



ÇEVRE BİLİM VE TEKNOLOJİ

ISSN: 1302-5627 Cilt: 4

TEKNİK DERGİ

Sayı: 2 Kasım 2019



tmmob çevre mühendisleri odası

www.cmo.org.tr

Merhaba

Akademisyenlerin, öğrencilerin ve çevre alanındaki bilimsel, teknolojik gelişmeler ile ilgili kişi ve kurumların yakından takip ettiği hakemli bilimsel dergimiz "Çevre, Bilim ve Teknoloji" (ÇBT) dergisinin bir sayısını daha sizlerle buluşturmaktan mutluluk duyuyoruz.

Çevresel bilim ve teknolojinin her geçen gün çeşitlendiği ve geliştiği günümüzde, bu sürece katkı vermek ve halkımızı bilimsel bilgi ile buluşturmak Oda Yönetim Kurulumuzun temel hedefleri arasındadır. ÇBT'nin yayımlanmasında katkı veren tüm akademisyenlere, kişi ve kurumlara teşekkür ediyoruz.

Saygılarımızla,

TMMOB Çevre Mühendisleri Odası 14. Dönem Yönetim Kurulu

Oda Adına Derginin Sahibi

Dr. Baran BOZOĞLU

Sorumlu Yazı İşleri Müdürü

Kumru KOCAMAN

Editörler:

Doç. Dr. Efsun DİNDAR

Dr. Baran BOZOĞLU

Yayın Kurulu

Doç. Dr. Efsun DİNDAR

Bursa Uludağ Üniversitesi

Dr. Baran BOZOĞLU

Türk Akreditasyon Kurumu

Doç. Dr. Hülya BÖKE ÖZKOÇ

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Sema ARIMAN

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Dr. Ertan ÖZTÜRK

T.C.Çevre ve Şehircilik Bakanlığı

Yayın İdare Merkezi

TMMOB Çevre Mühendisleri Odası

Hatay Sok. No: 24/17 Kızılay/ANKARA

Telefon: 0312 419 80 71

E-posta: cbt@cmo.org.tr

HAKEM LİSTESİ

Prof.Dr.A.Cemal SAYDAM

Prof.Dr.Aykan KARADEMİR

Prof.Dr.Ayşenur UĞURLU

Prof.Dr.Azize AYOL

Prof.Dr.Bülent TOPKAYA

Prof.Dr.Çağatay GÜLER

Prof.Dr.Deniz DÖLGEN

Prof.Dr.F.Olcay TOPAÇ

Prof.Dr.Feza KARAER

Prof.Dr.Filiz B.DİLEK

Prof.Dr.Gülfem BAKAN

Prof.Dr.Güray SALİHOĞLU

Prof.Dr.H.Savaş AYBERK

Prof.Dr.İpek İMAMOĞLU

Prof.Dr.Necdet ALPASLAN

Prof.Dr.Nesrin ALGAN

Prof.Dr.Nuri AZBAR

Prof.Dr.Nuriye Altınay PERENDECI

Doç.Dr.Emre Burcu GÜNGÖR

Doç.Dr.Nadir DİZGE

Doç.Dr.Selnur UÇAROĞLU

Dr.Öğr.Üyesi Ahmet AYGÜN

Dr.Öğr.Üyesi Aşkın BİRGÜL

Dr.Öğr.Üyesi Berna KIRIL MERT

TMMOB Çevre Mühendisleri Odası tarafından yılda iki kez Türkçe olarak basılır. Dergide yer alan eserlerin tüm sorumluluğu yazarlarına aittir.

Dergide yer alan eserlerin yayın hakkı TMMOB Çevre Mühendisleri Odası'na aittir.

ISSN: 1302-5627

İÇİNDEKİLER

Derleme Makale

SÜRDÜRÜLEBİLİR KALKINMADA PROAKTİF BİR YAKLAŞIM: TEMİZ ÜRETİM YA DA EKO-VERİMLİLİK

113

Emrah Öztürk, Ertaç Tanaçan, Cihan Özgür, Pınar Hasanoğlu Öztürk, Mehmet Kitiş

Araştırma Makalesi

ANKARA'DA PM2.5 FRAKSİYONUNDAKİ PARTİKÜLLERDE N-ALKANOİK ASİT DERİŞİMLERİNİN İNCELENMESİ

132

Ebru Koçak, Seda Aslan Kılavuz, İpek İmamoğlu, Gürdal Tuncel

Araştırma Makalesi

SU ve ATIKSU ARITIMINDA KULLANILAN İLERİ DEZENFEKSİYON YÖNTEMLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

144

Yunus Emre Demirel, Pınar Hasanoğlu Öztürk, Emrah Öztürk, Mehmet Kitiş

Derleme Makale

SAMSUN İLİ HAVZA İLÇESİ ATIKSU ARITMA TESİSİ MEVCUT DURUMU VE İŞLETİM PROBLEMLERİ

163

Atilla Akın

Araştırma Makalesi

ENTEGRE HAVZA YÖNETİMİNDE ÇEVRESEL MODELLEME TEKNİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

171

Kübra Küçük, Arife Şimşek, Gülfem Bakan

Araştırma Makalesi

TÜRKİYE'DEKİ BÜYÜKBAŞ HAYVANCILIK SEKTÖRÜNDEN KAYNAKLANAN SERA GAZI EMİSYONLARININ İNCELENMESİ

181

Gizem Kaynar, Melik Kara, Abdurrahman Bayram



Derleme Makale

SÜRDÜRÜLEBİLİR KALKINMADA PROAKTİF BİR YAKLAŞIM: TEMİZ ÜRETİM YA DA EKO-VERİMLİLİK

Emrah ÖZTÜRK¹, Ertaç TANAÇAN², Cihan ÖZGÜR³, Pinar HASANOĞLU ÖZTÜRK⁴,
Mehmet KİTİŞ²

¹Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Aksu Mehmet Süreyya Demiraslan Meslek
Yüksekokulu, Çevre Koruma Teknolojileri Bölümü, 32510, Isparta

²Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 32100,
Isparta

³Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Sütçüler Prof. Dr. Hasan Gürbüz Meslek
Yüksekokulu, Mülkiyet Koruma ve Güvenlik Bölümü, 32950, Isparta

⁴Düzce Üniversitesi, Kaynaşlı Meslek Yüksekokulu, Çevre Koruma Teknolojileri Bölümü,
81900, Düzce

emrahozturk@isparta.edu.tr

Özet: Sürdürülebilir kalkınmanın başlıca araçlarından olan temiz üretim ya da eko-verimlilik yaklaşımları kirliliğin kaynağında önlenmesine odaklanan proaktif çevre koruma stratejilerindedir. Bu çalışmada temiz üretim yaklaşımı ve prensipleri, uygulama metodolojisi, sağladığı faydalar, uygulamasındaki başlıca bariyerler ve Türkiye’de temiz üretim yaklaşımının yapılandırılması süreçleri araştırılmıştır. Ayrıca Türkiye’de “Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrolü (96/61/EC-IPPC)” ya da “Endüstriyel Emisyonlar (2010/75/EU-IED)” direktiflerine uyumlaştırma sürecine katkı sağlanması amacıyla değerlendirmelerde ve önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Sözcükler: Eko-verimlilik, IPPC-IED, Sürdürülebilir Kalkınma, Temiz Üretim

A PROACTIVE APPROACH IN SUSTAINABLE DEVELOPMENT: CLEANER PRODUCTION OR ECO-EFFICIENCY

Abstract: Cleaner production or eco-efficiency approaches, one of the main tools of sustainable development, are proactive environmental protection strategies that focus on prevention of pollution at its source. In this study, cleaner production approach and principles, application methodology, benefits, barriers in application and the configuration process of cleaner production in Turkey were investigated. In addition, assessments and recommendations were made in order to contribute to the “Integrated Pollution Prevention and Control (96/61/EC)” or “Industrial Emissions (2010/75/EU) Directives” harmonization process in Turkey.

Keywords: Cleaner Production, Eco-efficiency, IPPC-IED, Sustainable Development

Makale Gönderim Tarihi: 23.03.2019

Makale Kabul Tarihi: 20.11.2019



1. GİRİŞ

İnsanoğlu varoluşundan bu yana doğayla iç içe bir yaşam sürmüş olsa da bilgi birikimi ve teknolojik gelişmeyle birlikte doğaya egemen olmayı istemiştir. Doğada üstünlük kurma arayışı, özellikle sanayi devriminden başlayarak insan ile çevre arasındaki uyumun giderek bozulmasına neden olmuştur (Öğütveren, 2011). Hızlı nüfus artışı ve sanayileşmenin getirdiği çevre kirliliği problemleri geçtiğimiz yüzyılda küresel bir boyut kazanarak ekolojik kriz haline dönüşmüştür. Doğal kaynakların giderek tükenmesi, alıcı ortamların özümleme kapasitesinin aşılması ve doğal dengeler geri dönüşü zor şekilde de bozulması bu krizin çözümüne yönelik arayışları ve farklı yönelimleri beraberinde getirmiştir.

Sanayi devriminden 1970'li yılların başlarına kadar dünyada doğal kaynakların tükenmez olduğu ve kirleticilerin kontrolsüz şekilde doğal alıcı ortamlara (hava, su ve toprak) verilerek uzaklaştırıldığı bir yaklaşım (pasif çevre stratejisi) benimsenmiştir (Kaypak, 2011). Bu dönemde çevre kirlenmesi ve boyutlarının farkında olmayan dünyada, çevre kirlenmesinin doğal kaynakların tahribatına ya da

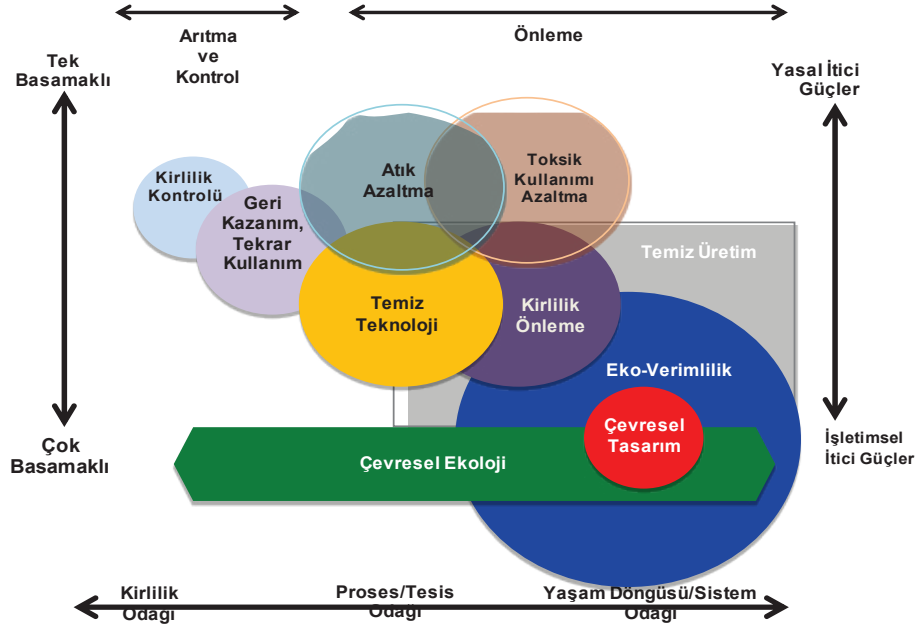
tükenmesine neden olacağı ve ekonomik kalkınmanın engellenmesi konusundaki kaygılar çevre bilincinin giderek artmasına neden olmuştur (Öğütveren, 2011; Torunoğlu, 2013). Daha sonraki dönemde çevre kirlenmesi problemlerinin çözümüne yönelik politikalar, yasal düzenlemeler, standartlar oluşturulmuş ve "reaktif çevre stratejileri" gelişmeye başlamıştır. Reaktif çevre stratejisi oluşan kirliliğin arıtılmasını çevre ve insan sağlığı için risklerin en aza indirilmesini temel alan bir yaklaşımdır. Süreç içerisinde mühendislik teknikleri ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak reaktif çevre stratejisi de yeni bir boyut kazanarak kaynak kullanımının da azaltılmasını içeren boru-sonu arıtma yaklaşımının gelişmesini sağlamıştır.

Ancak nüfus ve endüstrileşmenin hızla arttığı dünyada çevresel problemlerinin çözümüne önemli katkılar sağlanmış olsa da bu stratejiler yeterli olmamıştır. 1987 yılında Dünya ve Kalkınma Komisyonu tarafından yayınlanan "Ortak Geleceğimiz" adlı raporda çevre ve kalkınma arasındaki uyuma dayanan "sürdürülebilir kalkınma" olgusuna ihtiyaç duyulduğu ifade edilmiştir (Uğur ve Öner, 2003).



Günümüzde çevrenin korunmasına yönelik olarak getirilen alıcı ortam standartları çevre kirlenmesindeki artışa paralel olarak zaman içerisinde bu standartların daha da sıkılaştırılmak zorunda kalmıştır. Kirlilik kontrolü bakışı açısıyla getirilen standartların sağlanması küçük ve orta büyüklükteki işletmelerin (KOBİ) hakim olduğu endüstrileri teknik ve ekonomik açılarından oldukça zorlamaktadır. Endüstriyel işletmelerde alınmaya çalışılan kirlilik kontrolü önlemlerinin (arıtma ve bertaraf) getirdiği maliyetler üretim maliyetlerine ve dolaylı olarak ürün maliyetlerine yansımaktadır. Bu durum işletmelerin piyasa rekabet güçlerinin azalmasına neden olmaktadır. Günümüzde birçok endüstriyel işletmenin piyasadaki rekabet gücünü korumak adına kirlilik kontrolü temelli yatırım maliyetlerinden kaçınarak gerekli çevre cezalarına razı olması gibi bir sonucunu da doğurmuştur (Halkman et al., 2000). Ayrıca sanayileşmesini tamamlamış olan birçok ülkenin doğal kaynak kullanımının yüksek olduğu ve çevre kirlenmesinde önemli paya sahip olan endüstriyel ürünlerin üretimini geliştirmekte olan ülkelere kaydırıldığı da bilinen bir gerçektir (Halkman et al., 2000).

Kamuoyunda artan çevre bilinci, alıcı ortam standartlarının sürekli sıkılaşması, ulusal ve uluslararası standartlar, piyasa rekabeti gücünün korunması, bilgi birikimi ve teknolojik gelişme gibi etmenler endüstriyel işletmeleri “temiz üretim” yaklaşımlarına yöneltmiştir. Temiz üretim yaklaşımı kirliliği üretim proseslerindeki verimsizlik, etkisizlik ve yetersizliklerin bir sonucu olarak görerek sorunun çözümüne koruyucu, bütünsel, sürekli bir stratejinin uygulanması ile çevre ve doğal kaynakların bir bütün olarak korunmasını ilke edinen “proaktif bir çevre stratejisi” dir (UNEP, 1996). Temiz üretim yaklaşımı ürün ve hizmet üreten işletmelerin teknik, ekonomik ve çevresel performanslarının sürekli geliştirilmesini sağlamaktadır. Bu çalışmada temiz üretim yaklaşımı, temiz üretim uygulama metotları ve temel prensipleri, endüstrilerde temiz üretim sağladığı faydalar ve uygulanmadaki başlıca bariyerler ile Türkiye’de temiz üretimin yapılandırma süreci hakkında bilgiler verilmiştir. Bununla birlikte ülkemizde temiz üretimin yapılandırma sürecine katkı sağlayacak önerilerde ve değerlendirmelerde bulunulmuştur.



Şekil 1. Temiz Üretim ya da Eko-Verimlilik (Berkel, 2006)

2. TEMİZ ÜRETİM YA DA EKO-VERİMLİLİK

Temiz üretim kavramı, ilk kez 1990 yılında Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) tarafından tanımlanmış ve 1992'de Rio'da gerçekleştirilen "Çevre ve Kalkınma Konferansı'nda" benimsenen sürdürülebilir kalkınmanın gerçekleşmesi için belirlenen gerekler arasında yer almıştır (UNIDO, 2002; BSTB, 2014). Temiz üretim kavramı özellikle Birleşmiş Milletler Sınai Kalkınma Teşkilatı'nın (UNIDO) yönlendirici ve özendirici çalışmalarıyla küresel ölçekte yaygınlık kazanmış, doğal kaynakların korunmasına ilişkin

farklı düzeylerde birçok önlemi ve iyileştirici tekniği bünyesinde toplamıştır. Bu kavram kirlilik önleme, eko-verimlilik, atık minimizasyonu, kaynak verimliliği ve yeşil verimlilik olarak adlandırılan terimlerle paralellik göstermekte ve örtüşmektedir (TTGV, 2011; BSTB, 2014). Şekil 1'de temiz üretim kavramı ve diğer çevre koruma stratejileri arasındaki ilişkiler gösterilmektedir. Temiz üretim kavramı en basit şekilde "üretim proseslerinde çeşitli materyal ve pratiklerin uygulanarak atıkların ve kirleticilerin kaynağında oluşmadan önlenmesi" şeklinde tanımlanabilir. UNEP temiz üretimi "bütünsel ve önleyici bir çevre stratejisinin proseslere, ürünlere ve



hizmetlere sürekli olarak uygulanması ile verimliliğin artırılması ve çevre ve insana yönelik risklerin azaltılması” şeklinde tanımlamıştır (UNEP, 1996). Temiz üretim yaklaşımı kirlilik oluşuktan sonra kontrol etmeyi amaçlayan kirlilik kontrolü (boru sonu arıtma) uygulamaları ile kıyaslandığında bütüncül, önleyici ve proaktif bir yaklaşım sağlayarak, endüstriyel işletmelerde kaynak kullanımı, üretim verimliliğinin artırılması ve çevresel performansların sürekli iyileştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Temiz üretim yaklaşımı; bir ürünün yaşam döngüsü boyunca hammadde, su ve enerjinin korunması, toksik ve tehlikeli hammaddelerin ortadan kaldırılması ile bütün emisyon/atıkların miktar ve toksisitelerinin kaynağında azaltılması uygulamalarını kapsamaktadır (MARKA, 2013). Ürünlere yönelik temiz üretim, ürünlerin bütün yaşam döngüleri boyunca olumsuz çevre, sağlık ve güvenlik etkilerini azaltmayı amaçlamaktadır. Temiz üretim yaklaşımı “daha az kaynak ile daha fazla üretmek” ya da “daha az çevresel etki, daha fazla ekonomik ve ekolojik etkinlik ile daha fazla değer sağlamak” şeklinde yorumlanabilmektedir (MARKA, 2013).

2.1. Temiz Üretim Yaklaşımının Temel Prensipleri

Temiz üretim yaklaşımı endüstriyel üretim proseslerinde yetersizlik, etkisizlik ve verimsizlik etmenlerinin detaylı teknik incelemeler ile tespit edilmesi ve temiz üretim teknikleri-stratejilerinin geliştirilmesi ile kirliliğin kaynağında oluşmadan önlenmesine odaklanmaktadır. Başka bir ifade ile temiz üretim yaklaşımı; üretim proseslerinde yüksek kaynak kullanımlarını ve atıkların/emisyonların oluşumunu neden-sonuç ilişkisi içerisinde inceleyerek verimsizliğe neden olan etmenlerin belirlenmesi ve kaynakta alınacak temiz üretim tedbirleri ile ortadan kaldırılmasını sağlamaktadır. Temiz üretim yaklaşımının temel prensipleri aşağıda sıralanan temel başlıklar altında toplanabilir. Bunlar;

- İyi yönetim uygulamaları (yönetmelik önlemler)
- Daha iyi süreç kontrolü
- Hammadde veya ürün modifikasyonu/değişimi
- Ekipman modifikasyonu/değişimi
- Teknoloji ya da süreç değişimi
- Yeniden kullanım/geri kazanım



- Kullanılabilir yan ürün üretimi (UNIDO, 2002)

2.1.1. İyi yönetim uygulamaları

İyi yönetim uygulamaları kolay uygulanabilir önlemlerden birini oluşturmakta ve çoğu zaman yatırım maliyeti gerektirmemektedir. Bu uygulamalar kapsamında; prosesler bazında nitelikli kayıt tutmak ve izleme, personelin eğitimi, önleyici bakım-onarım çalışmaları, temiz üretim prosedürlerinin ve yönetsel sistemlerin oluşturulması, süreç optimizasyonları, gereksiz kullanımların önlenmesi vb. uygulamalar sayılabilir. İyi yönetim uygulamaları bir endüstriyel işletmede temiz üretim yaklaşımının yapılandırılması ve sürdürülebilmesi için temel niteliğindedir. Ayrıca yatırım maliyeti çoğu zaman olmayan iyi yönetim uygulamaları kaynak verimliliği ve çevresel performansların artırılmasında azımsanmayacak tasarruflar/faydalar sağlayabilmektedir.

2.1.2. Daha iyi süreç kontrolü

Üretim proseslerinde çalışma koşullarının kaynak kullanımı ve atık oluşumu bakımından optimum seviyede olduğunun tespit edilerek optimizasyon çalışmaları ile gerekli

olan en uygun şekilde düzenlenmesi süreç kontrolü prensibinin temelini oluşturmaktadır. Bunun için üretim proseslerinde su, sıcaklık, basınç, pH, süreç hızı vb. parametrelerin izlenmesi ve olabildiğince optimum seviyelere yakın tutulmasını kapsamaktadır. Böylelikle gereksiz kaynak kullanımları ve atıklar azaltılacağı gibi üretim performansı da önemli ölçüde artırılabilir. Süreç kontrolü uygulamaları düşük yatırım maliyetleri gerektirmektedir. Ayrıca uygulamalar ile sağlanacak tasarruflar/faydalar göz önüne alındığında yatırımın geri ödeme süreleri oldukça kısa olmaktadır.

2.1.3. Hammadde veya ürün modifikasyonu veya değişimi

Temiz üretimin temelinde kirleticilerin oluşmadan kaynağında önlenmesi stratejisi yer almaktadır. Bu durumda üretim verimliliğinin ve çevresel performansların artırılması adına üretimde kullanılan hammaddelerin daha çevre dostu ikameleri ile değişimi gerekebilir. Hammadde değişimi uygulamasında temel perspektifi daha az kaynak kullanımı gerektiren, ön işlem gerektirmeyen, üretim proseslerinde atıklar/emisyonlar oluşturmayan, boru sonu arıtımı



engelleyecek ve alıcı ortamlara zarar verecek hammaddelerin kullanımından kaçınılması oluşturmaktadır. Hammadde değişimi kapsamında biyolojik olarak zor parçalanan ve toksik kimyasalların değişimi uygulamaları da yer almaktadır. Ürünün değiştirilmesi, ürünün ve gereksinimlerinin yeniden düşünülmesini gerektirmektedir. Geliştirilmiş ürün tasarımı, malzeme tüketimi ve tehlikeli maddelerin kullanımının büyük oranlarda azaltılmasına olanak tanımaktadır.

2.1.4. Ekipman modifikasyonu veya değişimi

Endüstriyel üretim proseslerinde kullanılan çeşitli ekipmanlar yoğun kaynak tüketimlerine, üretim verimliliğinin azalmasına ve yüksek miktarda atık/emisyonun oluşumuna neden olabilmektedir. Bu durumda mevcut ekipmanların daha az kaynak tüketimine ve atık oluşumuna neden olacak ve verimliliği artıracak şekilde modifikasyonlarının yapılması ya da değişimini içermektedir. Bu kapsamda ekipman izolasyonları ile atık ısının azaltılması, hacim optimizasyonu, tork konvertörlü motor kullanımı ya da motor devirlerinin ayarlanması gibi uygulamalar sayılabilir.

2.1.5. Teknoloji ya da süreç değişimi

Teknoloji ve süreç değişikliği, verimsiz ve eski teknolojiler yerine kaynak tasarrufu ve çevre dostu teknolojilerin tekniklerin kullanılması anlamına gelmektedir. Ekipman değişiminden ayıran en önemli nokta herhangi bir parçanın değil tüm makinenin ya da prosesin değişimini kapsamaktadır. Bu uygulama ilk yatırım maliyeti yüksek olsa bile elde edilecek tasarruf/faydalar göz önüne alındığında geri ödeme süreleri kısa olabilmektedir. Ancak bu noktada karar verme sürecinde etüt ve fizibilite çalışmalarının yapılması oldukça önemlidir.

2.1.6. Yeniden kullanım/geri kazanım

Üretim proseslerinde atık olarak kabul edilebilen materyaller çoğu zaman aynı üretim prosesinde ya da başka bir üretim prosesinde yeniden değerlendirilebilmektedir. Bunun mümkün olmadığı durumlarda geri kazanım-geri dönüşüm gibi atık minimizasyon stratejileri ile atıklar gelir getiren bir yan ürüne dönüştürülebilmektedir. Yeniden kullanım ya da geri kazanım uygulamalarına proses atıksularının geri kullanımı, atık baca gazından ısı geri kazanımı, kondens sularının geri



kullanımı, kimyasal geri kazanımı, ambalaj atıklarının geri dönüşümü vb. sayılabilir.

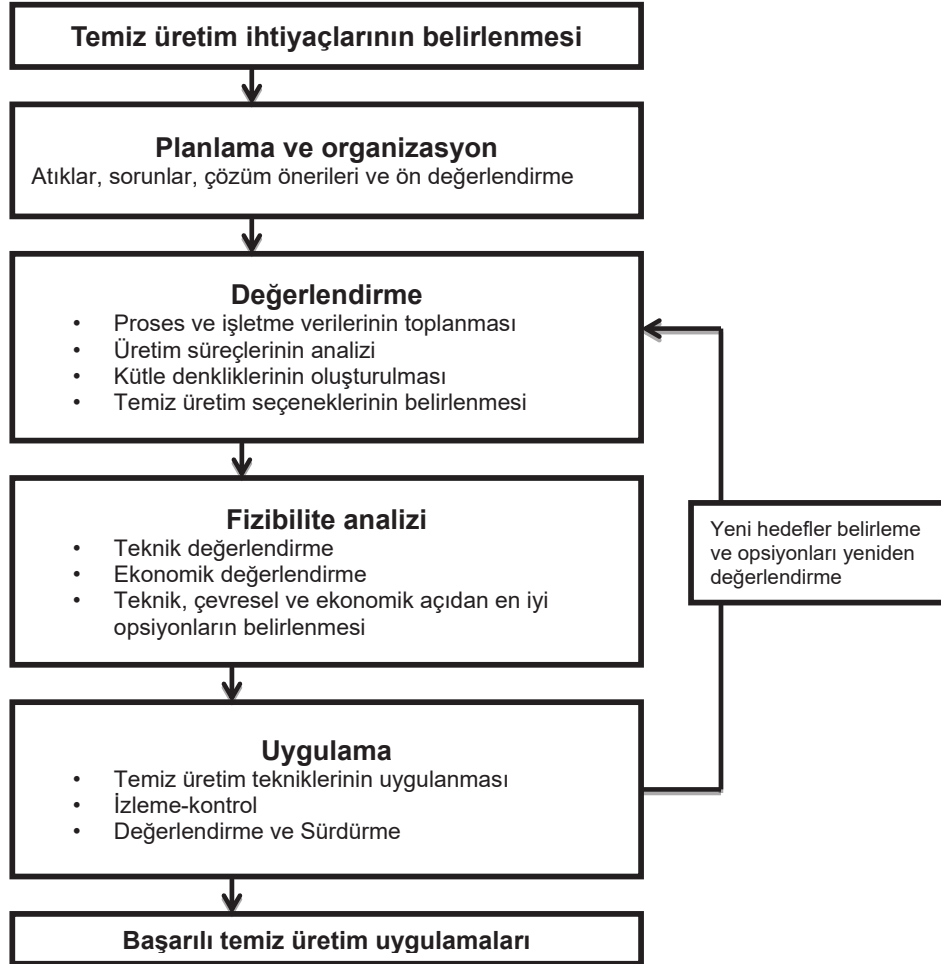
2.1.7. Kullanılabilir yan ürün üretimi

Üretim proseslerinde imal edilmesi amaçlanan ürünün yanında yan-ürünler de oluşabilmekte ve bu yan-ürünler ekonomik değerinin olmaması gibi nedenler ile atılmaktadır. Bu durum üretim proseslerinin çevresel performanslarını olumsuz yönde etkilemektedir. Genellikle üretim proseslerinde oluşan yan-ürünler bir başka endüstriyel üretici için hammadde anlamına gelebilmektedir. Üretim proseslerinde oluşan yan-ürünlerin doğrudan alıcıya verilerek değerlendirilmesinin yanı sıra işletme içerisinde işlenerek ekonomik değeri yüksek faydalı ürünlere dönüştürmek

mümkün olabilmektedir. Bu uygulama endüstriyel işletmelerin çevresel ve ekonomik performanslarının artırılmasında etkili bir temiz üretim yaklaşımı olmaktadır.

2.2. Temiz Üretimin Uygulama Metodolojisi

Temiz üretim yaklaşımının yapılandırılmasında çoğu araştırmacı tarafından temel 5 aşamadan oluşan bir metodoloji izlenmektedir (Şekil 2). Ayrıca literatürde temiz üretim değerlendirme çalışmaları kapsamında temiz üretim tekniklerinin ve stratejilerinin belirlenmesinde çeşitli karar verme tekniklerini değerlendiren araştırmalar bulunmaktadır (Yılmaz vd., 2014; Öztürk vd., 2016; Öztürk ve Cinperi, 2018).



Şekil 2. Temiz Üretim Yaklaşımının Uygulama Metodolojisi (UNEP, 2014)

2.2.1. Temiz üretim ihtiyaçlarının belirlenmesi

Temiz üretim ihtiyaçlarının belirlenmesi sürecinde tesiste yerinde ön proses incelemelerinin yapılması ve teknik personeller ile tesiste kaynak verimliliğini olumsuz yönde etkileyen temel konular teknik açıdan değerlendirilebilir. Bu ön değerlendirme sonuçları gerçekleştirilecek temiz

üretim çalışmalarının temel perspektifinin oluşturulmasında önemli katkı sağlamaktadır.

2.2.2. Planlama ve organizasyon

Planlama ve organizasyon sürecinde temiz üretim hedeflerinin belirlenmesi, çalışma ekibinin oluşturulması, temiz üretim etüt çalışması planlaması ve mali kaynakların değerlendirilmesi gibi çalışmalar yapılmaktadır.



2.2.3. Değerlendirme süreci

Değerlendirme sürecinde işletmenin geneli ve üretim prosesleri bazında detaylı teknik incelemeler yapılmaktadır. Bu kapsamda proses akım şemalarının oluşturulması, prosesler bazında kütle denkliklerine dayalı spesifik girdi-çıktıların belirlenmesi, mevcut uygulanmakta olan teknikler, üretim proseslerinde kullanılan teknikler ve üretim yapısı hakkında detaylı veri toplama çalışmaları yapılmaktadır. Ayrıca üretim proseslerinde kaynak tüketimleri, atıklar ve emisyon kaynakları, spesifik miktarları ve üretim proseslerindeki verimsizlikler nedenleri ile belirlenmektedir. Ayrıca gerek duyulan proses girdi-çıktıları nitelikleri yönünden analiz edilebilmektedir. Daha sonraki aşamada üretim prosesleri bazında yoğun kaynak kullanımına ve atıklar/emisyonların oluşmasına neden olan etmenlerin ortadan kaldırılması için temiz üretim teknik ve stratejileri geliştirilmektedir.

2.2.4. Fizibilite analizi

Değerlendirme aşamasında belirlenen temiz üretim teknikleri ve stratejilerinin her biri uygulanmadan önce sağlayacağı potansiyel teknik,

ekonomik ve çevresel tasarruflar/faydalar açısından değerlendirilmektedir. Ayrıca her bir temiz üretim teknik ve stratejisi için yatırım ve operasyonel maliyetler belirlenerek tahmini geri ödeme süreleri belirlenmektedir. Fizibilite çalışmaları temiz üretim yaklaşımının yapılandırılmasında önemli bir yere sahiptir. Çünkü teknik ve çevresel faydalar ile maliyetler arasında bir denge kurulması temiz üretimin temel bakış açılarından birini oluşturmaktadır. Yetersiz fizibilite çalışmaları işletmeler için yüksek yatırım maliyetleri getirebileceği gibi beklenen verimlilikler ve çevresel performansların artırılmasını olumsuz yönde etkileyebilmektedir.

2.2.5. Uygulama ve sürdürme

Uygulama ve sürdürme süreci, yetkili personel ve uzmanların yüksek koordinasyonuna dayalı olarak belirlenen temiz üretim teknikleri-stratejilerinin uygun görülen üretim proseslerinde uygulanması ve kontrol-izleme faaliyetlerini kapsamaktadır.



2.3. Temiz Üretim Sağladığı Faydalar ve Yapılandırılmasındaki Başlıca Bariyerler

2.3.1. Sağlanacak faydalar

Temiz üretim, işletme büyüklüğünden bağımsız olarak mevcut ve yeni kurulan işletmelerde uygulanabilmektedir. Endüstriyel işletmelerde temiz üretim ile teknik, ekonomik ve çevresel kazanımlar/faydalar sağlanmaktadır (Çizelge 1). Temiz üretim ile doğal kaynakların verimli ve daha etkin kullanımı, atıkların ya da emisyonların en aza indirgenmesini ve toksik içeriğinin azaltılmasını sağlayarak çevresel alıcı ortamlara olan zararlı etkilerin önlenmesini ya da en aza indirgenmesini sağlamaktadır. Bunun yanında temiz üretim yalnızca endüstriyel işletmelerin mevcut yasa ve yönetmeliklere uyumu sağlamayacak aynı zamanda geleceğin değişen ve daha da sıkılaştıran yasal

düzenlemelerine ve standartlarına da hazırlıklı olunmasını sağlayacaktır. Çünkü temiz üretim yaklaşımı endüstriyel işletmelerin kaynak verimliliği ve çevresel performanslarının sürekli geliştirilmesini ilke edinmektedir. Böylelikle temiz üretim, hem doğal kaynakların ve çevrenin bütüncül bir yaklaşımla korunmasında hem de kaynak kullanımı ve çevresel (atık arıtımı ve bertaraf) maliyetlerin azaltılmasında etkili bir yaklaşım olmaktadır. Temiz üretim, üretim proseslerinde oluşması muhtemel atıkların/emisyonların kaynağında önlenmesi ve miktarlarının olabildiğince azaltılması ile hali hazırda uygulanan kirlilik kontrolü (boru sonu arıtma) uygulamalarının daha pratik ve fizibil olarak uygulanabilmesini sağlamaktadır. Böylelikle kirlilik kontrolü uygulamalarının performansları da artırılabilir (BSTB, 2012).



Çizelge 1. Endüstrilerde Temiz Üretimin Yapılandırılması ile Sağlanacak Faydalar

Potansiyel faydalar	
Teknik faydalar	<ul style="list-style-type: none">➤ Geliştirilmiş ürünler ve prosesler sağlar.➤ Kaynakların (hammadde, enerji, su vb.) daha etkin kullanılmasını ve üretim verimliliğinin artırılmasını sağlar.➤ Proses kayıplarının (kaynaklar, iş gücü, zaman vb.) azaltılmasını sağlar.➤ Üretim proseslerinde ve boru sonu uygulamalarda performansların artırılmasıyla daha teknik uygulamalarda kolaylıklar sağlar.➤ İyi yönetim uygulamalarının geliştirilmesiyle kuruluş vizyonunun geliştirilmesini sağlar.➤ Geliştirilmiş teknik ve teknolojilerin kullanımı ile üretim proseslerinde hataların ve risklerin en aza indirilmesini sağlar.➤ Kuruluşların teknik problemleri öngörmesini ve çözümüne yönelik reflekslerin geliştirilmesini sağlar.➤ Ürün ve hizmet kalitesinin sürekli geliştirilmesini sağlar.
Çevresel faydalar	<ul style="list-style-type: none">➤ Hammadde, su ve enerjinin daha etkin kullanılmasını ve tüketimlerinin azaltılmasını sağlar.➤ Atıkların/emisyonların oluşmadan önce kaynağında önlenmesini ya da en aza indirilmesini sağlar.➤ Tehlikeli ve toksik karakterdeki materyallerin kullanımının önlenmesini ve böylelikle çevresel alıcı ortamlar üzerindeki baskının ve insan sağlığı üzerindeki risklerin önlenmesini sağlar.➤ Tehlikeli atıkların arıtma, depolama ve bertaraf risklerinin azaltılmasını sağlar.➤ Ekolojik ayak izinin azalmasını sağlar (karbon, su vb.).➤ Endüstriyel işletmelerde etkin kaynak kullanımı ve atıkların/emisyonların önlenmesi ile çevresel performansların sürekli geliştirilmesini sağlar.➤ Endüstrilerden kaynaklanan çevre kirlenmesinin önlenmesini ve çevrenin bir bütün olarak korunmasını sağlar.
Ekonomik faydalar	<ul style="list-style-type: none">➤ Kaynak kullanımının azaltılmasına paralel olarak üretim maliyetlerinin azaltılmasını sağlar.➤ Atıklar/emisyonların azaltılmasına bağlı olarak arıtma ve bertaraf maliyetlerinin azaltılması sağlanır.➤ Proses kayıplarının ve üretim hatalarının önlenmesiyle işletmelerin ekonomik performanslarının iyileştirilmesi sağlanır.➤ Temiz üretim ile işletmenin çevresel performanslarının sürekli gelişimi sağlanacağından gelecekte alıcı ortam standartlarının düşürülmesinin getireceği beklenmedik yatırım maliyetlerinin önlenmesi sağlanır.➤ Ulusal ve uluslararası piyasalarda beklenen yüksek kalite ve standartlarından doğal talebin karşılanması ve böylelikle işletmelerin rekabet gücünün artırılması sağlanır.
Hukuki faydalar	<ul style="list-style-type: none">➤ Endüstriyel işletmelerin yürürlükte olan yasa ve yönetmeliklere uyumunu sağlar.➤ Ulusal ve uluslararası standartların gerekliliklerinin yerine getirilmesini ve en üst düzeyde uyumu sağlar.➤ Gelecekte karşılaşılabilecek yasal düzenlemelere ve standartlara daha önceden hazır olunmasını sağlar.
Sosyal faydalar	<ul style="list-style-type: none">➤ Kuruluşun toplumsal imajının artmasına katkı sağlar.➤ Ürün imajının artırılması sağlanır.➤ Çalışanlara daha sağlıklı ve güvenli iş ortamı sağlayarak, çalışanların motivasyonun ve örgüt iletişiminin artırılması sağlanır.➤ Çalışanların tatmin düzeyini artırarak verimliliği artırır.

Temiz üretim, endüstriyel işletmelerin risklerinin ve bunların getirdiği yasal yaptırımlarla karşılaşma beklenmedik maliyetlerin ortadan



kaldırılmasında oldukça etkili olmaktadır. Günümüzde çevre kirlenmesinin boyutları ve artan çevre bilinci tüketicilerin çevreye duyarlı üretim yapan ve çevre dostu ürünleri tercih etmesi gibi bir sonucu ortaya çıkarmıştır. Bu noktada endüstriyel işletmelerin temiz üretim uygulamaları ile teknik ve çevresel performanslarını geliştirmeleri, çevre dostu ürünlerin ve çevreye duyarlı üretimin önünü açmaktadır. Böylelikle temiz üretimi yapılandırmış endüstriyel işletmelerin ulusal ve uluslararası ölçekte kuruluş ve ürün imajını artırması sağlanmaktadır. Temiz üretim özellikle uluslararası piyasaların, yüksek kalite standartlarını ve taleplerini karşılayabilmesi ile işletmelerin bu piyasalardaki rekabet gücünü artırmaktadır (BSTB, 2012). Endüstriyel işletmelerin çevreye duyarlı bir yapıyı benimsemeleri sonucunda iyileşen ve gelişen çalışma koşullarıyla olası iş kazaları ve risklerin önüne geçilmesi sağlanabilmektedir. Diğer taraftan çalışanların kirleticilere ve tehlikeli maddelere maruz kalması da önlenmektedir. Çevreye duyarlılık ve insan sağlığının korunmasını benimseyen bir kuruluşun çalışanları, o

kuruluşta görev almanın bilinci ve ayrıcalığı ile motive olmakta ve işlerini içtenlikle sahiplenmektedir (UNIDO, 2002; Demirer, 2007).

2.3.2. Bariyerler

Endüstrilerde temiz üretimin yapılandırılması ile teknik, çevresel ve ekonomik faydalar/tasarruflar sağlanabilmektedir. Ancak imalat sanayinde içerisinde çeşitli sektörlerde ve alt sektörlerinde faaliyet gösteren küçük ve orta ölçekli işletmelerde (KOBİ) temiz üretimin yapılandırılmasında çeşitli bariyerler bulunabilmektedir. Bu bariyerler büyük ölçüde yönetsel, finansal, teknik bilgi, politik ve yasal alt yapı eksikliğinden kaynaklanmaktadır. Cooray (1999) endüstriyel işletmelerde temiz üretimin yapılandırılmasındaki engelleri; profesyonel ve yönetsel eksiklikler, kayıt tutma ve izlemedeki yetersizlikler, karar vericilerin direnci, aşırı üretim odaklı yaklaşımlar, tüm çalışanların katılımında eksiklikler, teknik bilgiye erişimde zorluklar, nitelikli insan sermayesinin sınırlı olması ve temiz üretim için gerekli finansal kaynakların ayrılmamış olması olarak sıralamıştır (Cooray, 1999).



Çizelge 2. Temiz Üretim Yaklaşımının Uygulanmasındaki Bariyerler (Shi et al., 2008)

Bariyerler	Tanımlama
Politik ve piyasa ile ilgili bariyerler	<p>Çevre uygulamalarındaki esneklikler</p> <p>Ekonomik teşvik politikalarının olmaması</p> <p>Pazar talep ve isteklerindeki eksiklikler</p> <p>Endüstrilerde yetersiz düzenlemeler</p> <p>Kamu bilincinde ve baskısındaki eksiklikler</p>
Finansal ve ekonomik bariyerler	<p>Yüksek ilk yatırım maliyetleri</p> <p>Finansal sermayeye erişimde zorluklar</p> <p>Temiz üretimin zayıf finansal performansı</p> <p>Temiz üretim değerlendirme ve etüt çalışmalarındaki eksiklikler</p> <p>KOBİ'ler için finansman desteği hizmetlerindeki eksiklikler</p>
Teknik ve bilgi eksikliği bariyerleri	<p>Sınırlı uzmanlık ve beceriler</p> <p>Dış teknik destek eksiklikleri</p> <p>Temiz üretim ile ilgili bilgilere erişimdeki zorluklar</p> <p>Ek alt yapı gereksinimleri</p> <p>Teknik eğitim ve uygulama eksiklikleri</p>
Yönetimsel ve örgütsel bariyerler	<p>Pazar payı ve büyümenin daha öncelikli olması</p> <p>Rekabet ile ilgili endişelerin bulunması</p> <p>Yönetimin değişime direnç göstermesi</p> <p>Temiz üretim hakkında farkındalık eksiklikleri</p>



		ekonomik faydalar hakkında yeterince bilgiye sahip olmamaları
Yetersiz kapasitesi	yönetim	Yöneticilerin temiz üretimi uygulamak için temel yönetim ve teknik kapasite eksiklikleri

Shi et al. (2008), temiz üretimin yapılandırılmasında başlıca engelleri temel dört başlık altında toplamıştır (Shi et al., 2008). Bunlar; politik ve piyasa ile ilgili bariyerler, finansal ve ekonomik bariyerler, teknik ve bilgi eksikliği bariyerleri, yönetsel ve örgütsel bariyerlerdir. Çizelge 2'de temiz üretimin KOBİ'lerde yapılandırılmasındaki başlıca bariyerler verilmiştir. Temiz üretimin yaklaşımındaki bariyerler yeterli yasal ve teknik alt yapının yeterli olmaması, teşvik ve hibelerin yetersiz olması, özendirici çalışmalar ve temiz konusunda yeterli teknik bilgi ve danışmanlığın bulunmamasıdır. Temiz üretim süreklilik gerektiren bir yaklaşım olması nedeniyle sağlanacak kazanımların/faydaların mümkün olabildiğince artırılabilmesi için detaylı temiz üretim etüt çalışmalarının yapılmasına ihtiyaç vardır.

3. TÜRKİYE'DE TEMİZ ÜRETİMİN YAPILANDIRILMASI SÜRECİ

Avrupa Birliği (AB) tam üyelik sürecinde olan ülkemizde çevre mevzuatının AB direktiflerine uyumlaştırma süreci devam

etmektedir. Bu süreçte "Integrated Pollution Prevention and Control" (96/61/EC-IPPC) direktifi tam olarak çevre mevzuatına aktarılmamış olsa da uyumlaştırma sürecinde değerlendirilen başlıca direktiflerden olmuştur. İlk kez 1996 yılında yayımlanan IPPC direktifi AB çevre mevzuatının en önemli bileşenlerinden biri olarak kabul edilmektedir. Direktif, oluşan endüstriyel kirliliğin kaynağında entegre bir yaklaşımla önlenmesinde "mevcut en iyi tekniklerin (MET/BAT) uygulanmasını" baz almaktadır. MET'in temelini ise, çevreyi korumak için uygun tekniklerin seçimi ile çevresel fayda ve maliyetler arasında bir denge sağlamak oluşturmaktadır. Direktif, entegre kirlilik önleme ve kontrolü sağlamak amacıyla, çeşitli endüstriyel tesisler için oluşturulacak izin sistemi ile ilgili gereklilikleri ortaya koymaktadır. IPPC Direktifi'nin ve MET'lerin sektöre uyumunu kolaylaştırmak ve hızlandırmak amacıyla AB IPPC Bürosu tarafından sektörel BAT Referans Dokümanları (BREF) hazırlanmıştır. AB, bu dokümanları dinamik dokümanlar olarak ele almakta ve dönemsel olarak



revize etmektedir. IPPC Direktifi 2010 yılında hazırlanan ve yedi adet ayrı direktifi de kapsayacak biçimde, Endüstriyel Emisyonlar Direktifi (IED, 2010/75/EU) olarak yeniden düzenlenmiştir. IED ile, endüstriyel kuruluşlara verilen izinlerde, referans dokümanların sonuç bölümlerinde yer alan MET temelli emisyon limitlerini (BAT-AEL) esas olarak belirlenecek emisyon değerlerinin (ELV) şart olarak getirilmesi uygulamasına geçilmiş ve bu kapsamda referans dokümanların sonuç bölümleri, resmi dokümanlar haline gelmiştir. Türkiye'nin AB tam üyelik sürecinde henüz IED ulusal mevzuata aktarılmamış olsa da, Türkiye'de Tekstil Sektöründe Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrolü (TSEKÖK) Tebliği'nin 14 Aralık 2011 tarih ve 28142 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe girmesiyle, söz konusu direktifin uyumlaştırılması anlamında bir aşama kaydedilmiştir. Türkiye'de IPPC/IED uyumlaştırma takvimine göre 2015 yılında entegre izne geçiş sürecinin ve 2018'de söz konusu direktiflere tam uyumlaştırmanın tamamlanması planlanmaktadır. Türk çevre mevzuatında yer alan düzenlemelerin önemli bir bölümünde "kirliliğin ya da kirleticilerin kaynağında önlenmesine"

atıflar yapılmaktadır. Ancak mevcut uygulamalarda kirlilik önleme-temiz üretim temelli yaklaşımlar yerine daha çok "kirlilik kontrolü-boru sonu arıtım" yaklaşımları yer almaktadır. Uygulayıcıların temiz üretim yaklaşımı yerine kirlilik kontrolü uygulamalarına yönelmesindeki olası başlıca faktörler aşağıda sıralanmıştır. Bunlar;

- Temiz üretim yaklaşımları konusunda yeterli teknik bilgi ve danışmanlığın olmaması
- Temiz üretimin yapılandırılması ile sağlanacak kazanımlar-faydalar konusunda yeterli bilginin bulunmaması
- Temiz üretim yaklaşımının yapılandırılması tüm işletme çalışanlarının katılımı ile olmaktadır, bu konuda gösterilen direnç (işletme körlüğü)
- Temiz üretim etüt çalışmalarının yapılmaması ve bu konudaki yetersizlikler
- Endüstriyel işletmeleri temiz üretime yöneltecek yeterli teşviklerin ve ödüllendirmelerin bulunmaması
- Endüstriyel işletmelerin verimlilikten daha çok üretim odaklı olması



- Çevresel denetimlerdeki eksikliklerden kaynaklanan kayıtsız kaynak kullanımlarının olması (ülkemizde suyun değerinin olmaması)
- Çevresel mevzuatımızın daha çok kirlilik kontrolü yaklaşımlarını temel alması
- Temiz üretim uygulamaları için yeterli teşvik ve hibelerin bulunmaması
- Temiz üretim konusunda denetimsel eksikliklerin bulunmasıdır.

4. DEĞERLENDİRME ve ÖNERİLER

Bu çalışmada temiz üretim yaklaşımı, temiz üretimin temel prensipleri ve uygulama metodolojisi ile endüstrilerde temiz üretimle sağlanacak faydalar ve başlıca engeller değerlendirilmiştir. Endüstrilerde temiz üretim yaklaşımının yapılandırılması ile teknik, ekonomik ve çevresel performanslar önemli ölçüde artırılabilir. Ayrıca endüstriyel işletmeleri gelecekteki karşılaşacakları mevzuatlara ve standartlara hazır olmasını sağlamaktadır. Avrupa Birliği (AB) tam üyelik sürecinde olan ülkemizde “Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrolü (96/61/EC-IPPC)” yeni adıyla

“Endüstriyel Emisyonlar (2010/75/EU-IED)” direktiflerine uyum sürecinde ve Türk imalat sanayide temiz üretimin yaygınlaştırılmasında aşağıda sıralanan öneriler göz önünde bulundurulması önemli katkılar sağlayacaktır.

- Temiz üretim yaklaşımının imalat sanayinde yapılandırılmasında öncelikle sektörün yapısını tam anlamıyla yansıtan ve Türkiye özelinde hazırlanmış sektörel temiz üretim referans dokümanları hazırlanmalıdır.
- Daha çok kirlilik kontrolü yaklaşımlarına göre hazırlanmış çevre mevzuatının temiz üretim odağına yaklaştırılmalıdır ve denetimsel eksiklikler giderilmelidir.
- Özellikle temiz üretim planları “Çevresel Etki Değerlendirmesi” sürecine adapte edilerek yeni kurulacak tesislerde temiz üretim daha planlama-projelendirme aşamasında dahil edilmelidir.
- Temiz üretim projelerinde öncelikle üretim prosesleri bazında detaylı temiz üretim etütleri yapılmalıdır.



- Endüstrilerde temiz üretimin yapılandırılmasında özellikle işletme körlüğüne dikkat edilmelidir.
- Temiz üretim tesis özelinde değerlendirilmesi gereken bir yaklaşımdır ve bunun için benzer işletmeler için hazır bir reçete bulunmamaktadır.
- Temiz üretimin imalat sanayide yaygınlaştırılması doğal kaynakların ve çevrenin korunmasını sağlayacaktır.
- Temiz üretimin tüm imalat sanayinde yapılandırılmasında çeşitli mali destek programlarına (hibeler, proje destekleri, kredi programları vb.) ihtiyaç duyulmaktadır.
- Farklı alt sektörlerde faaliyet gösteren ve farklı proses yapısına sahip işletmelerde gerçek ölçekli daha fazla sayıda bilimsel çalışmanın yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

KAYNAKLAR

Berkel, V.R., 2006, *Cleaner Production and Eco-Efficiency*, in *Marinova (Ed.) Handbook on Environmental Technology Management*, Edward Elgar Publications, Cheltenham, UK.

Cooray, N., 1999, *Cleaner Production Assessment in Small and Medium Industries of Sri Lanka, Global Competitiveness through Cleaner Production: Proceedings of the Second Asia Pacific Cleaner Production Roundtable*.

Demirer, G.N., 2007, *Temiz Üretim Bilgi Kaynağı*, <http://www.enve.metu.edu.tr>, Erişim Tarihi: 16.12.2014.

Doğu Marmara Kalkınma Ajansı (MARKA), 2013, *Temiz Üretim Mali Destek Programı*, Doğu Marmara Kalkınma Ajansı, Refrans No: TR42-14-temiz.

Halkman, A.K., Atamer, M., Ertaş, A.H., 2000, *Endüstri ve Çevre İlişkileri*, TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası V. Teknik Kongresi, 2, ss.1029-1047.

Kaypak, Ş., 2011, *Küreselleşme Sürecinde Sürdürülebilir Bir Kalkınma için Sürdürülebilir Bir Çevre*, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi, 13(20), ss.19-33.

Öğütveren, Ü.B.(Ed.), 2011, *Çevre Sorunları ve Politikaları*, Anadolu Üniversitesi Yayınları, Eskişehir, 2554, ss.180.

Ozturk, E., Koseoglu, H., Karaboyacı, M., Yigit, N.Ö., Yetis, U., Kitis, M., 2016, *Minimization of Water and Chemical Use in a Cotton/Polyester Fabric Dyeing Textile Mill*, *Journal of Cleaner Production*, 130, pp.92-102.



- Ozturk, E., Cinperi, N.C., 2018, *Water Efficiency and Wastewater Reduction in an Integrated Woolen Textile Mill*, *Journal of Cleaner Production*, 201, pp.686- 696.
- Shi, H., Peng, S.Z., Liu, Y., Zhong, P., 2008, *Barriers to the Implementation of Cleaner Production in Chinese SMEs: Government, Industry and Expert Stakeholders' Perspectives*, *Journal of Cleaner Production*, 16, pp.842-852.
- T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı (BSTB), 2012, *Temiz Üretim Bilgi Platformu*, <http://www.temizuretim.gov.tr/kavram-salcerceve.aspx>, Erişim Tarihi: 10.10.2014.
- T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı (BSTB), 2014, *Temiz Üretim*, <http://www.butekom.org/Data>, Erişim Tarihi: 10.12.2014.
- Torunoğlu, E., 2013, *Çevre Politikaları, Anadolu Üniversitesi Yayınları*, ss.106.
- Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı (TTGV), 2011, *Sanayide Eko-Verimlilik (Temiz Üretim) Klavuzu: Yöntemler ve Uygulamalar, Rapor No: TTGV-T/2011/003, ISBN 978-975-95878-4-0, Ankara, ss.98.*
- Uğur, Y., Öner, Ş., 2003, *Sürdürülebilir Kalkınma Yaklaşımının Türkiye'ye Yansımaları: GAP Projesinde Sürdürülebilir Kalkınma ve Yerel Gündem, Gündem 21, ss.1-20.*
- United Nations Environment Programme (UNEP), 1996, *Cleaner Production: A Training Resource Package, Industry and Environment, UNEP Division of Technology, Industry, and Economics Sustainable Consumption and Production Branch, ISBN 9280716050, pp.134.*
- United Nations Environment Programme (UNEP), 2014, *Cleaner Production: Resource Efficient and Cleaner Production*, <http://www.unep.fr/scp/cp/>, Erişim Tarihi: 10.12.2014.
- United Nations Industrial Development Organization (UNIDO), 2002, *Manual on the Development of Cleaner Production Policies- Approaches and Instruments, Cleaner Production and Environmental Management Branch Programme Development and Technical Cooperation Division, October, Vienna.*
- Yılmaz, Ö., Ançil, A., Karanfil, T., 2014, *LCA as a Decision Support Tool for Evaluation of Best Available Techniques (BATs) for Cleaner Production of Iron Casting, Environmental Engineering and Earth Sciences Department, Clemson University, Journal of Cleaner Production, pp.337-347.*



Araştırma Makalesi

ANKARA'DA PM_{2.5} FRAKSİYONUNDAKİ PARTİKÜLLERDE N-ALKANOİK ASİT DERİŞİMLERİNİN İNCELENMESİ

Ebru KOÇAK¹, Yard. Doç. Dr. Seda ASLAN KILAVUZ², Prof. Dr. İpek İMAMOĞLU¹,
Prof. Dr. Gürdal TUNCEL¹

¹ODTÜ, Çevre Mühendisliği Bölümü, ANKARA, Türkiye

²Kocaeli Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye

ebsarika@metu.edu.tr, sedaaslan@koceli.edu.tr, ipeki@metu.edu.tr, tuncel@metu.edu.tr

Özet: Atmosferdeki ince partiküllerin insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri uzun yıllardan beri bilinmektedir. Bu partiküllerin olumsuz sağlık etkileri kimyasal kompozisyonlarına göre değişmektedir. Öte yandan atmosfere birçok biyogenik ve antropojenik kaynaktan yayılan bu partiküllerin kompozisyonlarının belirlenmesi, ana emisyon kaynaklarının tahmin edilmesinde de kullanılabilir. Atmosferde özellikle PM_{2.5} fraksiyonundaki partiküllerde bulunan n-alkanoik asitler kentsel alanlarda daha yüksek derişimlerde görülmekle birlikte özellikle biyogenik kaynaklı olanları kırsal ve yarı kentsel alanlarda da belirlenmektedir. Atmosferdeki n-alkanoik asit kaynakları yemek buharları, motorlu taşıt emisyonları, yol tozu ve biyokütlenin yanmasından kaynaklı emisyonlarıdır. Bu çalışmada Ankara'nın kentsel ve yarı kentsel iki bölgesinde 14 ay süresince toplanan PM_{2.5} partiküllerindeki n-alkanoik asitlerin derişimleri ve mevsimsel derişimleri incelenmiştir. Kış dönemi toplanan örnekleme seviyelerinin yaz dönemi toplanan örnekleme seviyelerinden yaklaşık iki kat daha fazla olduğu belirlenmiştir. Hafta içi-hafta sonu seviyeleri incelendiğinde, kaynakların büyük bir kısmını yemek pişirme ve yol tozu oluşturmaları sebebi ile hafta içi seviyelerinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Atmosferik Aerosoller, n-Alkanoik Asitler, PM_{2.5}

EVALUATION OF PM_{2.5} BOUND N-ALKANOIC ACID CONCENTRATIONS IN ANKARA ATMOSPHERE

Abstract: The adverse effects of fine particulate matter in atmosphere on human health have been known for many years. The adverse health effects of these particles vary according to their chemical composition. On the other hand, the determination of the composition of these particles, which are emitted from many biogenic and anthropogenic sources in the atmosphere, can also be used in predicting the main emission sources. The n-alkanoic acids found in the atmospheric particulate, especially in the PM_{2.5} fraction, are found in higher concentrations in urban areas, but especially those of biogenic origin are also found in rural and sub-urban areas. The n-alkanoic acid sources in the atmosphere are food cooking, motor vehicle emissions, road dust and emissions due to biomass burning. In this study, PM_{2.5} bound n-alkanoic acid concentrations and seasonal variations collected during 14 months from urban and sub-urban stations were investigated. It was determined that the

Makale Gönderim Tarihi: 04.10.2019

Makale Kabul Tarihi: 11.12.2019



sampling levels collected in winter season were about twice as high as those collected in summer season. When weekday and weekend levels were examined, it was found that weekday levels were higher due to the fact that most of the sources were cooking and road dust.

Keywords: Atmospheric Aerosols, n-Alkanoic Acids, PM_{2.5}

1. GİRİŞ

Partikül maddenin (PM) kimyasal içeriği ve büyüklüğü olası sağlık etkilerini belirleyen önemli parametrelerdir. Partikül maddeler aerodinamik çaplarına göre ikiye ayrılır; aerodinamik çapları 10 µm'den küçük olanlar PM₁₀ olarak, aerodinamik çapları 2.5 µm'den küçük olanlar da PM_{2.5} olarak sınıflandırılırlar. Özellikle aerodinamik çapı 2.5 µm ve daha küçük olan partikül maddeler insan solunum sistemlerindeki savunma mekanizmasını aşarak akciğerlere daha kolay ulaşabilirler (Querol et al., 2001; Ariola et al., 2006). Boyutlarındaki değişikliklerinin yanı sıra PM kompozisyonları da çeşitlilik göstermektedir. Partikül maddelerin kompozisyonundaki bu çeşitlilik birçok farklı kaynaktan salınması ve atmosferde gözlemlenen fotokimyasal reaksiyonlar sonucunda ortaya çıkmaktadır (Teixeira et al., 2012; Moon et al., 2008). Troposferde kimyasal bir bileşik olan n-alkanoik asitlerin rolü, literatürde artan bir ilgi

konusu olmuştur (Chebbi and Carlier, 1996). Organik asitler solvent ekstraksiyon yönteminin kullanıldığı çalışmaların %30-70'inde ölçülmüştür (Guo et al., 2015; He et al., 2006; Yao et al., 2004). Higroskopik özellikleri ve bulut yoğunlaşma çekirdeği gibi davranma potansiyeline sahip oldukları için, çok dikkat çekmektedirler (Guo et al., 2015; Novakov and Penner, 1993). Atmosferik aerosollerde n-alkanoik asitlerin emisyon kaynakları, n-alkanların kaynakları ile benzerlik göstermektedir. Antropojenik ve biyojenik olmak üzere n-alkanoik asitlerin iki ana kaynağı vardır. Atmosferde n-alkanoik asitlerin çeşitli antropojenik kaynakları şu şekilde sıralanabilir: fosil yakıtların yakılması, odun ve biyokütle yakma ve yemek pişirme (Rogge, 1993; Simoneit and Mazurek, 2007). Biyokütle yakma, yağ asitlerinin önemli bir kaynağıdır, çünkü bitki dokularının ve yüzey mumlarının ana bileşenleri yağ asitleridir (He et al., 2004; Zhang et al., 2008). Ayrıca yemek pişirmenin de, n-alkanoik



asitlere kaynak katkısı açısından büyük bir rolü olduğunu gösteren birçok çalışma bulunmaktadır. Tetradekanoik asit, hekzadekanoik asit ve oktadekanoik asit, yemek pişirme kaynaklı aerosoller içinde en baskın n-alkanoik asitlerdir (Schauer et al., 1999; He et al., 2004; Zhao et al., 2007; Zhao et al., 2015). Öte yandan fosil yakıt yakma C_{mak} (Maksimum Karbon Sayısı) = 16 olan yağ asitleri için bir diğer temel kaynaktır (Simoneit and Mazurek, 2007). Biyojenik kaynaklar da antropojenik kaynaklarda olduğu gibi, n-alkanların kaynaklarına benzerdir. Katkıda bulunan kaynaklar şu şekilde sıralanabilir: bitki mumları, mantarlar, bakteriler, mantar ve bakterilerden kaynaklanan polenler ve algler (Abdullahi vd., 2013).

Bu çalışmada $PM_{2.5}$ ölçümleri Ankara'da iki farklı istasyondan toplanan örneklerle gerçekleştirilmiş ve örneklerdeki n-alkanoik asitlerin derişim seviyelerinin mevsimsel değişimleri değerlendirilmiştir.

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Örnekleme Çalışmaları

112Y036 No'lu TUBİTAK projesi kapsamında başlatılan çalışmada,

örnekler Ankara'da iki farklı istasyondan toplanmıştır. Birincisi ODTÜ Çevre Mühendisliği Bölümünün arka bahçesinde ($39^{\circ}53'12.9''N$ $32^{\circ}46'58.8''E$) yer almaktadır. Bu istasyon yarı-kentsel olarak sınıflandırılmakla birlikte, kampüs sınırları içerisinde olması, ana yollara ve noktasal kaynaklara uzak olması sebebiyle seçilmiştir. Kampüsün dışında iki ana yol bulunmaktadır. Biri Eskişehir Yolu, diğeri de 1071 Malazgirt Bulvarıdır. İkinci istasyon Dışkapı'da bulunan Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi'nde ($39^{\circ}57'47.4''N$ $32^{\circ}51'42.6''E$) yer almaktadır. Birinci istasyona kıyasla, burası kentsel olarak sınıflandırılmakla birlikte, etrafında birçok okul, ev ve hastane bulunmaktadır. Bu istasyon çok işlek olan iki ana bulvarın ortasında bulunmaktadır. Bunlar Turgut Özal Bulvarı ve İrfan Başbuğ Caddesidir.

Örnekleme için Thermo Scientific, HVAIR100 yüksek hacimli örnekleyici kullanılmıştır. Örnekleyici başlığı $PM_{2.5}$ örneklerini toplamak üzere özel bir geometrik yapıya sahiptir. Değişen akışa göre örnekleme hava akışı $1,01-1,18 m^3 dak^{-1}$ aralığında olup, gün içerisindeki hava akışı değişimi çok



azdır. Hesaplamalar için ortalama akış değeri kullanılmıştır. Ortalama akış değerleri cihaz üzerinde bulunan akış diyagramlarının günlük olarak değiştirildikten sonra, cihazdan alınıp üzerinde işaretli akış değerlerinin ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Örneklemeden önce kullanılacak kuvars filtreler (Pallflex, Tissuquartz 2500QAT-UP, 8×10 inch²) 5 saat 500°C’de şartlandırılmıştır.

Ankara Üniversitesi istasyonuna filtreler uygun koşullarda (alüminyum folyo içerisinde) gönderilmiş ve haftada iki kez istasyona gidilerek örnekleme tamamlanan filtreler yine uygun koşullarda ODTÜ Çevre Mühendisliği’ne getirilerek, bir gün şartlandırma kabininde bekletilmiş ve tartımı gerçekleştirildikten sonra, alüminyum folyo ve hava geçirmeyen poşet içerisinde -20°C’de analiz gününe kadar muhafaza edilmiştir. ODTÜ istasyonundaki filtre değişimi yine günlük gerçekleşmiştir ve

örnekleme tamamlanan filtreler aynı gün şartlandırma kabininde bekletildikten sonra alüminyum folyo ve hava geçirmeyen poşet içerisinde, -20°C’de analiz gününe kadar muhafaza edilmiştir. Her altı günlük örnek için bir laboratuvar ve bir de saha kör örneği alınmıştır.

Örnekleme 2014 Temmuz’da başlatılmıştır. 2015 Eylül ayı sonunda bitirilmiştir ve toplamda ODTÜ istasyonundan 275, Ankara Üniversitesi istasyonundan 336 günlük örnek toplanmıştır. Bunlara ek olarak 30 saha ve 30 laboratuvar kör örnek alınarak analiz edilmiştir.

2.2. Analiz Edilen Bileşenler

Bu çalışmada Ankara’da farklı iki istasyondan toplanan PM_{2.5} örneklerindeki n-alkanoik asit derişimleri analiz edilmiştir. İncelenen n-alkanoik asitlerin listesi ve fiziksel özellikleri Çizelge 1’de sunulmuştur.



Çizelge 1. Analiz Edilen n-Alkanoik Asitlerin Listesi ve Fiziko-kimyasal Özellikleri

Bileşenler	Moleküler formül	Moleküler ağırlık	Erime noktası (°C)	Kaynama noktası (°C)	Buhar basıncı (mm Hg)
Dodekanoik asit	C ₁₂ H ₂₄ O ₂	200	43,2	298,9	1,60E-05
Tridekanoik asit	C ₁₃ H ₂₆ O ₂	214	44,5	312,4	1,26E-05
Tetradekanoik asit	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	228	53,9	326,2	1,40E-06
Pentadekanoik asit	C ₁₅ H ₃₀ O ₂	242	52,3	339,1	4,35E-07
Hekzadekanoik asit	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	256	61,8	351,5	3,80E-07
Heptadekanoik asit	C ₁₇ H ₃₄ O ₂	270	61,3	363,8	6,23E-08
Linoleik asit	C ₁₈ H ₃₂ O ₂	280	-8,5	365,2	8,68E-07
Oleik asit	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	282	45		
Oktadekanoik asit	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	284	69,3	383	7,22E-07

2.3. n-Alkanoik Asitler için GC-MS Prosedürünün Geliştirilmesi

Yöntem optimizasyon çalışmasının aşamaları şu şekildedir: (1) bileşiklerin m/z değerlerinin belirlenmesi, (2) sıcaklık programının belirlenmesi ve (3) analiz hassasiyetini arttırmak için bir SIM yönteminin hazırlanması. n-Alkanoik asitlerin analizleri için filtrelerden 47 mm çapında iki parça delgeç yardımıyla kesilerek 40 ml diklorometan içerisinde yarım saat ultrasonik ekstraksiyona tabi tutulmuştur. Ardından dönel buharlaştırıcı ve yüksek saflıkta azot işlemleriyle hacmi azaltılarak BSTFA/TMCS (%1) ile 2 saat 70°C'de derivatizasyon işlemine tabi tutulduktan sonra, gaz kromatografisi-kütle spektrometrisi cihazında (7890A (GC) - Agilent 5975 (MS)), J&W Scientific HP-5ms kapilar kolon kullanılarak analiz

edilmiştir. Gerçekleştirilen metot çalışması sonrasında n-alkanoik asitler için SIM metodu çıkartılarak bir sıcaklık programı hazırlanmıştır. Giriş sıcaklığı 250°C, arayüz sıcaklığı 280°C, MS kaynak sıcaklığı 230°C (mak 250°C), MS kuadropol sıcaklığı 150°C (mak 200°C) olarak ayarlanmıştır. GC fırın sıcaklığı ise farklı 3 program denendikten sonra şu şekilde oluşturulmuştur: başlangıç sıcaklığı 50°C (1 dk), ilk artış oranı 5°C dk⁻¹ (100°C, 5 dk), ikinci artış oranı 10°C dk⁻¹ (320°C, 20 dk) ve toplam süre 73 dk. İncelenen n-alkanoik asitlerin listesi, alıkonma süreleri ve m/z değerleri Çizelge 2'de sunulmuştur. n-Alkanoik asit bileşenlerinin vekil (surrogate) geri kazanım oranları ve tespit sınır değerleri Çizelge 3'de



sunulmuştur. Vekil geri kazanım değişmektedir.
oranları %92,3-%105,6 arasında

Çizelge 2. Analiz Edilen n-Alkanoik Asitlerin Listesi, Alınma Süreleri ve m/z Değerleri

Bileşenler	Alınma süresi (dak)	m/z
Dodekanoik asit	24,412	73, 117, 257
Tridekanoik asit	26,575	271, 117, 73
Tetradekanoik asit	28,621	117, 73, 285
Pentadekanoik asit	30,553	117, 299,1,73,1
Hekzadekanoik asit	32,589	73, 117, 313
Heptadekanoik asit	35,228	117, 73, 327
Linoleik asit	37,438	73, 337
Oleik asit	37,664	73, 117, 339
Oktadekanoik asit	38,813	117, 73, 341

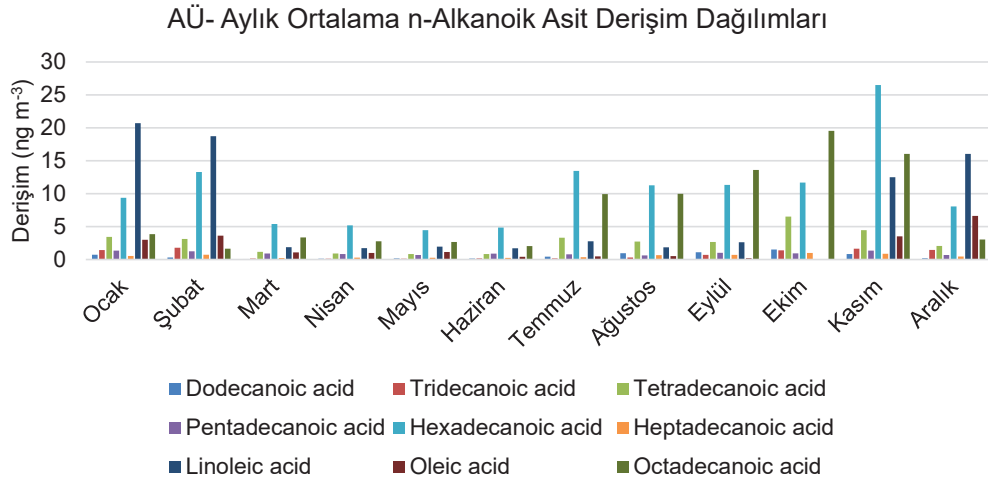
Çizelge 3. n-Alkanoik Asitlerinin Geri Kazanım Yüzdeleri ve LOD Değerleri

Bileşenler	Vekil (Surrogate) geri kazanımı %	LOD (ng/ml)
Dodekanoik asit	93,2	0,0124
Tridekanoik asit	92,3	0,0106
Tetradekanoik asit	95,2	0,0271
Pentadekanoik asit	93,2	0,0164
Hekzadekanoik asit	105,6	0,0347
Heptadekanoik asit	104,2	0,0131
Linoleik asit	98,2	0,0274
Oleic asit	96,3	0,024
Oktadekanoik asit	95,4	0,033

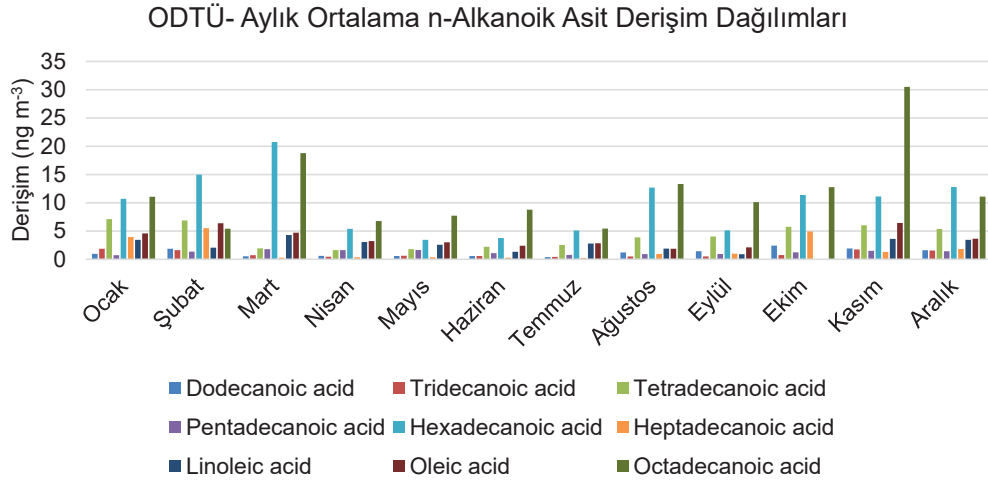
3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

n-Alkanoik asitlerin istatistiksel sonuçları incelendiğinde dodekanoik asit, tridekanoik asit, tetradekanoik asit, pentadekanoik asit, hekzadekanoik asit, heptadekanoik asit, linoleic asit, oleic asit ve oktadekanoik asit için ortalama derişimler sırasıyla AÜ istasyonu için

0,71±0,70, 0,63±0,74, 2,59±2,64, 0,91±0,91, 12,37±13,06, 0,53±0,52, 6,13±11,12, 1,63±4,55 ve 9,37 ±9,66 ng m⁻³; ODTÜ istasyonu için 1,19±1,19, 0,85±0,70, 3,86±2,90, 1,20±0,92, 9,51±8,62, 1,52±2,74, 2,70±1,84, 3,61±2,77 ve 11,94±11,87 ng m⁻³ olarak belirlenmiştir. Bu bileşiklerin aylık ortalama derişimleri Şekil 1 ve 2'de gösterilmiştir.



Şekil 1. AÜ İstasyonu Aylık Ortalama n-Alkanoik Asit Derişimleri Dağılımları



Şekil 2. ODTÜ İstasyonu Aylık Ortalama n-Alkanoik Asit Derişimleri Dağılımları

Şekil 1 ve Şekil 2'den görüldüğü gibi her iki istasyon için de n-alkanoik asitlerin kış aylarında toplanan örneklerdeki derişim seviyeleri yaz dönemine göre daha yüksektir. ODTÜ istasyonu için yaz ve kış dönemi n-alkanoik asitlerinin ortalamalarının

toplam değerleri sırasıyla $25,9 \pm 16,4$ ve $52,2 \pm 18,4$ ng m^{-3} olarak belirlenmiştir. AÜ istasyonu için de yine benzer şekilde yaz ve kış dönemi n-alkanoik asitleri derişimlerinin toplam değerleri sırasıyla $24,7 \pm 19,8$ ve $52,1 \pm 33,6$ ng m^{-3} olarak belirlenmiştir. Özellikle

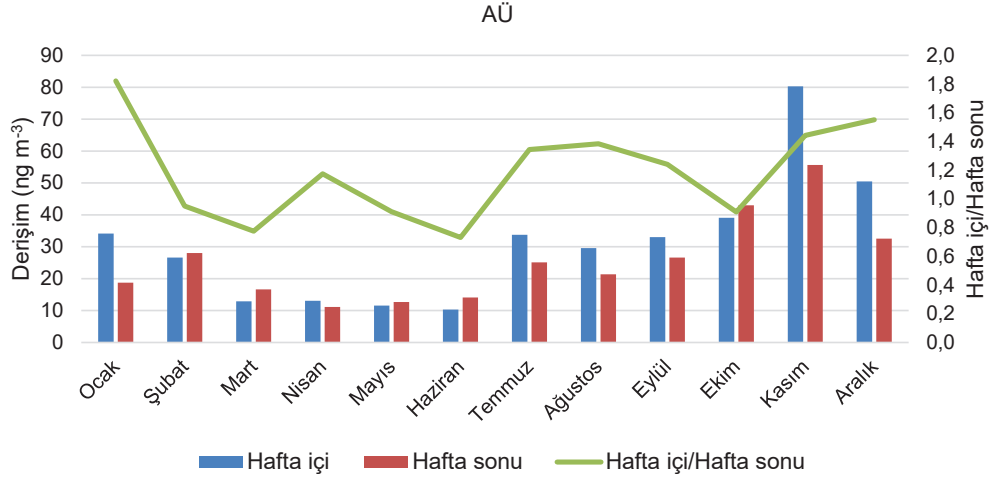


hekzadekanoik asit ve oktadekanoik asitin kış ayı ortalama derişim değerleri (AÜ: 12,39 ve 7,91 ng m⁻³; ODTÜ:13,61 ve 14,94 ng m⁻³) yaz dönemine (AÜ: 8,43 ve 6,83 ng m⁻³; ODTÜ: 5,90 ve 8,69 ng m⁻³) göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Konu ile ilgili literatürde bu bileşikler yemek pişirme ve yol tozu kaynaklı olarak tanımlanmaktadır (Scahuer et al., 1996; He et al., 2004; Feng et al., 2006).

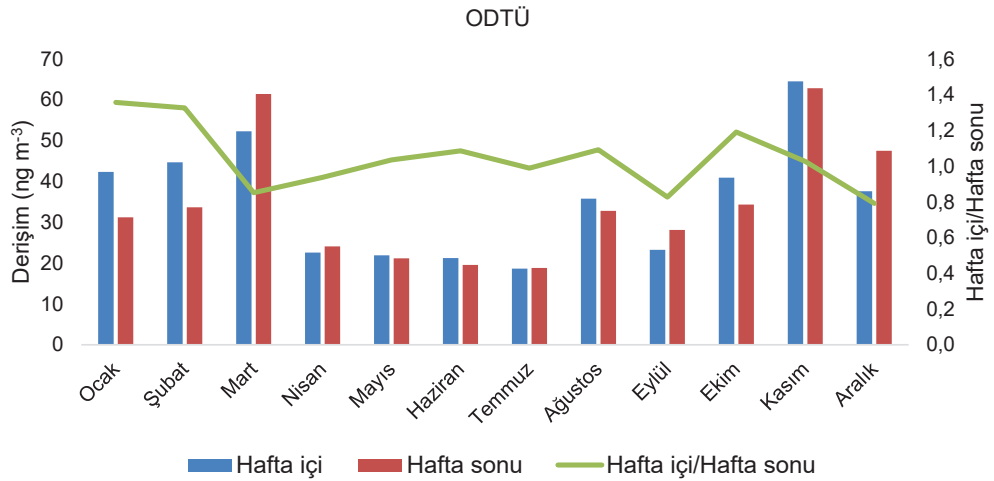
Dutton et al. (2009) tarafından ABD'nin Kolorado eyaletinin başkenti Denver'da gerçekleştirilen benzer bir çalışmada dodekanoik asit, tridekanoik asit, tetradekanoik asit, tetradekanoik asit, pentadekanoik asit, hekzadekanoik asit, heptadekanoik asit, oleik asit ve oktadekanoik asitler gibi n-alkanoik asitlerin PM_{2.5} fazındaki ölçümleri gerçekleştirilmiş ve sırasıyla ortalama 3,08, 0,22, 4,58, 0,99, 18,08, 0,62, 2,04 ve 11,28 ng m⁻³ seviyelerinde bulunmuştur. Bu çalışmada da hekzadekanoik asit ve oktadekanoik asit derişim seviyelerinin benzer olduğu (Denver:18,08 ve 11,28 ng m⁻³;

AÜ: 12,37 ve 9,37 ng m⁻³; ODTÜ: 9,51 ve 11,94 ng m⁻³) görülmektedir. Örnekleme yeri ve potansiyel kirlenici kaynakları açısından benzerlik gösteren bu iki şehirdeki atmosferik n-alkanoik asit derişimlerinin benzer olması doğaldır.

n-Alkanoik asitlerin hafta içi ve hafta sonu derişimleri Şekil 3 ve 4 'de verilmiştir. n-Alkanoik asitlerin kaynaklarının çoğunlukla yemek pişirme ve yol tozu olduğu düşünöldüğünde Şekil 3 ve 4'deki sonucun beklenen bir tablo olduğu sonucuna varılmıştır. ODTÜ istasyonunun yakınında bölüm kantini bulunduğundan hafta içi yemek pişirmeden kaynaklanan kirlenicilerin fazla olacağı düşünölmekteydi ve örnekleme süresince alınan sonuçlar da bu savı doğrulayan nitelikte olmuştur. AÜ istasyonunun yakınında da yerleşim yerleri bulunmaktadır, aynı zamanda çok işlek bir ana caddenin yakınındadır. Bu sebeplerle özellikle kış aylarında hafta sonu derişimlerinin fazla olması (araç fazlalığı sebebi ile) beklenebilmektedir.



Şekil 3. AÜ İstasyonu Hafta İçi ve Hafta Sonu n-Alkanoik Asit Derişimlerinin Değişimi



Şekil 4. ODTÜ İstasyonu Hafta İçi ve Hafta Sonu n-Alkanoik Asit Derişimlerinin Değişimi

4. TARTIŞMA

Bu çalışma kapsamında dokuz adet n-alkanoik asit, Ankara'nın iki farklı noktasında kurulan istasyonlardan günlük alınan PM_{2.5} örneklerinde analiz edilmiş ve sonuçları değerlendirilmiştir. Kentsel özelliklere sahip olan AÜ

istasyonu ve yarı kentsel özelliklere sahip olan ODTÜ istasyonunun n-alkanoik asit derişim sonuçlarına bakıldığında örnekleme süresince net bir yükseklik ya da azlık durumundan bahsedilememektedir. Yalnız nisan ayı



sonrasında ODTÜ istasyonu derişim seviyelerinin AÜ istasyonu derişim seviyelerine kıyasla kısmen yüksek olduğu görölmektedir. Yukarıda da bahsedildiği gibi yemek pişirme ve yol tozu kaynaklı n-alkanoik asitlerinin bu iki istasyon arasında çok fazla bir derişim farkı yaratmaması beklenmekteydi. Ancak, kentsel istasyon ortalama n-alkanoik asit derişim değerlerinin yarı kentsel istasyon ortalama n-alkanoik asit derişim değerlerine oranı ise 1,5 olarak saptanmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırmalar Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 112Y036 No'lu araştırma projesi kapsamında desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- Ariola, V., D'Alessandro, A., Lucarelli, F., Marcazzan, G., Mazzei, F., Nava, S., Garcia-Orellana, I., Prati, P., Valli, G., Vecchi, R., Zucchiatti, A., 2006, *Elemental Characterization of PM10, PM2.5 and PM1 in the Town of Genoa (Italy)*, *Chemosphere*, 62(2), pp.226-232.
- Chebbi, A., Carlier, P., 1996, *Carboxylic Acids in the Troposphere, Occurrence, Sources, and Sinks: A Review*, *Atmospheric Environment*, 30(24), pp.4233-4249.
- Dutton, S.J., Williams, D.E., Garcia, J.K., Vedal, S., Hannigan, M.P., 2009, *PM2.5 Characterizations for Time Series Studies: Organic Molecular Marker Speciation Methods and Observations from Daily Measurements in Denver*, *Atmospheric Environment*, 43(12), pp.2018-2030.
- Feng, J., Chan, C.K., Fang, M., Hu, M., He, L., Tang, X., 2006, *Characteristics of Organic Matter in PM2.5 in Shanghai*, *Chemosphere*, 64(8), pp.1393-1400.
- Guo, H.T., Zhou, J.B., Wang, L., Zhou, Y., Yuan, J.P., Zhao, R.S., 2015, *Seasonal Variations and Sources of Carboxylic Acids in PM2.5 in Wuhan, China*, *Aerosol and Air Quality Research*, 15(2), pp.517-528.
- He, L.Y., Hu, M., Huang, X.F., Zhang, Y. H., Tang, X.Y., 2006, *Seasonal Pollution Characteristics of Organic Compounds in Atmospheric Fine Particles in Beijing*, *Science of the Total Environment*, 359(1-3), pp.167-176.
- He, L.Y., Hu, M., Huang, X.F., Yu, B.D., Zhang, Y.H., Liu, D.Q., 2004, *Measurement of Emissions of Fine Particulate Organic Matter from Chinese Cooking*, *Atmospheric Environment*, 38(38), pp.6557- 6564.
- Karimatu L.A., Delgado-Saborit, J.M.,



- Harrison, R.M., 2013, *Emissions and Indoor Concentrations of Particulate Matter and Its Specific Chemical Components from Cooking: A Review*, *Atmospheric Environment*, 71, pp.260-294.
- Novakov, T., Penner, J.E., 1993, *Large Contribution of Organic Aerosols to Cloud Condensation - Nuclei Concentrations*, *Nature*, 365(6449), pp.823-826.
- Querol, X., Alastuey, A., Rodriguez, S., Plana, F., Ruiz, C.R., Cots, N., Massague, G., Puig, O., 2001, *PM10 and PM2.5 Source Apportionment in the Barcelona Metropolitan Area, Catalonia, Spain*, *Atmospheric Environment*, 35(36), pp.6407-6419.
- Rogge, W.F., 1993, *Molecular Tracers for Sources of Atmospheric Carbon Particles: Measurements and Model Predictions*, *Doktora Tezi*, California Institute of Technology, ABD.
- Schauer, J.J., Rogge, W.F., Hildemann, L.M., Mazurek, M.A., Cass, G.R., Simoneit, B.R.T., 1996, *Source Apportionment of Airborne Particulate Matter using Organic Compounds as Tracers*, *Atmospheric Environment*, 30(22), pp.3837-3855.
- Schauer, J.J., Kleeman, M.J., Cass, G.R., Simoneit, B.R.T., 1999, *Measurement of Emissions from Air Pollution Sources, 1, C1 through C29 Organic Compounds from Meat Charbroiling*, *Environmental Science and Technology*, 33(10), pp.1566-1577.
- Simoneit, B.R.T., Mazurek, M.A., 2007, *Organic Matter of the Troposphere-II, Natural Background of Biogenic Lipid Matter in Aerosol Over the Rural Western United States*, *Atmospheric Environment*, 41, pp.4-24.
- Teixeira, E.C., Agudelo-Castaneda, D.M., Fachel, J.M.G., Leal, K.A., Garcia, K.O., Wiegand, F., 2012, *Source Identification and Seasonal Variation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Associated with Atmospheric Fine and Coarse Particles in the Metropolitan Area of Porto Alegre, RS, Brazil*, *Atmospheric Research*, 118, pp.390-403.
- Yao, X., Fang, M., Chan, C.K., Ho, K.F., Lee, S.C., 2004, *Characterization of Dicarboxylic Acids in PM2.5 in Hong Kong*, *Atmospheric Environment*, 38(7), pp.963-970.
- Zhang, T., Claeys, M., Cachier, H., Dong, S., Wang, W., Maenhaut, W., Liu, X., 2008, *Identification and Estimation of the Biomass Burning Contribution to Beijing Aerosol using Levoglucosan as a Molecular Marker*, *Atmospheric Environment*, 42(29), pp.7013-7021.
- Zhao, Y., Hu, M., Slanina, S., Zhang, Y., 2007, *Chemical Compositions of Fine Particulate Organic Matter Emitted from Chinese Cooking Chemical Compositions of Fine Particulate*



Organic Matter Emitted from Chinese Cooking, Environmental Science and Technology, 41(1), pp.99-105.

Zhao, X., Hu, Q., Wang, X., Ding, X., He, Q., Zhang, Z., Chen, L., 2015,

Composition Profiles of Organic Aerosols from Chinese Residential Cooking: Case Study in Urban Guangzhou, South China, Journal of Atmospheric Chemistry, 72(1), pp.1-18.



Araştırma Makalesi

SU ve ATIKSU ARITIMINDA KULLANILAN İLERİ DEZENFEKSİYON YÖNTEMLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Yunus Emre DEMİREL¹, Pınar HASANOĞLU ÖZTÜRK², Emrah ÖZTÜRK³, Mehmet KİTİŞ¹

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 32260, Isparta

²Düzce Üniversitesi, Kaynaşlı Meslek Yüksekokulu, Çevre Koruma Teknolojileri Bölümü,
81900, Düzce

³Isparta Uygulamaları Bilimler Üniversitesi, Aksu Mehmet Süreyya Demiraslan Meslek
Yüksekokulu, Çevre Koruma Teknolojileri Bölümü, 32510, Isparta

emrahozturk@isparta.edu.tr

Özet: Bu çalışmada, su ve atıksu dezenfeksiyonunda kullanılan yöntemler çok ölçütlü karar verme metodu (ÇÖKVM) ile inaktivasyon kabiliyeti, rezidüel koruma, kurulum ve işletme kolaylığı, ilk yatırım maliyeti, işletme ve bakım maliyeti, toksisite, kullanım ömrü, teknolojiye erişilebilirlik, ön arıtma gereksinimi ve dezenfeksiyon yan ürünü oluşumundan oluşan toplam 10 kritere göre değerlendirilmiştir. Sonuçta belirlenen kriterlere göre değerlendirilen dezenfeksiyon yöntemlerinin öncelik sıralaması; halojenler ile dezenfeksiyon>asitler ve alkaliler ile dezenfeksiyon, ultraviyole (UV-C), membran prosesleri, metaller ile dezenfeksiyon, ozon (O₃) ile dezenfeksiyon, darbeli ışık (PUV), mikrodalga (MW), ileri oksidasyon prosesleri (İOP), ultrases (US) olarak bulunmuştur. Halojenlerle dezenfeksiyon yönteminin en öncelikli dezenfeksiyon yöntemi olarak öne çıkmasında iyi derecede rezidüel koruma sağlaması, kurulum ve işletmesinin kolay olması, ilk yatırım maliyetleri ve işletme maliyetlerinin düşük olması ve yaygın tedarik imkanının bulunması gibi özellikleri etkili olmuştur. US ile dezenfeksiyon yönteminin son sırada yer almasında ise özellikle rezidüel koruma sağlamada yetersiz olması, kurulum ve işletiminin kompleks olması, yüksek ilk yatırım ve işletme maliyetleri, teknolojiye erişimin sınırlı olması etkili olmuştur.

Anahtar kelimeler: ÇÖKVM, Dezenfeksiyon, Su-Atıksu Arıtımı, Ultraviyole (UV-C), Ultrases (US), Darbeli Işık (PUV), Mikrodalga (MW)

EVALUATION OF ADVANCED DISINFECTION METHODS USING IN WATER AND WASTEWATER TREATMENT

Abstract: In this study, disinfection methods used in drinking water and wastewater treatment were evaluated by using multi-criteria decision making method (MCDM) according to defined a total of 10 evaluation criteria such as inactivation ability, residual protection, ease of installation and operation, initial investment cost, operation and maintenance costs, toxicity, service life, accessibility to technology, need for pre-treatment and disinfection by-product formation. The priority ranking of disinfection methods according to defined evaluation criteria were found as disinfection with halogens, disinfection with acids and alkalis, ultraviolet (UV-C), membrane processes, disinfection with metals, disinfection with

Makale Gönderim Tarihi: 23.03.2019

Makale Kabul Tarihi: 20.11.2019



ozone (O₃), pulsed ultraviolet (PUV), microwave (MW), advanced oxidation processes (IOP), ultrasound (US). The disinfection with halogens were found the most prior methods because of provide good residual protection, ease of installation and operation, low initial investment and operating costs, and extensive supply. The disinfection with US was found lowest priority especially due to the insufficiency residual protection, complexity of installation and operation, high initial investment and operating costs and limited access to technology

Keywords: Disinfection, MCDM, Water-Wastewater Treatment, Ultraviolet (UV-C), Ultrasound (US), Pulsed Ultraviolet (PUV), Microwave (MW)

KISALTMA VE SEMBOLLER

ATM	Ağırlıklandırılmış Toplamlar Metodu
BSM	Basit Sıralama Metodu
ÇÖKVM	Çok Ölçütlü Karar Verme Metotları
KAM	Kriter Ağırlıklandırma Metodu
MBR	Membran Biyoreaktör
MF	Mikrofiltrasyon
MW	Mikro Dalga
NF	Nanofiltrasyon
PUV	Darbeli Işık
TO	Ters Ozmoz
UF	Ultrafiltrasyon
US	Ultra Ses
UV	Ultraviyole

1. GİRİŞ

Günümüzde gelişen teknoloji, hızlı endüstrileşme ve nüfus artışı beraberinde kıt olan doğal kaynakların hızla tükenmesine ve kirlenmesine neden olabilmektedir. Su kirliliği ise bu konudaki en önemli endişelerden birini oluşturmaktadır (Ceyhan, 2011). Su kaynakları büyük ölçüde atıksuların yeterince arıtılmadan alıcı su

ortamlarına deşarj edilmesi sonucunda biyolojik ve kimyasal kirlenmeye neden olabilmektedir. Su kaynaklarında gerçekleşen kirlenme özümseme kapasitesini aşmadığı durumlarda zaman içerisinde kendiliğinden giderilebilmesine rağmen kirlenmenin boyutu, türü ve hızına bağlı olarak doğal olarak elimine edilemeyebilir



(Ceyhan, 2011). Bu nedenle kullanılmış suların alıcı ortamlara deşarj edilmeden önce fiziko-kimyasal, biyolojik ve ileri arıtıma prosesleriyle yeterince arıtılması gerekmektedir. Özellikle sularda bulunan patojen mikroorganizmalar su kalitesi ve halk sağlığını tehdit etme potansiyeli nedeniyle farklı dezenfeksiyon yöntemleri ile inaktive edilmesi gerekmektedir. Suların dezenfeksiyonu patojen mikroorganizmaların fiziksel-kimyasal yöntemlerle ve okside edici karakteristiğe sahip kimyasallarla yok edilmesi veya etkisiz hale getirilmesi işlemdir (Bozkurt, 2009; OSB, 2013). Patojen mikroorganizmaların sucul ortamdan uzaklaştırılmasında veya etkisiz hale getirilmesinde çeşitli dezenfeksiyon yöntemleri kullanılmaktadır. En yaygın kullanılan dezenfeksiyon yöntemleri klorlama ve ultraviyole (UV) ile dezenfeksiyondur (Teksoy, 2006).

Patojen mikroorganizmaların etkisiz hale getirilmesi; kullanılan dezenfeksiyon yönteminin etkinliği ve mikroorganizmanın türüne bağlı olarak değişmektedir (Alıcı, 2007). Patojen mikroorganizmaların etkisiz hale getirilmesi; hücre duvarının zarar görmesi, hücre geçirgenliğinin

değiştirilmesi, hücre protoplazmasının kolloidal yapısının değiştirilmesi ve metabolik aktivitede etkili kritik enzimlerin etkisiz hale getirilmesi olmak üzere temel dört mekanizmayla tanımlanmaktadır (Çakmakçı vd., 2015). Dezenfeksiyon işleminde kullanılan dezenfektanların; ekonomik olması, kimyaca saf olması, suda kalıcı olması, depolama ve taşınmasının kolay olması gerekmektedir (MEGEP, 2011). Kullanılan dezenfektan miktarı ise; dezenfeksiyon yönteminin etkileme gücü, organizmanın türü, etkileme türü, suyun sıcaklığı, suyun pH değeri, suda çözülmüş olan organik ve inorganik maddelerin cins ve miktarlarına göre değişmektedir (Alıcı, 2007).

İçme suyu ve atıksudaki patojen mikroorganizmaların etkisiz hale getirilmesinde konvansiyonel dezenfeksiyon yöntemleri (klorlama gibi) yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak su bünyesindeki çeşitli bakteri sporları, dezenfektanlara intrensek dirençli mikroorganizmalar, bazı virüsler ve vejetatif türler konvansiyonel dezenfeksiyon yöntemleri ile tamamen etkisiz hale getirilemeyebilir (Saygın, 2013). Bu nedenle içme suyu ve atıksuların dezenfeksiyonunda ileri dezenfeksiyon



yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. İleri dezenfeksiyon yöntemleri; ultraviyole (UV), ultrases (US), darbeli ışık (PUV), mikrodalga (MW), ozonlama, membran filtrasyon prosesleri ve ileri oksidasyon prosesleridir.

Bu çalışmada, su ve atıksu dezenfeksiyonunda kullanılan yöntemler çok ölçütlü karar verme metotları (ÇÖKVM) kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu kapsamda; teknik uygulanabilirlik, ekonomiklik (ilk yatırım, bakım-onarım ve işletme açısından), kalıcı koruma etkisi, etkinlik ve verimlilik, uygulamadaki zorluk/kolaylık, dezenfektan yan ürünü oluşumu, toksisite ve kullanım ömrü vb. kriterlere göre değerlendirilmiştir. Sonuçta su ve atıksu dezenfeksiyonunda kullanılan dezenfeksiyon yöntemlerinin belirlenen değerlendirme kriterlerine göre öncelik sıralaması yapılmıştır. Böylelikle bu konuda çalışan araştırmacılara, içme suyu ve atıksu arıtma tesisi operatörlerine hem dezenfeksiyon yöntemleri hem de değerlendirme metodolojisi açısından katkılar sağlanması amaçlanmıştır.

2. SU VE ATIKSU ARITIMINDA KULLANILAN DEZENFEKSİYON YÖNTEMLERİ

İçme suyu ve atıksular bünyesinde bulunabilecek patojen mikroorganizmaların inaktive edilmesinde kullanılan dezenfeksiyon yöntemleri etki mekanizmaları, teknik uygulanabilirlik ve ekonomiklik gibi çok farklı özelliklere sahiptir. Aşağıda içme suyu ve atıksuların dezenfeksiyonunda kullanılan yöntemler alt başlıklar halinde incelenmiştir.

2.1. Ultraviyole (UV) ile Dezenfeksiyon

UV ile dezenfeksiyon işlemi, mikroorganizmaların genetik yapısı üzerinde değişikliğe sebep olan kısa dalga boyunda UV ışınları ile sağlanmaktadır (Özer vd., 2014). UV ile dezenfeksiyon işleminde 254 nm dalga boyuna sahip UV-C ışınları kullanılmaktadır (Aydın, 2008). Bu ışınlar mikroorganizma ile temas ettiklerinde mikroorganizmaların DNA yapısına foto-oksidasyon yoluyla hasar vermekte ve böylelikle hedeflenen mikroorganizmalar inaktivasyona uğramaktadır (Aydın, 2008). Mikroorganizma inaktivasyonu için en etkin dalga boyunun 253-256 nm



olduğu bilinmektedir (Aydın, 2008). Bakteri ve virüslerin inaktivitesi sırasında UV ile dezenfeksiyon oldukça etkili bir yöntemdir. Ancak *giardia* ve *cryptosporidium* gibi organizmaları inaktive etmek için gerekli olan UV dozu, bakteri ve virüsleri inaktive etmek için gerekli UV dozunun birkaç kat daha fazla olabilmektedir (Özkütük, 2007).

UV ile dezenfeksiyon işleminin en büyük avantajı; işlem sırasında herhangi bir kimyasalın kullanılmaması, işlemin kısa sürmesi (≤ 5 saniye) ve dezenfeksiyon etkinliğinin yüksek olmasıdır (Özer vd., 2014). Ancak enerji tüketimi, su içinde bakiye olarak bulunmaması ve ekonomik olmaması başlıca çekinceleri oluşturmaktadır (Aydın, 2008; Wujie et al., 2011; Özer vd., 2014).

2.2. Ultrases (US) ile Dezenfeksiyon

Ultrases ile dezenfeksiyon işlemi sırasında 20 kHz veya daha yüksek frekansa sahip ses dalgaları kullanılmaktadır (Laborde, 1998). Ultrases dalgalarının suda oluşturduğu akustik kavitasyon nedeniyle su içinde mekanik, akustik, kimyasal ve biyolojik değişimler meydana gelmektedir (Laborde, 1998; Chua et al., 2010).

Kavitasyon; mikrokabarcık oluşumunu ve kritik rezonans boyutuna ulaştıktan sonra bu kabarcıkların büzüşerek patlaması sonucu hidroksil radikal oluşumunu kapsayan bir prosestir (Kitiş vd., 2009). Kavitasyon sırasında çok kısa zamanlarda yüksek ısı ve basınç ortaya çıkmaktadır. Ortaya çıkan yüksek basınç ve sıcaklık sonucu mikroorganizma inaktivasyonu gerçekleşmektedir (Esmer vd., 2016). Ultrases yöntemi dezenfeksiyon amacıyla kimyasal kullanılmaması ve yan ürün oluşmaması nedeniyle bazı araştırmacılar tarafından daha çevreci bir yöntem olarak kabul edilmektedir (Toor and Mohseni, 2007; Gomez-Lopez et al., 2009).

Ultrases ile yapılan dezenfeksiyon çalışmalarında *E. Coli* inaktivasyonu için 20 kHz ve 850 kHz lik frekanslarda sodyum hipoklorit kullanımıyla daha fazla giderim verimi elde edilmiştir (Esmer vd., 2016). UV ve ultrasesin birlikte kullanıldığı bir dezenfeksiyon prosesinde sadece ultrasese göre daha fazla giderim verimi elde edilmiştir (Naddeo et al., 2009). Yapılan çalışmalarda ultrases uygulamasının DDT, halometanlar, benzaldehit ve formaldehit gibi kirleticiler üzerinde de giderim etkisinin



olduğu belirlenmiştir (Guo et al., 2006; Thangavadivel et al., 2009; Sekiguc-hi et al., 2011).

2.3. Darbeli Işık (PUV) ile Dezenfeksiyon

Darbeli ışık (pulsed UV-PUV) yöntemi, geleneksel UV ile dezenfeksiyondan farklı olarak daha yüksek ışınım oranının daha kısa sürede oluşturulduğu sistemlerdir (Sharifi-Yazdi and Darghahi, 2006). Bu sistemlerde inaktivasyon; yüksek enerjiye sahip, yanıp sönen civasız lambalar vasıtası ile gerçekleştirilmektedir (Şanlıdağ ve Akçalı, 2009). PUV ile bilinen birçok mikroorganizmanın inaktivasyonu gerçekleştirilebilmektedir (Şanlıdağ ve Akçalı, 2009). UV-C yüksek akımlarda mikroorganizmalarda, ani yüksek ısıya bağlı olarak yırtılma ve parçalanmalara neden olur. Bu aşamalarda ısı 130 °C'ye kadar yükselebilmektedir (Şanlıdağ ve Akçalı, 2009). PUV sistemlerinin bir saniyeden daha kısa sürelerde inaktivasyon sağlaması, düşük maliyeti, UV ve ısıya dayanıklı mikroorganizmalarda etkili olması bu sistemlerin avantajıdır (Dunn et al., 1995; Wekhof, 2001).

2.4. Mikrodalga (MW) ile Dezenfeksiyon

Mikrodalgalar, 1mm-1m dalga boyu ve 300 MHz-300 GHz frekans aralığında bulunan, elektromanyetik spektrumun belirli bir kısmını kapsayan iyonize edici olmayan elektro manyetik dalgalar (Jacob et al., 1995). Elektromanyetik spektrumda kızıl ötesi ışınlar ile radyo dalgaları arasında yer almaktadırlar. Genel olarak ev tipi mikrodalga fırınlar 2.45 GHz frekansta, endüstriyel mikrodalgalar ise 2.45 GHz veya 915 MHz frekanslarında çalışmaktadır (Giese, 1992). Mikroorganizma inaktivasyonu sırasında mikroorganizma enerjisinin ısı enerjisine dönüştürüldüğü ve inaktivasyon gerçekleştiği görüşlerine karşın bazı araştırmacılar bu inaktivasyonun hücre içi bazı değişiklikler sonucu meydana geldiğini ifade etmektedir (Akşit, 1994). Mikrodalgaların temel mikroorganizma inaktivasyon mekanizması ısıtma yolu ile vejetatif hücrelerin inaktivasyonudur (Özkütük, 2005). Mikrodalgada ortaya çıkan enerjiyi absorbe eden mikroorganizma hücreleri bu enerjiyi ısıya dönüştürür (Özkütük, 2005). Absorbe edilen enerji mikroorganizmaların inaktivasyonu için



gerekli olan ısı enerjisine ulaştıktan sonra mikroorganizma faaliyetleri durmakta ve inaktivasyon gerçekleşmektedir. Yapılan çalışmalarda hücre içi su içeriği düşük olan mikroorganizmaların ortaya çıkan bu enerjiden daha az etkilendiğini göstermiştir (Özkütük, 2005).

2.5. Metaller ile Dezenfeksiyon

Civa, gümüş, arsenik, çinko, bakır gibi ağır metal iyonları germisid olarak kullanılabilir. Ancak son zamanlarda bu dezenfektanların yerini daha az toksik etkiye sahip, daha etkili dezenfektanlar almıştır (Purohit et al., 2003). Bakır sülfat, göl ve yüzme havuzlarında etkili bir algisittir. Civa klorit, bakteriostatik etkiye sahiptir. Ağır metaller çoğunlukla sülfidril grupları aracılığıyla proteinlerle birleşmekte ve mikroorganizmaları inaktive etmektedir (Purohit et al., 2003).

2.6. Halojenler ile Dezenfeksiyon

Dezenfeksiyon işleminde brom, iyot ve klor gibi halojenler kullanılabilir (Şengül ve Küçüköğül, 1997). Halojen bileşikleri; düşük toksisiteye sahip ve geniş spektrumlu bileşiklerdir (Dvorak, 2005). İyot, güçlü ve hızlı etki eden bir antiseptiktir ve bakteri, mikobakteri,

fungus ve virüslerin inaktivasyonu için oldukça etkilidir (Dvorak, 2005). Patojen mikroorganizmalarda iyot, protein denatürasyonuna yol açar ve enzimatik sistemlere zarar vererek inaktivasyon işlemi gerçekleşmiş olur (Gorman and Scott, 2004; Purohit et al., 2003).

Halojenler ile dezenfeksiyonda bir başka yöntem ise klorla dezenfeksiyondur. Klor suya genellikle sıvı (sodyum hipoklorit) ve gaz (saf klor) formunda dozlanmaktadır. Klorun suyla reaksiyona girmesi sonucu güçlü bir oksidant olan hipoklorit asit (HOCl) ortaya çıkmaktadır (Ceyhan, 2011). Böylece hücresel materyallerin oksidasyonu sonucu patojen mikroorganizma inaktivasyonu gerçekleşmektedir (Eryılmaz ve Akın, 2012). Klorla dezenfeksiyon işlemiyle *E.coli* mikroorganizmaları, su kalitesini bozan demir ve sülfat bakterilerinin inaktivasyonu etkin bir şekilde sağlanabilmektedir (Akçay vd., 2007). Klorla dezenfeksiyon işleminde önemli noktalardan bir tanesi kırılma noktası klorlamasıdır. Kırılma noktası klorlaması; suda bulunan amonyak ve diğer klor bağlayan maddeleri okside etmek için kullanılan klor miktarıdır (Ceyhan, 2011). Klorla



dezenfeksiyonda eğer sucul ortamda organik maddelerin bulunması durumunda dezenfeksiyon yan ürünleri (trihalometanlar-THM, haloasetik asitler-HAA gibi) oluşabilmektedir. Oluşan bu dezenfeksiyon yan ürünlerine uzun süre maruz kalınması sonucu insanların bağırsak ve mesane kanserine yakalanma riskinin arttığı tespit edilmiştir (Rook, 1974). Dezenfeksiyon yan ürünlerinin oluşumunun engellemede temel olarak organik prokürsör maddelerin ortamdaki uzaklaştırılmasıdır. Bu kapsamda adsorpsiyon, koagülasyon ve membran filtrasyon prosesleri değerlendirilebilir (Oğur ve Güler, 2004).

Klorla dezenfeksiyonun başlıca avantajları arasında ucuz olması, uygulamanın kolay olması ve suda residual (bakiye) koruma sağlaması sayılabilir (Akçay vd., 2007). Brom iyi bir germisidal etkiye sahiptir. Amonyum bileşikleri ile kırılma noktası olayını teşkil eder ve bromaminler oluşur. Bromun eldesi ve saklanması kolaydır. Bromun dezenfektan olarak kullanımında ekipman ve maliyet sorunları olmasından dolayı dezenfektan olarak kullanımı çok

yaygın değildir (Şengül ve Küçüköl, 1997).

2.7. Asitler ve Alkaliler ile Dezenfeksiyon

Asidik dezenfektanların etki mekanizması nükleik asitlerin ve çökeltici proteinlerin bağlarını yok etmesidir (Dvorak, 2005; MEGEP, 2011). Ayrıca asidik maddeler ortamın pH'ını düşürerek mikroorganizmaların yaşaması için uygun şartları değiştirmiş olurlar (Dvorak, 2005). Asitlerin ortamda yüksek konsantrasyonda bulunması havada toksik etki yaratabilmektedir. Bu özellikleri asitlerin kullanımını sınırlandırmaktadır. Dezenfeksiyon amacıyla asetik asit, sitrik asit, benzoik asit ve sorbik asit kullanılabilir (Eryılmaz ve Akın, 2008). Asetik asit (%3) çözeltisiyle oldukça iyi bakterisidal giderim verimi elde edilebilmektedir (Ryssel et al., 2009).

Alkali bileşikler, mikroorganizmaların zarları içinde lipidleri sabunlaştırarak mikroorganizma inaktivasyonu gerçekleştirirler. Ancak alkali bileşiklerin aktivite süresi yavaştır. Alkali bileşiklerin dezenfektan etkisi güçlü olmasına rağmen aşındırıcı maddelerdir (Dvorak, 2005).



2.8. Ozonla Dezenfeksiyon

Ozon (O_3), bilinen en etkili antimikrobiyal madde ve koku gidericilerden birisidir. Ozonun mevcut en güçlü oksidant olması, çevre dostu olması, bakteri, küf, spor ve mantarları anında okside etmesi ve klordan %52 daha etkili olması ozon kullanımını oldukça cazip bir hale getirmektedir (Alparslan vd., 2012). Ancak son derece korozif bir yapıya sahip olması ve toksik olması nedeniyle ozon kullanımı sırasında bazı sorunlar ortaya çıkabilmektedir (Bozkurt, 2009). Ozon yükseltgenebilir organik ve inorganik maddelerle reaksiyona girebilmektedir. 0.2-0.3 ppm ozon temiz su içindeki bütün koliform bakterileri öldürmek için yeterli gelmektedir (Atgüden, 2010). 10 mg/l veya daha az ozon dozunda koliform bakterilerinin neredeyse tamamının giderimini sağlayabilmektedir (Gottschalk et al., 2000). 4 dakikalık temas süresiyle kloro karşı en dayanıklı virüs olan *poliovirüs* üzerinde yapılan çalışmada %99.9 giderim verimi elde edilmiştir (Grasso, 1996).

2.9. Membran Filtrasyon Prosesleri ile Dezenfeksiyon

İki faz arasında sürekli olarak seçici geçirgenlik yapan malzemeye “membran” ismi verilmektedir (Aydınler, 2006). Membranlar ayırma ve saflaştırma işlemleri için kullanılmaktadır. Maliyet ve arıtma etkinliği açısından su ve atıksu arıtımında oldukça yaygın bir kullanıma sahiptir. Membran prosesler su-atıksu arıtımında, deniz suyundan içme suyu üretiminde, endüstriyel proses suyu üretiminde vb. alanlarda kullanılmaktadır (Kitiş vd., 2009). İçme suyu arıtımında mikrofiltrasyon (MF), ultrafiltrasyon (UF), nanofiltrasyon (NF) ve ters ozmos (TO) gibi membranlar kullanılmaktadır (Gümüş ve Akbal, 2013). TO ve NF membranlar MF ve UF ye göre daha yüksek giderim kapasitesine sahiptir (Kitiş vd., 2009).

Membran biyoreaktörler (MBR); membran sayesinde su ve biyokütlenin filtrasyon mekanizması ile ayrıldığı biyokimyasal oksidasyon prosesidir (Adham and Gagliardo, 1998; Kitış vd., 2009; Liu et al., 2000). Konvansiyonel aktif çamur proseslerinde iki ayrı tankta gerçekleşen arıtma işlemi MBR’lar sayesinde tek tankta gerçekleşebilmektedir (Kitış vd. 2009).



Mikrobiyolojik olarak MBR'lar bakterilerde 5-6 log, virüslerde 1-2 log ve protozoalarda yüksek giderim verimine sahiptir (Adham and Gagliardo, 1998; Kitiş vd., 2009). Membranların dezavantajlarından biri de tıkanma problemidir. Bu tıkanma membran prosesinin arıttığı su miktarının azalması anlamına gelmektedir (Kitiş vd., 2009; Le Clech, 2006).

2.10. İleri Oksidasyon Prosesleri (İOP) ile Dezenfeksiyon

İleri Oksidasyon proseslerinde (İOP), birincil Oksidasyon türleri olarak hidroksil radikalleri (OH) kullanan oksidasyonlardır (Kitiş vd., 2009). OH radikali güçlü fakat seçici olmayan bir kimyasal oksidanttır (Yalılı Kılıç ve Kestioğlu, 2008). Sucul sistemlerde hidroksil radikallerinin üretilmesi için hidrojen peroksit/ozon (H_2O_2/O_3), H_2O_2/UV , O_3/UV , TiO_2/UV , O_3/OH^- , Fe^{+2}/H_2O_2 (Fenton prosesi), $Fe^{+2}/H_2O_2/UV$ (foto-Fenton prosesi), gama ışınlaması, sonoliz gibi arıtma prosesleri kullanılmaktadır (Kitiş vd., 2009) ve bu prosesler yüksek oksidasyon kapasitesine sahiptir (Kılıç ve Kestioğlu, 2008). İOP su ve atıksu arıtımında normal ortam koşullarında reaksiyonlarını tam mineralizasyonla

tamamlamalarından dolayı önemli kullanım alanlarına sahiptirler (Yalılı Kılıç ve Kestioğlu, 2008). İOP'leri su ve atıksu arıtımında organik madde giderimi, spesifik mikrokirletici giderimi, çamur arıtımı, ileri derece dezenfeksiyon, tat, renk, koku giderimi vb, amaçlarla uygulanmaktadır (Kitiş vd., 2009).

3. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada, içme suyu ve atıksuların dezenfeksiyonunda en iyi dezenfeksiyon yönteminin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda sadece giderim veriminin göz önünde bulundurulması en iyi dezenfeksiyon yönteminin belirlenmesi açısından yeterli değildir. Giderim veriminin yanı sıra dezenfeksiyon yan ürünlerin oluşumu, ekonomiklik, uygulanabilirlik, işletimsel özelliklerinde göz önüne alınması gerekmektedir. Bu nedenle en iyi dezenfeksiyon yöntemine karar verme sürecinde çok ölçütlü karar verme metotlarından (ÇÖKVM) yararlanılmıştır. ÇÖKVM genellikle birden çok etkenin bulunduğu karmaşık karar verme süreçlerinde kullanılmaktadır. Literatürde 11 adet farklı ÇÖKVM modeli tanımlanmıştır (Velasquez and Hester, 2013). Bu çalışmada, kriter ağırlıklandırma



(KAM), ağırlıklandırılmış toplama (ATM) ve basit sıralama metotlarının (BSM) bir kombinasyonu kullanılarak geliştirilen bir karar verme modeli kullanılmıştır. Bu model çok sayıda alternatifin çeşitli kriterlere göre değerlendirilmesini sağlamakta ve uygulama kolaylığına sahiptir. Buna göre içme suyu ve atıksuların arıtılmasında kullanılan dezenfeksiyon yöntemlerinin değerlendirmesi için benzer çalışmalar ve uzman görüşlerinden yararlanılarak toplam 10 değerlendirme kriteri ve ağırlık puanları tanımlanmıştır (Çizelge 1). Çizelge 1'de verilen kriterler, kriter ağırlıklarını

ve dezenfeksiyon yöntemlerini içeren bir anket çalışması yapılmıştır. Bu kapsamda sınırlı seçili örneklem yapılarak dezenfeksiyon konusunda çalışmaları bulunan toplam 9 akademik uzmanın görüşleri alınmıştır. Uzman görüşlerinin ağırlıklı ortalamaları alınarak her bir kriter için sunulan dezenfeksiyon yöntemlerinin ortalama ağırlık puanları hesaplanmıştır. Değerlendirme sürecinde tanımlanan her bir kriter için KAM yararlanılarak kriter ağırlık puanları belirlenmiştir. Ayrıca her bir dezenfeksiyon yöntemi tanımlanan kriterlere göre KAM esas alınarak ağırlıklandırılmıştır.



Çizelge 1. Değerlendirme Kriterleri

Değerlendirme kriterleri	Ağırlık puanları			
	Ağırlık puanı	1	2	3
İnaktivasyon kabiliyeti				
Tanım: proses verimi, inaktivasyon etkisi	Tanımlama	Lipid içeren veya orta büyüklükteki virüsler, vejetatif bakteriler	Mantarlar, lipid içermeyen veya küçük virüsler	Mikrobakteriler, bakteriyel sporlar, prionlar
Rezidüel koruma	Ağırlık puanı	1	2	3
Tanım: dezenfeksiyon işlemi sonrasında kalıcı koruma sağlaması	Tanımlama	Rezidüel koruma sağlamıyor	Orta seviyede rezidüel koruma sağlıyor	İyi seviyede rezidüel koruma sağlıyor
Kurulum ve işletme kolaylığı	Ağırlık puanı	1	2	3
Tanım: mekanik, borulama, enstrümantasyon ve kontrol açısından, vs.	Tanımlama	Çok kompleks	Orta derecede kompleks	Kolay
İlk yatırım maliyeti	Ağırlık puanı	1	2	3
Tanım: tam ölçekli kurulum için gerekli yatırım	Tanımlama	Yüksek yatırım gereksinimi	Orta düzeyde yatırım gereksinimi	Düşük yatırım gereksinimi
İşletme ve bakım maliyeti	Ağırlık puanı	1	2	3
Tanım: tam ölçekli işletim ve bakım giderleri (kimyasal, enerji, sarf malzeme vb.)	Tanımlama	Yüksek maliyetli işletim ve bakım	Orta maliyetli işletim ve bakım	Düşük maliyetli işletim ve bakım
Toksinite	Ağırlık puanı	1	2	3
Tanım: dezenfeksiyon sonrasında toksik etki gösterme potansiyeli	Tanımlama	Toksik etki gösterir	Toksik etki gösterebilir	Toksik etki göstermez
Kullanım ömrü	Ağırlık puanı	1	2	3
Tanım: inşaat, mekanik vb. açıdan prosesin kullanım ömrü	Tanımlama	<10 yıl	10-20 yıl	>20 yıl
Teknolojinin mevcudiyeti ve erişilebilirlik	Ağırlık puanı	1	2	3
Tanım: patent, birden fazla tedarikçi, rekabet, özel ekipman, vb.	Tanımlama	Tek bir tedarikçi bulunmakta	Az sayıda tedarikçi bulunmakta	Yaygın tedarik imkanı bulunmaktadır
Ön arıtım gereksinimi	Ağırlık puanı	1	2	3
Tanım: askıda katı maddeler, organik ve inorganik maddeler, bulanıklık, toplam çözünmüş maddeler, toplam organik karbon, pH vb.	Tanımlama	Yüksek seviyede ön arıtım gerektirmekte	Orta seviyede ön arıtım gerektirmekte	Ön arıtım gerektirmemekte
Dezenfeksiyon yan ürünü oluşumu	Ağırlık puanı	1	2	3
Tanım: dezenfeksiyon sırasında veya sonrasında daha toksik karakterde yan ürünlerin oluşumu	Tanımlama	Yüksek seviyede yan ürün oluşum riskine sahip	Orta derecede yan ürün oluşum riski içermekte	Yan ürün oluşumu söz konusu değildir



Toplam ağırlık puanlarının hesaplanması kriter ağırlıkları ve dezenfeksiyon yöntemleri için belirlenen ağırlık puanlarının çarpılmasıyla hesaplanmıştır. Her bir dezenfeksiyon yöntemi için hesaplanan toplam ağırlık puanları ATM'dan yararlanılarak öncelik puanları belirlenmiştir. Sonuçta hesaplanan toplam öncelik puanları esas alınarak BSM göre bir öncelik sıralaması yapılmıştır.

4. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

İçme suyu ve atıksulardan patojen mikroorganizmaların gideriminde kullanılan dezenfeksiyon yöntemleri tanımlanan değerlendirme kriterlerine göre ÇÖKVM göre değerlendirilmiştir (Çizelge 2). Yapılan değerlendirmeye göre öncelikli olarak çıkan ilk üç yöntem sırasıyla halojenler ile dezenfeksiyon, asitler ve alkaliler ile dezenfeksiyon ve UV-C ile dezenfeksiyon yöntemleridir. Halojenler ile dezenfeksiyon yöntemleri iyi seviyede rezidüel koruma sağlamaktadır. Ayrıca halojenler ile dezenfeksiyon yöntemlerinin kurulumu kolay, ilk yatırım ve işletme maliyetleri düşüktür. Halojenler ile dezenfeksiyon yöntemlerine asitler ile dezenfeksiyon yöntemlerine göre yaygın tedarik

imkanı bulunmaktadır. Asitler ve alkaliler ile dezenfeksiyon yöntemleri UV-C yöntemine göre iyi derecede rezidüel koruma sağlamaktadır. Ayrıca asitler ile dezenfeksiyon yöntemlerinin kurulum ve işletilmeleri kolay, ilk yatırım maliyetleri ve işletme bakım maliyetleri düşüktür. Ancak asitler ve alkaliler ile dezenfeksiyon yöntemlerinin toksik etki gösterme ve dezenfeksiyon yan ürün oluşum potansiyelleri yüksektir. UV-C ile dezenfeksiyon yöntemlerinin inaktivasyon kabiliyetleri yüksek, toksik etki gösterme potansiyelleri düşük ve yaygın tedarik imkanı bulunmaktadır. Ancak UV-C ile dezenfeksiyon yöntemleri rezidüel koruma sağlamamakta ve ön arıtma gereksinimi bulunmaktadır. Membran prosesleri ile dezenfeksiyon yöntemlerinin maliyetleri eskiye göre azalmakla birlikte konvansiyonel teknolojilere göre kurulum maliyetleri halen yüksektir. Membranların genelde basınç enerjisi ile işletilmesi, işletme sürecinde tıkanmaya bağlı geri yıkama protokolleri, konsantre akım yönetimi vb. hususları da işletme maliyetini yükseltmektedir.

US ve İOP yöntemleri son sıralarda yer alan dezenfeksiyon yöntemleridir. US



yöntemi rezidüel koruma toksik etki göstermemektedir. İOP sağlamamakta, genellikle ilk yatırım yöntemi rezidüel koruma maliyeti yüksek olmakta ve yaygın sağlamamakta ve toksik etki tedarik imkanı bulunmamaktadır. göstermektedir. Ancak US ile dezenfeksiyon yöntemi

Çizelge 2. Dezenfeksiyon Yöntemlerinin Ağırlık Puanları ve Öncelik Sıralaması

Değerlendirme kriterleri	Dezenfeksiyon yöntemleri																				
	Kriter ağırlık puanı ¹	Ultraviyole (UV-C)		Ultrases (US)		Darbeli ışık (PUV)		Mikrodalga (MW)		Metaller (civa, arsenik, bakır vb.)		Halojenler (iyot, brom, klor vb.)		Asitler ve alkaliiler		Ozon (O ₃)		Membran prosesleri		İleri oksidasyon prosesleri (İOP)	
		Ağırlık ²	Toplam ³	Ağırlık	Toplam	Ağırlık	Toplam	Ağırlık	Toplam	Ağırlık	Toplam	Ağırlık	Toplam	Ağırlık	Toplam	Ağırlık	Toplam	Ağırlık	Toplam	Ağırlık	Toplam
İnaktivasyon kabiliyeti	18	3	54	2	36	3	54	3	54	2	36	2	36	2	36	3	54	2	36	2	36
Rezidüel koruma	13	1	13	1	13	1	13	1	13	2	26	3	39	3	39	1	13	1	13	1	13
Kurulum ve işletme kolaylığı	8	2	16	1	8	1	8	1	8	2	16	3	24	3	24	2	16	3	24	2	16
İlk yatırım maliyeti	8	2	16	1	8	2	16	1	8	3	24	3	24	3	24	2	16	2	16	2	16
İşletme ve bakım maliyeti	8	2	16	2	16	2	16	1	8	2	16	3	24	3	24	2	16	1	8	2	16
Toksosite	8	3	24	3	24	3	24	3	24	1	8	1	8	1	8	1	8	3	24	1	8
Kullanım ömrü	6	2	12	2	12	2	12	2	12	3	18	3	18	3	18	3	18	1	6	2	12
Teknolojinin mevcudiyeti ve erişilebilirlik	8	3	24	1	8	1	8	1	8	2	16	3	24	2	16	3	24	3	24	2	16
Ön arıtım gereksinimi	13	1	13	2	26	1	13	2	26	2	26	2	26	2	26	2	26	2	26	2	26
Dezenfeksiyon yan ürünü oluşumu	10	2	20	2	20	2	20	2	20	2	20	1	10	1	10	1	10	3	30	2	20
Toplam kriter ağırlık puanı	100	208	171	184	181	206	233	225	201	207	179										

¹Tanımlanan her bir kriterin ağırlığı, ²Herbir dezenfeksiyon alternatifinin ağırlık puanı, ³Kriter ağırlıklarıyla dezenfeksiyon alternatiflerinin ağırlık puanlarının çarpımı

Genel olarak kimyasallar ile tesisat ve inşaat maliyetlerinin diğer dezenfeksiyon yöntemleri ekipman, yöntemlere göre nispeten daha az



olması gerekli ilk yatırım maliyetlerinin de az olmasını sağlamaktadır. Kimyasallar ile dezenfeksiyon yöntemleri işletme ve bakım kolaylığına sahip yöntemler olup diğer yöntemlere kıyasla daha az işletme ve rutin bakım maliyetleri gerektirmektedir. Ancak kimyasallar ile dezenfeksiyon işlemleri toksik etkiler oluşturma potansiyeline sahiptir (Samastı, 2008).

İçme suyu ve atıksu arıtımında kullanılan dezenfeksiyon yöntemleri tanımlanan kriterler açısından ÇÖKVM göre değerlendirildiğinde öncelik sıralamasının; halojenler ile dezenfeksiyon, asitler ve alkaliler ile dezenfeksiyon, ultraviyole (UV-C), membran prosesleri, metaller ile dezenfeksiyon, ozon (O₃) ile dezenfeksiyon, darbeli ışık (PUV), mikrodalga (MW), ileri oksidasyon prosesleri (İOP), ultrases (US) olarak bulunmuştur.

KAYNAKLAR

Adham, S., Gagliardo, P., 1998, *Membrane Bioreactors for Water Repurification, Phase I, Desalination Research and Development Program Report No. 34, U.S Department of Interior, Bureau of Reclamation, USA.*

Akçay, M.U., İnan, H., Yiğit, Z., 2007, *İçme Suyunda Dezenfeksiyon Yan Ürünleri ve Kontrolü, 7.Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi Yaşam ve Teknoloji.*

Akşit, K.S., Ünal, F., Gürler, B., Nakipoğlu, Y., Beyli, M.S., 1994, *Pomza Tozundan Kaynaklanan Çapraz Bulaşmanın Önlenmesi Üzerine Mikrodalga Enerjisi ve Dezenfektan Solüsyonların Etkisi, İstanbul Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi, 28, ss.237-244.*

Alıcı, Ö., 2007, *Dezenfeksiyonu Etkileyen Faktörler, 5. Ulusal Sterilizasyon Dezenfeksiyon Kongresi, ss.35-40.*

Alparslan, Y., Baygar, T., Yıldız, D., 2012, *Su Ürünleri İşleme Tesislerinde Ozon ve Önemi, Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi, 7(3), ss.24-31.*

Atgüden, A., 2010, *İçme Sularının Ozonla Dezenfeksiyonunu Mikrobiyal Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.*

Aydın, K., 2008, *Ultraviyole ile Suların Dezenfeksiyonu, IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, ss.989-1004.*

Aydiner, C., 2006, *Hibrit Mikrofiltrasyon Teknolojisi ile Sulu Ortamlardan Nikel Giderimi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.*

Bozkurt, A. T., 2009, *İçme Suyu Ana İsale Hatlarında Dezenfeksiyon*



- İşlemlerinin Matematiksel Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Ceyhan, Y., 2011, *TiO₂ ile Suların Fotokatalitik Dezenfeksiyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Chua, S.Y., Adul Latif, P., Ibrahim, S., 2010, *Effect of Ultrasonic Irradiation on COD and TSS in Raw Rubber Mill Effluent*, *Environment Asia*, 3, pp.32-35.
- Çakmakçı, M., 2015, *Su Arıtma Tesislerinin Tasarım ve İşletme Esasları, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü İhtisas Komisonu Semineri, Aralık*.
- Dunn, J., Ott, T., Clark, W., 1995, *Pulsed Light Treatment of Food and Packaging*, *Food Technology*, 49, pp.95-98.
- Dvorak, G., 2005, *Disinfection Center for Food Security and Public Health*, Iowa State University.
- Dvorak, G., 2005, *Disinfection, Center for Food Security and Public Health*, Iowa State University.
- Eryılmaz, M., Akın, A., 2008, *Dezenfeksiyon ve Antisepsi*, *Ankara Eczacılık Fakültesi Dergisi*, 37(4), ss.311-331.
- Esmer, E.H., Kaymak, G., Tartar, Ş., Kayhan, F.E., 2016, *Su Arıtımında Ultrases Uygulaması: Arıtma Yöntemlerine Farklı bir Yaklaşım*, *Çanakkale On ekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2, ss.84-110.
- Giese, J., 1992, *Advances in Microwave Food Processing*, *Food Technology*, 46(9), pp.118-123.
- Gomez-Lopez, M.D., Bayo, J., Garcia-Cascales, M.S., 2009, *Decision Support in Disinfection Technologies for Treated Wastewater Reuse*, *Journal of Cleaner Production*, 17(16), pp.1504-1511.
- Gorman, S., Scott, E., 2004, *Chemical Disinfectants, Antiseptics and Preservatives*, *Hugo and Russell's Pharmaceutical Microbiology*, Wiley-Blackwell, Oxford, pp.285-305.
- Gottschalk, C., Libra, J.A., Saupe, A., 2000, *Ozonation of Water and Waste Water, A Practical Guide to Understanding Ozone and Its Application*, WILEY-VCH, Weinheim, Germany.
- Grasso, D., 1996, *Wastewater Disinfection*, *Water Environmental Federation*, 601 Wayne Street, Alexandria, Virginia, USA.
- Guo, Z.H., Gu, C.H., Zheng, Z.H., 2006, *Sonodegradation of Halomethane Mixtures in Chlorinated Drinking Water*, *Ultrasonics Sonochemistry*, 13, pp.487-492.
- Gümüş, D., Akbal, F., 2013, *İçme Sularında Doğal Organik Madde Giderimi ve Trihalometan Oluşumunun Önlenmesi*, *Mühendislik ve*



- Fenbilimleri Dergisi, Sigma 31, ss.529-553.*
- Jacob, J., Chia, L.H.L., Boey, F.Y.C., 1995, *Review: Thermal and Non-Thermal Interactions of Microwave Radiation with Materials, Journal of Materials Science, 30, pp.5321-5327.*
- Kitiş, M., Yiğit, N.Ö., Köseoğlu, H., Bekaroğlu, Ş.Ş., 2009, *Su ve Atıksu Arıtımında İleri Arıtma Teknolojileri-Arıtılmış Atıksuların Geri Kullanımı, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Görevlisi Eğitimi Ders Notları, Aralık 2009.*
- Laborde, J.L., 1998, *Acoustic Cavitation Field Prediction at Low and High Frequency Ultrasounds, Ultrasonics, 36, pp.581-587.*
- Le-Clech, P., Chen, V., Fane, T.A.G., 2006, *Fouling in Membrane Bioreactors Used in Wastewater Treatment, Journal of Membrane Science, 284, pp.17-53.*
- Liu, R., Huang, X., Wang, C., Chen, L., Qian Y., 2000, *Study on Hydraulic Characteristics in a Submerged Membranebioreactor Process, Process Biochemistry, 36, pp.249-254.*
- MEGEP, 2011, *Dezenfektanlar, T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, 850CK0055.*
- Naddeo, V., Landi, M., Belgiorno, V., Napoli, R.M.A., 2009, *Wastewater Disinfection by Combination of Ultrasound and Ultraviolet Irradiation, Journal of Hazardous Materials, 168, pp.925-92.*
- Ogur, R., Güler, Ç., 2004, 21. *Yüzyılda Niçin Klorlama, TSK Koruyucu Hekimlik Bülteni, 3(8), ss.186-195.*
- Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2013, *Su Arıtma Tesislerinin Tasarım ve İşletme Esasları.*
- Özer, E., Kesenkaş, H., Kınık, Ö., 2014, *Süt Endüstrisinde Su Kalitesi ve Önemi, Gıda ve Yem Bilimi-Teknoloji Dergisi, 14, ss.36-41.*
- Özkütük, N., 2005, *Mikrodalga ve Ultraviyole ile Dezenfeksiyon Uygulamaları, Kullanım Alanları Genel Özellikleri, 4. Ulusal Sterilizasyon Dezenfeksiyon Kongresi, 20-24 Nisan 2005, Samsun, ss.338-343.*
- Özkütük, N., 2007, *Ultraviyole Lambaların Kullanımı, Ulusal Sterilizasyon Dezenfeksiyon Kongresi, ss.490-496.*
- Purohit, S.S., Saluja, A.K., Kakrani, H.N., 2003, *Pharmaceutical Microbiology, Agrobios, India, pp.325-334.*
- Rook, J.J., 1974, *Formation of Haloforms during Chlorination of Natural Waters, Water Treatment and Examination, 23, pp.234-243.*
- Ryssel, H., Kloeters, O., Germann, G., Schafer, T.H., Wiedemann, G., Oehlbauer, M., 2009, *The Antimicrobial Effect of Acetic Acid-An Alternative to Common Local Antiseptics, 35, pp.695-700.*



- Samastı, M., 2008, *Hastanelerde Dezenfeksiyon Kullanım Esasları, Yapılan Hatalar, Hastane Enfeksiyonları: Koruma ve Kontrol Sempozyum Dizisi*, 60, ss.143-168.
- Saygın, P., 2013, *Evsel Koşullarda Kirlenmiş Olan Suların Tekrar Kullanılabilirliği için Farklı Dezenfeksiyon Yöntemlerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.*
- Sekiguchi, K., Sasaki, C., Sakamoto, K., 2011, *Synergistic Effects of Highfrequency Ultrasound on Photocatalytic Degradation of Aldehydes and Their Intermediates Using TiO₂ Suspension in Water, Ultrasonics*, 18, pp.158-163.
- Sharifi-Yazdi, M.K., Dargahi, H., 2006, *Inactivation of Pathogenic Bacteria Using Pulsed Uv-Light and Its Application in Water Disinfection and Quality Control, Acta Media Iranica*, 44(5), pp.305-308.
- Şanlıdağ, T., Akçalı, S., 2009, *Sterilizasyon, Dezenfeksiyon ve Hastane Atıkları, Sağlıkta Birikim Dergisi*, 4(1), ss.65-76.
- Şengül, F., Küçüköğl, E., 1997, *Çevre Mühendisliğinde Fiziksel-Kimyasal Temel İşlemler ve Süreçler, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi*, 53.
- Teksoy, A., 2006, *İçme Sularından Organik Madde Giderimi ve Trihalometan Oluşumunun Önlenmesi İçin Arıtma Proseslerinin Optimizasyonu, Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.*
- Thangavadivel, K., Megharaj, M., Smart, R., 2009, *Application of High Frequency Ultrasound in the Destruction of DDT in Contaminated Sand and Water, Journal of Hazardous Materials*, 168, pp.1380-1386.
- Toor, R., Mohseni, M., 2007, *UV-H₂O₂ Based AOP and Its Integration with Biological Activated Carbon Treatment for DBP Reduction in Drinking Water, Chemosphere*, 66(11), pp.2087-2095.
- Uzun, S., 2011, *Su Kalitesinin İyileştirilmesinde Ozon Kullanımı ve Kimyasal Etkiler, Türkiye Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 68(2), ss.105-113.
- Velasques, M., Hester, P.T., 2013, *An Analysis of Multi-Criteria Decision Making Methods, International Journal of Operations Research*, 10(2), pp.56-66.
- Wekhof, A., 2001, *Pulsed UV Disintegration (PUVD): A New Sterilization Mechanism for Packaging and Broad Medical Hospital Applications, The First International Conference on Ultraviolet Technologies, Washington*, pp.1-15.
- Wujie, Z.X., 2011, *The Influence of Water Quality on Food Quality and the Treatment of Water for Food*



*Processing, Procedia Enviromental
Sciences, 10, pp.2671-2676.*

*Yalılı Kılıç, M., Kestioğlu, K., 2008, Endüstriyel
Atıksuların Arıtımında İleri
Oksidasyon Proseslerinin
Uygulanabilirliğinin Araştırılması,
Uludağ Üniversitesi Mühendislik-
Mimarlık Fakültesi Dergisi, 13(1),
ss.67-80.*



Derleme Makale

SAMSUN İLİ HAVZA İLÇESİ ATIKSU ARITMA TESİSİ MEVCUT DURUMU VE İŞLETİM PROBLEMLERİ

Atilla AKIN

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Samsun

atllknsnc@gmail.com

Özet: Hızlı bir kalkınma sürecine giren ülkemizde, son yıllarda yerel yönetimler çoğu dış kaynaklarca finanse edilen kentsel atıksu arıtma tesislerinin planlanmasına ve yapımına hız vermiştir. Bugün atıksu arıtımı için uygulanan çok sayıda sistem mevcuttur. Ekonominin, hükümet yönetimlerinin ve politikaların sürekli değiştiği kalkınmakta olan ülkelerde ise deşarj kriterleri sıklıdan rahata kadar geniş bir ölçekte yer almaktadır. Bunun yanında arıtma tesisinin maliyet bileşenleri ve işletme gereksinimleri kalkınmış ülkelerde önemliyen kalkınmakta olan ülkelerde arıtma tesisi tipinin seçiminde karar verici bir unsur olarak rol oynamaktadır. Kalkınmakta olan ülkelerde atıksu arıtma tesislerinin planlanmasında, tasarımında ve işletilmesinde birçok problemle karşılaşmaktadır. Karşılaşılan problemler; güvenilir tasarım verilerinin eksikliği, kanalizasyon sistemi ve atıksu arıtma tesisinin yapım periyotlarının uyumsuzluğu, hatalı dizayn, bölgesel özelliklerin dikkate alınmaması, başka bir bölgede uygulanan projenin yeni bölgeye göre uyarlanmadan yeniden uygulanması, danışman kişi yada kuruluşların etkisi gibidir. Bu belirtilen hususlar bu gün ülkemizin birçok yerinde yapılması planlanan ve yapılmış olan arıtma tesislerinde görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Atıksu Arıtma Tesisleri, Kanalizasyon Sistemleri

SAMSUN CITY HAVZA DISTRICT WASTE WATER TREATMENT PLANT CURRENT SITUATION AND OPERATION PROBLEMS

Abstract: Within the recent years, in our fast-paced country; the local governments have enhanced the planning and construction of majority of outsource financed urban wastewater treatment plants. Whereas, in other developing countries; where there is a constant change of; economy, government administrations and policies the discharge criteria are at the extensive possible scale. Moreover, in these countries the cost components and operating requirements of the treatment plan are considered to be very significant, they play a vast role as a deciding factor in the selection of the treatment plant type. On the other hand, in these developing countries; there are issues with the planning, design and operation of the wastewater treatment plants. These problems involve/ encounter; lack of reliable design data, incompatibility of construction periods of the sewage system and wastewater treatment plants, faulty design, disregard of regional characteristics, re-application of the applied project in another region without adaptation to the new region. These are all due to the influence of consultants, these are particularly witnessed in the treatment plants that have been planned in majority parts of our country today.

Keyword: Wastewater Treatment Plants, Sewer Systems

Makale Gönderim Tarihi: 08.10.2019

Makale Kabul Tarihi: 19.11.2019



KISALTMA VE SEMBOLLER

µm	Mikrometre
m	Metre
cm	Santimetre
m³	Metreküp
mm	Milimetre
nm	Nanometre
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
BOİ	Biyolojik Oksijen İhtiyacı
AKM	Toplam Askıda Katı Madde
ÇOK	Çözünmüş Organik Katı Madde
AAT	Atıksu Arıtma Tesisi
pH	Çözeltildeki Hidrojen İyonu Konsantrasyonu

1. GİRİŞ

Evsel atıksuların arıtımı için daha çok aktif çamur, stabilizasyon havuzları, damlatmalı filtre ve anaerobik arıtma gibi biyolojik sistemler yaygın olarak kullanılmaktadır. Ekonominin, hükümet yönetimlerinin ve politikaların sürekli değiştiği kalkınmakta olan ülkelerde ise deşarj kriterleri sıkıdan rahata kadar geniş bir ölçekte yer almaktadır. Bunun yanında arıtma tesisinin maliyet bileşenleri ve işletme gereksinimleri kalkınmış ülkelerde önemliyen kalkınmakta olan ülkelerde arıtma tesisi tipinin seçiminde karar verici bir unsur olarak rol oynamaktadır. Kalkınmakta olan ülkelerde atıksu

arıtma tesislerinin planlanmasında, tasarımında ve işletilmesinde birçok problemle karşılaşmaktadır. Karşılaşılan problemler; güvenilir tasarım verilerinin eksikliği, kanalizasyon sistemi ve atıksu arıtma tesisinin yapım periyotlarının uyumsuzluğu, hatalı dizayn, bölgesel özelliklerin dikkate alınmaması, başka bir bölgede uygulanan projenin yeni bölgeye göre uyarlanmadan yeniden uygulanması, danışman kişi yada kuruluşların etkisi gibidir. Bu belirtilen hususlar bu gün ülkemizin birçok yerinde yapılması planlanan ve yapılmış olan arıtma tesislerinde görülmektedir. Bu çalışmada hâlihazırda yapılmış ve işletilen bir



evsel atıksu arıtma tesisi bu açılardan değerlendirilmeye çalışılmıştır.

2. HAVZA ATIKSU ARITMA TESİSİ KADEMELERİ

2.1. İşletme Bilgileri

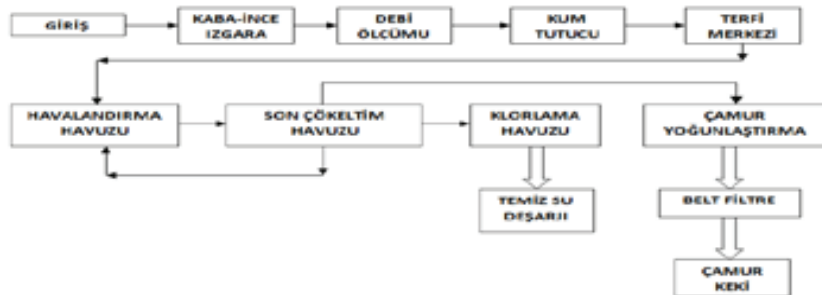
Samsun İli, Havza İlçesi, Memduhiye Mahallesi, Ankara Asfaltı mevkiinde, tapununun 571-534-Ş pafta, 218 ada, 1-2 parsel numarasında kayıtlı, 5411,62 m² yüzölçümlü alan üzerinde, 2824,97 m² toplam yüzölçümlü Havza Kanalizasyon Tatbikat Projesi kapsamında seçilmiş olan yerde yapılmıştır. 6 kapalı bina ve 8 ünite olmak üzere toplam 14 adet ünite yer almaktadır. İşletme Samsun Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü tarafından 2014 yılında devralınmış ve halen işletilmektedir.

2.2. Arıtma Faaliyetleri

Havza Atıksu Arıtma Tesisi proses olarak, Carrousel tipinde yüzeysel

uzun havalandırmalı aktif çamur sistemi seçilmiştir. Bu sistemde ek olarak azot ve fosfor giderimi sağlayacak birimler bulunmamaktadır. Uzun havalandırmalı aktif çamur sistemleri, çamur stabilizasyonu da sağladığından sistemde sadece çamur yoğunlaştırma havuzu kullanılmıştır. Bu tesiste ilk kademe olarak 2026 yılı seçilmiştir. 1.kademede günlük 3.555,08 m³ atıksuyun arıtılması amaçlanmaktadır. Nüfus olarak ise proje yılına kadarki artış oranlarına göre hesaplanarak, 33.195 kişi kabul edilmiştir. İkinci kademe ise 2043 yılı temel alınmış, nüfus 50.000 kişi kabul edilmiştir. Bu kademe ise günlük 5.369,16 m³ atıksuyun arıtılması hedeflenmektedir. Tesis Çevre Şehircilik Bakanlığı tarafından Su Kirliliği ve Kontrolü yönetmeliği iç izleme numune alma sıklığı esaslarına izlemekte ve numune alınmaktadır.

2.3. Atıksu Arıtma Akım Şeması



Şekil 1: Atıksu Arıtma İş Akım Şeması



3. ARITMA TESİSİNDE KARŞILAŞILAN SORUNLAR

3.1. Izgaralar

Izgara odası sistemlerinin normal çalışıp çalışmadığı gözle kontrol ederek anlaşılır. Bu muayenede çalışmadığı tespit edilen teçhizata elle müdahale edilir.

Kaba ızgaraların kuru havalarda günde bir defa temizlenmeleri yeterlidir. Yağışlı havalarda bilhassa birleşik sistem kanalları üzerindeki ızgaralar daha sık temizlenmelidir. Temizlenmediği takdirde tıkanmalar meydana gelmekte ve tesis giriş ünitesinde atıksu birikmeleri ve taşmalar meydana gelmektedir.

Arıtmadan geçmemiş atık suyun içinde bez parçaları, madeni parçalar, çöp, sopa ve tuğla parçaları bulunur. Tesisin herhangi bir ünitesine girmeden önce ayıklanmazlarsa bunlar boru, kanal, pompa çıkış ağzları ve memeleri tıkayabilirler. Zincir, zincir dişlisi çarkı ve şaft gibi hareketli parçaların çalışmasını engelleyebileceği gibi arıtım birimlerinde gereksiz yer de işgal edebilirler. Bir kez tesise girdikten sonra uzaklaştırılması güçtür ve kritik

önem taşıyan artım birikimlerinin geçici olarak durdurulması ya da suların boşaltılmasını gerektirebilirler. Izgaraların amacı bu istenmeyen zararlı cisimleri sıvıdan ayırmaktır.

Karşılaşılan problemler üç sebepten ileri gelir. Bunlar; beklenmeyen işletme şartları (fazla süprüntü ve tıkayıcı maddelerin ani gelmesi vs. gibi), ekip hataları, kontrol yetersizliğidir.

İnce ızgarada toplanan cisimler tırmıkla temizlenir. El tırmıklarının dişleri çubuklara takılmış ya da kısmen dolanmış olan maddeleri de oradan ayıracak biçimde aralıklı olmalıdır. Kimi zaman operatör, biriken malzemeyi tırmıkla ileri geri tarayıp çubuklar arasından zorla geçirerek akan atık suya karıştırmak suretiyle temizleme yapabilir. En iyi uygulama ızgarada biriken malzemeyi dikkatle yukarıdaki platforma doğru sürerek genellikle orada bulunan drende suyundan arındırılmasından sağlanmasıdır. Biriken malzeme hortumla yıkanır ise içindeki organik maddelerin bir bölümü giderilmiş ve izolesi daha az zararlı hale getirilmiş olur. Biriken pisliğin gömülerek izolesi en yaygın ve yakma dışında en uygun yöntemdir.



Zeminin sık sık hortumla yıkanması ve duvarların buharla temizlenmesi bu alanın temiz tutulması kokusunun kısmen giderilmesi ve sinek tutmaması için gereklidir.

Tesiste bu işlemlerin yapılması için gerekli personel bulunmakta fakat bu sistemlerin manüel olmasından dolayı iş gücü kaybına neden olmaktadır.

3.2. Kum Tutucu

Kumun toplanması genellikle ızgara ünitesini izler ya da bu ünitenin bir parçasını oluşturur. Bağımsız sağlıklı atık su sistemleri genellikle tam yüklü olduklarında en az 0,6 m/s hız sağlayacak biçimde düzenlenirler. Mekanik kum tutucular belirli aralıkta devamlı çalıştırılmalı (sıyırıcı vs.) ve kumların mekanik aksamının sıyırma ve uzaklaştırma kapasitesinin üzerinde birikmesine müsaade edilmemelidir.

İncelemeye aldığımız Atıksu Arıtma Tesisinde ızgara odasından kurtulup gelen ıslak mendil, bez ve benzeri malzemeler pompaların bulunduğu kısımda sıkışıp kalmakta ve sürekli arıza vermektedir. Bu nedenle ızgara odasının temizlenmesine ve kontrolüne özen gösterilmesi bu problemin çözümü için gereklidir. Bulunduğu

coğrafi konum sebebiyle kışların aşırı soğuk geçmesinden dolayı kum ayırma teçhizatlarında, sürekli su sirkülasyonu olmamasından haznede su donmaları meydana gelmektedir. Bundan dolayı motor ve burgu yapılarında donmalar ve elektronik aksamalarda yanmalar meydana gelmektedir.

Bu problemler arıtma sistemlerini aşırı derecede zorlamakta ve aksaklıklara sebep olmaktadır.

3.3. Havalandırma ve Son Çökeltim Havuzlarındaki Problemler

Havalandırma havuzlarında kullanılmış sulardaki organik madde giderilirken aktif çamur miktarı yani mikroorganizma miktarı artar. Bu artan çamurun sistemden çekilmesi gerekir, bu çekilen çamura “artık çamur” denir. Havalandırma havuzunda aktif çamur miktarını belirli seviyede tutabilmek ve daha iyi kalitede çamur (çökebilen çamur) elde etmek için son çöktürme havuzunda çökelen çamurun bir kısmını tekrar havalandırma havuzuna verilmesi gerekir. Buna “geri devir çamuru” denir. Tesiste geri devir oranı ayarlanmadığı zaman çökeltme havuzu dibinde kalan çamur azot gazı salınımına başlar. Oluşan azot gazı ile birlikte çamur çökeltim havuzunun



yüzeyine yükselir. Bu problem mevsimsel geçişlerde sürekli yaşanmakta ve işletmede aksaklıklara sebep olmaktadır.

Tesisin işletimi sırasında meydana gelen diğer aksaklıklar şunlardır; koku, çamur, çamur tabaka seviyesi ve mekanik donanımda oluşan sorunlardır.

Aktif çamur tesislerinin kendilerine özgü, genellikle “topraksı” olarak adlandırılan hafif bir kokuları vardır. Koku değişikliği, örneğin hidrojen sülfür (kiseptik niteliklere işaret eder) ciddi kaygı nedeni olmakla birlikte havalandırma kanalları girişinde bu tür kokuların varlığı septik bir giriş suyundan kaynaklanabilir. Son çıkış suyu bölmelerinde ve çıkışlarında normal olarak taze, topraksı bir koku vardır. İncelenen tesiste bu koku genellikle bahar ve yaz aylarında bölgesel özelliklerden dolayı meydana gelir. Bahar aylarında ve yaz sıcaklarında harmanlardan alınan ve fabrikalara teslim edilen buğday, mısır gibi ürünlerin yıkama sularından oluşan kaçak ve sızıntılar tesisi aşırı derecede zorlamaktadır. Bu da eşliğinde havalandırma havuzlarında çamur kültürünü etkilemekte ve kokuya sebebiyet vermektedir.

Yüzen yani son çökeltme tankının tabanından yükselen ve normal olarak denitrifikasyon sırasında ortaya çıkan azot gazı baloncukları tarafından taşınan çamur: Genellikle toplu bir kitle halinde yükseldikten sonra yüzey boyunca ince bir tabaka halinde yayılır. Yaz aylarında daha yaygındır ve çamurun çökeltme nitelikleri olmakla birlikte tankın devri daima çok düşük olduğu zaman dahi ciddi boyutlar kazanır. Çamur bölgesindeki yoğun çamur kütlesi hızla çözünmüş O₂ tüketir ve bunu denitrifikasyon izleyebilir. Çamurun yüzeyde yüzmesinin öteki nedenleri arasında şunlar sayılabilir:

- a. Çamur alınmasının uzun aralıklarla yapılmaz,
- b. Sıyırıcı tertibatta arıza,
- c. Çamurun havuz çıkış kanallarında birikmesi,
- d. Karışım sıvısının içinde havanın sıkışması,
- e. Tank içinde yukarı doğru aşırı hız,
- f. Atık su içinde katılaşmış yağ bulunması.

Havalandırma havuzlarındaki dalgıç mikserlerin dinlenme sürelerinin kısa olması sebebiyle sürekli arızaya düşmekte ve havuz kapasitesi, atıksu girişinin beklenenden fazla olması gibi



sebeplerden dolayı çalışma gücünü kaybetmektedir.

Gaz oluşumu nedeniyle tüm tanklardaki çamurun içinde beliren balonlarla ortaya çıkan çamur kabarması tesisteki oksidasyon havuzlarında sürekli olarak meydana gelmektedir. Bunun nedeni oksidasyon havuzlarına yeterli miktarda O₂ verilmemesinden kaynaklanmaktadır. Oksijensiz kalan bakteriler ve daha az ihtiyaç duyulan ipliksi bakteriler popülasyonu artırır. Oksidasyon havuzunun yüzeyinde kahve köpüğü renginde bir tabaka oluşturur.

4. SONUÇ

Meydana gelen bu gibi problemler tesislerin kurulduğu coğrafyaların düzgün bir şekilde incelenmemesi, yıllardır süre gelen tip proje mantığı, yeni arayışlar ve deneyimler içerisinde olunmamasından kaynaklanmaktadır. Bu tesislerin yapıldığı ve işleme alındığı coğrafyalarda vatandaşlar bilgilendirilmelidir. Tesisin düzgün çalışması için üstlerine düşen ve yapmaları gerekenler hakkında eğitimler verilmelidir. Arıtma sistemlerinin başlı başına bir mühendislik konusu göz önünde bulundurularak uzmanlık alanları

oluşturulmalıdır. Aksi takdirde her tesiste meydana gelen bu genel problemlerin giderilmesi mümkün gözükmemektedir. Ülkemizdeki tesislerin yapımına hız verilmiştir. Fakat altyapısı ve işletimi düşünülmeden sıradan bir işletme olarak tasarlanmaktadır. Bu gibi problemlerin çözümü için gerekli çalışmaların yapılması ülkemizdeki temiz su ve kullanım suyu yönetimi için gereklidir.

KAYNAKLAR

Ayrak, B., 2010, Evsel Atıksuların Arıtılması ve Maliyet Analizi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Gebze.

Dölgen, D., 2004, Fiziksel Arıtma Ünitelerinin Tasarımı, Alpaslan M.N., Dölgen D., İşgenç M.F., Kınay H.İ., Atıksu Arıtma Tesislerinin Tasarım ve Kontrol Esasları, TMMOB yayınları, Bölüm 2, ISBN: 975-395-803-X.

İller Bankası Genel Müdürlüğü, 1989, Atık Su Arıtma Tesisleri Proses, İşletme, Bakım El Kitabı, İller Bankası, U.N.D.P ve W.H.O İşbirliği, TUR/89/01/14, Sempozyum Kitabı, Ankara, ss.608.

Krinton, C., 1994, Ön Arıtma Olarak Biyolojik Arıtma, Boğaziçi Üniversitesi Yayınları, İstanbul, ss.200.



- Muslu, Y., 1994, Kullanılmış Suların Arıtılması, İTÜ Yayınları, İstanbul, 1535, ss.855.*
- Muslu, Y., 1996, Atıksuların Arıtılması, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul, 1, ss.429.*
- Samsun Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü, 2017.*
- Switzerland Global Enterprise, 2013, Market Report: Waste Management Report of Turkey, Green Consult and Finance Commercial Office Turkey.*
- Torun, F., 2011, Türkiye'deki Kentsel Atıksu Arıtma Tesisleri Envanteri, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Erzurum.*
- Tünay, O., 1996, Çevre Mühendisliğinde Kimyasal Prosesler, İTÜ Yayınları, İstanbul, 1582, ss.160.*
- USEPA (United States Environmental Protection Agency), 2005, Handbook for Managing Onsite and Clustered (Decentralized) Wastewater Treatment Systems, EPA/832-B-05-001, Office of Water, Washington, DC, pp.66.*



Araştırma Makalesi

ENTEĞRE HAVZA YÖNETİMİNDE ÇEVRESEL MODELLEME TEKNİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Kübra KÜÇÜK¹, Arife ŞİMŞEK¹, Gülfem BAKAN¹

¹ Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Samsun

kubrakucuk@outlook.com, arife.simsek@omu.edu.tr, gbakan@omu.edu.tr

Özet: Günümüzde doğal kaynakların korunması ve sürdürülebilir kullanımlarının ekosistem bütünlüğü içerisinde planlanması için, en elverişli birimin ve en uygun ölçeğin havza olduğu kabul edilir. Havza bazında bütünlük yönetim; farklı kaynak kullanıcılarına ait taleplerin bir arada ele alınmasına, tehdit ve olanakların uzun vadeli olarak değerlendirilmesine, havza içerisinde bir alana yapılan müdahalenin yarattığı olumlu ve olumsuz etkilerin izlenilmesine olanak sağlar. Havza yönetiminde öncelikli planlama yapılarak ne tür faaliyetlerin yapılabileceğine karar verilmelidir. Planlama için de havza ölçeğinde havzaya ait konumsal verilerin bir konumsal veri tabanında depolanması ve planlamaya yönelik gerekli analizlerin yapılabilmesi gerekmektedir. Su yöneticileri hangi faktörlerin sucul ortamları kötüleştirdiğini modeller vasıtasıyla öğrenebilmektedirler. Teklif edilen kirlilik önleme yöntemleriyle hedefleri tutturup tutturulamayacağı modeller ile belirlenebilmektedir. SWAT (Toprak ve Su Değerlendirme Aracı), WEAP (Su Değerlendirme ve Planlama), HSPF (Hidrolik Similasyon Programı - Fortran), HEC - HMS (Hidrolik Mühendislik Merkezi -Hidrolik Modelleme Sistemi), havza modellemesinde kullanılan Mike yazılımları su kalitesi ve havza yönetiminde kullanılan güncel yazılımlar arasındadır. Bu çalışmada, Entegre havza yönetimi kapsamında, havza modellemesi amacıyla kullanılan modeller (ARMA, MIKE SHE, HSPF, vb.) araştırılmış, modellerin kullanım alanları, avantaj ve dezavantajları karşılaştırılarak, değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Entegre Havza Yönetimi, HSPF, MIKE, Matematiksel Modeller, Optimizasyon

INVESTIGATION OF ENVIRONMENTAL MODELING TECHNIQUES IN INTEGRATED WATERSHED MANAGEMENT

Abstract: Nowadays, it is accepted that the most suitable unit and the most suitable scale is the basin for the conservation of natural resources and planning the sustainable use within the ecosystem integrity. Integrated management on basin basis; It enables the demands of different resource users to be handled together, to evaluate the threats and opportunities on a long-term basis, and to monitor the positive and negative effects of the intervention in an area within the basin. Priority planning should be made in watershed management to decide what kind of activities can be done. For planning, it is necessary to store the spatial data of the basin in a spatial database and to make the necessary analyzes for planning. Water managers can learn which factors aggravate aquatic environments through models. Whether the targets can be achieved with the proposed pollution prevention methods can be determined by models. SWAT (Soil and Water Assessment Tool), WEAP (Water Evaluation and Planning), HSPF (Hydrological Simulation Program - Fortran), HEC-HMS (Hydraulic Engineering Center- Hidrolik Modelleme Sistemi- Hydraulic Modeling System), Mike Software used in Watershed Modeling is among the current software used in water quality and watershed management. In this study, the models (ARMA, MIKE SHE, HSPF, etc.) used

Makale Gönderim Tarihi: 08.10.2019

Makale Kabul Tarihi: 27.11.2019



for watershed modeling within the scope of integrated watershed management were investigated and their usage areas, advantages and disadvantages were compared and evaluated.

Key Words: Integrated Watershed Management, HSPF, MIKE, Mathematical Models, Optimization

1. GİRİŞ

Nüfusun hızla artması, buna karşılık su kaynaklarının sabit kalması sebebiyle su ihtiyacı her geçen gün artmaktadır. Hızlı artan nüfus, yanlış kentsel politikalar sebebiyle su kaynakları olumsuz etkilenmekte ve su kirliliği hızla yaygınlaşmaktadır. Tüm bu sorunlar karşısında da su kaynaklarının sosyal, ekonomik ve çevresel hedefler açısından akıllıca paylaşımı ve korunması anlayışı perspektifinde tanımlanması planlamanın ana hareket noktasını oluşturmaktadır. Bu nedenle, suyun alan ve zaman içerisindeki dağılımının iyi analiz edilmesi, var olan su kaynaklarının etkin bir şekilde kullanılabilmesi son derece önemlidir.

Esas olarak su kaynaklarının entegre (bütüncül) yönetimini gerektiren üç temel neden mevcuttur : (a) çevrenin tüm doğal kaynaklarıyla bir bütün oluşturması; (b) her türlü gelişim planlarının "sürdürülebilir kalkınma" felsefesi içinde gerçekleştirilme

zorunluluğu; ve (c) küresel ısınmanın etkileri. Özellikle küresel ısınmanın entegre su yönetiminde öngörülen tüm adımları etkilemesi beklenmekte; bu nedenle oluşturulacak yönetim planlarında küresel ısınmanın içerdiği risk ve belirsizliklerin bilimsel yaklaşımlarla belirlenmesi ve risk tabanlı tasarımın gerekliliği vurgulanmaktadır (Quevauviller, 2011).

Su kaynakları üzerine yapılacak her girişimin sürdürülebilir, koruma-kullanma ilkeleri doğrultusunda akıllı politikalar içermesi çok net bir gerekliliktir. Su kaynakları üzerindeki artan tüketim talepleri, kaynaklardan yararlanana eşit fırsatlar ve yararlar sağlayacak şekilde sürdürülebilir özelliklere sahip olması nehir havzalarının kaynaktan başlayarak bir bütünlük içerisinde ele alınmasını, havzadaki mevcut kirlenici kaynaklarının değerlendirilmesini, diğer bir ifade ile "havza planlaması ve yönetimi" yapılmasını gerektirmektedir.



2. HAVZA YÖNETİMİ

Havza yönetimi, bir su toplama havzasında, ekolojinin temel esasları dikkate alınarak, toplumun sosyal, kültürel ve ekonomik kalkınmasını sağlayacak şekilde doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımının planlanması, geliştirilmesi ve yönetilmesidir. Bir başka açıdan, havza yönetimine, su, toprak, bitki örtüsü ve hayvan varlığı ile insan kaynaklarını değerlendirme, yeni kaynaklar bulup geliştirme, doğal kaynaklarla insanlar arasında sağlıklı ilişkiler kurma, mevcut kaynakların sürekliliğini sağlama amacıyla planlama, projelendirme ve uygulama sanatıdır.

2.1. Entegre Havza Yönetimi

Su kaynakları planlanıp yönetilirken, suyun sadece miktarı değil, kalitesi, toprak ve havayla ilişkileri, diğer ekosistemler ve tüm faktörler bir arada dikkate alınmalıdır. Sürdürülebilir kalkınma gerekliliği nedeniyle, sadece fiziksel faktörler değil, sosyal, ekonomik, yasal unsurların da değerlendirilmesi zorunludur. Buna göre, havza yönetim amaçları da entegre biçimde tanımlanıp disiplinlerarası entegrasyonla çözümlenmelidir. Entegre yönetim

konusunda, bugüne kadar çeşitli araştırmacılar farklı tanımlar getirmişlerdir (Grigg, 1999). Entegre su kaynakları yönetimi, tüm kesimlerin görüş, beklenti ve amaçlarını dengeleyecek şekilde, su sistemlerinin planlanması, organizasyonu ve kontrolü için oluşturulacak işlevler bütünüdür. Bu tanımda, su ile ilgili tüm kesimler dikkate alındığından “sosyal bütünlük” ve su sistemleri ele alındığından “ekolojik bütünlük” kavramları da yer almakta; yönetim sorumluluğu da, her kesim tarafından paylaşılmaktadır.

3. HAVZA YÖNETİMİNDE MODELLEMENİN ÖNEMİ

Entegre yönetim yaklaşımında tüm olayların birlikte değerlendirilmesi esas olduğundan, geçmişteki modeller daha geniş kapsamlı ve karmaşık modellerin bileşenleri haline gelmiştir. Entegre yönetimin kaçınılmaz bir unsuru da havzanın alansal boyutta incelenmesini sağlayan görüntüleme, matematik işlem, veri depolama, çıktı hazırlama gibi pek çok işlevi birlikte yerine getiren Coğrafi Bilgi Sistemlerinin kullanılmasıdır. Bilgisayar programı niteliğinde olan bu sistemler, yönetimin diğer iki aracı olan veri ve modellerle entegre edildiğinde, havzanın mevcut



veriler veya girdiler altındaki davranışı, model çıktılarının alanda dağılışı gibi çeşitli işlemleri gerçekleştirmek mümkün olmaktadır. Veri+Model+CBS entegrasyonunun havza yönetimi açısından sağladığı temel olanak, alternatif yönetim politikalarının veya yönetim senaryolarının irdelenebilmesidir. Esas olarak yönetim kararları, çeşitli senaryoların oluşturulup; havzanın verilen kararlara davranışını model veya verilerle irdlemek ve bunları CBS ile görüntülemek suretiyle sınınamaktadır. Böylelikle daha iyi ve etkin yönetim planlarının oluşturulması mümkün olmaktadır.

3.1. Su Kalitesi ve Havza Modellemede Kullanılan Yazılımlar

Son yıllarda hızla gelişen bilişim teknolojisi, su kalitesi ve havza yönetiminde matematiksel modellerin kullanılması yaklaşımının artmasına neden olmuştur. Yine son yıllarda sucul ekosistemlerde yapılan araştırmalar ve bu bölgelerdeki çevresel yönetim amacı ile kullanılan matematiksel modellerin sayısının 4000 civarında olduğu tahmin edilmektedir (Ertürk, 2005; Jorgensen, 1999).

Su kalitesi modelleri; modelin kompleks olmasına, alıcı su ortamına ve su kalitesi parametrelerine bağlı olarak sınıflandırılmaktadır. En kompleks model verilen duruma uygulanabilecek en zor ve maliyeti yüksek modeldir (Özbayrak ve Bakan, 2006). Dolayısıyla modellemesi yapılan su kalite parametrelerinin artmasıyla birlikte model karmaşıklığı da artacaktır. Bir su kalitesi modelinde su kalitesini etkileyen tüm veriler model için gerekli veriler olarak düşünülebilir.

Her su kalitesi modeli için aynı olmamakla beraber bir modelin oluşturulması için gerekli bilgiler genellikle şu verilerden oluşmaktadır; Su ortamını fiziksel özellikleri, su ortamının hidrodinamik özellikleri, meteorolojik verileri, kirlenici parametreler, su ortamında bulunan canlı organizmaların çeşitleri ve konsantrasyon değerleri ve sedimanın yapısı ile ilgili veriler, su ortamına gelen dış yükler, çeşitli reaksiyon sabitleri ve katsayılar, genellikle literatürden sağlanmakla birlikte modellemesi yapılan su ortamı için bu verilerin elde edilmesi de mümkündür.

Modellerle birlikte son dönemlerde yazılımların kullanılmasındaki amaç, çalışılan bölge için karar destek



sisteminin oluşturulmasıdır. Su kalitesi ve havza yönetiminde kullanılan programların bazıları şunlardır (Çizelge 1):

- SWAT (Arazi Su Değerlendirme Aracı),
- WEAP (Su Değerlendirme ve Planlaması),

- HSPF (Hidrolik Simülasyon Programı Fortran),
- HEC-HMS (Hidrolik Mühendislik Merkezi-Hidrolik Modelleme Sistemi),
- Havza Modellemesinde Kullanılan MIKE Yazılımları.

Çizelge 1. Su Kalitesi ve Havza Yönetimi için Kullanılan Bazı Su Kalitesi Modelleri

MODEL	KULLANIM AMACI
SWAT Toprak ve su kalitesi değerlendirme aracı	Yaygın bir kullanıma sahip, fiziksel tabanlı bir hidrolojik modeldir. Model; yüzeysel sular ve yer altı sularının; su bütçesi ve su kalitesi modellemesinde, iklim değişikliğinin olası etkilerinin hesaplanmasında, arazi kullanımı ve en iyi yönetim uygulamalarının değerlendirilmesinde kullanılmaktadır.
WEAP Havza Modelleme programı	Stockholm Çevre Enstitüsü (SEI) tarafından geliştirilen; entegre su kaynakları yönetimi için geliştirilmiş havza modelleme programıdır. Kentsel, tarımsal ve çeşitli ölçekte havza sistemlerine, temel su dengesini uygulamaktadır.
HSPF Hidrolojik Simülasyon Programı	HSPF (Hydrological Simulation Program-Fortran); USEPA ve USGS tarafından geliştirilen; havzalarda hidrolojik modellemede; nehir ve göllerde su kalitesi modellemede kullanılmaktadır.
HEC-HMS Havza Modelleme Sistemi	Hidrolojik havza modellemesi amacıyla geliştirilmiş, HEC-HMS modeli değişik büyüklük ve özellikteki havza alanlarında yağış ve akış gibi hidrolojik hesapları yapabilen bir simülasyon programıdır. Model bütünleşmiş bir çalışma ortamından oluşmaktadır.
MIKE BASİN, MIKE SHE, MIKE 11 Havza Modellemesi ve Planlanması	Entegre havza idaresi çerçevesinde kullanılan havza modülü, nehir havzası içerisinde bulunan nehir ağının, nehir ağını oluşturan havzaların ve havzada bulunan fiziki su yapılarının zaman ve mekan boyutunda hidrolojisini ortaya koyan matematiksel bir modeldir

3.2. Entegre Havza Yönetiminde Modelleme ve Yazılım Uygulamaları

Park and Lee (2002), BOİ ve azot dönüşümlerinde önemli rol oynayan biyokimyasal kaynakların ve denitrifikasyonun görüldüğü Nakdong Nehri'nde su kalite modelleme

çalışması yapmışlardır. Su kalite kontrol yöntemleri ve alıcı ortamların su kalitesi arasındaki ilişkiye incelemek için yapılan çalışmada, QUAL2E ile alg ölümünün BOİ'ye dönüşümü, denitrifikasyon ve nehir bitkilerinin ÇO dengesine olan etkileri gibi etkileşimler kalibre edilmiştir.



Kalibrasyon sonuçları nehrin aynı bölümleri için hem QUAL2E ve QUAL2K modelleri ile doğrulanmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Çalışmada BO₅, ÇO, N ve P bileşikleri ile klorofil-a parametresi ele alınmıştır. Çalışmanın sonunda araştırmacılar, BO₅, ÇO ve TN parametreleri için iki model arasında önemli farklılıklar olduğu olduğunu ifade etmişlerdir. Ershadi and Khiabani (2005), Afganistan'ın Güneydoğusunda bulunan Kabul Nehri havzasında entegre su kaynakları yönetimi projesi yürütmüşler ve proje çerçevesinde MIKE BASIN Modelini kullanmışlardır. Öncelikle modelin istediği, yağış, su talepleri, yüzey akış ve ürün verilerini hazırlamışlar ve arazi kullanım türlerini uzaktan algılama ile belirlemişlerdir. 1961-1978 periyodu için hazırladıkları verileri MIKE BASIN modeline girmişlerdir. Entegre su kaynakları yönetim planlarını akım ve gelecekteki potansiyel su kullanımına göre hazırlamışlardır.

Chubarenko and Tchepikova (2001), çalışmalarında Baltık Denizi'nin güneydoğu kıyısında bulunan Vistula lagününde meydana gelen tuzluluk değişimlerini MIKE 21 sayısal modeli kullanarak incelemişlerdir. Vistula Lagünü'nde suni olarak önemli

miktarlarda tuzluluk artışı meydana gelmiştir. Bunun nedeni Vistula Lagünü'ne gelen Vistula nehrinin bir bölümünün yönünün değiştirilmesi (lagüne dökülürken direk Baltık Denizi'ne dökülmesi), lagün girişinin derinliği nedeniyle su değişiminin yoğunlaşması, gemi geçişi için derin kanalların oluşturulması lagünün en uzak kısımlarına kadar deniz suyunun girmesi olarak belirtmişlerdir. Bu çalışmada farklı hidrolojik durumlar için tüm lagün alanının yıllık tuzluluk dinamiklerini MIKE 21 sayısal modeli kullanarak modellemişlerdir. İlk olarak lagüne gelen Vistula Nehri sularının azaltılmadan önceki durumu, sonra günün koşulları altında olmak üzere suni hidrolojik ve morfolojik etkilerin lagün tuzluluğuna katkısını değerlendirmişlerdir. Ayrıca lagünde geçici ve sürekli tuzluluk değişimlerini ve yıllık değişimlerini de model yardımı ile gözlemlemişlerdir. Sonuç olarak yapılan modelleme çalışması hesapları sonucu Vistula Lagünü'nün morfolojik yapısının suni olarak değiştiğini ispatlamışlardır. (Salvetti et al., 2007), çalışmalarında, İtalya'nın kuzeydoğu bölümünde yer alan Venice Lagünü'nde (Venice Lagoon Watershed (VLW)), Dese-Zero nehri tabanının bölümlere ayrılmış kaynağı



analizini gerçekleştirmişlerdir. Dese-Zero nehri havzası çok yoğun tarımsal ve landfarming sistemiyle karakterize etmişlerdir.

Kaynak değerlendirmesinde, iki farklı model uygulamışlardır: Bunlardan ilki kuru hava senaryolarının simulasyonu için QUAL2E modeli ve diğeri ise ıslak hava senaryolarının simulasyonu için BASINS-SWAT modelidir. 293 km² yüzey alanıyla 512 t N y⁻¹ yüklemesi toplam azot dışında, kuru hava şartlarında: %20 nokta kaynak ve yağmur; yağmur süresince difüzyon yüklemesiz olarak %80 civarında bulmuşlardır. Yağmur olayları, 200 t N y⁻¹ civarında; yüzeysel akış, yaklaşık 700 t N y⁻¹ üzerinde toplam azot yüklemesiyle ilişkili olduğunu bildirmişlerdir. Bu nedenle yıllık kaynak, toplam kaynak bölünerek %30 yüzey akış yüklemeleri, toplam yıllık yüklemenin yaklaşık %15 nokta kaynakları ve yaklaşık %55 i yağmur süresince yayılma kaynağı olarak belirtmişlerdir.

4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Entegre su kaynakları yönetimi yazılım paketleri gelişmiş veya gelişmekte olan birçok ülkede yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Su kaynaklarının optimal yönetimi için çok amaçlı

entegre yazılımların geliştirilmesi muhakkaktır. Entegre model sistemleri su kaynakları yönetimi işlevini yerine getirdiği gibi çevre, ekosistem, sosyo-ekonomik disiplinlerle de iletişim kurarak en iyi çözümü bulmaya çalışır. Bu nedenle su kaynakları modellemesinde çok iyi bir entegre model geliştirmek için mevcut modeller arasında bağlaşım veya eşleştirme yapılarak yeni bir modellemeye gidilmesi ve bu modellerle diğer bilişim teknolojilerinin (CBS, veri tabanları, programlama dilleri) birbirleriyle birleştirilmesi gerekir.

Su yöneticileri hangi faktörlerin sucul ortamları kötüleştirdiğini modeller vasıtasıyla öğrenebilmektedirler. Teklif edilen kirlilik önleme aksiyonlarının hedefleri tutturup tutturulmayacağı modeller ile belirlenebilmektedir. Ayrıca alınacak önlemler ile su kalitesinin ve sucul ortam topluluklarının istenen seviyeye gelip gelmeyeceği tespit edilebilmektedir. İleride herhangi bir plansız sonuçlanmaların olup olmayacağı ve bozulan sucul sistemlerin iyileştirilmesinin ne kadar zaman alacağı yine modeller vasıtasıyla tespit edilmektedir. Böylece sürekli yeni metotlarla tasarlanan ve geliştirilip şartlara göre uyarlanan



model uygulamaları günden güne artarak devam etmektedir.

KAYNAKLAR

- Anonymous, 2002, Badger Creek Watershed, Birlesmis Milletler Kalkınma Programı (UNDP), pp.64-74.*
- Akyel, Ö., 2007, Su Havzası Yönetim Sistemi ve Kırıkkale Havzası'nın İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.*
- Bayazıt, M., 1995, Hidroloji, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, 975-561-059-6, İstanbul, ss.242.*
- Canseven, A., 2013, Avrupa Birliği'ne (AB) Uyum Süreci Kapsamında Ülkemizdeki Entegre Havza Yönetimi Çalışmaları ve Mevcut Durumun İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Sivas.*
- Chapra, S.C., 1997, Surface Water-Quality Modeling, McGraw-Hill, New York, pp.844.*
- Chubarenko, I., Tchepikova, I., 2001, Modelling of Man-Made Contribution to Salinity Increase into the Vistula Lagoon (Baltic Sea), P.P. Shirsho Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences, Atlantic Branch Prospect Mira, 1, Kaliningrad 236000, Russia.*
- Danimarka Hidrolik Enstitüsü-DHI, 2010, MIKE Basin User Guide.*
- Datta, S.K., Ray, M., 1997, Doon Vadisi Havza Yönetimi - Halkın Katılımı Yoluyla Sürdürülebilir Eko-Restorasyon Çalışması, XI. Dünya Ormanlık Kongresi Bildirileri, Antalya, 2, ss.293-301.*
- Duran, O., 2010, Kamu Yönetimi Reformu Çerçevesinde Türk Su Yönetimi, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.*
- Ekdal, A., 2008, Water Quality Modeling Of Köyceğiz - Dalyan Lagoon, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.*
- Ekdal, A., Tanık, A., 2008, Köyceğiz-Dalyan Lagünü Su Kalitesi Modellemesinde Tuzluluk Simülasyonları, İtüdergisi/e Su Kirlenmesi Kontrolü, 18(1), ss.55-64.*
- Elder, J.W., 1959, The Dispersion of Marked Fluid in a Turbulent Shear Flow, Journal of Fluid Mechanics, 5(4), pp. 554-560.*
- Ershadi, A., Khiabani, H., 2005, Applications of Remote Sensing, GIS and River Basin Modelling in Integrated Water Resource Management of Kabul River Basin, ICID 21st European Regional Conference, 15-19 May 2005, Frankfurt (Oder) and Slubice - Germany and Poland, pp.1-10.*
- Ertürk, A., 2005, Su Kalitesi ve Havza Modellemede Kullanılan Yazılımlar,*



- İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul.*
- Ertürk, A., Gönenç, İ.E., Ülker, H., 2001, *Konya Ovası Ana Tahliye Kanalının Matematiksel Modellenmesi ve Arıtma Gereklerinin Değerlendirilmesi, IV. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, 07-10 Kasım 2001.*
- Grigg, N.S., 1999, *Integrated Water Resources Management: Whoshould Lead, Whoshould Pay, Journal of the American Water Resources Association, 35(3), pp.527-534.*
- Harmancıoğlu, N.B., Gül, A., Fıstıkoğlu, O., 2002, *Entegre Su Kaynakları Yönetimi, Türkiye Mühendislik Haberleri, 4913(3), ss.29-39.*
- HKEP, 2013, *Havza Koruma Eylem Planları, Sakarya Havzası Raporu, T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı adına TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi.*
- Karaş, E., 2005, *Havza Yönetiminde Yeni Yaklaşımlar, Topraksu, Eskişehir.*
- Kılınç, M., Gülbahar, N., Yeğnidemir, M. K., 2003, *Su Kaynakları Mühendisliği ve Küreselleşme, I. Ulusal Su Mühendisliği Sempozyumu, 22-26 Eylül 2003, Gümüldür, İzmir, ss.17-21.*
- Krause P., Hanisch S., 2009. *Simulation and Analysis of the Impact of Projected Climate Change on the Spatially Distributed Waterbalance in Thuringia, Germany, Advanced Geosciences, 21, pp.33-48.*
- Kural, S., 1997, *Havza Yönetimi Çakıt Projesi Örneğinde Uygulamaların İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.*
- Lonin, S.A., Tuchkovenko, Y.S., 2001, *Water Quality Modelling for the Ecosystem of the Cienaga de Tesca Coastal Lagoon, Ecological Modelling, 144(2-3), pp.279-293.*
- McKerchar, A.I., Delleur, J.W., 1974, *Application of Seasonal Parametric Linear Stochastic Models to Monthly Flow Data, Water Resources Research, 10, pp.246-255.*
- Park, S.S., Lee, Y.S., 2002, *A Water Quality Modeling Study of The Nakdong River, Korea, Ecological Modelling, 152(1), pp.65-75.*
- Quevauviller, P., 2011, *WFD River Basin Management Planning in the Context of Climate Change Adaptation - Policy and Research Trends, VI. EWRA International Symposium on Water Engineering and Management in a Changing Environment (ed.by A. Cancelliere & G. Rossi), June 29-July 2 2011, Catania, Sicily.*
- Salvetti, R., Acutis, M., Azzellino, A., Carpani, M., Giupponi, C., Parati, P., Vale, M., Vismara, R., 2007, *Modelling the Point and Non-point Nitrogen Loads to the Venice Lagoon (Italy): the*



Application of Water Quality Models to the Dese-Zero Basin, Desalination, 226(1-3), pp.81-88.

SEI., 2011, WEAP User Manual, Stockholm Environment Institute, USA.

Tanik, A., Tuna, D., 2011, Bütünleşik Havza Yönetimi: Sorunlar ve Yaklaşımlar, II. Ulusal Toprak ve Su Kaynakları Kongresi Bildiriler Kitabı, 22.11.2011-

25.11.2011, Ankara, Türkiye, ss.465-473.

Van Wijk, F.J., DelaHaye, M.A.A., Hehenkamp, M.J., Velde, I.A., de Bruin, E.F.L.M., Schelleman, F.J.M., 2003, Su Çerçeve Direktifinin Türkiye'de Uygulanması, Grontmij 105774 no'lu Proje Bitiş Raporu.



Araştırma Makalesi

TÜRKİYE'DEKİ BÜYÜKBAŞ HAYVANCILIK SEKTÖRÜNDEN KAYNAKLANAN SERA GAZI EMİSYONLARININ İNCELENMESİ

Gizem Kaynar, Melik Kara¹, Abdurrahman Bayram

¹ Dokuz Eylül Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Tınaztepe Kampüsü Buca, İzmir

melik.kara@deu.edu.tr

Özet: Gerek endüstriyel gerekse doğal faaliyetlerden kaynaklanan sera gazı emisyonları, küresel ısınma ve iklim değişikliğine sebep olmaktadır. Ülkemizde farklı sektörlerden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının oluşumları ve miktarları üzerine değişik çalışmalar bulunmasına rağmen büyükbaş hayvan yetiştiriciliği sektöründen kaynaklanan sera gazı emisyonlarına yönelik il bazında ulusal bir envanter çalışması bulunmamaktadır. Bu çalışmada Türkiye'deki büyükbaş hayvan yetiştiriciliğinden kaynaklanan sera gazı emisyonu miktarlarının iller ölçeğinde hesaplanması ve yıllara göre değişimlerinin belirlenmesini hedeflemektedir. Bu amaçla, Hükümetler Arası İklim Değişim Paneli (IPCC) Direktifinde yer alan emisyon faktörleri kullanılarak büyükbaş hayvanların enterik fermantasyonu ve atıkları sonucu oluşan metan (CH₄) gazı emisyonları ile hayvan atıklarından oluşan diazot monoksit (N₂O) gazı emisyonları 2010 ile 2015 arası yıllar için illere göre hesaplanmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre; ülkemizde büyükbaş hayvan sayısı yıllara göre belirgin bir artış göstermektedir ancak üretim sığır türünde artarken manda türündeki artış ters yönlü seyretmektedir. Büyükbaş hayvanlardan kaynaklanan CH₄ emisyonları (enterik fermantasyon ve atıklar için) 2014 ve 2015 yılları için sırasıyla 1.415.399 ton/yıl ve 1.393.622 ton/yıl olarak hesaplanırken, N₂O emisyonları (atıklar için) 7.340 ton/yıl ve 7.228 ton/yıl olarak hesaplanmıştır. Hükümetler arası iklim değişim paneli (IPCC) tarafından belirlenen Küresel Isınma Potansiyeli (GWP) kavramına göre sera gazları hesaplanırken CO₂ eşdeğeri kullanılmakta olduğu için, Türkiye'deki bütün büyükbaş hayvan varlığı için hesaplanan sera gazı emisyonları, CO₂ eşdeğerine dönüştürülerek 2015 yılı için 31,5 milyon ton/yıl olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Büyükbaş Hayvancılık, Diazot monoksit (N₂O), Metan (CH₄), Sera Gazı Emisyonları, Türkiye

INVESTIGATION OF GREENHOUSE GAS EMISSIONS FROM THE CATTLE BREEDING SECTOR IN TURKEY

Abstract: Greenhouse gas emissions from both industrial and natural activities cause global warming and climate change. Although there are various studies on the formation and amounts of greenhouse gas emissions from different sectors in our country, there is no national inventory study on greenhouse gas emissions from cattle breeding sector. In this study, it was target that quantities of GHG emissions from cattle breeding in Turkey were calculated and annual changes were determined year by year. For this purpose, the emissions of methane (CH₄) from enteric fermentation and wastes and nitrous oxide (N₂O) emissions from animal wastes were calculated for provinces between 2010 and 2015 by using emission factors included in the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Directive. According to the results of the study, the number of bovine animals in our country

Makale Gönderim Tarihi: 08.10.2019

Makale Kabul Tarihi: 27.11.2019



shows a significant increase year by year, but the increase in buffalo species is reversed, while the cattle production increases. CH₄ emissions from bovine animals (for enteric fermentation and wastes) were calculated as 1.415.399 tons / year and 1.393.622 tons/year, N₂O emissions (for wastes) were 7.340 tons/year and 7.228 tons/year for 2014 and 2015, respectively. Since the CO₂ equivalent are used for determining Global Warming Potential (GWP) as to the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Directive, total greenhouse gases emissions for all cattle presence in Turkey were calculated as 31.5 million tons/year CO₂ equivalent.

Keywords: Cattle Breeding Sector, Methane (CH₄), Nitrous oxide (N₂O), Greenhouse Gas Emissions, Turkey

1. GİRİŞ

Günümüzde, dünya nüfusunun hızla artışı sebebiyle her geçen gün artan enerji ihtiyacı, endüstriyel gelişim ve şehirleşme en önemli çevre sorunlarından biri olarak hava kirliliğine sebep olmaktadır. Oluşan hava kirliliğinin yanı sıra küresel ısınma ve iklim değişikliği de tüm dünya üzerinde olumsuz etkiler oluşturmaktadır. Küresel ısınma ve iklim değişikliğine sebep olan en önemli faktörlerden birisi sera gazı emisyonlarıdır. Sera gazı emisyonlarının son yıllarda artışı ile küresel ısınma ve iklim değişikliği sorunları da artmaktadır. Sera gazlarının ağırlıklı olarak endüstriyel faaliyetlerde, motorlu taşıtlarda ve konutlarda kullanılan fosil yakıtların yakılmasıyla ortaya çıktığı bilinmektedir. Ancak bunların yanı sıra ormanlar, tarım ve hayvancılık faaliyetleri gibi doğal kaynaklar ve faaliyetlerde çoğu zaman sera

gazlarının açığa çıkmasında önemli bir katkı oluşturmaktadır (Keskin ve Koçumoğulları, 2016).

Sera gazlarının en önemlileri karbondioksit (CO₂), azot oksit (N₂O), metan (CH₄), su buharı, ozon (O₃), Kloroflorokarbonlar (CFC's) ve Sülfür heksaflorürdür (SF₆) (Nayeb et al., 2019). Atmosferdeki gazlar yeryüzünden uzaya yayılan uzun dalga boylu ışığı önce soğurur, daha sonra tekrar yayar. Sera gazları Dünya'dan uzaya yayılan ısının (kızılötesi ışığın) bir kısmını geri yansıtarak Dünya'nın ısınmasına neden olur. Bu olaya sera etkisi denir.

Sera gazlarının en önemli etkisi iklim üzerinde görülmektedir. Oluşturduğu iklim değişikliği etkileri hesaplar ile tahmin edilmektedir. Sera gazı miktarındaki artışın sonucu olarak ortalama dünya sıcaklığının 1-3°C arasında artacağı ve buna bağlı olarak



buzulların erimesiyle birlikte deniz seviyesinin 2100 yılında 30-120 cm yükseleceği tahmin edilmektedir (NASA, 2017). Ülkemiz ise küresel ısınmanın potansiyel etkileri açısından risk grubu içerisinde yer almaktadır. Küresel ısınmanın özellikle su kaynaklarının zayıflaması, orman yangınları, kuraklık ve çölleşme ile bunlara bağlı ekolojik bozulmalar gibi olumsuz yönlerinden etkilenecektir (Tolunay, 2013).

Ülkemiz sanayi alanında önemli gelişmeler göstermekle birlikte 2017 verilerine göre çalışan nüfusun %19,4'ü tarım alanında, %26,5'i sanayi alanında ve %54,1'i hizmet sektöründe istihdam edilmektedir (GMKA, 2019). Bu verilere göre ülkemizde üreten nüfusun yarısı halen tarımsal faaliyetler ile uğraşmaktadır. Türkiye, tarımsal faaliyetler ile birlikte hayvancılık sektöründe de önde gelen ülkelerden birisidir. Hayvan sayısının özellikle büyükbaş hayvan sayısının yüksek olması nedeniyle, hayvancılık sektöründen kaynaklanan sera gazı emisyonları tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan sera gazı emisyonları içerisinde önemli bir payı da oluşturmaktadır (Köknaroğlu ve Akünel, 2010).

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından hesaplanan sera gazı emisyon envanterine göre; 2015 yılında toplam sera gazı emisyonu CO₂ eşdeğeri olarak 475,1 milyon ton (Mt) olarak hesaplanmıştır. Bunun içerisinde en büyük payı %71,6 ile enerji kaynaklı emisyonlar alırken, bunu sırasıyla %12,8 ile endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı, %12,1 ile tarımsal faaliyetler ve %3,5 ile atık takip etmektedir. Aynı kurumun 2011 yılı sonuçlarında ise tarımsal faaliyetlerin payı %7 olarak verilmektedir. Bu sonuç tarımsal faaliyetlerdeki artışın da bir göstergesi olmaktadır. Diğer taraftan, 2015 yılı için sırasıyla, toplam CO₂ emisyonlarının %0,2'si, toplam CH₄ emisyonlarının %59,3'ü ve toplam N₂O emisyonlarının %78,4'ü tarımsal faaliyetlerden kaynaklanmaktadır (TUIK, 2017).

Hayvansal faaliyetlerden oluşan sera gazı emisyonları temel olarak enterik hayvanların enterik fermantasyonlarından ve atıklarından oluşmaktadır. Enterik fermantasyon, hayvanların sindirim sisteminde mikroorganizmalar vasıtasıyla yiyeceklerin mayalanma işlemini ifade etmektedir (Görgülü vd., 2009). Bu olay sonucunda oluşan metan,



hayvanlar tarafından nefes alıp verilirken yan ürün olarak açığa çıkmaktadır. Diğer taraftan hayvanların dışkılması sonucu oluşan atıkların bozunması esnasında da CH₄ ve N₂O emisyonları oluşmaktadır. Atıklardan kaynaklanan CH₄ emisyonu enterik fermantasyona göre 6-9 kat oranında azalmaktadır. Bu büyükbaş hayvanların atıkları çukur, havuz ya da kıyı gölleri gibi sıvı ortamlarda depolanması durumunda, oksijensiz ortam koşulları gelişir ve bu ortamda oluşan ayrışmalar metan emisyonlarının oluşmasına sebep olur. Gübrelerden açığa çıkan metan miktarı gübrenin depolanma biçimi, depolama alanının havası veya iklimi ve gübre bileşimini göre farklılık arz etmektedir. Örneğin sıcaklık ve nem koşullarının yüksek olduğu ortamlar, daha fazla metanın açığa çıkmasına katkıda bulunmaktadır.

Bu çalışmada, Türkiye'deki büyükbaş hayvan yetiştiriciliği faaliyetlerinden kaynaklanan sera gazı (CH₄ ve N₂O) emisyonlarının miktarlarının belirlenmesi hedeflenmektedir. Bu amaçla, Türkiye'de yetiştirilen büyükbaş hayvanların enterik fermantasyonu ve atıkları sonucu oluşan CH₄ emisyonları ile hayvanların

dışkılarında kaynaklanan N₂O emisyonları literatürdeki emisyon faktörleri kullanılarak 2010 ile 2015 arası yıllar için illere göre hesaplanmış ve yıllara göre değişimleri incelenmiştir.

2. MATERYAL ve METOT

Bu çalışmada, 2010 ve 2015 yılları arasındaki 6 yıllık dönem için Türkiye genelinde büyükbaş hayvanların enterik fermantasyonu ve atıkları sonucu oluşan, toplam yıllık CH₄, N₂O emisyonları ve bu gazlarının CO₂ eşdeğerlikleri literatürden (IPCC, 2006) temin edilen emisyon faktörleri ile hesaplanarak toplam sera gazı emisyonuna katkıları bulunmuştur.

Hayvansal faaliyetler sonucunda oluşan CH₄ ve N₂O emisyonlarını hesaplamak için TÜİK'in yayınladığı büyükbaş hayvan (genç sığır, yetişkin sığır, genç manda ve yetişkin manda) sayıları kullanılmıştır. Her bir hayvan türüne ait emisyon faktörleri ise hükümetler arası iklim değişim paneli (IPCC) Direktifinden kullanılmıştır. Temin edilen emisyon faktörleri, bu yıllar süresince bir büyükbaş hayvanın enterik fermantasyonu ve atıklarından kaynaklanan CH₄ ve N₂O'nun CO₂ eşdeğeri miktarını ifade etmektedir.



Dolayısıyla, hayvan sayıları ve emisyon faktörleri ilişkilendirilerek il bazında yıllık oluşan CH₄, N₂O ve CO₂ eşdeğerliklerinin emisyonları hesaplanmıştır.

Enterik fermentasyon sonucu ve atıklardan oluşan toplam CH₄ emisyonları, Eşitlik 1'e göre hesaplanmıştır. Ayrıca kullanılan

emisyon faktörleri Çizelge 1'de verilmektedir.

$$CH_4 \text{ Emisyonu} = EF * N_T \quad (1)$$

Burada,

EF = Emisyon Faktörü (Enterik fermentasyon ve atıklar için)

NT = Toplam Hayvan Sayısı

Çizelge 1. CH₄ Emisyonları için Emisyon Faktörleri (kg/hayvan-yıl) (IPCC, 2006)

Hayvan Türü	Enterik fermentasyon (kg/hayvan-yıl)		Atıklardan oluşan (kg/hayvan-yıl)	
	Yetişkin	Genç	Yetişkin	Genç
Sığır (Kültür)	99	58	11	7
Sığır(Melez)	99	58	11	7
Sığır (Yerli)	99	58	11	7
Manda	55	42	9	5

Atıklardan oluşan toplam N₂O emisyonları ise Eşitlik 2'ye göre hesaplanmıştır. Çizelge 2 de ise N₂O emisyonları için N_{ext} ve EF değerleri verilmiştir.

$$N_2O = [N_T * N_{ext} * EF] * 44/28 \quad (2)$$

Burada,

EF = N₂O Emisyonları için bertaraf yöntemine göre Emisyon Faktörü (kg N₂O-N/kg-N)

N_{ext} = Hayvan başına dışkılanan yıllık ortalama azot (kg N/hayvan-yıl)

NT = Toplam Hayvan Sayısı

44/28 = N₂O-N emisyonlarının N₂O emisyonlarına çevirim katsayısı

Çizelge 2. N₂O Emisyonları için N_{ext} ve EF Değerleri (kg N₂O-N/kg-N) (IPCC, 2006)

Hayvan Türü	N _{ext} Değeri		EF
	Yetişkin	Genç	
Sığır (Kültür)	49,82	70,26	0,005
Sığır(Melez)	49,82	70,26	0,005
Sığır (Yerli)	49,82	70,26	0,005
Manda	35,04	52,56	0,005



Küresel ısınma potansiyeli (GWP) kavramı IPCC tarafından CO₂'e göre sera gazlarının atmosferdeki ısıyı tutma yeteneğini karşılaştırmak amacıyla geliştirilmiştir. Bu nedenle sera gazları hesaplanırken CO₂ eşdeğeri (CO₂e) kullanılmaktadır. Çizelge 1 ve 2'de verilen emisyon faktörleri kullanılarak hesaplanan CH₄ ve N₂O emisyonları IPCC direktifleri ile belirlenen dönüşüm katsayıları (CH₄ ve N₂O için sırasıyla 21, 310) kullanılarak CO₂ eşdeğerine dönüştürülmüştür.

3. SONUÇLAR

Bu çalışma, Türkiye'de bulunan

büyükbaş hayvancılık sektörlerinden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının il bazında belirlenerek ulusal bir envanterinin hazırlanması amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, Türkiye genelinde büyükbaş hayvanların enterik fermantasyonu ve atıkları sonucu oluşan toplam yıllık CH₄ emisyonu ile hayvan dışkılarından kaynaklanan toplam yıllık N₂O emisyonu literatürdeki emisyon faktörleri yardımıyla hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler N₂O, CH₄ ve CO₂e için ayrı ayrı yıllara göre aşağıdaki Çizelge 3 - 6'da verilmiştir.

Çizelge 3. Enterik Fermantasyondan Kaynaklanan CH₄ (ton/yıl)

Hayvan Türü	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Sığır (Kültür)	369884	425422	501992	525180	545358	564014
Sığır (Melez)	419898	454508	515591	545375	541832	512637
Sığır (Yerli)	221151	217060	220730	210287	178280	168588
Manda	4426	5093	5621	6157	6389	7021
Toplam	1015359	1102083	1243934	1286999	1271859	1252260

Büyükbaş hayvanlardaki bu işleyiş enterik fermantasyonun ulusal ölçekte değerlendirildiğinde CH₄'ün en büyük kaynağı olduğu görülmektedir.

Çizelgeden de görüldüğü üzere sığır kültür, sığır melez ve manda türleri için her yıl hayvan sayısına paralel olarak metan miktarının artışı gözlenmektedir.



Çizelge 4. Atıklardan Kaynaklanan CH₄ (ton/yıl)

Hayvan Türü	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Sığır (Kültür)	41717	47992	56593	59224	61494	63591
Sığır (Melez)	47280	51211	58049	61406	60992	57705
Sığır (Yerli)	24882	24435	24833	23666	20053	18962
Manda	690	793	878	962	998	1100
Toplam	114569	124431	140353	145258	143537	141358

Çizelge 5. Atıklardan Kaynaklanan N₂O (ton/yıl)

Hayvan Türü	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Sığır (Kültür)	2138,4	2460,9	2899,3	3035,3	3151,2	3258,2
Sığır (Melez)	2418,2	2621,5	2968,4	3140,3	3118,3	2949,9
Sığır (Yerli)	1271,1	1249,2	1268,6	1209,5	1024,1	968,3
Manda	32,5	37,3	41,3	45,2	46,9	51,6
Toplam	5860,2	6368,9	7177,6	7430,3	7340,5	7228

Büyükbaş hayvanların atıklarından (gübre) kaynaklanan N₂O için, incelenen yıllarda devam eden bir artış söz konusudur. Ülkemizde en fazla yetiştirilen sığır türü yurt dışından gelen sığır türleri ile ülkemizdeki yerli sığırların çiftleştirilmesi ile elde edilen melez sığırlar olduğu için emisyon salınımindaki en büyük pay bu türe ait olmaktadır. Ayrıca artık yetiştiriciliği iyiden iyiye azalan Manda türü ise en düşük katkıyı koymaktadır.

Çizelge 6'da tüm hayvan türleri ve bunlardan kaynaklanan sera gazlarının toplam emisyonuna denk gelen CO₂ eşdeğeri verilmektedir. Burada verilen değerler Türkiye için toplam değeri yansıtmaktadır. 2010 ile 2015 yılları arasında büyükbaş hayvanlardan kaynaklanan sera gazı miktarı artış göstermektedir. 2010 yılında 25,5 milyon ton olan CO₂ eşdeğeri sera gazı emisyonu 2015 yılına kadar yaklaşık %20'lik bir artış ile 31,5 milyon tona ulaşmıştır.

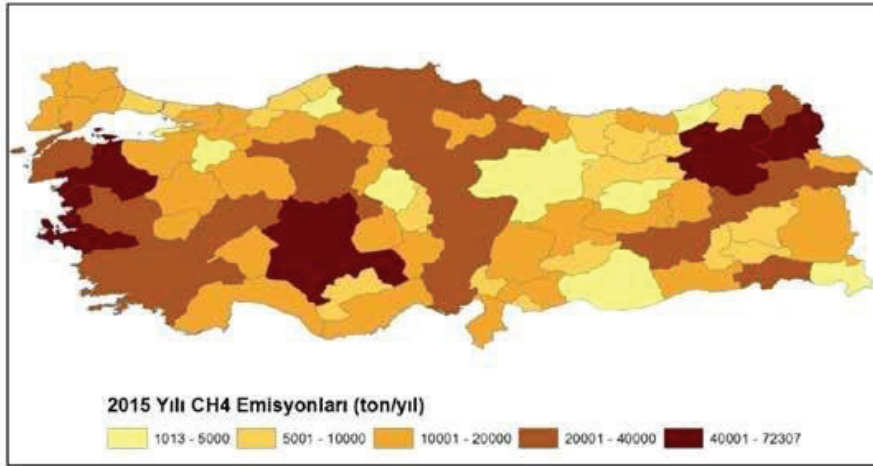


Çizelge 6. Sera Gazlarının CO₂ Eşdeğeri (CO₂e) (Milyon ton/yıl)

Hayvan Türü	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Sığır (Kültür)	9,30	10,70	12,62	13,21	13,72	14,18
Manda	0,11	0,13	0,14	0,16	0,16	0,18
Sığır (Melez)	10,56	11,43	12,96	13,71	13,62	12,89
Sığır (Yerli)	5,56	5,45	5,55	5,28	4,48	4,23
Toplam	25,53	27,71	31,27	32,36	31,98	31,48

Toplam CH₄ emisyonlarının il bazındaki dağılımı incelendiğinde Şekil 1 deki durum karşımıza çıkmaktadır. Büyükbaş hayvan yetiştiriciliğinin en fazla olduğu Konya, Erzurum, İzmir Balıkesir ve Kars illerinde yıllık CH₄ emisyonları 2015 yılı için sırasıyla

72307; 62934; 55725; 50746 ve 43909 ton/yıl olarak hesaplanmıştır. Bu illeri yıllık 30000 ton değerini aşan CH₄ emisyonları ile Diyarbakır, Afyon, Ankara, Aydın ve Ağrı illeri izlemektedir.



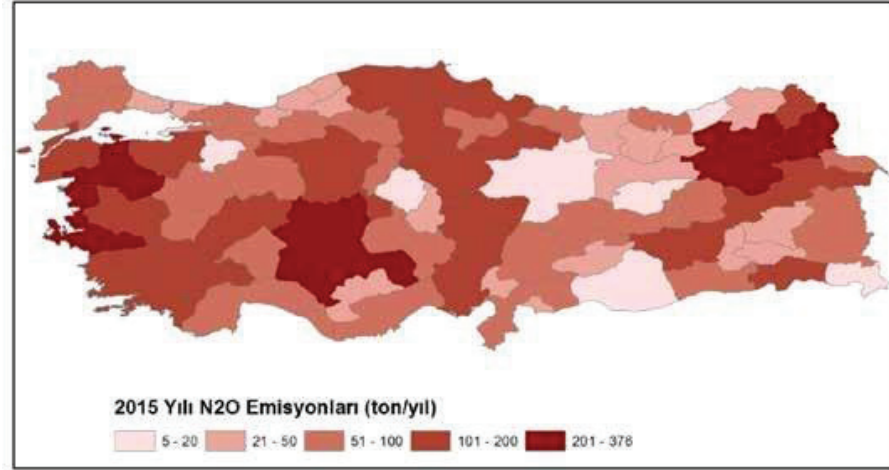
Şekil 1. 2015 Yılı için İl Bazında CH₄ Emisyonları (ton/yıl)

Hayvan sayılarına bağlı olarak N₂O ve CO₂e emisyonları da CH₄ emisyonlarına benzer bir dağılım göstermektedir (Şekil 2 ve 3). Konya, Erzurum, İzmir Balıkesir ve Kars

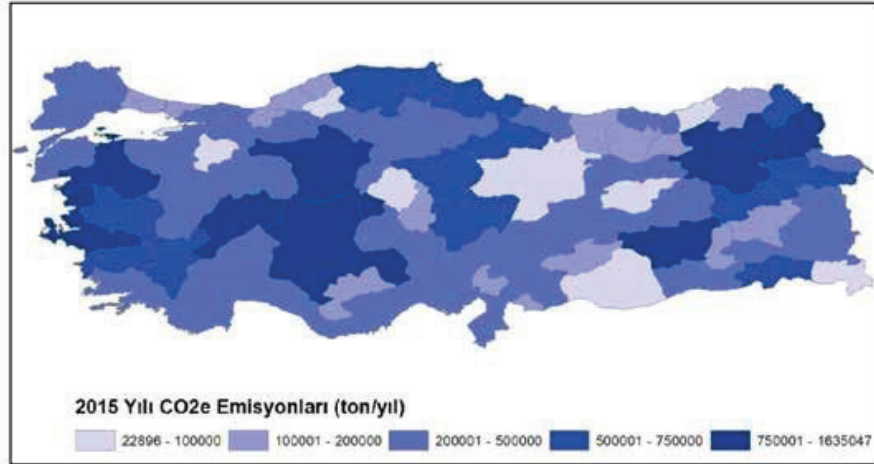
illerinde yıllık N₂O emisyonları 2015 yılı için sırasıyla 376; 326; 288; 265 ve 227 ton/yıl olarak hesaplanmıştır. Diğer taraftan üretilen yıllık sera gazı emisyonlarının CO₂e, Konya, Erzurum,



İzmir Balıkesir ve Kars illeri için ton olarak belirlenmiştir.
sırasıyla 1,6; 1,4; 1,2; 1,1 ve 0,9 milyon



Şekil 2. 2015 Yılı için İl Bazında N₂O Emisyonları (ton/yıl)

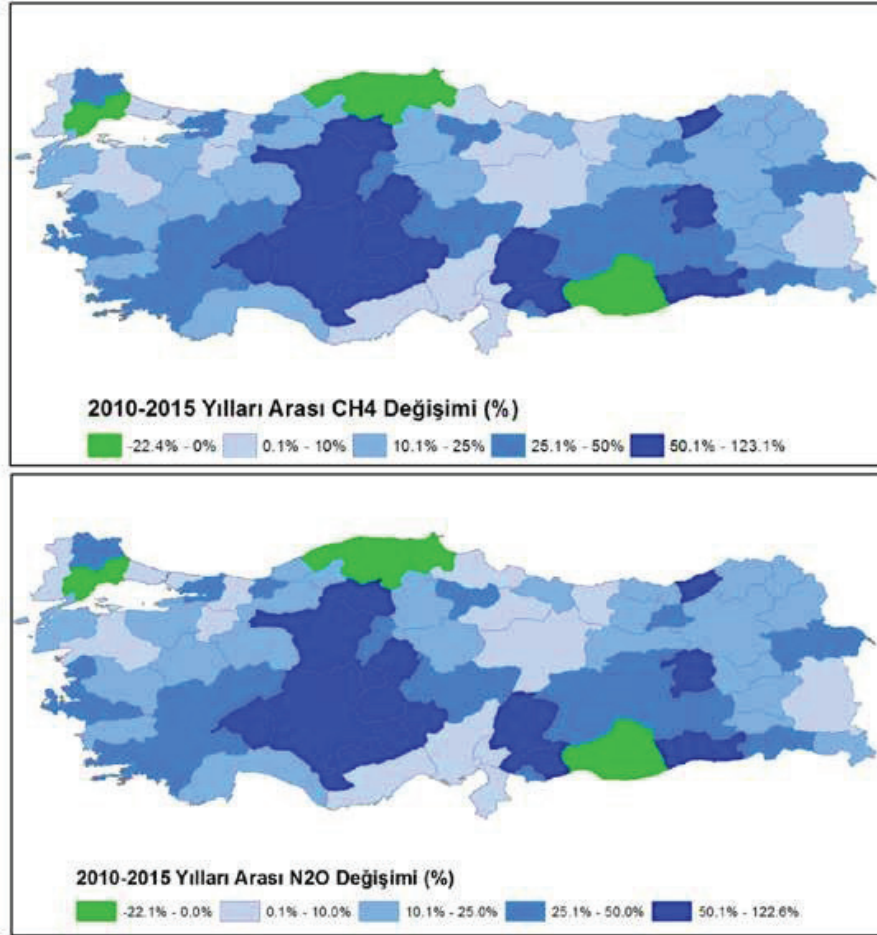


Şekil 3. 2015 Yılı için İl Bazında CO₂e Emisyonları (ton/yıl)

2010 ile 2015 yılları arasında ülke genelinde büyükbaş hayvan yetiştiriciliğinden kaynaklanan toplam sera gazı emisyonlarında artış ortaya çıkarken il bazındaki artışlar aynı şekilde gerçekleşmemiştir. Bazı illerdeki ekonomik ve sosyolojik

değişimler neticesinde artış ve azalmalar ortaya çıkmıştır. Urfa, Tekirdağ, Sinop, Kastamonu illerinde CH₄ ve N₂O emisyonlarında %22,4 - %0 aralığında azalma gösterirken bu emisyonlarda ki yükselme ise daha çok İç Anadolu bölgesinde görülmektedir.

Rize, Bingöl, Mardin illerinde de artışlar ise % 50-123 civarlarına ulaşmıştır.



Şekil 4. 2010 ve 2015 Yılları için CH₄ ve N₂O Emisyonlarının Değişimi (%)

4. DEĞERLENDİRME

Hayvancılık faaliyetlerinden kaynaklanan en önemli sera gazları metan ve azot oksittir. Esas olarak enterik fermantasyon ve hayvanların gübrelerinin depolaması ile üretilen metan, küresel ısınmaya karbon dioksitten 28 kat daha yüksek bir etkisi olan bir gazdır. Gübrelerin

depolanmasından kaynaklanan diazot monoksit, karbon dioksitten 265 kat daha yüksek bir küresel ısınma potansiyeline sahip bir moleküldür. Enterik fermantasyon ve hayvansal gübrelerden kaynaklanan sera gazlarına ek olarak, yem üretimi sonucu oluşan sera gazları hayvancılık sektörü için önemli bir noktadır. Yem



üretimi ve işlenmesi tüm sektörün yaklaşık %45'ine katkıda bulunmaktadır. Enterik fermentasyon %39'luk pay ile ikinci en büyük emisyon kaynağıdır. Hayvan gübrelerinden oluşan emisyonlar ise toplamın yaklaşık %10'unu oluşturur. Kalan %6 ise hayvansal ürünlerin işlenmesi ve nakliyesi sonucu açığa çıkmaktadır (Gerber et al. 2013).

Dünya'da da birçok ülke hayvancılık alanında farklı faaliyetlerde bulunmaktadır. 2014 yılında Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) tarafından yapılan çalışmalarda hayvancılıktan kaynaklanan CO₂e sera gazı emisyonları enterik fermentasyon ve hayvansal atıklar olarak belirlenmiştir. Enterik fermentasyondan kaynaklanan CO₂e emisyonunun ülke olarak en fazla oluşumu Brezilya'da olup ikinci sırayı Hindistan almakta ve onu Çin izlemektedir. Hayvansal atıklardan kaynaklanan CO₂e için ise en yüksek emisyonlar sırasıyla Çin, ABD ve Hindistan'da ortaya çıkmaktadır (FAOSTAT, 2017).

2014 yılında büyükbaş hayvanlardan kaynaklanan sera gazı emisyonları için toplam CO₂e Brezilya, Hindistan, Çin ve ABD için sırasıyla 262; 146; 132 ve 131 milyon ton olarak hesaplanmıştır

(FAOSTAT, 2017). Türkiye için ise bu değer 2014 yılı için enterik fermentasyon ve hayvansal atıklardan kaynaklanan CO₂e emisyonunu yaklaşık 32 milyon ton olarak hesaplanmıştır. Hayvansal kaynaklı sera gazı emisyonları Türkiye de diğer ülkelerden daha az oluşmaktadır.

KAYNAKLAR

- FAOSTAT, 2017, *Food and Agriculture Organization of the United Nations, Statistics Division*, <http://www.fao.org/faostat/en/#data/GM/visualize>, Erişim Tarihi: Temmuz 2017.
- Gerber, P.J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Faluccci, A., Tempio, G., 2013, *Tackling Climate Change through Livestock: A Global Assessment of Emissions and Mitigation Opportunities*, Rome, FAO.
- GMKA, 2019, *Güney Marmara Kalkınma Ajansı*, <https://www.gmka.gov.tr/dokumanlar/ppkb/istatistikler/IstihdamIsgucu%20%C4%B0statistikleri.xlsx>, Erişim Tarihi: Kasım 2019.
- Görgülü, M., Darcan, N., Göncü, S., 2009, *Hayvancılık ve Küresel Isınma, V. Ulusal Hayvan Besleme Kongresi (Uluslararası Katılımlı)*, 30 Eylül-3 Ekim 2009, Çorlu, Tekirdağ.



- IPCC, 2006, *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use.*
- Keskin, Y., Koçumoğulları, B., 2016, *Türkiye'deki Tarım ve Hayvancılık Sektörlerinden Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonlarının Belirlenmesi, Bitirme Projesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.*
- Köknaroğlu, H., Akunal T., 2010, *Küresel Isınmada Hayvancılığın Payı ve Zooteknist Olarak Bizim Rolümüz, Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 5(1), ss.67-75.*
- Nayeb, H., Mirabi, M., Motiee, H., Alighardashi, A., Khoshgard, A., 2019, *Estimating Greenhouse Gas Emissions from Iran's Domestic Wastewater Sector and Modeling the Emission Scenarios by 2030, Journal of Cleaner Production, 236, 117673.*
- TUIK, 2017, *Seragazi Emisyon İstatistikleri, 1990-2015, Sayı:24588, http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=24588, Erişim Tarihi: Temmuz 2017.*
- NASA, 2017, *Global Climate Change Vital Signs of the Planet, The Earth Science Communications Team at NASA's Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, https://climate.nasa.gov/effects/, Erişim Tarihi: Temmuz 2017.*
- Tolunay, D., 2013, *Ormanlar ve İklim Değişikliği, Portakal Baskı A.Ş., İstanbul.*

ÇBT YAZIM KURALILARI

1. Çevre Bilim Teknoloji (ÇBT) dergisinde yayımlanmak üzere araştırma makaleleri kabul edilmektedir.
2. Derginin yazım dili Türkçe'dir. Sadece Abstract kısmında İngilizce kullanılmalıdır.
3. Dergiye gönderilecek makaleler özel boyutlarda (195x275) kâğıtlara 1,5 aralıkla ve 12 punto Arial karakteriyle yazılmalıdır.
Makale uzunluğu 8.000 sözcüğü aşmamalıdır.
4. Özet ve Abstract kısımları Giriş Bölümü'nden önce verilmelidir. 100 -150 sözcük arasında ve somut bulguları özetler nitelikte hazırlanmalıdır.
5. Anahtar Sözcükler, en fazla altı sözcükten oluşmalı ve Türkçe ve İngilizce olarak Özet ve Abstract kısmının sonuna eklenmelidir.
6. Metin içerisinde kullanılan kısaltma ve semboller Özet ve Abstract kısmından sonra Giriş bölümünden önce liste halinde verilmelidir. Örneğin:
TEİAŞ Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi TÜİK Türkiye İstatistik Kurumu
UNSD United Nations Statistics Division
7. Makalede incelenen konunun yeri, önemi, çalışmanın amacı kısaca açıklandıktan sonra bu konuda daha önce yapılan çalışmalara atıfta bulunulmalı ve makaledeki konunun hangi boşluğu dolduracağı, katkısının ne olacağı belirtilmelidir. Bu bölümde, genel ve makale ile ilgili az bilgilerin verilmemesine özen gösterilmelidir.
8. Yapılan çalışma, ilgili literatür ışığında irdelenmeli ve sonuçlar kritik edilmelidir.
9. Yapılan çalışmada kullanılan yöntem/yöntemler açık ve net ifadeler ile belirtilmeli, ilgili kaynaklar verilmelidir.
10. Uzun literatür ve/veya altyapı bölümlerinden kaçınılmalıdır.
11. Çalışmada elde edilen sonuçlar yalın bir şekilde ifade edilmelidir.
12. Çalışma ile ilgili bir teşekkür yazılacak ise (destekleyen kurumlara veya yardımda bulunan kişilere) kaynaklar kısmından önce verilmelidir.
13. Makalelerde son bölüm olarak, atıfta bulunulan daha önceki çalışmaların bir listesini içeren kaynaklar bölümü olmalıdır.
14. Metin içerisindeki atıflar yazar isimleri ve tarihini belirtir şekilde, örneğin İngilizce ise (Angelidaki and Ahring, 1995), Türkçe ise (Aslanoğlu ve Aydınalp, 2011) olarak yapılmalıdır. Üç ya da daha fazla yazarlı çalışmalara atıflar, metin içerisinde İngilizce ise çalışma (Angelidaki and Ahring, 1995; Bhattacharya et al., 1996) şeklinde noktalı virgül ile ayrılmalıdır.
15. Kaynaklar bölümünde atıfta bulunulan çalışmalar yazarların soyadlarına göre alfabetik olarak sıralanmalı ve atıfta bulunulan her çalışma için çalışmanın yazarları, ismi, yayımlandığı dergi, cilt, sayı ve sayfa numarası ile birlikte yayımlanma yılı; internet kaynakları için vweb adresi ve erişim tarihi belirtilmelidir. Ayrıca aynı web adresinden aynı yıla ait birkaç atıfta bulunulacak ise metin içerisindeki sırasına göre örneğin TÜİK, 2010a; TÜİK, 2010b, şeklinde yazılmalıdır. Aşağıda Kaynaklar yazımına dair birkaç örnek verilmektedir:

Randall, A.W. and Dague, R.R., 1996, Enhancement of Granulation and Start-Up in the Anaerobic Sequencing Batch Reactor, Water Environment Research, Vol. 68/5, pp. 883 - 892. Snoeyink, V.L. and Jenkins, D., 1980, Water Chemistry, John Wiley & Sons, New York. Çöp Hizmetleri Yönetimi, 2001, Türkiye ve Orta Doğu Amme İdaresi Enstitüsü - TODAİE, Yerel Yönetimler Araştırma ve Eğitim Merkezi, No: 11, Ankara. Devlet Planlama Teşkilatı, 1998, Ulusal Çevre Eylem Planı, DPT Yayınları, Ankara.

TÜİK, 2010, Türkiye Sera Gazı Emisyon Envanteri, http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?tb_id=10&ust_id=3, Erişim Tarihi: 03.04.2010.

Kamu Yönetimi "Reformu", 2005, Bölge Kalkınma Ajansları Yasa Tasarısı Sempozyumu, YAYED-TMMOB Çevre Mühendisleri Odası Ankara Şubesi, Ankara.

16. Yazarı belli olmayan kaynaklarda belge adı ilk önce yazılmalı, daha sonra tarih, yayımcı veya belgenin alındığı eser, rapor ya da web sitesi belirtilmelidir.
17. Şekil ve Çizelgeler metin içerisinde uygun yerlere numaralandırılarak yerleştirilmelidir. Atıf yapılması gereken durumlarda ana metin içerisindeki atıf kuralları uygulanmalıdır. Çizelge başlıkları çizelgenin üst kısmında ve Şekil başlıkları şeklin alt kısmında verilmelidir. Başlıklar mümkün olduğunca kısa ve açıklayıcı olmalı ve başlıklarda 9 punto Arial kullanılmalıdır. Ana metin içerisinde verilen Şekiller, ilave olarak .eps, .pdf, .jpg, .psd veya .tiff formatlarında ve 14x20cm boyutunda ayrı bir dosya içerisinde gönderilmelidir. Ayrıca ana metin içerisinde verilen Çizelgeler .xls veya .xlsx formatında ayrı bir dosya içerisinde gönderilmelidir. Şekil ve Çizelgeler için hazırlanan dosyalardaki numaralandırmalar ana metin içerisindeki numaralandırmalar ile aynı olmalıdır.
Çizelge 1. Mevsimsel Sıcaklık Ortalamaları (MİGM,2011).
Şekil 5. Türkiye Siyasi Haritası (HGM, 1989).
18. Metin içerisindeki formüller numaralandırılarak verilmeli, formüllerde geçen sabit ve değişkenler formülden hemen sonra birimleri ile birlikte açıklanmalıdır. Örneğin:
$$x=y+z \quad (1)$$
19. Dergide yayımlanacak makalelerde SI birimleri kullanılmalıdır. Farklı birimler kullanmanın zorunlu olduğu koşullarda büyüklüğün SI sistemindeki eşdeğeri parantez içerisinde belirtilmelidir.
20. Yukarıda belirtilen yazım kurallarına göre hazırlanacak araştırma makaleleri elektronik cbt@cmo.org.tr veya editörlerin e-posta adreslerine gönderilmelidir. Ayrıca makale yazım kurallarına uygun olarak hazırlanmış metin şablonuna http://www.cmo.org.tr/yayinlar/dergi_goster.php?kodu=718 adresinden ulaşılabilir.

tmmob evre mühendisleri odası

www.cmo.org.tr