekleştirilmiştir. Atıksuda Nil Kırmızısı boyasının etkinliğine dayalı olarak belirlenen MP sayısı saf suda yapılmış kontrol numunesi analizi ile düzeltilmiştir.

3. SONUÇ

Fenton oksidasyonu için yapılan optimizasyon çalışmaları, numuneye yapılan H_2O_2 dozlamasının teorik gereksinimin 5 katı ve $[H_2O_2]/[Fe^{2+}]$ = 10 olması durumunda en etkili KOİ giderimini sağladığını göstermiştir. Numunedeki organiklerin çoğunun ilk 30 dk içerisinde oksitlenmiş olduğu görülmekle birlikte 90 dk sonununda en etkili giderim seviyesine ulaşılmıştır. Reaksiyon sırasında uygulanan düşük pH ve oksidatif ortam MP'ler için aşındırıcı etki yaratabileceği için reaksiyon süresinin minimumda tutulması hedeflenir iken ortamdaki organik kalıntıların sonraki aşamalarda MP analizine girişim yapacağı kaygısı ile 90 dk, $[H_2O_2]/[Fe^{2+}]$ = 10 ve $[H_2O_2]$ = teorik miktar x 5 koşulları atıksudaki MP'lerin analizinde en etkili önişlem olarak belirlenmiştir.

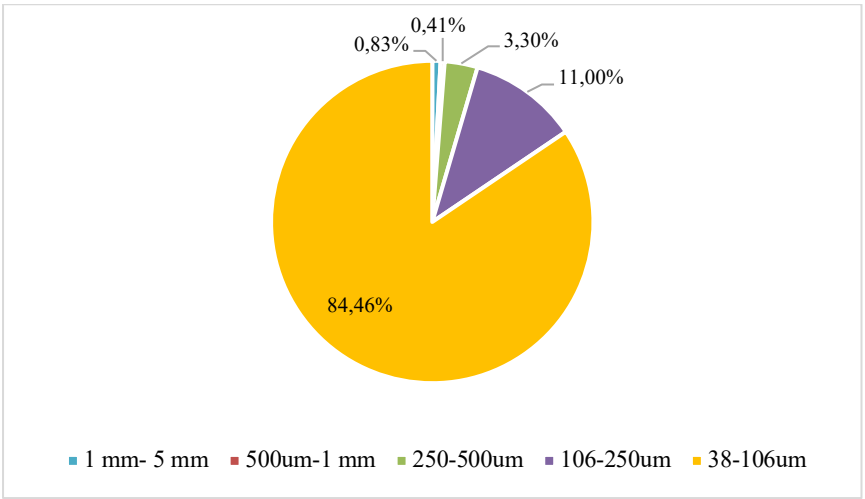
Bir ve iki adımlı yoğunluk ayırma metotlarının karşılaştırılması sonucu yüksek yoğunluklu MP'lerin geri kazanımının ikinci tuzlama olan $ZnCl_2$ eklemesi ile desteklendiğini göstermiştir. Bu nedenle, yönteme iki aşamalı bir prosedür entegre edilmiştir. Ekstrakt edilen parçacıkların boyanma optimizasyonu, oda sıcaklığında karanlıkta 15 dakika inkübasyonda 200 µL Nil Kırmızısı'nın MP'ler için yeterli seviyede boyama sağladığını göstermiştir (Şekil 3). Bu koşullar altında, geliştirilen yöntemin MP geri kazanım verimi sentetik ve gerçek atıksu numuneleri ile replikalı olarak gerçekleştirilmiştir. Sentetik atıksuda 90 dk'nın sonunda KOİ giderim verimi %85,99±0,02 iken numunenin içine eklenen PE MP'ler %89,3±6,11 oranında geri kazanılmıştır. Atıksu

ile gerçekleştirilen deneyde ise KOİ giderim verimi %86,49±1,87 iken PE MP'lerin geri kazanımı %78,67±12,22 olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlar literatüre göre tatmin edici seviyede bulunmuştur [29].



Şekil 3. Atıksuda tespit edilen MP'lerin Floresan Mikroskobu altında aydınlık alan (üst) ve karanlık alan (alt) görüntüleri

Geliştirilen MP analiz metoduna girişim yapan MP kontaminasyonunu göz önünde bulundurmak amacı ile Şekil 1'de verilen adımlar bir ultra saf su örneği ile izlenmiştir. Metodun güvenilirliğinin kontrolünü takiben, atıksu numunesinde belirlenen MP konsantrasyonu bu değer ile düzeltilmiştir. Sonuç olarak numunede toplam MP sayısı ortalama 2423,3 MP/L olarak bulunmuştur. Liu [30] 2018-2020 arasındaki çalışmalardan derledikleri verilere göre AAT'lerin giriş atıksuyu için MP sayısının 0,28 ile $3{,}14\times10^{4}$ MP/L aralığında olduğunu; ortalama MP değerinin ise yaklaşık 1900 MP/L olduğunu tespit etmiştir. Bu çalışma ile MBR giriş atıksuyundan tespit edilen MP sayısı da literatürün ortalama değerlerine yakındır.

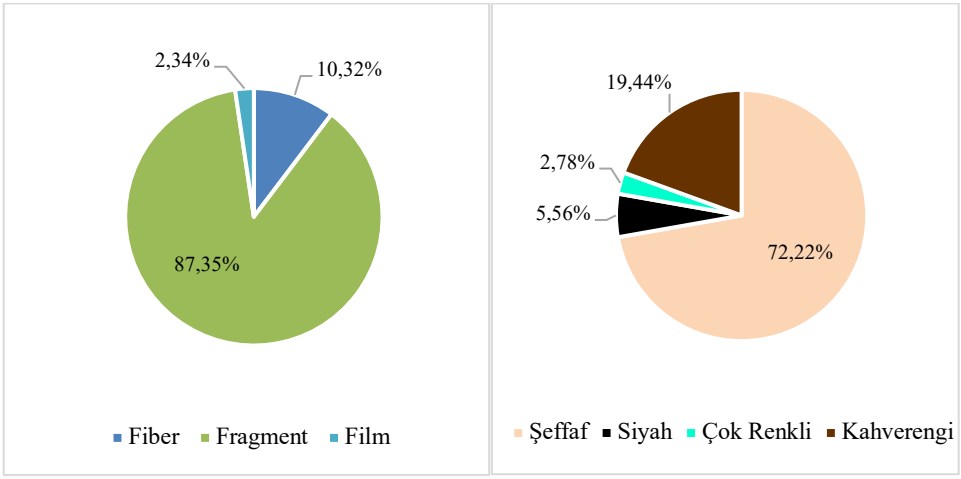


Şekil 4. MP'lerin boyutlarına göre dağılımı

Bununla beraber, tespit edilen MP'ler boyut, şekil ve renklerine göre sınıflandırılmıştır. MP'lerin boyutlarına göre dağılımı Şekil 4'teki gibi olmakla beraber en yüksek MP oranının %85 ile 38-106 µm aralığındaki boyutlarda olduğu ortaya konmuştur. Sun [15] yaptıkları derleme çalışmasında AAT'lerin giriş atıksuyu için

büyük olan MP boyutlarının (>500 µm) daha baskın olduğunu ve %70'lere kadar MP sayısını temsil edebildiğini; çıkış atıksuyunda ise küçük boyutlu MP'lerin (<500 µm) baskın geldiğini ortaya koymuştur. MBR giriş atıksuyunda yapılan bu çalışmada ise MP'lerin yaklaşık olarak %98,8'i 500 µm'den düşük olmakla beraber oran ve düşük boyutlu MP sayısının literatürün üstünde kalması dikkat çekici bir bulgudur. Bu durumun Nil Kırmızısı ile boyama metodunun organik yükü yüksek atıksu ve arıtma çamuru gibi numunelerde MP sayısını olduğundan fazla tespit etmesine bağlı bir sonuç olabileceği düşünülmektedir.

MP'lerin şekil dağılımı Şekil 5-a'daki gibidir ve fragman şekilli MP'lerin %86'lık bir oran ile çoğunluğu oluşturduğu gözlemlenmiştir. Fragman yapılı MP'lerin ise yaklaşık %93,4'ünün 38-106 µm boyut aralığında olduğu tespit edilmiştir. Fragman yapılı MP'ler, daha büyük plastiklerin aşınması ve parçalanması ile oluşmuş ikincil MP örneği olabilmektedir. Liu [30] çalışmalarda genel olarak fiber şekilli plastiklerin çoğunlukta olduğunu (%91,32), fragmanların ise %65,43 oranı ile 3. sırada olduklarını ortaya koymuştur. Bu fark, kullanılan terminolojilerin çeşitliliğinin yanı sıra mevsimsel, bölgesel ve ekonomik koşulların farklılığından da kaynaklanabilmektedir. Şekil 5-b'de ise tespit edilen MP'lerin renklerine göre dağılımları verilmiştir. 9 farklı renk için yapılan sınıflandırmada yalnız 4 renk için MP tespit edilmiştir, bu renkler içinde şeffaf olarak tanımlanan MP'lerin %72,2 ile çoğunluğu sağladığı görülmektedir. Ali [20] renk sınıflandırılması yapılmış MP çalışmalarında en büyük oranın %40 ile %75 aralığında değişen şeffaf MP'lere ait olduğunu ortaya koymuşlar ve kaynağını plastik şişe, bardak ve poşet gibi ambalajların sık kullanımına bağlamışlardır. Çalışma bu açıdan literatürdeki sonuçlar ile örtüşmektedir.



Şekil 5. MP'lerin şekillerine göre (a); renklerine göre dağılımı (b)

4. TARTIŞMA

Atıksuda belirlenen MP konsantrasyonu literatürde belirtilmiş olan sayıların üst sınırına yakın bulunmuştur. Bu sayı, Nil Kırmızısı'nın tüm polimer türleri, parçacık şekilleri ve renkleri için etkinliğinin henüz tam olarak belirlenmemiş olmasına bağlanabilmektedir. Öte yandan, literatürdeki diğer çalışmalar çoğunlukla optik ya da stereo mikroskop kullanmakta olup MP sayım işlemleri öznel bir yaklaşım ile gerçekleştirilmektedir. Bu tür mikroskopların kullanımının polimer yapısından bağımsız olup yalnızca morfolojiye dayalı tanımlama sağlaması sebebiyle de araştırmacıların MP sayılarını olduğundan düşük belirlediği düşünülmektedir.

Plastiklere ek olarak biyolojik maddelere de bağlanması sebebiyle MP sayısını olduğundan yüksek belirleme potansiyeline sahip Nil Kırmızı boyasının, spesifik olarak DNA'ya bağlanma özelliğine sahip DAPI boyası ile birlikte kullanımı sonraki çalışmalar için önerilmektedir. Floresan boyalarının çeşitli türdeki polimerler için optimize edilmelerinin ardından eş zamanlı kullanımlarının MP'lerin ayırdını kolaylaştıracağı ve spektroskopik yöntemler ile analizin gerekliliğini azaltacağı düşünülmektedir.

5. KAYNAKÇA

[1] B. Zhang, X. Yang, L. Chen, J. Chao, J. Teng, ve Q. Wang, "Microplastics in soils: a review of possible sources, analytical methods and ecological impacts", *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, 2020, doi: 10.1002/jctb.6334.

[2] PlasticsEurope, "Plastics – the Facts 2020: an Analysis of European Plastics Production, Demand and Waste Data", 2020. [Çevrimiçi]. Available at: https://www.plasticseurope.org/application/files/3416/2270/7211/Plastics_the_facts-WEB-2020_versionJun21_final.pdf%0Ahttps://www.plasticseurope.org/en/resources/publications/4312-plastics-facts-2020.

[3] R. Geyer, *Production, use, and fate of synthetic polymers*. Elsevier Inc., 2020.

[4] C. Wang, J. Zhao, ve B. Xing, "Environmental source, fate, and toxicity of microplastics", *J. Hazard. Mater.*, c. 407, sayı May 2020, s. 124357, 2021, doi: 10.1016/j.jhazmat.2020.124357.

[5] G. Gatidou, O. S. Arvaniti, ve A. S. Stasinakis, "Review on the occurrence and fate of microplastics in Sewage Treatment Plants", *J. Hazard. Mater.*, c. 367, ss. 504–512, 2019, doi: 10.1016/j.jhazmat.2018.12.081.

[6] P. L. Ngo, B. K. Pramanik, K. Shah, ve R. Roychand, "Pathway, classification and removal efficiency of microplastics in wastewater treatment plants", *Environ. Pollut.*, c. 255, s. 113326, 2019, doi: 10.1016/j.envpol.2019.113326.

[7] X. Lv, Q. Dong, Z. Zuo, Y. Liu, X. Huang, ve W. M. Wu, "Microplastics in a municipal wastewater treatment plant: Fate, dynamic distribution, removal efficiencies, and control strategies", *J. Clean. Prod.*, c. 225, ss. 579–586, 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.03.321.

[8] Z. Zhang ve Y. Chen, "Effects of microplastics on wastewater and sewage sludge treatment and their removal: A review", *Chem. Eng. J.*, c. 382, sayı September 2019, s. 122955, 2020, doi: 10.1016/j.cej.2019.122955.

[9] C. Martínez-Gómez, V. M. León, S. Calles, M. Gomáriz-Olcina, ve A. D. Vethaak, "The adverse effects of virgin microplastics on the fertilization and larval development of sea urchins", *Mar. Environ. Res.*, c. 130, ss. 69–76, 2017, doi: 10.1016/j.marenvres.2017.06.016.

[10] L. Guilhermino *vd.*, "Uptake and effects of the antimicrobial florfenicol, microplastics and their mixtures on freshwater exotic invasive bivalve Corbicula fluminea", *Sci. Total Environ.*, c. 622–623, ss. 1131–1142, 2018, doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.12.020.

[11] S. Rehse, W. Kloas, ve C. Zarfl, "Short-term exposure with high concentrations of pristine microplastic particles leads to immobilisation of Daphnia magna", *Chemosphere*, c. 153, ss. 91–99, 2016, doi: 10.1016/j.chemosphere.2016.02.133.

[12] WHO, "Microplastics in drinking-water", 2019.

[13] E. D. Okoffo, S. O'Brien, J. W. O'Brien, B. J. Tscharke, ve K. V. Thomas, "Wastewater treatment plants as a source of plastics in the environment: A review of occurrence, methods for identification, quantification and fate", *Environ. Sci. Water Res. Technol.*, c. 5, sayı 11, ss. 1908–1931, 2019, doi: 10.1039/c9ew00428a.

[14] H. Ou ve E. Y. Zeng, *Occurrence and Fate of Microplastics in Wastewater Treatment Plants*. Elsevier Inc., 2018.

[15] J. Sun, X. Dai, Q. Wang, M. C. M. van Loosdrecht, ve B. J. Ni, "Microplastics in wastewater treatment plants: Detection, occurrence and removal", *Water Res.*, c. 152, ss. 21–37, 2019, doi: 10.1016/j.watres.2018.12.050.

[16] S. Ziajahromi, P. A. Neale, ve F. D. L. Leusch, "Wastewater treatment plant effluent as a source of microplastics: review of the fate, chemical interactions and potential risks to aquatic organisms", *Water Sci. Technol.*, c. 74, sayı 10, ss. 2253–2269, 2016, doi: 10.2166/wst.2016.414.

[17] J. Talvitie, A. Mikola, A. Koistinen, ve O. Setälä, "Solutions to microplastic pollution – Removal of microplastics from wastewater effluent with advanced wastewater treatment technologies", *Water Res.*, c. 123, ss. 401–407, 2017, doi: 10.1016/j.watres.2017.07.005.

[18] E. A. Gies *vd.*, "Retention of microplastics in a major secondary wastewater treatment plant in Vancouver, Canada", *Mar. Pollut. Bull.*, c. 133, ss. 553–561, 2018, doi: 10.1016/j.marpolbul.2018.06.006.

[19] M. D. Hatinoğlu ve F. D. Sanin, "Sewage sludge as a source of microplastics in the environment: A review of occurrence and fate during sludge treatment", *J. Environ. Manage.*, c. 295, s. 113028, Eki. 2021, doi: 10.1016/j.jenvman.2021.113028.

[20] Z. Xu, X. Bai, ve Z. Ye, "Removal and generation of microplastics in wastewater treatment plants: A review", *J. Clean. Prod.*, c. 291, s. 125982, 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2021.125982.

[21] I. Ali *vd.*, "Micro- and nanoplastics in wastewater treatment plants: Occurrence, removal, fate, impacts and remediation technologies – A critical review", *Chem. Eng. J.*, c. 423, sayı April, 2021, doi: 10.1016/j.cej.2021.130205.

[22] B. Nguyen, D. Claveau-Mallet, L. M. Hernandez, E. G. Xu, J. M. Farner, ve N. Tufenkji, "Separation and Analysis of Microplastics and Nanoplastics in Complex Environmental Samples", *Acc. Chem. Res.*, c. 52, sayı 4, ss. 858–866, 2019, doi: 10.1021/acs.accounts.8b00602.

[23] R. R. Hurley, A. L. Lusher, M. Olsen, ve L. Nizzetto, "Validation of a Method for Extracting Microplastics from Complex, Organic-Rich, Environmental Matrices", *Environ. Sci. Technol.*, c. 52, sayı 13, ss. 7409–7417, 2018, doi: 10.1021/acs.est.8b01517.

[24] A. B. Silva, A. S. Bastos, C. I. L. Justino, J. P. da Costa, A. C. Duarte, ve T. A. P. Rocha-Santos, "Microplastics in the environment: Challenges in analytical chemistry - A review", *Anal. Chim. Acta*, c. 1017, ss. 1–19, 2018, doi: 10.1016/j.aca.2018.02.043.

[25] P. Campo, A. Holmes, ve F. Coulon, "A method for the characterisation of microplastics in sludge", *MethodsX*, c. 6, sayı November, ss. 2776–2781, 2019, doi: 10.1016/j.mex.2019.11.020.

[26] C. Bretas Alvim, M. A. Bes-Piá, ve J. A. Mendoza-Roca, "Separation and identification of microplastics from primary and secondary effluents and activated sludge from wastewater treatment plants", *Chem. Eng. J.*, c. 402, s. 126293, 2020, doi: 10.1016/j.cej.2020.126293.

[27] A. Dyachenko, J. Mitchell, ve N. Arsem, "Extraction and identification of microplastic particles from secondary wastewater treatment plant (WWTP) effluent", *Anal. Methods*, c. 9, sayı 9, ss. 1412–1418, 2017, doi: 10.1039/c6ay02397e.

[28] J. Bayo, S. Olmos, ve J. López-Castellanos, "Microplastics in an urban wastewater treatment plant: The influence of physicochemical parameters and environmental factors", *Chemosphere*, c. 238, 2020, doi: 10.1016/j.chemosphere.2019.124593.

[29] M. A. Cashman, K. T. Ho, T. B. Boving, S. Russo, S. Robinson, ve R. M. Burgess, "Comparison of microplastic isolation and extraction procedures from marine sediments", *Mar. Pollut. Bull.*, c. 159, sayı July, s. 111507, 2020, doi: 10.1016/j.marpolbul.2020.111507.

[30] W. Liu *vd.*, "A review of the removal of microplastics in global wastewater treatment plants: Characteristics and mechanisms", *Environ. Int.*, c. 146, s. 106277, 2021, doi: 10.1016/j.envint.2020.106277.

14. national 2. international environmental engineering congress

climate crisis & environmental policies

SESSION 8A: Çevre Mühendisliği Eğitimi

Paper ID:

25 **Türkiye'de Çevre Mühendisliği Programlarının Genel Durumlarının İncelenmesi (2021)**
Kamil B. Varınca

38 **ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ AKIŞKANLAR MEKANİĞİ DERSİNDE AKTİF ÖĞRENME METODU OLARAK DERS İÇİ ETKİNLİKLERİN KULLANILMASI**
Derya Ayral Çınar

65 **INVESTIGATION OF THE IMPACT OF RAIN GARDENS ON HYDRAULIC PERMEABILITY AND CONTRIBU**
Derya Ayral Çınar

TÜRKİYE'DE ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMLARININ GENEL DURUMLARININ İNCELENMESİ (2021)

***Kamil B. Varınca*[1,*]**

[1],* *Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, 02040, Merkez / ADIYAMAN kvarinca@adiyaman.edu.tr*

Özet

Çevre Mühendisliği; insan ve çevre sağlığının korunması amacıyla çevre kirliliğinin önlenmesi ve yaşam alanı olan çevresel ortamların kalitesinin korunması kapsamındaki tüm konu ve alt konularda bilimsel çalışmalar yürüten ve mühendislik çözümleri üreten disiplinler arası bir mühendislik dalıdır.

Bir ülkenin çevre koruma alanındaki çalışmaları elbette bu konuda çalışan insan varlığı sayesinde olacaktır. Çevreye verilen önem dolayısıyla bu meslek grubunu yetiştiren programların durumunun takip edilmesi ve incelenmesi de mesleğin ve programların ne yöne doğru gittiğinin, değişim ve yenilik gerekip gerekmediğinin ve tedbir alınması gereken bir durumun olup olmadığının anlaşılabilmesi açısından önem arz etmektedir.

Bu sebeple bu çalışmada, Türkiye'deki Çevre Mühendisliği Bölümleri ile bu Bölümlerde 2021 yılında öğrenci alımına açık tutulmuş lisans programlarının sayıları, bu programların kontenjan, kayıt yapılan ve boş kalan kontenjanları, bu programların yürütüldüğü bölümlerdeki unvana göre öğretim elemanı sayıları gibi bölüm ve program hakkındaki temel profil bilgileri incelenmiş, veriler ışığında durumun ortaya konulması amaçlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Çevre Mühendisliği, Çevre Mühendisliği bölümleri, Çevre Mühendisliği programları

INVESTIGATION OF THE GENERAL STATUS OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING PROGRAMS IN TURKEY (2021)

Abstract

Environmental engineering; It is an interdisciplinary engineering branch that conducts scientific studies and produces engineering solutions on all subjects and sub-issues within the scope of preventing environmental pollution and protecting the quality of environmental environments, which are living spaces, in order to protect human and environmental health.

The work of a country in the field of environmental protection will of course be thanks to the human presence working on this issue. Due to the importance given to the environment, it is important to monitor and examine the status of the programs that train this profession group, in order to understand the direction of the profession and the programs, whether change and innovation are needed, and whether there is a situation where precautions should be taken.

For this reason, in this study, the number of Environmental Engineering Departments in Turkey and the undergraduate programs open to student admission in these departments in 2021, the quota of these programs, the number of registered and vacant quotas, and the number of instructors according to the titles of the departments in which these programs are conducted, are examined. profile information was examined and it was aimed to reveal the situation in the light of the data.

Keywords: Environmental Engineering, Environmental Engineering departments, Environmental Engineering programs

1. GİRİŞ

İnsan faaliyetleri neticesinde çevrede meydana gelen tahribat ve sonucunda karşılaşılan zararlar insanların çevreye olan duyarlılığını artırmaktadır. Çevrenin korunması ve tahribatın giderilmesi için arıtım ve bertaraf yöntemleri de giderek önem kazanmaktadır. Bu sebeple; bilim ve teknolojiyi kullanan mühendislik formasyonuna sahip teknik elemanlara olan ihtiyaç giderek artmaktadır. Çevre mühendisliği, bu ihtiyacı giderme ve çevrenin korunmasında önemli bir görevi yerine getirmektedir.

Çevre Mühendisliği [1]; insan ve çevre sağlığının korunması amacıyla çevre kirliliğinin önlenmesi ve yaşam alanı olan çevresel ortamların kalitesinin korunması kapsamındaki,

- Çevre yönetim sistemleri ve planları,
- Çevresel etki değerlendirmesi (ÇED),
- Çevresel kaynak ve ortamların planlanması ve korunması,
- Kirlilik (hava, su, toprak, gürültü, koku, ışık, vb.) önleme ve arıtma teknik ve teknolojileri ile tesis tasarımı,
- Atık (katı, sıvı, gaz, zararlı, evsel ve endüstriyel vb.) önleme, azaltım, yeniden kullanım, geri dönüşüm, geri kazanım, arıtma ve bertaraf teknik ve teknolojileri ile tesis tasarımı,
- İçme ve kullanma suyu temini ve arıtımı, evsel ve endüstriyel atık sular (kanalizasyon) ile yağmur sularının toplanması ve arıtımı, katı atıkların toplanması, taşınması ve bertarafı gibi konulardaki şehircilik hizmetlerinin sunumu,
- Yenilenebilir enerji kaynakları, iklim değişikliği, iş sağlığı ve güvenliği ile mühendislik etiği

konuları ve alt konularında bilimsel çalışmalar yürüten ve mühendislik çözümleri üreten disiplinler arası bir mühendislik dalıdır.

22/04/2009 tarih ve 27208 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan "*Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği Çevre Mühendisleri Odası Serbest Çevre Mühendisliği Hizmetleri Uygulama ve Asgari Ücret Yönetmeliği*" [2] uyarınca çevre mühendisleri;

a) Çevre kirliliğinin önlenmesi kapsamındaki çevre mühendisliği hizmetleri,

b) Çevre yönetim sistemleri ve planları kapsamındaki çevre mühendisliği hizmetlerinin ilgili meslek disiplinleri ile birlikte yürütülmesi ve koordinasyonu,

c) Çevresel etki değerlendirme çalışmalarının ilgili meslek disiplinleri ile birlikte planlanması, koordinasyonu, ÇED raporlarının hazırlanması ve uygulanması,

ç) İçme ve kullanma suyu, evsel ve endüstriyel atık sular ile yağmur suları kapsamında, yapıların parsel içi tesisat projeleri hariç, çevre mühendisliği hizmetleri,

d) Katı atıklar,

e) Zararlı ve tehlikeli atıklar,

f) Evsel ve endüstriyel atıklar,

g) Hava kirliliği kontrolü,

ğ) Gürültü kirliliği kontrolü,

h) Toprak ve yeraltı su kaynaklarının kirliliği kapsamındaki çevre mühendisliği hizmetlerinin ilgili meslek disiplinleri ile birlikte planlanması, eşgüdümü ve yürütülmesi

konularında

a) Etüd, fizibilite, proje,

b) Araştırma, geliştirme ve planlama,

c) Danışmanlık ve eğitim,

ç) Kontrollük,

d) Deneme işletmesi, muayene ve kabul,

e) Uygulama ve işletme yönetimi,

f) Keşif-şartname-ihale dosyası hazırlama ve düzenleme,

g) Hakediş ve kesin hesap,

ğ) Numune alma, deney, ölçüm, analiz ve modelleme

hizmeti vermektedirler.

Türkiye'de Çevre Mühendisliği formasyonu Çevre Mühendisliği Bölümleri bünyesinde açılan Çevre Mühendisliği Lisans Programları ile yürütülmektedir. Çevre Mühendisliği Lisans Programları örgün öğretimde programın türüne bağlı olarak Türkçe veya İngilizce olarak lisans düzeyinde 4 yıllık eğitim-öğretim vermekte olup bu programlar Yükseköğretim Kurumları Sınavı (YKS) ile Sayısal (SAY) puan türünde Ölçme, Seçme ve Yerleştirme Merkezi (ÖSYM) tarafından yapılan merkezi yerleştirme ile öğrenci almaktadır [3].

Türkiye'de Üniversitelerdeki Çevre Mühendisliği Bölümlerinin kuruluşlarından evvel de çeşitli isimlerle çevre mühendisliği konularında öğretim veren kurumlar bulunmakta idi. Ancak ilk Çevre Mühendisliği Bölümleri 1980'lere gelmeden önce kurulmuş ve lisans seviyesinde öğretime başlamışlardır. Bu bakımdan bakıldığında Türkiye'de Çevre Mühendisliği öğretimi 40 seneyi aşkın bir geçmişe ve tecrübeye sahiptir.

Bir ülkenin çevre koruma alanındaki çalışmaları elbette bu konuda çalışan insan varlığı sayesinde olacaktır. Çevreye verilen önem dolayısıyla bu meslek grubunu yetiştiren programların durumunun takip edilmesi ve incelenmesi de mesleğin ve programların ne yöne doğru gittiğinin, değişim ve yenilik gerekip gerekmediğinin ve tedbir alınması gereken bir durumun olup olmadığının anlaşılabilmesi açısından önem arz etmektedir.

Bu sebeple bu çalışmada, Türkiye'deki Çevre Mühendisliği Bölümleri ile bu Bölümlerde 2021 yılında öğrenci alımına açık tutulmuş lisans programlarının sayıları, bu programların kontenjan, kayıt yapılan ve boş kalan kontenjanları, bu programların yürütüldüğü bölümlerdeki unvana göre öğretim elemanı sayıları gibi bölüm ve program hakkındaki temel profil bilgileri incelenmiş, veriler ışığında durumun ortaya konulması amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada; verilerin toplanması ve derlenmesi ile verilen incelenmesi sonucu analiz edilip değerlendirilmesi yapılmıştır.

Kullanılan temel verilerden program bilgileri için Yükseköğretim Kurulunun (YÖK) Yükseköğretim Program Atlası YÖKATLAS (https://yokatlas.yok.gov.tr) veri tabanları [4], öğretim elemanı bilgileri için YÖK'ün Yükseköğretim Akademik Arama YÖKAKADEMİK (https://akademik.yok.gov.tr/) veri tabanı [5], kontenjan, yerleştirme ve diğer bilgiler için ise ÖSYM'nin Yükseköğretim Kurumları Sınavı (YKS) (https://www.osym.gov.tr/TR,20842/2021.html) [3] bilgilendirme dokümanları kullanılmıştır.

Elde edilen veriler derlenerek işlenmiş ve değerlendirme ve çıkarımlarda bulunulmuştur.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Türkiye'de 2021 yılı itibariyle Üniversitelerin ilgili fakülteleri altında açık bulunan mevcut Çevre Mühendisliği Bölümleri Tablo 1'de, bu Bölümler bünyesinde 2021 yılında öğrenci alımına açık bulunan Çevre Mühendisliği lisans programları ile bu programların kontenjan ve kayıt durumları ise Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1'de Türkiye'deki Çevre Mühendisliği Bölümlerinin bağlı oldukları Üniversite ve Fakülte, bulundukları il ve bölge, 2021 yılında öğrenci alımına açık lisans program(lar)ının olup olmadığı ve eğitim akreditasyonuna sahip olup olmadıkları bilgilerine yer verilmiştir. Bünyesinde 2021 yılında 1 adet açık lisans programı bulunan Bölümlerin ilgili sütununda "Var", 2 adet bulunan Bölümlerin ilgili sütununda ise "Var (2)" yazılmıştır.

Tablo 2'de ise Türkiye'de 2021 yılında öğrenci alımına açık Çevre Mühendisliği lisans programlarının bağlı oldukları üniversite ve program isimleri ile bu programların Toplam Kontenjan, Kayıt Yapılan ve Kalan Kontenjan bilgilerine yer verilmiştir. Tablo 2'de yer alan Toplam Kontenjan değerleri, program için belirlenmiş olan Genel Kontenjan ve Okul Birinciliği Kontenjanlarının toplamını; Kayıt Yapılan değerleri, ilk yerleştirme ile 1. ve 2. ek yerleştirme sonucu yerleşen adaylardan sadece kayıt yaptıranların toplamını, Kalan Kontenjan değerleri ise Toplam Kontenjandan Kayıt Yapılanların sayısının çıkarılması ile elde edilen ve hiçbir adayın yerleşip kayıt olmadığından boş kalan kontenjanları ifade etmektedir.

Tablo 1. Türkiye'deki Çevre Mühendisliği Bölümleri (2021) [3, 4, 5]

Sıra No	Üniversitesi	Fakültesi	İli	Bölgesi	Açık Program	Akredite
1	Adıyaman	Mühendislik	Adıyaman	Güneydoğu Anadolu		
2	Akdeniz	Mühendislik	Antalya	Akdeniz	Var	
3	Aksaray	Mühendislik	Aksaray	İç Anadolu		
4	Ardahan	Mühendislik	Ardahan	Doğu Anadolu		
5	Artvin Çoruh	Mühendislik	Artvin	Karadeniz		
6	Atatürk	Mühendislik	Erzurum	Doğu Anadolu	Var	
7	Balıkesir	Mühendislik	Balıkesir	Marmara		
8	Bartın	Mühendislik, Mimarlık ve Tasarım	Bartın	Karadeniz		
9	Bolu Abant İzzet Baysal	Mühendislik	Bolu	Karadeniz		
10	Bursa Teknik	Mühendislik ve Doğa Bilimleri	Bursa	Marmara	Var	
11	Bursa Uludağ	Mühendislik	Bursa	Marmara	Var	MÜDEK
12	Çanakkale Onsekiz Mart	Mühendislik	Çanakkale	Marmara	Var	MÜDEK
13	Çukurova	Mühendislik	Adana	Akdeniz	Var	
14	Dokuz Eylül	Mühendislik	İzmir	Ege	Var	MÜDEK
15	Düzce	Mühendislik	Düzce	Karadeniz		
16	Erciyes	Mühendislik	Kayseri	İç Anadolu	Var	
17	Eskişehir Teknik	Mühendislik	Eskişehir	İç Anadolu	Var (2)	MÜDEK
18	Fırat	Mühendislik	Elazığ	Doğu Anadolu		
19	Gebze Teknik	Mühendislik	Kocaeli	Marmara	Var	
20	Giresun	Mühendislik	Giresun	Karadeniz		
21	Hacettepe	Mühendislik	Ankara	İç Anadolu	Var	
22	Harran	Mühendislik	Şanlıurfa	Güneydoğu Anadolu		
23	İstanbul Teknik	İnşaat	İstanbul	Marmara	Var (2)	ABET
24	İstanbul-Cerrahpaşa	Mühendislik	İstanbul	Marmara	Var (2)	
25	İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü	Mühendislik	İzmir	Ege	Var	
26	Kahramanmaraş Sütçü İmam	Mühendislik-Mimarlık	Kahramanmaraş	Akdeniz		
27	Karabük	Mühendislik	Karabük	Karadeniz		
28	Kastamonu	Mühendislik ve Mimarlık	Kastamonu	Karadeniz		
29	Kırşehir Ahi Evran	Mühendislik-Mimarlık	Kırşehir	İç Anadolu		
30	Kocaeli	Mühendislik	Kocaeli	Marmara	Var	
31	Konya Teknik	Mühendislik ve Doğa Bilimleri	Konya	İç Anadolu		
32	Marmara	Mühendislik	İstanbul	Marmara	Var	MÜDEK
33	Mersin	Mühendislik	Mersin	Akdeniz		
34	Necmettin Erbakan	Mühendislik	Konya	İç Anadolu		
35	Nevşehir Hacı Bektaş Veli	Mühendislik-Mimarlık	Nevşehir	İç Anadolu		
36	Niğde Ömer Halisdemir	Mühendislik	Niğde	İç Anadolu		
37	Ondokuz Mayıs	Mühendislik	Samsun	Karadeniz	Var	MÜDEK
38	Orta Doğu Teknik	Mühendislik	Ankara	İç Anadolu	Var	ABET
39	Pamukkale	Mühendislik	Denizli	Ege	Var	
40	Sakarya	Mühendislik	Sakarya	Marmara	Var	MÜDEK
41	Sinop	Mühendislik ve Mimarlık	Sinop	Karadeniz		
42	Sivas Cumhuriyet	Mühendislik	Sivas	İç Anadolu		
43	Süleyman Demirel	Mühendislik	Isparta	Akdeniz		
44	Tekirdağ Namık Kemal	Çorlu Mühendislik	Tekirdağ	Marmara	Var	
45	Van Yüzüncü Yıl	Mühendislik	Van	Doğu Anadolu		
46	Yıldız Teknik	İnşaat	İstanbul	Marmara	Var	MÜDEK

Tablo 1'den görüldüğü üzere, Türkiye'nin 7 coğrafi bölgesinde toplam 38 farklı ilindeki 46 Üniversite bünyesinde Çevre Mühendisliği Bölümü bulunmaktadır. Bu Bölümlerin bulunduğu Üniversitelerin tamamı Devlet Üniversitesi olup hiçbir Vakıf Üniversitesinde Çevre Mühendisliği Bölümü bulunmamaktadır.

Türkiye'de 11 adet Teknik Üniversite bulunmakta olup bunların 6 tanesinde Çevre Mühendisliği Bölümü bulunmaktadır.

Üniversitelerde Çevre Mühendisliği Bölümlerinin bağlı oldukları Fakültelere bakıldığında 36 tanesinin Mühendislik Fakültesi, 5 tanesinin Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, 2 tanesinin İnşaat Fakültesi, 2 tanesinin Mühendislik ve Doğa Bilimleri, 1 tanesinin de Mühendislik, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi bünyesinde yer aldığı görülmektedir.

Türkiye'deki Çevre Mühendisliği Bölümlerinin coğrafi dağılımına bakıldığında Marmara Bölgesinde 12, İç Anadolu Bölgesinde 11, Karadeniz Bölgesinde 9, Akdeniz Bölgesinde 5, Doğu Anadolu Bölgesinde 4, Ege Bölgesinde 3 ve Güneydoğu Anadolu Bölgesinde ise 2 adet Çevre Mühendisliği Bölümü bulunduğu görülmektedir. 38 farklı ilde kurulu olan Üniversitelerin Çevre Mühendisliği Bölümlerinden 32'si bulundukları ilin tek Çevre Mühendisliği Bölümü iken İstanbul'da 4, Ankara, İzmir, Bursa, Kocaeli ve Konya'da ise 2 farklı Üniversitede Çevre Mühendisliği Bölümü bulunmaktadır.

46 Çevre Mühendisliği Bölümünden sadece 10 tanesinin eğitim akreditasyonu bulunmaktadır. Bunlardan 8 tanesi MÜDEK, 2 tanesi ise ABET akreditasyonuna sahiptir. Bu programların tamamı 2021 yılında da öğrenci alımına açık tutulmuştur.

Tablo 2. Türkiye'de öğrenci alımına açık bulunan Çevre Mühendisliği Lisans Programları ile kontenjan ve kayıt durumları (2021) [3]

Sıra No	Üniversitesi	Programın Adı	Toplam Kontenjan	Kayıt Yapılan	Kalan Kontenjan
1	Akdeniz	Çevre Mühendisliği	31	8	23
2	Atatürk	Çevre Mühendisliği	16	0	16
3	Bursa Teknik	Çevre Mühendisliği	21	5	16
4	Bursa Uludağ	Çevre Mühendisliği	41	19	22
5	Çanakkale Onsekiz Mart	Çevre Mühendisliği (İngilizce)	21	8	13
6	Çukurova	Çevre Mühendisliği	16	2	14
7	Dokuz Eylül	Çevre Mühendisliği	82	50	32
8	Erciyes	Çevre Mühendisliği	16	0	16
9	Eskişehir Teknik	Çevre Mühendisliği	62	28	34
10	Eskişehir Teknik	Çevre Mühendisliği (KKTC Uyruklu)	1	0	1
11	Gebze Teknik	Çevre Mühendisliği (İngilizce)	62	62	0
12	Hacettepe	Çevre Mühendisliği (İngilizce)	72	72	0
13	İstanbul Teknik	Çevre Mühendisliği	72	72	0
14	İstanbul Teknik	Çevre Mühendisliği (İngilizce)	62	62	0
15	İstanbul-Cerrahpaşa	Çevre Mühendisliği	72	72	0
16	İstanbul-Cerrahpaşa	Çevre Mühendisliği (İngilizce)	31	28	3
17	İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü	Çevre Mühendisliği (İngilizce)	52	51	1
18	Kocaeli	Çevre Mühendisliği	41	13	28
19	Marmara	Çevre Mühendisliği (İngilizce)	62	62	0
20	Ondokuz Mayıs	Çevre Mühendisliği	21	4	17
21	Orta Doğu Teknik	Çevre Mühendisliği (İngilizce)	67	67	0
22	Pamukkale	Çevre Mühendisliği	21	4	17
23	Sakarya	Çevre Mühendisliği	21	4	17
24	Tekirdağ Namık Kemal	Çevre Mühendisliği	16	2	14
25	Yıldız Teknik	Çevre Mühendisliği	72	72	0
		Toplam	**1051**	**767**	**284**

Tablo 2'den görüldüğü üzere, 46 Çevre Mühendisliği Bölümünün 22 tanesinin bünyesinde toplamda 25 Çevre Mühendisliği lisans programı 2021 yılında öğrenci alımına açık tutulmuştur. Bu 25 programın 17'si Türkçe, 8 tanesi ise İngilizce eğitim vermektedir.

Tablo 2'den görüldüğü üzere, 2021 yılı için 19 Çevre Mühendisliği Bölümünde 1'er adet öğrenci alımına açık Çevre Mühendisliği lisans programı bulunurken 3 Çevre Mühendisliği Bölümünde ise 2'şer adet öğrenci alımına açık Çevre Mühendisliği lisans programı bulunmaktadır. Öğrenci alımına açık birden fazla programı bulunan Çevre Mühendisliği programları; Eskişehir Teknik Üniversitesi, İstanbul Teknik Üniversitesi ve İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa bünyesinde bulunmaktadır.

Tablo 2'den görüldüğü üzere, 2021 yılı için 20 Çevre Mühendisliği Bölümünde Türkçe veya İngilizce olarak tek dilli tek program varken 2 Bölümde hem Türkçe hem İngilizce olmak üzere 2 program bulunmaktadır. Her iki dildeki programa sahip Bölümler, İstanbul Teknik Üniversitesi ve İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa bünyesinde bulunmaktadır.

2021 yılı itibariyle öğrenci alımına açık tutulmuş Çevre Mühendisliği lisans programlarının tamamı örgün öğretim olup ikinci öğretim, uzaktan öğretim gibi diğer öğretim türlerinde eğitim-öğretim yürütülen program bulunmamaktadır.

Tablo 2'den görüldüğü üzere, Türkiye'de 2021 yılında öğrenci alımına açık tutulmuş 25 Çevre Mühendisliği lisans programının coğrafi dağılımına bakıldığında Marmara Bölgesinde 13, İç Anadolu Bölgesinde 5, Ege Bölgesinde 3, Akdeniz Bölgesinde 2, Karadeniz ve Doğu Anadolu Bölgelerinde ise 1'er adet öğrenci alımına açık Çevre Mühendisliği programı bulunduğu görülmektedir. Güneydoğu Anadolu Bölgesinde ise 2021 yılında öğrenci alımına açık tutulmuş bir Çevre Mühendisliği lisans programı bulunmamaktadır.

Tablo 2'den görüldüğü üzere, Türkiye'de 2021 yılında öğrenci alımına açık tutulmuş 25 Çevre Mühendisliği lisans programına okul birinciliği kontenjanı da dâhil olmak üzere toplamda 1051 kişilik kontenjan ayrılmış, ilk yerleştirme, 1. ve 2. ek yerleştirmeler sonucunda bu kontenjanın ancak %73'lük kısmı olan 767 kişilik kontenjan doldurulabilmiş, geri kalan %27'lik kısmı oluşturan 284 kişilik kontenjan ise boş kalmıştır. 7 farklı Bölümdeki 8 programa 541 kişi kayıt olarak bu programları tam doldurmuştur. 3 programa hiç kayıt yaptıran olmamış, 17 program ise tam dolmamıştır. Öğretim dili İngilizce olan 8 programın 3 tanesindeki toplam 17 kişilik kontenjan boş kalmıştır.

Türkiye'de açık bulunan Çevre Mühendisliği Bölümlerindeki öğretim elemanı sayıları (2021) Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3'te, Çevre Mühendisliği Bölümlerinin bağlı oldukları Üniversite ve öğrenci alımına açık programının olup olmadığı bilgileri ile birlikte toplam öğretim elemanı sayıları ve bu sayıların Profesör (Prof.), Doçent (Doç.), Doktor Öğretim Üyesi (Dr. Öğr. Üyesi), Öğretim Görevlisi (Öğr. Gör.) ve Araştırma Görevlisi (Arş. Gör.) şeklinde kadro unvanlarına göre dağılımı verilmiştir.

Tablo 3'ten görüldüğü üzere, Türkiye'deki Çevre Mühendisliği Bölümlerinde 253'ü (%33) profesör, 133'ü (%18) doçent, 155'i (%20) doktor öğretim üyesi, 31'i (%4) öğretim görevlisi ve 194'ü (%25) araştırma görevlisi olmak üzere toplam 766 akademisyen görev yapmaktadır.

2021 yılında öğrenci alımına açık tutulmuş programı bulunan 22 Çevre Mühendisliği Bölümünde ise 191'i profesör, 81'i doçent, 86'sı doktor öğretim üyesi, 20'si öğretim görevlisi ve 132'si araştırma görevlisi olmak üzere toplam 510 akademisyen görev yapmaktadır. 2021 yılında öğrenci alımına açık tutulmuş programı bulunmayan kalan 24 Çevre Mühendisliği Bölümünde ise toplam 256 akademisyen görev yapmaktadır.

Öğretim elemanı sayısı bazında kadro unvanına göre Türkiye'deki Çevre Mühendisliği Bölüm sayıları (2021) Tablo 4'de, Türkiye'deki Çevre Mühendisliği Bölümlerinin coğrafi bölgeler bazında öğretim elemanı sayılarının kadro unvanlarına göre dağılımı (2021) ise Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 4'den görüldüğü üzere, Türkiye'deki Çevre Mühendisliği Bölümlerinin 6'sında profesör, 3'ünde doçent, 1'inde doktor öğretim üyesi, 29'unda öğretim görevlisi ve 4'ünde ise araştırma görevlisi bulunmamaktadır. Buna karşın 3'ünde profesör, 12'sinde doçent, 6'sında doktor öğretim üyesi, 10'unda öğretim görevlisi, 6'sında araştırma görevlisi sadece 1 adettir. Sadece İstanbul Teknik Üniversitesindeki Çevre Mühendisliği Bölümünde 20'den fazla profesör bulunmaktadır.

Tablo 5'den görüldüğü üzere, Marmara Bölgesi 327 kişi en çok akademisyene sahip bölgedir. Onu, 159 kişi ile İç Anadolu Bölgesi, 96 kişi ile Karadeniz Bölgesi, 64 kişi ile Akdeniz Bölgesi, 53 kişi ile Ege Bölgesi ve 50 kişi ile Doğu Anadolu Bölgesi izlemektedir. 17 kişi en az akademisyene sahip bölge ise Güneydoğu Anadolu Bölgesidir.

Tablo 3. Türkiye'de açık bulunan Çevre Mühendisliği Bölümlerindeki öğretim elemanı sayılarının kadro unvanlarına göre dağılımı (2021) [4, 5]

Sıra No	Bulunduğu Üniversite	Açık Program	Prof.	Doç.	Dr. Öğr. Üyesi	Öğr. Gör.	Arş. Gör.	Toplam
1	Adıyaman			1	5		1	7
2	Akdeniz	Var	5	3	5		3	16
3	Aksaray		5	5	5	4	1	20
4	Ardahan			1	1	1	2	5
5	Artvin Çoruh			1	3	1	6	11
6	Atatürk	Var	12	2	3		2	19
7	Balıkesir		3	1	3	1	6	14
8	Bartın			1	2	1	3	7
9	Bolu Abant İzzet Baysal		4	2	3	1	2	12
10	Bursa Teknik	Var	4	2	4		6	16
11	Bursa Uludağ	Var	12	5	3		2	22
12	Çanakkale Onsekiz Mart	Var	4	1	1		2	8
13	Çukurova	Var	6	3	3		1	13
14	Dokuz Eylül	Var	15	3	3	2	8	31
15	Düzce		3	2	3		5	13
16	Erciyes	Var	5	1	4		3	13
17	Eskişehir Teknik	Var	9	2	6	2	3	22
18	Fırat		6	2	5		4	17
19	Gebze Teknik	Var	14	4	6	4	19	47
20	Giresun		4	4	1			9
21	Hacettepe	Var	2	5	3	3	7	20
22	Harran		2	4	1		3	10
23	İstanbul Teknik	Var	29	11	9	4	16	69
24	İstanbul Cerrahpaşa	Var	15	2	3		7	27
25	İzmir Yüksek Teknoloji	Var	2		3		5	10
26	Kahramanmaraş Sütçü İmam		2		2		1	5
27	Karabük		1	4	5			10
28	Kastamonu		1	1	4		2	8
29	Kırşehir Ahi Evran			2	2			4
30	Kocaeli	Var	6	3	7		4	20
31	Konya Teknik		5		6	1	6	18
32	Marmara	Var	7	5	6		6	24
33	Mersin		4	1	4	1	1	11
34	Necmettin Erbakan		2	1	2		2	7
35	Nevşehir Hacı Bektaş Veli		2	1	2		1	6
36	Niğde Ömer Halisdemir		6	3	1			10
37	Ondokuz Mayıs	Var	8	4			3	15
38	Ortadoğu Teknik	Var	7	2	3	1	13	26
39	Pamukkale	Var	3	2	3		4	12
40	Sakarya	Var	5	6	6	1	4	22
41	Sinop			2	1		8	11
42	Sivas Cumhuriyet		4	5	2		2	13
43	Süleyman Demirel		7	7	2		3	19
44	Tekirdağ Namık Kemal	Var	7	6	2	1	3	19
45	Van Yüzüncü Yıl		1	1	4		3	9
46	Yıldız Teknik	Var	14	9	3	2	11	39
	Toplam	**22**	**253**	**133**	**155**	**31**	**194**	**766**

Tablo 4. Öğretim elemanı sayısı bazında kadro unvanına göre Türkiye'deki Çevre Mühendisliği Bölüm sayıları (2021)

Kişi Sayısı	Bölüm Sayısı (adet)				
	Prof.	Doç.	Dr. Öğr. Üyesi	Öğr. Gör.	Arş. Gör.
0	6	3	1	29	4
1	3	12	6	10	6
2-4	15	21	27	7	21
5-9	15	9	12	-	11
10-19	6	1	-	-	4
20<	1	-	-	-	-
Toplam	**46**	**46**	**46**	**46**	**46**

Tablo 5. Türkiye'deki Çevre Mühendisliği Bölümlerinin coğrafi bölgeler bazında öğretim elemanı sayılarının kadro unvanlarına göre dağılımı (2021)

Bölgeler	Bölüm Sayısı	Program Sayısı	Prof.	Doç.	Dr. Öğr. Üyesi	Öğr. Gör.	Arş. Gör.	Toplam
Akdeniz	5	2	24	14	16	1	9	64
Doğu Anadolu	4	1	19	6	13	1	11	50
Ege	3	3	20	5	9	2	17	53
Güneydoğu Anadolu	2	0	2	5	6	-	4	17
İç Anadolu	11	5	47	27	36	11	38	159
Karadeniz	9	1	21	21	22	3	29	96
Marmara	12	13	120	55	53	13	86	327
Toplam	**46**	**25**	**253**	**133**	**155**	**31**	**194**	**766**

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Türkiye'de Çevre Mühendisliği formasyonu Çevre Mühendisliği Bölümleri bünyesinde açılan Çevre Mühendisliği Programları ile yürütülmektedir. Çevre Mühendisliği programları örgün öğretimde programın türüne bağlı olarak Türkçe veya İngilizce olarak lisans düzeyinde 4 yıllık eğitim-öğretim vermekte olup bu programlar Yükseköğretim Kurumları Sınavı (YKS) ile Sayısal (SAY) puan türünde Ölçme, Seçme ve Yerleştirme Merkezi (ÖSYM) tarafından yapılan merkezi yerleştirme ile öğrenci almaktadır.

Buna göre Türkiye'de 46 Çevre Mühendisliği Bölümü bulunmakta, bunlardan 22 tanesinde 2021 yılı için öğrenci alımına açık tutulmuş 25 Çevre Mühendisliği lisans programı bulunmaktadır. Kalan 24 Bölümde ise yeni öğrenci alımına açık bir lisans programı bulunmamakla birlikte mevcut öğrenciler ile lisans programlarını devam ettirmekte, bazılarında ise buna ilave olarak yüksek lisans ve doktora seviyesinde programlar yürütülmektedir.

Türkiye'de 2021 yılında öğrenci alımına açık tutulmuş 25 Çevre Mühendisliği lisans programına okul birinciliği kontenjanı da dâhil olmak üzere toplamda 1051 kişilik kontenjan ayrılmış, ilk yerleştirme, 1. ve 2. ek yerleştirmeler sonucunda bu kontenjanın ancak %73'lük kısmı olan 767 kişilik kontenjan doldurulabilmiş, geri kalan %27'lik kısmı oluşturan 284 kişilik kontenjan ise boş kalmıştır. 7 farklı Bölümdeki 8 programa 541 kişi kayıt olarak bu programları tam doldurmuştur. 3 programa hiç kayıt yaptıran olmamış, 17 program ise tam dolmamıştır.

Önceki yıllara da bakıldığında program sayısı ve buna bağlı olarak kontenjan ve yerleşen sayılarının zaman içerisinde arttığı ancak bir noktadan sonra artık azalış eğilimine girdiği görülmüştür. Öyle ki; bir dönem 50'nin üzerine çıkan öğrenci alımına açık program sayısı 2021 yılı itibariyle 25'e, bir dönem 2000'lere ulaşmış olan kontenjan ise 1000'in altına düşme durumuna gelmiştir.

Bu düşüş eğiliminin kırılım noktasının Yükseköğretim Kurulunun (YÖK) 2016 yılı itibariyle Mühendislik programları için getirmiş olduğu başarı sıralaması sınırı olduğu görülmektedir. Bu tarihten sonra sadece Çevre Mühendisliği programında değil diğer Mühendislik programlarında da yerleşen sayısında ciddi düşüşler yaşanmış, her yıl bu düşüşe bağlı olarak azaltılan kontenjanlara rağmen doluluk oranları yine de istenilen oranda artmamıştır. Buna mukabil olarak öğrenci alımına kapanan Çevre Mühendisliği programlarındaki öğretim elemanları mevcut öğrencilerin öğrenimlerini tamamlayabilmeleri için görevlerine devam etmektedirler.

Çevre Mühendisliği Programlarının görece fazla olduğu zamanlarda bu Programların yürütüldüğü Çevre Mühendisliği Bölümleri Vakıf Üniversitelerinde de bulunurken bugün Vakıf Üniversitelerinde Çevre Mühendisliği Bölümü bulunmamakta, öğrenci alımına açık Programların yürütüldüğü Bölümlerin tamamı Devlet Üniversitelerinde bulunmaktadır. Aynı şekilde talebin yoğun olduğu zamanlarda normal öğretimin yanında ikinci öğretim programları da açılmış ve sayıları 10'un üzerine çıkmışken artık ikinci öğretim Çevre Mühendisliği Programı bulunmamaktadır.

Son yıllarda Çevre Mühendisliği Programlarına yerleşen sayısı sürekli azalmakta, buna bağlı olarak da bir sonraki yıl kontenjan da düşürülmektedir. Ancak kontenjanların azaltılmasına rağmen doluluk oranları yükselmemekte, yerleşen sayısı daha da azalmaktadır. Bir zamanlar 2000'in üzerinde kontenjana sahip olan Çevre Mühendisliği Programlarının bu yılki (2021) toplam kontenjanı sadece 1051 olarak gerçekleşmiştir. 2022 yılında ise bu kontenjanın ilk defa 1000 kişinin altına düşeceği tahmin edilmektedir.

Yerleşen aday sayısının azalması, mevcut öğrenci ve mezun sayısının artışında da bir azalma eğilimine girilmesine sebep olmuştur. Günümüzde mezun öğrenci sayısı yerleşen öğrenci sayısından fazla olduğu için mevcut öğrenci sayısı azalış göstermektedir. İlerleyen yıllarda mevcut öğrenci ve mezun sayısının da her geçen sene azalması beklenmektedir.

Öğrenci alımına açık programlardaki öğretim üyesi (profesör, doçent ve doktor öğretim üyesi) sayısı 2021 yılı itibariyle 358 kişidir. Bununla birlikte öğrenci alımına açık programı bulunmayanlar dâhil tüm Çevre Mühendisliği Bölümlerinde ise toplam 541 öğretim üyesi bulunmakta olup öğretim ve araştırma görevlileri ile birlikte bu sayı 766'ya ulaşmaktadır.

Sonuç olarak Türkiye'deki Çevre Mühendisliği Programlarında bir talep düşüklüğü olduğu, yani geleceğin mesleği olarak görülen Çevre Mühendisliğinin günümüzde tercih edilmesinde düşüş yaşadığı ortadadır. Bu talep düşüklüğü beraberinde öğrenci alımına açık program sayısının, bu programlara ayrılan kontenjanın ve mezun sayılarının da düşmesini getirmektedir. İklim krizi gibi çok büyük çevresel sorunların baş gösterdiği günümüzde ve daha nice çevresel sorunların bizi beklediği yakın gelecekte Çevre Mühendisliği meslek sahiplerinin sayısının artması gerekirken düşmesi bizi bu konuda önlem almaya itmelidir. Çevre Mühendisliği mesleğinin talep edilirliğinin artırılması sadece bu meslek sahiplerinin değil Devletin de sorumluluğundadır. Bu bakımdan tüm paydaşlara düşen görevler bulunmaktadır.

5. KAYNAKÇA

[1]. Türkiye Mühendis ve Mimar Odaları Birliği (TMMOB) Çevre Mühendisleri Odası (ÇMO), "*Çevre Mühendisliği*", [Çevrimiçi], https://www.cmo.org.tr/odamiz/cevre_muhendisligi.php

[2]. *"Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği Çevre Mühendisleri Odası Serbest Çevre Mühendisliği Hizmetleri Uygulama, Tescil, Denetim ve Asgari Ücret Yönetmeliği*", Resmî Gazete tarih-sayı: 22/04/2009-27208.

[3]. Ölçme, Seçme ve Yerleştirme Merkezi (ÖSYM), "*Yükseköğretim Kurumları Sınavı (YKS)*", https://www.osym.gov.tr/TR,20842/2021.html

[4]. Yükseköğretim Kurulu (YÖK), "*Yükseköğretim Program Atlası YÖKATLAS*", https://yokatlas.yok.gov.tr/

[5]. Yükseköğretim Kurulu (YÖK), "*Yükseköğretim Akademik Arama YÖKAKADEMİK*", https://akademik.yok.gov.tr/

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ AKIŞKANLAR MEKANİĞİ DERSİNDE AKTİF ÖĞRENME METODU OLARAK DERS İÇİ ETKİNLİKLERİN KULLANILMASI

Derya AYRAL ÇINAR[1,*],

[1],**Gebze Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, 41400, Gebze/KOCAELİ, deryacinar@gtu.edu.tr*

Özet

Geleneksel anlamda işlenen derslerde öğrenciler, sadece pasif dinleyici rolünde olmakta, aktif olarak derse katılamamakta ve bu da öğrenme sürecine negative etki edebilmektedir. Bu sebeple, aktif öğrenme metotları olarak da tanımlanan, öğrencilerin ders sırasında konuyu yorumlamasına veya uygulamasına yönelik aktivitelerin klasik derslere entegre olmasına çalışılmaktadır. Kısa değerlendirme yazıları, grup tartışmaları, sınıf arkadaşının ödevini kontrol etme, beyin fırtınaları, vaka çalışmaları, aktif katılımlı uygulama, rol oynama, saha gezisi gibi bileşenler aktif öğrenme metotlarına olarak örnekler verilebilir. Dersin içeriğine göre, uygun olan aktif öğrenme metotlarının kullanılması, dersin anlaşılması ve edinilen bilgilerin kalıcı olmasını sağlayabilmektedir. Özellikle uzaktan eğitim ile derslerin verildiği dönemde öğrencilerin derse katılımını arttırmak için, aktif öğrenme metotlarının kullanılması, zaruri bir ihtiyaç olarak görülmüştür. Bu sebeple, 2020-2021 bahar yarıyılında Gebze Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği 4. Dönem dersi olan Akışkanlar Mekaniği dersinde, aktif öğrenme metotlarının uygulanması planlanmıştır. Bu çalışmanın amacı, mühendislik eğitiminde aktif öğrenme metotlarının uygulanabilirliğini incelemek ve elde edilen sonuçlarla mühendislik derslerine güncelleme önerebilmektir. Ders sırasında önceden haber verilmeyen zamanda gerçekleştirilecek ders içi etkinlikler tasarlanmış ve bu etkinlikler, klasik vize ve final sınavı ile ders notu değerlendirmede kullanılmıştır. Ders içi etkinlik, vize ve finalin ders notuna katkısı sırasıyla %30, %30 ve %40 olarak belirlenmiştir.

14 haftalık dönem boyunca senkronize işlenen dersler sırasında, 10 adet ders içi etkinlik yapılmıştır. Bu etkinliklerde öğrenciler 3-4 kişilik gruplar halinde Microsoft Teams uygulaması üzerinden rastgele tartışma odalarına yönlendirilmiştir. Etkinliğin ilk 15-20 dakikasında öğrenciler, etkinlikle ilgili tartışma imkanı bulmuş, sonraki 10-15 dakikalık sürede ise bireysel olarak cevaplarını oluşturup sisteme yüklemişlerdir.

Ders içi etkinliklerin 4 tanesinde öğrenciler derste işlenen konunun günlük hayattaki uygulamasıyla ilgili bir video izlemiş ve yorum sorularını yanıtlamıştır. 2 etkinlikte kompleks problemler çözmüş ve 2 tanesinde derste öğrenilen Bernoulli denklemini verilen duruma uygun kabullerle sadeleştirmişlerdir. 1 tanesinde derste çözülmüş problemin gerçek bir mühendislik uygulamasında değişen koşullara nasıl adapte olacağını ve maliyet açısından nasıl bir etkisi olacağını yorumlamış, son etkinlikte ise, akışkanlar mekaniğinin gündelik hayattaki uygulamalrından birini, dayandığı temel prensiple açıklamışlardır.

Değerlendirmeye alınan 54 öğrencinin vize ve final sınavı ortalamaları 51±19 ve 46±25 iken, aktivitelerden aldıkları puanların ortalaması 77±14 olmuştur. Ders içi etkinliklerden alınan puanın vize ve finale göre yüksek olması, öğrencilerin derse aktif katılmaktan, arkadaşlarıyla tartışmaktan ve teorik bilginin nasıl kullanılacağını incelemekten faydalandığı yönünde yorumlanabilir. Ayrıca bölüm genelinde uygulanan ders anketlerinde "Dersin anlatımının ve işleyişinin ne kadar verimli olduğunu düşünüyorsunuz?", "İçerik ve süre olarak ders ne ölçüde verimli idi?" ve "Dersten dönem başındaki beklentileriniz karşılandı mı?" sorularına öğrencilerin verdikleri puanların ortalamaları 5 üzerinden 4.6, 4.65 ve 4.68 olmuştur.

Keywords: Çevre mühendisliği eğitimi, akışkanlar mekaniği, aktif öğrenme, ders içi etkinlik

INVESTIGATION OF THE IMPACT OF RAIN GARDENS ON HYDRAULIC PERMEABILITY AND CONTRIBUTION TO URBAN SURFACE RUNOFF MANAGEMENT

Derya AYRAL ÇINAR[1], Aleyna ÇEGEN[2]

[1]Gebze Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, 41400, Gebze/KOCAELİ deryacinar@gtu.edu.tr

[2]Gebze Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, 41400, Gebze/KOCAELİ a.cegen2020@gtu.edu.tr

Abstract

With the increasing percentage of impervious surfaces in urban areas (roads, parking lots, roofs) and frequency of heavy rainfall caused by climate change, urban runoff has become a huge and global problem. Due to increasing amount of impermeable surfaces in cities, runoff cannot penetrate groundwater and thus causes floods and overflows. At the same time, pollutants are transported to water and soil environments with runoff. As a result, storm water management has vital importance in terms of both the management of limited water resources and the protection of existing infrastructure and wastewater treatment systems from floods. As a response to these problems, runoff management systems which are called by different names in different parts of the world have been proposed.

Rain gardens, one of the runoff management systems, are plant-soil systems that combine infiltration and storage processes to maximize the runoff storage capacity. Rain gardens have the potential to reduce runoff volume and peak flows, recharge groundwater, increase evapotranspiration, and reduce the mass of pollutants entering surface and groundwater. In addition, it has been determined that rain gardens can remove many pollutants such as heavy metals, pathogens, suspended solids, microplastics, organic substances, nutrients.

The aim of this study is to examine the contribution of rain gardens to urban runoff management through its impact on hydraulic permeability. In order to investigate the effect of rain gardens, laboratory scale columns with a length of 60 cm and a diameter of 30 cm were set up and filled with soil with different compaction rates and different contents. Laboratory-scale rain gardens were saturated with the prepared synthetic runoff water, and then the flow rate calculated with the average precipitation height was passed over the column for 1 month. The hydraulic permeability of the rain garden was determined by the falling head permeability test. It was determined that rain gardens did not significantly increase hydraulic permeability in the short term. However, by continuing the hydraulic permeability measurements, it will be observed whether the rain gardens increase the soil permeability in the long term. Thus, the effect of rain gardens on the infiltration of surface water into the ground and its contribution to the hydrological cycle will be investigated.

Keywords: Urban surface runoff, rain garden, hydraulic permeability

Acknowledgement:
This study was supported by G2021-A-101-13 GTU scientific research project.

UCTEA
Chamber of Environmental Engineers