

# ULUSLARARASI GENEL ÇEVRE SORUNLARINA BAKIŞ

---

## Editörler

Meltem Sarioğlu Cebeci  
Derya Betül Ünsal Çelimli  
Ahmet Turan Bozpolat  
Turgay Bişgin



**ULUSLARARASI GENEL ÇEVRE SORUNLARINA BAKIŞ**  
Editörler: Meltem Sarıoğlu Cebeci - Derya Betül Ünsal Çelimli -  
Ahmet Turan Bozpolat - Turgay Bişgin

Yayın No.: 829  
ISBN: 978-625-433-086-5  
E-ISBN: 978-625-433-085-8  
Basım Sayısı: 1. Basım, Aralık 2021

© Copyright 2021, NOBEL BİLİMSEL ESERLER SERTİFİKA NO.: 20779  
Bu baskının bütün hakları Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic. Ltd. Şti.ne aittir.  
Yayınevinin yazılı izni olmaksızın, kitabın tümünün veya bir kısmının elektronik, mekanik ya da  
fotokopi yoluyla basımı, yayımı, çoğaltımı ve dağıtımı yapılamaz.  
Nobel Yayın Grubu, 1984 yılından itibaren ulusal ve 2011 yılından itibaren ise uluslararası düzeyde  
düzenli olarak faaliyet yürütmekte ve yayınladığı kitaplar, ulusal ve uluslararası düzeydeki  
yükseköğretim kurumları kataloglarında yer almaktadır.  
"NOBEL BİLİMSEL ESERLER" bir Nobel Akademik Yayıncılık markasıdır.

Genel Yayın Yönetmeni: Nevzat Argun -nargun@nobelyayin.com-  
Genel Yayın Koordinatörü: Gülfem Dursun -gulfer@nobelyayin.com-

Sayfa Tasarım: Samet Tekin -samet@nobelyayin.com-  
Redaksiyon: Evrim Korkmaz -evrim@nobelyayin.com-  
Kapak Tasarım: Sezai Özden -sezai@nobelyayin.com-  
Görsel Tasarım Uzmanı: Mehtap Yürümez -mehtap@nobelyayin.com-  
Baskı Sorumlusu: Yavuz Şahin -yavuz@nobelyayin.com-  
Baskı ve Cilt: Vadi Grafik Tasarım ve Reklamcılık Ltd. Şti. Sertifika No: 47479  
İvedik Org. San. 1420. Cad. No: 5B/1 Yenimahalle/ANKARA • Tel: 0 312 395 85 71

**Kütüphane Bilgi Kartı**

**Sarıoğlu Cebeci, Meltem., Ünsal Çelimli, Derya Betül, Bozpolat, Ahmet Turan., Bişgin, Turgay.**  
**Uluslararası Genel Çevre Sorunlarına Bakış /**  
Editörler: Meltem Sarıoğlu Cebeci - Derya Betül Ünsal Çelimli - Ahmet Turan Bozpolat - Turgay Bişgin  
1. Basım, VI + 192 s., 21x29,7 cm. Kaynakça var, dizin yok.  
ISBN: 978-625-433-086-5  
E-ISBN: 978-625-433-085-8  
1. Çevre Sorunları 2. Atıksu 3. Katı Atık 4. Enerji

**Genel Dağıtım**

**ATLAS AKADEMİK BASIM YAYIN DAĞITIM TİC. LTD. ŞTİ.**  
**Adres:** Bahçekapı Mh. 2465 Sk. Oto Sanayi Sitesi No:7 Bodrum Kat, Şaşmaz/ANKARA  
**Telefon:** +90 312 278 50 77 - **Faks:** 0 312 278 21 65 - **Sipariş:** siparis@nobelyayin.com-  
**E-Satış:** www.nobelkitap.com - esatis@nobelkitap.com / www.atlaskitap.com - info@atlaskitap.com  
**Dağıtım ve Satış Noktaları:** Alfa Basım Dağıtım, Arasta, Arkadaş Kitabevi, D&R Mağazaları, Dost Dağıtım,  
Ekip Dağıtım, Kıda Dağıtım, Kitapsan, Nezih Kitabevleri, Pandora, Prefix, Remzi Kitabevleri

# ÖN SÖZ



İklim değışikliği ve küresel ısınma bugün tüm dünyanın karşı karşıya kaldığı en önemli sorunlardır. İklim değışikliği Sanayi Devrimi'nden bu yana; fosil yakıtların aşırı kullanımı, arazi kullanımındaki değışiklikler, ormansızlaştırma ve çevre kirliliği gibi insan eliyle ortaya çıkan bir krizdir.

Küresel iklim krizi, nüfusu 8 milyara ulaşan ortak evimiz dünyanın sosyo-ekonomik dengelerini, milyonlarca yıllık ekolojik sistemlerin geleceğini ve insan hayatını doğrudan tehdit etmektedir. Dünyanın doğal düzeninin Sanayi Devrimi'nden sonraki 250 yıl boyunca radikal müdahalelerle bozulmasıyla birlikte; kara ve deniz buzları erimekte, deniz seviyesi yükselmekte, sıcak hava dalgalarının şiddet ve sıklığı artmakta, yağışlar, taşkınlar, heyelanlar ve kuraklıklar daha da şiddetlenmektedir.

Avrupa Birliği İklim Değişikliği Servisine göre; 2020 Kasım ayı, insanlık tarihinin en sıcak Kasım ayı oldu. 2020 yılı ise tarihteki en sıcak yıllar arasına girdiği bildirilmiştir. Ülkemizde aşırı hava olaylarının sıklığı her geçen gün artmakta, yaşanan afetler ne yazık ki can ve mal kayıplarına neden olmaktadır. Milletimizi derinden etkileyen bu kayıpların önüne geçmek için küresel, ulusal ve yerel ölçekli önlemlerin, sürdürülebilir kalkınma hedefleri doğrultusunda acilen alınması gerekmektedir.

Dünyamızı tehdit eden iklim değışikliği ile mücadeleyi ulusal ve uluslararası her platformda en yüksek sesle dile getiren Cumhurbaşkanımız Sayın Recep Tayyip Erdoğan'ın liderliğinde; insanlığın geleceği için şehirlerimizi iklim değışikliği kaynaklı afetlerin etkilerinden korumaya yönelik ciddi adımlar atılmış ve planlanmıştır.

Yerelde de Belediye Başkanlığı olarak gerekli önlemlerin alınması için iklim değişikliği eylem planlarının hazırlanması, yenilebilir enerji kaynakların kullanımının artırılması, sıfır atık ve çevre bilincinin oluşturulması, karbondioksit salınımının azaltılması gibi daha yaşanabilir bir dünya için birçok projeyi hayata geçirmiş bulunmaktayız.

İlimizin ve dünyamızın çevre sorunlarının tartışıldığı ve çözüm odaklı alternatif çalışmaların üretildiği “Uluslararası Genel Çevre Sorunlarına Bakış” isimli bilimsel çalışmalarda emeği geçen tüm arkadaşlarıma teşekkür ederim.

**Hilmi BİLGİN**

**Sivas Belediye Başkanı**

# İÇİNDEKİLER

<b>ÖN SÖZ</b> .....	iii
<b>ARAÇ YIKAMA ATIKSULARININ ARITILMASI</b> .....	1
Fehiman Çiner - Burak Anıl Şenbaş	
<b>ARITILMIŞ KENTSEL ATIKSULARIN SULAMADA YENİDEN KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI:</b> .....	11
<b>SİVAS ATIKSU ARITMA TESİSİ ÖRNEĞİ</b> .....	11
Şerife Yasemin Uygun - Meltem Sarıoğlu Cebeci	
<b>İÇME SUYU SİSTEMLERİNDE DYÜ OLUŞUMU VE KONTROL STRATEJİLERİ</b> .....	23
Nuray Ateş - Şehnaz Şule Kaplan Bekaroğlu - Gökhan Civelekoğlu	
<b>ALÜMİNYUM ELEKTROTLAR KULLANILARAK YÜRÜTÜLEN ELEKTROKOAGULASYON PROSESİ İLE TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ATIKSULARININ ARITILMASI VE PROSES İŞLETME KOŞULLARININ TAGUCHI DENEYSSEL TASARIM MATRİSİ İLE OPTİMİZASYONU</b> .....	35
Adil Akbey - Ömür Gökkuş	
<b>SULAK ALANLARIN HİDROJEOLOJİK AÇIDAN ÖNEMİ, TÖDÜRGE VE ULAŞ GÖLLERİ (SİVAS) ÖRNEĞİ</b> .....	49
Murat Şahin	
<b>ELEKTROKOAGÜLASYON PROSESİ İLE TEKSTİL ATIKSULARININ ARITIMI VE İŞLETME PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU</b> .....	63
Fuat Özyonar - Mehmet Utku Korkmaz	
<b>FARMASÖTİKLERİN ÇEVRESEL AKİBETLERİ, RİSKLERİ VE EKOTOKSİKOLOJİK ETKİLERİ: ÖRNEK ÇALIŞMA</b> .....	71
Ülker Aslı Güler - Betül Solmaz	
<b>ATIK YÖNETİMİ KATI ATIKLAR VE ÇEVRE</b> .....	83
Ayşe Kuleyin	
<b>ATIKLARIN YENİDEN KULLANIMI: YAPI MALZEMESİ ÜRETİM ÇALIŞMALARI</b> .....	95
Neslihan Doğan-Sağlamtimur	
<b>GERİ DÖNÜŞÜM ATIKLARININ YÖNETİMİNDE KARŞILAŞILAN SORUNLAR VE GERİ DÖNÜŞÜM BİLİNCİNİN GELİŞTİRİLMESİ İÇİN UYGULANAN PROJE ÖRNEKLERİ</b> .....	105
Köksal Sarıcaoğlu	

<b>SİVAS BELEDİYESİ ATIKSU ARITMA TESİSİ İÇİN ÖNERİLEN ÇAMUR GERİ KAZANIM/BERTARAF YÖNTEMLERİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ.....</b>	<b>117</b>
Turgay Bişgin - Ahmet Turan Bozpolat - Meltem Sarıoğlu Cebeci	
<b>ARITMA ÇAMURU BERTARAFI VE ALTERNATİF STRATEJİLER .....</b>	<b>139</b>
Sayiter Yıldız - Asaad Olabi	
<b>EVSEL ATIKSULARDAN ENERJİ, NÜTRİENT VE SU GERİ KAZANIMI .....</b>	<b>151</b>
Özlem Özcan - Erkan Şahinkaya - Niğmet Uzal	
<b>BİYOMETAN ÜRETİMİNDE NANOMALZEME ETKİSİ.....</b>	<b>161</b>
Ö. Begüm Gökçek - Hamdi Muratçobanoğlu - Fatma Muratçobanoğlu Ruhullah Ali Mert - Bilal Yıldırım - Sevgi Demirel	
<b>SİVAS İLİ ÇAYBOYU MAHALLESİ BÖLGESİNİN GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALİ KURULUMUNA UYGUNLUĞUNUN DEĞERLENDİRİLMESİ .....</b>	<b>171</b>
Ahmet Turan Bozpolat - Bilal Seçilmiş - Turgay Bişgin Harun Işık - Nurullah Topkaraoğlu	
<b>ENERJİ VE ÇEVRE BAKIŞ AÇISIYLA SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK .....</b>	<b>183</b>
Derya Betül Ünsal	

# ARAÇ YIKAMA ATIKSULARININ ARITILMASI

Fehiman Çiner<sup>1</sup> - Burak Anıl Şenbaş<sup>2</sup>

## ÖZET

Araç yıkama sektörü, çok miktarda su tüketen ve çok fazla kimyasal kullanımı gerektiren sektörler arasında yer almaktadır. Taşıt bakım-temizleme işlemlerinden olan araç yıkama neticesinde meydana gelen atıksu, kum ve toz, yüksek miktarda temizlik kimyasalları, yağ, hidrolik sıvı, boya kalıntıları, ağır metal, asfalt, tuzlar, yüzey aktif maddeler ve organik maddeler gibi herhangi bir arıtma işlemi yapılmadan doğrudan belediye atıksu arıtma tesisine deşarj edilen kirleticileri içermektedir. Bu kirleticiler insanlar ve sudaki yaşam için toksiktir. Bu bağlamda, ekosistemi korumak için araba yıkama atıksularının arıtımı esastır. Araba yıkama istasyonlarındaki atık suyun miktarı ve karmaşıklığı nedeniyle yeniden kullanım/geri dönüşüm önemli bir konudur. Araç yıkama endüstrisi bugün atıksu arıtımı ve su ıslahına duyulan ihtiyaç konusunda daha bilinçli olup geri dönüşüm faaliyetlerinden faydalanmaktadır. Bu çalışmada araba yıkamada uygulanan işlemler ve yıkama sırasında oluşan atıksuların özellikleri ve bu atıksuların arıtılmaları hakkında bilgi verilecektir.

**Anahtar kelimeler:** Araç Yıkama, Atıksu, Kirleticiler, Arıtma Teknolojileri,

## ABSTRACT

The car wash industry is among the industries that consume large amounts of water and require a lot of chemical use. Wastewater from vehicle washing, which are vehicle maintenance-cleaning process includes pollutants such as sand and dust, high amounts of cleaning chemicals, oil, hydraulic fluid, paint residues, heavy metal, asphalt, salts, surfactants and organic substances that are discharged directly to the municipal wastewater treatment plant without any treatment. These pollutants are toxic to humans and aquatic life. In this context, car wash wastewater treatment is essential to protect the ecosystem. Reuse/recycling is an important issue due to the amount and complexity of wastewater in car wash stations. The car wash industry today is more aware of the need for wastewater treatment and water reclamation and benefits from recycling activities. In this study, information will be given about the processes applied in car washing and the properties of wastewater generated during washing and the treatment of these wastewaters.

**Keywords:** Car Wash, Wastewater, Pollutants, Treatment Technologies

1 Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, 51240, NiğDE, Sorumlu Yazar ORCID ID: 0000-0002-9684-4392,

2 Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, 51240, NiğDE, ORCID ID: 0000-0002-6791-3539

### 1. GİRİŞ

Taşıt yıkama servislerinde; araç yıkama, motor yıkama ve diğer temizleme gibi işlemler neticesinde oluşan kullanılmış su, birçok kirletici parametrenin bir arada bulunduğu non-homojen toksik atıksu hâline gelir. Bu durum çevrenin kirlilik yükünün artmasına, mikrobiyal aktivitenin engellenmesine, çevre dengesinin bozulmasına, yeraltı sularının kirlenmesine ve toprağın biyolojik yapısının tahrip edilmesine sebep olmaktadır. Araç yıkama atıksularının düzensiz ve kontrolsüz bir şekilde kanalizasyon sistemine veya alıcı ortama deşarjı, kirliliğin daha geniş bir alanı etkilemesine yol açmaktadır. Bu tür işlemler neticesinde meydana gelen bu atıksular; alıcı su ortamı üzerinde son derece toksik etki göstermekte, yüksek miktarda biyokimyasal oksijen ihtiyacına neden olmaktadır. Bu toksik maddelerin sedimentlerde birikmesi uzun vadeli kirlenmeye yol açmakta ve zehirli maddeler, oksijen transferini engelleyerek balık ölümlerine de neden olmaktadır (Çetin ve Tandıroğlu, 2014).

Gelişmiş ülkelerde, araba yıkama endüstrisi geri dönüşüm ihtiyacının bilincindedir. Gelişmekte olan ülkeler, araba yıkama endüstrileri tarafından üretilen atık suları için bilinçli bir şekilde gelişme aşamasındadır. Sokakta yıkanan arabalar; akarsuları, nehirleri, koyuları ve haliçleri kirletmektedir (Şenbaş, 2018).

Araç yıkama istasyonlarından kaynaklanan atık sular, doğrudan belediye kanalizasyon arıtma tesisine deşarj edilen kum ve toz, serbest yağ, gres, yağ/su emülsiyonu, karbon, asfalt, tuzlar, yüzey aktif maddeleri ve organik maddeler gibi birçok yabancı madde içermektedir. Araba başına ortalama 100 L su üretilmesi ve günde bir araba yıkama istasyonundan en az 10 m<sup>3</sup> su tahliye edilmesi hâlinde, şehirde çok miktarda su tüketilmektedir. Suyun miktarı ve su kalitesinin karmaşıklığı nedeniyle, çevre koruma ve su kaynaklarının etkin kullanımı açısından, araç yıkama suyunun tekrar kullanılması önemli bir konudur. Ayrıca, araç yıkama istasyonunun sınırlı alanı ve araç yıkama için yüksek yeniden kullanım suyu kalitesi nedeniyle küçük bir alan ve yüksek verimli işlemler gereklidir (Bhatti vd., 2011).

Araç yıkama endüstrisi bugün atıksu arıtımı ve su ıslahına duyulan ihtiyaç konusunda daha bilinçli olup, geri dönüşüm faaliyetlerinden faydalanmaktadır. Suyun miktarı ve su kalitesinin karmaşıklığı nedeniyle, çevre koruma ve su kaynaklarının etkin kullanımı açısından, araba yıkama suyunun tekrar kullanılması önemli bir konudur.

Bu çalışmada araç yıkamada uygulanan işlemler ve yıkama sırasında oluşan atıksuların özellikleri ve bu atıksuların arıtılmaları hakkında bilgi verilecektir.

### 2. ARAÇ YIKAMA İŞLEMLERİ VE KULLANILAN SU MİKTARI

Araç yıkamanın tarihi araçlar kadar eskidir. Geçmişte insanlar arabalarını evlerinin arka bahçelerinde ya da diğer uygun yerlerde elle yıkarlarken günümüzde belirlenmiş alanlardaki mekanik cihazlar çoğunlukla bu görevi yerine getirmektedir (Çetin ve Tandıroğlu, 2014). Profesyonel otomobil yıkamaları, ilgili inşaat ve yıkama teknolojilerine bağlı olarak farklı tiplere ayrılmaktadır (Janic ve Kupiec, 2007). Araba yıkama tesislerinde genellikle otomatik ve self servis yıkama ol-



## Araç Yıkama Atıksularının Arıtılması

mak üzere iki tür servis vardır (Malinen vd., 2012). Günümüzde, araç yıkama endüstrisindeki teknolojik gelişmeler, yeni yıkama teknolojileri (dokunmatik ve hibrit yıkama teknolojisi), ileri su geri dönüşüm sistemleri (biyolojik su arıtımına dayalı), suyu tuzdan arındırma ve arıtma (ters ozmoz ile) ve ekolojik ve ekonomik yenilikler (örneğin, enerji tasarrufu) gibi spesifik kategorilere ayrılmaktadır (Janic ve Kupiec, 2007).

Araçların personel tarafından yıkandığı oto yıkamacılar, jeton kullanılan ve oto yıkama işlemini müşterinin gerçekleştirdiği oto yıkamalar, benzin istasyonlarındaki sabit bir düzenek üzerindeki oto yıkama işletmeleri ve aracı oto yıkama mekanizmasında yürüten tünel oto yıkama platformları şeklinde sınıflandırılabilir. Titiz araç sahipleri; fırça ile yapılan oto yıkama işlemlerini tercih etmediğinden, bugün oto yıkama makinaları ve sistemlerinin gelişmesi sonucu fırçasız oto yıkamalar tercih edilmektedir. Yıkama teknolojisindeki gelişmeye bağlı olarak susuz oto yıkama sistemlerindeki oto yıkama makineleri ile yıkama şampuanı kullanılarak araç üstündeki kirler ve pislikler uzaklaştırılmaktadır. Diğer bir yıkama şekli bozuk para veya jeton kullanılarak işletilen oto yıkama tesisleridir. Bu işletmelerde; yıkama işleminden önce araç, bir oto yıkama istasyonuna park edilir. Konveyörlü bir araç yıkama tesislerinde döner başlıklı fırçalardan yararlanılmaktadır. İlk otomatik oto yıkama tesisleri, 1940'li yıllarda ortaya çıkmış olup konveyörlü otomatik oto yıkama tesisleri, tünel benzeri oto yıkama istasyonlarına benzemektedir (Çetin ve Tandiroğlu, 2014). Şekil 1'de sektörde kullanılan araç yıkama şekilleri verilmiştir.



**Şekil 1. Araç yıkama sektöründe kullanılan araç yıkama şekilleri (Fikri ve diğ., 2020)**

Oto yıkama hizmeti veren tesisler, su ve enerji kaynaklarının kullanımında dikkatli olmalıdırlar. Profesyonel oto yıkama malzemeleri tercih edildiğinde oto yıkamanın çevreye etkisi daha sınırlı

## Uluslararası Genel Çevre Sorunlarına Bakış

bir alanda kalmaktadır. Gelişmiş oto yıkama makinaları, teknoloji sayesinde su kullanımını azaltabilmektedir. Oto yıkamacılar, yüzey sularının kirlenmemesi için atık suyu doğru yerlere yönlendirmelidir (Çetin ve Tandıroğlu, 2014).

Araba yıkama tesislerinde genellikle otomatik ve self servis yıkama olmak üzere iki tür servis vardır. Genel olarak, otomatik yıkamada her bir araba için 200 L su kullanılırken kendi kendine hizmet veren bir yıkamada ise 40 ila 50 L su kullanılmaktadır (Boluarte vd., 2016). Atık su arıtımı olmayan araba yıkama tesisinde araba başına ortalama su tüketimi 200–500 L iken yüksek yıkama kapasitesine sahip tünellerde ise su tüketimi yaklaşık olarak 100-250 L /yıkamadır (Malinen vd., 2012). Bu durum binlerce litre atık su oluşumuna yol açmaktadır. Bu nedenle, bir araba yıkama tesisi yüksek hacimde su tüketir ve sonuç olarak çok sayıda kirlenici içeren atık su üretir (Rodriguez Boluarte vd., 2016; Mallick ve Chakraborty, 2019). Araba yıkama tesisinin tipine ve bir aracın büyüklüğüne bağlı olarak her yıkama işlemi için ortalama 150-600 L atıksu üretilmektedir (Lau vd., 2013). Tablo 1’de araç türüne göre yarı otomatik ve manuel yıkamada kullanılan su miktarları verilmiştir.

**Tablo 1. Araç türüne göre yarı otomatik ve elle yıkamada kullanılan su miktarları (Ghalay vd., 2021)**

Araç türü	Yarı otomatik yıkama istasyonları	Elle yıkama istasyonları
Motorlu Bisikletler	105 ± 59	70 ± 38
Salon Arabaları	139 ± 64	188 ± 69
Suv ve Pikaplar	183 ± 104	236 ± 97
Otobüs ve Minibüsler	236 ± 77	365 ± 178
Ağır Araçlar	1139 ± 655	-
Greyder ve Yükleyiciler	1129 ± 1381	-

### 3. ARAÇ YIKAMA ATIKSULARINDAKİ KİRLİTİCİLER VE ATIKSULARIN ÖZELLİKLERİ

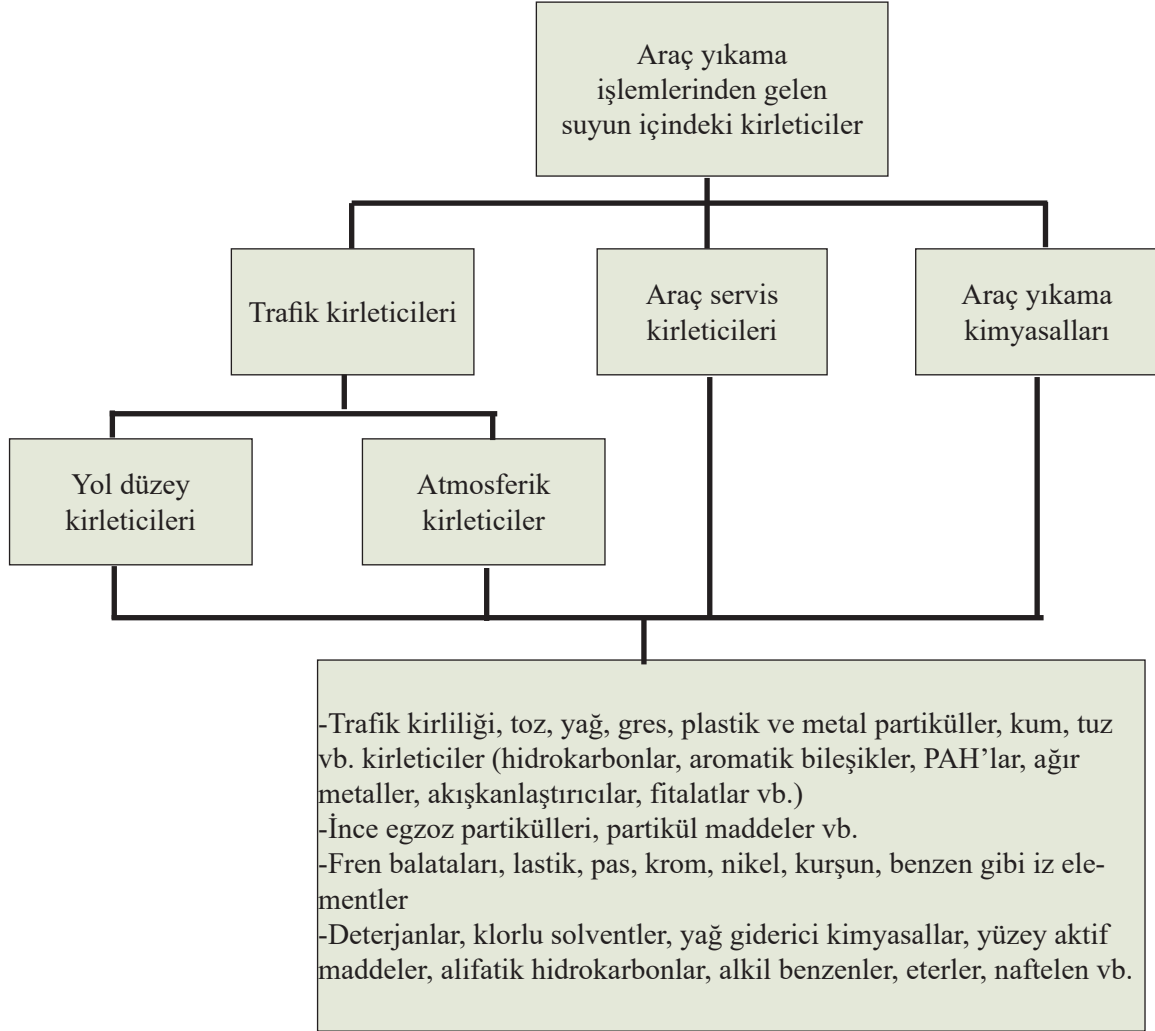
#### 3.1. Araç Yıkama Atıksularındaki Kirlenitciler

Dünyadaki motorlu araç sayısı 2021 yılında 1.42 milyara ulaşırken 2021 Nisan ayı TÜİK verilerine göre Türkiye’de yaklaşık olarak 24.5 milyon motorlu araç bulunmaktadır. Türkiye’de trafiğe kayıtlı taşıtların %54,4’ünü otomobil, %16,3’ünü kamyonet, %14,5’ini motosiklet, %8,1’ini traktör, %3,5’ini kamyon, %2,0’ini minibüs, %0,9’ünü otobüs ve %0,3’ünü özel amaçlı taşıtlar oluşturmaktadır (TÜİK, 2020).

Motorlu taşıtlar tarafından üretilen çevresel problemler; yakıt tüketimi, egzoz emisyon kirliliği, katı atık ve sıvı atıklardır. Bazı durumlarda servis sağlayıcıların açığa çıkardıkları atıklar şehir içi kirliliğe sebep olarak deşarj edilerek yağmur suyu ve şehir kanalizasyon sistemlerine verilmektedir. 2000’li yıllarda araç yıkama teknik ve stratejilerinde önemli çalışmalar yapılmıştır. Türkiye’de %50 civarında araç yıkayıcının, araçlarını evlerinde ya da uygun alanlarda el ile yıkadığı tespit edilmiştir. Günümüzde belirlenmiş alanlardaki mekanik cihazlar çoğunlukla bu görevi yerine ge-

## Araç Yıkama Atıksularının Arıtılması

tirmektedir ve her durumda, aracı temizlemek için kullanılan su kirlenmektedir. Arabalardan gelen yıkama suyunda yer alan çeşitli kirlilik kaynakları Şekil 2’de gösterilmiştir.



**Şekil 2. Araba yıkamadan kaynaklanan sudaki kirleticilerin kaynakları (Janic ve Kupiec, 2007)**

Ev önlerinde ve garajlarda araç yıkama sonucu meydana gelen kirli atık suyun nereye gittiği veya ne kadar suyun boşa harcandığının birçok kişi farkında değildir. Ev önlerinde araç yıkamada kullanılan deterjanlı ve kirli su direkt çevreye veya yağmur suları için yapılmış yağmur suyu sistemine girer. Araç yıkama ile oluşan atıksu çevre kirliliğine neden olabilecek sabun, deterjanlar, çamur, lastik ve yağ gibi maddeler içerir. Bu maddelerin yağmur suyu sistemine girmesi sonucu kirlilik göller, nehirler, limanlar ve okyanuslara kadar ulaşabilmektedir. Ülkemizde her aracın ayda bir defa yıkandığı baz alındığında ve yağmur suyu sistemine 40 litrenin üzerinde kirli suyun (5 kova) atıldığı kabul edildiğinde yılda;  $18.000.000 \times 12 \times 40 = 86.400.000.000$  litre kirli su yağmur suyu sistemine girmektedir (Çetin ve Tandiroğlu, 2014).

### 3.2. Araç Yıkama Atıksularının Özellikleri

Araç yıkama sektörü, çok miktarda su tüketen ve çok fazla kimyasal kullanımı gerektiren sektörler arasında yer almaktadır. Oto yıkama tipine ve otomobilin boyutuna bağlı olarak, her bir oto yıkamada ortalama 150-600 L tatlı su tüketilmektedir. Araç yıkama atıksuları deterjanlar, fosfatlar, mumlar, petrol gibi çeşitli kirleticiler ve bu atık suları toksik sucul yaşam hâline getiren çok çeşitli hidrokarbonlar içerebilir. Ayrıca, araba yıkama atıklarındaki yağ ve gres, karbon, asfalt, tuzlar, amonyum bileşikleri, ağır metaller, asitler ve mikroorganizmalar gibi organikler de endişe duyulan kirleticiler arasındadır.

Yıkama yöntemine ve yıkanan aracın boyutuna ve tipine bağlı olarak araba yıkama atıksularının bileşimi önemli ölçüde değişebilir (Gönder vd., 2019). Atıksuyun bileşimi büyük ölçüde otomobil ve hizmet türüne bağlı olsa da, en önemli karakterler şu şekilde bilinmekte ve ölçülmektedir. toplam çözülmüş katılar (TÇK) ~ 644 mg / L, toplam katılar (TK) ~ 5856 mg / L, bulanıklık = 772 NTU, kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) = 1019 mg / L, tuz %1.5-2.5 ve yağ 84 mg/L. Araba yıkama atıksuları ayrıca hidroflorik asit, amonyum biflorür, boya kalıntıları, kauçuk, fosfatlar ( $PO_4^{-3}$ ) ve uçucu organik bileşikler (UOB'ler) gibi çeşitli kimyasallar da içerebilir (Medel vd., 2019). Emülsifiye yağlar ve askıda katı maddeler, kanalizasyon sistemi için araba yıkama atıksularının tehlikeli kirleticileri olarak kabul edilmektedir (Sarmadi vd., 2020). Araç yıkama işlemi sonucu oluşan atıksuların karakterizasyonu Tablo 2'de verilmiştir.

**Tablo 2. Araç yıkama atıksularının karakterizasyonu**

Parametreler	Tekere vd. (2016)	Beril Gönder vd. (2017)	Emamjomeh vd. (2019)	Monney vd. (2020)
pH	7.2-8.6	8,0	7.7-8.2	7.6-8.6
AKM (mg/L)	16-1058	2300	-	1260-3416
Toplam çözülmüş madde (mg/L)	188-686	-	-	141-233
Bulanıklık (NTU)	264-314	-	137-2250	1155-3649
BOI (mg/L)	27-650	-	-	348-572
KOI (mg/L)	-	560	229-1446	990-1413
Nitrat (mg/L)	-	-	-	2.9-5.0
Fosfor (mg/L)	-	-	-	6.2-9.7
İletkenlik ( $\mu$ s/cm)	28.1-122	980	250-1890	284-464
Yağ-gres (mg/L)	-	125	-	-
Yüzey aktif maddeler (mg/L MBAS)	-	35	25-353	-
Sülfat (mg/L)	6-184	-	-	40.8-69.8

### 4. ARAÇ YIKAMA ATIKSULARININ ARITILMASI

Taşıt yıkama ve parça yıkama işlemlerinden kaynaklanan atıksular, oldukça yüksek miktarda kimyasal, yağ, askıda katı madde ve deterjan içermektedir. Bu maddeler su kaynaklarında istenmeyen tad ve koku oluşuma sebep olurken çamur çürütme işlemlerinde bakteriyel aktiviteyi de engellemektedir (Çetin ve Tandiroğlu, 2014). Herhangi bir işlem görmeden doğrudan belediye arıtma

## Araç Yıkama Atıksularının Arıtılması

tesisine deşarj edilen insanlar ve sudaki yaşam için toksik özellikte çeşitli kirleticileri içeren araç yıkama atıksularının ekosistemi korumak için arıtılması gerekmektedir (Zaneti vd., 2012). Suyun miktarı ve su kalitesinin karmaşıklığı nedeniyle, çevre koruma ve su kaynaklarının etkin kullanımı açısından, araba yıkama suyunun arıtılması ve tekrar kullanılması önemli bir konudur. Son yıllarda atık suyun arıtılması ve yeniden kullanılması işlemlerini geliştirmek için membran teknolojileri kullanılmaktadır.

Araç yıkama atıksularının arıtılması için etkili ve ekonomik olabilen filtrasyon, yumaklaştırma, adsorpsiyon, elektrokoagülasyon, ileri oksidasyon prosesleri, membran teknolojileri gibi çeşitli yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yöntemler ve konu ile ilgili literatür özeti aşağıda sunulmuştur.

Membranlar, seçici bir şekilde ayırmanın ve taşınmanın gerçekleştirildiği yarı geçirgen bariyer olarak tanımlanabilir. Membranların temel kullanımları endüstriyel gazların ayrılması, su ve atıksuların arıtılmasının yanısıra, sıvı çözeltilerden, havadan ve endüstriyel baca gazlarından partikül maddelerin ayrılması gibi diğer önemli birçok uygulamada kullanılmaktadır. Genel olarak ultrafiltrasyon da dâhil olmak üzere atıksu arıtımında yaygın olarak kullanılan membran teknolojileri nanofiltrasyondur. Oto yıkama atık suyunda, genellikle yağ emülsiyonu ana kirleticidir. Nanofiltrasyonun ultrafiltrasyona göre toplam organik kirleticilerin %98'ini giderdiği görülmüştür.

Adsorpsiyon, molekül iyon veya atomların bir katı yüzeyinde tutunması olayı olup katı veya sıvı yüzeyindeki konsantrasyon değişmesi şeklinde de tanımlanır. Adsorpsiyon, atık suların arıtılmasında düşük maliyetli olduğu için tercih edilen bir arıtma yöntemidir (Çiçekçi, 2019). Tasarımı ve uygulaması basit olduğundan, toksik kirleticilere karşı duyarlı olmadığından ve zararlı maddelerin oluşmasına yol açan bir proses olmadığı için diğer arıtma yöntemlerinden üstün bir prosestir (Erkurt, 2006).

Yağ su ayırımı için havalandırma işlemini içeren kimyasal oksidasyonda, hidrojen peroksit yardımıyla kirleticiler uzaklaştırılır. Hidrojen peroksit yardımı ile pozitif yüklü polinükleer türler, kolloidlerle reaksiyona girer ve hidrojen peroksit, oto yıkamadaki kimyasal oksijen ihtiyacı konsantrasyonunu azaltır (Kaynak). Tüm süreçlerden geçtikten sonra toplam KOI %93 oranında azalmıştır. Hidrojen peroksit ile daha fazla işlem, daha sonra havalandırma işlemlerinin eklenmesi, su maliyetini azaltmaktadır (Nadzirah vd., 2015).

Endüstriyel atıksuların birçoğu, çok yavaş bozunan ya da biyobozunamayan organik maddeleri içermektedir. Klasik atıksu arıtım yöntemleri ile biyolojik arıtmaya dirençli organik bileşikleri uzaklaştırmak güçtür. Bu nedenle, ileri oksidasyon prosesleri (İOP), bu organik kirleticileri indirgemek ve hatta mineralize etmek için yüksek verim sağlayarak alternatif bir yöntem hâline gelmiştir (Garcia-Segura vd., 2016). İleri oksidasyon prosesleri hidroksil radikalleri ile oksidasyon reaksiyonları yoluyla organik kirleticilerin uzaklaştırılmasında oldukça etkindir (Gogal vd., 2018; Kaya, 2018).

Elektrokoagülasyon, su ve atıksulardan kirlilik giderimi için alternatif bir tekniktir. Bu proses, akımın bir koagülasyon ajanı ile gaz kabarcıkları ürettiği bir reaktör tank içinde kullanılan elektrotlara bir elektrik akımı uygulanmasını içerir. Elektrokoagülasyon özellikle geçiş metallerin (bakır, demir) elektrot olarak kullanıldığı durumlarda, redoks reaksiyonlarını, koagülasyon-flokülasyonu ve

## Uluslararası Genel Çevre Sorunlarına Bakış

adsorbsiyonu kapsayan, dolayısıyla oldukça karmaşık bir arıtım mekanizmasına sahip, gelişmekte olan bir ileri arıtma prosesidir (Danacı, 2012).

Koagülasyon, kolloidal ortam içindeki yüklü partiküllerin zıt yüklü iyonlarla karşılıklı çarpışması ile nötralize edilip bir araya toplanarak çökelmelerin sağlanması olayıdır. Bu amaçla, uygun kimyasal maddeler ilave edilir. Alüm gibi bir kimyasal madde atıksuların arıtımı için uzun sürelerden beri geniş ölçüde kullanılmıştır. Flokülasyon yöntemi, herhangi bir sıvı içerisinde çökmeden askıda duran veya çok yavaş çöken ve bu nedenle bulanıklığa sebep olan ince boyutlu katı taneciklerin, yüksek molekül ağırlıklı organik polimerlerin (flokülant) ortama ilavesiyle bir araya getirilip hızlı çöktürülmesi işlemleridir.

### 4.1. Literatürdeki Çalışmalar

Bahatti vd., (2011) tarafından yapılan çalışmada, yüksek miktarda yağ ve gres içeren araba yıkama atıksuları havalandırılarak, yağ ve gres giderilmiştir. Birincil arıtımda koagülant olarak alüm kullanılmış, KOİ' de %93 ve bulanıklıkta %97 giderim verimi sağlanmıştır.

Araba yıkama atıksuyunun tam ölçekli bir tesiste arıtımı ve geri dönüşümüne ilişkin sonuçlar Zaneti vd., (2011) tarafından yapılan çalışma ile elde edilmiştir. Kullanılan teknik, yeni bir flokülasyon kolon flotasyonu (FCF), kum filtrasyonu ve son klorlamayı içermektedir. Sonuçlar, su kullanımı ve tasarruf sayesinde (20 hafta) neredeyse %70 ıslahın mümkün olduğunu ve yıkama başına 40 L'den az tatlı su elde edildiğini göstermiştir.

Boluarte vd. (2016) tarafından yapılan araba yıkama atık suyunun arıtılması için bir membran biyoreaktör (MBR), koagülasyon ve ozonlama gibi çeşitli işlem proseslerinin incelendiği çalışmada; ozonlamanın, kimyasalların ve askıda katı maddelerin uzaklaştırılmasında etkili olduğu ve koagülasyon işleminden daha verimli olduğu bulunmuştur. MBR sistemi aklime edildiğinde, %100 AKM, %99,2 KOİ, %97,3 TOK ve %41 amonyak giderimi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma, MBR'nin aynı araba yıkama istasyonunda tekrar kullanılabilir araba yıkama atık sularının geri dönüşümü için potansiyel olarak ümit verici bir arıtma sistemi olduğunu göstermektedir.

Zayadi (2017) tarafından yapılan toz ve granüler şeker kamışı aktif karbonu ile araç yıkama atıksularındaki kirleticilerin giderilmesi performansının değerlendirildiği çalışmada; kimyasal aktivasyon yoluyla hazırlanan aktif karbon ile %52 KOİ ve %41 yağ ve gres giderimi elde edilmiştir.

Beril Gönder vd. (2017), Fe ve Al elektrotları ile elektrokoagülasyon (EC) işlemini kullanarak araba yıkama atık suyunun elektrokimyasal olarak arıtımını araştırmıştır. Başlangıç pH (2-10), akım yoğunluğu (0.1-5 mA/cm<sup>2</sup>) ve çalışma süresi (5-50 dk) gibi çalışma koşullarının kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), yağ-gres, klorür giderme verimleri ve ayrıca toplam işletme maliyetleri üzerindeki etkileri çalışılmıştır. Optimum koşullar altında KOİ, yağ-gres ve klorür giderim verimleri Fe için %88, %90 ve %50 ve Al elektrotlar için %88, %68 ve %33 olarak elde edilmiştir. Bu çalışma, araba yıkama atıksularından daha yüksek KOİ ve yağ-gres giderimi için Fe elektrot kullanan EC prosesinin uygun bir teknoloji olması gerektiğini ortaya koymuştur.

Sürekli sistem deneyleri yapılan ve Fenton ve Foto-Fenton yöntemleri arasında karşılaştırmaların yapıldığı Magnogo vd. (2018) tarafından yürütülen çalışmada, arıtma etkinliği ince-

## Araç Yıkama Atıksularının Arıtılması

lenmiştir. Foto-Fenton işlemi, KOİ gideriminin yaklaşık %93'ünü gerçekleştirirken Fenton prosesi %83 verime ulaşmıştır. Bu durum, İOP'nin alternatif bir yöntem olarak ya da araba yıkama atık sularının arıtılması için geleneksel tekniklerle birlikte kullanılabileceğini göstermektedir.

Suprawihadi vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada, 12 V'luk elektrotların 30 dakika süresince kullanılmasıyla ortalama %54,7 KOİ giderimi ve 60 dakikalık temas süresinde %75 KOİ giderim verimi elde edilmiştir. Yağdaki ortalama azalma, 30 dakikalık bir temas süresinde %32,6, 60 dakikalık temas süresinde %64,3 elde edilmiştir. Deterjandaki azalma 30 dakikalık temas süresinde %13,3 ve 60 dakikalık temas süresinde %63,1 olmuştur.

## 5. SONUÇ

Araba yıkama istasyonları, günlük olarak büyük miktarda su tüketen ve modern yaşamda insanların düzenli olarak arabalarını yıkamalarında büyük bir rol oynayan tesislerdir. Araç yıkama, yüksek miktarda yüzey aktif madde, yağ, gres, wax ve diğer kirleticilerin bulunduğu atıksu üreten kimyasalların kullanımını içeren ve bu atıkları sucul yaşam için toksik hâle getiren bir işlemdir. Günümüzde; dünya nüfusunun %40'ını barındıran 80 ülke su sıkıntısı çekmektedir. Ülkemizde ise tatlı su kaynaklarımız bol değil ancak yeterlidir. Su kaynaklarını dikkate aldığımızda, aracımızı oto yıkama tesislerinde yıkamalı veya hortum kullanmak yerine, kovaya su doldurarak yıkama işlemini kendimiz uygulamalıyız.

Unutmamalıyız ki; gereksiz yere harcadığımız her damla su, nehirlerin kurummasını, balıkların tükenmesini, barajların boşalmasını hızlandıracaktır.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi Koordinatörlüğü'nce MMT 2021/4-2a numaralı Lisansüstü Tez Projesi olarak desteklenmiştir.

## 6. KAYNAKLAR

Ahmad, J., Umar, M., Karim, S. S., Amaduddin, M., Akhtar, K., Shah, F., Hussain, A., "Design of a car wash waste water treatment process for local car wash stations", Journal of Pakistan Institute of Chemical Engineers, 45(2), 83-95, 2017.

Beril Gönder, Z., Balcıoğlu, G., Vergili, I., Kaya, Y. "Electrochemical treatment of carwash wastewater using Fe and Al electrode: Techno-economic analysis and sludge characterization", Journal of Environmental Management, 200, 380-390, 2017.

Bhatti, Z. A., Mahmood, Q., Raja, I. A., Malik, A. H., Khan, M. S., Wu, D., "Chemical oxidation of carwash industry wastewater as an effort to decrease water pollution", Physics and Chemistry of the Earth, 36, 465-469, 2011.

Boluarte, I. A. R., Andersen, M., Pramanik, B. K., Chang, C. Y., Bagshaw, S., Farago, L., Jegatheesan, V., Shu, L., "Reuse of car wash wastewater by chemical coagulation and membrane bioreactor treatment processes", International Biodeterioration & Biodegradation, 113, 44-48, 2016.

## Uluslararası Genel Çevre Sorunlarına Bakış

- Çetin, M., Tandıroğlu, A., Araç yıkamanın su ve çevresel kirlilik üzerine etkileri, 2nd International Symposium on Environment and Morality, 24-26 October 2014, Adıyaman University, Adıyaman-Turkey, 192-203, 2014.
- Emamjomeha, M. M., Jamalia, H. A., Naghdalib, Z., Mousazadeha, M., “Carwash wastewater treatment by the application of an environmentally friendly hybrid system: an experimental design approach”, *Desalination and Water Treatment* 160, 171–177, 2019.
- Fikri, E., Shabrina Putri, A.N., Prijanto, T.B., Syarief, O., “Study of liquid waste quality and potential pollution load of motor vehicle wash business in Bekasi City (Indonesia)”, *Journal of Ecological Engineering* 21(3), 128–134, 2020.
- Gönder, Z. B., Balcıoğlu, G., Kaya, Y., Vergili, I., “Treatment of carwash wastewater by electrocoagulation using Ti electrode: optimization of the operating parameters”. *Int J Environ Sci Technol.*, 16, 8041–8052, 2019.
- Janic, H. Kupiec, A., “Trends in Modern Car Washing”, *Polish J. of Environ. Stud.* 16(6), 927-931, Letter to Editor, 2007.
- Lau, W. J., Ismail, A. F., Firdaus, S., “Car wash industry in Malaysia: Treatment of car wash effluent using ultrafiltration and nanofiltration membranes”, *Separation and Purification Technology*, 104, 26-31, 2013.
- Mallick, S. K., Chakraborty, S., “Bioremediation of wastewater from automobile service station in anoxic-aerobic sequential reactors and microbial analysis”, *Journal of Chemical Engineering*, 361, 982-989, 2019.
- Magnago, R. F., Berselli, D., Medeiros, P., “Treatment of wastewater from car wash by Fenton and photo-Fenton oxidative processes”, *Journal of Engineering Science and Technology*, 13(4), 838-850, 2018.
- Malinen, E., Id, N., Valtonen, S., Hakala, J., Mononen, T., Kostia, S., Biological treatment of car wash waste waters-A reduction survey, *Linnaeus ECO-TECH 2012*, November 26-28, Kalmar-Sweden, 2012.
- Medel, A., Ramírez, J.A., Cárdenas, J., Sires, I., Meas, Y., Evaluating the electrochemical and photoelectrochemical production of hydroxyl radical during electrocoagulation proces, *Separation and Purification Technology*, 208, 59-67, 2019.
- Monney, I., Donkor, E. A., Buamah, R., “Clean vehicles, polluted waters: empirical estimates of water consumption and pollution loads of the carwash industry”, *Heliyon* 6, e03952, doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03952, 2020.
- Rodriguez Boluarte, I. A., Andersen, M., Pramanik, B. K., Chang, C. Y., Bagshaw, S., Farago, L., Jegatheesan, V., Shu, L., “Reuse of car wash wastewater by chemical coagulation and membrane bioreactor treatment processes”, *Int Biodeterior Biodegradation*, 113, 44-48, 2016.
- Sarmadi, M., Foroughi, M., Saleh, H. N., Sanaei, D., Zarei, A. A., Ghahrchi, M., Bazrafshan, M., Efficient technologies for carwash wastewater treatment: A systematic review, *Environmental Science and Pollution Research*, 27:34823–34839, 2020.
- Tekere, M., Sibanda, T., Maphangwa, W. K., “An assessment of the physicochemical properties and toxicity potential of carwash effluents from professional carwash outlets in Gauteng Province, South Africa”, *Environmental Science Pollution Research*, 23,11876-11884, 2016.
- Zaneti, R., Etchepare, R., Rubio, J., “Car wash wastewater reclamation. Full-scale application and upcoming features”, *Resources, Conservation and Recycling*, 55, 953- 959, 2011.
- Zaneti, R., Etchepare, R., Jorge Rubio, J., “More environmentally friendly vehicle washes: water reclamation”, *Journal of Cleaner Production*, 37, 115-124, 2012.
- Zayadi, N. B., “Performance of Powdered and Granular Sugarcane Bagasse Activated Carbon in Removing Pollutants of Car Wash Wastewater”, MSc Thesis, University Tun Hussein Onn, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Malaysia, 2017.



# ARITILMIŞ KENTSEL ATIKSULARIN SULAMADA YENİDEN KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI: SİVAS ATIKSU ARITMA TESİSİ ÖRNEĞİ

Şerife Yasemin Uygun<sup>1</sup> - Meltem Sarioğlu Cebeci<sup>2</sup>

## ÖZET

İklim değişikliği etkilerinin yaşandığı ülkemiz ve dünyada kuraklıkla birlikte artan su ihtiyacı nedeniyle tarım sektöründe arıtılmış atıksuların kullanımıyla su kaynaklarının etkin ve sürdürülebilir bir şekilde korunması ve kullanılması sağlanmış olur. Arıtılmış atıksuların sulamada kullanılması durumunda suyun fiziksel, kimyasal ve biyolojik parametreler açısından değerlendirilmesi ve sulamada kullanılıp kullanılmayacağı dikkate alınmalıdır. Bu çalışmada atıksu arıtma tesisinden çıkan suların mevcut hâli ve/veya ileri arıtım ile (fotokatalitik reaktör) arıtılmış atıksuların yeniden kullanımı konusu çalışılmıştır. Sivas AAT çıkış suyunu fotokatalitik reaktörde arıtarak ulusal “Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği” doğrultusunda arıtılmış atıksuların tarımsal sulamada kullanılabilirliği incelenmiştir. Fotokatalitik reaktör gideriminin de  $TiO_2$  katalizörünün verimi ve bu katalizör verimine etki eden parametreler çalışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** UV,  $TiO_2$ , Arıtılmış atıksu, Fotokatalitik Reaktör, Yeniden kullanım,

## ABSTRACT

With the use of treated wastewater in the agricultural sector, which needs a high amount of water, effective and sustainable protection and use of water resources is ensured. In case treated wastewater is used in irrigation, the compliance of the water with the limit value in terms of physical, chemical and biological parameters should be taken into account. By treating Sivas WWTP effluent in a Photocatalytic reactor, the usability of treated wastewater in agricultural irrigation was investigated in line with the “Wastewater Treatment Plants Technical Procedures Communiqué”, which includes regulations on the quality and recycling of irrigation water in national legislation. The efficiency of the  $TiO_2$  catalyst in photocatalytic reactor removal and the pH of the environment and the number of lamps that affect the efficiency of this catalyst were studied. Artificial UV- C lamp was used as the UV light source..

**Keywords:** UV,  $TiO_2$ , Treated Wastewater, photocatalytic reactor, Reuse

1 Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, ysmnuygun58@gmail.com

2 Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, sarioglumeltem@gmail.com

### 1. GİRİŞ

Hızlı nüfus artışı ve endüstriyel gelişimle birlikte ve tarımsal faaliyetlerdeki artış beraberinde su kaynaklarına olan ihtiyacı da artırmıştır. Suyun kalite ve miktarında meydana gelen azalma kaynak temininde sorunlarla karşılaşılacak birçok alanda temiz su kaynaklarının kullanılmasının yerine alternatif su kaynaklarının kullanımını gerektirmektedir. Bu alternatiflerden biri de arıtılmış atıksuların kullanımınıdır. Atıksuların arıtıldıktan sonra geri kazanımı ve yeniden kullanımı suyun hem ulusal hem de uluslararası ölçekte sürdürülebilirliği açısından önemli bir bileşeni hâline gelmiş ve özellikle su kıtlığı yaşayan kurak ülkelerde geniş uygulama alanı bulmuştur [1,2,3]. Arıtılmış atıksular okul bahçelerinin, parkların, peyzaj alanlarının, spor alanlarının sulanmasında, golf sahalarının sulanmasında, yol kenarlarının sulanmasında, su yapılarında, yangın söndürme, yeraltı suyunun beslenmesinde gibi işlemlerde yoğun olarak kullanılmakta; böylece hem artan su ihtiyacı karşılanmakta hem de temiz su kaynaklarının korunması sağlanmaktadır [4,5].

Atıksular evsel ve endüstriyel kaynaklı olması durumuna göre patojenler, ağır metaller, toksik bileşikler, mikrokirleticiler, tuzlar, organik ve inorganik maddeler, askıda katı maddeler (AKM) gibi kirleticiler içermektedir [6]. Bu kirleticilerden patojenler ile endüstriden karışabilecek ağır metaller, zor parçalanabilen kimyasal ve kanserojen maddeler direkt maruz kalan çiftçilerin sağlığını doğrudan, o bölgede yaşayan ya da yetiştirilen ürünü tüketen insanların sağlığını da doğrudan etkilemektedir [7]. Ayrıca tuzluluk, toplam çözünmüş katı madde (TDS), sodyum, kalsiyum, magnezyum, sodyum adsorpsiyon oranı (SAR) ve bor gibi parametreler de bitkilerin büyümesi ve gelişimini etkileyen sulama suyunda dikkat edilmesi gereken parametrelerdir [8,9]. Arıtılmış atıksuların sulama suyu kullanım kriterleri 20 Mart 2010 tarihli Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliğinde yer almaktadır. Bu tebliğde arıtılmış atıksuların sulama suyu olarak geri kullanım kriterleri açıklanmıştır. Sivas atıksu arıtma tesisi çıkış suyu değerleri mevcut hâli ile ve laboratuvar ortamında kurulan fotokatalitik reaktöre arıtma tesisi çıkış suyu verilerek yapılan analiz sonuçlarına göre değerlendirme yapılmıştır. Özellikle başta toksisite testi yapılarak toksisite açısından sulama suyu incelenmiştir.

### 2. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 2.1. Deneysel Yöntem

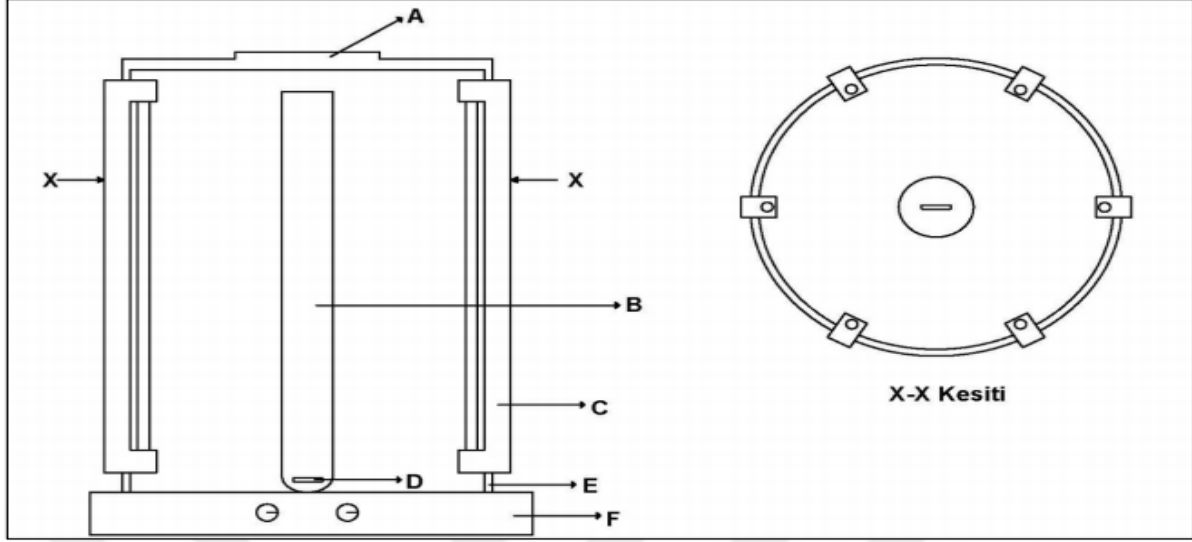
Sivas Atıksu Arıtma Tesisi çıkış suyunun arıtılıp geri kazanımı ile tarımsal alanda sulama suyu olarak kullanılması incelenmiştir. Deneyler için 400 ml'lik sulu çözeltiler hazırlanmıştır. Çözeltilere  $TiO_2$  toz katalizör eklenmiş ve reaksiyon yapay UV-C ışığı altında gerçekleştirilmiştir. Çözelti, reaksiyon sırasında sabit hızla manyetik karıştırıcı ile karıştırılmıştır. Numunelerdeki katalizörler 0.45 mikron filtre ile ayrılmıştır. Silindirik yapıdaki fotokatalitik reaktörde farklı pH ve farklı katalizör konsantrasyonlarında üç lamba ile çalışılmıştır.

#### 2.2. Fotokatalitik Reaktör

Deneysel çalışmada kullanılmak için Şekil 1'de görülen kesikli tip reaktör özel olarak tasarlanmıştır. Reaktörün üzerine altı adet 8W'lık, 254 nm dalga boyunda ışık yayan floresan tip UV-C

## Sivas Atıksu Arıtma Tesisi Örneği

lamba eşit aralıklarla yerleştirilmiştir. Sulu çözeltinin reaktör içine yerleştirilmesi için quartz tüp kullanılmıştır. Çözeltinin içinde katalizörün dağılabilmesi için manyetik karıştırıcı kullanılmıştır.



Şekil 1. Fotokatalitik reaktörün şematik gösterimi A: Kapak, B: Quartz tüp, C: UV-C lamba D: Manyetik balık, E: Silindirik reaktör, F: Manyetik karıştırıcı [10].

### 2.3. *Daphnia Manga* Toksikite Testi

*Daphnia magna* tatlı su kabuklusu, suda yaşayan, zıplayarak hareket eden omurgasız hayvandır. *Daphnia magna* toksisite testi standart test prosedürüne göre yapılmıştır. *Daphnia*'ların bulunduğu kaplar da sıcaklık ise 20-22 °C' ye sabitlenmiştir. Yumurtlamaya hazır bireyler taze seyreltme suyu ile kaplara alınmış ve test gerçekleştirilmeden 2 saat önce larvalar beslenmiştir (maya+alg). Standart besleme suyu olarak hem *Daphnia magna* hem de alg inkübasyonu için ozon ile oksijen zenginleştirilmesi sağlanmış T.C. Sağlık Bakanlığı'nın doğal minarel suyu tescilli almış şişe suyu kullanılmıştır.

Deney sırasında 24 saat içinde yeni çıkan bireyler kullanılmıştır. Deney sırasında *Daphnia*'lar kesinlikle beslenmemiştir. Farklı pH ve konsantrasyonlardaki numuneler için test tabağındaki hücrelere 5'er adet *Daphnia magna* konulmuştur. Sonrasında test tabağı 20-22°C'de, karanlık ortamda 24 ve 48 saat süresince inkübasyona bırakılmıştır. 24 ve 48 saat test süresi sonunda, her bir kaptaki *Daphnia*'lar hafifçe karıştırılarak hareketsiz ve ölü olan *Daphnia*'lar sayılarak belirlenen %inhibisyon oranı kullanılarak grafiksel interpolasyon ile EC<sub>50</sub> değeri hesaplanmıştır.

Toksisite testlerinden hesaplanarak elde edilen EC<sub>50</sub> değerleri esas alınarak "Toksik Birim" değerleri aşağıda belirtilen formüle göre bulunur. Sonuçların sınıflandırabilmesi için toksisite test sonuçları, toksik birim olarak ifade edilmiştir.

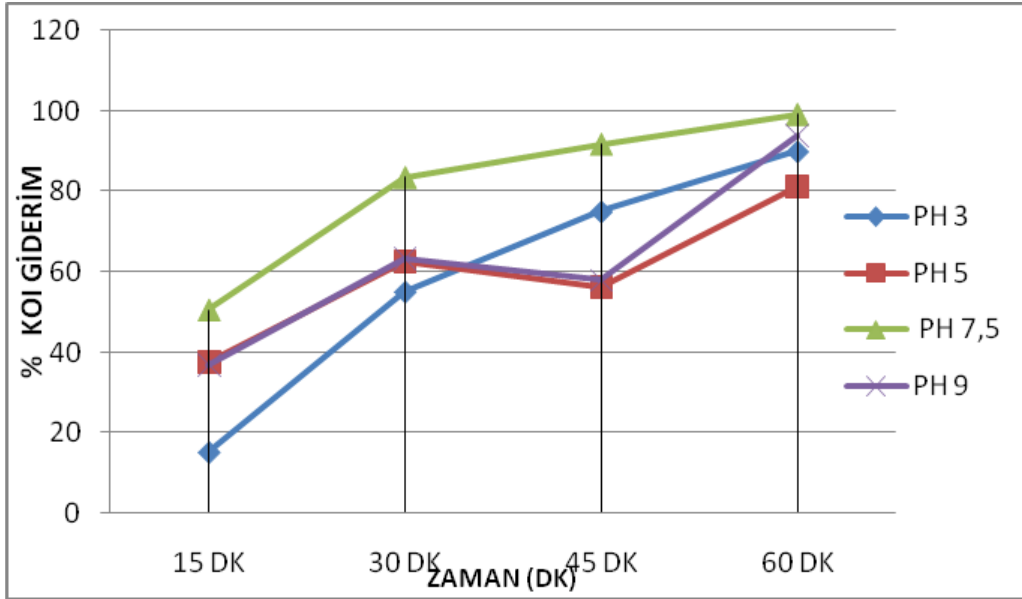
$$TB = \left[ \frac{1}{L * (EC_{50})} \right] * 100$$

## Uluslararası Genel Çevre Sorunlarına Bakış

Toksik birim sonuçları [11] , yapmış oldukları TB=0 ise “toksik değil”,  $0 < TB < 1$  aralığında ise “hafif toksik”,  $1 < TB < 10$  aralığında “toksik” ve  $11 < TB < 100$  aralığında “çok toksik” şeklindeki sınıflandırmaya göre toksisite seviyeleri belirlenmiştir.

### 3. DENEYSEL BULGULAR

#### 3.1. Reaktörde Optimum pH Çalışması



Şekil 2. pH çalışması  $TiO_2$  verim grafiği (1 g/L katalizör)

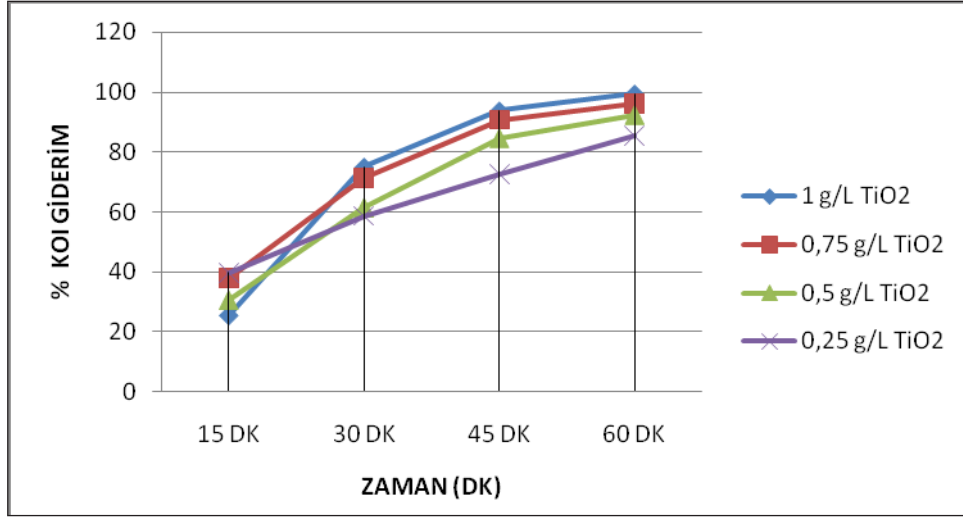
Katalizörlerin amfoterik özelliğinden dolayı suyun pH değeri katalizörün yüzeyini etkiler. pH'lar 3,0-5,0-7,5 ve 9,0 değerlerinde çalışılmıştır. Çalışmada 1 g/L katalizör ( $TiO_2$ ), üç adet UV-C lamba kullanılmış ve bir saat devam edilmiştir. Şekil 2'de görüleceği gibi en iyi KOI giderim verimi pH 7,5'te bulunmuştur. KOI giderim verimleri ; pH 3'te %89,99, pH 5'te %81,24, pH 7,5'te %99,18, pH 9'da ise %93,75'tir.

AATTUT'de yer alan Ek7 Arıtılmış Atıksuların Sulama Suyu Olarak Geri Kullanım Kriterleri; “Tablo E7.1 Sulamada geri kullanılacak arıtılmış atıksuların sınıflandırılması” başlığı altında kentsel yeşil alanların sulanmasında Sınıf A ve Sınıf B'de pH 6-9 aralığında olmalıdır. Sivas AAT yıllık ortalama pH değerleri AATTUT'de Tablo E7.1'de belirtilen kentsel alanların sulanmasında kullanılan Sınıf A ve Sınıf B de belirtilen pH değerleri aralığında izlenmektedir.

#### 3.2. Reaktörde Katalizör Konsantrasyonu

Katalizör konsantrasyonunun giderim verimine etkisini belirlemek amacıyla 0,25- 1 g/L katalizör konsantrasyonlarında  $TiO_2$  ile çalışılmıştır. Üç adet UV-C lamba ve belirlenmiş optimum pH kullanılmıştır.  $TiO_2$  ile yapılan deneylerin KOI giderim verimi Şekil 3'te verilmiştir.

## Sivas Atıksu Arıtma Tesisi Örneği

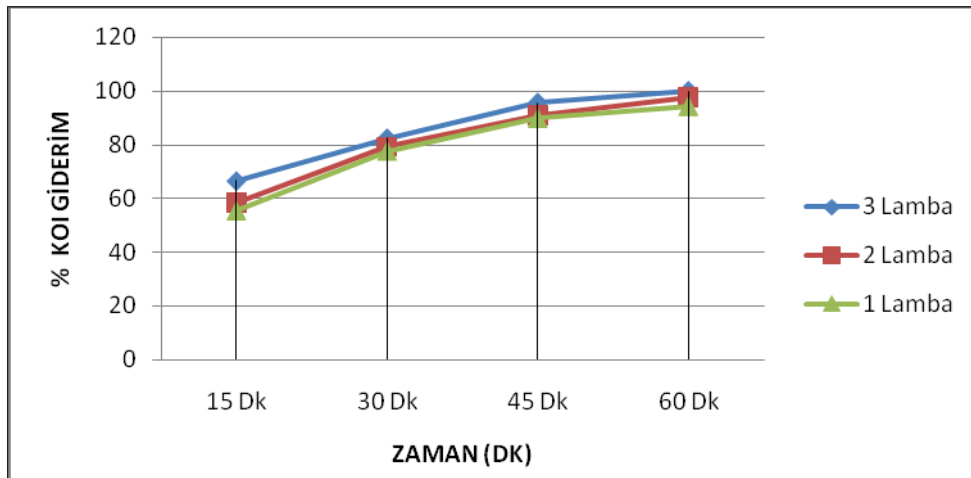


Şekil 3. TiO<sub>2</sub> miktarının KOI giderim verimine etkisi (pH 7,5)

1 g/L, 0,75 g/L, 0,5 g/L ve 0,25 g/L TiO<sub>2</sub> katalizör konsantrasyonları için KOI giderim verimleri sırasıyla %99,38- %96,11- %92,31-%85,37 olarak bulunmuştur.

### 3.3. Lamba Sayısı

Fotokatalitik reaktörde ışık şiddetinin KOI giderim verimine etkisini incelemek için 1, 2 ve 3 lamba sayılarıyla çalıştırılmıştır. 3 lamba çalıştırılmasında lambalar eşit aralıklarla, 2 lamba çalıştırılmasında ise lambalar karşılıklı yerleştirilmiştir. Çalışmalar; katalizör için bulunmuş optimum pH da ve 1 g/L katalizör konsantrasyonunda 60 dk çalışma süresinde yapılmıştır. TiO<sub>2</sub> ile yapılan çalışmaların giderimi Şekil 4'te verilmiştir. 3 lamba ile %99,89 verime ulaşılırken 2 lamba ile verim %97,5, 1 lamba ile verim %94,42 olarak elde edilmiştir.



Şekil 4. Lamba sayısının KOI giderim verimine etkisi

( 1 g/L TiO<sub>2</sub>, pH 7,5)

## Uluslararası Genel Çevre Sorunlarına Bakış

### 3.4. İletkenlik

Tablo 1. Sivas AAT ve Fotokatalizör çıkışının iletkenlik değerleri

İletkenlik (µs/cm)	Numune sayısı	Ortalama	Minimum	Maksimum
Sivas AAT Çıkış	11	1333	963	1998
UV Çıkış	44	1364	920	2020

AATTUT’de Tablo E7.2 sulama suyunun kimyasal kalitesinin değerlendirilmesi için geliştirilmiş tabloda tuzluluk parametresi başlığı altında iletkenlik ve toplam çözünmüş madde olarak değerlendirilmiştir. AATTUT’ye göre UV arıtım çıkış suyu iletkenlik değeri 2. Sınıf su özelliği göstermektedir. Yani sulama suyunun kimyasal kalitesi kullanımda ‘az-orta’ zarar derecesine sahiptir. AATTUT’de Tablo E7.3’te çeşitli bitkiler ve bunların tuzluluğa olan hassaslıkları verilmiştir. Buna göre Fotokatalitik reaktör çıkış suyumuzun TÇM 588-1292 mg/L aralığında olduğu için; mısır, buğday, lahana, salatalık, patates ve domates gibi bitkilerin sulanması için uygun olduğu görülmektedir.

### 3.5. Bulanıklık

Tablo 2. Sivas AAT ve Fotokatalizör çıkışının bulanıklık değerleri derişimi

Bulanıklık (NTU)	NUMUNE SAYISI	ORTALAMA	MİNİMUM	MAKSİMUM
Sivas AAT Çıkış	11	5,48	1,61	17,23
UV Çıkış	44	6,50	2,24	26,17

Kentsel yeşil alanların sulanmasında kullanılacak olan arıtılmış atıksuda bulanıklık değeri AATTUT Tablo E7.1 Sulamada geri kullanılacak arıtılmış atıksuların sınıflandırılmasında bulanıklık < 2 NTU olarak ifade edilmektedir. Tablo E7.1’e göre bulanıklık hiçbir zaman 5 NTU’yu geçmemelidir. Bulanıklık sonuçlarının standart değerlerin üzerinde çıkmasının önemli bir nedeni koagülant madde kullanılmasıdır.

### 3.6. Askıda Katı Madde (AKM)

Tablo 3. Sivas AAT yıllık ortalama AKM giderim verimleri

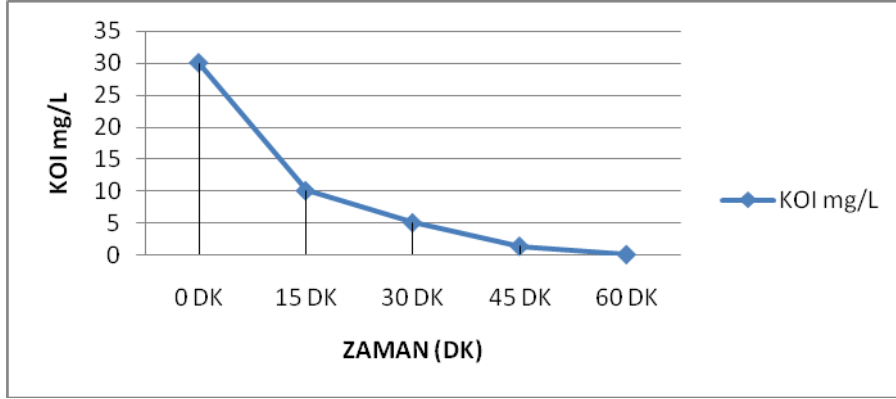
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Tesis Giriş	197	218	174	198	187	179	182	182	203	213	194	191
Tesis Çıkış	5	8	14	7	5	8	9	8	7	8	6	11

AATTUT’de belirtilen kentsel alanların sulanmasında kullanılan SINIF B de belirtilen AKM<30

## Sivas Atıksu Arıtma Tesisi Örneği

mg/L salma sulama ile sulama, püskürtmeli ile sulama ve E7.17’de belirtilen AKM<50 mg/L (kullanımda zarar derecesi yok) değerleri göz önüne alındığında Sivas AAT çıkış suyunun değeri sulama metodlarını sağlıyorken; ortalama değerler 5 mg/L’nin üstünde olduğu için tarımsal alanda sulamaya uygun değildir. Tarımsal sulamaya uygun hâle getirebilmek için Sivas AAT çıkış suyu dinlendirildikten sonra mikrofiltrasyondan geçirilebilir.

### 3.7. Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)



Şekil 5. 1 g/L TiO<sub>2</sub>, pH 7,5, 3 Lamba ile KOİ giderimi

Şekil 5’te görüldüğü üzere KOİ giderim çalışmasında TiO<sub>2</sub> katalizörüyle yapılmıştır. Ortam pH’ı 7,5’e ayarlanmıştır ve üç adet lamba ve 1 g/L katalizör kullanılmıştır. KOİ parametreleri için nihai verim %99,89 olmuştur.

### 3.8. Biyolojik Oksijen İhtiyacı

Tablo 4. Sivas AAT BOİ değerleri mg/L

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Tesis Giriş BOİ mg/L	229	241	187	253	195	189	219	223	249	219	233	204
Tesis Çıkış BOİ mg/L	7	5	6	5	5	3	4	3	4	5	5	5

AATTUT’de yer alan Ek7 Arıtılmış Atıksuların Sulama Suyu Olarak Geri Kullanım Kriterleri; “Tablo E7.1 Sulamada geri kullanılacak arıtılmış atıksuların sınıflandırılması” başlığı altında kentsel yeşil alanların sulanmasında Sınıf A için BOİ<20 mg/L ve Sınıf B için BOİ<30 mg/L’nin altında olmalıdır. Tablo 4’te görüldüğü üzere Sivas AAT çıkış suyu BOİ değeri standart değeri karşılamaktadır. Sivas AAT BOİ parametreleri için verim %98 olarak hesaplanmıştır.

## Uluslararası Genel Çevre Sorunlarına Bakış

### 3.9. Geri Kazanılmış Atıksuda Olabilecek Nütrient Seviyeleri

Tablo 5. Geri kazanılmış atıksuda olabilecek nütrient seviyeleri

Elementler mg/L	Birim	Ham atıksu	Klasik aktif çamur	BNR	BNR+Filtrasyon +Dezenfeksiyon	Sivas AAT Çıkış Suyu	MBR	BNR+MF+RO +Dezenfeksiyon
Toplam azot	mg N/L	20-70	15-35	2-12	2-12	<b>6,1</b>	7-18	<1
Nitrat azotu	mg N/L	0-az	10-30	1-10	1-10	<b>2,2</b>	5-11	<1
Toplam fosfor	mg P/L	4-12	4-10	1-2	<2	<b>0,8</b>	0.3-5	<0.05

AATTUT Tablo E7.9 değerlerine bakıldığı zaman Sivas AAT yıllık ortalama çıkış suyu kriterleri; Toplam Azot için 6,1 mg N/L, Toplam Fosfor için 0,8 mg P/L, Nitrat azotu için ise 2,2'dir. Tablo 5'e baktığımızda Sivas AAT çıkış suyunun TN, TP ve NO<sub>3</sub>-N değerlerinin sulama suyu için kullanımında uygun olduğu görülmektedir.

### 3.10. Fotokatalitik Reaktör Çıkış Suyunun Sulama Suyu Açısından Değerlendirilmesi

Tablo 6. Sulama suyunun kimyasal kalitesinin değerlendirilmesi için geliştirilmiş tablo

Parametreler	Birimler	Kullanımında zarar derecesi		
		Yok (I. sınıf su)	Az – orta (II. sınıf su)	Tehlikeli (III. sınıf su)
<b>Tuzluluk</b>				
İletkenlik	µS/cm	< 700	<b>700-3000</b>	>3000
Toplam Çözünmüş Madde	mg/L	< 500	<b>500-2000</b>	>2000
<b>Geçirgenlik</b>				
SAR <sub>Tad</sub>	0-3	≥ 0.7	0.7-0.2	< 0.2
	<b>3-6</b>	≥ <b>1.2</b>	1.2-0.3	< 0.3
	6-12	≥ 1.9	1.9-0.5	< 0.5
	12-20	≥ 2.9	2.9-1.3	< 1.3
	20-40	≥ 5.0	5.0-2.9	< 2.9
<b>Özgül iyon toksisitesi</b>				
Sodyum (Na)				
Yüzeysel sulaması	mg/L	< 3	3-9	> 9
Damlatmalı sulama	mg/L	< 70	<b>&gt; 70</b>	
Klorür (Cl)				
Yüzeysel sulaması	mg/L	< 140	<b>140 –350</b>	> 350
Damlatmalı sulama	mg/L	< 100	<b>&gt; 100</b>	
Bor (B)	mg/L	< 0.7	0.7-3.0	> 3.0



## Sivas Atıksu Arıtma Tesisi Örneği

**Tuzluluk:** Tuzluluğun göstergesi olan iletkenlik ve toplam çözünmüş madde (TÇM) parametresi açısından fotokatalitik reaktör çıkış suyu 2. sınıf sulama suyu özelliği göstermektedir.

**SAR:** Fotokatalitik reaktör çıkışı ölçülen SAR değeri 4,92'dir. Buna göre iletkenlik parametresi ile ilişkilendirildiğinde geri kazanılacak su SAR parametresi açısından 1. sınıf su özelliği göstermektedir.

**Özgül iyon toksisitesi:** Fotokatalitik reaktör çıkış suyu Na ve Cl parametreleri açısından değerlendirilmiştir. Yapılan ölçümde Na 161 mg/L olarak ölçülmüştür. Tablo 6'ya baktığımız zaman bu değerdeki Na için damlatmalı sulama önerilirken geri kazanılmış suyun ikinci sınıf kalitede olduğu görülmüştür. Yapılan ölçümde Cl 315,24 mg/L olarak ölçülmüştür. Tabloya baktığımız zaman bu değerdeki Cl için her iki sulama tipi (yüzeysel sulama, damlatmalı sulama) uygun ve geri kazanılmış suyun ikinci sınıf kalitede olduğu görülmüştür.

### 3.11. Artıksal Sodyum Karbonat (RSC)

Fotokatalitik reaktör çıkış suyunun RSC değeri -8,16 meq/L olarak ölçülmüştür. Tablo 7'ye baktığımız zaman sulama suyu için tehlike boyutu yoktur. RSC değerinin negatif olarak çıkması durumunda kalsiyum ve magnezyum miktarının çökelmeye yetecek miktardan daha fazla olduğunu ve sodyum birikmesinin olası olmadığı anlamına gelmektedir.

Tablo 7. RSC içeriğine göre sulama suyu sınıfı

RSC (meq/l)	Tehlike Boyutu
<0	Yok
0-1,25	Düşük, sulama suyundan bir miktar kalsiyum ve magnezyum giderilmesi ile
1,25-2,5	Orta, sulama suyundan kayda değer miktarda kalsiyum ve magnezyum giderilmesi ile
>2,5	Yüksek, kalsiyum ve magnezyumun çoğunun çökerek sodyumun birikmesine sebebiyet verir

### 3.12. Fotokatalitik Reaktör Çıkış Suyunun Ağır Metaller Açısından Değerlendirilmesi

Tablo 8. Sulama sularında izin verilebilen maksimum ağır metal ve toksik elementlerin konsantrasyonları

Elementler	Birim alana verilebilecek maksimum toplam miktarlar, kg/ha	İzin verilen maksimum konsantrasyonlar		Fotokatalitik Reaktör Çıkış	
		Her türlü zeminde sürekli sulama yapılması durumunda sınır değerler mg/L	pH değeri 6.0 -8.5 aralığında olan killi zeminlerde 24 yıldan daha az sulama yapıldığında,mg/L	Min-Max mg/L	Ortalama mg/L
Arsenik (As)	90	0.1	2.0	0.0-0.001	0.0013
Bakır (Cu)	190	0.2	5.0	0.0-0.71	0.47
Çinko (Zn)	1840	2.0	10.0	0.09-0.15	0.08

## Uluslararası Genel Çevre Sorunlarına Bakış

Tablo 8’de görüldüğü gibi Fotokatalitik reaktör çıkış suyunda elde edilen ağır metal konsantrasyonları, arsenik ve çinko için AATTU Tebliği’nde öngörülen ‘her türlü zeminde sürekli sulama yapılması durumundaki sınır değer’ sütunundaki değerlerin altında kalmakta; bakır için ise yine AATTU Tebliği’nde öngörülen ‘pH değeri 6.0-8.5 aralığında olan killi zeminlerde 24 yıldan daha az sulama yapıldığında’ sütunundaki değerlerin altında kalmakta ve bu hâliyle fotokatalitik reaktör çıkışında elde edilen çıkış suyu, sulama suyu olarak kullanılabilir nitelikte kabul edilmektedir.

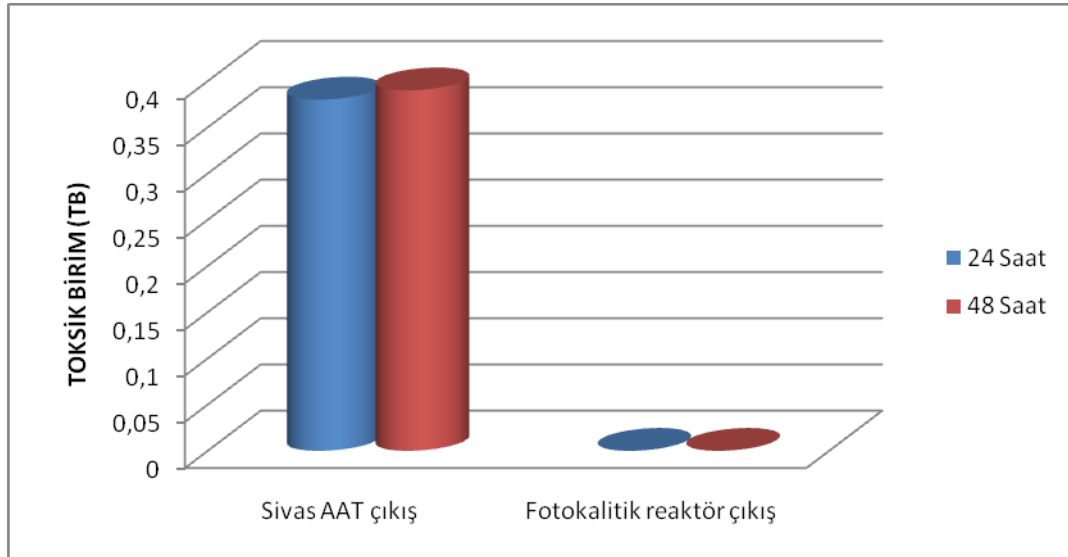
### 3.13. Fekal Koliform

Fekal koliform AATTUT’e göre 0/100 mL olmalıdır. Bu değer 7 günlük ortalama değerleri karakterize eder ve fekal koliform değeri hiçbir zaman 14ad/100mL’yi geçemez. Bu ifade sonucunda kentsel alanların sulanmasında kullanılacak olan geri kazanılmış sudaki fekal koliform miktarı 0/100 mL olmalıdır. Fotokatalitik reaktör çıkış suyuna yapılan fekal koliform nihai çıkış değeri 0 ad/100 mL olarak analiz edilmiştir.

### 3.14. *Daphnia Magna* Toksikite Test Sonuçları

Tablo 9. *Daphniamagna* EC50 (mg/L) ortalama değerleri

EC50	Sivas AAT çıkış	Fotokatalitik reaktör çıkış
24 SAAT (mg/L)	260,40	-
48 SAAT (mg/L)	256,13	-



Şekil 6. *Daphniamagna* testleri toksik birimleri (TB)

24 saat için Sivas AAT çıkış suyu TBaralığı: 0,31-0,63 ve 48 saat için Sivas AAT çıkış suyu TBaralığı: 0,31-0,47; Fotokatalitik reaktör çıkış suyu 24 saat için TBaralığı: 0 ve 48 saat için Foto-

## Sivas Atıksu Arıtma Tesisi Örneği

katalitik reaktör çıkış suyu TBaralığı: 0 olarak bulunmuştur. Bu değerlere göre Sivas AAT çıkış suyu için toksik birim sınıflandırması yapıldığında 24 saatlik ve 48 saatlik test sonuçları için “hafif toksik” çıkmıştır. Fotokatalitik reaktör çıkış suyu değerlerine bakıldığı zaman TB=0 yani Fotokatalitik reaktör çıkış suyu “toksik değil”dir. Literatürlerde yeralan ve kullanılan farklı toksisite testleri yapılarak toksisite sonuçları daha iyi karşılaştırılarak değerlendirilebilir.

### 4. SONUÇ

Sivas atıksu arıtma tesisi ikincil arıtma prosesinin aktif çamur prosesi olarak karbon, azot ve fosfor giderimi üzerinedir. Çıkış suyu kalitesinin sulama suyu olarak kullanılıp kullanılmayacağı değerlendirilmiş ve bazı parametreler açısından mevcut durumda problem olmadığı çıkış suyunun ileri arıtım yöntemlerinden biri olan  $TiO_2$  in katalizör olarak kullanıldığı UV reaktörü olan fotokatalitik reaktörle arıtılabileceği görülmüştür.

Sonuç olarak Sivas AAT çıkış suyu fotokatalitik reaktör gibi ilave bir sistem kullanılarak arıtılması sonucu tarımsal alanda sulama suyu olarak kullanılabilir. Bunun için maliyet analizi yapılarak su kıtlığı olabilecek gelecek yıllar için önlem olarak değerlendirilebilir.

### TEŞEKKÜRLER

Çalışma konusu ve kullanılan deney düzeneklerinin sağlanmasında, projelendirilmesinde, atıksu-yun temin edilmesinde, bilgi ve tecrübelerini paylaşan ve yardımlarını esirgemeyen yüksek lisans tez danışmanım Prof. Dr. Meltem Sarioğlu Cebeci’ye; Laboratuvar çalışmalarımda yardımını esirgemeyen Arş. Gör. Sefa Furkan Selçuk’a teşekkürlerimi sunarım.

### KAYNAKLAR

- [1] Pedrero, F., Kalavrouziotis, I., Alarcon, J. J., Koukoulakis, P., Asano, T., “Use of treated municipal wastewater in irrigated agriculture-Review of some practices in Spain and Greece”. *Agricultural Water Management*, 97: 1233-1241, 2010.
- [2] Koyuncu, İ., İmer, D. Y., “Atıksu Geri Kazanımı”, *İTÜ MEM-TEK Bülteni*, 2016.
- [3] Zaibel, I., Zilberg Groisman, L., Arnon, S., “Impact of treated wastewater reuse and floods on water quality and fish health with in a water reservoir in an arid climate”, *Science of the Total Environment*, 559: 268-281, 2016.
- [4] Kitiş, M., Yiğit, N., Köseoğlu, H., Bekaroğlu, Ş. Ş., “Su ve Atıksu Arıtımında İleri Arıtma Teknolojileri-Arıtılmış Atıksuların Geri Kullanımı. Çevre ve Orman Bakanlığı” Çevre Görevlisi Eğitimi Ders Notları, 2009.
- [5] Özbay, İ., Kavaklı, M., “Türkiye’de ve Diğer Ülkelerde Arıtılmış Atıksuların Geri Kazanım Uygulamalarının İncelenmesi”, *Çevre Sorunları Sempozyumu*, 14-17 Mayıs 2008, Kocaeli, 2008.
- [6] Reznik, A., Feinerman, E., Finkelshtain, I., Fisher, F., Huber-Lee, A., Joyce, B., Kan, I., “Economic implications of agricultural reuse of treated wastewater in Israel: A statewide long-term perspective”. *Ecological Economics*, 135, 222-233, 2017.
- [7] Banerjee, A., “Wastewater use for agriculture in India: A background review”. *Wastewater Use for Agriculture in India*, 1-12, 2016.

## Uluslararası Genel Çevre Sorunlarına Bakış

- [8] Chen, Z., Ngo, H. H., Guo, W., "A critical review on sustainability assessment of recycled water schemes". *Science of the Total Environment*, 426, 13-31, 2012.
- [9] Hamilton, A. J., Stagnitti, F., Xiong, X., Kreidl, S. L., Benke, K. K., Maher, P., "Wastewater irrigation: The state of play". *VadoseZoneJournal*, 6(4), 823, 2008.
- [10] Selçuk, S. F., "Tekstil boyasının sulu çözeltiden fotokatalitik reaktörle giderimi ve farklı katalizörlerin veriminin incelenmesi" *Cumhuriyet Üniversitesi Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı* (Yüksek Lisans Tezi), 33s. 2017.
- [11] Persoone ve ark, Bazı İlaç Gruplarının Su Ortamına Olan Etkilerinin Akut Toksikite Testleri ile Değerlendirilmesi, 1993.

# İÇME SUYU SİSTEMLERİNDE DYÜ OLUŞUMU VE KONTROL STRATEJİLERİ

Nuray Ateş<sup>1</sup> - Şehnaz Şule Kaplan Bekaroğlu<sup>2</sup> - Gökhan Civelekoğlu<sup>3</sup>

## ÖZET

İçme suyu arıtma sistemlerinde mikroorganizmaların (virüs, bakteri, protozoa vb.) elimine edilmesi için dezenfeksiyon işlemi zorunludur. Klor, kloraminler, klor dioksit, ozon ve ultraviyole ışık en sık kullanılan dezenfektanlar arasındadır. Dezenfektanlar, kaynak sularının çoğunda doğal olarak bulunan organik madde, çözülmüş organik azot, antropojenik kirleticiler ve bromür/iyodür ile reaksiyona girerek dezenfeksiyon yan ürünlerinin (DYÜ'ler) oluşmasına neden olur. En yaygın DYÜ'ler, klorlu ve kloraminli sularda trihalometanlar (THM) ve haloasetik asitler (HAA), ozonlamada bromat ve klor dioksit sularında klorittir. DYÜ'lere uzun süreli maruz kalma, içme suyunda sağlık risklerine neden olabilir. DYÜ türleşmesi ve miktarı, dezenfektanın tipine, dozuna ve suda bulunan öncülerin veya diğer bileşenlere, arıtma tesisi çalışma koşullarına, suyun sıcaklığına ve suyun dağıtım sisteminde kalma süresine bağlıdır. Su arıtma tesislerinde DYÜ ile ilgili yasal mevzuata uyum sağlamak ve DYÜ oluşumunu en aza indirmek için DYÜ öncülerinin sudan uzaklaştırılması ve dezenfeksiyon sürecinin optimize edilmesi gibi kontrol stratejilerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Su kalitesi izleme çalışmalarının zaman alıcı ve maliyetli olması nedeniyle, DYÜ'lerin potansiyel oluşumunu ve kinetiğini tahmin etmek için çeşitli modeller geliştirilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Dezenfeksiyon, dezenfeksiyon yan ürünleri, içme suyu, klorlama, oluşum mekanizması.

## ABSTRACT

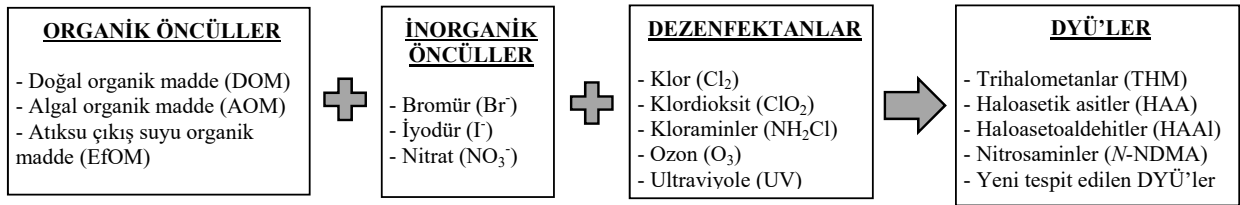
Disinfection process is mandatory for drinking water treatment systems to inactivate of micro-organisms (viruses, bacteria, protozoa, etc.). Chlorine, chloramines, chlorine dioxide, ozone and ultraviolet light are among the most commonly used disinfectants. Disinfectants react with organic matter, dissolved organic nitrogen, anthropogenic pollutants and bromide/iodide naturally found in most of the source waters, resulting in the formation of disinfection by-products (DBPs). The most common DBPs are THMs and haloacetic acids (HAA) in chlorinated and chloraminated waters, bromate in ozonation, and chlorite in chlorine dioxide waters. Long-term exposure to DBPs may cause health risks in drinking water. The speciation and quantity of DBP formation depends on type of disinfectant, dose, and type of precursors or other constituents present in the water, treatment plant operation conditions, temperature of water, and residence time of water in the distribution system. In water treatment facilities, control strategies such as removing DBP precursors from water and optimizing the disinfection process need to be developed in order to comply with DBP related regulations and to minimize the formation of DBP. Various models have been developed to predict the potential formation and kinetics of DBPs, since the water monitoring efforts are time consuming and not cost-effective.

**Keywords:** Disinfection, disinfection by-products, water treatment, chlorination, formation mechanisms.

1 Erciyes Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye, nuraya@erciyes.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-8923-4852  
2 Süleyman Demirel Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye, sulebekaroglu@sdu.edu.tr, ORCID ID: 0000-0003-0917-7219  
3 Akdeniz Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Antalya, Türkiye, gcivelekoglu@akdeniz.edu.tr, ORCID ID: 0000-0001-5508-1918

### 1. İÇME SULARINDA DEZENFEKSİYON YAN ÜRÜNLERİ

İçme suyu arıtma sistemlerinde, sularda bulaşıcı hastalıklara neden olan mikroorganizmaların (virüs, bakteri, protozoa vb.) elimine edilmesi ve dağıtım sisteminin korunması için dezenfeksiyon işlemi zorunludur. Klor, kloraminler, klor dioksit, ozon ve ultraviyole ışık dezenfeksiyon amacıyla en çok uygulanan dezenfektanlar arasındadır [1,2]. Dezenfektanlar organik madde, çözünmüş organik nitrojen, antropojenik kirleticiler ve kaynak sularında doğal olarak bulunan bromür/iyodür ile reaksiyona girerek dezenfeksiyon yan ürünlerini (DYÜ) oluşturur [1,3]. Dezenfektanların organik maddeler ve inorganik iyonlarla reaksiyonu sonucu DYÜ'lerin oluşumu aşağıda şematik olarak gösterilmiştir [4]. DYÜ'lerin türü ve miktarı, öncülerin türüne, dezenfektanın türüne ve dozuna, suda bulunan diğer iyonlara, arıtma tesisi çalışma koşullarına, su sıcaklığına ve suyun dağıtım sistemindeki kalma süresine bağlıdır [5]. Doğal sularda yüksek düzeyde bromür iyonu (>100 µg/L) bulunması DYÜ türlerinin klorlu yan ürünlerden bromlu ürünlere kaymasına neden olur [5,6].



1970'lerde Rook [7] klorlu sularda ham yüzey sularına kıyasla daha yüksek miktarda trihalometan (THM) tespit ederken Beller vd. [8] klor miktarı arttıkça THM konsantrasyonunun arttığını bildirmiştir. Uçucu olmayan klorlu halojenürler olan haloasetik asitler (HAA) klorlama/kloraminasyon prosesinde THM'leri takiben en çok bulunan DYÜ'lerdir [9]. Günümüzde dezenfekte edilmiş içme suyunda mikro ve nano miktarlarda bulunan 700'den fazla DYÜ türleri olduğu tahmin edilmekte olup [3], klorlama sırasında oluşan toplam organik halojenürlerin ve ozonlama işlemi sırasında oluşan DYÜ'lerin yarısından fazlası henüz tespit edilememiştir [1]. Dezenfekte edilen sularda tanımlanan DYÜ'ler arasında THM'ler ve HAA'lar, karbonlu DYÜ'ler (C-DYÜ) ve n-nitrosodimetilamin (N-NDMA), haloasetonitriller (HAN) ve haloasetamidler (HAcAm) ise azotlu DYÜ'ler (N-DYÜ) olarak sınıflandırılır [10].

Dezenfeksiyon işlemi sırasında oluşan ve halk sağlığı açısından ciddi riskler oluşturan DYÜ'ler sindirim, solunum ve dermal adsorpsiyon yoluyla insan vücuduna alınmaktadır [11,12]. Kimyasal dezenfektanların neden olduğu birçok DYÜ'lerin potansiyel sağlık etkileri iyi bilinmemekle birlikte, epidemiyolojik çalışmalar DYÜ'lere uzun süreli maruz kalmanın artan kanser riskine, potansiyel genetik ve mutajenik bozukluklara [13,14] yol açtığını göstermektedir. Son 40 yılda sağlık etkileri üzerine yapılan çalışmalar beyin kanseri riski [15], mesane kanseri [16], kolon ve rektum kanseri [17] ile bağlantılı olduğunu ortaya koymaktadır. Brom ve iyotun kimyasal olarak oksidasyonu ile oluşan bromlu ve iyotlu DYÜ'ler, klorlu ürünlerden daha fazla sitotoksik ve genotoksiktir [12,18].

## İçme Suyu Sistemlerinde DYÜ Oluşumu ve Kontrol Stratejileri

DYÜ'ler için ilk yasal düzenlemeler 1970'lerin sonlarına kadar uzanmaktadır. THM'ler için ilk mevzuat, 1979 yılında ABD Çevre Koruma Ajansı (USEPA) tarafından toplam THM için geçici düzenlemeler kapsamında oluşturulmuştur [19]. Yönetmeliğe göre, 10.000'den fazla kişiye hizmet veren su servis sistemleri için toplam THM seviyesi, üç aylık numunelerin yıllık ortalaması 100 µ/L maksimum kirletici seviyesi olarak belirlenmiştir [19]. THM'ler, HAA'ler, HAN'ler (dibromoasetonitril ve dikloroasetonitril), bromat, klorat, klorit, N-NDMA, siyanojen klorür ve 2,4,6-triklorofenol dâhil olmak üzere yaklaşık 700 DYÜ'nün [3] yalnızca 17'si USEPA, WHO, Avrupa Ülkeleri ve diğer bazı ülkeler tarafından en yaygın yönetmeliğe alınan türlerdir [14,20-22]. Türkiye'de toplam THM 100 µg/L sınırı ile 2005 yılında Sağlık Bakanlığı tarafından düzenlenen tek DYÜ grubudur [23].

## 2. DYÜ ÖNCÜL MADDELERİN ARITIM YÖNTEMLERİ

DYÜ oluşumunu kontrol etmek ve en aza indirmek için organik ve inorganik öncül maddelerin dezenfektanın eklenmesinden önce arıtılması gerekmektedir. Su kaynaklarında birincil öncül maddeler olarak tanımlanan DOM'ler hümik maddeler, proteinler, karboksilik asitler ve karbonhidratlar gibi farklı özelliklere ve moleküler boyutlara sahip hem hidrofobik hem de hidrofilik bileşenler içeren heterojen organik karışımıdır [24]. Su kaynaklarındaki DOM konsantrasyonu birkaç µg/L ile yüzlerce mg/L arasında değişmektedir [25]. Ayrıca, pestisitler, endokrin bozucular, farmasötikler, kişisel bakım ürünleri gibi mikrokirleticiler ve alg kaynaklı organik maddeler de DYÜ oluşumuna sebep olabilmektedir [26]. DYÜ oluşumuna sebep olan inorganik öncüllerden en önemlileri bromür ve iyodür iyonlarıdır [1,3]. Su kaynaklarında DYÜ öncülerinin tanımlanması ve karakterizasyonu öncül maddelerin arıtılmasına yönelik stratejilerin belirlenmesi için çok önemlidir. Öncül maddelerin giderilmesi için içme suyu arıtma tesisleri öncesinde kaynak yönetimi için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Farklı su kaynaklarının karıştırılması, gerekli durumlarda su kaynakları arasında geçiş yapılması, optimum seviyede su çekimi yapılması ve Riverbank filtrasyon (RBF) kullanılması kaynaktan öncüllerin azaltılması ve kontrolü için tercih edilen yöntemler arasındadır. Üç tane tam ölçekli RBF sahasında çözünmüş organik karbon (ÇOK), THM ve HAA oluşma potansiyellerinde sırası ile %35-67, %57-73 ve %50-78 oranında azalmalar elde edilmiştir [27]. Sıkılaştırılmakta olan içme suyu DYÜ mevzuatlarının baskısıyla, DYÜ azaltılması için DOM başta olmak üzere içme suyu arıtma tesislerinde öncül maddelerin arıtılması yaygın olarak kullanılan bir yaklaşımdır. DOM veya DYÜ oluşumuna sebep olan diğer öncül maddelerin gideriminde zenginleştirilmiş koagülasyon, adsorpsiyon, iyon değiştirme, ileri oksidasyon prosesleri (İOP) ve membran prosesleri yaygın olarak kullanılan prosesleridir [28].

**Koagülasyon/Zenginleştirilmiş Koagülasyon:** Koagülasyon prosesi ile DOM gideriminde yük nötralizasyonu, adsorpsiyon, çökelti içerisine hapsedme ve kompleksleşme etkin olan mekanizmalardır. Koagülant türü ve dozu, pH, alkalinite, işletme koşulları, DOM'un özellikleri ve anyon/kasyonların varlığı, zenginleştirilmiş koagülasyon prosesinin etkinliğini belirleyen ana faktörlerdir [29]. Zenginleştirilmiş koagülasyon, konvansiyonel koagülasyona göre daha yüksek oranda DYÜ öncül madde giderim verimi sağlamaktadır [30]. Zenginleştirilmiş koagülasyon, pH'ın düşürülmesi, koagülant dozunun artırılması ve koagülant yardımcı kimyasalların eklenmesi gibi işletme

## Uluslararası Genel Çevre Sorunlarına Bakış

parametrelerinin değiştirilmesini kapsamaktadır [31]. Demir veya alüminyum bileşikleri DOM giderimi için en yaygın kullanılan koagülantlardır. Bulanıklık ve DOM konsantrasyonuna bağlı olarak, içme suyu arıtımında kullanılan demir bazlı veya alüminyum bazlı koagülantların tipik dozajı 5 ile 150 mg/L arasında değişmektedir. Alüminyum bazlı koagülantlar için optimum pH aralığı 5,5-7,7 arasında değişmekte iken demir bazlı koagülantların optimum pH aralığı ise 4,5-7'dir [31]. Zenginleştirilmiş koagülasyon prosesine sahip tam ölçekli içme suyu arıtma tesislerinde %20-66 aralığında ÇOK giderimi rapor edilmiştir [32]. HAA ve THM oluşum potansiyellerindeki azalma değerleri, elde edilen ÇOK giderimlerinden daha yüksek olması zenginleştirilmiş koagülasyon prosesinin DOM'un UV absorplayan fraksiyonlarını giderdiğini kanıtlamaktadır [33]. Daha yüksek yük yoğunluğu nedeniyle hidrofobik fraksiyonlar, hidrofilik fraksiyonlara göre tercihen giderilmektedir [34].

**Adsorpsiyon:** DOM gideriminde adsorpsiyon prosesi işletim kolaylığı, ekonomikliği ve birçok alanda uygulanabilirliği nedeniyle en çok tercih edilen arıtma yöntemlerinden biridir [35]. Aktif karbon, karbon nanotüpler, demir oksit parçacıkları ve doğal adsorbanlar DOM giderimi için test edilmiş ve geniş aralıkta giderim verimleri elde edilmiştir [32]. Toz ve granüler aktif karbon içme suyu arıtma tesislerinde DOM giderimi için en çok kullanılan adsorbanlar olup yüksek DOM giderim verimleri elde edilmektedir [36]. Aktif karbon ve DOM'un özellikleri ve işletim koşulları adsorpsiyon prosesinin etkinliğini belirleyen en önemli parametrelerdir [37]. Adsorpsiyon prosesi genellikle ilave DOM giderimi sağlamak ve suyun biyostabilitesini arttırmak için koagülasyon prosesi sonrası kullanılmaktadır. Marais vd. [38] konvansiyonel su arıtımından sonra granüler aktif karbon filtrasyonu ile yaklaşık %20-30 ilave DOM giderimi elde etmişlerdir. Tam ölçekli bir içme suyu arıtma tesisinde 50 günlük işletim süresi sonra 21 dakikalık boş yatak temas süresi için ÇOK, HAA ve THM oluşum potansiyelleri sırasıyla %80, %89 ve %95 azalmıştır. Ancak, aynı tesiste 250 gün işletim sonrası ÇOK, HAA ve THM oluşum potansiyellerinin azalma seviyeleri %42, %71 ve %40'a düşmüştür. Diğer taraftan, aktif karbon gözeneklerinin DOM fraksiyonları tarafından tıkanması ve inorganik öncüllerinin gideriminde elde edilen düşük verimler adsorpsiyon prosesinin başlıca dezavantajlarıdır [39].

**İyon Değiştirme (IEX):** İyon değiştirme prosesi ile DOM giderme mekanizması DOM üzerindeki anyonik fonksiyonel gruplar ile katyonik reçine yüzeyindeki anyonlar arasındaki tersinir iyon değişimi esasına dayanır. Manyetik iyon değişim reçinesi (MIEX), zenginleştirilmiş koagülasyona alternatif olarak 2000'li yıllarda DOM giderimi için özel olarak tasarlanmıştır. DOM karakteristiği, ham suyun bileşimi, reçinelerin özellikleri ve işletim koşulları MIEX prosesi ile DOM gideriminde verimi belirleyen en önemli parametrelerdir. DOM giderimi yanı sıra, inorganik öncülerin (örneğin, Br<sup>-</sup>) giderimi ve koagülant ve oksidan/dezenfektan talebindeki azalmalar MIEX'in başlıca avantajlarıdır [40]. MIEX ile yapılan tam ve pilot ölçekli çalışmalar, ÇOK giderim veriminin %36-80 arasında değiştiğini göstermektedir [41]. Bolto vd. [42] DOM'un yüksüz fraksiyonları nedeniyle iyon değişimi prosesi ile DOM'un %10-40'luk kısmının giderilemeyeceğini bildirmiştir. MIEX'in yanı sıra askıda iyon değişimi ve akışkan yataklı iyon değişimi de DOM giderimi için test edilmiştir. Konvansiyonel arıtmaya ile karşılaştırıldığında, askıda iyon değiştirme prosesinde ÇOK, HAA ve THM oluşma potansiyellerinde sırasıyla %50, %62 ve %62 azalma bildirilmiştir



## İçme Suyu Sistemlerinde DYÜ Oluşumu ve Kontrol Stratejileri

[43]. Partikül hâldeki DOM haricindeki çeşitli DOM fraksiyonları anyon değiştirme reçineleri tarafından başarıyla giderilmiştir [40]. MIEX prosesi ile hidrofobik, transfilik ve hidrofilik fraksiyonları için sırasıyla %63-75, %70-89 ve %2-67 aralığında giderim verimleri elde edilmiştir [32].

**Membran Prosesleri:** Membran prosesleri, yüksek giderim verimleri, düşük dezenfektan talebi, işletim kontrolünde kolaylık ve daha az çamur oluşumu nedeniyle DOM gideriminde artan bir ilgi görmektedir. Membran proseslerinde süzülme, elektrostatik ve hidrofobik etkileşimler DOM giderimi için etkin mekanizmalardır. Mikrofiltrasyon (MF) membranları, büyük gözenek boyutları nedeniyle DOM gideriminde etkin değildir, ancak ön arıtma amacıyla kullanılmaktadır. Negatif yüklü ultrafiltrasyon (UF) membranları ile %30 ile %50 arasında değişen DOM giderim verimleri elde edilmiştir [44]. DOM ve DYÜ öncülleri, nanofiltrasyon (NF) ve ters ozmoz (TO) membranları ile UF membranlarından daha etkili bir şekilde arıtılabilmektedir [45]. Seramik ve polimerik NF membranlar kullanılarak DOM'un arıtımı konusunda birçok çalışma yapılmıştır. NF ve TO membranları kullanılarak yapılan arıtım çalışmasında, THM ve HAA oluşum potansiyellerinde %90'dan fazlası azalma elde edilmiştir [46]. Organik ve inorganik DYÜ öncülleri TO membranları ile eş zamanlı arıtılabilirler. Membran proseslerinin en büyük zorlukları, düşük moleküler ağırlıklı DOM'lar için daha düşük giderim verimleri, tıkanma ve işletme maliyetleridir. Bu nedenle, NF ve RO membranları, tıkanma ve mineral kireçlenme (scaling) kontrolü için yoğun bir ön arıtma gerektirir. Yüksek işletme maliyetleri ve konsantrasyon yönetimi membran proseslerinin içme suyu arıtma tesislerinde yaygın kullanımı sınırlayan ana faktörlerdir.

**Biyolojik Arıtma:** DOM giderimi için genel olarak uygulanan biyolojik arıtma işlemi biyolojik aktif karbon filtrelerinin (BAK) kullanımınıdır. BAK filtreleri, diğer DOM kontrol proseslerinin kısıtlamalarının üstesinden gelmek için umut veren, çevre dostu ve ekonomik alternatiflerden biridir. BAK prosesi, çeşitli organik ve inorganik bileşiklerin arıtımı için etkili olan çok işlevli bir prosesdir [47]. BAK proses verimini etkileyen en önemli faktörler filtre ortamı, boş yatak temas süresi, bağlı biyokütle konsantrasyonu, ozon dozu, sıcaklıklar, geri yıkama ve besin takviyesidir [48]. DOM'u biyolojik olarak parçalanabilen organik maddeye dönüştürmek için BAK prosesinden önce ön ozonlama yapılmakla birlikte, ön ozonlama işlemi olmayan BAF prosesleri de DYÜ öncüllerinin giderimi için kullanılmaktadır. Brown et al. [48] ABD'deki tam ölçekli BAK tesislerinin %38'inin ön ozon uygulamadığını rapor etmişlerdir. Pilot/tam ölçekli tesislerde yapılan kapsamlı arıtılabilirlik çalışmalarında, DYÜ oluşumunu kontrol etmek için uygulanan ozon/BAK prosesinin DOM'u başarılı bir şekilde arıttığını göstermiştir [47]. İki tam ölçekli BAK ve iki pilot ölçekli BAF tesisinde yapılan çalışmalar sonucunda, C-DYÜ'lerin (THM/HAA) ve N-DYÜ'lerin (HNM, HAN ve NDMA) öncülleri için sırasıyla %13-57 ve %15-50 aralığında giderim verimleri elde edilmiştir [49]. Ozon/BAK prosesi ile DOM'un hidrofilik fraksiyonu tercihen giderildiğinden pilot/tam ölçekli ozon/BAF tesislerinde %5-25 oranında ÇOK giderimi sağlanmıştır [50].

**İleri Oksidasyon Prosesleri (İOP):** İOP'ler, son yıllarda DOM, alg kaynaklı organik maddeler ve atıksu kaynaklı organik maddelerin içme sularından arıtımı için dikkat çeken proseslerdir. İOP'ler, organik maddenin daha küçük moleküler ağırlıklı bileşiklere dönüşümünü sağlamak için hidroksil radikal oluşumuna dayanan proseslerdir. Ozon ( $O_3$ ) ve/veya hidrojen peroksit ( $H_2O_2$ ) farklı kata-

## Uluslararası Genel Çevre Sorunlarına Bakış

lizörler ve/veya UV ışığı ile kombinasyonu sonucu oluşan birçok farklı İOP prosesi, DOM giderimi için test edilmiştir [51]. İOP'lerin arıtma verimliliği esas olarak oluşan hidroksil radikallerinin miktarı ve su kalitesine bağlıdır. Katalitik ozonlama ile ÇOK, THM ve HAA konsantrasyonları sırasıyla %8,2-51,4, %41,3-51,2 ve %31,7-48,3 oranında azaltılmıştır [52]. UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> proseslerinde ÇOK, THM ve HAA oluşum potansiyellerinde sırasıyla %23, %77, %66 azalma görülürken, O<sub>3</sub>/UV proseslerinde aynı parametreler sırasıyla %56, %89 ve %83 düşüş gözlenmiştir [53]. Oksidasyon yan ürünlerinin oluşumu ve yüksek enerji talebi nedeniyle yüksek işletme maliyeti İOP'lerin en önemli dezavantajlarıdır. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, DOM'ların, diğer organik ve inorganik DYÜ öncül maddelerin giderim verimliliğini artırmak için iki veya daha fazla İOP kombinasyonlarının kullanımı umut vadeden seçenekler olarak görülmektedir.

### 3. DEZENFEKSİYON PROSESİNİN YÖNETİMİ

Tanımlanmış ve oluşum mekanizmaları iyi bilinen DYÜ'lerin çoğu, dünya çapında kullanılan en yaygın dezenfektan olan klor ile ilişkilidir. Bu nedenle operatörler, su arıtma tesislerinde hem mikrobiyal eliminasyonu sağlamak hem de dezenfeksiyon yan ürünlerin mevzuatlara uyumunu sağlamak için dezenfeksiyon prosesini en iyi şekilde yönetmelidir. Dezenfeksiyon yan ürün oluşumunu azaltmak için klor yerine alternatif birincil dezenfektan olarak ozon, klor dioksit, kloraminler veya UV kullanılırken su şebekelerinde mikrobiyal güvenliği sağlamak için son dezenfektan olarak klor veya kloraminler uygulanmaktadır [12]. Konvansiyonel arıtma tesislerinde DYÜ oluşumlarını kontrol etmek için, ön ve/veya son dezenfektan olarak klorun alternatifleri ile değiştirilmesi daha düşük konsantrasyonlarda yönetmeliklerce sınırlandırılmış veya sınırlandırılmamış DYÜ'lere neden olabilir. Ancak, bu değişim bazen daha toksik ve bilinmeyen türlere yol açmaktadır [54]. Dezenfektanın alternatiflerle değiştirilmesi durumunda, sınırlandırılmış DYÜ'lerin yanı sıra organik maddenin türü ve miktarı, azotlu bileşikler, brom veya iyot seviyesi ve su kalitesine bağlı olarak HNM'ler, nitrozaminler, haloamidler, halonitriller, halofuranonlar, iyodo asitler, iyodo-THM'ler, haloaldehitler, halopiroller, halokinonlar, haloketonlar, klorat içeren diğer bazı DYÜ'ler oluşmaktadır [12]. Klorlama veya kloraminasyon öncesi O<sub>3</sub> uygulaması THM'lerin ve HAA'ların oluşumunu önemli ölçüde azaltmasına rağmen [55], özellikle kaynak sularında yüksek seviyelerde bromür tuzlarının varlığında bromat oluşumuna neden olmaktadır [12]. Bundan dolayı, yüksek iyodür içeren su kaynakları yüksek konsantrasyonlarda bromür içereceğinden, yönetmelik değerlerini aşan THM, HAA ve bromat oluşumlarının kontrol altına alınması için ozon ve klor dozu, temas süresi ve çalışma koşulları belirlenirken çok dikkatli olunmalıdır [55]. ClO<sub>2</sub> ve klorun birlikte uygulanması durumunda, sınırlandırılmış ve yeni tanımlanan DYÜ'leri en aza indirmek için adsorpsiyon veya membran prosesleri önerilmektedir [12]. İyodür içeren su kaynaklarında kloramin ve klor dioksit İ-DYÜ'ler oluşturduğundan, klorlama ve ozonlama gibi iyodürü oksitleyebilecek bir ön arıtma işlemi olmadıkça bu dezenfektanların uygulanmasından kaçınılmalıdır [55]. Konvansiyonel içme suyu arıtma tesislerinde klorlu ve bromlu yan ürün oluşumuna eğilimin dezenfektan türüne göre sıralaması klor-kloraminler>klor dioksit şeklindedir. Diğer taraftan iyotlu yan ürünler oluşturma eğiliminde dezenfektanlar kloraminler>klor dioksit>klor>ozon şeklinde sıralanabilir [55].

### 4. DYÜ KONTROLÜNDE İŞLETME PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU

Arıtma tesisinde ve su dağıtım şebekesinde DYÜ oluşumunu kontrol etmek ve en aza indirmek için en etkili yaklaşımlardan biri DYÜ oluşumuna katkısı olan işletme parametrelerinin optimizasyonudur. Her su ortamının özelliği farklı olduğundan, DYÜ kontrolünün tesis bazında yapılması gerekmektedir.

Arıtma tesislerinde temas süresi ve klor dozajı arttığında, THM ve HAA oluşumu hızla artmaktadır. Temas süresi 5 saate ulaşmadan önce her iki DYÜ grubu oluşurken, nihai konsantrasyonun %90'ına 24 saatlik sürede ulaşılmıştır [56]. Temas süreleri DYÜ oluşumunu arttırsa da düşük temas süreleri dezenfeksiyon verimliliğini düşürmektedir. Bu nedenle klor uygulama noktasının tam olarak belirlenmesi hedeflenmeli ve gerekirse ikincil dezenfeksiyon işlemleri yapılarak, DYÜ oluşumunu en aza indirmek için su dağıtım sisteminde ara noktalar belirlenmelidir.

Klor dozu, dağıtım sisteminde sağlanması gereken kalıntı klor konsantrasyonuna göre ayarlanmaktadır. Artan klor dozu DYÜ oluşumunu artırmaktadır. Klor çözeltisinde bromür iyonunun varlığının bromlu türlerin oluşumuna neden olduğu belirtilmiştir [56]. Bu nedenle, en yüksek THM veya bromlu tür oluşum potansiyeli veya en yüksek klor talebi döneminde klor dozajını optimize etmek gerekmektedir [57]. Ozon ile dezenfeksiyonda uygulanan dozun bromat oluşumu ile pozitif korelasyona sahip olduğu görülmüştür. Sudaki bromür konsantrasyonunun artması bromat oluşumunu da artırmaktadır [58]. Dezenfeksiyon işleminde UV ve ozon kullanımı halojenli DYÜ oluşumunu azaltmaktadır [22]. UV oksidasyonu ile birlikte klor veya kloramin uygulaması yapılması su dağıtım sisteminde kalıntı dezenfektan sağlayabilir. UV kloraminasyon sırasında uygulanan yüksek UV dozajının haloketon, dikloroasetik asit ve trikloroasetik asitte %24 azalmaya neden olduğu bildirilmiştir [26]. Bununla birlikte UV uygulamasının klor dezenfeksiyon maliyetinin yaklaşık iki katı olduğu rapor edilmiştir [57].

Klor ile dezenfeksiyon işleminde pH azaldıkça ve HAA'lar arttıkça THM konsantrasyonlarının azaldığı bildirilmiştir [59]. Ayrıca artan pH (pH<9,5) ile THM, TCAA ve TOX oluşumu azalma eğilimindedir [56]. Bromat oluşumu genellikle daha yüksek pH değerlerinde artmaktadır [60]. pH değerinin 6,0'dan 8,5'e yükseltilmesinin, moleküler ozondan hidroksil radikal oksidasyona geçiş nedeniyle, yaklaşık 20 ppb bromat artışına neden olduğu belirtilmiştir [58].

Sıcaklık hem reaksiyon hızını hem de THM oluşum potansiyelini arttırmaktadır [57]. Örneğin, su sıcaklığının 10°C'den 30°C'ye yükselmesi THM oluşumunu %15-25 oranında artırmıştır [56]. Bromat oluşumu mevsimsel olarak değişmekte ve su sıcaklığı 15°C'nin üzerinde, yaz aylarında artmaktadır [58]. Başka bir çalışmada, su sıcaklığının 20°C'den 30°C'ye yükselmesinin, bromat oluşumunu yaklaşık %31 artırdığı bildirilmiştir [61].

Bir dağıtım sistemine giren su, en az 20 dakika temas süresinden sonra 0,5 mg/L veya daha yüksek bir seviyede monokloramin veya serbest klor konsantrasyonu içermelidir [57,62,63]. pH, sıcaklık ve suyun diğer özelliklerine bağlı olarak daha yüksek bir kalıntı dezenfektan konsantrasyonu gerekebilmektedir. Dağıtım sisteminde daha uzun temas süresi ve bu nedenle reaksiyon süresi genellikle daha yüksek kalıntı klor tüketimine ve daha fazla THM oluşumuna yol açmaktadır. Kalıntı

## Uluslararası Genel Çevre Sorunlarına Bakış

klor konsantrasyonu 4 mg/L'nin üzerinde ise klor kalıntıları göz, burun tahrişi ve mide rahatsızlığı gibi bilinen veya beklenen sağlık risklerine neden olabilmektedir [57]. Dağıtım sisteminin başındaki kalıntı klor konsantrasyonu 4 mg/L'yi aşarsa, klor dozu azaltılmalı ve kalıntı klor miktarını sabit tutmak için diğer seçenekler araştırılmalıdır. Klor kullanımı ve DYÜ seviyeleri arasında doğrudan bir ilişki olduğundan, klor dozunu optimize etmek gerekmektedir.

Su yaşı, su dağıtım sistemindeki su tutma süresidir ve boru uzunluğu ile su akış hızından etkilenmektedir [64]. Bir su dağıtım sisteminde basınç azaldığında su yaşı artmaktadır [65]. Bu nedenle, dağıtım sistemindeki sürenin artması DYÜ konsantrasyonlarının artmasına neden olabilir [65]. ABD'de 800'den fazla su temini şebekesini kapsayan bir anketin sonuçlarına göre, ortalama su yaşı yaklaşık 1,3 gündür. Su dağıtım şebekesi, bu değer 3 günden fazla olmaması için tasarlanmalıdır [64]. Dağıtım sisteminin sonunda bulunan tanklar, tank ve dağıtım şebekesindeki su yaşını artırma eğilimindedir. Dağıtım sisteminin başında su depolama tankları bulunuyorsa, suyun genel yaşı ve dağıtım şebekesindeki kalıntı klor miktarı azalma eğilimindedir [57].

## 5. DYÜ OLUŞUMU İÇİN MODELLER

DYÜ türlerinin analizi zor, vakit alıcı, uzman teknik personel ve analitik hassas cihazlar gerektirmesinden dolayı, kısa sürede daha kolay ölçülebilen DOM miktarı, UV absorbans, bromür konsantrasyonu temas süresi, pH ve sıcaklık gibi parametrelere bağlı modeller geliştirilmektedir. İçme suyunda DYÜ oluşumunu tahmin etmeye yönelik geliştirilen modeller, işletme kontrolü, dağıtım sistemi tasarımı ve bakım için bir karar verme aracı olarak kullanılmaktadır [57]. Aynı zamanda bu modellerle, DYÜ oluşumunda farklı su kalitesi ve çalışma parametreleri belirlenebilmektedir [66]. Modellerin tahmin kapasitesini tespit etmek için korelasyon katsayıları ( $R$ ,  $R^2$ ) ve tahmin hata parametreleri (AE, MSE, RMSE vb.) gibi farklı istatistiksel performans teknikleri kullanılmaktadır. İçme sularında DYÜ oluşumunu tahmin etmek için çok sayıda model geliştirilmiştir. Bu modellerde çoğunlukla THM oluşumuna odaklanılmıştır. Model için kullanılan veriler laboratuvar veya sahada ham, ön işlem görmüş veya sentetik hazırlanmış sularda yapılan ölçümlerden elde edilmiştir. Çoğu DYÜ modelinde, ölçülen değişkenler ve DYÜ konsantrasyonları arasındaki ampirik ilişkiyi değerlendirmek için çoklu doğrusal regresyon (ÇDR) analizi kullanılmıştır. Bazı yaklaşımlarda, modeldeki değişken sayısını belirlemek için kullanılabilir bir veri ön işleme yöntemi olan temel bileşen ana bileşen analizi (TBA) uygulanmıştır [67]. En önemli DYÜ öncüllerinden olan DOM reaksiyonlarının doğrusal olmayan doğası nedeniyle, DYÜ oluşumunu ÇDR modelleriyle ifade etmek çoğunlukla zordur [68]. Yapay zeka yöntemleri karmaşık ve doğrusal olmayan ilişkileri tanımlayabilir ve son yıllarda özellikle yapay sinir ağları (YSA) DYÜ oluşumu için sıklıkla kullanılmaktadır [69]. YSA modelleri DYÜ oluşum sürecinde; uygun analiz yöntemlerinin seçilmesi, su arıtma süreçlerinde ileriye dönük DYÜ kontrol stratejilerinin belirlenmesi aşamalarında karar destek mekanizması olarak kullanılma potansiyeline sahiptir [69]. Çoğu model ÇDR istatistiksel teknikleri kullanılarak geliştirilmiştir. DYÜ Tahmin performansları ( $R^2$ ) ÇDR ve YSA modelleri için sırasıyla 0,69-0,92 ve 0,92-0,98 arasında hesaplanmıştır. Bu durum, YSA modellerinin DYÜ ve DYÜ öncülleri arasındaki karmaşık ilişkiyi daha doğru bir şekilde tanımladığını göstermektedir.

### KAYNAKLAR

- [1] Richardson, S. D., Postigo, C., Drinking Water Disinfection By-products. In: Barceló D. (ed.) Emerging Organic Contaminants and Human Health. pp. 93-137. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg (2012).
- [2] Tang, Y. L., Long, X., Wu, M. Y., Yang, S., Gao, N.Y., Xu, B., Dutta, S., Bibliometric review of research trends on disinfection by-products in drinking water during 1975-2018. *Sep Purif Technol.* 241 (2020).
- [3] Richardson, S. D., Plewa, M. J., To regulate or not to regulate? What to do with more toxic disinfection by-products? *J Environ Chem Eng.* 8(4) (2020).
- [4] Krasner, S. W., The formation and control of emerging disinfection by-products of health concern. *Philos T R Soc A.* 367(1904) (2009) 4077-4095.
- [5] Hua, G. H., Reckhow, D. A. Evaluation of bromine substitution factors of DBPs during chlorination and chloramination. *Water Res.* 46(13) (2012) 4208-4216.
- [6] Gould, J. P., Fitchorn, L. E., Urheim, E., Formation of brominated trihalomethanes: extent and kinetics. In: Jolley, R. L., Brungs, W. A., Cotruvo, J. A., Cumming, R. B., Mattice, J. S., Jacobs, V. A. (ed.) *Water Chlorination: Environmental Impact and Health Effects.* Ann Arbor Sci. Publ., Ann Arbor, Michigan (1983).
- [7] Rook, J. J. Formation of haloforms during chlorination of natural waters. *Journal of Water Treatment and Examination.* 23 (1974) 234-243.
- [8] Beller, T. A., Lichtenberg, J. J., Kromer, R. C. The occurrence of organohalide in chlorinated drinking water. *Journal of American Water Works Association.* 66 (1974) 703-711.
- [9] Krasner, S. W., Weinberg, H. S., Richardson, S. D., Pastor, S. J., Chinn, R., Scilimenti, M. J., Onstad, G. D., Thruston, A. D. Occurrence of a new generation of disinfection by products. *Environ Sci Technol.* 40(23) (2006) 7175-7185.
- [10] Qian, Y. K., Chen, Y. A., Hu, Y., Hanigan, D., Westerhoff, P., An, D. Formation and control of C- and N-DBPs during disinfection of filter backwash and sedimentation sludge water in drinking water treatment. *Water Res.* 194 (2021).
- [11] Du, Y. J., Zhao, L., Ban, J., Zhu, J.Y., Wang, S. W., Zhu, X., Zhang, Y. Y., Huang, Z. H., Li, T. T. Cumulative health risk assessment of disinfection by products in drinking water by different disinfection methods in typical regions of China. *Sci Total Environ.* 770 (2021).
- [12] Richardson, S. D., Postigo, C. Drinking water disinfection by products. In: *Emerging organic contaminants and human health* pp. 93-137. Springer, Berlin, Heidelberg (2011).
- [13] Richardson, S. D., Plewa, M. J., Wagner, E. D., Schoeny, R., DeMarini, D. M. Occurrence, genotoxicity, and carcinogenicity of regulated and emerging disinfection by-products in drinking water: A review and roadmap for research. *Mutat Res-Rev Mutat.* 636(1-3) (2007) 178-242.
- [14] WHO. World Health Organization (WHO), Guidelines for Drinking-water Quality, World Health Organization, 9241544805 (v. 3), 4th Edition, Geneva, Switzerland. (2011).
- [15] Cantor, K. P., Lynch, C. F., Hildesheim, M. E., Dosemeci, M., Lubin, J., Alavanja, M., Craun, G. Drinking water source and chlorination byproducts in Iowa. III. Risk of brain cancer. *Am J Epidemiol.* 150(6) (1999) 552-560.
- [16] Diana, M., Felipe-Sotelo, M., Bond, T. Disinfection byproducts potentially responsible for the association between chlorinated drinking water and bladder cancer: A review. *Water Res.* 162 (2019) 492-504.

## Uluslararası Genel Çevre Sorunlarına Bakış

- [17] Rahman, M. B., Cowie, C., Driscoll, T., Summerhayes, R. J., Armstrong, B. K., Clements, M. S. Colon and rectal cancer incidence and water trihalomethane concentrations in New South Wales, Australia. *Bmc Cancer*. 14 (2014).
- [18] Ates, N., Kaplan-Bekaroglu, S.S., Dadaser-Celik, F. Spatial/temporal distribution and multi-pathway cancer risk assessment of trihalomethanes in low TOC and high bromide groundwater. *Environ Sci-Proc Imp*. 22(11) (2020) 2276-2290.
- [19] USEPA. U.S. Environmental Protection Agency (USEPA), National interim primary drinking water regulations; control of trihalomethanes in drinking water. *Federal Register*, 68624. (1979).
- [20] EC. European Commission (EC), The Quality of Water Intended for Human Consumption, Council Directive 2020/218, December 16, The European Parliament and of The Council, Brussels. (2020)
- [21] USEPA. United States Environmental Protection Agency (USEPA). National Primary Drinking Water Regulations: Stage 2 Disinfectants and Disinfection Byproducts Rule Developed by United States Environmental Protection Agency, Washington, DC. (2006).
- [22] Yang, L. Y., Chen, X. M., She, Q. H., Cao, G. M., Liu, Y. D., Chang, V. W. C., Tang, C. Y. Regulation, formation, exposure, and treatment of disinfection by-products (DBPs) in swimming pool waters: A critical review. *Environ Int*. 121 (2018) 1039-1057.
- [23] THOM. Turkish Ministry of Health (TMOH), Regulation Concerning Water Intended for Human Consumption, Official News Paper, No. 25730, Ankara, Turkey. (2005).
- [24] Tak, S., Vellanki, B.P. Natural organic matter as precursor to disinfection byproducts and its removal using conventional and advanced processes: state of the art review. *J Water Health*. 16(5) (2018) 681-703.
- [25] Wall, N. A., Choppin, G. R. Humic acids coagulation: influence of divalent cations. *Appl Geochem*. 18(10) (2003) 1573-1582.
- [26] Chaukura, N., Marais, S. S., Moyo, W., Mbali, N., Thakalekoala, L. C., Ingwani, T., Mamba, B. B., Jarvis, P., Nkambule, T. T. I. Contemporary issues on the occurrence and removal of disinfection byproducts in drinking water - A review. *J Environ Chem Eng*. 8(2) (2020).
- [27] Weiss, W. J., Bouwer, E. J., Ball, W. P., O'Melia, C. R., Lechevallier, M. W., Arora, H., Speth T. F. Riverbank filtration - fate of DBP precursors and selected microorganisms. *J Am Water Works Ass*. 95(10) (2003) 68-81.
- [28] Wang, F., Gao, B. Y., Yue, Q. Y., Bu, F., Shen, X. Effects of ozonation, powdered activated carbon adsorption, and coagulation on the removal of disinfection by-product precursors in reservoir water. *Environ Sci Pollut R*. 24(21) (2017) 17945-17954.
- [29] Saxena, K., Brighu, U., Choudhary, A. Parameters affecting enhanced coagulation: a review. *Environmental Technology Reviews*. 7(1) (2018) 156-176.
- [30] Bolto, B., Dixon, D., Eldridge, R., King, S. Removal of THM precursors by coagulation or ion exchange. *Water Res*. 36(20) (2002) 5066-5073.
- [31] Sillanpaa, M., Ncibi, M. C., Matilainen, A., Vepsalainen, M. Removal of natural organic matter in drinking water treatment by coagulation: A comprehensive review. *Chemosphere*. 190 (2018a) 54-71.
- [32] Bond, T., Goslan, E. H., Parsons, S. A., Jefferson, B. Treatment of disinfection by-product precursors. *Environ Technol*. 32(1) (2011) 1-25.
- [33] Liang, L., Singer, P. C. Factors influencing the formation and relative distribution of haloacetic acids and trihalomethanes in drinking water. *Environ Sci Technol*. 37(13) (2003) 2920-2928.

## İçme Suyu Sistemlerinde DYÜ Oluşumu ve Kontrol Stratejileri

- [34] Mikola, M., Ramo, J., Sarpola, A., Tanskanen, J., Removal of different NOM fractions from surface water with aluminium formate. *Sep Purif Technol.* 118 (2013) 842-846.
- [35] Bhatnagar, A., Sillanpaa, M. Removal of natural organic matter (NOM) and its constituents from water by adsorption - A review. *Chemosphere.* 166 (2017) 497-510.
- [36] Bond, T., Goslan, E. H., Parsons, S. A., Jefferson, B. A critical review of trihalomethane and haloacetic acid formation from natural organic matter surrogates. *Environmental Technology Reviews.* 1(1) (2012) 93-113.
- [37] Golea, D. M., Jarvis, P., Jefferson, B., Moore, G., Sutherland, S., Parsons, S. A., Judd, S. J. Influence of granular activated carbon media properties on natural organic matter and disinfection by-product precursor removal from drinking water. *Water Res.* 174 (2020).
- [38] Marais, S. S., Ncube, E. J., Msagati, T. A. M., Mamba, B. B., Nkambule, T. T. I., Comparison of natural organic matter removal by ultrafiltration, granular activated carbon filtration and full scale conventional water treatment. *J Environ Chem Eng.* 6(5) (2018) 6282-6289.
- [39] Erdem C.U., Ateia M., Liu C., Karan T., Activated carbon and organic matter characteristics impact the adsorption of DBP precursors when chlorine is added prior to GAC contactors. *Water Res.* 184 (2020).
- [40] Levchuk, I., Marquez, J. J. R., Sillanpaa, M., Removal of natural organic matter (NOM) from water by ion exchange - A review. *Chemosphere.* 192 (2018) 90-104.
- [41] Singer, P. C., Boyer, T., Holmquist, A., Morran, J., Bourke, M. Integrated analysis of NOM removal by magnetic ion exchange. *J Am Water Works Ass.* 101(1) (2009) 65-73.
- [42] Bolto, B., Dixon, D., Eldridge, R., Ion exchange for the removal of natural organic matter. *React Funct Polym.* 60 (2004) 171-182.
- [43] Metcalfe, D., Rockey, C., Jefferson, B., Judd, S., Jarvis, P., Removal of disinfection by-product precursors by coagulation and an innovative suspended ion exchange process. *Water Res.* 87 (2015) 20-28.
- [44] Xu, D. L., Bai, L. M., Tang, X. B., Niu, D. Y., Luo, X. S., Zhu, X. W., Li, G. B., Liang, H., A comparison study of sand filtration and ultrafiltration in drinking water treatment: Removal of organic foulants and disinfection by-product formation. *Sci Total Environ.* 691 (2019) 322-331.
- [45] Ateş, N., Yılmaz, L., Kitis, M., Yetiş, U., Removal of disinfection by-product precursors by UF and NF membranes in low-SUVA waters. *J Membrane Sci.* 328(1-2) (2009) 104-112.
- [46] Sentana, I., Rodriguez, M., Sentana, E., M'Birek C., Prats D. Reduction of disinfection by-products in natural waters using nanofiltration membranes. *Desalination.* 250(2) (2010) 702-706.
- [47] Liu, C., Olivares, C. I., Pinto, A. J., Lauderdale, C. V., Brown, J., Selbes, M., Karanfil, T., The control of disinfection byproducts and their precursors in biologically active filtration processes. *Water Res.* 124 (2017) 630-653.
- [48] Brown, J., Upadhyaya, G., Carter, J., Brown, T., Lauderdale, C., North American Biofiltration Knowledge Base. In: *Water Research Foundation Report.* Denver, Colorado, (2016).
- [49] Selbes, M., Brown, J., Lauderdale, C., Karanfil, T., Removal of Selected C- and N-DBP Precursors in Biologically Active Filters. *J Am Water Works Ass.* 109(3) (2017) E73-E84.
- [50] Selbes, M., Amburgey, J., Peeler, C., Alansari, A., Karanfil, T., Evaluation of Seasonal Performance of Conventional and Phosphate-Amended Biofilters. *J Am Water Works Ass.* 108(10) (2016) E523-E532.
- [51] Sillanpaa, M., Ncibi, M. C., Matilainen, A., Advanced oxidation processes for the removal of natural organic matter from drinking water sources: A comprehensive review. *J Environ Manage.* 208 (2018b) 56-76.

## Uluslararası Genel Çevre Sorunlarına Bakış

- [52] Chen, K. C., Wang, Y. H., Chang, Y. H., Using catalytic ozonation and biofiltration to decrease the formation of disinfection by-products. *Desalination*. 249(3) (2009) 929-935.
- [53] Chin, A., Berube, P. R., Removal of disinfection by-product precursors with ozone-UV advanced oxidation process. *Water Res.* 39(10) (2005) 2136-2144.
- [54] Richardson, S. D., Ternes, T. A., *Water Analysis: Emerging Contaminants and Current Issues*. *Anal Chem.* 83(12) (2011) 4614-4648.
- [55] Hua, G. H., Reckhow, D. A., Comparison of disinfection by-product formation from chlorine and alternative disinfectants. *Water Res.* 41(8) (2007) 1667-1678.
- [56] Hrudey, S. E., Chlorination Disinfection by-products (DBPs) in Drinking Water and Public Health in Canada. In: *A Primer for Public Health Practitioners Reviewing Evidence from Over 30 Years of Research*. National Collaborating Centre on Environmental Health, Canada (2008).
- [57] Dawe, P., *Best Management Practices for the Control of Disinfection by-products in Drinking Water Systems in Newfoundland and Labrador*. Department of Environment and Conservation Water Resources Management Division. Canada (2009).
- [58] Young, K. B., Development of operative strategies to our district bromate formation in the Moorhead Water Treatment Plant. MSc Thesis, North Dakota State University (2014).
- [59] Hung, Y. C., Waters, B. W., Yemmireddy, V. K., Huang, C. H., pH effect on the formation of THM and HAA disinfection by-products and potential control strategies for food processing. *J Integr Agr.* 16(12) (2017) 2914-2923.
- [60] Williams, M. D., Coffey, B. M., Krasner, S. W. Evaluation of pH and ammonia for controlling bromate during *Cryptosporidium* disinfection. *J Am Water Works Ass.* 95(10) (2003) 82-93.
- [61] Siddiqui, M. S., Amy, G. L., Factors Affecting Dbp Formation during Ozone Bromide Reactions. *J Am Water Works Ass.* 85(1) (1993) 63-72.
- [62] Al-Zahrani, M. A., Optimizing Dosage and Location of Chlorine Injection in Water Supply Networks. *Arab J Sci Eng.* 41(10) (2016) 4207-4215.
- [63] Zhang, C. Q., Lu, J. R., Optimizing disinfectant residual dosage in engineered water systems to minimize the overall health risks of opportunistic pathogens and disinfection by-products. *Sci Total Environ.* 770 (2021).
- [64] Kourbasis, N., Patelis, M., Tsitsifli, S., Kanakoudis, V., Optimizing water age and pressure in drinking water distribution networks. In, *Environmental Sciences Proceedings 2020*, vol. 51, pp. 1-9.
- [65] Mazhar, M. A., Khan, N. A., Ahmed, S., Khan, A. H., Hussain, A., Rahisuddin Changani, F., Yousef M., Ahmadi, S., Vambol, V., Chlorination disinfection by-products in municipal drinking water - A review. *J Clean Prod.* 273 (2020).
- [66] Chowdhury, S., Champagne, P., McLellan, P. J., Models for predicting disinfection by-product (DBP) formation in drinking waters: A chronological review. *Sci Total Environ.* 407(14) (2009) 4189-4206.
- [67] Singh, K. P., Gupta, S. Artificial intelligence based modeling for predicting the disinfection by-products in water. *Chemometr Intell Lab.* 114 (2012) 122-131.
- [68] Li, L., Rong, S. M., Wang, R., Yu, S. L., Recent advances in artificial intelligence and machine learning for nonlinear relationship analysis and process control in drinking water treatment: A review. *Chem Eng J.* 405 (2021).
- [69] Guo, K., Pan, Y. P., Yu, H. Y., Composite Learning Robot Control with Friction Compensation: A Neural Network-Based Approach. *Ieee T Ind Electron.* 66(10) (2019) 7841-7851.



# ALÜMİNYUM ELEKTROTLAR KULLANILARAK YÜRÜTÜLEN ELEKTROKOAGULASYON PROSESİ İLE TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ATIKSULARININ ARITILMASI VE PROSES İŞLETME KOŞULLARININ TAGUCHI DENEYSEL TASARIM MATRİSİ İLE OPTİMİZASYONU

Adil Akbey<sup>1</sup> - Ömür Gökkuş<sup>2</sup>

## ÖZET

Bu çalışmada gerçek tekstil atıksuyunun elektrokoagülasyon prosesi ile arıtımında renk ve toplam organik karbon (TOK) parametreleri için en iyi giderim verimlerinin elde edildiği koşullar Taguchi deneysel tasarım matrisi ( $L_9$ ) kullanılarak belirlenmiştir. Çalışma kapsamında pH, akım yoğunluğu, elektroliz süresi olmak üzere üç farklı işletimsel parametrenin arıtım performansı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre en iyi renk gideriminin elde edildiği koşullar pH 5, akım yoğunluğu 100 A/m<sup>2</sup> ve elektroliz süresi 50 dakika olarak tespit edilmiştir. Bu koşullar altında yürütülen elektrokoagülasyon denemesinde %98,6 renk giderim verimine ulaşılmıştır. Diğer taraftan en iyi TOK gideriminin elde edildiği koşullar pH 3, akım yoğunluğu 100 A/m<sup>2</sup> ve elektroliz süresi 100 dakikadır. Bu koşullarda yürütülen elektrokoagülasyon denemesi sonucunda ise %53,5 TOK giderimine ulaşılmıştır. En iyi TOK gideriminin elde edildiği deneysel çalışmada ise pH, akım yoğunluğu ve elektroliz süresi parametrelerinin katkı yüzdeleri sırasıyla %3, %58 ve %29 olduğu belirlenmiştir. Renk giderimi için optimum koşullarda yürütülen deneysel çalışmadan elde edilen verilere göre mineralizasyon akım verimi, elektrot tüketimi ve toplam işletim maliyetleri sırasıyla 128,58; 0,23 kg-Al/m<sup>3</sup> ve 2,42 \$/m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır. Diğer taraftan TOK için optimum koşullarda yürütülen deneysel çalışmaya ait mineralizasyon akım verimi, elektrot tüketimi ve toplam işletim maliyetleri ise sırasıyla 121,72; 0,46 kg-Al/m<sup>3</sup> ve 4,20 \$/m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır.

**Anahtar Sözcükler:** Elektrokoagülasyon, Tekstil, Taguchi, Optimizasyon, Deneysel Tasarım

## ABSTRACT

In this study, the conditions at the best removal efficiencies for color and TOC parameters in the treatment of real textile wastewater by electrocoagulation were determined employing Taguchi experimental design method ( $L_9$ ). In the scope of the study, the effect of three different parameters like pH, current density and electrolyze time on treatment performance was evaluated. According to the findings, the optimum conditions for the best color removal were determined as pH 5, the current density of 100 A m<sup>-2</sup> current density of

1 Sorumlu Yazar, Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, 38039, Melikgazi/Kayseri, adilakbey@gmail.com, ORCID : 0000-0002-7275-5248

2 Sorumlu Yazar, Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, 38039, Melikgazi/Kayseri, omurgokkus@erciyes.edu.tr, ORCID: 0000-0001-6044-352

## Uluslararası Genel Çevre Sorunlarına Bakış

100 A m<sup>-2</sup> and electrolysis time of 50 min. At these conditions, 98.6% color removal was reached with the electrocoagulation process. On the other hand, the best TOC removal was reached at the conditions; pH 3, the current density of 100 A m<sup>-2</sup> and electrolysis time of 100 min. At these conditions, 53.5% TOC removal was reached with the electrocoagulation process. Moreover, the contribution ratios for each system parameter were calculated and it is found that the contribution ratios for each parameter at the best conditions for the color removal were 21%, 16%, and 44% for pH, current density, and electrolysis time, respectively. According to the calculations with the data obtained from the EC experiments for color removal, mineralization current efficiency, electrode consumption, and total operational costs were 128.58; 0.23 kg-Al/m<sup>3</sup> and 2.42 \$/m<sup>3</sup>, respectively. On the other hand, mineralization current efficiency, electrode consumption and total operational costs belong to the experiments performed at the optimum conditions for TOC removal were calculated as 121.72; 0.46 kg-Al/m<sup>3</sup> and 4.20 \$/m<sup>3</sup>, respectively.

**Keywords:** *Electrocoagulation, Textile, Taguchi, Optimization, Experimental Design*

### 1. GİRİŞ

Atıksu arıtımında uygulanan fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtım proseslerinin birçoğunun karmaşık ve pahalı olması, atıksudaki yüksek kirlilik, arıtılmayan kimyasalların kullanımının artması nedeniyle tam arıtım sağlayamamaları yeni atıksu arıtım sistemleri geliştirilmesine neden olmuştur [1]. Tekstil endüstrisi dokuma, örme gibi yöntemlerle kumaş üretimini, iplik üretimi yaparken ipliklere apre, boya, baskı gibi terbiye işlemlerini içerir. Tekstil endüstrisinin hammaddesi elyaftır. Doğada bulunan elyaflar arasında keten, pamuk, yün, kenevir, mohair, kıllar bulunur. Fabrikasyon elyaflar arasında ise naylon, reyon, polyester, kazein, asetat-selüloz ester, vinil ve akrilik bulunur. Tekstil endüstrisi, genel anlamda en fazla su tüketimine sahip endüstrilerin başında gelmektedir ve buna bağlı olarak da üretim sonrasında oluşan atıksu miktarı oldukça yüksektir. Tekstil endüstrisinde yer alan proses ve işlemler çoğunlukla benzerdir. Boyama işlemlerinde %10-15 oranında boyar madde çıkış suyuna geçerek tekstil endüstrisinden çevreye milyonlarca metreküp renkli atık su atılmaktadır [2]. Bu atıksular toksik ve kompleks boya bileşiklerini içerir [3]. Tekstil endüstrisi atıksuları biyolojik olarak parçalanabilir atıkların yanında yüksek konsantrasyonda renk, boyar madde, yardımcı kimyasal ve kompleks yapıda bileşikler içerdiğinden arıtımı zordur [4].

Tekstil endüstrisi atıksuları kompleks kimyasallar içerdiğinden toksik yapıdadır ve biyolojik olarak ayrışmaya karşı dirençli olduklarından ileri arıtım prosesleri ile arıtılması gerekir [5]. Pek çok toksik kimyasal madde içeren tekstil endüstrisi atıksularının arıtımında pratikte kullanılabilecek ileri atıksu arıtım proseslerinden biri “Elektrokoagülasyon Prosesi”dir.

Bu çalışmada yüksek kirlenici kimyasallar ve renk içeren tekstil sanayi atıksularının elektrokoagülasyon prosesi ile arıtılması için Taguchi metodu kullanılarak Minitab 18 programı yardımı ile proses koşulları optimize edilmiş ve işletme parametrelerinin proses performansı üzerindeki etkileri ayrı ayrı her bir parametre için belirlenmiştir.

### 2. GEREÇ VE YÖNTEM

Çalışmada atıksuya herhangi bir ön işlem uygulanmaksızın kullanılmıştır ve atıksu numuneleri +4°C’de muhafaza edilmiştir. Ham atıksuya ilişkin fiziksel ve kimyasal parametrelerin analiz sonuçları için deneysel çalışmalar iki tekrarlı olarak yapılmış olup standart sapma değerleri ile bir-

## Proses İşletme Koşullarının Taguchi Deneysel Tasarım Matrisi ile Optimizasyonu

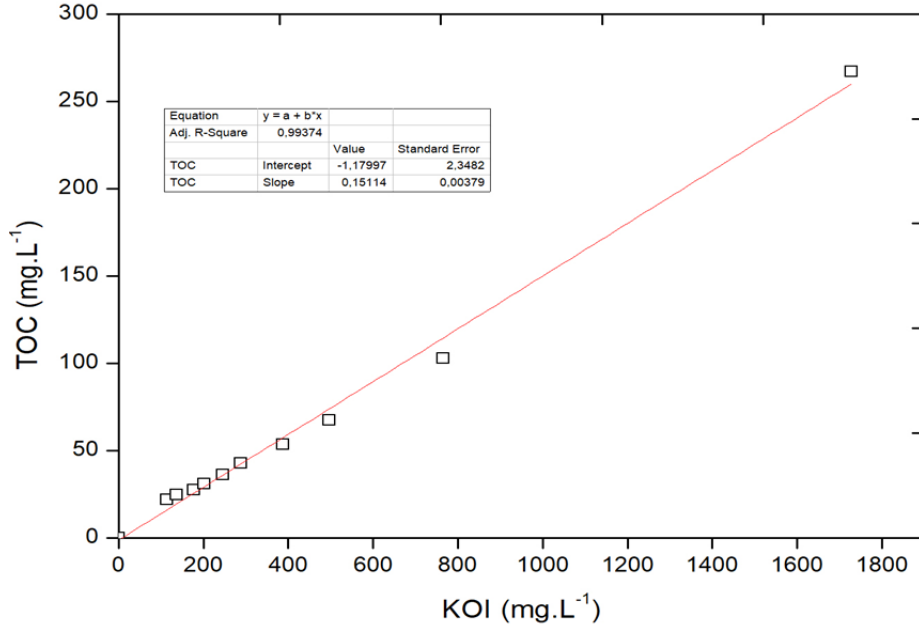
likte Tablo 1’de verilmiştir. Tablo 1’e bakıldığında atıksuyun içerdiği metal konsantrasyonlarının oldukça düşük düzeylerde olduğu dikkat çekmektedir. Bu nedenle atıksu arıtımı çalışmaları sonrasında metal konsantrasyonlarının analizine gerek duyulmamıştır. KOI ölçümü, Standart Metotlara (5220-D) göre yapılmış olup analizler için potasyum hidrojen ftalat standart çözeltisinden (20-1000 mg O<sub>2</sub>/L KOI) bir standart eğri hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler 600 nm’de spektrofotometrik olarak ölçülür [6]. TOK ve TN ölçümleri ise yüksek sıcaklıkta yakma “High-Temperature Combustion” metoduna göre 720 °C fırın sıcaklığı ve yüksek saflıkta kuru hava kullanan bir TOK cihazı ile yapılmıştır. TOK analizleri potasyum hidrojen ftalat standart çözeltisi kullanılarak hazırlanan kalibrasyon eğrisi ile gerçekleştirilmiştir.

**Tablo 1. Çalışmada Kullanılan Tekstil Atıksuyunun Deneysel Öncesi Belirlenen Karakterizasyon Değerleri**

Parametre Adı	Birimi	Değeri
pH	--	12,43 ± 0,03
KOI <sub>Toplam</sub>	mg L <sup>-1</sup>	1729 ± 15,56
KOI <sub>Cözünmüş</sub>	mg L <sup>-1</sup>	1322 ± 2,83
KOI <sub>Partiküler</sub>	mg L <sup>-1</sup>	407
TOK	mg L <sup>-1</sup>	266,85 ± 2,78
Bulanıklık	NTU	380
İletkenlik	ms/cm	4,9
AKM	mg L <sup>-1</sup>	266,25 ± 0,18
TKM	mg L <sup>-1</sup>	4058 ± 0,18
Alkalinite	(mg/L CaCO <sub>3</sub> )	27,5
Absorbans <sub>Natural</sub>	--	3,84 ± 0,10
Absorbans <sub>pH 3</sub>	--	2,193 ± 0,10
Absorbans <sub>pH 5</sub>	--	2,631 ± 0,01
Absorbans <sub>pH 7</sub>	--	2,507 ± 0,18
TN	mg/L	13,77 ± 0,23
[Mg <sup>+2</sup> ]	µg L <sup>-1</sup>	125,825
[Si]	µg L <sup>-1</sup>	168,7
[K <sup>+</sup> ]	µg L <sup>-1</sup>	1417
[Ca <sup>+2</sup> ]	µg L <sup>-1</sup>	64,175
[Ti]	µg L <sup>-1</sup>	78,675
[V]	µg L <sup>-1</sup>	3,95
[Cr]	µg L <sup>-1</sup>	11,7325
[Cu <sup>+</sup> ]	µg L <sup>-1</sup>	22,85
[Ge]	µg L <sup>-1</sup>	441,75
[Sn <sup>+4</sup> ]	µg L <sup>-1</sup>	537,25

Ülkemizde SKKY’ne göre deşarj standartlarında TOK parametresine yer verilmemektedir. Bu nedenle deneysel çalışmalar öncesinde KOI ve TOK arasında bir korelasyon oluşturularak deneysel sonuçlarda TOK cinsinden elde edilen giderim verimleri KOI bazında da ifade edilebilmektedir.

## Uluslararası Genel Çevre Sorunlarına Bakış



**Şekil 1. Tekstil atıksuyunun farklı konsantrasyonlarında oluşturulmuş KOI – TOK korelasyonu**

Renk giderim verimleri arıtım öncesi ve sonrası atıksu numunelerinin 0,45 µm filtreden geçirilip Hach Lange DR3800 marka spektrofotometre kullanılarak görünür bölgede (380-780 nm) dalga boyu taraması yapılarak atıksuyun maksimum absorptans gösterdiği (664 nm) dalga boyundaki absorptans değişiminden tespit edilmiştir [7].

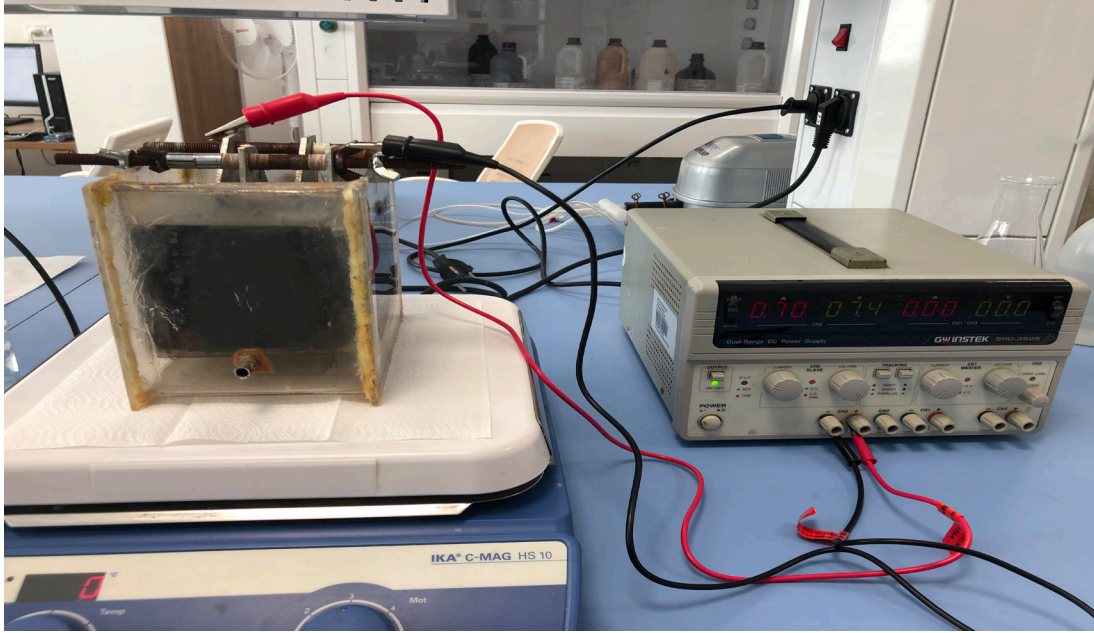
Deneysel çalışmalar esnasında tekstil atıksuyu numunelerinin pH değerleri 1M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 1M NaOH (Merck %95-97) çözeltileri kullanılarak ayarlanmış olup pH, iletkenlik ve sıcaklık ölçümleri WTW- Multi 3320 marka multi-parametre ölçer ile ölçülmüştür. Tekstil atıksu numunesinin içerdiği metal konsantrasyonları Agilent 7500A indüktif eşlemeli plazma-kütle spektrometresi (ICP-MS) ile belirlenmiştir.

### 2.1. Deneysel Çalışma

Kayseri’de faaliyet gösteren bir tekstil fabrikasının atıksu arıtma tesisi girişinden dengeleme havuzundan anlık atıksu numunesi alınmıştır. Deney öncesinde atıksuyun karakterizasyonu amacıyla belirli fiziksel ve kimyasal parametrelerin analizleri yapılmıştır. Atıksu numunesinin pH, iletkenlik, bulanıklık, AKM, TKM, KOI, TN, TOK Renk gibi kirletici parametreleri ölçülmüştür. EC çalışmaları 950 ml hacimli atıksu alınarak 115 x 115 x 115 mm ebatlarında pleksiglastan imal edilmiş bir elektrokimyasal hücre içerisinde yürütülmüştür. Elektroliz işlemi süresince reaktör ortamının homojenizasyonu sağlamak amacıyla bir manyetik karıştırıcı vasıtasıyla 1000 dev/dak. sabit karıştırma hızında çözelti ortamı sürekli olarak karıştırılmıştır. Elektrot materyali olarak alüminyum tercih edilmiş olup, 75 mm × 110 mm × 1 mm boyutlarında toplam efektif alanı 280 cm<sup>2</sup> olan (2 anot ve 2 katot) levhalar kullanılmıştır. EC çalışmaları esnasında elektrotlar arası mesafe

## Proses İşletme Koşullarının Taguchi Deneysel Tasarım Matrisi ile Optimizasyonu

20 mm olarak sabit tutulmuştur. Elektrotlar, dijital bir doğru akım güç kaynağına (GWinstek SDP 3606, 30 V, 6A) bağlanmıştır ve sabit akım koşullarında kullanılmıştır. Deneysel düzeneğe ait görünüm Şekil 2’de verilmektedir.



Şekil 2. Elektrokoagülasyon Çalışmalarında Kullanılan Deney Düzeneği

### 2.2. Tekstil Atıksuyunun Elektrokoagülasyon ile Arıtımının Optimizasyonu

Taguchi deney tasarımı ile ürün ve proseste meydana gelen değişkenliğin optimizasyonda parametreler pH, Akım Şiddeti ( $j$ ) ve Elektroliz Süresi ( $t$ ) olarak belirlenmiştir. Parametreler kontrol edilebilendir. Birbirinden bağımsız olup aralarında etkileşim yoktur.

Tablo 2. Deneysel çalışmada kullanılan parametreler ve düzeyleri

Parametre	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
pH	3	5	7
Akım Şiddeti ( $j$ )	25	50	100
Zaman ( $t$ )	25	50	100

## Uluslararası Genel Çevre Sorunlarına Bakış

Tablo 3. Denemelerde kullanılacak deney tasarım matrisi ( L9 ortogonal )

Deney No	pH		j (A/m <sup>2</sup> )		t (min)	
	Seviye	Değeri	Seviye	Değeri	Seviye	Değeri
1	1	3	1	25	1	25
2	1	3	2	50	2	50
3	1	3	3	100	3	100
4	2	5	1	25	2	50
5	2	5	2	50	3	100
6	2	5	3	100	1	25
7	3	7	1	25	3	100
8	3	7	2	50	1	25
9	3	7	3	100	2	50

Ortogonal dizi  $L_D(S)^F$  olarak ifade edilmektedir. Burada D deney sayısını, S seviyeyi, F faktörlerin sayısını vermektedir [10].

Deneyler sonucunda renk ve TOK giderim verimi performans istatistiği olarak seçilmiş olup daha fazla giderimin daha iyi performans göstermesinden dolayı Taguchi kayıp fonksiyonu olarak “Daha büyük daha iyi” formülü seçilmiştir.

Daha büyük daha iyi için bu formülde, y'nin hedef değeri sonsuzdur ve sinyal/gürültü oranı aşağıdaki gibi formüle edilmiştir. Bu formülde n tekrar edilen deney sayısı, y performans değeridir [7].

$$SN_L = -10 \log \left[ \frac{1}{n} \sum_{n=1}^n \frac{1}{y^2} \right]$$

Deneylerde parametrelerinin performans üzerindeki etkilerini daha iyi görmek için deneyler iki tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir.

### 2.3. İşletme Maliyetinin Hesaplanması

Çalışma kapsamında Elektrokoagülasyon ile arıtma prosesinde maliyetlerin hesaplanmasında Faraday'ın elektroliz kanunundan faydalanılmıştır. İşletme maliyeti hesaplanırken arıtmada elektrot tüketimi, enerji tüketimi göz önünde bulundurulmuştur. Yapılan deneylerde katotta çözünme olmadığı gözlenmiştir. Bu nedenle sadece artı yüklü anotta tüketilen Al elektrot miktarı hesaplamaya alınmıştır.

Elektrokoagülasyon deneysel çalışmada sistem verimi ölçümünde akım verimi en önemli ölçüttür. Aşağıdaki eşitlikle ifade edilmektedir [8].

$$\varphi = \frac{\Delta M_{DENEYSEL}}{\Delta M_{TEORİK}} \times 100$$

$$\Delta M_{TEORİK} = \frac{I \times t \times M_w}{z \times F}$$

## Proses İşletme Koşullarının Taguchi Deneysel Tasarım Matrisi ile Optimizasyonu

I: Akım Yoğunluğu (Amper) t: Elektroliz Süresi (Saat) F: Faraday Sabiti (96.485 C/mol), Mw: Molekül Ağırlığı (26,98 gr/mol) z: Etki Değerliği (Al için 3)  $\varphi$  : Akım Verimi,  $\Delta M_{DENEYSEL}$  : Deneysel olarak tüketilen Al elektrot miktarı (gr). Artı yüklü Anotta Al Elektrot Tüketimi ( Kg-Al / m<sup>3</sup> ) aşağıdaki eşitlikle elde edilebilmektedir [9, 10].

$$\text{Elektrot Tüketimi} = \frac{I \times t \times M_w}{z \times F \times v}$$

Burada;

t: Elektroliz Süresi (Saat) Mw: Molekül Ağırlığı (26,98 gr/mol) v: Reaktör Hacmi ( m<sup>3</sup> ), z: Etki Değerliği (Al=3) F: Faraday Sabiti (96.485 C/mol) I: Akım Yoğunluğu (Amper).

Elektrokoagülasyon ile arıtma prosesinde Enerji Tüketimi ( kWh / m<sup>3</sup> ) aşağıdaki eşitlikle elde edilebilmektedir.

$$\text{Enerji Tüketimi} = \frac{I \times t \times P}{1000 \times v}$$

I: Akım Yoğunluğu (Amper) t: Elektroliz Süresi (Saat) P: Potansiyel (Volt), v: Reaktör Hacmi (m<sup>3</sup>)

Toplam işletme maliyeti aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$\text{Toplam İşletme Maliyeti} = (\text{Elektrot Tüketimi} \times \text{Elektrot Maliyeti}) + (\text{Enerji Tüketimi} \times \text{Enerji Maliyeti})$$

Maliyet hesaplamalarda Alüminyum Birim Fiyatı 1,87 (\$/Kg-Al), Elektrik Birim Fiyatı 0,08 (\$/KWh) olarak kullanılmıştır.

## 3. BULGULAR

### 3.1. Taguchi Tasarım Matrisine Göre Farklı Deneysel Koşullarda Giderim Sonuçları

Deneysel çalışmaların ilk aşamasında Tablo 2’de belirtildiği gibi deney parametreleri ve bu parametrelerin seviyeleri baz alınarak Tablo 3’te verilen deney matrisine göre arıtılabilirlik deneyleri yapıldı. Deney sonuçlarından pH değişimleri, elektrot tüketimleri, TOK giderimleri, renk giderimleri belirlendi. Elde edilen veriler Tablo 4’te ve tekrar deneyi sonuçları ise Tablo 5’te sunulmaktadır.

## Uluslararası Genel Çevre Sorunlarına Bakış

Tablo 4. Deneysel tasarım matrisine göre yürütülen ilk deney seti sonuçları

Deney No	Renk Giderim (%)	TOC Giderim (%)	Akım Verimleri $\phi$	Enerji Tüketimi (KWh/m <sup>3</sup> )	Elektrot Tüketimi Kg-Al / m <sup>3</sup>	Toplam İşletme Maliyeti (\$/m <sup>3</sup> )
1	90,85	15,60	130,17	2,03	0,03	0,22
2	98,68	27,87	123,28	14,10	0,12	1,37
3	98,27	53,57	113,40	65,07	0,46	6,17
4	98,86	21,00	121,33	2,82	0,06	0,34
5	98,29	20,57	108,28	20,04	0,23	2,07
6	98,87	19,38	156,86	15,78	0,11	1,50
7	98,20	26,86	115,58	7,00	0,11	0,79
8	76,50	4,13	160,29	6,80	0,06	0,66
9	96,89	46,19	129,47	28,84	0,23	2,78

Tablo 5. Deneysel tasarım matrisine göre ikinci tekrar deney seti sonuçları

Deney No	Renk Giderim (%)	TOC Giderim (%)	Akım Verimleri $\phi$	Enerji Tüketimi kWh/m <sup>3</sup>	Elektrot Tüketimi Kg-Al/m <sup>3</sup>	Toplam İşletme Maliyeti (\$/m <sup>3</sup> )
1	91,99	12,61	133,74	3,04	0,03	0,30
2	99,26	20,98	139,34	14,84	0,12	1,43
3	98,76	51,73	125,59	87,26	0,46	7,98
4	98,54	13,67	148,35	5,46	0,06	0,55
5	98,75	32,59	122,43	27,95	0,23	2,71
6	99,05	34,67	134,44	26,37	0,11	2,37
7	98,35	18,65	131,26	9,95	0,11	1,03
8	78,94	10,92	134,26	5,13	0,06	0,53
9	98,73	36,22	125,30	25,88	0,23	2,54

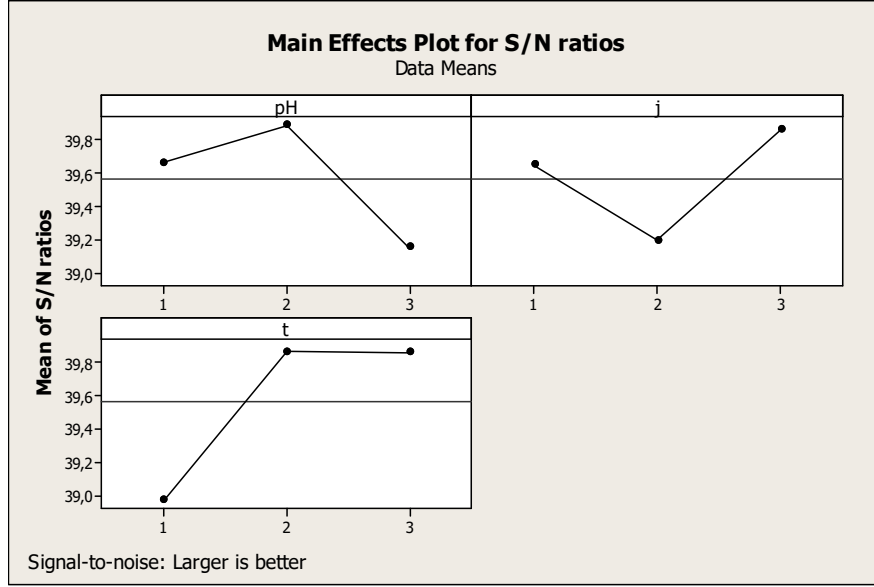
Tablo 4 ve Tablo 5'e bakıldığında renk ve KOI giderimleri için elde edilen sonuçların birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir. İki tekrarlı olarak yürütülen denemelerde tutarlı sonuçların elde edilmesi ANOVA analizlerinin sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi için oldukça önemlidir. Bir sonraki aşamada Minitab 18 veri analizi programı kullanılarak söz konusu şartlarda yürütülen deneysel çalışmaların sonuçları değerlendirilmiştir.

### 3.2. Optimizasyon Deney Sonuçları ve İki Farklı Deneysel Koşulda Elde Edilen Sonuçlar

Elde edilen parametrik düzeyler için belirlenen optimum değerlere bakıldığında yalnızca renk parametresi için uygun değerler pH, akım yoğunluğu ve zaman için sırasıyla 5, 50 A/m<sup>2</sup> ve 50 dakika olarak belirlenmiştir. Bu belirleme işleminde dikkate alınan temel ölçüt Minitab 18® programının sunduğu S/N (Sinyal/Gürültü) oranlarıdır. Şekil 3'e dikkat edildiğinde optimum düzeyler olarak sözü edilen parametrik değerlerin en büyük (*Daha büyük daha iyi*) S/N değerlerine sahip oldukları görülmektedir.

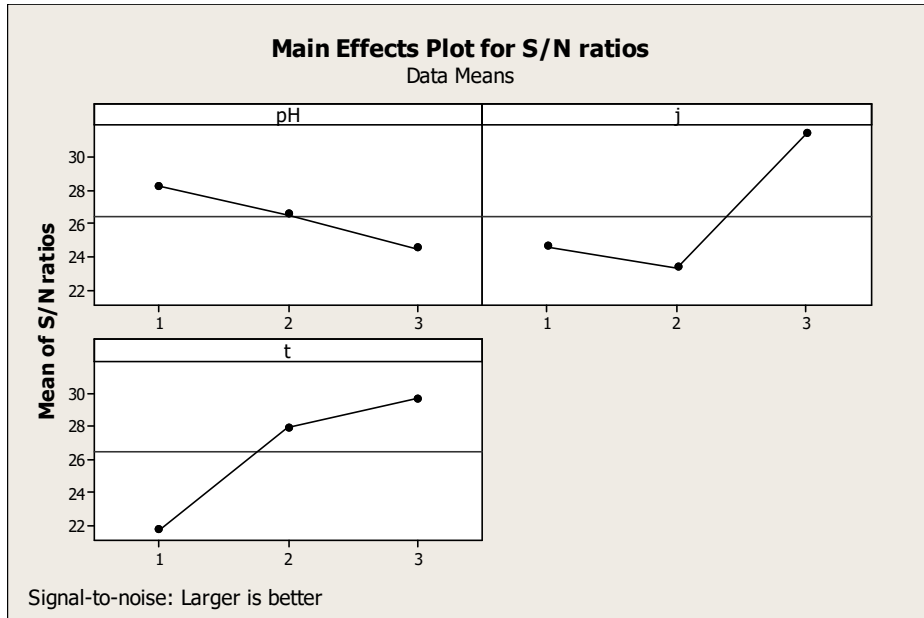


## Proses İşletme Koşullarının Taguchi Deneysel Tasarım Matrisi ile Optimizasyonu



Şekil 3. Renk giderimi için S/N değerleri ve önerilen optimum parametrik düzeyler

Bu verilerden hareketle ilave bir doğrulama deneyi yapılarak sistem tarafından önerilen giderim verimleri ile deneysel olarak elde edilen değerlerin bir karşılaştırması yapılmıştır. TOK parametresi için Taguchi analizi sonucunda elde edilen uygun parametrik düzeyler ise Şekil 4'te verilmektedir.



Şekil 4. TOK giderimi için S/N değerleri ve önerilen optimum parametrik düzeyler

TOK parametresi için optimum değerlere bakıldığında pH, akım yoğunluğu ve zaman için sırasıyla 3, 100 A/m<sup>2</sup> ve 100 dakika olarak belirlenmiştir. Bu belirleme işlemi de dikkate alınan temel ölçüt S/N oranlarıdır. Şekil 4'e dikkat edildiğinde optimum düzeyler olarak sözü edilen parametrik

## Uluslararası Genel Çevre Sorunlarına Bakış

değerlerin en büyük (*Daha büyük daha iyi*) S/N değerlerine sahip oldukları görülmektedir. TOK giderimi için ilave bir doğrulama deneyi yapılarak sistem tarafından önerilen giderim verimleri ile deneysel olarak elde edilen değerlerin karşılaştırması sağlanmıştır.

Renk ve TOK giderimleri için optimum seviyelerin birbirinden farklı olduğu anlaşılmaktadır. Bu nedenle Taguchi Metodu için gerekli olan doğrulama deneyleri her iki parametre için ayrı ayrı yürütülmüş olup buna ek olarak deneysel tasarım matrisinde ve doğrulama deneyleri içerisinde yer almayan farklı iki senaryo deneyi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 6 ve 7'de verilmektedir.

**Tablo 6. Optimum deneysel şartlarda yürütülen çalışmaya ait veriler**

Deney	Renk Giderim (%)	TOC Giderim (%)	Akım Verimleri $\varphi$	Enerji Tüketimi kWh/m <sup>3</sup>	Elektrot Tüketimi Kg-Al / m <sup>3</sup>	Toplam İşletme Maliyeti (\$/m <sup>3</sup> )
RENK -OP	98,56	46,08	128,58	24,40	0,23	2,42
TOK-OP	98,67	53,52	121,72	40,92	0,46	4,20

Tablo 6'da görülen RENK-OP ve TOK-OP kısaltmaları Taguchi deneysel tasarım matrisine göre elde edilen optimum koşullarda yürütülmüş deneysel çalışmalarını ifade etmektedir. Ayrıca Tablo 6'da bu optimum koşullarda EC sisteminin enerji tüketimleri, elektrot tüketimleri, mineralizasyon akım verimleri ve toplam işletme maliyetleri de verilmektedir. Optimum şartlardaki deney sonuçlarında renk ve TOK giderimleri için en düşük maliyet ile en yüksek giderimi sağladığı görülmektedir.

**Tablo 7. Doğrulama deneylerine ait veriler**

Deney	Renk Giderim (%)	TOC Giderim (%)	Akım Verimleri $\varphi$	Enerji Tüketimi kWh/m <sup>3</sup>	Elektrot Tüketimi Kg-Al/m <sup>3</sup>	Toplam İşletme Maliyeti (\$/m <sup>3</sup> )
RENK	83,60	32,70	135,33	16,02	0,11	1,52
TOK	96,80	54,50	96,54	36,60	0,34	3,63

Doğrulama deneylerinden ilki olan renk giderimi için yapılan deney koşulları hem renk giderimi sağlama, hem de maliyetleri daha da azaltması için pH, j, t parametreleri için 9, 100 A/m<sup>2</sup>, 25 dk olarak belirlenmiştir. Tablo 7'de görüleceği gibi renk giderimi optimum koşullardaki giderim veriminden daha düşük olmasına rağmen işletim maliyeti düşüktür. Bu sonuç Taguchi metodunun optimizasyonda sağlıklı sonuçlar sağladığını göstermektedir.

### 3.3. ANOVA Analizi ve Katkı Yüzdelerinin Hesaplanması

Son aşamada elde edilen verilere ANOVA analizi uygulanarak her bir parametre için sistem üzerindeki verim bazında istatistiksel olarak anlamlılık değerlendirilmesi yapılmıştır.

## Proses İşletme Koşullarının Taguchi Deneysel Tasarım Matrisi ile Optimizasyonu

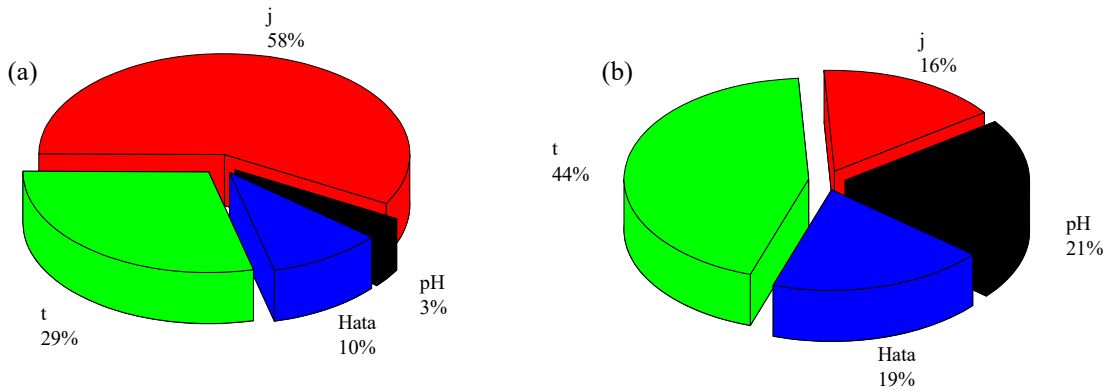
Tablo 8. Renk parametresi için işletimsel koşulların EC giderim verimi üzerindeki etkisine ait ANOVA sonuçları

Source	DF	Seq SS	Adj MS	F	P	Cr
pH	2	173,68	86,84	6,02	0,017	18,0
<i>j</i>	2	138,82	69,41	4,81	0,032	13,7
<i>t</i>	2	331,21	165,6	11,48	0,002	37,7
Error	11	158,71	14,43			16,2
Total	17	802,41				85,6

Tablo 9. TOK parametresi için işletimsel koşulların EC giderim verimi üzerindeki etkisine ait ANOVA sonuçları

Source	DF	Seq SS	Adj MS	F	P	Cr
pH	2	177,28	88,64	2,62	0,117	3,2
<i>j</i>	2	1856,36	928,18	27,43	0	52,9
<i>t</i>	2	973,94	486,97	14,39	0,001	26,8
Error	11	372,2	33,84			9,0
Total	17	3379,78				92,0

Tablo 8 ve 9'a bakıldığında parametreler bazında "P" değerlerine göre anlamlılık değerlendirmesi yapılabilmektedir. Buna göre, renk parametresi için arıtma performansına etki eden en kritik parametrenin elektroliz süresi (*t*;  $P=0,002$ ) olduğu görülmektedir. Benzer şekilde TOK giderimi için yine en etkin parametre elektroliz süresi olduğu anlaşılmaktadır ( $P=0,001$ ). Katkı yüzdelerinde (Cr) sayısal büyüklüğün yüksek önem derecesini gösterdiği değerlendirilmesi ile renk giderimi için EC sisteminde en etkin parametrenin %37,7 ile elektroliz süresi olduğu, bunu takiben ise sırasıyla pH ve akım yoğunluğunun etki düzeylerinin azalan düzeyde oldukları söylenilebilir. Aynı şekilde TOK giderimi için en etkin parametre %52,9 ile akım yoğunluğu olduğu ve daha düşük etki düzeylerine sahip bileşenlerin ise elektroliz süresi (%26,8) ve pH (%3,2) olduğu söylenilebilir. Şekil 5 (a) ve (b)'de EC işletimsel parametrelerin renk ve TOK giderimine göre arıtım performansını gösteren grafik verilmektedir.



Şekil 5. EC ile tekstil atıksularının arıtımında işletimsel parametrelerin katkı yüzdeleri (a) Renk, (b) TOK giderimi

### 4. SONUÇ

Bu çalışmada elektrot materyali olarak alüminyumun tercih edilmiş olup kesikli olarak işletilen EC prosesi ile tekstil endüstrisi atıksularından renk ve TOK olmak üzere iki farklı kirletici parametrenin artırılabilirliği EC proses verimini önemli ölçüde etkileyen işletimsel parametrelerden pH, akım yoğunluğu ve elektroliz süresi gibi 3 farklı değişkenin Taguchi deneysel tasarım yöntemi ile optimizasyonu tasarım matrisi kullanılarak her bir işletimsel parametrenin toplam sistem performansı üzerinde ne düzeyde bir etkisinin olduğu katkı yüzde değerleri ile hesaplanarak, işletimsel parametreler üzerinde yapılabilecek değişikliklerle toplam sistem performansının ne derecede değiştirilebileceği araştırılmıştır. Deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar özetle verilecek olursa; renk giderimi için optimum koşullar, pH 5, akım yoğunluğu 100 A/m<sup>2</sup> ve elektroliz süresi 50 dakika olarak belirlenmiştir. Bu optimum koşullar altında %98,6 renk giderimi elde edilmiştir. TOK giderimi için optimum koşullar sıralanacak olursa; pH 3, akım yoğunluğu 100 A/m<sup>2</sup> ve elektroliz süresi 100 dakikadır. Bu koşullar altında ise maksimum %53,5 TOK giderimine ulaşılmıştır. Taguchi deneysel tasarım matrisi kullanılarak ayrıca işletimsel parametrelerin her birisi için katkı yüzdeleri hesaplanmış ve maksimum renk giderimi için pH, akım yoğunluğu ve elektroliz süresi parametrelerinin katkı yüzdeleri sırasıyla %21, %16 ve %44 olduğu hesaplanmıştır. TOK giderimi için optimum koşullarda ise pH, akım yoğunluğu ve elektroliz süresi parametrelerinin katkı yüzdeleri sırasıyla %3, %58 ve %29 olduğu hesaplanmıştır. Son aşamada optimum deneysel koşullar için mineralizasyon akım verimleri ve işletim maliyetlerinin hesapları yapılmış ve buna göre renk giderimi için optimum koşullarda yürütülen deneysel çalışmadan elde edilen verilere göre mineralizasyon akım verimi, elektrot tüketimi ve toplam işletim maliyetleri sırasıyla 128,58; 0,23 kg-Al/m<sup>3</sup> ve 2,42 \$/m<sup>3</sup> olduğu bulunmuştur. TOK için optimize edilmiş koşullar altında yürütülen deneysel çalışmada ise mineralizasyon akım verimi, elektrot tüketimi ve toplam işletim maliyetleri sırasıyla 121,72; 0,46 kg-Al/m<sup>3</sup> ve 4,20 \$/m<sup>3</sup> olarak bulunmuştur. Gerçek tekstil atıksuyu için TOK ve kimyasal oksijen ihtiyacı (KOI) arasında bir korelasyon yapılarak artırılmış atıksu için KOI değerinin Atıksuların Kanalizasyon Şebekesine Deşarj Yönetmeliği / KASKİ Külliyyatı ile belirtilen standart değerlerin altında düştüğü görülmüştür [11].

### KAYNAKLAR

- [1] Körbahti, B. K., Su Bazlı Boya Endüstrisi Atıksuyu ve Tekstil Endüstrisi Atıksuyunun Elektrokimyasal Olarak Arıtılması için Sistem Tasarlanması ve Proses Geliştirilmesi, in, Hacettepe Üniversitesi Ankara, 2003.
- [2] Toprak, F., Reaktif red 198'in fıstık kabuğu ile adsorpsiyonunda optimum deneysel şartların taguchi metoduyla belirlenmesi, in, Yüksek Lisans Tezi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 2010.
- [3] Uysal, Y., Kereci, F. N., Tekstil Atık Külü ile Tekstil Atıksuyundan Renk Giderimi, Kahramanmaraş Sutcu Imam University Journal of Engineering Sciences, 19 (2016) 82-86.
- [4] Zıba, C. A., Akarsu, S., Arslantaş, M., Dolaz, M., Tekstil Atık Sularında Renk Gidermede Kullanılan Koagulantlar: Nişasta ve CMPS'nin Floklaşmaya Etkisi, (2016).
- [5] Deveci, E.Ü., Tekstil Endüstrisi Atıkdularının Fungal Biyoreaktörde Artırılabilirliği, Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 6 (2017) 1-10.

## Proses İşletme Koşullarının Taguchi Deneysel Tasarım Matrisi ile Optimizasyonu

- [6] Apha, A. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 20th ed., (1998).
- [7] Eren, H. A., Pervin, A., Tekstil boyama atıksularının ozonlama ile renk giderimi, Uludağ University Journal of the Faculty of Engineering, 11 (2006).
- [8] Daneshvar, N., Oladegaragoze, A., Djafarzadeh, N., Decolorization of basic dye solutions by electrocoagulation: an investigation of the effect of operational parameters, Journal of hazardous materials, 129 (2006) 116-122.
- [9] Doğan, C., Yün ve Akrilik İplik Boyahane Atıksularında Fenton ve Elektrokoagülasyon Yöntemleri ile Renk ve KOI Giderimi, Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği ABD, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2011, pp. 142 sf.
- [10] Kobyas, M., Gengec, E., Demirbas, E., Operating parameters and costs assessments of a real dyehouse wastewater effluent treated by a continuous electrocoagulation process, Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, 101 (2016) 87-100.
- [11] Kayseri Su ve Kanalizasyon İdaresi (KASKİ), Atıksuların Kanalizasyon Şebekesine Deşarj Yönetmeliği, Yürürlük Tarihi: 23.05.2013.



# SULAK ALANLARIN HİDROJEOLJİK AÇIDAN ÖNEMİ, TÖDÜRGE VE ULAŞ GÖLLERİ (SİVAS) ÖRNEĞİ

Murat Şahin<sup>1</sup>

## ÖZET

Sulak alanlar, gerek suyun korunmasında gerekse ekolojik dengenin sağlanması ve biyolojik çeşitliliğin korunmasında büyük önem taşımalarının yanı sıra yöre ve ülke ekonomisine çok büyük katkıları olan ekosistemlerdir.

Sulak alanlar, Antarktika hariç dünyanın her yerinde bulunurlar ve kapladıkları yaklaşık 9 milyon km<sup>2</sup> alan ile dünya yüzey alanının %6'sını oluştururlar.

“Sulak Alanların Korunması Yönetmeliği” nin (17.05.2005 tarih ve 25818 sayılı Resmî Gazete) 17.Maddesi gereğince, Sulak Alanlar için Koruma Bölgelerinin (Mutlak Koruma Bölgesi, Sulak Alan Bölgesi, Ekolojik Etkilenme Bölgesi ve Tampon Bölge) oluşturulmasına çalışılmıştır.

*Anahtar Kelimeler:* Sulak Alanlar, Koruma Bölgeleri, Hidroloji, Hidrojeoloji, Su Kimyası

## ABSTRACT

Wetlands are ecosystems that have great contributions to the local and national economy, as well as being of great importance in the protection of water, the provision of ecological balance and the preservation of biological diversity.

Wetlands are found all over the world except Antarctica, and they cover 9 million square kilometers and make up 6 of the world's surface area.

Accordance with the 17th article of the “Regulation on the Protection of Wetlands” (Official Gazette dated 17.05.2005 and numbered 25818), it has been tried to establish Protection Areas (Absolute Protection Area, Wetland Area, Ecological Impact Area and Buffer Zone) for Wetlands.

*Keywords:* Wetlands, Protection Zones, Hydrology, Hydrogeology, Hydrogeochemistry

1 DSİ 19.BÖLGE MÜDÜRLÜĞÜ Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltısuları Şube Müdürlüğü SİVAS msahin@dsi.gov.tr

### 1. GİRİŞ

#### 1.1. Araştırmanın Amacı

Sulak alanlar, gerek suyun korunmasında gerekse ekolojik dengenin sağlanması ve biyolojik çeşitliliğin korunmasında büyük önem taşımalarının yanı sıra yöre ve ülke ekonomisine çok büyük katkıları olan ekosistemlerdir.

21. yüzyılda yaşanacak büyük krizlerin ve çatışmaların su kaynaklarına ve sulak alanlar üzerinde yoğunlaşacağı gerçeği de dikkate alındığında, bu alanların ne denli önemli olduğu daha da iyi anlaşılmaktadır. Tatlı su kaynaklarının hızla tükendiği, su ve su ürünleri ile sulcul ekosistemlerin en önemli ilgi konusu olduğu günümüzde, sulak alanların korunması ve gelecek kuşaklara en sağlıklı şekilde iletilebilmesi, kuşkusuz bir ulusal güvenlik konusu olmaktadır.

Ülkemizde toplam alanı iki milyon hektara yaklaşan 300 civarında sulak alanımız bulunmakta olup Genel Müdürlüğümüz tarafından bugüne kadar yapılan çalışmalar neticesinde bu alanlardan 135'nin uluslararası öneme sahip sulak alan olduğu tespit edilmiştir.

Sulak alanlar, Antarktika hariç dünyanın her yerinde bulunurlar ve kapladıkları yaklaşık 9 milyon km<sup>2</sup> alan ile dünya yüzey alanının %6'sını oluştururlar.

1971 yılında İran'ın Ramsar Kenti'nde imzalanan ve kısaca Ramsar olarak bilinen "Sulak alanların Korunmasına Dair Sözleşme" ile birlikte, "Sulak alan" kelimesi için bu sözleşmede; "gelgitin git evresinde altı metreyi aşmayan denizel alanları da kapsayacak şekilde doğal, yapay, sürekli ya da mevsimsel, durgun ya da akar, tatlı, acı veya tuzlu, bataklık, ıslak çayır ya da turbalıklar" açıklaması getirilmiştir (Madde 1.1.).

"Sulak alanlarla ilişkili akarsu ve deniz kıyı ekosistemleri, adalar ve gelgitin git evresinde 6 metreyi aşan deniz suları" da sulak alan değerlendirilmesi içine alınmıştır.

Bakanlığımız koordinasyonunda, Doğa Koruma ve Millî Parklar Genel Müdürlüğü'nün 19.09.2011 tarih ve B.23.0.DMP.0.14.01-435.99-11272 sayılı yazısı doğrultusunda, Ulusal Sulak Alan Komisyonu tarafından belirlenen kurum ve kuruluşların(Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Doğa Koruma ve Millî Parklar Genel Müdürlüğü, Cumhuriyet Üniversitesi, DSİ 19. Bölge Müdürlüğü, Kadastro Müdürlüğü, İl Çevre ve Şehircilik Müdürlüğü, Gıda, Tarım ve Hayvancılık Müdürlüğü, TEMA Vakfı, Zara ve Ulaş Belediye Başkanlıkları, Doğa Derneği) uzmanlarınca Zara-Tödürge Gölü ve Ulaş Gölü'nün yer aldığı arazilerde bazı çalışmalar yapılmıştır.

"Sulak Alanların Korunması Yönetmeliği"nin (17.05.2005 tarih ve 25818 sayılı Resmî Gazete) 17. Maddesi gereğince, Sulak Alanlar için Koruma Bölgelerinin (Mutlak Koruma Bölgesi, Sulak Alan Bölgesi, Ekolojik Etkilenme Bölgesi ve Tampon Bölge) oluşturulmasına çalışılmıştır.



# Sulak Alanların Hidrojeolojik Açından Önemi, Tödürge ve Ulaş Gölleri (Sivas) Örneği

## 1.2. İnceleme Sahasının Tanıtılması

### 1.2.1. Sahanın yeri, coğrafya ve yüzölçümü

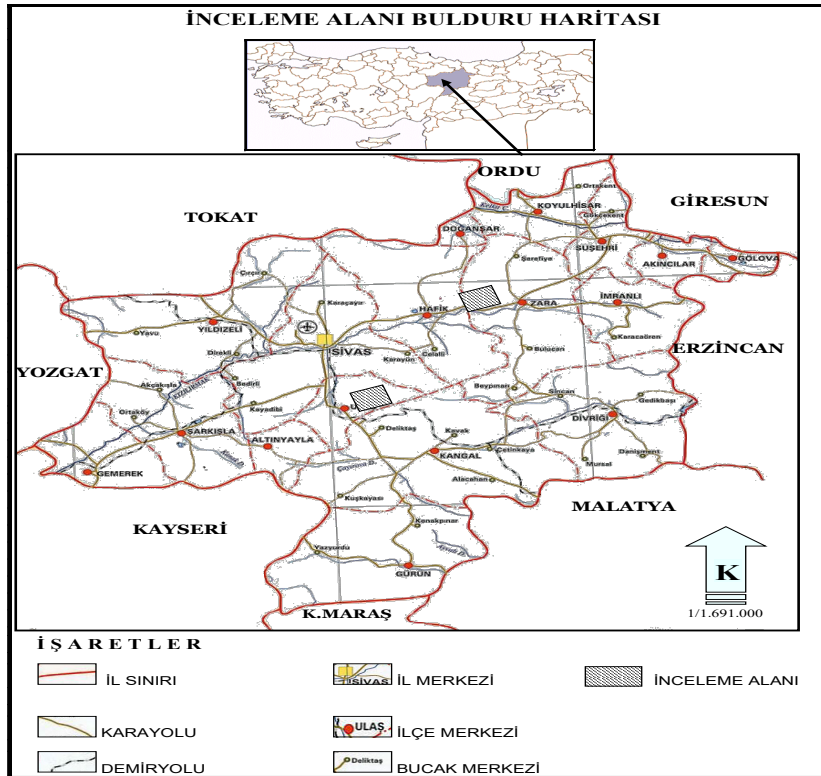
**Ulaş ilçesi**, Sivas il merkezine 38 km mesafededir. Ulaş ilçesi, Sivas ilinin güneyinde, Tecer Dağı'nın eteğinde, Sivas-Malatya kara yolu üzerindedir. Nüfusu 2020 sayımına göre; toplam: 8443'tür.

Ulaş ilçesi, coğrafi konumu itibarıyla Yukarı Kızılırmak Havzası'nda yer alır. Yukarı Kızılırmak bölümünün arazisinde bol miktarda jips bulunur. Jips kolay çözünür. Toprak içinde jips miktarının fazla olması, toprağın verimliliğini azaltmaktadır. Havza drenaj alanı yaklaşık olarak 1032 km<sup>2</sup> ve ova alanı ise 139 km<sup>2</sup>'dir. **Ulaş Gölleri**, ilçe merkezinin yaklaşık 250-300 m kuzeydoğusunda bulunmaktadır.

Zara ilçesi, Sivas ilinin 75 km kuzeydoğusunda yer almaktadır. 2020 yılı nüfus sayımına göre, toplam nüfus 21753'tür.

**Tödürge Gölü** 1/25.000 ölçekli Divriği İ39-a1 ve Divriği İ39-a4 topoğrafik paftalarında yer almaktadır. Zara ilçesinin 11 km batısında olup, jeolojik olarak Oligo-Miyosen yaşlı jipslerin içerisinde oluşan bir dolin gölüdür.

Tamamı Türkiye sınırları içinde olan en uzun nehir Kızılırmak, komşu ilçe İmranlı'da doğup Zara'yı doğudan batıya keser. Fakat, ilçe merkezinden sonra genişlemeye başlar. Tödürge Gölü, Sivas ilinin en büyük gölüdür. Bol tuzlu ve kireçli sularında gümüş ve yayın balığı vardır. Ayrıca İmranlı ilçesi sınırından doğan Acısu Irmağı Zara'da Tekke Köyü yakınlarında Kızılırmak'a karışır.



Harita 1. Yerleşim alanı bulduru haritası (Kaynak: DSİ 19. Bölge Müdürlüğü-Sivas)

## Uluslararası Genel Çevre Sorunlarına Bakış

### 1.2.2. Çalışma ve değerlendirme yöntemleri

Ulaş Gölü için öncelikle 1/25.000 ölçekli topoğrafik Sivas-J38-a1 ve Sivas-J38-a2 paftalarında, Tödürge Gölü için ise Divriği-İ39-a1 Divriği-İ39-a2, Divriği-İ39-a3, Divriği-İ39-a4 paftalarında “Sulak Alanların Korunması Yönetmeliği”nin (17.05.2005 tarih ve 25818 sayılı Resmî Gazete) 17. Maddesi gereğince, Sulak Alanlar için Koruma Bölgelerinin (Mutlak Koruma Bölgesi, Sulak Alan Bölgesi, Ekolojik Etkilenme Bölgesi ve Tampon Bölge) oluşturulmasına çalışılmıştır.

Koruma alanları ile ilgili arazi çalışmaları, Valilikte toplantı (Yerel Sulak Komisyonu) ve kurumlar arası veri akışı sağlanmıştır.

DSİ 19. Bölge Müdürlüğümüz tarafından, 2015 yılında Ulaş Gölü’nde bir adet limnigraf(çıkış), Tödürge Gölü’nde ise iki adet limnigraf (giriş-çıkış) kurulmuştur. Bu limnigraf lar hem göl seviyesini hem de giren akım ve çıkan akımları ölçmektedir.

Ayrıca 2013 yılında DSİ Genel Müdürlüğümüzün öncülüğünde bu göllerin batimetrik haritası (gölün derinliğe bağlı topoğrafik haritası) çıkarılmıştır.

1/25000 ölçekli çevre jeolojisi haritaları yapılmış, ayrıca su bilançoları hazırlanmıştır. Belirli periyotlarda su kimyası analizleri(ağır metal-genel kalite) analizleri yapılmıştır.

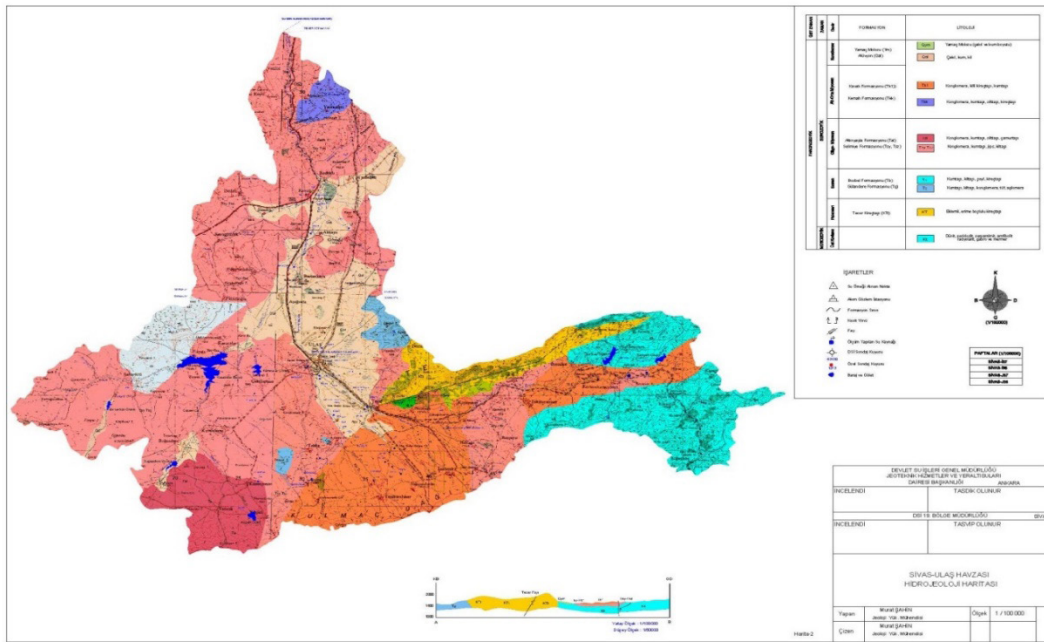
Doğa Koruma ve Millî Parklar Genel Müdürlüğü-Hassas Alanlar Dairesi Başkanlığı koordinasyonunda 2013 yılında “Ulaş Gölleri Sulak Alan Yönetim Planı” ile “Tödürge Gölü Sulak Alan Yönetim Planı” imzalanmıştır.

## 2. JEOLJİ

### 2.1. Stratigrafi (Ulaş Havzası)

Ulaş Havzası çalışma alanında yayılım gösteren birimler yaşlıdan gence doğru; Mesozoyik yaşlı Refahiye Ofiyolitli Karışığı(Kk), Paleosen yaşlı Tecer Kireçtaşı(KTt), Alt Eosen yaşlı Gülandere Formasyonu(Tg), Üst Eosen yaşlı Bozbel Formasyonu(Tb), Oligo-Miyosen yaşlı Selimiye Formasyonu(Tsy,Tsz), Alt Miyosen yaşlı Altınyayla Formasyonu(Tal), Alt Miyosen yaşlı Kemah Formasyonu(Tkk), Orta Miyosen yaşlı Kavak Formasyonu(Tk1), Kuvaterner yaşlı Alüvyon(Qal) ve Kuvaterner yaşlı Yamaç Molozu(Qy)’dur.

## Sulak Alanların Hidrojeolojik Açıdan Önemi, Tödürge ve Ulaş Gölleri (Sivas) Örneği



Harita 2. (Kaynak: Şahin, M. (2016). Sivas-Ulaş Ovası Revize Hidrojeolojik Etüt Raporu, DSİ 19. Bölge Müdürlüğü, Sivas)

### 2.2. Stratigrafi (Zara Havzası)

Zara Havzası çalışma alanında yayılım gösteren birimler yaşlıdan gence doğru; Paleozoyik yaşlı Karaçayır Formasyonu(PMk), Kretase yaşlı Refahiye Ofiyolitli Karışığı(Kk), Eosen yaşlı Gülan-dere Formasyonu(Tg), Oligo-Miyosen yaşlı Selimiye Formasyonu (Tsy, Tsz), Alt Miyosen yaşlı Kemah Formasyonu (Tkk), Üst Miyosen yaşlı Hafik Formasyonu(Th), Pliosen yaşlı Zöhrep Formasyonu (TPz), Kuvaterner yaşlı Traverten (Qt) ve Alüvyon (Qal).

Tödürge Gölü çevresinde yayılım gösteren birimler ise Üst Miyosen yaşlı Hafik Formasyonu(Th) ve Alüvyon(Qal)'dur.

#### 2.2.1. Hafik Formasyonu(Th)

Beyaz renkli jips ve alacalı (kırmızı, yeşil, mavi ) renkli kilaşı-kumtaşı ardalannasından oluşan birimde, hâkim kaya birimi jipstir (Kurtman, 1973).

#### 2.2.2. Alüvyon (Qal)

Havzanın doğusundan batısına doğru akış gösteren Kızılırmak boyunca ve yan kollarında(Acısü Dere, Özderesi) yayılım gösterir. Ayrıca Tödürge Gölü, Hafik Gölü ve Lota Gölleri civarında yaygın olarak yer alır. Bu düzlüklerde oluşmuş çakıl, kum ve çamur depolarından ibarettir.

### 3.HİDROLOJİ

#### 3.1. İklim ve Yağış

Sivas Meteoroloji Müdürlüğü'nün, Ulaş TİGEM İşletme Müdürlüğü yerleşim alanında kurulu olan 17710 nolu otomatik istasyondan alınan yağış verileri aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Çalışma alanında genel olarak İç Anadolu'ya özgü olan sert karasal iklim görülmektedir. Yazlar sıcak ve kurak, kışlar soğuk, kar ve yağmur yağışlıdır. 17710 no'lu (TİGEM) otomatik istasyona ait 2012-2017 yılları arasında ölçülmüş değerlere göre ortalama yağış; 394.28 mm, en fazla yağış 73.30 mm ile mayıs ayında, en az yağış 2.10 mm ile temmuz ayındadır.

**Zara** ilçesinde kara iklimi hâkimdir, yazları sıcak ve kurak (10° ile 25° arası), kışlar soğuk ve kar yağışlıdır (0° ile -15° arası).

Sivas Meteoroloji Müdürlüğü'nden, Zara ilçe yerleşim alanında kurulu olan 17716 nolu istasyona ait veriler (yağış, sıcaklık) alınarak analiz edilmiş ve ortalamaları bulunmuştur(**Tablo-2,3**).

17716 no'lu istasyona(**Zara**) ait 2012-2017 yılları arasında ölçülmüş değerlere göre ortalama yağış; 381.45 mm, en fazla yağış 71.50 mm ile mayıs ayında, en az yağış 3.40 mm ile temmuz ayındadır.

#### 3.2. Su Noktaları

##### 3.2.1. Akarsular ve kaynaklar

Tecer ırmağı, Tecer Dağı'nın güneydoğu eteklerinden doğar ve kuzeye doğru akar. Bostankaya yakınlarında Karacalar Deresi'ni de aldıktan sonra, demir yolu hattını takip ederek, il sınırları içerisinde girer ve Taşlıdere Boğazı'ndan geçerek Kızılırmak'a dökülür.

Ulaş ilçesinin içinden geçerek ilçeyi ikiye bölen ve güneyden kuzeye doğru akmakta olan Tecer ırmağı, Kızılırmak'ın önemli bir kolunu oluşturur.

Tecer ırmağının debisi(uzun yıllar aylık ortalama) havza girişinde(memba)  $Q=0.99 \text{ m}^3/\text{s}$ , çıkışında ise(mansap)  $Q=1.78 \text{ m}^3/\text{s}$ 'dir.

**Tecer Kaynağı** adındaki içme suyu olarak da kullanılan kaynak, Tecer Dağı'ndan çıkmaktadır. Bu kaynağın uzun yıllar (1985-2016 arası) ölçülen ortalama debisi  $234 \text{ l/s}$ 'dir. Bu kaynak, başta ilçe merkezi olmak üzere Ulaş İlçesi'ne bağlı 18 köyün içme suyu, ayrıca Sivas Demir Çelik Fabrikası'nın içme ve hammadde soğutma işleminde kullanılmaktadır. Bu kaynak Kretase yaşlı Tecer Formasyonu'ndan çıkmaktadır.

Tödürge Gölü'nün 1 km güneyinden Kızılırmak geçmektedir. Uzunluğu 1355 km olup ülkemizin en uzun nehridir.

Kızılırmak debisi; Zara Havzası'nın girişinde yer alan Ahmet Hacı AGİ(D15A117) istasyonunda akım ölçümüne göre(uzun yıllar aylık ortalama);  $Q=7.32 \text{ m}^3/\text{s}$ , havza çıkışı olan Dikmencik AGİ(15A290) istasyonunda uzun yıllar akım ölçümüne göre  $Q=23.90 \text{ m}^3/\text{s}$ 'dir.

## Sulak Alanların Hidrojeolojik Açıdan Önemi, Tödürge ve Ulaş Gölleri (Sivas) Örneği

### 3.2.2. Göller

Ulaş Gölleri, ilçe merkezinin yaklaşık 250-300 m kuzeydoğusunda bulunmaktadır. Ulaş ilçesi ve çevresinde dört adet göl olması nedeniyle hazine arazisi ve mera alanı bulunmaktadır. Ulaş ilçe merkezinin büyük gölün kıyısında yapılaşmış olması nedeniyle, kurak göl alanları tarıma ve imara açılmamalıdır.

Ulaş Gölleri ve Zara Tödürge Gölü Yönetim Planları(2013-2017), Orman ve Su İşleri Bakanlığı Doğa Koruma ve Millî Parklar Genel Müdürlüğü ile 15. Bölge Müdürlüğü Sivas Şube Müdürlüğü koordinasyonunda gerçekleştirilmiş ve 27.12.2012 tarihli Ulusal Sulak Alan Komisyonu 2012 yılı 2. Olağan Toplantısı'nda onaylanmıştır. Bu planlar (2019-2023) tarihleri için revize edilmiştir. Bu proje, Ulaş Gölleri ve Tödürge Gölü'nün karşı karşıya kaldığı sorunların belirlenmesi ve çözüm önerilerinin geliştirilerek ekolojik işleyişinin ve peyzaj bütünlüğünün korunarak akılcı kullanımının sağlanmasını amaçlamaktadır. Bu göller hem yağıştan hem de yeraltısuyundan beslenmektedir.

- Üç yıl için (2015, 2016, 2017) ortalama giren akım(l/s);
- Toplam Giren Akım (Rg): 266 l/s(12 ay) Ortalama Rg: 22.16 l/s
- $22.16 \times 365 \times 86400 = 0.7 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$
- Toplam Çıkan Akım(Rç): 77.61 l/s(12 ay) Ortalama Rç: 6.46 l/s
- $6.46 \times 365 \times 86400 = 0.20 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$
- $ET_p = P + R_g - R_c \pm Q_y \pm \Delta S$  (süreklilik eşitliği)
- $P = 394.28 \text{ mm}$  (6 yıllık toplam yağış ortalaması)
- $R_g = 0.7 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$
- $R_c = 0.20 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$
- 50 ha( $0.5 \times 10^6 \text{ m}^2$ )'lık bir göl alanı için düşen yağış miktarı;
- $= 0.394 \text{ m} \times 0.5 \times 10^6 \text{ m}^2$
- $= 0.19 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$
- Uzun sürede  $Q_y \pm \Delta S$ ' yı 0 alırsak;
- $ET_p$
- $(0.19 \times 10^6 + 0.7 \times 10^6) - 0.20 \times 10^6$
- $ET_p = 0.69 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$  (Potansiyel buharlaşma-terleme, karstik kanallara kaçak veya pompaj ile su çekimi).

Tödürge Gölü Batimetrik çalışmaları Kasım-2013 yılında yapılmıştır.

- **Maksimum Su Kotu:** 1300.43 m
- **Maksimum Su Kotuna Göre Alan :** 339 ha

## Uluslararası Genel Çevre Sorunlarına Bakış

- **Maksimum Su Hacmi:** 9.86 hm<sup>3</sup>
- **Maksimum Derinlik :** 44.40 m
- **Minimum Su Kotuna Göre Alan:** 322 ha
- **Minimum Su Hacmi:** 8.22 hm<sup>3</sup>
- **Ortalama Göl Alanı:** 330.5 ha
- Üç yıl için(2015, 2016, 2017)
- Toplam Giren Akım( R<sub>g</sub>)= 2103.8 l/s(12 ay) Ortalama R<sub>g</sub>: 175.31 l/s
- 175.31 x 365 x 86400=5.5 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/yıl
- Toplam Çıkan Akım( R<sub>ç</sub>): 3785.9 l/s Ortalama R<sub>ç</sub>: 315.49 l/s
- 315.49 x 365 x 86400 = 9.9 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/yıl
- **ET<sub>p</sub>=P+R<sub>g</sub>-R<sub>ç</sub>±Q<sub>y</sub>±ΔS** (süreklilik eşitliği)
- **P=374.18 mm** (6 yıllık toplam yağış ortalaması)
- **R<sub>g</sub>=5.5 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/yıl**
- **R<sub>ç</sub>=9.9 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/yıl**
- 330 ha(3.30 x 10<sup>6</sup> m<sup>2</sup>)'lık bir göl alanı için düşen yağış miktarı;
- = 0.374 m x 3.30 x 10<sup>6</sup> m<sup>2</sup>
- = 1.23 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/yıl
- Toplam su miktarı=1.23 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/yıl+5.5 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/yıl= 6.73 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/yıl
- Bu göl için, çıkan akım giren akımdan 3.17 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/yıl daha büyüktür. Yani bu kadar su yeraltından(karstik kanal ve boşluklardan) gelmektedir.

### 3.2.3. Su sondaj kuyuları

Ulaş Havzası içerisinde sulama, içme suyu ve kullanma suyu amaçlı olarak DSİ, İller Bankası, İl Özel İdaresi Genel Sekreterliği ve şahısların açtırdığı toplam 51 adet su sondaj kuyusu vardır.

Zara Havzası'nda ise jipsli serilerin yayılımının fazla olması nedeniyle, su sondaj kuyularının sayısı fazla değildir. DSİ ve Özel İdare Genel Sekreterliği'ne ait 9 adet, şahıslara ait ise 7 adet su sondaj kuyusu vardır.

### 3.2.4. Baraj ve göletler

Ulaş Havzası'nda biten proje olarak bir adet baraj(Karacalar) ve iki adet gölet(Boğazdere, Küpeli) bulunmaktadır. Devam eden projeler ise Şenyurt Göleti, Örenlice Göleti, Karataş Göleti ve Baharözü Göleti'dir. Yenikarahisar YAS Sulama Kooperatifi Fizibilite çalışmaları ise tamamlanmıştır. Ancak bu çalışma, 2015 yılında açılan işletme kuyularından yeterli verim alınamadığı için iptal olmuştur.

## Sulak Alanların Hidrojeolojik Açıdan Önemi, Tödürge ve Ulaş Gölleri (Sivas) Örneği

Zara Havzası'nda ise işletme safhasındaki projelerden Pusat-Özen Barajı, İmranlı Barajı, Zara Habeşçayı Regülatörü ve ise Zara-Akören Barajı vardır.

### 4. HİDROJEOLOJİ

#### 4.1. Akiferler

##### 4.1.1. Akiferlerin yayılım, derinlik ve kalınlıkları

Ulaş Havzası genelinde değişik tarihlerde 37 ayrı noktada jeofizik rezistivite yapılmıştır. Açılan işletme, araştırma ve gözlem su sondaj kuyularına ait kuyu loglarının da değerlendirilmesi neticesinde Ulaş Ovası'nda yaygın olan akifer birimler, Kuvaterner yaşlı alüvyon, Kretase yaşlı Kireçtaşları ve kısıtlı olarak Oligo-Miyosen yaşlı serilerdir.

Kuvaterner yaşlı alüvyonun alanı 139 km<sup>2</sup> olup, kalınlığı 15-30 m arasında değişmektedir.

Zara Havzası'nda henüz jeofizik çalışmalar yapılmamıştır. Bölge Müdürlüğümüz programında olan, "Sivas-Zara-Hafik Alt Havzası Hidrojeolojik Etüt Raporu" kapsamında, yapılacaktır. Yapılan hidrojeolojik çalışmalara göre, akifer birimler genelde, Kuvaterner yaşlı alüvyondur. Oligo-Miyosen yaşlı seriler(jipsler) ise yeraltısu taşıyıcılığıyla birlikte, kalite açısından içme-kullanma ve sulama suyu için uygun değildir.

### 5. SU KİMYASI VE BAKTERİYOLOJİK ANALİZ

Ulaş Havzası'nın boşalmasını sağlayan Tecer Irmağı'ndan 2013, 2014, 2015 ve 2017 yıllarında farklı dönemlere ait genel kalite, ağır metal ve bakteriyolojik amaçlı olarak su numuneleri alınmıştır. Ayrıca Tecer Kaynağı, Çağlayan Pınarı, 1 adet DSİ, 1 adet özel su sondaj kuyusu ve Ulaş Gölü'nden farklı zamanlarda numune alınarak analizler yapılmıştır.

Zara Havzası'nda ise toplam 5 lokasyondan(kaynak, akarsu, göl) su örneği alınarak yorumlar yapılmıştır. "Tarımsal Kaynaklı Nitrat Kirliliğine Karşı Suların Korunması Yönetmeliği", "Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği" ve "Sulak Alanların Korunması Yönetmeliği Kapsamında" 2001 yılından beri Tödürge Gölü'nden, 2013 yılından sonra da Ulaş Gölü'nden su örnekleri alınmaktadır.

#### 5.1. Göller

Ulaş Gölü'nden alınan su örnekleri üzerinde yapılan genel kalite analizlerine göre; EC(Elektriksel İletkenlik)'si 4650 - 5550 µohm/cm arasında, sertlik miktarı ise 177.59 - 236.09 FS arasında değişmektedir.

Ağır metal analiz sonuçlarına göre ise; Mangan(Mn) miktarı; 37.58 - 38.99 µg/l arasında değişmekte, demir miktarı; 357.33 - 735.23 µg/l arasında, arsenik miktarı ise; 3.63 - 3.71 µg/l arasında değişmektedir.

Bakteriyolojik analiz sonuçlarına göre ise Toplam Koliform miktarı(EMS/100 ml) 440, E. Coli miktarı(EMS/100 ml) 220, F. Streptokok miktarı(EMS/100 ml) 16 civarındadır.

## Uluslararası Genel Çevre Sorunlarına Bakış

Gölde bakteriyolojik kirlilik mevcuttur. Ayrıca elektriksel iletkenlik değerleri de oldukça yüksektir. Çevre jeolojisine bağlı olarak(jipsler)  $SO_4$  değerleri de oldukça yüksektir.

Bu göl, ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramına göre,  $C_4S_2$  sulama suyu sınıfında olup, Wilcox Diyagramına göre ise sulama suyu olarak kullanmaya uygun değil sınıfındadır.

Zara Havzası'nda yer alan Tödürge Gölü'nden alınan su numunesi üzerinde yapılan kimyasal analiz sonuçlarına göre, EC(Elektriksel İletkenlik)'si 7160 - 7750  $\mu\text{ohm/cm}$  arasında,  $NO_2$  miktarı 0.03-0.0042 mg/l civarında,  $NO_3$  miktarı 118.798-120.65 mg/l arasında,  $SO_4$  değeri 1790.97-1899.22 mg/l arasında, sertlik miktarı ise 188.51-236.40 FS arasında değişmektedir.

## 6. JEOFİZİK

Ulaş Havzası genelinde değişik tarihlerde 37 ayrı noktada jeofizik rezistivite yapılmıştır. 2011 yılında, Ulaş Havzası'nın güneyinde bulunan Yenikarahisar mahallesi arazilerinin yeraltısuyundan sulanmasına yönelik olarak jeolojik ve jeofizik etütler yapılmıştır. Jeofizik etütler kapsamında, Schlumberger Yöntemi uygulanarak etüt alanında ortalama  $AB/2 = 200$  m derinliklere nüfuz edebilen 4(dört) adet Düşey Elektrik Sondajı(DES) ölçüsü alınmıştır. Ayrıca bu arazilerde 2015 yılında ise 5(beş) noktada rezistivite çalışmaları yapılmıştır.

Ulaş Ovası'nda yapılan jeofizik etüt çalışmalarına göre, alüvyon kalınlığı 15 m-30 m arasında değişmektedir.

Zara Havzası'nda jeofizik çalışmalar, Kurumumuz programında olan "Zara-Hafik Alt Havzası Hidrojeolojik Etüt Raporu" kapsamında yapılacaktır.

## 7. SONUÇ

1. Ulaş Ovası ve Zara Ovası, bazı dere ve ırmakların (Ulaş'ta Tecer Irmağı) uzun yıllar getirdiği malzemelerin (kil, silt, çakıl, kum) birikmesiyle oluşan birikinti ovası (alüvyonlu düzlük) şeklindedir.

2. Ulaş Havzası drenaj alanı yaklaşık olarak  $1032 \text{ km}^2$  ve ova alanı ise  $139 \text{ km}^2$ 'dir. Havza'nın güneybatısında Altınyayla Havzası, güneydoğusunda Kangal Havzası, kuzeyinde ve batısında Sivas Havzası'nın bir bölümü bulunmaktadır.

3. Ulaş Havzası çalışma alanında genel olarak İç Anadolu'ya özgü olan sert karasal iklim görülmektedir. Yazlar sıcak ve kurak, kışlar soğuk, kar ve yağmur yağışlıdır. 17710 no'lu(TİGEM) otomatik istasyona ait 2012-2015 yılları arasında ölçülmüş değerlere göre ortalama yağış; 379.92 mm, en fazla yağış 73.30 mm ile Mayıs ayında, en az yağış 2.10 mm ile Temmuz ayındadır.

4. Zara Havzası'nda yer alan 17716 no'lu istasyona(**Zara**) ait 2012-2016 yılları arasında ölçülmüş değerlere göre ortalama yağış; 381.45 mm, en fazla yağış 71.30 mm ile Mayıs ayında, en az yağış 4.10 mm ile Temmuz ayındadır.

5. Ulaş Havzası'nın boşalmasını sağlayan Tecer Irmağı'nın Mart-2012 ile Eylül-2015 yılları arasında ölçülen aylık debi ölçümlerinin ortalaması(Tecer-AGİ(mansap)),  $1.86 \text{ m}^3/\text{s}$  civarındadır.



## Sulak Alanların Hidrojeolojik Açıdan Önemi, Tödürge ve Ulaş Gölleri (Sivas) Örneği

Ulaş-Tecer köyü yakınlarında bulunan akım gözlem istasyonuna ait yıllık ortalama akım ise; 0.992 m<sup>3</sup>/s civarındadır.

**6.** Ulaş Havzası çalışma alanında yayılım gösteren birimler yaşlıdan gence doğru; Mesozoyik yaşlı Refahiye Ofiyolitli Karışığı(Kk), Paleosen yaşlı Tecer Kireçtaşı(KTt), Alt Eosen yaşlı Gülandere Formasyonu, Üst Eosen yaşlı Bozbel Formasyonu, Oligo-Miyosen yaşlı Selimiye Formasyonu(Ts-y, Tsz), Alt Miyosen yaşlı Altınyayla Formasyonu(Tal), Alt Miyosen yaşlı Kemah Formasyonu(Tkk), Orta Miyosen yaşlı Hocabey Formasyonu(Tho), Orta Miyosen yaşlı Kavak Formasyonu(Tk1), Üst Miyosen yaşlı Hafik Formasyonu(Th), Kuvaterner yaşlı Alüvyon(Qal) ve Yamaç Molozu(Qy)'dur.

**7.** Zara Havzası çalışma alanında yayılım gösteren birimler yaşlıdan gence doğru; Paleozoyik yaşlı Karaçayır Formasyonu (PMk), Kretase yaşlı Refahiye Ofiyolitli Karışığı (Kk), Eosen yaşlı Gülandere Formasyonu (Tg), Oligo-Miyosen yaşlı Selimiye Formasyonu (Tsy, Tsz), Alt Miyosen yaşlı Kemah Formasyonu (Tkk), Üst Miyosen yaşlı Hafik Formasyonu (Th), Pliosen yaşlı Zöhrep Formasyonu (TPz), Kuvaterner yaşlı Traverten (Qt) ve Alüvyon (Qal).

Tödürge Gölü çevresinde yayılım gösteren birimler ise Üst Miyosen yaşlı Hafik Formasyonu(Th) ve Alüvyon(Qal)'dur.

**8.** Ulaş Gölü için, yapılan su bilançosuna göre,  $ET_p = 0.69 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ 'dır (Potansiyel buharlaşma-terleme, karstik kanallara kaçak veya pompaj ile su çekimi).

**9.** Tödürge Gölü için, çıkan akım giren akımdan  $3.17 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$  daha büyüktür. Yani bu kadar su yeraltından(karstik kanal ve boşluklardan) gelmektedir.

**10.** Yapılan analizler sonucunda, Tecer Irmağı'nın membada EC(Elektriksel İletkenlik)'si 909 - 961  $\mu\text{ohm/cm}$  arasında, NH<sub>4</sub>(Amonyum) miktarı 0.03 - 0.10 mg/l arasında, NO<sub>2</sub> miktarı 0.01 ile 0.03 mg/l arasında ve sertlik miktarı ise 44.85 - 47.66 FS arasında değişmektedir.

**11.** Ulaş Ovası'nda yaygın olan akifer birimler; Kuvaterner yaşlı alüvyon, Kretase yaşlı kireçtaşları ve kısıtlı olarak Oligo-Miyosen yaşlı Konglomera ve kumtaşlarıdır.

**12.** Ulaş ova kesiminde sulamanın bir kısmı Karacalar Barajı, Boğazdere ve Kırkgöz Göletlerinden sağlanmaktadır. Bu nedenle bu tesisler ve yapımı devam eden gölet tesisleri yeraltısuyunun rezervi açısından olumlu katkıları olmuş ve olacaktır.

**13.** Yine Tecer Irmağı membada yapılan bakteriyolojik analiz sonuçlarına göre; Toplam Koliform miktarı(EMS/100 ml) 140, E. Coli miktarı(EMS/100 ml) 70, F. Streptokok miktarı(EMS/100 ml) 5 civarındadır.

Ulaş Gölü'nden alınan su örnekleri üzerinde yapılan genel kalite analizlerine göre; EC(Elektriksel İletkenlik)'si 4650 - 5550  $\mu\text{ohm/cm}$  arasında, sertlik miktarı ise 177.59 - 236.09 FS arasında değişmektedir.

Ağır metal analiz sonuçlarına göre ise; Mangan(Mn) miktarı; 37.58 - 38.99  $\mu\text{g/l}$  arasında değişmekte, demir miktarı; 357.33 - 735.23  $\mu\text{g/l}$  arasında, arsenik miktarı ise; 3.63 - 3.71  $\mu\text{g/l}$  arasında değişmektedir.

## Uluslararası Genel Çevre Sorunlarına Bakış

Bakteriyolojik analiz sonuçlarına göre ise, Toplam Koliform miktarı(EMS/100 ml) 440, E. Coli miktarı(EMS/100 ml) 220, F. Streptokok miktarı(EMS/100 ml) 16 civarındadır.

**14.**Zara Havzası'nda yer alan Tödürge Gölü'nden alınan su numunesi üzerinde yapılan kimyasal analiz sonuçlarına göre, EC(Elektriksel İletkenlik)'si 7160 - 7750  $\mu\text{ohm/cm}$  arasında,  $\text{NO}_2$  miktarı 0.03-0.0042 mg/l civarında,  $\text{NO}_3$  miktarı 118.798-120.65 mg/l arasında,  $\text{SO}_4$  değeri 1790.97-1899.22 mg/l arasında, sertlik miktarı ise 188.51-236.40 FS arasında değişmektedir.

Zara Havzası'nda su örnekleri üzerinde(akarsu, göl, kaynak gibi) yapılan kimyasal analiz sonuçlarına göre, mebadan mansaba doğru, EC(elektriksel iletkenlik),  $\text{SO}_4$  ve sertlik değerleri artmaktadır. Bununla birlikte jipsli serilerin yoğun bir şekilde artmasıdır.

**15.** Havzada bulunan ve Tecer Dağı yamaçlarından boşalan Beşgözeler Kaynakları, 10.10.2012 tarihinde 28437 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan "İçme Suyu Temin Edilen Akifer ve Kaynakların Korunması Hakkında Tebliğ" uyarınca koruma alanları(mutlak, birinci ve ikinci derece) çalışması devam etmektedir. Tecer Dağını oluşturan Kretase yaşlı kireçtaşları için yoğun taş ocağı talepleri olmaktadır. Bu taleplerin izin ve ruhsat konularının değerlendirilmesinde dikkatli davranılmalıdır (mutlak koruma alanı ve birinci derece koruma alanları dışında izin verilmelidir).

**16.** Ulaş Gölü ve Zara Tödürge Gölü'nün karşı karşıya kaldığı sorunların belirlenmesi ve çözüm önerilerinin geliştirilmesi amacıyla, "Ulaş Gölleri Sulak Alan Yönetim Planı" raporu Orman ve Su İşleri Bakanlığı 15. Bölge Müdürlüğü Sivas Şube Müdürlüğü Sivas Şube Müdürlüğü ve Doğa Koruma ve Millî Parklar Genel Müdürlüğü koordinasyonunda gerçekleştirilmiş ve 27.12.2012 tarihli Ulusal Sulak Alan Komisyonu 2012 yılı 2. Olağan Toplantısı'nda onaylanmıştır (Bu planda belirtilen önlem ve yasaklamalara uyulmalı ve takibi ilgili kurumlarca yapılmalıdır).

**17.** Geleceğe dönük yapılaşmalarda (konut, petrol ofisi, imalathane vs.) kesinlikle çevre ve imar kanunu kurallarına uyulmalıdır. Tarım arazileri (özellikle ova araziler) gelecek açısından korunmalıdır. Özellikle Ulaş Gölü (sulak alan) ve Zara Gölü (sulak alan) ve çevresinde ki araziler imara açılmamalı ve korunmalıdır.

**18.** Ulaş Ovası'nda yapılan jeofizik etüt çalışmaları ve su sondaj kuyu loglarına göre, alüvyon kalınlığı 15 m-30 m arasında değişmektedir.

**19.**Zara Havzası'nda jeofizik çalışmalar, Kurumumuz programında olan "Zara-Hafik Alt Havzası Hidrojeolojik Etüt Raporu" kapsamında yapılacaktır.

## TEŞEKKÜR

Ulaş Havzası'nda jeofizik çalışmalarda bulunan Jeofizik Yüksek Mühendisi Hakan Kütükcüoğlu'na teşekkür ederim.

## Sulak Alanların Hidrojeolojik Açından Önemi, Tödürge ve Ulaş Gölleri (Sivas) Örneği

### KAYNAKLAR

- Aydın, S. S., 1970; Sivas Ulaş Ovası Rezerv Raporu, DSİ 5. Bölge Müdürlüğü, Ankara.
- Baykal, F., Erentöz, C., 1966, 1/500.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası. Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Yayınları, Ankara.
- Ekemen, T., 2001, Tecer Dağı(Sivas-Ulaş) Kaynaklarının Hidrojeoloji İncelemesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Cumhuriyet Üniversitesi,Sivas
- Göktepe, G., 2003, Hidrojeolojik Verilerin Microsoft Excel Programında Değerlendirilmesi. DSİ Genel Müdürlüğü Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltı Suları Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- MTA Orta Anadolu 1. Bölge Müdürlüğü, 1996; Sivas İ37-İ38 Paftalarının Jeolojisi.
- MTA Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi, 1988, 1997; 1/100000 Ölçekli Açın Sıma Nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi (Sivas-F24, Sivas-G24 Paftaları).
- T.C. Sivas Valiliği 2002; Sivas İli Çevre Durum Raporu.
- Sivas İlinin Maden Potansiyeli, 2012 ; Sivas Valiliği, MTA Orta Anadolu 1. Bölge Müdürlüğü, Sivas.
- Ulaş Gölleri Sulak Alan Yönetim Planı, 15. Bölge Müdürlüğü
- Erol, M., Egdemir, S., Sungur, H., 2015, Ulaş(SİVAS) Belediyesi İçme Suyu Hidrolojik-Hidrojeolojik Etüt Raporu, İller Bankası A.Ş. Bölge Müdürlüğü, SİVAS.
- Dr. Sohreiber, Okay, H., 1970; Zara-Hafik Ovası Hidrojeolojik Etüd Raporu, DSİ Genel Müdürlüğü, Ankara
- Müftahi, Y., Sivas-İmranlı-Kızılırmak Başlangıç Havzası Hidrojeolojik Etüd Raporu, DSİ 12. Bölge Müdürlüğü, Kayseri.
- Şahin, M., 1995; Zara Batısı Münferit Hidrojeolojik Etüt Raporu, DSİ 19. Bölge Müdürlüğü, SİVAS.
- Karagöz, T., 1988; Sivas-Eymir Köyü Arazileri Hidrojeolojik Etüd Raporu, DSİ 19. Bölge Müdürlüğü, SİVAS.
- Göktepe,G., 2003, Hidrojeolojik Verilerin Microsoft Excel Programında Değerlendirilmesi. DSİ Genel Müdürlüğü Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltı Suları Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- MTA Orta Anadolu 1. Bölge Müdürlüğü, 1996; Sivas İ37-İ38 Paftalarının Jeolojisi.
- MTA Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi, 1988, 1997; 1/100000 Ölçekli Açın Sıma Nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi (Sivas-F24, Sivas-G24 Paftaları).
- Nazik, M., 1980, Hidrojeolojik Etüdlere Hidrolojik Verileri Belirleme ve Değerlendirme Yöntemleri. DSİ Basım ve Foto-Film İşletme Müdürlüğü Matbaası, Ankara



# ELEKTROKOAGÜLASYON PROSESİ İLE TEKSTİL ATIKSULARININ ARITIMI VE İŞLETME PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU

Fuat Özyonar<sup>1</sup> - Mehmet Utku Korkmaz<sup>2</sup>

## ÖZET

Bu çalışmada, Taguchi deneysel tasarım metodu kullanılarak Elektrokoagülasyon prosesinin tekstil atıksuyunun arıtımında kullanımı ile işletme parametrelerinin optimum şartları belirlenmiştir. Elektrokoagülasyon prosesinde işletme parametreleri olarak; bağlantı tipi, elektrot türü, başlangıç pH, akım yoğunluğu, zaman ve hava miktarının etkisi belirlenmiştir. Bu çalışmada performans değerlendirme parametresi olarak renk giderme verimi (%) incelenmiştir. Optimizasyon çalışması için belirlenen parametre sayısı 6 ve bağlantı tipi için 2 diğer parametre için 4 farklı seviye incelenmesi düşünülerek L<sub>32</sub> (6<sup>5</sup>) Taguchi faktöriyel deney tasarımı yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar neticesinde, renk giderme verimine göre optimum koşullar sırasıyla, bağlantı tipi MP-P, elektrot türü AL-SS, başlangıç pH 5, akım yoğunluğu 200 A/m<sup>2</sup>, zaman 30 dakika ve hava miktarı 0 L/dk olarak elde edilmiştir. Bu işletme koşullarında tahmin edilen renk giderme verimi %100 elde edilirken laboratuvar deneyinde bulunan değer %99,37'dir. Sonuçta Elektrokoagülasyon prosesi ile tekstil atıksuyundan renk gideriminde yüksek verimler elde edilmiştir.

**Anahtar Kelime:** Elektrokoagülasyon, Taguchi Metodu, Renk Giderimi, Elektrot Tipi.

## ABSTRACT

In this study, the optimum conditions of the operating parameters affecting the Electrocoagulation process in the treatment of textile wastewater were determined using the Taguchi experimental design method. As operating parameters in the electrocoagulation process; The effects of connection type, electrode type, initial pH, current density, time and amount of air were determined. In the experimental study, the color parameter was examined as a performance critter. L<sub>32</sub> (6<sup>5</sup>) Taguchi factorial experimental design was made by considering 6 different parameters for the number of parameters determined for the optimization study and 4 different levels for 2 other parameters for the connection type. As a result of the results obtained, the optimum conditions according to the decolorization efficiency were found as connection type MP-P, electrode type AL-SS, initial pH 5, current density 200 A/m<sup>2</sup>, time 30 minutes and flow air injection 0 L/min. Under these conditions, the estimated color removal efficiency is 100%, while the experimental value is 98.37%. As a result, high removal efficiency were obtained in color removal from textile wastewater with the Electrocoagulation process.

**Key words:** Electrocoagulation, Taguchi Methods, Color Removal, Electrode Type

1 Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, TR-58140 Sivas, Yazışmacı Yazar, fozyonar@cumhuriyet.edu.tr  
ORCID: 0000-0001-6772-8010

2 Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, TR-58140 Sivas

### 1. GİRİŞ

Dünyamızda ve ülkemizde nüfus ve endüstrinin artışı ile birlikte diğer endüstrilerde sektörlerinde olduğunu gibi tekstil endüstrisinin de üretim miktarı artmaktadır. Diğer endüstrilerde de olduğu gibi bu endüstride de su bir hammadde olarak kullanılmakta ve yüksek miktarlarda ürün oluşumuna kadar tüketilmektedir. Bu da atıksu oluşum miktarını artırmaktadır.

Tekstil endüstrisinde boyama, baskı ve terbiye prosesleri oldukça fazla temiz suya ihtiyaç duyan ve tehlikeli toksik türde atıksu üreten ünitelerdir. Her yıl dünya genelinde 1 milyon tona yakın tekstil boyası kullanılmaktadır [1].

Bu boyar maddeleri içeren atıksuların alıcı ortamlara arıtılmadan verilmesi alıcı ortamlarda; oksijenin düşmesine, pH'ın değişmesine, su sıcaklığının artmasına, askıda katı madde miktarının artmasına, ve boyar maddelerin içeriğinde olan aromatik maddelerin, metallerin, kloridlerin ve diğer toksik maddelerin alıcı ortamlara geçmesine ve sucul yaşamın olumsuz yönde etkilenmesine sebep olmaktadır.

Son yıllarda, Elektrokoagulation prosesleri çeşitli türdeki su ve atıksuların arıtımında kullanılmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir [2-6]. Son yıllarda çevresel sorunların, hızlı nüfus artışı, endüstrinin hızla gelişmesi ve küresel iklim değişimi gibi nedenlerden dolayı kullanılabilir su miktarı azalırken su talebi ise hızla artmaktadır. Bu sebeplerden verimli atık su arıtma uygulamaları geliştirmek, çevreyi korumak için önemli adımlardan ilki olarak ele alınması gerekmektedir. Elektrokimyasal arıtma prosesleri sağladığı bazı avantajlardan dolayı kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Başlıca avantajları basit işletme kolaylığı, kısa işletme süreleri ve yüksek giderme verimi gibi [7, 8].

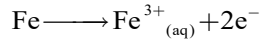
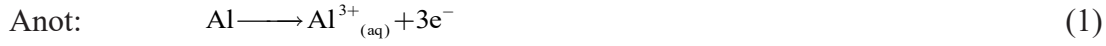
#### Elektrokoagülasyon prosesinin mekanizması

Elektrokoagülasyon (EC) prosesinde, elektroliz sonucu anotun çözünmesi ile metal hidroksit flokları oluşan ve bu metal hidroksit flokları (Şekil 1) kirleticileri uzaklaştırmada koagülasyon, adsorpsiyon çöktürme ve flotasyon gibi giderme mekanizmalarının gerçekleştiği bir elektrokimyasal arıtma prosesidir. Oluşan metal hidroksit flokları çok az çözünen  $Al(OH)_3$ ,  $Fe(OH)_2$  ve  $Fe(OH)_3$  gibi metal hidroksit türlerini meydana getirir. EC prosesinde aşağıdaki aşamaların gerçekleştiği kabul edilmektedir [9];

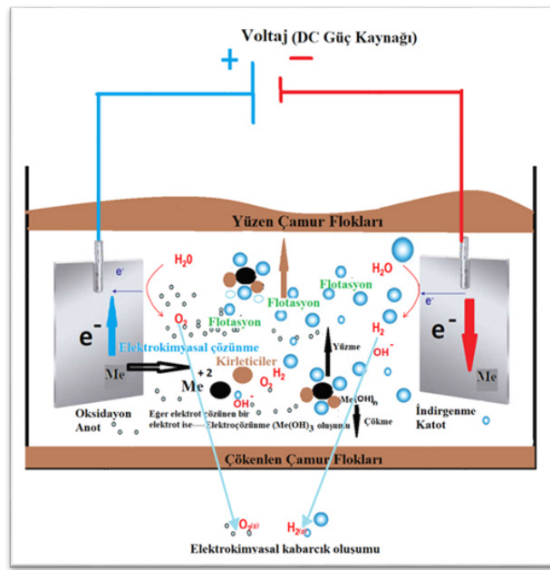
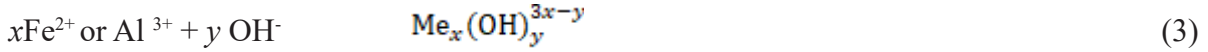
- ✓ Elektrolitik oksidasyonda çözünen elektrot ile koagülant türlerin oluşumu,
- ✓ Kirleticilerin kararsızlaştırılması, partikül süspansiyonu ve emülsiyonların kırılması,
- ✓ Destablize edilmiş fazlarda flokların topaklaşması.

Elektrokoagülasyon prosesinde, oluşan metalik koagülantlar harcanan metalik anotların oksidasyonu ile oluşur. EC sürecinde, harcanan bir anot metaryalinin elektrokimyasal çözülmesini ve Faraday kanununa göre katotta eşzamanlı hidrojen gazı oluşumu meydana gelmektedir [9]. Bu çalışmada alüminyum ve demir elektrotlar kullanılmıştır. Bu sebeple elektrokoagülasyon süresinde katoda suyu indirgenmesi ve anotta metalin çözünmesi ile aşağıdaki reaksiyonlar gereği metal hidroksit flokları oluşur:

## Tekstil Atıksularının Arıtımı ve İşletme Parametrelerinin Optimizasyonu



Elektrokoagülasyon süresince oluşan hidroksit formlarının türü, pH değişimiyle değişiklik göstermektedir (27-28).



Şekil 1. Elektrokoagülasyon-flotasyon prosesinin mekanizması [10].

### Taguchi Deneysel Tasarım Metodu

Taguchi deneysel tasarım metodu Dr. Genichi Taguchi tarafından geliştirilmiş bir istatistiksel deneysel tasarım metodudur. Bu tasarım metodunda deneyi etkileyen parametreler ikiye ayırılabilir; kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen parametreler olarak ve bu parametreler farklı düzeylerde incelenme imkânı vardır [11, 12].

Taguchi deneysel metodunda çok fazla değişkeni olan faktörlerin daha az deneyler ile denemesi için Ortogonal Dizilerden (OD) faydalanmaktadır. Taguchi deneysel optimizasyon metodu, bilim alanında çeşitli uygulamalarında başarılı sonuçlar elde edilmesinden dolayı çevre mühendisliği uygulamalarında da yaygınlaşmaya başlamıştır.

Taguchi Deneysel Tasarımı metodunda Performans karakteristiği belirlenmesinde sinyal gürültü oranı (S/N)) optimizasyon kriteri olarak seçilmektedir [12]. Taguchi'de üç farklı performans kriteri bulunmaktadır. Bunlar en büyük en iyidir, en küçük en iyidir ve normal en iyidir. Performans

## Uluslararası Genel Çevre Sorunlarına Bakış

karakteristiği açısından (giderme verimleri ) en büyük en iyidir performans karakteri seçilerek, hesaplamalar yapılmıştır [13] (Eşitlik 1).

$$SNL = -10 \log_{10} \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{Y_i^2} \right) \quad (4)$$

$n$  : ortogonal dizisindeki deney sayısı

$y_i$ : ölçülen kalite parametresi

## 2. MATERYAL VE METOT

### 2.1 Materyal

Bu çalışmada, materyal olarak kullanılan atıksu Kayseri’de faaliyet gösteren bir tekstil sanayi fabrikasından temin edilmiştir. Atıksu tesisin dengeleme havuzundan kompozit numuneler ile alınmıştır. Kullanılan tekstil sanayi atıksuyunun genel özellikleri Tablo 1’de sunulmuştur.

**Tablo 1. Tekstil atıksuyunun özellikleri.**

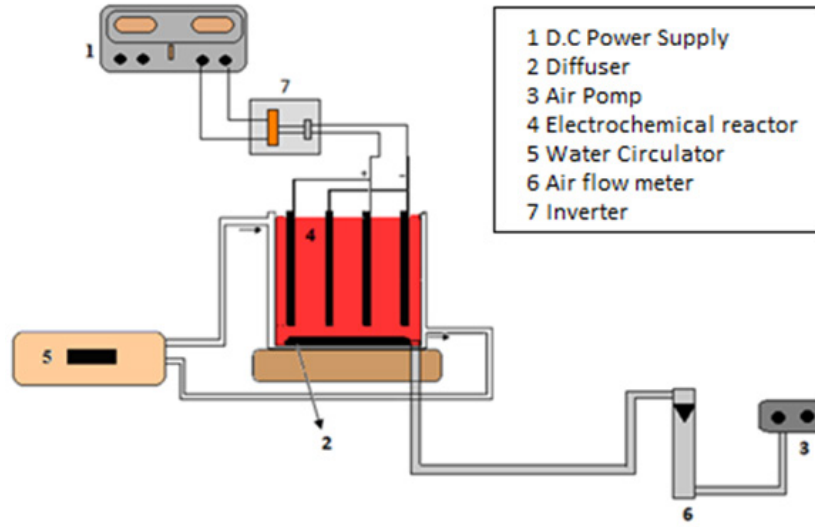
Parametre	Değer
KOİ (mg/l)	660 ± 200
Bulanıklık (NTU)	70 ± 15
Renk (Pt/co)	330± 20

### 2.2 Metot

Deneysel çalışmalarda Şekil 2’de şematik şekli verilen elektrokimyasal reaktör ve bileşenleri kullanılmıştır [14]. Reaktör polietilenden imal edilmiş olup 1 L çözelti hacmine sahiptir. Deneysel çalışmada atıksudan 1 L alınarak reaktöre konulmuştur. Elektrokoagülasyon çalışmalarında elektrotlar paralel bağlantı modunda monopolar bağlanarak kullanılmıştır. Kullanılan elektrotların toplam yüzey alanı 210cm<sup>2</sup> olarak değiştirilerek uygulanmıştır. Elektrotlar arası mesafe ise 2 cm olarak ayarlanmıştır. Doğru akım dijital bir güç kaynağı ile sağlanmıştır (ALPHA 10A, 60V). Hava enjeksiyonu bir pompa ve gaz debimetre ile 0-3 L/dk aralığında sağlanmıştır.



## Tekstil Atıksularının Arıtımı ve İşletme Parametrelerinin Optimizasyonu



Şekil 2. Elektrokoagülasyon prosesi şematik şekli [14].

### Taguchi deney tasarımı

Bu çalışmada Elektrokoagülasyon prosesinde işletme parametresi olarak kontrol edilebilen faktörler; bağlantı tipi, elektrot türü, başlangıç pH, akım yoğunluğu, elektroliz süresi ve hava miktarı seçildi. Bu faktörlerin ve faktörlerin seviyeleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2’de verilen  $L_{32}$  deneysel planına göre deneysel değişkenler ve seviyeleri ile Tablo 3’te renk giderme verimine göre elde edilen değerler sunulmuştur. Minitab (trial edition) programının kullanıldığı istatistiksel analizde Taguchi deneysel tasarım metodunda kullanılan “En büyük en iyidir” amaç maksimuma ulaşmaktır performans kriteri seçilerek metod uygulanmıştır.

Tablo 2. İşletme Faktörleri ve seviyeli

Faktör	L1	L2	L3	L4
F1 Bağlantı Tipi	MP-P	MP-S		
F2 Elektrot Türü	Al-Fe	Fe-Al	Al-SS	Fe-SS
F3 Başlangıç pH	5	6	7	8
F4 Akım Yoğunluğu ( $A/m^2$ )	50	100	150	200
F5 Zaman (dk)	5	10	20	30
F6 Hava Miktarı (L/dk)	0	1	2	4

Deneysel tasarım da 6 faktör (Bağlantı tipi, Elektrot türü, pH, akım, zaman ve hava enjeksiyon miktarı) ve 1. faktör için 2 seviye diğer her bir faktör için 4 seviyede  $L_{32}$  deney planı oluşturulmuştur.

## Uluslararası Genel Çevre Sorunlarına Bakış

Tablo 3. L<sub>32</sub> deneysel plana göre deneysel değişkenler, seviyeleri ve renk giderme verimi.

Deney No	Bağlantı tipi	Elektrot türü	pH	Akım yoğunluğu	Zaman	Hava miktarı	%Renk Giderme Verimi
1	1	1	1	1	1	1	32,28
2	1	1	2	2	2	2	70,04
3	1	1	3	3	3	3	73,09
4	1	1	4	4	4	4	83,43
5	1	2	1	1	2	2	50
6	1	2	2	2	1	1	48,28
7	1	2	3	3	4	4	94,19
8	1	2	4	4	3	3	81,74
9	1	3	1	2	3	4	82,92
10	1	3	2	1	4	3	79,75
11	1	3	3	4	1	2	29,98
12	1	3	4	3	2	1	43,28
13	1	4	1	2	4	3	96,48
14	1	4	2	1	3	4	51,48
15	1	4	3	4	2	1	98,39
16	1	4	4	3	1	2	46,06
17	2	1	1	4	1	4	33,94
18	2	1	2	3	2	3	28,84
19	2	1	3	2	3	2	24,06
20	2	1	4	1	4	1	23,45
21	2	2	1	4	2	3	20,83
22	2	2	2	3	1	4	13,58
23	2	2	3	2	4	1	62,76
24	2	2	4	1	3	2	21,55
25	2	3	1	3	3	1	61,58
26	2	3	2	4	4	2	74,76
27	2	3	3	1	1	3	17,25
28	2	3	4	2	2	4	25,6
29	2	4	1	3	4	2	54,96
30	2	4	2	4	3	1	25,62
31	2	4	3	1	2	4	21,89
32	2	4	4	2	1	3	4,42

### 2.3 Analitik Yöntem

Renk ölçümleri standart metotlara uygun olarak yapılmıştır [15]. Renk ölçümü UV-VIS spektrofotometrede ve pH consort model C931 pH metrede ölçülmüştür. Atıksuyun pH'ını ayarlamak için NaOH ve HCl (Merck) kimyasalları kullanılmıştır.

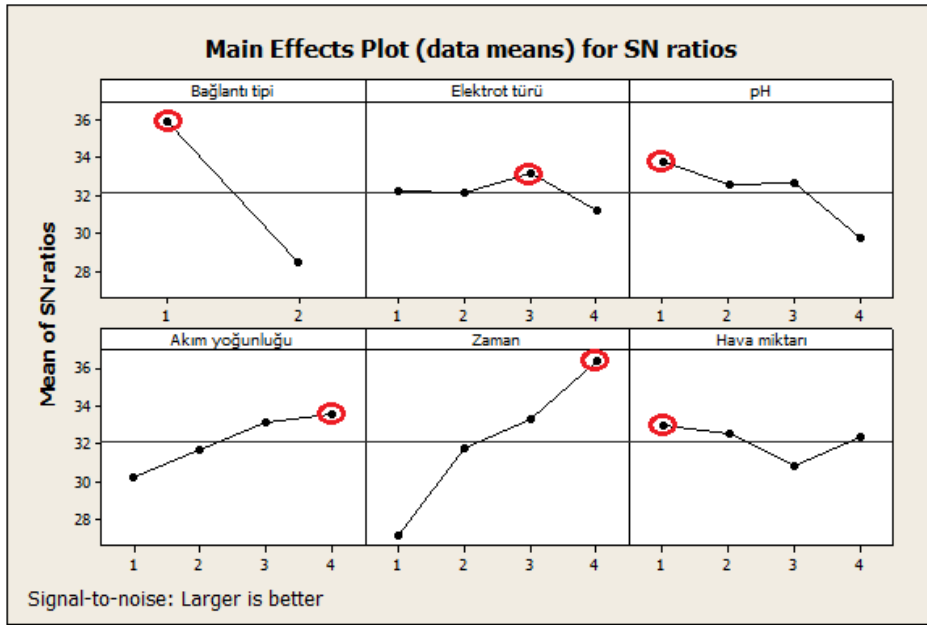
## 3. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

### 3.1. İstatiksel Hesaplamalar

Taguchi deneysel matris, toplam 32 deney (tekrarlamalı) 4 seviyeli ve 6 faktörlü olmak üzere L<sub>32</sub> ortogonal dizeye göre yürütülmüştür. Her bir parametrenin S/N oranları Şekil 3'te verilmiştir. En

## Tekstil Atıksularının Arıtımı ve İşletme Parametrelerinin Optimizasyonu

iyi kirletici giderme verimleri en yüksek S/N oranını ifade etmektedir. Bu değer optimum giderme verimi olarak açıklanabilir. Şekil 3’de, en yüksek giderme verimlerine karşı ifade edilen en yüksek S/N oranları 4 seviye arasında daire içinde gösterilmiştir. Bu da incelenilen faktörlerin EC prosesinde optimum değerlerini ifade etmektedir. Şekil 2’de bu işletme parametreleri, bağlantı tipi MP-P (1. Seviye), elektrot türü AL-SS (3. Seviye), başlangıç pH 5 (1. Seviye), akım yoğunluğu 200 A/m<sup>2</sup> (4. Seviye), zaman 30 dakika (4. Seviye) ve hava miktarı 0 L/dk (1. Seviye) olarak elde edilmiştir. Taguchi tasarım metodu bu koşullarda tahmin deneyi olarak %100 renk giderme verimi verirken bu koşullarda yapılan doğrulama (Labaratuvar) deneyinde; %99,37 renk giderme verimi elde edilmiştir.



Şekil 3. Taguchi deneysel tasarım metoduna göre optimizasyonda Elektrokoagülasyon prosesine üzerine etki eden parametrelerin seviyelerinin etkisi.

## 4. SONUÇ

Bu çalışmada elektrokoagülasyon prosesiyle tekstil atıksuyun arıtımı için optimum işletme koşulları Taguchi deneysel tasarım metodu kullanılarak belirlenmiştir. Deneysel tasarımda elde edilen tahminî işletme optimum şartları ile gerçek deneysel şartlara uygulandığında yakın arıtma sonuçları elde edildiği görülmüştür. Bu da metodun bu tür atıksulara Elektrokoagülasyon prosesinin optimizasyonda uygulanabileceğini göstermektedir. Bu metoda göre çalışmada, en uygun EC prosesi işletme şartları, bağlantı tipi MP-P, elektrot türü AL-SS, başlangıç pH 5, akım yoğunluğu 200 A/m<sup>2</sup>, zaman 30 dakika ve hava miktarı 0 L/dk olarak bulunmuştur. Bu şartlarda metot ile tahmin edilen renk giderme verimi %100 elde edilirken laboratuvarında optimum işletme koşullarında elde edilen renk giderme verimi %99,37’dir.

### KAYNAKLAR

- [1] Chequer, F. M. D., Oliveira, G. A. R. d., Ferraz, E. R. A., Cardoso, J. C., Zanoni, M. V. B., Oliveira, D.Pd. (2013). Textile dyes: dyeing process and environmental impact. *Eco Friendly Text Dye Finish*. <http://doi.org/10.5772/53659>.
- [2] Kobya, M., Demirbaş, E., Can, O. T., Bayramoğlu, M., Treatment of levafix orangetextile dye solution by electrocoagulation, *J. Hazard. Mater.* 132 (2006) 183–188.
- [3] Al-Shannag, M., Bani ve Melhem, K., Al-Anber, Z. ve Al-Qodah, Z., Enhancement of COD-nutrients removals and filterability of secondary clarifier municipal wastewater influent using electrocoagulation technique. *Sep. Sci. Technol.*, 48: (4) (2013) 673–680. doi:10.1080/01496395.2012.707729.
- [4] Ozyonar, F., Optimization of operational parameters of electrocoagulation process for real textile wastewater treatment using Taguchi experimental design method, *Desalination and Water Treatment*, 57:6, (2016) 2389-2399, DOI: 10.1080/19443994.2015.1005153
- [5] Özyonar, F. Karagözoğlu, B., Treatment of pretreated coke wastewater by electrocoagulation and electrochemical peroxidation processes *Separation and Purification Technology* 150 (2015) 268–277.
- [6] Esfandyari, Y., Mahdavi, Y., Seyedsalehi, M., Hoseini, M., Safari, G. H., Ghozikali, M. G., Kamani, H. ve Jaafari, J., Degradation and biodegradability improvement of the olive mill wastewater by peroxi-electrocoagulation/electrooxidation-electroflotation process with bipolar aluminum electrodes. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 22: (8) (2015). 6288–6297.doi:10.1007/s11356-014-3832-5.
- [7] Pulkka, S., Martikainen, M., Bhatnagar, A. ve Sillanpää, M., Electrochemical methods for the removal of anionic contaminants from water – a review. *Sep. Purif. Technol.*, 132: (2014) 252–271.
- [8] Moussa, D. T., El-Naas, M. H., Nasser, M. ve Al-Marri, M. J., A comprehensive review of electrocoagulation for water treatment: potentials and challenges. *J. Environ. Manag.*, 186: (2016) 24–41. doi: 10.1016/j.jenvman.2016.10.032.
- [9] Mollah, M. Y. A., Schennach, R., Parga, J. P., Cocke, D. L., Electrocoagulation (EC)-science and applications, *J. Hazard. Mater.* 84 (2001) 29–41.
- [10] Özyonar, F., Su ve Atıksu Arıtmında Elektrofotasyon Prosesi, Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 9:2 (2020) 730-745.
- [11] Tong, L. I., Wang, C. H., Chen, C. C., Chen, C. T., “Dynamic Multiple Responses by Ideal Solution Analysis”, *European Journal of Operational Research*, 156 (2004) 433-444.
- [12] Taguchi, G., Choudhury, S. ve Wu, Y., (2005), *Taguchi’s Quality Engineering Handbook*, John Wiley and Sons, Inc, ISBN 0-471-4133-8.pp.1662.
- [13] Gökkuş, O. ve Yıldız, Y. Ş., Application of electrocoagulation for treatment of medical waste sterilization plant wastewater and optimization of the experimental conditions, *Clean Techn Environ Policy*, (2014) DOI 10.1007/s10098-014-0897-2.
- [14] Özyonar, F. “Treatment of Oily Wastewater by Electrocoagulation Process and Optimization of the Experimental Conditions Using Taguchi Method,” *Cumhuriyet Science journal*, 39:4, (2018) 1127-1135.
- [15] APHA, Standart Methods for examination of water and wastewater. American Water Work Association, (1992), New York.

# FARMASÖTİKLERİN ÇEVRESEL AKİBETLERİ, RİSKLERİ VE EKOTOKSİKOLOJİK ETKİLERİ: ÖRNEK ÇALIŞMA

Ülker Aslı Güler<sup>1</sup> - Betül Solmaz<sup>2</sup>

## ÖZET

Mikrokirlleticiler; ekosistem ve organizmalar üzerindeki ekotoksikolojik etkileri nedeniyle çevresel kaygının artmasına neden olmaktadır. Mikrokirlleticilerin sularındaki çevresel süreçleri çoğunlukla sedimentasyon, adsorpsiyon, biyobirikim, biyolojik bozunma, hidroliz ve fotolizi içermektedir. Çevresel hareketlilikleri ise asılı partiküller, pH, ağır metal varlığı, toprak geçirgenliği gibi fiziksel ve kimyasal faktörlere bağlıdır. Bu makalede, mikrokirlleticilerin önemli bir grubunu oluşturan farmasötik bileşiklerin çevresel akıbetleri, riskleri ile ilgili literatür bilgileri derlenmiş ve yüzey suyundaki çeşitli hedef olmayan organizmalara karşı potansiyel ekotoksikolojik etkileri örnek bir çalışma ile değerlendirilmiştir. Örnek çalışmada; Diklofenak maddesinin, *Lepidium sativum* ve *D. magna* üzerindeki toksitesi çalışılmıştır. DF'nin, *Lepidium sativum* ile yapılan toksisite çalışmasında; hem kök hem de gövde uzunluğu üzerinde toksik etki gösterdiği, *D. magna* ile yapılan toksisite çalışmasında ise; 48 saat sonunda toksik etkide bulunduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Mikrokirlletici, Farmasötik, Toksisite, *Lepidium Sativum*, *D. magna*

## ABSTRACT

Micropollutants cause an increase in environmental concerns due to their ecotoxicological effects on ecosystems and organisms. Environmental processes of micropollutants in water mostly include sedimentation, adsorption, bioaccumulation, biodegradation, hydrolysis and photolysis. Their environmental mobility is depends on physical and chemical factors such as suspended particles, pH, presence of heavy metals, soil permeability. In this article, literature information on the environmental fate and risks of pharmaceutical compounds, which constitute an important group of micropollutants, was compiled and their potential ecotoxicological effects against various non-target organisms in surface water were evaluated with a case study. In the sample study; the toxicity of diclofenac on *Lepidium sativum* and *D. magna* was studied. DF had a toxic effect on both root and stem length of *Lepidium sativum*. In the toxicity study with *D. magna*, it showed a toxic effect after 48 hours.

**Keywords:** Micropollutant, Pharmaceutical, Toxicity, *Lepidium Sativum*, *D. magna*

1 Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 58140, Sivas, asli.atay@cumhuriyet.edu.tr, ORCID:0000-0002-9608-9745

2 Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 58140, Sivas, ORCID: 0000-0003-1342-6863

### 1. GİRİŞ

Su ortamındaki mikrokirleticiler; çevresel kalıntıları ve toksikolojik özellikleri nedeniyle çevresel kaygının artmasına neden olmaktadır. Bu mikrokirleticiler arasında yer alan; farmasötikler, endokrin bozucu kimyasallar (EDC) ve kişisel bakım ürünleri (PCP'ler) PPCP olarak adlandırılmaktadır [1-4]. Klasik atıksu arıtma tesisleri PPCP giderimi üzerine tasarlanmadıkları için bunların birçoğu atıksu arıtma tesislerinden düşük konsantrasyonları (ng/l, µg/L), çeşitliliği, kimyasal özellikleri ve kalıcı olmaları nedeniyle arıtılmadan deşarj edilmektedirler [1,5,6]. Çevredeki PPCP'ler ng/L ila µg/L düzeyinde izlense de ekosistemler veya organizmalar için ciddi ekotoksikolojik sorunlara neden olabilirler [7,8]. Bu nedenle, PPCP'lerin su ortamlarına yönelik riskleri ile ilgili uzun vadeli çalışmaların yapılması önemlidir.

#### **Farmasötik Maddeler:**

Çeşitli araştırmalarla ekosistemde tesbit edilen farmasötik maddeler; antibiyotikler, kalp damar sistemi, antiinflamatuvar, ateş düşürücü, solunum sistemi ve kemoterapötik ilaçlardır [9]. Farmasötik maddelerin genellikle polaritesi yüksek, uçuculuğu düşüktür. Suda çözünen biyolojik olarak aktif bileşikler olmaları; atık suda bulunma, su ortamına kolaylıkla ulaşma, suda kalma ve organizmalarda biyolojik olarak birikimlere yol açar [10,11]. Farmasötik maddelerin neden olduğu en önemli sorun kronik toksisiteleridir. Toksikite sonucunda birincil üretkenliğin engellenmesi ekosistem dengesizliğini hızlandırır ve geri dönüşü olmayan etkilere neden olur [12-14].

Farmasötik maddeler kanalizasyon yolu ile atıksu arıtma tesislerine ulaşarak herhangi bir değişime uğramadan veya yan ürünleri şeklinde sucul ortama karışmaktadırlar [15].

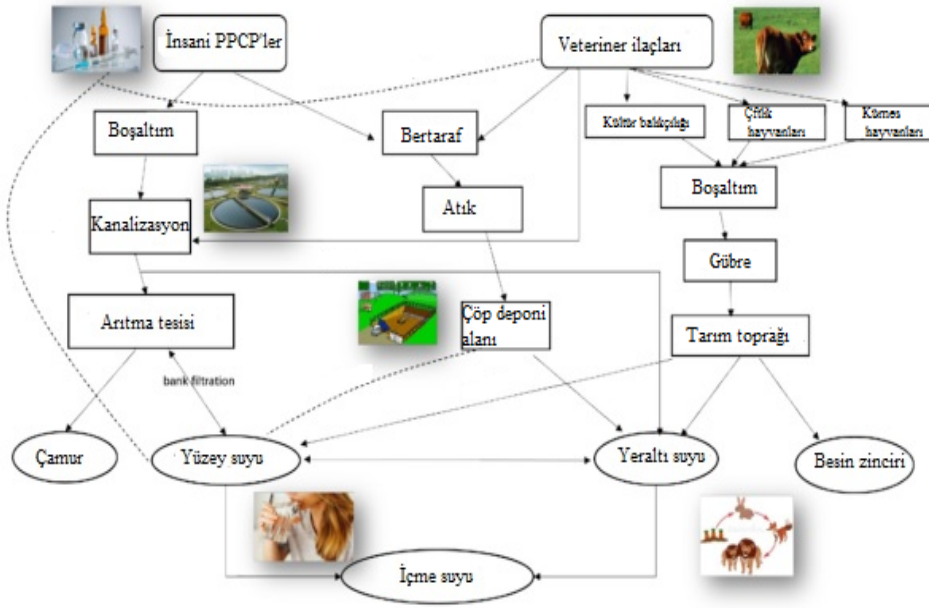
Yapılan çalışmalarda aspirin, ibuprofen, parasetamol ve naproksenin sucul çevrede sıklıkla tespit edildiği belirtilmiştir [1,16]. Antiinflamatuvar ilaçlar arasında en yüksek akut toksisiteye sahip olan ilaç ise diklofenaktır [17].

#### **Su ortamındaki PPCP'lerin kaynağı:**

PPCP'ler sucul çevreye çeşitli yollarla dağılmaktadırlar. Evlerde ve hastanelerde kullanılan ilaçlar, değişmeden veya yan ürünleri olarak kanalizasyon sistemlerine dışkı ve idrar yoluyla ulaşırlar. Buradan da atıksu arıtma tesislerine deşarj edilirler.

Farmasötikler, ayrıca doğrudan çöpe atılabilirler. Sızıntı suyuna karışarak sucul sisteme dağılırlar. Diğer bir çevreye yayılma kaynağı ise veterinerlik uygulamalarında kullanılmalarıdır. Hayvansal gübre ile toprağa sızarak yeraltı suyuna karışabilirler. Endüstrilerden kaynaklanan PPCP'ler ise kanalizasyona deşarj edilerek atıksu arıtma tesislerine ulaşırlar. Atıksu arıtma tesislerinde tamamen giderimi olmayan bu kirleticiler alıcı ortama deşarj edilerek su kaynaklarının kirlenmesine neden olurlar [18]. Bugüne kadar farklı ülkelerde (ABD, Almanya, İsveç, Japonya, Çin vb.), yapılan çalışmalar incelendiğinde atıksularda, arıtma tesisi çıkış sularında, yüzey ve yeraltı sularında, kanalizasyon sistemlerinde, sedimentlerde, biyota ve hatta içme sularında 100'ün üzerinde mikrokirletici çeşidine rastlanmıştır [1,8,19-23]. Şekil 1'de PPCP'lerin kaynakları ve yolları verilmiştir [24].

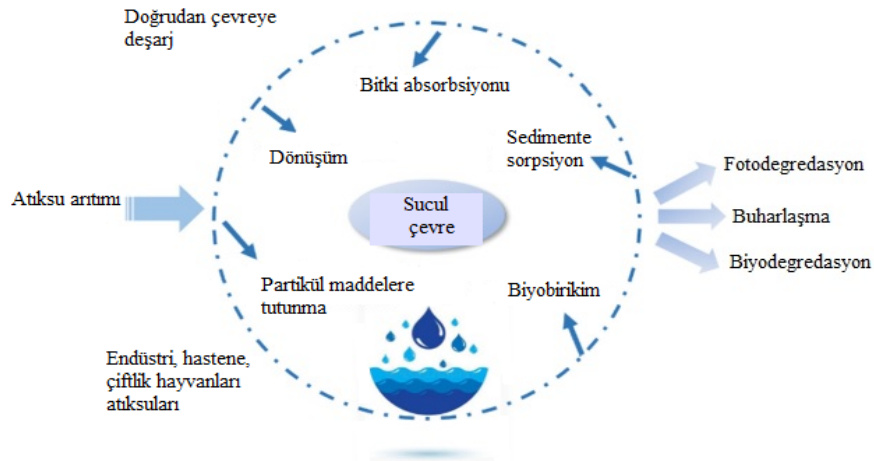
## Farmasötiklerin Çevresel Akıbetleri, Riskleri ve Ekotoksikolojik Etkileri



Şekil 1. PPCP'lerin kaynakları ve yolları [24]

Sucul ortamdaki PPCP'lerin transferi ve dönüşümü ve akıbeti:

Yüzey suyunda, PPCP'lerin çevresel süreçleri çoğunlukla sedimantasyon, adsorpsiyon, biyobirikim, biyolojik bozunma, hidroliz ve fotolizi içerir (Şekil 2) [2].



Şekil 2. PPCP'lerin temel dönüşüm yolları [2]

## Uluslararası Genel Çevre Sorunlarına Bakış

PPCP'lerin çevresel hareketliliği (örn: su-toprak hareketi); asılı partiküller, pH, ağır metal varlığı ve toprak geçirgenliği, asit ayrışma sabiti (pKa), adsorpsiyon katsayısı (K<sub>oc</sub>), oktanol-su katsayısı (K<sub>ow</sub>) gibi fiziksel ve kimyasal faktörlerle dengelenir [14]. Uçuculuk, sudaki çözünürlük, kimyasal kararlılık ve partiküler dağılım özelliği PPCP'lerin suda çözünüp çözünmeyeceğini belirleyen ilave faktörlerdir [25]. Örneğin; düşük çözünürlük ve yüksek K<sub>ow</sub> veya K<sub>oc</sub>, çökelmeyi veya biyotaya bağlanmayı artırır ve hidrofilik PPCP'ler (düşük K<sub>ow</sub> ve yüksek çözünürlük), partiküller üzerinde adsorbe edilmek yerine sulu fazda kalma eğiliminde bulunurlar [26]. Düşük uçuculuğa ve yüksek polariteye sahip PPCP'lerin dağılımı ise öncelikle sulu faz göçü ve besin zinciri dispersiyonu ile gerçekleşir [27, 28].

PPCP'lerde biyolojik bozunma önemli bir süreç iken kimyasal hidroliz genellikle ihmal edilebilir düzeydedir. Mikrobiyal büyümede, karbon ve enerji kaynağı olarak belirli bir PPCP konsantrasyonunu büyümeyi hızlandırılırken yüksek konsantrasyonda biyotoksik etkiye sahiptir. Bunun yanı sıra; diklofenak gibi NSAID'ler ve ofloksasin gibi antibiyotikler aerobik olarak kolayca parçalanamaz ve aerobik arıtmaya dirençli iken anaerobik olarak bozunabilir [29,30].  $\beta$ -blokerlerin biyolojik olarak kolayca bozunabilir olduğu kabul edilir [31].

Fotoliz, doğal su ortamında antibiyotik, naproksen ve diklofenak gibi non-steroid antiinflamatuarlar ve antiepileptik ilaçların (karbamazepin) bozunmasının en önemli yollarından biri olarak kabul edilir [32-34]. Yüzey sularında güneş radyasyonu yoğunluğu, enlem, organik kompozisyon ve ötrofikasyon koşulları gibi faktörlere bağlı olarak fotoliz ile bozunabilirler [35-37].

Sedimentler yutak görevi görürler. Zamanla sedimentlerden tekrar sucul ortama geri salınan kirletici maddeler sucul organizmalarla sürekli temas yoluyla risk oluşturabilirler [26]. Triklosan ve oksitetrasiklinin hafif hidrofobik doğasının, onları sedimentlerde birikime duyarlı hâle getirdiği bildirilmiştir [23]. Nöroaktif ilaçlar, karbamazepin ve fluoksetin, sulu çözeltide stabildir, kolayca hidrolize olmazlar, fotolize olmazlar, mikrobiyal olarak bozunmaz ve sedimentlere kolayca adsorbe olurlar.

PPCP'lerin bir yan ürüne dönüşmesi doğal ortama ulaşmalarını engellememektedir. Bu nedenle atık uygun arıtma yöntemleri uygulanmadıkça PPCP'lerin kontrol edilmesi zor olup sucul ortamda birikimleri engellenememektedir [1,38].

PPCP'lerin yüzey suyuna karışmasındaki birincil adım atıksu arıtma tesisleridir [39]. Atıksu arıtma tesisinde bulunan PPCP'lerin giderim verimleri; arıtma tesisinin performansına, teknolojisine, atıksu debisine, kişi başı ve günlük su tüketimine, hidrolik bekleme süresi, mevsimsel değişimler ve bileşiklerin kalıcılığı gibi pek çok faktöre bağlıdır [40]. Atıksu arıtma tesisinden deşarj edilen PPCP'ler yüzey sularında yukarıda bahsettiğimiz transfer ve dönüşümlere (yüzey suyunda seyrelme, askıda katı madde ve sediman üzerinde tutunma, doğrudan ve dolaylı fotoliz, aerobik biyolojik parçalanma) maruz kalmaktadırlar.

Yüzey suyu ile içme suları birbiri ile yakın ilişkili olduğundan yüzey suyuna karışan PPCP'lerin içme suyu arıtma tesislerine de giriş yapabilecekleri konusunda şüpheler bulunmaktadır. Bu konu ile ilgili çalışmalar daha kısıtlı olsa da yürütülmektedir [41].



## Farmasötiklerin Çevresel Akıbetleri, Riskleri ve Ekotoksikolojik Etkileri

PPCP çalışmaları incelendiğinde; yeraltı sularının yüzey sularına göre daha az kirlendiği tespit edilmiştir. Esasen yeraltı sularındaki PPCP kaynağı katı atık depolama sahalarındaki sızıntı sularının sızması, yüzey ve yeraltı suyu etkileşimleri, tarımsal kaynaklı sızmalar ile fosseptik ve kanalizasyon sistemlerindeki sızmalardır [1,42]. Genelde PPCP'ler, yeraltı suyuna taşınmaları sırasında seyrelme, adsorpsiyon, parçalanma gibi süreçlere maruz kalırlar. Bu yüzden, PPCP'lerin fizikokimyasal özellikleri yeraltı suyuna aktarılması için önem taşımaktadır. Örneğin Log Kow <1.5 ise bileşikler çözülmüş fazda kalma eğilimi gösterirler ve yeraltı suyunda bulunurlar [1,5].

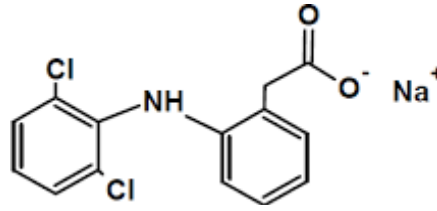
### Farmasötiklerin sucul toksikolojisi:

Farmasötiklerin toksisitesi, organizmanın tipine ve aşamasına, maruz kalma süresine, sıcaklığa ve kirletici konsantrasyonuna bağlıdır [43]. Standart laboratuvar sucul toksisite testleri, farmasötiklerin toksisitesinin hızlı bir değerlendirmesini sağlar.

Bu çalışmada da suda yaşayan organizmalara zarar verdiği kanıtlanmış en toksik non-steroid anti-inflamatuar olarak kabul edilen Diklofenak(DF)'in sucul toksisitesi araştırılmıştır [30,44]. Merkezi sinir sistemi toksisitesine neden olabilen DF, Avrupa Birliği izleme listesine alınmış ve son 10 yıl boyunca en çok çalışılan ikinci madde olmuştur [1,45,46].

## 2. GEREÇ VE YÖNTEM

Deneylerde kullanılan DF; beyaz, kokusuz ve bir miktar higroskopik, toz şeklinde bir etken maddedir. Distile sudaki çözünürlüğü (pH 5.2) oda sıcaklığında >9 mg/mL olmasına rağmen metanoldeki çözünürlüğü >24 mg/mL, asetonitril ve sikloheksandaki çözünürlüğü ise >1 mg/mL'dir [47]. Molekül ağırlığı 318.13 g.mol<sup>-1</sup> olup, kapalı formülü C<sub>14</sub>H<sub>10</sub>Cl<sub>2</sub>NNaO<sub>2</sub>'dir (Şekil 3) [48].



Şekil 3. Diklofenak ilaç etken maddesinin kimyasal yapısı [48]

### 2.1. Sentetik Atıksu Numunesi Hazırlama

DF'nin sudaki çözünürlüğünün az olması nedeniyle stok çözeltisi, <%1 etanol kullanılarak hazırlanmıştır. Standart uluslararası test prosedürlerine göre; <%1 etanol konsantrasyonunun test mikroorganizmaları için toksik olmadığı belirtilmektedir [49]. Deneylerde; ana stok çözeltiden (1000 mg/L) farklı konsantrasyonlarda seyreltilen test çözeltileri kullanılmıştır.

### 2.2. Toksikite Testleri

#### 2.2.1. Fitotoksisite çalışmaları

DF'nin fitotoksisite çalışmaları *Lepidium sativum* (su teresi) tohumları kullanılarak, oda sıcaklığında steril hâldeki petri kaplarında yürütülmüştür. Toksikite testi 6 adet kontrol grubu ve 3'er adet farklı konsantrasyonlarda (1000 mg/L, 500 mg/L, 250 mg/L, 150 mg/L, 75 mg/L, 50 mg/L, 25 mg/L, 16 mg/L, 8 mg/L, 4 mg/L, 2 mg/L) hazırlanan numunelerin her biri için gerçekleştirilmiştir. Steril edilmiş petri kaplarına ikişer adet filtre kağıtları konulmuştur. Kontrol grubu kaplarına 5 mL distile su, numune kaplarına farklı konsantrasyonlardaki DF çözeltilerinden konulmuştur. Her petri kabına 25'er adet *Lepidium sativum* eklenmiştir. Petri kaplarının kapakları kapatılarak karanlık ortamda 25°C'de, 72 saat inkübasyona bırakılmıştır. 72 saat sonunda kapta bulunan tohumların en iyi büyüme gösteren 20 tanesinin kök uzunluğu ve gövde yüksekliklerinin ortalama değerleri, kontrol grubu değerleri ile kıyaslanarak büyüme inhibisyonu (%) değerleri hesaplanmış ve IC<sub>50</sub> ile Toksik Birim (TB) değerleri bulunmuştur [50].

#### 2.2.2. Biyotoksisite çalışmaları

*D. magna* yumurtaları 20-22°C'de, sürekli ışık altında, 72 saat süresince inkübe edilerek larvaların yumurtadan çıkması sağlanmıştır. Larvalar, testten 2 saat önce mikroalg ile beslenmiştir. Deney sırasında *D. magna* kesinlikle beslenmemiştir. *D. magna* toksisite testi için numuneler, farklı konsantrasyonlarda (1000 mg/L, 500 mg/L, 250 mg/L, 150 mg/L, 75 mg/L, 50 mg/L, 25 mg/L, 16 mg/L, 8 mg/L, 4 mg/L, 2 mg/L) hazırlanmıştır. Her hücreye ve her kontrol grubuna 5'er adet *D. magna* yerleştirilmiştir. Hücreler, 24 ve 48 saat boyunca, 25°C'de, karanlık ortamda inkübasyona bırakılmıştır. 24 ve 48 saatin sonunda, her hücre hafifçe karıştırılarak hareketsiz olan ölü *D. magna* sayıları belirlenmiştir. Daha sonra, %inhibisyon değerleri hesaplanmış ve LC<sub>50</sub> ile Toksik Birim (TB) değerleri bulunmuştur [50,51].

### 2.3. Toksikite Sınıflandırması

EC<sub>50</sub> değeri; belirli bir zamanda test popülasyonun %50'sinin etkilendiği konsantrasyondur. Bu değer; inhibisyon değerlerine-konsantrasyon değerleri ile oluşturulan kalibrasyon eğrisi ile hesaplanmaktadır. EC<sub>50</sub> değerleri esas alınarak Toksik Birim (TB) değerleri aşağıdaki formülle bulunmaktadır (Çizelge 1) [50,52].

$$TB = \frac{1}{LC_{50}(IC_{50})} * 100 \quad TB = \frac{1}{LC_{50}(IC_{50})} * 100$$

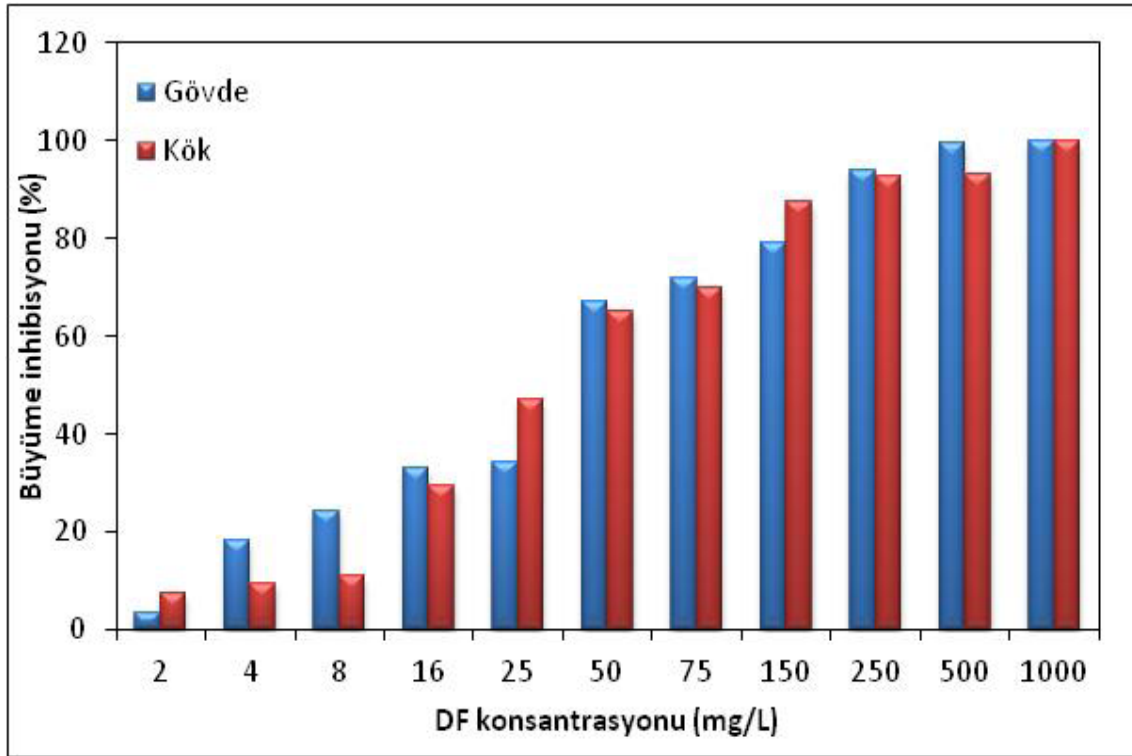
Çizelge 1. Toksikite sınıflandırması (52)

TB	Sınıflandırma	Toksikite
$TB < 0.4$	I	Toksik değil (NT)
$0.4 \leq TB < 1$	II	Hafif toksik (HT)
$1 \leq TB < 10$	III	Akut toksisite (AT)
$10 \leq TB < 100$	IV	Yüksek akut toksisite (YT)
$TB \geq 100$	V	Çok yüksek akut toksisite (ÇYT)

### 3. BULGULAR

#### 3.1. *Lepidium sativum* Toksikite Test Sonuçları

72 saatlik deney süresi sonunda; DF içeren sentetik atık su numuneleri için *Lepidium sativum* toksisite test sonuçlarına göre; ortalama kök ve gövde büyüme inhibisyonu (%)-DF konsantrasyon grafiği Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Ortalama kök ve gövde büyüme inhibisyonuna (%) - DF konsantrasyon grafiği

DF, tüm *Lepidium sativum* test kültürleri için toksisite göstermiştir. Toksikite eğiliminde kirletici konsantrasyonuna bağlı olarak bir fark gözlenmiştir. DF konsantrasyonu arttıkça kök ve sürgün uzunluğu azalmış ve büyüme inhibisyonu (%) artmıştır. Çizelge 2'de DF'nin *Lepidium sativum* için  $IC_{50}$  (mg/L) ve TB değerleri verilmiştir.

## Uluslararası Genel Çevre Sorunlarına Bakış

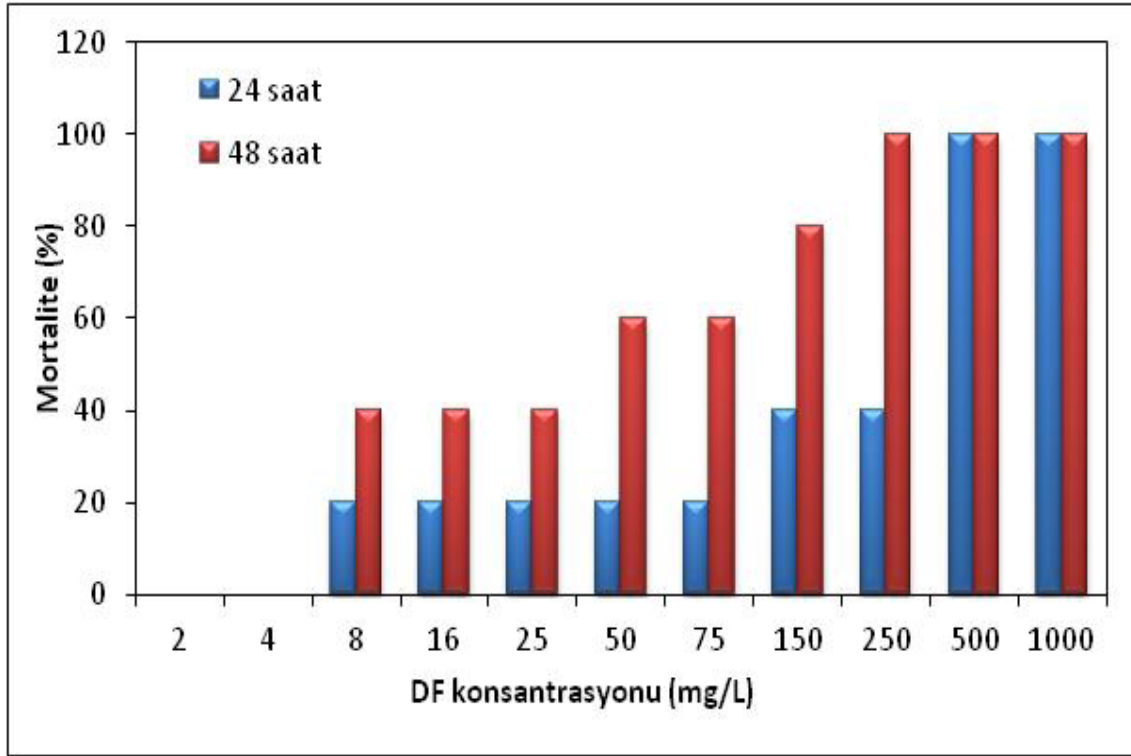
Çizelge 2. DF'nin *Lepidium sativum* için IC<sub>50</sub> (mg/L) ve TB değerleri

	DF		
	IC <sub>50</sub>	TB	Sınıflandırma
Kök	28	3.57	III
Gövde	38	2.63	III

DF için TB değerleri; kök için 3.57, gövde için 2.63 olarak hesaplanmıştır. TB sınıflandırmasına göre; DF, *Lepidium sativum*'un hem kök hem de gövdesine toksik etkide bulunmuştur.

### 3.2. *D. magna* Toksikite Test Sonuçları

24 ve 48 saatlik deney süresi sonunda; DF içeren sentetik atık su numuneleri için *D. magna* toksisite test sonuçlarına göre; mortalite-DF konsantrasyon grafiği Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. 24 ve 48 saat için mortaliteye karşılık DF konsantrasyon grafiği

Yukarıda verilen grafiklere DF'nin 48 saat sonundaki mortalite (%) değerleri 500 mg/L ilaç konsantrasyonuna kadar 24 saatin sonundaki mortalite (%) değerlerinden yüksek çıkmıştır. 500 mg/L'den daha yüksek olan konsantrasyon değerlerinde ise 48 ve 24 saat sonundaki mortalite (%) değerleri eşitlenerek tüm *D. magna*'ların ölümüyle sonuçlanmıştır. Çizelge 3'te DF'nin *D. magna* için LC<sub>50</sub> (mg/L) ve TB değerleri verilmiştir.

## Farmasötiklerin Çevresel Akıbetleri, Riskleri ve Ekotoksikolojik Etkileri

**Çizelge 3. DF'nin *D. magna* için LC<sub>50</sub> (mg/L) ve TB değerleri**

	DF		Sınıflandırma
	LC <sub>50</sub>	TB	
24 saat	280	0.36	II
48 saat	40	2.50	III

24 saat için TB değeri 0.36, 48 saat için TB değeri 2.50 olarak hesaplanmıştır. TB sınıflandırmasına göre; 24 saat için hafif toksik, 48 saat için toksik olarak bulunmuştur. Bu sınıflandırmada 48 saatlik ölüm oranı baz alındığından DF, *D. magna* üzerinde toksik etkiye sahiptir denilebilir.

### 4. SONUÇ

Bu makalede, tipik farmasötiklerin çevresel akıbetleri, riskleri ve yüzey suyundaki çeşitli hedef olmayan organizmalara karşı potansiyel ekotoksikolojik etkileri örnek bir çalışma ile özetlenmiş ve değerlendirilmiştir.

Sonuç olarak; DF'nin, *Lepidium sativum* ile yapılan toksisite test çalışmaları sonucunda hem kök hem de gövde uzunluğu üzerinde toksik etki gösterdiği bulunmuştur. *D. magna* ile yapılan toksisite test çalışmalarında ise 48 saat sonundaki TB değerlerine göre DF toksik etki göstermektedir.

### KAYNAKLAR

- [1] Üstün Odabaşı, S., Altın, S. H. ve Büyükgüngör, H., Sucul ortamdaki bazı mikrokirleticilerin oluşumu, durumu ve ileri oksidasyon prosesleri ile giderilmesi. Nohu J. Eng. Sci., 9(1) (2020) 57-71.
- [2] Evgenidou, E. N., Konstantinou, I. K. ve Lambropoulou, D. A., Occurrence and removal of transformation products of PPCPs and illicit drugs in wastewaters: a review. Sci. Total Environ., 505 (2015) 905-926.
- [3] Cizmas, L., Sharma, V. K., Gray, C. M. ve McDonald, T. J., Pharmaceuticals and personal care products in waters: occurrence, toxicity, and risk. Environ. Chem. Lett., 13 (2015) 381-394.
- [4] Gros, M., Petrovic, M., Ginebreda, A. ve Barcelo, D., Removal of pharmaceuticals during wastewater treatment and environmental risk assessment using hazard indexes. Environ. Int., 36 (2010) 15-26.
- [5] Luo, Y., Guo, W., Ngo, H. H., Nghiem, L. D., Hai, F. I., Zhang, J. ve Wang, X. C., A review on the occurrence of micropollutants in the aquatic environment and their fate and removal during wastewater treatment. Sci. Total Environ., 473(1) (2014) 619-641.
- [6] Ebele, A. J., Abdallah, M. A. ve Harrad, S., Pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in the freshwater aquatic environment. Emerg. Contam., 3(1) (2017) 1-16.
- [7] Boxall, A. B. A., Rudd, M. A., Brooks, B. W., Caldwell, D. J., Kyungho, C., Silke, H., Elizabeth, I., Kim, O., Staveley, J. P. ve Tim, V., Pharmaceuticals and personal care products in the environment: what are the big questions? Environ. Health Perspect., 120 (2012) 1221-1229.
- [8] Brausch, J. M. ve Rand, G. M. A, review of personal care products in the aquatic environment: environmental concentrations and toxicity. Chemosphere, 82 (2011) 1518-1532.
- [9] Ruhoy, I. S. ve Daughton, C. G. Beyond the medicine cabinet: an analysis of where and why medications accumulate. Environment International, 34(8) (2008) 1157-1169.

## Uluslararası Genel Çevre Sorunlarına Bakış

- [10] Wang, H., Jin, M. K., Mao, W. F., Chen, C. J., Fu, L. Y., Li, Z., Du, S. T. ve Liu, H. J. Photosynthetic toxicity of non-steroidal anti-inflammatory drugs (NSAIDS) on green algae *scenedesmus obliquus*. *Sci. Total Environ.*, 707 (2020) 136176.
- [11] Chen, F., Gong, Z. ve Kelly, B. C. Bioaccumulation behavior of pharmaceuticals and personal care products in adult zebrafish (*danio rerio*): influence of physical-chemical properties and biotransformation. *Environ. Sci. Technol.*, 51 (2017) 11085–11095.
- [12] Mackay, D. ve Barnthouse, L., Integrated risk assessment of household chemicals and consumer products: addressing concerns about triclosan. *Int. Environ. Assess.*, 6 (3) (2010) 390-392.
- [13] Xin, X. Y., Huang, G. ve Zhang, B. Y. Review of aquatic toxicity of pharmaceuticals and personal care products to algae. *J. Hazard. Mater.*, 410 (2020) 124619.
- [14] Li, X., Ying, G. G., Su, H. C., Yang, X. B. ve Wang, L., Simultaneous determination and assessment of 4-nonylphenol, bisphenol a and triclosan in tapwater, bottled water and baby bottles. *Environ. Int.*, 36 (2010) 557-562.
- [15] Jiang, J., Zhou, Z. ve Sharma, V. K. Occurrence, transportation, monitoring and treatment of emerging micropollutants in waste water-a review from global views. *Microchemical J.*, 110, (2013) 292-300.
- [16] Thomas, P. M. ve Foster, G. D. Tracking acidic pharmaceuticals, caffeine, and triclosan through the wastewater treatment process. *Environ. Toxicology and Chem.*, 24(1) (2005) 25-30.
- [17] Kümmerer, K. *Pharmaceuticals in the environment*, Berlin, Springer, 2008.
- [18] Kim, M. K. ve Zoh, K. D., Occurrence and removals of micropollutants in water environment. *Environmental Engineering Research.*, 21(4) (2016) 319-332.
- [19] Heberer, T., Occurrence, fate, and removal of pharmaceutical residues in the aquatic environment: a review of recent research data. *Toxicology Letters*, 131 (1-2) (2002) 5-17.
- [20] Kasprzyk Hordern, B., Dinsdale, R. M. ve Guwy, A. J., The removal of pharmaceuticals, personal care products, endocrine disruptors and illicit drugs during wastewater treatment and its impact on the quality of receiving waters. *Water Res.*, 43 (2009) 363-380.
- [21] Santos, L. H. M. L. M., Araújo, A. N., Fachini, A., Pena, A., Delerue-Matos, C. ve Montenegro, M. C. B. S. M., Ecotoxicological aspects related to the presence of pharmaceuticals in the aquatic environment. *J. Hazard. Mater.*, 175 (2010) 45-95.
- [22] Sui, Q., Cao, X. Q., Lu, S. G., Zhao, W. T., Qiu, Z. F. ve Yu, G., Occurrence, sources and fate of pharmaceuticals and personal care products in the groundwater: a review. *Emerg. Contam.*, 1 (2015) 14-24.
- [23] Zhao, W. T., Guo, Y., Lu, S. G., Yan, P. P. ve Sui, Q. Recent advances in pharmaceuticals and personal care products in the surface water and sediments in china. *Front. Environ. Sci. Eng.*, 10 (2016) 29-40.
- [24] Xi, H. H., Xu, L., Jin, M., Zhao, W. ve Liu, H., Ecotoxicological effects, environmental fate and risks of pharmaceutical and personal care products in the water environment: a review. *Sci. Total Environ.*, 788 (2021) 147819.
- [25] Calman, F. A. ve Gavrilescu, M., Pharmaceuticals, personal care products and endocrine disrupting agents in the environment-a review. *Clean-Soil Air Water.*, 37(4-5) (2009) 277-303.
- [26] Zhao, J. L., Zhang, Q. Q., Chen, F., Wang, L., Ying, G. G., Liu, Y. S., Yang, B., Zhou, L. J., Liu, S. ve Su, H. C., Evaluation of triclosan and triclocarban at river basin scale using monitoring and modeling tools: implications for controlling of urban domestic sewage discharge. *Water Res.*, 47 (2013) 395-405.

## Farmasötiklerin Çevresel Akıbetleri, Riskleri ve Ekotoksikolojik Etkileri

- [27] Crane, M., Watts, C. ve Boucard, T., Chronic aquatic environmental risks from exposure to human pharmaceuticals. *Sci. Total Environ.*, 367 (2006) 23-41.
- [28] Daughton, C. G. ve Ternes, T. A. Pharmaceuticals and personal care products in the environment: agents of subtle change?, *Environ. Health Perspect.*, 107 (1999) 907-937.
- [29] Deng, C., Pan, X. ve Zhang, D. Influence of ofloxacin on photosystems I and II activities of microcystis aeruginosa and the potential role of cyclic electron flow. *J. Biosci. Bioeng.*, 119(2) (2015) 159-164.
- [30] Domaradzka, D., Guzik, U., Hupert-Kocurek, K. ve Wojcieszynska, D., Toxicity of diclofenac and its biotransformation by *Raoultella sp. dd4*. *J. Environ. Stus.*, 25(5) (2016) 2211-2216.
- [31] Di Lorenzo, T., Castaño-Sánchez, A., Marzio, W. D. D., García-Doncel, P. ve Iepure, S., The role of freshwater copepods in the environmental risk assessment of caffeine and propranolol mixtures in the surface water bodies of Spain. *Chemosphere*, 220 (2019) 227-236.
- [32] Cleuvers, M., Aquatic ecotoxicity of pharmaceuticals including the assessment of combination effects. *Toxicol. Lett.*, 142(3) (2003) 185-194.
- [33] Ofoegbu, P. U., Lourenço, J. ve Mendo, S., Effects of low concentrations of psychiatric drugs (carbamazepine and fluoxetine) on the freshwater planarian, *Schmidtea mediterranea*. *Chemosphere*, 124 (2019) 21-31.
- [34] Quinn, B., Gagne, F. ve Blaise, C., An investigation into the acute and chronic toxicity of eleven pharmaceuticals (and their solvents) found in wastewater effluent on the cnidarian, *Hydra attenuata*. *Sci. Total Environ.*, 389 (2008) 306-314.
- [35] Andreozzi, R., Raffaele, M. ve Nicklas, P. Pharmaceuticals in STP effluents and their solar photodegradation in aquatic environment. *Chemosphere.*, 50(10) (2003) 1319-1330.
- [36] Bartels, P. ve Tümpling, W. Solar radiation influence on the decomposition process of diclofenac in surface waters. *Sci. Total Environ.*, 374 (2007) 143-155.
- [37] Boreen, A. L., Arnold, W. A. ve McNeill, K., Photodegradation of pharmaceuticals in the aquatic environment: a review. *Aquat. Sci.*, 65 (2003) 320-341.
- [38] Vulliet, E. ve Cren-Olivé, C., Screening pharmaceuticals and hormones at the regional scale, in surface and groundwaters intended to human consumption. *Environmental Pollution*, 159(10) (2011) 2929-2934.
- [39] Migowska, N., Caban, M., Stepnowski, P. ve Kumirska, J., Simultaneous analysis of non-steroidal anti-inflammatory drugs and estrogenic hormones in water and wastewater samples using gas chromatography-mass spectrometry and gas chromatography with electron capture detection. *Sci. Total Environ.*, 441 (2012) 77-88.
- [40] Sönmez, G. ve Işık, M., Sulardaki ilaç kalıntılarının ileri oksidasyon yöntemleri ile giderimi. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 6 (1) (2013) 68-73.
- [41] Kleywegt, S., Pileggi, V., Yang, P., Hao, C., Zhao, X., Rocks, C. ve Whitehead, B., Pharmaceuticals, hormones and bisphenol A in untreated source and finished drinking water in Ontario, Canada-occurrence and treatment efficiency. *Sci. Total Environ.*, 409(8) (2011) 1481-1488.
- [42] Lapworth, D. J., Baran, N., Stuart, M. E. ve Ward, R. S. Emerging organic contaminants in groundwater: a review of sources, fate and occurrence. *Environmental Pollution*, 163 (2012) 287-303.
- [43] Khan, H. K., Rehman, M. ve Malik, R. N. Fate and toxicity of pharmaceuticals in water Environment: an insight on their occurrence in South Asia. *J. Environ.*, 271 (9) (2020) 111030.

## Uluslararası Genel Çevre Sorunlarına Bakış

- [44] Lonappan, L., Brar, S. K., Das, R. K., Verma, M. ve Rao, Y. S. Diclofenac and its transformation products: environmental occurrence and toxicity-a review. *Environ. Int.*, 96 (2016) 127–138.
- [45] Xia, L., Zheng, L. ve Zhou, J. L., Effects of ibuprofen, diclofenac and paracetamol on hatch and motor behavior in developing zebrafish (*Danio rerio*). *Chemosphere*, 182 (2017) 416–425.
- [46] Barbosa, M. O., Moreira, N. F. F., Ribeiro, A. R., Pereira, M. F. R. ve Silva, A. M.T. Occurrence and removal of organic micropollutants: an overview of the watch list of EU decision 2015/495. *Water Research*, 94 (1) (2016) 257-279.
- [47] Adeyeye, C. M. ve Lt, P. K., Diclofenac sodium analytical profiles of drug substances, ed. K. Aoreya-academic press. Orlando, 19 (1990) 123-144.
- [48] Liauw, H. L., Ku, E., Brandt, K. D., Bensen, M. D., Aldo-Benson, M. A., Waiter, S. L., Lee, W., Chan, K. ve Vyas, K., Effects of voltare N on arachidonic acid metabolism in arthritis patients, NSAIDS, (1985) 195-199.
- [49] ISO 11348/1. Water Quality -Determination of the inhibitory effect of water samples on the light emission of *Vibrio Fischeri* (Luminescent Bacteria Test) – Part 1: method using freshly prepared bacteria 2007.
- [50] Tongur, S. ve Yildirim, R., Acute toxicity assessment of antibiotics in water by luminiscence bacteria and *lepidium sativum*. *Procedia Earth and Planetary Science*, 15 (2015) 468-473.
- [51] ISO 7933. Hot Environments -Analytical determination and interpretation of thermal stress using calculation of required sweat rate. Iso, Geneva 1989.
- [52] Persoone, G. ve Janssen, C. R., Freshwater invertebrate toxicity tests. in: colow (P). (Eds) Handbook of Ecotoxicology, Blackwell Scientific, Oxford, (1993) 51-65.



# ATIK YÖNETİMİ KATI ATIKLAR VE ÇEVRE

Ayşe Kuleyin<sup>1</sup>

## ÖZET

Bu çalışmada önemli çevre sorunlarından birisi olan katı atıklar hakkında bilgi verilmiş, sorunun mevzuattaki yeri araştırılmıştır. Katı atık sorununun çözümü ile ilgili öneriler sunulmuştur. Özellikle salgın döneminde atık yönetimi ile alakalı sorunlar irdelenmiş ve çözüm önerileri oraya konmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Katı Atık, Atık Yönetimi, Pandemi

## ABSTRACT

In this study, information about solid waste, which is one of the important environmental problems, was given and the place of the problem in the legislation was investigated. Suggestions regarding the solution of the solid waste problem are presented. Especially during the epidemic period, the problems related to waste management were examined and solution suggestions were put there.

**Key Words:** Solid Waste, Waste Management, Pandemic

---

<sup>1</sup> Doç. Dr., OMÜ Müh. Fak. Çevre Müh. Böl. Kurupelit Kampüsü, Samsun, akuleyin@omu.edu.tr

### 1. GİRİŞ

İnsanoğlu ilk çağlarda çevre karşısında güçsüzdür ve ona bağımlıdır. Fakat zamanla bu ilişki insanın çevreyi denetleme hatta çevre üzerinde egemen olma yolunda gelişmiştir. İnsan dışında hiçbir varlık çevreyi bu kadar etkilemeyi ve değiştirmeyi başaramamıştır. İnsanlık tarihinin başlangıcında, nüfus yoğunluğunun azlığı, teknolojinin doğal kaynakları zarara uğratmayacak derecede gelişmemiş olması ve o zamanlar insanların gönüllü tüketici tiryakiliği hastalığına henüz yakalanmamış olmaları gibi nedenlerle, çevre ve insan ilişkileri sürekli bir ekolojik denge içerisinde sürüp gitmiştir. Ancak son 100 yıl içinde bu ekolojik düzen bozulmuş ve tamamen değişerek “insanlığın ekolojik sorunları denen ve hâlâ çözüm bekleyen evrensel sorunlar ortaya çıkmıştır.

Çevre sorunlarının temel nedenleri; nüfus artışı, kentleşme, sanayileşme en önemlisi de tüketim alışkanlıklarıdır. Bu nedenler su kirliliği, hava kirliliği, toprak kirliliği, görüntü ve gürültü kirliliği, katı atıklar vb. çevre sorunlarını oluşturmaktadır.

### 2. KATI ATIKLAR

Hızlı nüfus artışı, endüstriyel gelişme ve kentleşme gibi olgular, Türkiye'nin de içinde yer aldığı gelişmekte olan ülke kentlerinde katı atık sorunlarını da beraberinde getirmiştir. Bu sorunlar ise günümüze kadar kentlerde atık yönetiminde yaygın bir şekilde uygulanan toplama, taşıma ve depolamadan oluşan sistemin yetersiz kalmasına sebep olmuştur.

Toplanması, taşınması ve bertaraf edilmesi ekonomik anlamda büyük yük olan ve toplum sağlığı açısından önemli olduğu kadar, aynı zamanda, uygun şekilde değerlendirilemediği takdirde kaybolan ekonomik bir değer de olan katı atıkların yönetiminde, toplanmasından bertarafına kadar olan süreçte gerçekleştirilecek tüm hizmetlerin maliyet ve sorumluluğu yerel yönetimlere düşmektedir.

Atık yönetimi, sistem yaklaşımıyla ele alınması gereken bir konudur. Sistem yaklaşımı; atık yönetiminin atık oluşumu, toplama, işleme ve uzaklaştırma gibi temel unsurları yanında enerji, çevre koruma, kaynakların korunması, verimlilik artışı, istihdam gibi konularla bütünlük içinde ele alınmasını gerektirir. Atık yönetiminde sistem yaklaşımı, katı atıkların sadece insan çevresinden uzaklaştırılmasını değil; çevre ve insan sağlığının korunarak geliştirilmesiyle birlikte ekonomik kalkınmanın sağlanmasına da olumlu katkılar sağlayacaktır.

Katı atık yönetimi kavramı, katı atıkların insan ve çevre sağlığı, ekonomi, mühendislik, kaynakların korunması, estetik ve diğer çevresel konularla ilgili biçimde toplumun üretim ve tüketim alışkanlıklarını da dikkate alarak atık miktarının kontrolü, toplama, biriktirme, taşıma-aktarma, işleme ve son uzaklaştırma aşamalarını kapsayan disiplin olarak tanımlanabilir.

Kentsel katı atık yönetim sisteminin etkinliği ve sürdürülebilirliği kent ve/veya ülke sistemiyle bütünleşmesine bağlıdır; diğer bir deyişle katı atık sorununa yönelik geliştirilen çözümler kent ya da ülkenin özelliklerine ne kadar uygun olursa o kadar başarılı yönetim gerçekleştirilebilir.

Kentsel katı atık yönetimi: Klasik anlamda atık oluşumu, toplama, işleme-geri kazanım ve son uzaklaştırma aşamalarını kapsayan sistem bileşenlerinden oluşmaktadır. Günümüzde atık yöneti-

## Atık Yönetimi Katı Atıklar ve Çevre

mi üretim aşamasından başlamakta, tüketim ve son uzaklaştırmaya kadar ki aşamalarda en az atık oluşturan teknolojiler geliştirilerek entegre yönetim uygulanmasını istemektedir

Ülkemizde de katı atık sorunu entegre bir yönetim sistemi olarak ele alınmalı ve çözüm üretilmeye çalışılmalıdır.

Entegre atık yönetim sisteminin kurulmasında temel ihtiyaç veridir. Ülkemizde katı atık ile alakalı veriler TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu) tarafından derlenmiş ve kullanıma açıktır. Ancak elde edilen verilerin güvenilirliği açısından bölgesel çalışmalarda yapmak zorunludur. 2021 yılında TÜİK verileri incelendiğinde en son 2018 için güncelleme yapıldığını gözlemlenmiştir. Bu veriler Tablo 1’de özetlenmiştir.

**Tablo 1: Belediye Atık Göstergeleri (TÜİK 2018)**

Toplam Belediye Sayısı	1399
Atık Hizmeti Verilen Belediye Sayısı	1395
Atık Hizmeti Verilen Belediye Nüfusunun Toplam Belediye Nüfusuna Oranı (%)	98,8
Toplanan Belediye Atık Miktarı (Bin Ton)	32209
Kişi Başı Ortalama Atık Miktarı (Kg/Kişi.Gün)	1,16
<b>Toplanan Atığın Bertaraf ve Geri Kazanım Yöntemlerine Göre Oranı (%)</b>	
Düzenli Depolama Tesisine Gönderilen	%67,2
Belediye Çöplüğüne Gönderilen	%20,2
Geri Kazanım Tesislerine Gönderilen	%12,3
Diğer Bertaraf Yöntemleri (Açıkta Yakma, Dereye Atma, Araziye Gömme vb.)	%0,2

TÜİK verilerine göre, 2013-2017 yılları arasında ülkemizde atık yönetimi için gerçekleşen harcama miktarları da her geçen yıl artış göstermektedir (Tablo 2).

**Tablo 2: TÜİK 2013-2017 çevre koruma harcama istatistikleri**

Çevre Koruma Harcama İstatistikleri	2013	2014	2015	2016	2017
Atık Yönetimi (Milyon TL)	10,8	12,4	12,9	13,2	16,9

### 2.1. Atık Yönetiminin Mevzuattaki Yeri

Ülkemizde atık yönetiminin sağlanabilmesi için ilgili mevzuat Avrupa Birliği kriterleri göz önüne alınarak oluşturulmuştur. Bu çerçevede yürürlüğe konulan 2872 sayılı Çevre Kanunu, uluslararası alanda kullanılan standartların kendi şartlarımıza uyarlanarak geliştirilmesini ve uygulanmasını sağlamayı amaçlamıştır.

Bunlarla birlikte; atığın oluştuğu andan bertaraf edilmesine kadar çevre ve insan sağlığına zarar vermeden yönetiminin sağlanması, atık oluşumunun azaltılarak atıkların yeniden kullanımının, geri dönüşümünün ve geri kazanımının sağlanması, doğal kaynak kullanımının azaltılması yoluyla atık yönetiminin sağlanması da amaçlar içinde yer almaktadır.

## Uluslararası Genel Çevre Sorunlarına Bakış

Bu kapsamda; evsel atık, hafriyat toprağı, inşaat ve moloz artıkları, tıbbi atık, tehlikeli atık, ambalaj artıkları, pil ve akü, bitkisel yağ, lastik, elektrikli eşya, diğere yağ, ömrünü tamamlamış araçlar gibi atık türlerinin yönetimine ait uygulamalar anılan mevzuat hükümleri esas alınarak yürütülmektedir.

Ülkemizde uygulanan atık yönetim sistemini konu edinen mevzuatlar Tablo 3'te gösterilmektedir.

**Tablo 3: Atık Yönetimi ile ilgili Çevre mevzuatları**

Mevzuat	Yılı	Amacı
Çevre Kanunu	1983	Çevrenin sürdürülebilir kalkınma ilkeleri doğrultusunda korunmasını sağlamaktır.
Atık Pil ve Akümülatörlerin Kontrolü Yönetmeliğı	2004	Pil ve akümülatörlerin üretiminden nihai bertarafına kadar toplama sisteminin ve yönetim planının oluşturulması için gerekli programların belirlenmesidir.
Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin Kontrolü Yönetmeliğı	2006	Ömrünü tamamlamış lastiklerin; çevreye zarar verilmesinin önlenmesine, geri kazanım veya bertarafı için toplama/taşıma sisteminin kurulması, yönetim planının oluşturulmasına yönelik esasları belirlemektir.
Poliklorlu Bifenil ve Poliklorlu Terfenillerin Kontrolü Hakkında Yönetmelik	2007	Kullanılmış PCB ve PCB içeren madde ve ekipmanların sağlığa zarar vermeden ortadan kaldırılmasının sağlanmasına yönelik usul ve esasları düzenlemektir.
Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliğı	2008	Atık yağların geçici depolanmasına, toplanmasına, taşınmasına, enerji geri kazanımının sağlanmasına ve bertaraf edilmesine ilişkin esasların belirlemektir.
Ömrünü Tamamlamış Araçların Kontrolü Hakkında Yönetmelik	2009	Araçlardan kaynaklanan atıkların oluşumunu engellemek, ömrünü tamamlamış araçlar ve bunlara ait parçaların yeniden kullanım, geri dönüşüm ve geri kazanım işlemleri ile bertaraf edilecek atık miktarını azaltmak ve geçici depolama alanlarının tabi olacakları standartları belirlemektir.
Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik	2010	Atıkların bertarafı sürecinde oluşabilecek olumsuz etkilerin asgari düzeye indirilmesine, düzenli depolama tesislerinin inşa edilmesine, bu tesisler için atık kabulü işlemlerine, mevcut düzenli depolama tesislerinin ıslahı, kapatılması ve kapatma sonrası bakım süreçlerine ilişkin genel kuralları belirlemektir.
Atıkların Yakılmasına Dair Yönetmelik	2010	Atıkların yakılmasının çevre üzerine olabilecek olumsuz etkilerini, hava, toprak, yüzey suları ve yeraltı sularında oluşan kirliliğı ve ortaya çıkabilecek riskleri önlemektir.
Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliğı	2011	Ambalaj atıklarının oluşumunun önlenmesi, önlenemeyen ambalaj atıklarının yeniden kullanım, geri dönüşüm ve geri kazanım yöntemleri kullanılarak bertaraf edilecek miktarının azaltılmasına, ambalaj atıklarının kaynağında ayrı biriktirilmesi, toplanması, taşınması, ayrılması ve geri dönüşümüne ilişkin standartların oluşturulmasını sağlamaktır.
Bazı Tehlikesiz Atıkların Geri Kazanım Tebliğı	2011	Tehlikesiz atıkların çevreye olabilecek olumsuz etkilerinin en aza indirilmesi, atık miktarının azaltılması, geçici depolanması, geri kazanım tesislerinin kurulması için gerekli esasları belirlemektir.
Atık Ara Depolama Tesisleri Tebliğı	2011	Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmeliğın Ek-IV'te yer belirtilen atıklara uygulanacak ara depolama işlemlerini ve bulunması gereken şartları belirlemektir.
Ömrünü Tamamlamış Araçların Depolanması, Arındırılması, Sökümü ve İşlenmesine İlişkin Teknik Usuller Tebliğı	2011	Ömrünü tamamlamış araç teslim yerlerinin, geçici depolama alanlarının, depoların ve işleme tesislerinin tabi olacakları kriterlerin belirlenmesidir.

## Atık Yönetimi Katı Atıklar ve Çevre

Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyaların Kontrolü Yönetmeliği	2012	Üretiminden nihai bertarafına kadar AEEE atıklarının yönetiminin, yöntem ve hedeflerine ilişkin esasları düzenlemektir.
Atıktan Türetilmiş Yakıt, Ek Yakıt ve Alternatif Hammadde Tebliği	2014	Atıkların alternatif hammadde olarak kullanılması, atıktan türetilmiş yakıt hazırlanması ve bu tesislerde bulunması gereken asgari şartlar ile atıktan türetilmiş yakıt kullanımı ve beraber yakma tesislerinde kullanılacak atıklara ilişkin esasları belirlemektir.
Atık Getirme Merkezi Tebliği	2014	Geri kazanılabilir atıkların diğer atıklarla karıştırılmadan kaynağında ayrı toplanmasının sağlanması ve geri kazanım ve/veya bertarafa gönderilmek üzere bırakılması amacıyla oluşturulan atık getirme merkezlerine ilişkin usul ve esasları belirlemektir.
Maden Atıkları Yönetmeliği	2015	Madenlerin aranması, çıkarılması, hazırlanması, zenginleştirilmesi veya depolanması sonucunda ortaya çıkan atıkların üretiminden bertarafına kadar yönetilmesine ilişkin esasları düzenlemektir.
Atık Yönetimi Yönetmeliği	2015	Atıkların oluşumundan bertarafına kadar yönetiminin sağlanmasına, atık oluşumunun azaltılması, atıkların yeniden kullanımı, geri dönüşümü, geri kazanımı gibi yollar ile doğal kaynak kullanımının azaltılması ve atık yönetiminin sağlanmasına, çevre ve insan sağlığı açısından belirli ölçütlere, temel şart ve özelliklere sahip ürünlerin üretimi ile denetimine ilişkin esasların belirlenmesidir.
Bitkisel Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği	2015	Bitkisel atık yağların üretiminden nihai bertarafına kadar hukuki ve teknik esasların düzenlenmesini sağlamaktır.
Kompost Tebliği	2015	Biyobozunur atıkların, çevre ve insan sağlığına zarar vermeden kaynağında ayrı toplanarak yönetiminin sağlanmasına, geri kazanımının sağlanarak düzenli depolama tesislerinde bertaraf edilecek miktarının azaltılmasına, kompost tesislerinin teknik kriterlerinin belirlenmesine esasların belirlenmesidir.
Mekanik Ayırma, Biyokurutma, Biyometanizasyon Tesisleri ile Fermente Ürün Yönetimi Tebliği	2015	Biyobozunur atıkların çevre ve insan sağlığına zarar vermeden yönetiminin sağlanmasına, düzenli depolama tesislerinde bertaraf edilecek miktarının azaltılmasına, maddesel veya enerji geri kazanım tesisleri olan mekanik ayırma, biyokurutma ve biyometanizasyon tesislerinin teknik kriterlerine, biyometanizasyon tesislerinde elde edilen fermente ürünün kalite kriterlerine ilişkin usul ve esasları belirlemektir.
Atıkların Kara Yolunda Taşınmasına İlişkin Tebliğ	2015	Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmeliğin EK-IV atık listesinde yer alan atıkların taşınmasına dair esasların belirlenmesidir
Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği	2017	Tıbbi atıkların çevreye ve insan sağlığına zarar verecek şekilde doğrudan veya dolaylı bir biçimde alıcı ortama verilmesinin önlenmesine, çevreye ve insan sağlığına zarar vermeden kaynağında ayrı olarak toplanması, taşınması, geçici depolanması, tıbbi atık işleme tesisine taşınması ve bertaraf edilmesine yönelik esasları düzenlemektir.
Sıfır Atık Yönetmeliği	2019	Atık yönetimi süreçlerinde çevre ve insan sağlığının ve tüm kaynakların korunmasını hedefleyen sıfır atık yönetim sisteminin kurulmasına, yaygınlaştırılmasına, geliştirilmesine, izlenmesine, kayıt altına alınarak belgelendirilmesine ilişkin esasların belirlenmesidir.
Tek Kullanımlık Maske, Eldiven Gibi Kişisel Hijyen Malzeme Atıklarının Yönetiminde Covid 19 Tedbirlerine İlişkin 2020/12 Genelgesi	2020	Bu genelgede tek kullanımlık kişisel maske ve eldivenler ile diğer hijyen malzemelerin atıklarının biriktirilmesi, toplanması, taşınması, geçici olarak depolanması ve atık işleme tesislerine iletilmesi süreçlerinde asgari olarak dikkat edilmesi gereken hususlar anlatılmaktadır.

Kişisel hijyen malzeme atıkları ile ilgili olan genelgede bu atıkların biriktirilmesi, toplanması, taşınması, geçici olarak depolanması, atık işleme tesislerine teslim edilmesi aşamalarında dikkat edilmesi gereken hususlar yer almaktadır. Genelgeye göre ev ve iş yerlerinden çıkan hijyen malzeme atıkları diğer atık statüsünde gri renkli veya gri etiketli bir ekipmanda toplanmalı ve ekip-

## Uluslararası Genel Çevre Sorunlarına Bakış

mandaki atık torbasının ¾'ü dolduğunda ağzı kapatılarak ikinci bir torba devreye alınmalıdır. Ağzı kapalı atık torbasının geçici depolama tesislerinde 72 saat bekletildikten sonra diğer atık olarak evsel katı atık kapsamında yönetilmek üzere belediyeye teslim edilmesi gerekmektedir. Genelgeye göre, toplu karantina alanlarında oluşan atıklar ise tıbbi atık olarak değerlendirilmelidir. Bunlara ek olarak, bazı yerel idareler şehrin bazı noktalarına kullanılmış maske ve eldivenlerin bırakılması için tıbbi atık kutusu konuşlandırılmalıdır

### 3. SALGIN DÖNEMİNDE ATIK YÖNETİMİ

2. Dünya Savaşı'ndan beri insanlığın karşılaştığı en önemli küresel sağlık sorunu ve en büyük zorluk olarak kabul edilen Covid-19'e karşı mücadelenin sürdüğü şu günlerde, hem dünyada hem de ülkemizde hijyen şartlarını sağlayabilmek amacıyla "tek kullanımlık" olarak nitelendirilen plastik eldiven, maske, kâğıt havlu vb. ürünlerin tüketimi dolayısıyla atık miktarı kaçınılmaz olarak artmaktadır (Uyarcan vd., 2021).

Normalde fast food, kafe, çay bahçesi, hastane gibi yerlerde tercih edilen tek kullanımlık plastik bardak, tabak, çatal, kaşık, bıçak gibi ürünler, salgın hastalık endişesiyle artık evlerde, iş yerlerinde ve fabrikalarda da tüketilmeye başlanmıştır.

Salgın sürecinde Türkiye'de ve dünyada toplu karantina alanlarında sadece tek kullanımlık plastik ürünlerin kullanılmakta, virüsün yayılmasını engellemek için sağlık personeli ve hastalar tarafından da sadece tek kullanımlık plastik ürünler tercih edilmektedir.

Salgında talebi artan bir diğer ürün grubu ise gerekli hijyen şartlarının sağlanması amacıyla bolca stoklanan ve kullanılan tuvalet kâğıdı, peçete, kâğıt el havlusu veya paketli ıslak mendillerdir. Tek kullanımlık ve kişisel nitelikli olması nedeniyle bu malzemeler, kumaş havlu ve bez gibi bir defadan fazla kullanılabilen ürünlerin yerine tercih edilmektedir.

Bu süreçte tercih edilen tek kullanımlık ürünler, salgından önce kullanılan muadillerine göre çok daha sık ve daha fazla atık oluşturmaktadır (Uyarcan vd., 2021).

Salgın önlemlerinden dolayı tamamen veya kısmen evde ikamet etmek zorunda kalan insanların büyük bölümü, ihtiyaçlarını internet üzerinden alışveriş yapmak suretiyle karşılamaktadır. Online olarak satın alınan bu ürünlerin kargo aracılığıyla tüketicilere teslim edilmesi, salgın öncesine göre daha fazla ambalaj atığı üretilmesine neden olmaktadır.

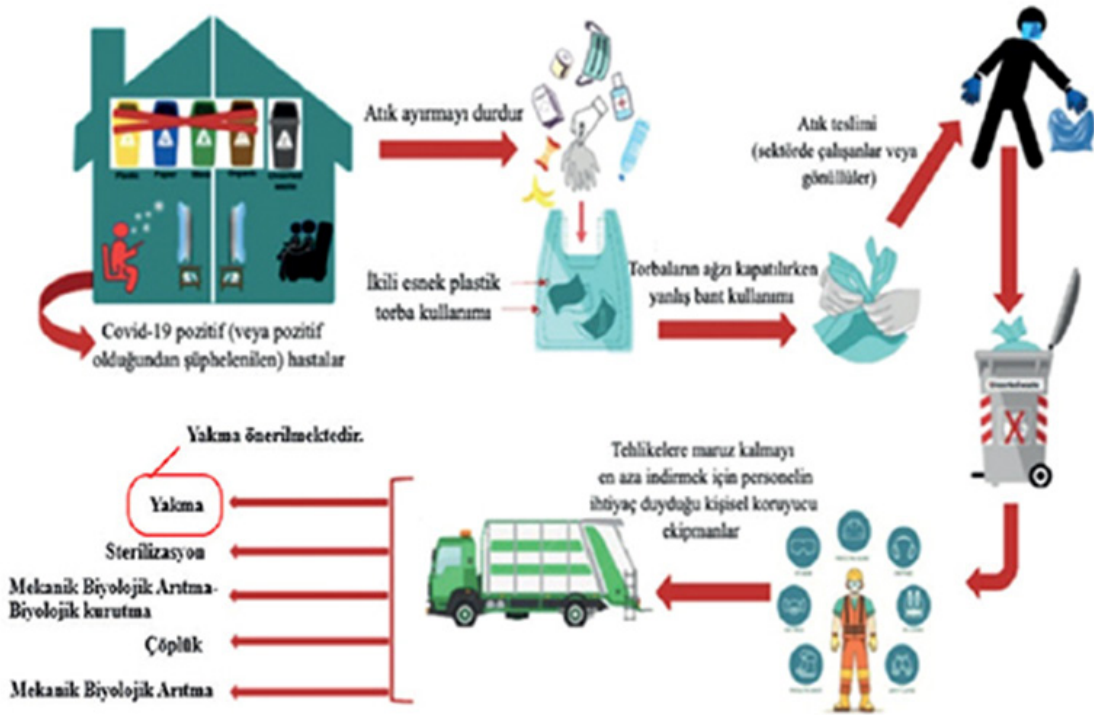
Pandemi, tüm satın almalarda paniğe neden olmuş ve özellikle çabuk bozulan gıdaların gereksiz yere stoklanmasına yol açmıştır. Diğer yandan bulaşmanın önlenmesine yönelik alınan tüm tedbirler yüz maskesi, eldiven ve koruyucu giysilerin; sokağa çıkma kısıtlamalarında plastik torba, içecek ve yiyecek ambalajlarının daha fazla kullanımına dolayısıyla atıkların önemli düzeyde artmasına yol açmıştır

Diğer yandan Covid-19 hastalarının bakımı için tıbbi malzemelerin kullanımı, tedavi sırasında ilaç kullanımı ve hasta olmayan kişilerin de kendilerini korumak amacıyla reçetesiz satılan bağışıklığı güçlendirici ilaçları satın almaya yönelmesi de tıbbi plastik atıkları artırmıştır.

### 4. KARANTİNA SÜRECİNDE EVSEL ATIK YÖNETİMİ

Karantina sürecinde evsel atık yönetim faaliyetleri, atıkların toplanmasından nakliyesine kadar olan süreçtir.

Atık toplama ve işleme personelinin atık ile temasından kaynaklanabilecek olası bulaşmadan korunması için atıkların uygun şekilde poşetlenmesi gerekmektedir. Covid-19 pozitif ya da temaslı kişilerin atıklarının uygun şekilde evlerden alınıp bertaraf edilmesi gerekmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Covid-19 pozitif veya temaslı kişiler tarafından üretilen atığın yönetim aşamaları (Di Maria ve ark., 2020).

Covid-19 pozitif olan kişilerin evsel atıklarının hepsinin (plastikler, kâğıtlar, metaller, bardaklar, yiyecekler, maskeler, diğer tıbbi malzemeler) virüs etkeni taşıma olasılıkları çok yüksek olduğundan aynı torbada toplanması gerekir.

Diğer kişilerin evsel atıklarıyla karışmasını önlemek için normalde kullanılan torbaların aksine farklı bir renkle karakterize edilen torba kullanılması önerilmektedir. Atık toplama ve işleme personelinin temastan kaynaklanabilecek bulaşından korumak için atıklar uygun şekilde çöp poşetlerinde muhafaza edilmelidir.

Temas riskini en aza indirmek amacıyla çalışanlardan, tek kullanımlık eldiven ve tulum giymeleri istenmektedir. Vardiya sonunda, tüm tek kullanımlık giysiler, soyunma odalarının ayrılmış alanlarında çıkarılmalı (en az 1 m sosyal mesafe kurallarına uyularak) ve bertaraf edilinceye kadar çevreye zarar vermeyecek şekilde muhafaza edilmelidir.

## Uluslararası Genel Çevre Sorunlarına Bakış

Covid-19 etkenini taşıyan atıkların, diğer atıkları kontamine etme riskini en aza indirmek için, herhangi bir ön işlem yapılmadan doğrudan bertaraf tesisine taşınması gerekmektedir. Atıklar özel olarak belirlenmiş alanlara toplanırsa virüsün daha fazla yayılmasının önüne geçilebilecektir. Diğer atık ve yüzeylerle temas riskini en aza indirmek için, bu atıkların tesiste depolanan diğer atıklara göre öncelikli olarak yok edilmesi önemlidir.

### 5. PANDEMİ SÜRECİNİN ATIK YÖNETİMİNE ETKİSİ

Atık yönetimi, hastalıkların yayılmasını engelleyen en önemli sıhhi tedbirlerden biridir (Somani ve ark., 2020). Salgın sırasında atık yönetimi, evsel atıklardan patojen bulaşma riskinin artması nedeniyle büyük önem arz etmektedir.

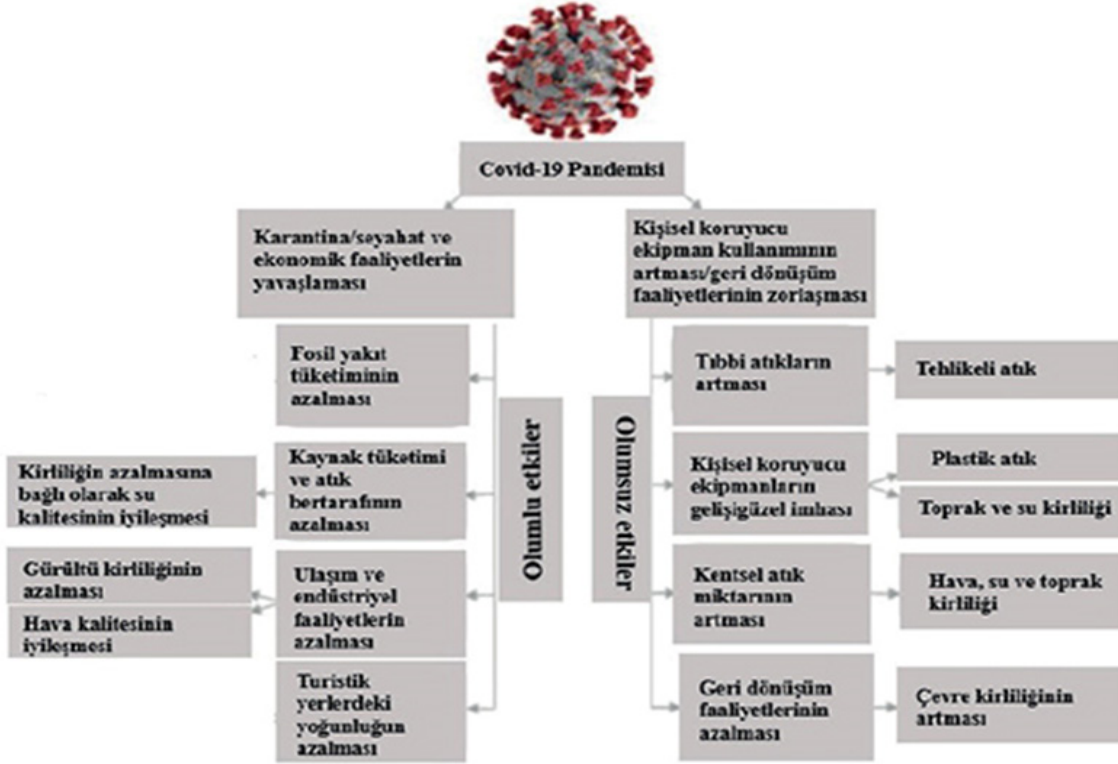
Yerel yönetimler ve ilgili bakanlıkların, salgın sırasında atık azaltma önerileri, koruyucu önlemler ve toplama sıklığı ile ilgili uygulama prosedürleri hakkında toplumu bilgilendirmeleri gerekmektedir.

Atık geri dönüşümü, daha fazla kâr elde etmeyi ve atık miktarını azaltmayı amaçlamaktadır. Günlük yaşamda en çok kullanılan ambalaj türlerinden biri olan plastik ambalajların geri dönüşümü daha az çevre kirliliğine neden olmaktadır. Ancak pandeminin başlangıç döneminde Covid-19'un geri dönüşüm merkezlerine yayılma olasılığı endişe yarattığından, çeşitli ülkelerdeki geri dönüşüm projeleri askıya alınmıştır. Bu süreçte geri dönüşüm faaliyetlerinin durduğu ülkeler genelinde atık işlemede çalışan personel geçim kaynakları açısından riskle karşı karşıya kalmıştır. Ancak bazı ülkelerde geri dönüşüm faaliyetleri pandemi başından itibaren devam etmektedir. Bu ülkelerde atık işleme personelinin virüsten korunma konusunda dikkatli olması ve kontaminasyon riskini en aza indirmek için geri dönüşüm süresince tüm önlemlerin alınması gerekmektedir. Bu sebeple atıkların geri dönüşüm faaliyet prosedürleri de salgın çerçevesinde değerlendirilmeli ve dikkate alınmalıdır.



### 6. PANDEMİ SÜRECİNİN ÇEVRESEL ETKİLERİ

Pandemi sürecinin olumlu ve olumsuz etkileri Şekil 2’de özetlenmiştir.



Şekil 2. Covid-19 pandemisinin olumlu ve olumsuz çevresel etkileri (Rume ve Islam, 2020).

Hastanede üretilen tıbbi atıkların dışında koronavirüs testleri pozitif sonuçlanan, koronavirüs taşıyan hastanın temas grubunda bulunan, yurt dışı ya da şehir dışından gelmeleri sebebiyle karantina- da olan kişilerin maske ve eldiven kullanması ile tıbbi atık üretim miktarı had safhaya ulaşmıştır.

Bu tür ürünlerin kullanım ömrü bittiğinde, atıklarının yönetiminde birtakım sorunlar yaşanabilmektedir. Ortaya çıkan atıkların doğru şekilde yönetilmemesinin, insan sağlığı ve çevre üzerinde geri dönüşü olmayan etkileri bulunmaktadır. Salgının başlamasından önce de kara ve deniz ekosistemlerindeki kirlilikle ilgili artan endişeler nedeniyle plastik atıkların yönetimi önemli bir çevresel sorun olarak kabul edilmekteydi.

Tıbbi atıkların yönetimi hem dünyada hem de ülkemizde iki şekilde yapılmaktadır. Özel görevliler tarafından toplanan tıbbi atıklar yüksek sıcaklıklarda yakılmakta ya da yüksek sıcaklıklarda sterilize edildikten sonra düzenli depolama sahalarına gönderilmektedir.

Hastanelerde üretilen tıbbi atık miktarı, enfeksiyonlu hasta sayısına bağlıdır. Çin’de yapılan bir araştırmaya göre, hastanede yatan enfeksiyonlu bir hasta günde 0,68 (kg/gün.yatak) tıbbi atık üretmektedir. Bulaşıcı hastalıklarla mücadelede diğer hastalıklara göre çok daha fazla tıbbi kaynağa

## Uluslararası Genel Çevre Sorunlarına Bakış

ihtiyaç duyulmaktadır. Pandemi sürecinde yatak başına üretilen günlük tıbbi atık miktarına maskeler, eldivenler, koruyucu gözlükler ve koruyucu giysiler de eklenince bu sayının 2,5'a (kg/gün. yatak) çıktığı tespit edilmiştir (Yu vd., 2020)

Bu süreçte Türkiye'deki tıbbi atık miktarı ile ilgili olarak güncel istatistik Samsun'dan elde edilmiştir.

Samsun Büyükşehir Belediyesi Katı Atık Düzenli Depolama Sahası içindeki Tıbbi Atık Sterilizasyon Tesisinde 2019 yılında toplam 1.812 ton tıbbi atık işlendiği, virüsün etkisini hissettirdiği 2020 mart ayında 150 ton tıbbi atığın bertaraf edildiği açıklanmıştır.

Açıklanan bu rakamlar incelendiğinde, virüsün etkisiyle Samsun'da oluşan tıbbi atıkların artmadığı, hastanelerin poliklinik hizmetlerindeki azalmanın diğer etkilerden kaynaklanan artışı telafi ettiği düşünülmektedir. Benzer şekilde, salgın süresince Türkiye'de tıbbi atık miktarının arttığına dair resmî bir açıklama bulunmamaktadır.

## 7. SONUÇ

Atık yönetimi; kentleşme, sanayileşme ve nüfus artışı gibi faktörler ışığında daha da belirginleşen büyük bir öneme sahiptir.

Salgın süresince tedavi ve tedbir için kullanılan ürünler ve tüketim alışkanlıklarının değişmesiyle tıbbi atıklar ile kâğıt ve plastik atıkları artış göstermiş ve bazı geri dönüşüm tesisleri belirli bir süre için kapatılmıştır.

Salgın günlerinde daha tehlikeli hâle gelen ve doğru yönetilmediği takdirde hastalığın yaygınlaşmasına neden olabilecek bu gibi atıkların; temiz su teminine, sağlıklı ve kaliteli yaşama, çevreye, iklime ve istihdama olumsuz etkileri bulunmaktadır.

Korona virüsün önümüzdeki günlerde ne getireceği, ekonomiyi nasıl etkileyeceğini bilemiyoruz. Bu da bizlere kriz zamanlarımızı doğru yönetmek için orta ve uzun vadeli planlar yapmanın önemli olduğunu göstermektedir.

Atık yönetimi de uzun vadeli planlama gerektiren önemli konuların başındadır. Değişen tüketim davranışlarımızı ve değişen atık oluşturma profillerimizi doğru değerlendirerek atık yönetim planlarımızı güncellemeliyiz.

## KAYNAKLAR

ÇŞB (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı), Tek Kullanımlık Maske, Eldiven Gibi Kişisel Hijyen Malzeme Atıklarının Yönetiminde Covid-19 Tedbirlerine İlişkin 2020/12 Genelgesi, 28.04.2020

Di Maria, F., Beccaloni, E., Bonadonna, L., Cini, C., Confalonieri, E., La Rosa, G., Milana M. R., Testai, E. ve Scaini, F. (2020). "Minimization of Spreading of SARS-CoV-2 via Household Waste Produced by Subjects Affected by COVID-19 or in Quarantine." *Science of the Total Environment* 743:140803.

Master, Farah ve Chow, Yoyo; "Discarded Coronavirus Masks Clutter Hong Kong's Beaches, Trails", Reuters, 20.04.2020.

## Atık Yönetimi Katı Atıklar ve Çevre

Rume, T. ve Islam, S. M. D. (2020). “Environmental Effects of COVID-19 Pandemic and Potential Strategies of Sustainability.” Heliyon 6(9):e04965.

Samsun Belediyesi, “Tıbbi Atık Seferberliği”, 29.04.2020.

Somani, M., Srivastava, A. N., Gummadivalli, S. K. ve Sharma, A. (2020). “Indirect Implications of COVID-19 towards Sustainable Environment: An Investigation in Indian Context.” Bioresource Technology Reports 11(June):100491

Uyarcan, M., Söbeli, C., Kayaardı, S., Bilgen, A., Ufuk, A. I. (2021) Covid-19 pandemi sürecinin kişisel koruyucu ekipman ve ambalaj atık yönetimine etkileri, Plastik & Ambalaj Dergisi, Mayıs 2021

Yu vd., Yu, Hao, Sun, Xu vd., “Reverse Logistics Network Design for Effective Management of Medical Waste in Epidemic Outbreaks: Insights from the Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) Outbreak in Wuhan (China)”, International Journal of Environmental Resource and Public Health, Yıl:2020, Cilt/Sayı:17(5).

Zambrano-Monserrate, M. A., Ruano, Maria A. ve Sanchez-Alcalde, Luis; “Indirect Effects of COVID-19 on the Environment”, Science of the Total Environment, Yıl:2020, Cilt:728.



# ATIKLARIN YENİDEN KULLANIMI: YAPI MALZEMESİ ÜRETİM ÇALIŞMALARI

Neslihan Doğan-Sağlamtimur

## ÖZET

Endüstriyel yan ürünlerin ve atık maddelerin miktarı her geçen gün artmaktadır. Uçucu kül (UK), kömürle çalışan elektrik santrallerinin bir yan ürünüdür. Atık döküm kumu (ADK) hem demirli (demir ve çelik) hem de demirsiz (bakır, alüminyum ve pirinç metal) döküm üretiminin bir yan ürünüdür. Atıkların yeniden kullanılarak değerlendirilmesi bu nedenle iyi bir alternatif yol hâline geldi. Günümüzde çimento ve kum ikame malzemeleri olarak UK ve ADK kullanılmaktadır. Bu çalışmada, çimentolu ve çimentosuz (geopolimer) yeşil yapı malzemesi üretmek için hammadde olarak UK ve ADK kullanılmıştır. Bu yapı malzemelerinin fiziksel-mekanik ve radyasyon absorpsiyon özellikleri belirlenmiştir. Bu çalışmada, atıktan yapı malzemesi üretiminin iklim değişikliğinin etkilerini azaltabileceği ve sıfır atık, endüstriyel simbiyoz ve dögüsel ekonomi ilkelerine katkıda bulunabileceği ele alınmaktadır.

*Anahtar Sözcükler:* Çevre, İnşaat, Yapı Malzemesi, Geopolimer, Yeniden Kullanım, Sıfır Atık

## ABSTRACT

Industrial by-products and waste materials are increasing day by day. Fly ash (FA) is a by-product of coal-fired electric power stations. Waste foundry sand (WFS) is a by-product of both ferrous (iron and steel) and nonferrous (copper, aluminum, and brass metal) castings production. Waste valorization by reusing them has therefore become an attractive alternative way. Nowadays, FA and WFS are used as cement and sand replacement materials. In this study, FA and WFS were used as raw materials to produce cemented and cementless (geopolymer) building materials as green construction materials. Physical-mechanical and radiation absorption properties of these building materials were determined. This work addresses that waste-based building material production can reduce the effects of climate change and contribute to the zero-waste, industrial symbiosis, and circular economy principles.

*Keywords:* Environment, Construction, Building Material, Geopolymer, Reuse, Zero Waste

### 1. GİRİŞ

Son yıllarda iklim değişikliği, sıfır atık, sürdürülebilir kalkınma, döngüsel ekonomi ve yeniden kullanım gibi çevresel konular hakkında küresel odaklanma artmaktadır. Enerji üretmek için fosil yakıt tüketiminde artış olmuştur. Kömür, esas olarak endüstriyel operasyon ve elektrik üretimi için kullanılır. Sonuç olarak kömür külü, çevreye duyarlı bir şekilde bertaraf edilmesi gereken bir atık ürün olarak açığa çıkmaktadır. Fazla miktarda üretim nedeniyle, atık kül katı atık depolama tesislerinde bertaraf edilmektedir. Diğer yandan, çeşitli pik demir, çelik hurda ve ferro alaşımların endüksiyon, ark veya kupol ocaklarında ergitilerek kum, seramik ya da metal kalıplarda şekillendirilmesiyle, sanayinin ihtiyacı olan pik, çelik, sfero ve temper döküm ürünlerinin ham veya işlenmiş olarak üretildiği döküm sektörünün [1, 2] atıkları çevre sorununa neden olmaktadır.

Termik santrallerde kömürün yüksek sıcaklıklarda yakılması esnasında, baca gazları ile sürüklenirken mekanik filtrelerde tutulan, içi boş ya da dolu küreciklerden oluşan yan ürün uçucu kül (UK), bir atık kül çeşididir. Kömür yakıldığı sırada tabana çöken, ağırlığı fazla olan kül ise kazan altı külü (KAK) olarak adlandırılmaktadır. Atık küllerden UK %80-90 ve KAK %10 miktarında salınmaktadır [3]. Atık kül (a) ince oluşu, (b) puzolanik özellikleri, (c) tek boyutlu küresel yapısı ve (d) güçlü silika alümina camsı zinciri nedeniyle donma ve çözülmeye karşı dayanıklıdır [4, 5]. Bu kül çimento katkı maddesi ve betonda su tutucu katkı maddesi olarak kullanılmaktadır [6-8]. Atık küller çimento, beton, agrega, kerpiç, tuğla, gaz beton ve yalıtım malzemesi üretiminde, baraj ve yol yapımında, geoteknik uygulamalarda kullanılmaktadır [8-10].

Döküm sanayinde kullanılan kalıplar her dökümden sonra açılarak döküm kumundaki büyük parçalar elenip uzaklaştırılmakta ve azalan kum kadar sisteme yeni kum eklenmektedir. Kumun fiziksel ve kimyasal bozulması, döküm sırasında 1500°C'lik ergimiş metale maruz kalması, kumdaki bentonitin bağlayıcılık özelliğini kaybetmesi ve mekanik aşınmadan dolayı kum tanelerinin direncinin kırılması nedeniyle döküm kumu belli bir çevrimden sonra kalıplarda kullanılamaz hâle gelir ve "atık döküm kumu (ADK)" olarak dökümhaneden uzaklaştırılır [11].

Araştırma gruplarımızla gerçekleştirdiğimiz atık yeniden kullanım çalışmalarında, (i) dayanıklı yapı malzemesi üretirken endüstriyel ve termik santral UK ve ADK sorununa çözüm getirmek, (ii) farklı olan endüstriyel firmalardan temin edilen UK ve ADK kullanılarak çimentolu ve çimentosuz dayanıklı hafif yapı malzemesi üretmek ve performans değerlendirmesi yapmak amaçlanmıştır.

Bu çalışmalarda

- ♻️ Türkiye ve Dünya'da mevcut sektörler içinde inşaat sektörünün ön plana çıkması,
- ♻️ atık küllerin çevrede sorun teşkil etmesi yerine değerlendirilip hammadde olarak yeniden kullanıma sürülmesinin sağlanması,
- ♻️ sanayi ortağı olan kuruluşu -inşaat sektörüne yönelik sunduğu mevcut çimento cinslerine ilave olarak- katma değer yaratacak rekabetçi-inovatif üretimlere teşvik etmesi,
- ♻️ endüstriyel simbiyoz yaklaşımı olması göz önüne alınarak

## Atıkların Yeniden Kullanımı: Yapı Malzemesi Üretim Çalışmaları

alternatif UK ve ADK değerlendirme yöntemleri içinden yapı malzemesine dönüştürülme seçilmiştir.

İnşaat teknolojisi açısından, UK ve ADK'nın yapı malzemesine dönüştürülmesi sürecinin temel kazançları: (1) Çimentonun belirli oranlarda azaltılması ve yerine UK veya ADK kullanılması, (2) çimentonun kullanılmaması, sadece UK veya ADK kullanılmasıdır. Çevre teknolojisi açısından, atığın başka bir ürüne dönüştürülmesi, atık yönetim hiyerarşisi piramidinde “yeniden kullanım (reuse)” olarak geçen bir teknolojidir. Her yıl çok büyük miktarlarda UK ve ADK, atık olarak ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle endüstriyel ekoloji kavramı içerisinde bu atıklara yeni kullanım alanları geliştirilmesi gereklidir. Kimya teknolojisi açısından, yapı malzemesi üretilmesi sırasında karışım aşamasında kullanılan su, işlenebilirlik için kullanılmakta, bu elemanın kür ve kuruması sırasında malzeme içerisinde süresiz nanoboşluklar bırakarak yapı malzemesini terk etmektedir. Bu durum malzemeye hafiflik, ısı yalıtımı, yangın dayanımı gibi olumlu özellikler kazandırmaktadır. Yeni ve ileri teknoloji alanları açısından, yapı malzemesi, ulusal ve uluslararası ölçekte özellikle atık küle dayalı çevre sorunlarının çözümünde iyi bir alternatiftir; ekonomik fayda sağlamanın yanı sıra endüstriyel simbiyoz için de uygundur.

## 2. GEREÇ VE YÖNTEM

Araştırma gruplarımızla gerçekleştirdiğimiz atık yeniden kullanım çalışmalarında yürütülen faaliyetler sırasıyla

- ❖ Hammaddenin temin edileceği sektörün ve sanayi ortağının belirlenmesi,
- ❖ UK veya ADK'dan elde edilecek ürün alternatiflerinin incelenmesi,
- ❖ UK veya ADK'dan yapı malzemesine dönüştürme süreçlerinde gereç ve yöntemin seçilmesi,
- ❖ Kullanılacak olan farklı laboratuvarlarda koşulların uygunluğunun sağlanması,
- ❖ Hammadde (atık kül), çimento veya kimyasal bağlayıcı ( $\text{NaOH}$  ve  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) temini,
- ❖ Çalışmaların gereği olan UK veya ADK'nın elemental analizinin yaptırılması ve değerlendirilmesi,
- ❖ UK veya ADK elek analizi (TS EN 933-10) [12],
- ❖ UK veya ADK yanabilir madde verim hesabı,
- ❖ UK veya ADK'nın sıkışık birim hacim ağırlığı deneyi,
- ❖ Harç karışımlarının yayılma değeri (ASTM C1437-15) [13],
- ❖ UK veya ADK'nın çimentoyla veya kimyasal bağlayıcılarla aktive edilmesi,
- ❖ UK veya ADK'dan deney numunelerinin üretilmesi,
- ❖ Atıktan üretilen yapı malzemelerinin birim hacim ağırlığı deneyi,
- ❖ Yapı malzemesi eğilme dayanımı (ASTM C348-14) [14] ve basınç dayanımı (ASTM C349-14) [15] deneyleri (deney numunelerinin üretilmesinden 7 ve 28 gün sonra sürekli tekrarlanarak),

## Uluslararası Genel Çevre Sorunlarına Bakış

- ❖ Yapı malzemelerinde su emme ve porozite deneyi (TS EN 772-3) [16],
- ❖ Ön veri ve planlanan deneylerin veri sonuçlarının ortak değerlendirilmesi

Çalışma gruplarımızla gerçekleştirdiğimiz atıktan yapı malzemesi üretim çalışmalarında kullanılan gereç, yöntem ve cihazlar Şekil 1'deki deneysel akım şemasında özetlenmiştir.



Şekil 1. UK ve ADK'dan yapı malzemesi üretim çalışmalarının temel akım şeması

### 3. ATIKTAN YAPI MALZEMESİ ÜRETİMİ: ÇALIŞMA ÖRNEKLERİ

Çeşitli atık türlerinden yapı malzemesi üretimi üzerine literatürde farklı çalışmalar bulunmaktadır. Tarafımızdan ve araştırma gruplarımızla UK ve ADK'dan üretilen yapı malzemesine dair literatürde ilk olan çalışmalar:

Döküm sektöründe ADK sorununa çözüm getirmek ve yeniden kullanımını sağlamak için literatürde ilk kez Doğan-Sağlamtimur (2018) [17] tarafından yapılan çalışmada ADK'dan geopolimer yapı malzemesi (çimentosuz) üretilmiş (Fotoğraf 1), bu malzemenin fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Deneysel aşamanın ilk bölümünde, ADK'nın elek analizi yapılmış, gevşek/sıkı birim ağırlığı ve kızdırma kaybı belirlenmiştir. İkinci aşamada, kimyasal bağlayıcılar (NaOH ve Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) ile aktive edilen ADK bazlı geopolimer numuneler üzerinde su emme yüzdesi, porozite, birim hacim ağırlık ve basınç dayanımı testleri yapılmıştır. İnşaat teknolojisinde kullanılan yapı malzemeleri, ASTM tarafından normal (2 g/cm<sup>3</sup> ve üstü birim ağırlık), orta (1,6~2,0 g/cm<sup>3</sup>) ve hafif (1,6 g/cm<sup>3</sup> ve daha az) yapı malzemesi olmak üzere üç gruba ayrılmıştır. Bu çalışmada



## Atıkların Yeniden Kullanımı: Yapı Malzemesi Üretim Çalışmaları

ADK'dan üretilen geopolimer malzemelerin birim hacim ağırlıkları  $1,6 \text{ g/cm}^3$ 'ten düşük olduğu için hafif yapı malzemesi olarak kabul edilebilir. Bina duvar malzemeleri için minimum basınç dayanımı değeri ulusal standartlarda  $2,5 \text{ MPa}$  olarak kabul edilmektedir. Çalışmada, %30  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  katkılı karışım için  $200^\circ\text{C}$  kür sıcaklığında 28 günde üretilen geopolimer malzemenin maksimum basınç dayanım değeri  $12,3 \text{ MPa}$  olarak ölçülmüştür; bu malzemenin yapı duvar malzemesi olarak kullanıma uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

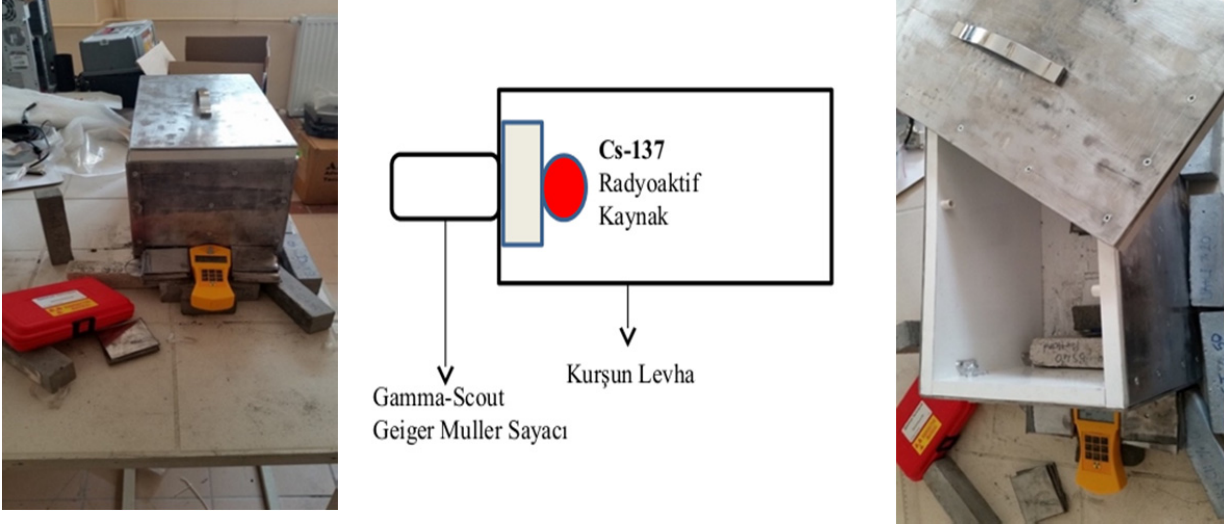


**Fotoğraf 1.** ADK'dan üretilen geopolimer yapı malzemesi örnekleri

Süzgeç vd. [18, 19] yaptıkları çalışmada, İsken Sugözü Termik Santrali'nden (Adana) temin edilen ve toplam içeriği %83.74 olan silis ve alümina yönünden zengin UK'nın alkali aktivatörler ( $\text{NaOH}$  ve  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) ile reaksiyonundan  $70$  ve  $100^\circ\text{C}$  kürleme sıcaklıklarında geopolimer malzemeler üretilmiştir. Bu malzemelerin radyasyon absorpsiyonunu belirlemek için literatürde ilk kez iç içe kurşun plakalarla zırhlanmış kafes ölçüm sistemi tasarlanmıştır (Fotoğraf 2). Üretilen geopolimer yapı malzemeleri, radyasyon sönümlenme ölçümleri için kurşun levha ile kaplanmış kafes içerisine yerleştirilmiştir. Ölçümler, kurşunla zırhlanmış ortam içerisine numune arkasına konulan standart radyoaktif kaynak ( $60^\circ\text{C}$ ) kullanılarak Geiger Müller sayacı yardımıyla yapılmıştır. Radyoaktif kaynaktan yayılan gama ışınlarını algılayan sayaçtaki değer okunarak ölçülmüştür. İlk aşamada kurşun korumalı/kaplamalı kutunun dışına Geiger Müller sayacı yerleştirilmiş ve ardından korumalı kutunun içine yerleştirilen radyoaktif kaynaktan ( $\text{Cs-137}$ ) yayılan gama ışınları tespit edilmiştir. Birinci aşamada kurşunlu kapalı sistemde geopolimer yapı malzemesi yokken şahit ölçüm yapılmış, ikinci aşamada ise Geiger Müller sayacı ile radyoaktif kaynak arasında bir geopolimer yapı malzemesi yerleştirilmiştir. Her ölçüm bir saatlik bir periyot boyunca yapılmıştır, ölçümler-

## Uluslararası Genel Çevre Sorunlarına Bakış

den sonra her bir geopolimer numunesi tarafından absorbe edilen radyasyon miktarı orantılı olarak belirlenmiştir. Çalışma grubu tarafından tasarlanan ve literatürde ilk olan bu sistem kullanılarak yapılan ölçümlerde geopolimerin Portland çimentodan üretilen yapı malzemesine göre %5 daha iyi radyasyon emme kapasitesi olduğu bulunmuştur.



**Fotoğraf 2. Üretilen geopolimer yapı malzemelerinin radyasyon sönmleme durumunu belirlemek için çalışma grubumuzla tasarlanan kurşunla kaplanmış/zırhlanmış kafes ölçüm sistemi**

170 uluslararası proje başvurusu içinden kabul alan Türk ortaklı iki AB 7. Çerçeve (FP7) projesinden biri olan ELAC2015/T02-0721 nolu ve “Development of Eco-friendly Composite Materials based on Geopolymer Matrix and Reinforced with Waste Fibers” başlıklı proje kapsamında atıktan üretilen geopolimer kompozit malzemeler, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi (NOHU) kampüsünde aktif kullanılan merkezi bir konuma kaldırım taşı olarak döşenmiştir (Fotoğraf 3). Çimentosuz, çevre dostu, temiz üretim, endüstriyel simbiyoz ve sıfır atık bir teknoloji olan bu kaldırım, Niğde’de ve Türkiye’de bir ilktir. Bu AB Çerçeve Program projesinde üretilen geopolimer yapı malzemelerinin [20] en yüksek basınç dayanım değerlerinin genellikle 28 ve 90. günde tespit edilmesinden, malzemenin zaman içinde mukavemet kazandığı fikrine ulaşılmıştır. UK ile dolgu malzemesi olarak kullanılan Rilem-Cembureau standart kumu, basınç dayanım ve birim hacim ağırlığı değerlerinin artmasına neden olmuştur. Kimyasal aktivatör oranının artışı ise bu malzemelerin basınç dayanımını arttırmamıştır. İskan Termik Santrali UK’dan %10 oranında NaOH ile üretilen numunenin basınç dayanımı 93,3 MPa değerine kadar çıkabilmiştir ve özel beton sınıfına girmektedir. Geopolimer malzemelerin su emme değerinin düşük çıkması nedeniyle dış tesirlere dayanıklı olduğu kanaati doğmuştur. Projede ölçülen porozite yüzdesinin fazla çıkması ise malzemeye hafiflik kazandırmaktadır; aynı zamanda ses ve ısı izolasyonu açısından avantaj sunmaktadır. Bu porozite değerlerine sahip geopolimer yapı malzemelerinin birim hacim ağırlığının yüksek olması beklenirken, UK’nın bünyesel özelliğinden dolayı, çoğunlukla düşük (<1,6 g/cm<sup>3</sup>) elde

## Atıkların Yeniden Kullanımı: Yapı Malzemesi Üretim Çalışmaları

edilmiştir. Malzeme, hafif yapı malzemesi olmasına rağmen basınç dayanım testi sonuçları yüksek mukavemetli beton değerlerine (genellikle belirtilen değer olan 35 MPa) ulaşmıştır. Bu durum, çalışmanın en kayda değer yönlerindedir. Çok farklı denemeler ve deneylerden oluşan bir süreç sonucu elde edilen basınç dayanımı yüksek ve birim hacim ağırlığı düşük geopolimer formülü, 3D yazıcılar kullanılarak farklı yapı malzemeleri seri olarak üretilebilir. Geopolimer yapı malzemesi, kimyasal bağlayıcı ile üretimin yapıldığı bir teknoloji olduğundan kimyasal maddelerin fiyatının zamana ve temin edildiği firmaya göre değişimi maliyeti etkilemektedir. Seri üretime geçildikçe ve AR-GE ilerledikçe geopolimer yapı malzemesini -çimentolu yapı malzemesi üretim maliyeti- nin çok altında (yaklaşık ¼) bir fiyata- toptan üretme şansı bulunmaktadır. Bu nedenlerle çalışmalar, 4. Sanayi Devrimi kapsamındaki gelişmeler doğrultusunda sanayideki dijital dönüşüme, teknolojik ilerlemelerde kullanılmaya ve Endüstri 4.0 yaklaşımına uygunluk göstermektedir. Bu projede üretilen geopolimer yapı malzemelerinin radyasyon absorplama durumu Cs-137 (Cesium) ile ölçümü yapılarak oransal olarak %5-13 aralığında bulunmuştur. Normal betonda radyasyon sönümleme %9 civarındadır.



**Fotoğraf 3. NOHU kampüsünde kullanılmakta olan geopolimer kaldırım**

Atığın başka bir ürüne dönüştürülmesi, atık yönetim hiyerarşisi piramidinde “yeniden kullanım (reuse)” olarak belirtilmiştir. Dünya’da ve Türkiye’de endüstriyel atıklar yeniden kullanım yoluyla değerlendirilirse doğal hammadde ve ekolojik denge korunabilir, çevre kirliliği önlenebilir, sera gazı emisyonu azaltılabilir, ekonomik malzeme üretilebilir, atıkların yeniden kullanımıyla ülke ekonomisine ve öncelikli bir politika hedefi olarak benimsenmiş sürdürülebilir çevre ve kalkınmaya katkı sağlanabilir. Geopolimer malzemelerin yaşam döngüsü analizi (LCA) gerçekleştirildiğin-

## Uluslararası Genel Çevre Sorunlarına Bakış

de [21], malzeme üretimi ile ilgili tüm endüstriyel prosesler göz önünde bulundurulurken kullanım aşamaları (beşikten kapıya/mezara), değerlendirilmesi (geri dönüşüm, yeniden kullanım, düzenli depolama vb.) ve kaynak tüketimi (enerji tüketimi ve hava, su, toprak emisyonları) incelendiğinde bu malzemelerin klasik yapı malzemelerine göre daha düşük sera gazı emisyonu salınımı yaptıkları belirtilmiştir.

Dünyada ve Türkiye’de UK ve ADK’nın değerlendirilmesi durumunda CO<sub>2</sub> emisyonu azaltımı, ucuz yapı malzemesi üretilmesi, atık malzemenin yeniden kullanımıyla ülke ekonomisine katkı sağlanması, doğal hammadde ile ekolojik dengenin korunması ve kirliliğinin önlenmesi mümkün görünmektedir.

Sanayide hammadde-proses-ürün üç ayağı söz konusudur ve çoğu endüstri kuruluşunda atık oluşumu kaçınılmaz bir sonuçtur [22]. Atık yeniden kullanımında yapı malzemesi kullanımı sıfır atık, endüstriyel simbiyoz, temiz üretim ve döngüsel ekonominin desteklenmesi nedeniyle ön plana çıkmaktadır.

## TEŞEKKÜR

Deneysel çalışmaların yapıldığı NOHU Endüstriyel Hammaddeler ve Yapı Malzemesi Uygulama Araştırma Merkezi ve Merkez Laboratuvar Atık Teknolojileri Laboratuvarı’na, çalışmalara katkı sunan öğretim üyeleri NOHU İnşaat Mühendisliği Bölümü’nden Prof. Dr. Ahmet Bilgil ve Doç. Dr. Hatice Öznur Öz’e, Fizik Bölümü’nden Prof. Dr. Sefa Ertürk ve Dr. Öğretim Üyesi Vakkas Bozkurt’a, Türk temsilci kuruluşu TÜBİTAK tarafından “Geopolimer Matrikse Dayalı Atık Lifler ile Güçlendirilmiş Çevre Dostu Kompozit Malzemelerin Geliştirilmesi” başlığı ve 116Y549 numara ile kayıtlara alınan ELAC2015/T02-0721 numaralı “Development of Eco-friendly Composite Materials based on Geopolymer Matrix and Reinforced with Waste Fibers” başlıklı AB 7. Çerçeve Programı (FP7) projesine teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

- [1] Kepez, Ü., Türkiye’de Döküm Sektörü-Demir Döküm, TÜBİTAK Metal Teknoloji Platformu Oluşturma Çalıştayı, Kocaeli, 2007.
- [2] Başar, H. M. ve Aksoy, N. D., Recovery applications of waste foundry sand. J. Eng. Nat. Sci. Sigma, 30 (2012) 205-224.
- [3] Ümit, Ş., Uçucu kül ve çevresel etkileri, AKÜ Fen Bilimleri Dergisi 7(1) (2007) 89-104.
- [4] Erdinç, M., Uçucu Küllü Betonlarda Dayanım ve Klor Geçirimsizliği. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 100 s, 1995.
- [5] Durak, U., Nanoparçacık Katkıların Geopolimer Harcın Dayanım ve Dayanıklılık Özelliklerine Etkisinin Araştırılması. Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2019.
- [6] Tokyay, M. ve Erdoğan, K., Türkiye Termik Santrallerinden Elde Edilen Uçucu Küllerin Karakterizasyonu. TÇMB, Ankara, 1998.
- [7] Jueshi, Q., Caijun, S. ve Zhi, W., Activation of blended cements containing fly ash. Cement and Concrete Research 31(8) (2001) 1121-1127.

## Atıkların Yeniden Kullanımı: Yapı Malzemesi Üretim Çalışmaları

- [8] Aruntaş, H. Y., Uçucu küllerin inşaat sektöründe kullanım potansiyeli. J. Fac. Eng. Archit. Gazi Univ. 21(1) (2006) 193-203.
- [9] Ropelewski, L. ve Neufeld, R. D., Thermal inertia properties of autoclaved aerated concrete. J. Energy Eng.-ASCE. 125(2) (1999) 59-75.
- [10] Montemor, M.F., Simoes, A.M.P. and Salta, M.M., Effect of fly ash on concrete reinforcement corrosion studied by EIS. Cem. Concr. Compos. 22(3) (2000) 175-185.
- [11] Başar, H.M. and Aksoy, N.D., Investigation of usability of waste foundry sand in ready-mixed concrete, J. Eng. Nat. Sci. Sigma, 31 (2013) 517-528.
- [12] TS EN 933-10 Tests for geometrical properties of aggregates-part 10: assessment of fines-grading of filler aggregates (Air Jet Sieving), In: Turkish Standards.
- [13] ASTM C1437-15 Standard test method for flow of hydraulic cement mortar. In: ASTM International.
- [14] ASTM C348-14 Standard test method for flexural strength of hydraulic-cement mortars. In: ASTM International.
- [15] ASTM C349-14 Standard test method for compressive strength of hydraulic-cement mortars (Using Portions of Prisms Broken in Flexure). In: ASTM International.
- [16] TS EN 772-3 Methods of Test for Masonry Units-Part 3: Determination of Net Volume and Percentage of Voids of Clay Masonry Units by Hydrostatic Weighing; Türk Standardları Enstitüsü (Turkish Standards Institution): Ankara, Turkey.
- [17] Doğan Sağlamtimur, N., Waste foundry sand usage for building material production: A first geopolymer record in material reuse. Adv. Civ. Eng. 2018 (2018) 1-10.
- [18] Süzgeç, E., Doğan Sağlamtimur, N., Bozkurt, V. ve Ertürk, S., Geopolymer's radiation absorption detected by geiger-muller counter. IOP Conference Series: Mater. Sci. Eng., 706, 012004 (2019a) 1-5.
- [19] Süzgeç, E., Doğan Sağlamtimur, N., Bozkurt, V. ve Ertürk, S., Radiation absorption of geopolymer building materials: Preliminary results from new design measurement system. 1<sup>st</sup> International Conference on Environment, Technology and Management (ICETEM) Proceedings Book, ISBN: 978-975-8062-33-1, 2019b, pp. 1196-1203.
- [20] Öz, H. Ö, Doğan Sağlamtimur, N., Bilgil, A., Tamer, A. ve Günaydın, K., Process development of fly ash-based geopolymer mortars in view of mechanical characteristics. Materials, 14, 11, 2935 (2021) 1-23.
- [21] Ersan, Y. C., Gulcimen, S., Imis, T. N., Saygın, O. ve Uzal, N., Life cycle assessment of lightweight concrete containing recycled plastics and fly ash. Eur. J. Environ. Civ. Eng. (2020) 1-14.
- [22] Doğan Sağlamtimur, N., Bilgil, A., Demir, M., Yılmaz, M. L., Polat, S., Özen, E. ve Dördü, H. A reuse study from Niğde, Turkey: The conversion of industrial ash to geopolymer. Desalin. Water Treat. 57(6) (2016) 2604-2615.



# GERİ DÖNÜŞÜM ATIKLARININ YÖNETİMİNDE KARŞILAŞILAN SORUNLAR VE GERİ DÖNÜŞÜM BİLİNCİNİN GELİŞTİRİLMESİ İÇİN UYGULANAN PROJE ÖRNEKLERİ

Köksal Sarıcaoğlu<sup>1</sup>

## ÖZET

Bu çalışmada; 2005 yılından beri, Gazi Belediyesi'nde başlayan 2009 yılında üç belde (Gazi, İlkadım ve Yeşilkent) belediyesinin birleştirilmesi ile kurulan İlkadım ilçe belediyesinde bugüne kadar devam etmekte olan "Geri Kazanım Projesinde" (GEKAP) yapılanlar, karşılaşılan problemler, bu problemlerin çözülebilenleri veya çözülemeyenleri anlatılmakta ve çözüm önerileri sunulmaktadır.

*Anahtar Kelimeler: Geri Dönüşüm, Atık Yönetimi, Atık Eğitimi*

## ABSTRACT

In this article, since 2005, the Recovery Project (GEKAP) in the İlkadım District Municipality, which was established by the merger of three municipalities (Gazi, İlkadım and Yeşilkent) in 2009, which started first in the municipality of Gazi, the problems encountered, the problems that can be solved or not solved, has been described and our solution proposals have been presented. About 16 years of experience in the management of packaging waste will be transferred to you.

*Key Words: Recycle, Waste Management, Waste Education*

---

<sup>1</sup> Dr., Samsun İlkadım Belediyesi, AR-GE Müdürlüğü, ksaricaoglu@gmail.com Kadıköy Mahallesi, Barış Bulvarı, No:157, belediye@ilkadim.bel.tr

### 1. GİRİŞ

Tabii kaynakların sınırsız olmadığı, dikkatlice kullanılmadığı takdirde bir gün bu kaynakların tüeneceği şüphesizdir. Kaynak israfını önlemenin yanında, hayat standartlarını yükseltme çabaları ve ortaya çıkan enerji krizi ile bu gerçeği gören gelişmiş ülkeler atıkların geri kazanılması ve tekrar kullanılması için yöntemler aramış ve geliştirmişlerdir. Aynı gerçeğin ışığı altında Avrupa Birliği üyesi ülkelerde atıkların geri kazanılması şartını getirmiştir.

Kalkınma çabasında olan ve ekonomik zorluklarla karşı karşıya bulunan gelişmekte olan ülkelerin de tabii kaynaklarından uzun vadede ve maksimum bir şekilde faydalanabilmeleri için atık israfına son vermeleri, ekonomik değeri olan maddeleri geri kazanma ve tekrar kullanma yöntemlerini araştırmaları gerekmektedir.

Ülkemizde yerel yönetimler geri kazanma konusunda çalışmalara başlamışlardır. 01.01.2005 tarihinde yürürlüğe giren “Ambalaj Atıkları Kontrolü Yönetmeliği” [1] ile bu çalışmalar hızlanmıştır. Geri kazanımın başarılı olabilmesi için öncelikle atıkların kaynağında ayrılması gereklidir. Kaynakta ayırmanın başarısı sisteminde başarısı olacaktır. Bu amaç için önce halkın bilinçlenmesi, eğitilmesi, gerekli yükümlülüklerin halka anlatılması gerekmektedir [2]. Halk desteği olmaksızın bu projelerin başarılı olması mümkün değildir.

Ambalaj atıkları konusunda yapılan yasal düzenlemelerin ve değişikliklerin muhatapları tarafından tam olarak bilinmemesi ve gerekli olan bilgilere sahip olmamaları bu konudaki önemli sorunlardan bir tanesidir.

Bu sorunun çözümü; ilgili tarafların eğitilmesidir. Bu eğitimlerin periyodik olarak yapılabileceği gibi talep üzerine de yapılmalıdır. Ancak burada dikkat edilecek en önemli husus eğitimlerin sürekli olmasıdır.

1. Ambalaj üreticilerinin eğitilmesi
2. Öğrencileri eğitilmesi
3. Kurumların eğitilmesi
4. Halkın eğitilmesi

Eski Yönetmelik olan **Ambalaj Atıklarının Kontrolün Yönetmeliği** Madde 23 (2)'de eğitimin yapılması gereken yerler açıkça ifade edilmiştir.

*“Apartman, site yönetimleri, okullar, üniversiteler, kamu kurum ve kuruluşları, hastaneler, oteller, lokantalar, büfeler, şehirlerarası otobüs terminalleri, demir yolu istasyonları, limanlar, sağlık kuruluşları, spor kompleksleri, marketler, satış noktaları, iş ve alış merkezleri, stadyumlar gibi ambalaj atığının olduğu noktada belediyenin toplama sistemine bedelsiz vermekle yükümlüdür.”*

Yeni çıkartılan **Sıfır Atık Yönetmeliğinde** [3] belediyenin Sıfır Atık Belgesi alması durumunda bedelsiz şart aranmaksızın belediyenin sistemine verilmesi getirilmiştir.



## 2. “GEKAP” KAPSAMINDA YAPILAN ÇALIŞMALAR

### 2.1. Okul Eğitimleri

Öncelikle GEKAP projesini tanıtmak ve aynı zamanda logo olarak da kullanılmak üzere bir maskot tasarlanmıştır. Bu maskot eğitimlerde öncelikli grup olan öğrencilerin ilgisini çekecek şekilde tasarlanmıştır.

Başlangıçta “Atık adam” adı ile tanıtılan bu maskot şişman ve göbeği üzerinde geri dönüşüm işareti taşıyan ambalaj atıklarını toplayan bir kahraman olarak sunulmuştur. Okullarda eğitimler bu maskot eşliğinde yapılmıştır. Öğrencilerin “Atık Abi” şeklinde seslenmesi ile de adı Atık Abi olarak kalmıştır.

Özellikle göbeği üzerindeki geri dönüşüm işareti öğrenciler tarafından çok kolay şekilde benimsenmiş ve öğrenilmiştir. Eğitimlerden sonra öğrencilere hediye olarak çevre temalı etiketler dağıtılmıştır.

### 2.2. Dönüşüme İlkadım Projesi ve Site Eğitimleri

Sitelerden ambalaj atıkları, bitkisel atık yağlar, atık piller ve bayat ekmeklerin katlara monte edilen veya apartman çıkışlarına yerleştirilen ekipmanlar ile toplanmasını sağlayan bir proje olarak tasarlanmıştır. Bu proje ile ambalaj atıkları çöplerden ayrı olarak toplanıp site içine yerleştirilen ambalaj sepetleri aracılığı ile toplanmaktadır. Atık yağlar lavabolara dökülmemekte, atık piller çöp ile karışmamakta ve bayat ekmekler hayvan barınaklarındaki sokak hayvanları için mamaya dönüştürülmüş olmaktadır.

### 2.3. Kurum Eğitimleri

Kamu veya özel kurumların atıklarının bir çoğunluğu ambalaj atığı gibi geri dönüşüm atıklarıdır. Bu kurumlar özellikle sisteme entegre olmaları için yazı ile uyarılarak bilgilendirilmişlerdir. Talepleri olmaları hâlinde veya belediyenin rutin sisteme entegrasyon faaliyetleri çerçevesinde belediye tarafından eğitimler de verilmektedir.

Hastanelerin ambalaj atıkları sisteminin kurulmasında yaşadıkları problemlere çözüm bulabilmeleri için talepleri üzerine **Kamu Hastaneleri Sekreterliğine** “*Ambalaj Atıklarının Yönetimi*” konulu eğitim verilmiş, İlkadım Belediyesinin onlardan beklentileri anlatılmıştır.

Samsun’daki büyük alışveriş merkezlerinden birinde (Bulvar AVM) işletme sahiplerine ambalaj atıkları yönetimi konusunda eğitim verilmiş, eğitimde belediyenin izleyeceği yol bizzat Belediye Başkanı tarafından anlatılmıştır.

### 2.4. Tecrübe Paylaşım Eğitimleri

Belediyenin geri dönüşüm çalışmalarını **Filistin’den gelen Belediye Başkanlarına** ve **Kırgızistan’dan gelen vekillere** de anlatarak bilgi aktarımı sağlanmıştır.

## Uluslararası Genel Çevre Sorunlarına Bakış

İlçemiz içinde yaptığımız çalışmalar ve bu çalışmalardan elde edilen tecrübeler MEMUR-SEN'in daveti ile "Yerel Yönetimlerim Tarıma, Tabiata ve Çevreye Bakışı" isimli bir panele katılım sağlayarak diğer belediyeler ile paylaşılmıştır [2].

### 2.5. Çöpünüz Altın Olacak Kampanyası

Çöpün içinde barındırdığı ambalaj atıklarından dolayı altın kadar kıymetli olduğunu halka anlatmak için yürütülen kampanyadır. Bu kampanyada ambalaj atığı verenlere poşet başına bir adet çekiliş bileti verilmiştir. Ay sonunda dağıtılan biletler arasından canlı yayında yapılan bir çekilişle talihlilere 30 adet çeyrek altın dağıtılmıştır.

### 2.6. Çevre Yolu Oyunu

Öğrencilere çevre temalı "Çevre Yolu" isimli bir kart oyunu tasarlanmış, onlara oynatılmış kazananlar ödüllendirilmiştir. Ayrıca öğrencilere oyun belediye tarafından dağıtılmıştır. Bu oyunda çevre ile ilgili sorular sorulmuş, oyundaki cezalar çevre cezaları olarak belirlenmiştir. Böylece öğrencilerin oyun oynarken eğitilmeleri sağlanmıştır.

### 2.7. Gökhan Tepe Konseri

Giriş biletinin bir adet ambalaj atığı olduğu konser düzenlenmiştir. Gençlerin tercih ettiği bir sanatçı şehrin en büyük meydanı olan Cumhuriyet Meydanı'nda konser vermiştir. Konser alanına gelen gençler alana yanlarında getirdikleri ambalaj atığı karşılığında alınmışlardır. Böylece ambalaj atığının değeri vurgulanmıştır.

### 2.8. Ambalaj Atıkları ile Basket Oyunu

Belediye sınırları içinde olan ilköğretim okullarına yönelik bir yarışma olarak düzenlenmiştir. Öğrenciler kendi getirdikleri ambalaj atıklarını belirli mesafeden ambalaj atığı toplama kutusuna belirli bir sürede atarak yarıştırdılar. Süre sonunda kim ne kadar çok ambalaj atığı attı ise parça başı sayılarak yarışmanın galibi belirlenmiştir. Dereceye girenlere ödülleri (laptop, tablet, fotoğraf makinesi vb.) verilmiştir.

### 2.9. Ambalaj Atıkları ile İlgili Kısa Film Yarışması

Belediye sınırları içinde olan ilköğretim okullarına yönelik bir kısa film yarışması düzenlenmiştir. Öğrenciler konusu ambalaj atıkları olan senaryolarını kendi yazdıkları kısa filmleri çekmişlerdir. Çekilen bu filmler bir komisyon tarafından değerlendirilip dereceye girenlere ödülleri konserde halkın önünde dağıtılmıştır. Böylece öğrencilerin ambalaj atıkları konusunda neler bildiklerini ve bunları başka kişilere nasıl aktarabildikleri gözlemlenmiştir.

### 2.10. Beş Yıldızlı Resim Yarışması

Belediye sınırları içinde olan ilköğretim okullarına yönelik bir resim yarışması düzenlenmiştir. Öğrenciler konusu Geri Dönüşüm ve Çevre olan resimlerle katılım sağlamıştır. Çizilen resimler bir komisyon tarafından değerlendirilip dereceye giren beş kişi beş yıldızlı tatil çekleri ödüllendirilmiştir.

## Geri Dönüşüm Bilincinin Geliştirilmesi İçin Uygulanan Proje Örnekleri

### 2.11. Atık Abi ile Eğlenceli Deney

Belediye sınırları içinde olan ilköğretim okullarında içinde bilimsel deneylerin olduğu eğlenceli gösteriler düzenledik. Bu gösteriler esnasında öğrencilere Geri Dönüşüm eğitimleri verilmiştir.

### 2.12. 5 lt Bitkisel Atık Yağ Getirin 1 lt Ayçiçek Yağını Götürün Kampanyası

Bu kampanya ile ilçe içindeki evlerden 5 lt bitkisel atık yağı belediyeye getirenlere 1 lt ayçiçek yağı verilmiştir. Bu kampanya ile atık bitkisel yağların zararları anlatılmış, ekolojik sisteme ve şehir kanalizasyon sistemine vereceği zararlar üzerinde durulmuştur. Bu kampanya süresince toplanan bitkisel atık yağ miktarında artış gözlenmiştir.

### 2.13. Geleceğimizi Kurtaralım Projesi

Halk Sağlığı Müdürlüğü, Millî Eğitim Müdürlükleri ile ortak olarak yürüttüğümüz **Geleceğimize sahip çıkalım projesi** ile okullardan bitkisel atık yağları topladık. Proje sonunda toplanan atıkların miktarlarına göre en fazla toplayan okullar ve öğrenciler ödüllendirilmiştir.

### 2.14. Atık Yağ ve Atık Pil Kutusu (AYPIKUT) Projesi

Kendi tasarımı olan bitkisel atık yağ ve atık pillerin birlikte toplanmasını sağlayan bir ekipman (AYPIKUT) belediye sınırları içinde 30 noktaya yerleştirilmiştir [4]. Bu kampanyaya vatandaşın ilgisi üst seviyede olmuştur. Fakat AYPIKUT'ların bazıları kötü niyetli kişiler tarafından tahrip edilmiş, içindeki bitkisel atık yağlar ve atık piller çalınmıştır. Atakum ilçemizde en uygun AYPIKUT noktalarının tespiti ile ilgili çalışmalar da yapılmıştır [5].

### 2.15. Atık Pil Toplama Kampanyaları

Belediye sınırları içindeki okullarda atık pil toplama kampanyaları ile binlerce atık pil toplanmıştır. En fazla atık pil toplayan okullar ve öğrenciler ödüllendirilmiştir.

### 2.16. Çevre Hafıza Oyunu

İsrafın önlenmesi, kaynakların daha verimli kullanılmasını, oluşan atığın miktarının azaltılmasını, etkin toplama sisteminin kurulmasını, atıkların geri dönüştürülmesini kapsayan atık önleme yaklaşımı olarak tanımlanan bir hedef olan “Sıfır Atık”ı oyun ile öğrencilere, öğrenciler aracılığı ile ebeveynlere ve diğer yetişkinlere anlatabilmek yolu ile ilgili farkındalığı arttırabilmek için bir oyun hazırlanmıştır. Oyunun basımı yapılmış olup okullarda yarışmalar düzenlenecektir. Oyunun nasıl oynandığı YouTube’da “İlkadım belediyesi çocuklara çevre hafıza oyunu hazırladı” yazarak videoyu izleyerek öğrenilebilir.

### 3. GERİ KAZANMA ÇALIŞMARI KAPSAMINDA KARŞILAŞILAN PROBLEMLER

#### 3.1. Ambalaj Atıklarının Toplanması Belediye Adına Bu İş Yüklenecek Firmaların Konu Hakkında Yeterli Bilgi ve Donanım Sahip Olmaması

İlimizde ve bölgemizde geri dönüşüm sektöründe faaliyet gösteren firmaların azlığı ve mevcut firmaların da hurdacı esnafının bu sektöre dönüşümü şeklinde kurulması neticesinde konu ile ilgili eksik bilgi ve donanım sahiptirler. Zamanla bu konuda profesyonelleşecek olan bu firmaların hizmetlerinin kalitesi de artış gösterecektir. Başlangıçta teknik eleman istihdamında çekinilirken zamanla belediyelerin talepleri ve zorlamaları doğrultusunda bu istihdamın yapılmasında gereklilik anlaşılmaya başlamıştır.

Hurdacı esnafının ambalaj atıklarının toplama işlemine geçmesi esnasında mantalite olarak hâlâ hurdacı zihniyeti ile hareket ettiğinden kendisi toplama ayırma tesisine geri dönüşümlerin gelmesini bekleyerek kaynakta ayrı toplama hizmetinin külfetli ve maliyetli olmasından dolayı direnç göstermektedir. Hurdacı esnafının bu dönüşümü çok sıkıntılı olmaktadır.

#### 3.2. Ambalaj Atıklarının Toplanmasında Kullanılan Telefon Numaralarının Sürekli Değişmesi

Belediye ile çalışan geri dönüşüm firmalarının çalıştığı süre içinde kullandıkları telefon numaraları, sözleşmeleri iptal ettiğinde geçersiz kalmakta idi. Vatandaş tarafından ezberlenen bu numaralar değiştiğinde oluşan iletişim kopmakta idi.

Bu probleme çözüm bulmak için belediye olarak 444'lü bir numara (444 55 06) satın alınmıştır. Geri dönüşüm firması değiştikçe artık telefon değişmediğinden iletişimin kesilmesinin önüne geçilmiş olunmuştur.

#### 3.3. Mevcut Katı Atık Toplama Sisteminin Ambalaj Atıklarının Kaynağında Ayrı Toplanabilmesi İçin Yeterli Olmaması

Konteynır ve yer çöpü şeklinde yapılan çöp toplama hizmeti, ambalaj atıklarının kaynağından ayrı toplanmasının önünde problem olmaktadır. Tüm atıklar aynı konteynıra atıldığından vatandaşlara ambalaj atıkları için bir seçenek verilmiştir. Şehrin uygun olan yerlerinde çöp konteynırlarının yanına "MAVİ NOKTA" denilen ambalaj atıklarının atılacağı toplama ekipmanları konulmuştur.

#### 3.4. Ambalaj Atıkları Toplama Sisteminin Kurulmasında Hurdacı Esnafının Sistem Dışında Kalması

Sistemin kurulması esnasında lisans sahibi olmayan basit hurdacı esnafının sistemin dışına itilmek zorunluluğu doğmaktadır. Ambalaj atıklarının toplanması ya belediye tarafından ya da belediyenin yetkilendirdiği firmalar tarafından toplanma zorunluluğu vardır. Bu durumda hurdacılıkla geçimi sağlayan esnafın ambalaj atıklarını toplaması **suç teşkil etmektedir**.

Bu esnaf sınıfının da sisteme dâhil edilebilmesi için gerekli yasal çalışmaların yapılması gereklidir. Kendilerine birleşerek firma kurmalarını ve hep birlikte bu işin içinde aktif rol almaları teklif edilebilir.

## Geri Dönüşüm Bilincinin Geliştirilmesi İçin Uygulanan Proje Örnekleri

Ambalaj atıkları konusunda yetkisi olmayan bu kesimin denetimlerle kontrol altına alınması gereklidir. Meskûn mahalde belediyelerin ruhsat veremediği bu kişiler zaten ruhsatsız çalışmaktadır. Çevre Şehircilik İl Müdürlükleri de ambalaj atıkları biriktiren, satan, taşıyan bu kişiler hakkında daha fazla denetim yapmalı ve yasal yaptırım uygulamaları arttırmalıdır. Onların yapacağı yaptırımlar belediyenin rahatsızlıktan dolayı yapacaklarında çok daha etkili olacaktır.

### 3.5. Sokak Toplayıcıları Sorunu

Geçmişte “Ambalaj Atıklarının Kontrolün Yönetmeliği’nde” sokak toplayıcıları **yok sayılmaktaydı**. Sokak toplayıcılarını yok saymanın Türkiye’nin gerçekliği ile 2005 yılında çıkan yukarıdaki yönetmeliğe uyum sağlamadığı görülmüştür.

Sıfır Atık Yönetmeliğinin **Mahalli idarelerin görev, yetki ve yükümlülükleri başlıklı 9. Madenin 2. fıkrasının k bendi** ile **sokak toplayıcıların** varlığı kabul edilmiştir.

Sokak toplayıcılarının sistem dışına itilmesi **sosyal ve siyasi problemlere** sebep olacaktır. Bu insanlar zor şartlar altında elde ettikleri düşük gelirlerinin de kaybetmenin acısı ile adli olaylara da sebep olabilecektir. Ayrıca bu insanlar siyasetten, dolayısıyla belediyeden iş talebinde bulunurken geri dönüşüm sistemi yüzünden eldeki gelirlerini kaybetmekle karşı karşıya bırakılması büyük bir sorun olarak belediye başkanlarının karşına çıkacaktır. Bu insanların envanterinin çıkarılması ve sisteme dâhil edilebilmeleri için gerekli yasal çalışmaların yapılması gereklidir.

İlkadım Belediyesi olarak sisteme entegre olmak isteyen lisanslı firma ile çalışmak isteyen sokak toplayıcılarının araçlarını yenilemekte, kıyafetlerini değiştirmekteyiz. Getirdikleri ambalaj atıklarının da firma tarafından satın alınmasını sağlamaktayız. Lisanslı firma ile çalışan sokak toplayıcıları atık ayırma tesisinde 1 öğün yemek yiyebilmektedirler.

### 3.6. Ara Depolama Sorunu

Atık ayırma tesisleri genellikle şehir dışında olması sebebi ile ambalaj atıkları toplama sisteminin sokak toplayıcılarını kapsayacak şekilde kurulabilmesi ve sağlıklı olarak yürütülebilmesi için şehrin uygun yerlerine ara toplama merkezleri kurulması gerekli olmaktadır.

Ambalaj Atıklarının Kontrolün Yönetmeliği Madde 26 (1)’de “Çevre lisanslı toplama ayırma tesisleri, ambalaj atığı yönetim planına bulunması durumunda sözleşme yapılan belediye sınırları içinde **bir adet ambalaj atığı aktarma merkezi** kurulabilir.” denilmektedir.

Bazı belediyelerin gerek nüfusları gerekse alanları büyük olduğundan bu aktarma merkezlerinin sayısının bir tane olması yeterli olmamaktadır. Ara toplama merkezlerinde toplanan atıklar biriktirilmeden günlük olarak ayırma tesisine aktarılmalıdır. İstenilen toplama sisteminin kurulabilmesi için **yeterli miktarda aktarma tesislerinin** kurulmasına yönetmelikle izin verilmelidir.

Sıfır Atık Yönetmeliğinde tanımlar kısmında

*c) Ambalaj atığı aktarma merkezi: Toplanan ambalaj atıklarının toplama ayırma tesislerine ulaştırılmadan önce biriktirilmesi amacıyla belediyeler/belediye birlikleri tarafından kurulan/kurdurulan, işletilen/işlettirilen merkezleri,*

## Uluslararası Genel Çevre Sorunlarına Bakış

Şeklinde tanımlanmış olup, **sayısı hakkında bir kısıtlama yapılmamıştır.**

### 3.7. Büyük Ambalaj Atığı Üreticileri Sorunu

Ambalaj Atıklarının Kontrolün Yönetmeliği Madde 23 (2)'de "Apartman, site yönetimleri, okullar, üniversiteler, kamu kurum ve kuruluşları, hastaneler, oteller, lokantalar, büfeler, şehirlerarası otobüs terminalleri, demir yolu istasyonları, limanlar, sağlık kuruluşları, spor kompleksleri, **marketler, satış noktaları**, iş ve alış merkezleri, stadyumlar gibi ambalaj atığının oluştuğu noktada **belediyenin toplama sistemine bedelsiz vermekle yükümlüdür.**" denilmektedir.

Ambalaj atığı üreticileri olan perakende tedarik zinciri olan büyük alışveriş merkezleri ambalaj atıklarını belediyelerin kurduğu sisteme bedelsiz olarak vermemektedirler. Sisteme entegre olmak ve bedelsiz olarak ambalajı teslim etmek yasal bir zorunluluk olmasına rağmen uygulamada bu gerçekleştirilmemektedir.

Belediye sınırları içinde şubesi olan market zincirlerine yazdığı uyarı yazılar ile bu marketleri ambalaj atığı toplama sistemine entegre etmiştir.

Yeni Sıfır Atık Yönetmeliğinde 300 daireden büyük sitelerin Sıfır Atık Belgesi alması durumunda Lisanslı Geri Dönüşüm Tesislerine (Hammadde olarak) verebilir. Fakat **ikili sistemde** karışık toplanacak geri dönüşüm atıkları aslında doğrudan toplama ayırma tesisleri olan TAT belgeli tesislere verilmesi gereklidir. Yönetmelikte bu konu ile netlik yoktur.

### 3.8. Ambalaj Atıklarının Kaynağından Yetkisiz Kişi veya Firmalar Tarafından Toplanması ve Nakliyesi Sorunu

Ambalajın mülkiyeti: Sıfır atık belgesi alan zincir marketler istedikleri Geri Dönüşüm Lisanslı tesislere verebilir.

#### Sıfır atık yönetim sistemi kuran bina ve yerleşkelerin yükümlülükleri

##### MADDE 10

*4) Sıfır atık yönetim sistemi kapsamında biriktirilen atıklar, mahalli idarelerin sıfır atık belgesi bulunması ve atıkları ayrı toplaması hâlinde mahalli idare tarafından kurulan toplama sistemine; mahalli idarenin sıfır atık belgesi bulunmaması hâlinde sıfır atık yönetim sistemi kapsamında biriktirilen atıklar Bakanlık ve/veya il müdürlüğünden gerekli izin ve/veya çevre lisansı almış atık işleme tesislerine verilebilir.*

Belediye veya yetki verdiği firma ve sıfır atık belgesi olan zincir marketler haricinde bu atıkları toplayanlar suç işlemektedirler. Topladıkları mal çalıntı maldır. Mahalle aralarında ruhsatsız ve kaçak şekilde çalışan, sistemin içinde olmayan hurdacı esnafının topladığı malın nakliyesini gerçekleştirilmesi de yasal değildir. Sistem içindeki kayıtlı nakliye araçları dışında mal taşıyan araçların denetlenmesi ve bu işten men edilerek haklarında yasal işlem yapılması gereklidir. Aksi hâlde sistemin kurulması ve düzgün şekilde yürütülmesi imkânsızdır. Yasadışı şekilde ambalaj atığı toplayan ve nakleden kişi veya işletmelerin büyük bir kısmı bu yaptıklarının yasadışı olduğunu bilmektedir. Yaptıkları işin engellenmesine direnç göstermektedirler. Bu sorunun çözülmesi için

## Gerİ Dönüşüm Bilincinin Geliştirilmesi İçin Uygulanan Proje Örnekleri

belediyenin kolluk kuvveti olan zabitanın yanında gerekirse polise de yetki verilmesi gereklidir ya da yapılacak işlemlerde polisten de destek alınabilmelidir.

### 3.9. Ambalaj Atıkları Kontrol Yönetmeliği'ne Aykırı İş ve İşlemlere Uygulanacak İdari Cezaların Yüksek ve Uygulamasında Sorunların Olması.

2872 Sayılı Çevre Kanununun Madde 20'de İdari nitelikteki cezalar kısmının r bendinde [6]:

*“Bu Kanunda ve yönetmeliklerde öngörülen usul ve esaslara, yasaklara veya sınırlamalara aykırı olarak atık toplayan, taşıyan, geçici ve ara depolama yapan, geri kazanan, geri dönüşüm sağlayan, tekrar kullanan veya bertaraf edenlere 360.000 TL Türk lirasına kadar ceza kesilebilir.*

Sisteme entegrasyon çalışmaları esnasında buna direnen ve yasal görevlerini yerine getirmeyen kişi ve kurumlar için uygulanacak cezaların yüksek oluşu uygulanabilirliğini düşürmektedir. Bu cezanın uygulanacağı sokak toplayıcıları, hurdacı esnafı Sıfır Atık Yönetmeliğine aykırı hareket edenlere bu yasa kapsamında bu cezalara muhatap olacaktır.

Özellikle Sıfır Atık Sisteminin kurulması esnasında bu kişilerin sosyoekonomik durumları bu kadar yüksek cezaların uygulanmasında büyük engeldir. Yapılacak yasal düzenlemelerle bu cezaların uygulanmadan önce eğitim ve bilgilendirme için tutanak ile cezaya muhatap olacak kişi ve kurumların en az bir kez uyarılmaları ve tekrarı hâlinde idari para cezalarının uygulanması sağlanmalıdır. Ayrıca cezaların kurum ve kişiler tarafından ödenebilecek makul bir seviyede olacak şekilde güncellenmelidir. Örneğin *emre itaatsizlikten Kabahatler Kanunu* [7] yaptırımları başlangıç olarak uygulanabilir.

### 3.10. Ambalaj Atıklarının Toplanması ve Yasal Yaptırımların Uygulanması Husunda Siyasi Çekincelerin Mevcudiyeti.

Vatandaşımızın yerel yönetimlere bakış açısı ve yasaların uygulanması esnasındaki tutumları ve tepkileri farklı olmaktadır. Yasanın uygulamasında direnç gösterenlerin maruz kalacağı cezalar onların siyasi davranışlarının değişimine sebep olabilmektedir. Beş yıllık bir hizmet süresince seçmenin bu tutumu da düşünülerek, sistemin yerleştirilmesi çalışmaları ilk üç yıl içinde yapılmalı ve denetimler sıkı şekilde uygulanmalıdır. Yasaların seçime doğru uygulanması esnasında meydana gelebilecek siyasi tutum değişikliklerinin olması siyasi aktörlerde çekinceler oluşturmaktadır.

### 3.11. Atık Yönetimi Konusunda Tüm Paydaşların Yararlanabileceği Herkesin Anlayabileceği Tek Bir Yönetmeliğin Oluşturulması Gereklidir.

Bu konuda bir çalışmanın yürütüldüğü bilinmektedir. Yeni atık yönetimi yönetmeliğinin çıkarılması çalışmalarında bu yönetmeliğin uygulayıcılarından da görüş alınmalıdır (Şu an çıkarılacak yönetmelikler taslak olarak yayımlanmakta ve görüş alınmaktadır). Bu şekilde sürekli yönetmelik tadilatının önüne geçilebilir. Avrupa şartlarından farklılık gösteren ülkemiz şartlarında bir yönetmelik oluşturulmuş olur.

Bu sorunun çözümü için 12.07.2019 tarih 30829 sayılı Sıfır Atık Yönetmeliği çıkartılmıştır.

### 3.12. Atık Yönetimi Konusunda Gerekli Tesislerin Yapılmasında Karşılaşılan Sorunlar

Bilindiği gibi ülkemizdeki birçok belediyenin ekonomik durumu iyi değildir. Çevre konusunda birçok görev de yerel yönetimlere verilmektedir. Belediyeler mevcut ekonomik durumları itibarıyla geri dönüşüm yatırımlarını mali yetersizliklerden dolayı yapamamaktadırlar.

Belediyemiz Ambalaj atıkları konusunda yükümlüğünü lisanslı firmanın hizmete açtığı atık ayıklama tesisi ile yerine getirmektedir. Ayrıca mülkiyeti kendine ait 1. Sınıf Atık Getirme Merkezine sahiptir ve Atık Getirme Merkezleri Yönetmeliğine [8] uygun atık getirme merkezimiz hizmete girmiştir. Yönetmelik gereği atık getirme merkezlerinin merkezde olması istenmektedir. Fakat belediyelerin merkezde arazileri ya bulunmamakta ya da bu araziler ve mekanlar pahalı olduğundan atık getirme merkezlerinin merkezde kurulmasının birçok belediye için imkânı yoktur. Bizim atık getirme merkezimiz nispeten merkeze yakındır. Bu merkezlere vatandaşın atıklarını teslim etmesi gerekirken hem atık getirme merkezlerine ulaşımın güçlüğü hem de vatandaşın atıklarını bu merkezlere getirme alışkanlığının olmaması bu tesislerin kullanılmaması sonucunu doğurmaktadır. Biz ise bu sorunu mobil bir atık toplama aracı ile çözdük. Alo Atık Hattı'nı arayan hemşerilerimizden atıkları bu mobil araç tarafından alınarak atık getirme merkezine götürülmektedir.

## 4. SONUÇ

Geri Dönüşüm Atıklarının yönetimi konusunda tespit edilen sorunlar ve bu sorunların çözümü için önerileri Her belediyenin kendine has sorunları ve çözümleri için olabilecektir. Çünkü her belediyenin imkânları farklıdır. Bir il içinde farklı ilçelerin kuracağı farklı geri dönüşüm sistemleri olabilecektir. Örnek vermek gerekirse her belediyenin farklı ALO ATIK HATTI numaraları olabilir ve bu da kafa karışıklığına neden olacaktır.

Katı atıkların (çöp) ve geri dönüşüm atıklarının toplanması yanında; bitkisel atık yağlar, atık piller, tıbbi atıklar, tehlikeli atıklar vb. birçok farklı atık türü için de toplama sistemleri de oluşturulması gerekliliği vardır.

Aynı il içinde atık yönetimi için alınan kararların ve belirlenen yöntemlerin yeknesaklığını sağlamak, ekonomik bir planlama yapabilmek için, tıpkı su kanalizasyon idareleri gibi **atık yönetimi tek bir çatı altında toplanmalıdır.**

Her il için ilin tamamında atık konusunda tek yetkili olan “**Atık Yönetimi Genel Müdürlüğü**” kurulmalıdır. Ayrıca;

*Belediyelerde her konuda olduğu gibi çevreye olan bakış açısı doğrudan mevcut belediye başkanının bakış açısıdır. Başkanlar çevreye önem veriyorsa o belediyeler de çevreye önem verir. Maalesef bu önermenin tersi de doğrudur.*



### 5. TEŞEKKÜR

On altı yıl boyunca önce Gazi Belde Belediyesi sonra İlkadım İlçe Belediyesinde çalışmalarımızı birlikte Çevre Koruma ve Kontrol Müdürlüğü elemanlarına ve bu çalışmalara destek veren belediye başkanlarımıza teşekkür ederim.

### KAYNAKLAR

- [1] Ambalaj Atıkları Kontrolü Yönetmeliği, Çevre Şehircilik Bakanlığı, 30.07.2004 tarih 25538 sayılı Resmî Gazete
- [2] Sarıcaoğlu, K., Yerel Yönetimlerin Tarıma, Tabiata ve Çevreye Bakışı Paneli, MemurSen Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ortak Paneli, 04.11.2014, ANKARA
- [3] Sıfır Atık Yönetmeliği, Çevre Şehircilik Bakanlığı, 12.07.2019 tarih 30829 sayılı Resmî Gazete
- [4] Sarıcaoğlu, K., Bitkisel Atık Yağ ve Atık Pil Toplamada Birleşik Sistem: AYPİKUT, 10-12 Ekim 2019, Gebze/ KOCAELİ
- [5] Boyacı, A., Şişman, A., Sarıcaoğlu, K., Site selection for waste vegetable oil and waste battery collectionboxes: a GIS-based hybrid hesitant fuzzy decision-making approach, Environmental Science and Pollution Research (2021) 28:17431–17444
- [6] Çevre Kanunu, Çevre Şehircilik Bakanlığı, 11.08.1983 tarih 18132 sayılı Resmî Gazete
- [7] Kabahatler Kanunu, 31.03.2005 tarih 25772 sayılı Resmî Gazete
- [8] Atık Getirme Merkezleri Tebliği, Çevre Şehircilik Bakanlığı, 31.12.2014 tarih 29222 sayılı Resmî Gazete



# SİVAS BELEDİYESİ ATIKSU ARITMA TESİSİ İÇİN ÖNERİLEN ÇAMUR GERİ KAZANIM/BERTARAF YÖNTEMLERİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Turgay Bişgin<sup>1</sup> - Ahmet Turan Bozpolat<sup>2</sup> - Meltem Sarioğlu Cebeci<sup>3</sup>

## ÖZET

Ülkemiz ve dünyada yeni arıtma tesislerinin (AAT)'lerin hızla çoğalması ve bunların çoğunun kimyasal ve biyolojik atıksu arıtma tesisi olması ve çok çamur üretmesi nedeniyle çamur oluşumu sürekli olarak artmaktadır. Bununla birlikte, çamur standartları, uygun çamur bertaraf seçeneklerini düzenleyen ve kısıtlayan Türk ve AB mevzuatına adapte edilmesinin ardından daha zorlayıcı hâle gelmiştir. Atık depolama alanlarına bertaraf çok dikkatli yapılmalıdır. Sivas Atık Su Arıtma tesisi çamurlarının geri kazanım/bertarafı için şimdye kadar üç alternatif dikkate alınmıştır. Bu alternatifler; çamurun toprakta kullanılması, düzenli depolanması ve çamurun yakılmasıdır.

Atıksu yönetmeliğinde, bu tip çamurların geri kazanımı mümkün değilse düzenli depolama alanlarında bertaraf edilmesi uygun görülmüştür. Ancak yapılan deneyler sonucunda çamurun toksik özelliklerinden dolayı toprak, deniz, göl gibi alıcı ortamlara karışması engellenmesi önerilmiştir[1].

Diğer fosil yakıtların kalorifik değerleri ile karşılaştırıldığında Sivas AAT çamurunun kalorifik değeri oldukça yüksek olduğu saptanmıştır. Bu yüzden, arıtma çamurunun yakılarak bertarafı tavsiye edilmiştir. Fakat bu kalorifik değerini dönemsel olarak kontrolü yapılmalıdır. Sivas AAT'nin çamurunun yakınındaki çimento fabrikasında verimli olarak yakılması için arıtma çamurunun yaklaşık olarak %90 KM'ye ulaşması gerekmektedir.

Tüm değerlendirmeler sonucunda Sivas AAT için (Alternatif 2); belt kurutucu ile katı miktarını %90'a çıkartmak ve daha sonra bir çimento fabrikasının Sivas şubesinde yaktırma seçilmiş, İlk maliyet ve toplam maliyetler de göz önüne alındığında bu seçenek en avantajlı konumdadır.

**Anahtar Kelimeler:** *Atıksu, Arıtma Çamuru, Bertaraf, Kurutma, Yakma*

## ABSTRACT

Sludge production is constantly increasing due to the rapid proliferation of new treatment plants (WWTP) in our country and in the world, and most of them being chemical and biological wastewater treatment plants and producing a lot of sludge. However, sludge standards have become more stringent after they were adapted to Turkish and EU legislation regulating and restricting suitable sludge disposal options. Disposal to landfills should be done very carefully. Three alternatives have been considered so far for the recovery/disposal of Sivas Wastewater Treatment plant sludge. These alternatives are; the use of sludge in the soil, its regular storage and incineration of sludge.

1 Su ve Kanalizasyon İşleri Müdürlüğü, Sivas Belediyesi, turgaybisgin@gmail.com, Orcid id:https://orcid.org/0000-0003-2426-0053

2 Avrupa Birliği Koordinasyon Ofisi, Sivas Belediyesi, ahmetturanbozpolat@hotmail.com Orcid id:https://orcid.org/0000-0002-2437-378X

3 Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Sivas, sarioglu@cumhuriyet.edu.tr, Orcid id:https://orcid.org/0000-0002-3636-0388

## Uluslararası Genel Çevre Sorunlarına Bakış

In the wastewater regulation, if it is not possible to recycle this type of sludge, it is deemed appropriate to dispose of it in landfills. However, as a result of the experiments, it was suggested to prevent the mixing of sludge with receiving environments such as soil, sea, and lake due to its toxic properties[1].

When compared with the calorific values of other fossil fuels, the calorific value of Sivas WWTP sludge was found to be quite high. Therefore, it is recommended to dispose of the treatment sludge by incineration. However, this calorific value should be checked periodically. In order for the sludge of Sivas WWTP to be burned efficiently in the cement plant near it, the treatment sludge should reach approximately 90%SM (solid matter).

As a result of all evaluations, for Sivas WWTP (Alternative 2); It was chosen to increase the solid amount to 90% with a belt dryer and then burn it in the Sivas branch of a cement factory. Considering the initial cost and total costs, this option is in the most advantageous position.

**Key words:** Wastewater, Sewage Sludge, Disposal, Drying, Incineration

### 1. GİRİŞ

Ülkemizde ve tüm dünyada artan nüfus, tüketim alışkanlıklarının değişmesi, su tüketim oranının artması, buna bağlı olarak atıksu ile arıtma çamuru miktarındaki artış ve nihai olarak da güvenilir arıtma ve bertaraf teknolojilerine yönelik gittikçe önem kazanmaktadır. Evsel atıksu ve arıtma çamurlarının; organik madde, enerji ve besi maddesi içeriğiyle (azot ve fosfor) geri kazanılması ekonomik, çevresel ve hatta sosyal açılarından büyük önem arz etmektedir. Öte yandan, ulusal ve uluslararası mevzuatın getirdiği bazı sorumluluklar ve şartlar da göz önünde bulundurulmalıdır.

Günümüzde atıksu arıtma tesislerinde, çamur yönetimi teknik ve ekolojik uygulamalar açısından çok önemlidir. Atıksuların arıtılmasında aerobik biyolojik proses (aktif çamur gibi) yaygın kullanılan önemli bir adımdır. Ancak oluşan fazla miktardaki arıtma çamuru, AAT'lerde nihai bertaraf yapılması gereken çözüm bekleyen önemli bir problemdir.

Atıksu arıtma sistemi çamur, kum ve köpük tutma birimlerini de barındırır. Arıtma işlemi sonunda çıkan çamur genellikle sıvı veya yarı katı formda olup kullanılan prosese ve işletmeye bağlı olarak %0.25-12 oranında katı içermektedir. Çamur bertarafının karmaşık ve zor olmasının en önemli sebepleri özetle,

- Arıtılmamış atıksu içindeki önemli miktarlarda koku veren maddeler
- Biyolojik arıtmada oluşan ve uzaklaştırılması gereken çamurun, ham atıksu içerisindeki organik maddelerden farklı bir yapıda, bozunma ve kokuşma eğiliminde olması
- Çamurun sadece küçük bir kısmının katı madde, büyük bir kısmının ise sudan oluşması ve bu yüzden de büyük hacimler işgal etmesidir [2].

Çamur bertaraf işlemi, maliyetli işlem olup, arıtma tesisinde çamur bertaraf yöntemleri tesisin toplam yatırım maliyetinin %30-40'ını, işletme maliyetinin ise takribi %50'lik bir kısmını kapsamaktadır.

Sivas Atık Su Arıtma Tesisinde çamur miktarı günlük 80-100 ton arasında değişmekte olup dekantörden çıkan çamur %20-22 KM miktarına ulaşmaktadır. AAT işletmeye alındığı 2009 yılından bu zamana kadar oluşan çamur, çimento fabrikası tarafından daha önce kil ocağı olarak kullanılmış alandaki geçici çamur depolama sahasında depolanmaktadır.

## Çamur Geri Kazanım/Bertaraf Yöntemleri ve Değerlendirilmesi

Bu zamana kadar Sivas Belediyesi Su ve Kanalizasyon İşleri Müdürlüğü (SİBESKİ) ve Sivas AAT işletme yetkilileri çamur yönetimi adına bazı çalışmalar yapmıştır. Bu projelerin başlıcaları,

- Sivas'ta Topraklaştırma Çevresel Pilot Projenin Geliştirilmesi, Re-Q-BodenGmbH/AHT GROUP AG, 2011
- Arıtma Çamuru I.Tip Depolama Bertaraf Projesi, 2013
- Sivas AAT Çamurun Mekanik Olarak Kurutulmasına Yönelik Çalışma, 2014
- Sivas Belediyesi Kentsel AAT Çamurlarının Bertaraf/ Geri Kazanım Yöntemleri için Karakterizasyon Çalışması, TÜBİTAK, 2018
- Sivas AAT Çamurun Tesis İçinde Yakılmasına Yönelik Çalışma, 2020

Sivas'ta Topraklaştırma Çevresel Pilot Projenin Geliştirilmesi projesinde, arıtma çamurunun geri kazanımı/bertarafı için üç farklı seçeneği incelemiştir; bunlar, tarımsal kullanım, gömme ve topraklaştırmadır. Bu üç seçenek içerisinde topraklaştırma işleminin çevreye en uygun seçenek olduğu vurgulanmıştır. Bu durumu dikkate alan Sivas Belediyesi, Sivas'ta topraklaştırma işleminin uygulanması için bir çevresel pilot proje geliştirilmesi amacıyla danışmanı fizibilite çalışması hazırlamakla görevlendirmiştir. Bu fizibilite çalışması pilot projenin ilk safhası olan araştırma ve fizibilitesini oluşturmaktadır [3].

Arıtma Çamuru I. Tip Depolama Bertaraf Projesi'nde arıtma çamurunun depolama tesisinde bertarafı ele alınmış fakat çamurda yapılan deneyler sonucunda bazı parametrelerin sınırları aştığı değerlendirilmesi yapılmış olup, çamurun bu şekildeki bertarafına izin verilmemiştir.

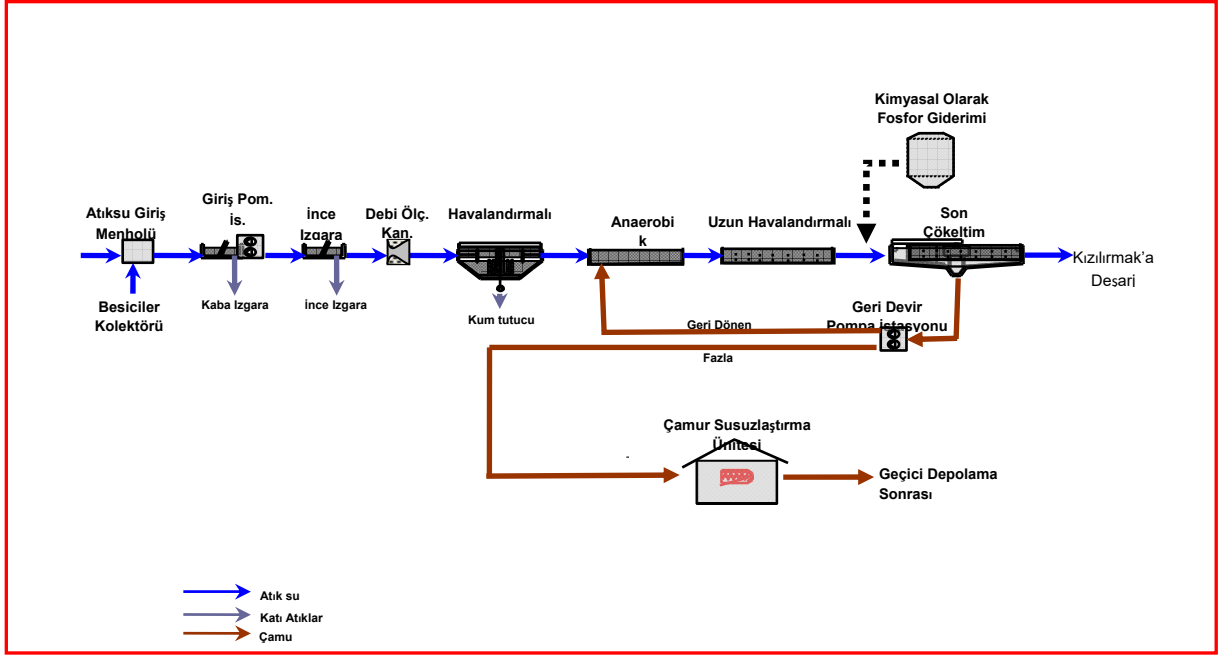
Bu makale Sivas AAT için daha önce değerlendirilmiş olan bertaraf yöntemlerini de dikkate alarak, güncel arıtma çamuru bertaraf alternatifleri de inceleyerek mühendislik açısından en uygun (ekonomik ve teknik) alternatifleri değerlendirmektedir.

## 2. SİVAS ATIKSU ARITMA TESİSİ GENEL BİLGİLER

Sivas Belediyesi tarafından ihale edilerek yapımına 2007 yılında başlanan Kentsel Atık Su Arıtma Tesisi, Şubat 2009 yılında tamamlanarak işletmeye alınmıştır. 78.516 m<sup>3</sup>/gün kapasiteli tesis, uzun havalandırılmalı aktif çamur sistemine göre tasarlanmış olup karbon, azot ve fosfor giderimi yapılmaktadır. Tesisin kapladığı alan 116.000 m<sup>2</sup>'dir.

Sivas Atık Su Arıtma Tesisi uzun havalandırma aktif çamur sistemini kullanmaktadır. Çamur yaşı 25 gün olarak seçilmiştir. Çamur yaşının yüksek olmasından dolayı oldukça stabilize edilmiş bir çamur elde edilmektedir. Biyolojik proseslerden elde edilen yaklaşık %1 katı miktarı olan aktif çamur, Çamur Susuzlaştırma Binası'nda bulunan üç adet, 60 m<sup>3</sup>/sa kapasiteli dekantörlerde susuzlaştırılarak %20-25 katı miktarına ulaştırıldıktan sonra, oluşabilecek koku ve biyolojik aktiviteyi engelleyebilmek adına kireç ilavesi yapılmaktadır. Sivas AAT'den çıkan çamur miktarı günlük 80-100 ton arasında değişmektedir. Bu zamana kadar oluşan çamur, çimento fabrikası tarafından daha önce kil ocağı olarak kullanılmış alanda geçici çamur depolama alanında depolanmaktadır. Sivas AAT akım şeması 1'de verilmiş olup tesise ait fotoğrafta Şekil 2'de verilmiştir.

## Uluslararası Genel Çevre Sorunlarına Bakış



Şekil 1. Sivas AAT Akım Şeması



Şekil 2. Sivas AAT Genel Görünüş

## Çamur Geri Kazanım/Bertaraf Yöntemleri ve Değerlendirilmesi

### 2.1. Sivas Atıksu Arıtma Tesisi Çamurunun Karakterizasyonu

Sivas Atık Su Arıtma tesisinden çıkan çamurun, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu Marmara Araştırma Merkezi, Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü tarafından yapılan Sivas Belediyesi Kentsel AAT Çamurlarının Bertaraf/Geri Kazanım Yöntemleri için Karakterizasyon Çalışması kapsamında karakterizasyonu yapılmıştır. Bu karakterizasyon çalışmaları TÜBİTAK MAM laboratuvarlarında gerçekleştirilmiş olup nem, katı madde içeriği ve organik/inorganik madde miktarları ile pH, üst/alt ısı değerler, kısa ve elementel analiz ve XRD analizleri yapılmıştır.

Sivas AAT çamurunun fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları Tablo 1’de verilmiştir.

**Tablo 1. Sivas AAT çamurunun fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları (TÜBİTAK,2018)**

Parametre	Analiz Sonuçları
Görünüm / Koku	Kahverengi/ Hafif Kokulu
pH değeri (Sulu çözelti)	8,16
Nem miktarı (%ağırlık)	80,58
Katı madde içeriği (%ağırlık)	19,42
Organik madde miktarı (%ağırlık)	14,42
İnorganik madde miktarı (%ağırlık)	5
Toplam Organik Karbon (TOK) (mg/kg)	256200
Toplam Organik Karbon (TOK) (%)	25,62

Kurutulmuş çamur örneğine ve stabilize arıtma çamuruna yapılan analiz sonuçları Tablo 2’de verilmiştir. Ayrıca “Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik” kapsamında EK I-B sınır değerleri de verilmiştir.

**Tablo 2. Sivas AAT çamurundaki Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik” kapsamında EK I-B analiz sonuçları (TÜBİTAK,2018)**

Parametre	Birim	Analiz Sonuçları	Sınır Değerler
Kurşun	mg kg <sup>-1</sup> kuru madde	23,77	750
Kadmiyum	mg kg <sup>-1</sup> kuru madde	0,67	10
Krom	mg kg <sup>-1</sup> kuru madde	101,13	1000
Bakır	mg kg <sup>-1</sup> kuru madde	147,07	1000
Nikel	mg kg <sup>-1</sup> kuru madde	71,34	300
Çinko	mg kg <sup>-1</sup> kuru madde	621,87	2500
Civa	mg kg <sup>-1</sup> kuru madde	1,71	10
Azot (TKN)	mg kg <sup>-1</sup> kuru madde	52721	-
Fosfor (P)	mg kg <sup>-1</sup> kuru madde	22594	-
pH	-	8,16	-
İletkenlik	microS/cm	12690	-
Nem	%	81,35	-
Organik Madde (550°C)	%	14,42	-
AOX	mg kg <sup>-1</sup> kuru madde	43,04	-
LAS	mg kg <sup>-1</sup> kuru madde	<22,3	-
NPE	mg kg <sup>-1</sup> kuru madde	<0,93	-
DEHP	mg kg <sup>-1</sup> kuru madde	<0,02	-
PAH	mg kg <sup>-1</sup> kuru madde	1,34	-

## Uluslararası Genel Çevre Sorunlarına Bakış

Parametre	Birim	Analiz Sonuçları	Sınır Değerler
PCB	mg kg <sup>-1</sup> kuru madde	<0,5	-
PCDD/F	ngTE/kg	0,0003	-
Nem (107°C)	%orijinal bazda	81,32	-
	%hava kuru bazda	3,95	-
	%kuru bazda	-	-
Kül (950°C)	%orijinal bazda	6,16	-
	%hava kuru bazda	31,70	-
	%kuru bazda	33,00	-
Uçucu (575°C)	%orijinal bazda	11,74	-
	%hava kuru bazda	60,47	-
	%kuru bazda	62,95	-
Sabit Karbon	%orijinal bazda	0,75	-
	%hava kuru bazda	3,88	-
	%kuru bazda	4,05	-
Kükürt	%orijinal bazda	0,14	-
	%hava kuru bazda	0,71	-
	%kuru bazda	0,74	-
Üst Isıl Değer	cal/g orijinal bazda	682	-
	cal/g hava kuru bazda	3514	-
	cal/g kuru bazda	3658	-
Alt Isıl Değer	cal/g orijinal bazda	191	-
	cal/g hava kuru bazda	3268	-
	cal/g kuru bazda	3425	-

Arıtma çamurunun Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik (26.12.2019 tarih ve 30990 sayılı Resmî Gazete)” EK-II sınır değerlerinin analiz sonuçları Tablo 3’te verilmiştir.

**Tablo 3. Sivas AAT Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik kapsamında analiz sonuçları (TÜBİTAK,2018)**

No	Parametre	Analiz Sonuçları (mg/L)	Sınır Değer (mg/L)		
			I.Sınıf Depolama Tesisleri	II.Sınıf Depolama Tesisleri	III.Sınıf Depolama Tesisleri
1	As (Arsenik)	0,28	2,5	0,2	0,05
2	Ba (Baryum)	0,091	30	10	2
3	Cd (Kadmium)	0,0003	0,5	0,1	0,04
4	Cr (Toplam krom)	0,115	7	1	0,05
5	Cu (Bakır)	0,166	10	5	0,2
6	Hg (Civa)	0,001	0,2	0,02	0,001
7	Mo (Molibden)	0,0238	3	1	0,05
8	Ni (Nikel)	1,05	4	1	0,04
9	Pb (Kurşun)	0,012	5	1	0,05
10	Sb (Antimon)	0,0084	0,5	0,07	0,006
11	Se (Selenyum)	0,022	0,7	0,05	0,01
12	Zn (Çinko)	0,877	20	5	0,4
13	Klorür	53,56	2500	1500	80
14	Florür	0,34	50	15	1
15	Sülfat	166	5000	2000	100
16	ÇOK (Çözülmüş organik karbon)	8255	100	80	50



## Çamur Geri Kazanım/Bertaraf Yöntemleri ve Değerlendirilmesi

No	Parametre	Analiz Sonuçları (mg/L)	Sınır Değer (mg/L)		
			I.Sınıf Depolama Tesisleri	II.Sınıf Depolama Tesisleri	III.Sınıf Depolama Tesisleri
17	TÇK (Toplam çözünmüş katı)	5460	10000	6000	400
18	TOK (Toplam organik karbon)	256200	%6	%5	30000

Not: Çözünmüş Organik Karbon (ÇOK) sınır değeri atığın kendi pH değerinde sağlanamıyorsa, pH = 7,5 – 8 değerinde test tekrarlanır ve sınır değerin aşılmadığı tespit edilir. Sınır değeri aşılmıyorsa; Çözünmüş Organik Karbon (ÇOK) değerinin kabul kriterlerine uygun olduğu kabul edilir.

Sivas Atık Su Arıtma tesisinin çamurlarının geri kazanım/bertarafı için üç seçenek ele alınmıştır. Bu seçenekler çamurun toprakta kullanılması, düzenli depolanması ve çamurun yakılmasıdır.

Analiz değerlerine göre, Sivas AAT’de oluşan çamurun “Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik”nde verilen sınır değerlerine uyduğu görülmüştür (Tablo 2). Fakat arıtma çamurunun toprakta kullanılma seçeneği düşünülerek, biyoluminesans bakterisi ile ekotoksikite analizi yapılmıştır. Bulgulara göre, örneğin denizel ortam bakterisi vibriofisherisi üzerine **toksik etki gösterdiği** tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra TOK içeriği %25,62 olarak tespit edilmiştir. Arıtma çamurunun su ile karışımı sonucu sulu ortamda olumsuz ekotoksik etkilere sebep olma riski mevcuttur. Ayrıca balık biyodenyi için SKKY Numune Alma ve Analiz Methodları Tebliği’nde verilen şartlara uygun olarak yapılan testlerde ZSF=20 olarak bulunmuştur. SKKY’de yer alan Tablo 19: Karışık Endüstriyel Atık Suların Alıcı Ortama Deşarj Standartları verilmiş olan sınır değeri 10 olarak belirlenmiştir. Bu değerin aşılmış olması nedeniyle numunenin sucul canlılar için **akut açıdan riskli olduğu** sonucuna varılmıştır. Arıtma çamurunun depolanmakta olduğu veya nakliyesi esnasında sucul bir ortamla teması söz konusu olmadığından bu durum sadece bilgi amaçlı olarak verilmiştir.

Arıtma çamurundaki parametrelere bakıldığında, arsenik, krom, nikel, çözünmüş organik karbon, toplam organik karbon gibi parametrelerin “Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik (26.12.2019 tarih ve 30990 sayılı Resmî Gazete)” EK-II sınır değerlerinin I. Sınıf Depolama Tesislerine uygun olduğu görülmüştür (Tablo 3). Fakat yapılan deneyler sonucunda çamurun toksik özelliklerinden dolayı toprak, deniz, göl gibi alıcı ortamlara karışması engellenmelidir.

Sivas AAT çamuru bir diğer bertaraf yöntemi olarak, yakılabilir. Arıtma çamurunun ısı değeri 15.290 kJ/kg olarak bulunmuştur. Diğer fosil yakıtların kalorifik değerleri ile karşılaştırıldığında (Tablo 4) Sivas AAT çamurunun kalorifik değeri oldukça yüksektir.

**Tablo 4. Fosil yakıtlar ve arıtma çamurunun ısı değeri[4].**

Malzeme	Kalorifik Değer (kJ/kg)
Doğal gaz	52.300
Propan bütan	50.000
Dizel	42.000
Benzin	40.000
Kömür	14.700
Tahta	10.500
<b>Sivas AAT Çamuru</b>	<b>15.290Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b>

## Uluslararası Genel Çevre Sorunlarına Bakış

Sivas AAT çamurunun kalorifik değeri oldukça yüksektir, yakıt değeri olan bu çamur T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'ndan lisans almış atık bertaraf tesislerinde veya ek yakıt olarak çimento fabrikalarında rahatlıkla kullanılabilir. Sivas Arıtma Tesisi yerleşkesinin karşısında (yaklaşık olarak 3 km) bir çimento işletmesi bulunmaktadır. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ile yapılan değerlendirmeler neticesinde Sivas AAT'de üretilen çamurun çimento fabrikasında hammadde olarak kullanılmasına izin verilmiştir. Ayrıca bu çimento işletmesi ile yapılan görüşmelerde tesisin çamurunu kendi tesislerinde bertarafının yapabileceklerini ifade etmişlerdir. Ancak yukarıda da belirtildiği üzere, %22 civarında olan çamurun kuruluşunun artırılması, kalorifik değerinin artırılmasının yanında taşıma maliyetini de azaltacaktır.

### 3. ARITMA ÇAMURU BERTARAF YÖNTEMLERİ

Çamur bertarafı, arıtma tesisleri bünyesindeki en karmaşık işlemlerindendir. Atıksu arıtımında otaya çıkan çamur miktarı, atıksuyun %1 ila %6'sı gibi düşük bir yüzdesini teşkil etmekle beraber, çamur arıtma ünitelerinin yatırım bedeli toplam sistem maliyetinin %30-40'ı, işletme maliyeti ise bütün işletme maliyetinin %50'sini oluşturabilmektedir. Bu yüzden en uygun çamur bertaraf metodunun seçilmesi büyük önem taşımaktadır. Çamurun nihai uzaklaştırılmasını kolaylaştırmak bakımından katı madde oranının artırılması veya su oranının azaltılması yani suyunun alınması gerekmektedir.

Atıksu arıtma tesislerinden oluşan arıtma çamurlarının en etkili şekilde uzaklaştırılması amacıyla çamur karakteristiklerinin bilinmesi önemlidir. Bu durum aynı zamanda katı atığın kaynağı, sistemdeki çamur yaşı ve proses tipi ile ilişkilidir. Arıtma proseslerine ve amacına bağlı olarak arıtma çamurları farklılık göstermektedirler. Sivas AAT'den çıkan %25 katı miktarındaki çamur aşağıdaki yöntemlerle geri kazanılabilir veya bertaraf edilebilir[2].

- Toprakta Kullanma
- Düzenli Depolanma
- Yakma

#### 3.1. Toprakta Kullanma

Arıtma çamurları; bünyelerinde organik bileşikleri ve bitki gelişimi için gerekli makro ve mikro bitki besin elementlerini bulundurmaktadırlar. Azot ve fosfor içerikleri arıtma çamurlarının gübre değerini ortaya koymakta, organik madde içerikleri de bu materyalin toprak ıslah etme özelliği açısından ayrı bir önem taşıdığını göstermektedir. Arıtma çamuru, ticari gübrelerden daha düşük besin düzeyine (sırasıyla nitrojen, fosfor ve potasyum açısından) sahip olsa da, tamamen veya kısmen bu gübrelerin yerini tutabilir. Ayrıca, arıtılmış çamurun bu gübrelerden, şişme, su tutma ve besinlerin yavaş ve sabit salınımı gibi daha üstün niteliklere sahip oldukları tespit edilmiştir. Ancak, ağır metaller ve patojenler gibi zehirli bileşikler çamurun faydalı kullanımını azaltmaktadır.

## Çamur Geri Kazanım/Bertaraf Yöntemleri ve Değerlendirilmesi

Aritma çamurlarının (kurutma yapılarak daha fazla stabilizasyon sağlansa da) tarım arazilerinde kullanımı ülkemizde kabul görmemektedir. Evsel ve Kentsel Aritma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik esaslarına göre seçili tarım ürünlerinin olduğu alanlarda bile arıtma çamurunun ve alıcı ortamın (toprağın) sağlaması gereken bazı koşullar mevcuttur. Bunlar;

- a) Stabilize arıtma çamurunun toprakta kullanılabilmesi için EK I-B, EK I-C ve EK I-D de verilen değerlerin hiçbirinin aşılmaması şarttır.
- b) Stabilize arıtma çamurunun uygulanacağı toprakta, ağır metal içeriği EK I-A da verilen değerleri aşamaz. Topraktaki ağır metal konsantrasyonlarından birinin dahi EK I-A da verilen sınır değerleri aşması durumunda, stabilize arıtma çamurunun toprakta kullanılması yasaktır.
- c) Stabilize arıtma çamurunun meyve ağaçları hariç olmak üzere toprağa temas eden ve çığ olarak yenilen meyve ve sebze ürünlerinin yetiştirilmesi amacıyla kullanılan topraklarda kullanılması yasaktır.
- ç) Stabilize arıtma çamuru kullanım miktarı belirlenirken, yer üstü/yer altı sularının, toprağın kalitesinin bozulmaması ve bitkilerin besin maddesi gereksinimleri dikkate alınır.
- d) Toprağın pH değeri 6 dan küçükse stabilize arıtma çamuru toprağa uygulanamaz.
- e) Hayvan otlatma ya da hayvan yemlerinin hasadı yapılacak alanlarda stabilize arıtma çamurunun kullanılması durumunda özellikle coğrafi ve iklim durumları dikkate alınarak kullanımdan en az dört hafta sonra hayvan otlatılabilir ya da hayvan yemlerinin hasadı yapılabilir.

Öte yandan, ülkemizde evsel arıtma çamurunun toprakta kullanımı ile ilgili yasal mevzuatın getirdiği bazı sınırlamalardan dolayı çok sınırlı bir kullanım söz konusu olabilecektir.

### 3.2. Kurutma ve Yakma

Aritma çamurunun kurutulduktan sonra yakılması, Avrupa'da ve tüm dünyada sıklıkla kullanılan ve yakma sonucunda geriye katı madde olarak, diğer bertaraf yöntemlerine göre, daha az son ürün oluşturması nedeniyle yaygın bir yöntemdir. Aritma çamuru bertaraf problemini bütün olarak çözer, ancak çamurun yakılarak bertarafındaki en önemli gereklilik, susuzlaştırılmış çamurun yüksek oranda (%80 ve üstü) kurutulmasıdır. Kurutma sonucunda çamurda,

- Kokuda minimizasyon,
- İleri stabilizasyon,
- Patojen giderme,
- Çamur hacminde azalma,
- Taşıma maliyeti minimizasyonu,
- Kalorifik değerde artış ve yakılmasının kolaylaşması hedeflenir.

Ayrıca, stabilize çamurun yakma tesisinde (diğer yakıtlara ilave olarak) eş yakıt olarak kullanılması fosil yakıt kullanımını azaltmakta (kömür ve doğal gaz), karbon emisyonunu düşürmektedir.

## Uluslararası Genel Çevre Sorunlarına Bakış

Kurutulmuş arıtma çamurlarının ısı değeri genellikle 2.000 kcal/kg – 5.000 kcal/kg arasında yer alır. Bu değer düşük kalite bir linyitin ısı değerine denktir. Arıtma çamurlarının yakılarak bertarafında yanma işlemi sonunda kütle %85- 90 oranında azalır. Yakma tesisleri, susuzlaştırılmış, kısmen veya tamamen kurutulmuş arıtma çamurunu işlediğinden, tesis yakınındaki tesisin yakma için %nem sınırını kontrol etmek gereklidir.

Dünyadaki örneklerine bakıldığında, arıtma çamurunun diğer yakıtlarla karıştırılarak yakılmasında kalorifik değerler ve çamurun yakılabilirliği ile ilgili olarak aşağıdaki hususlar da önemlidir.

**Tablo 5 Katı yakıtla çalışan tesislerde eş yakma prensipleri(5).**

Tesis Tipi	Yakıt Özellikleri	Stabilize çamurla eş yakma
Kömür yakan tesisler	Kömür su muhtevası : %7-11 Kalorifik değer : 27-30 MJ/kg	Susuzlaştırılmış çamurun kullanma sınırı, düşük kömür öğütme kurutma kapasitesine bağlıdır.
Linyit yakan tesisler	Linyit su muhtevası : %46-60 Kalorifik değer : 8.5-12.5 MJ/kg	Susuzlaştırılmış çamur kullanımı, çamurun ağır metal muhtevasına bağlı olup sınırlıdır.

Çamurun yakılabilmesi için kalorifik değeri önemlidir, hâliyle nem miktarı azaldıkça kalorifik değer artmaktadır. Bu nedenle, Sivas AAT'nin tüm çamur ünitelerinin; düzgün bir şekilde çalıştırılması ve kuruluk değerini sağlaması gerekmektedir.

Yakma maliyetinin İdare açısından ekonomik olması için dikkate alınması gereken iki unsur vardır, bunlar; yakma tesisine nakliye maliyeti ve yakma maliyetidir. Yakma işleminin ekonomik bir şekilde karşılanması için, %25-35 kuruluğa sahip evsel atıksu arıtma çamurunun, verimli ve ekonomik taşıma yarıçap mesafesi maksimum 150 km'dir [6]. Aksi durumda taşıma maliyetinden dolayı çamuru çimento tesislerinde yakmak uygun değildir. Ton başına yakma maliyetine, taşıma maliyeti de ekleneceğinden, AAT yetkililerinin çamurun nihai bertarafı süresince, tesislerin devre dışı kaldığı süreler (rutin bakım vs.) ve değişen maliyetleri dikkate almaları gerekecektir.

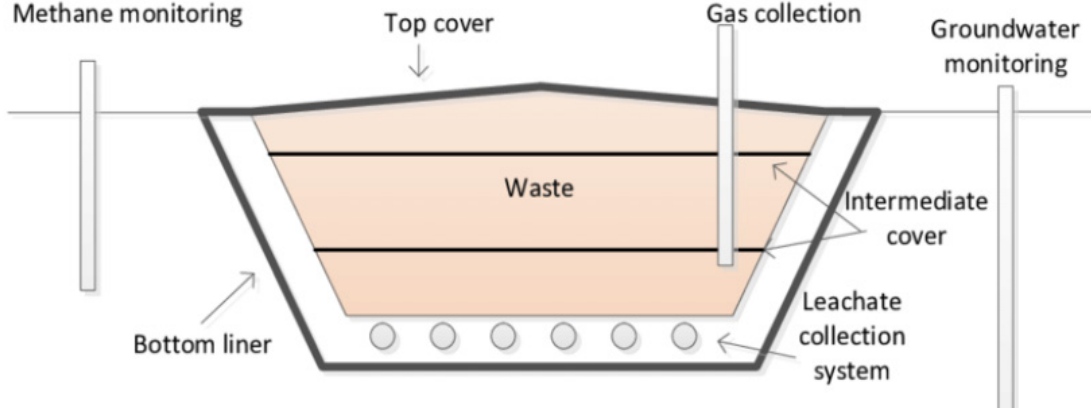
Çimento fabrikalarının stabilize çamuru yakmak için bazı kriterler vardır. Bu kriterler çamurun içindeki metal miktarı, kuruluk miktarı ve kalorifik değeridir. Kuru miktar ve kalorifik değer arttıkça, belediyenin çimento fabrikalarına ödemesi gereken tutar azalmaktadır. %85 kuruluğadaki çamur için bedelsiz alımdan 150 TL/ton'a kadar fiyat değişmektedir.

### 3.3. Düzenli Depolama

Arıtma çamurlarının düzenli depolanması nispeten ucuz ve kolay uygulanır bir yöntem olmasına rağmen, geniş alan ihtiyacı nedeniyle, arıtma çamurunun depolanarak bertarafı, mevcut depo sahalarının hızla dolmasına neden olmaktadır. Üstelik çamurun geri dönüşümünü ve faydalı kullanımını öne çıkaran bir yöntem değildir ve tercih edilmemektedir.

## Çamur Geri Kazanım/Bertaraf Yöntemleri ve Değerlendirilmesi

Çamur bertarafı için limitli bir alternatif olarak yaklaşık 30 km uzaklıktaki düzenli depo sahasına ara örtü kullanılsa bile, bu miktar Sivas AAT'de oluşacak miktara göre çok düşük olacaktır. Şekil 3'te düzenli depo sahasında kesit verilmektedir.



Şekil 3. Düzenli Depo sahasında tipik kesit ve ara örtü

Yönetmeliğe göre, evsel AAT'lerden gelen çamurun atık sahalarında tasfiyesine izin verilebilmesi için %50 katı madde içeriğine ulaşması gerekir. Tesiste üretilen çamurun, susuzlaştırma sonrasında yaklaşık %20 katı miktarına ulaşmaktadır. Bu yöntem düşünülmesi durumunda çamurun katı madde içeriğinin artırılması gerekecektir.

## 4. ARITMA ÇAMURLARI BERTARAFI İLE İLGİLİ YASAL MEVZUAT

### 4.1. Ulusal Mevzuat

Sivas Atık Su Arıtma Tesisi'nin çamur bertaraf yöntemi ulusal mevzuatlara dayanarak yapılacaktır. Türkiye'deki direkt ya da dolaylı olarak arıtma çamurun bertarafı ile ilgili başlıca yönetmelikler aşağıda verilmiştir.

- **Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik (03.08.2010 tarih ve 27661 sayılı Resmî Gazete)**
- Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (31.12.2004 tarih ve 25687 sayılı Resmî Gazete) ve Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği İdari Usuller Tebliği (10.10.2009 tarih ve 27372 sayılı Resmî Gazete)
- Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (14.03.1991 tarih ve 20814 sayılı Resmî Gazete)
- Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (14.03.2005 tarih ve 25755 sayılı Resmî Gazete)
- Toprak Kirliliğinin Kontrolü ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahalara Dair Yönetmelik (08.06.2010 tarih ve 27605 sayılı Resmî Gazete)
- **Atıkların Yakılmasına İlişkin Yönetmelik (06.10.2010 tarih ve 27721 sayılı Resmî Gazete)**

## Uluslararası Genel Çevre Sorunlarına Bakış

- **Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik (26.12.2019 tarih ve 30990 sayılı Resmî Gazete)**
- Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği (08.01.2006 tarih ve 26047 sayılı Resmî Gazete)
- Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmelik (05.07.2008 tarih ve 26927 sayılı Resmî Gazete)
- Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği (20.03.2010 tarih ve 27527 sayılı Resmî Gazete)
- Tehlikesiz ve İnert Atıkların Geri Kazanımı Tebliği (12.05.2010 tarih ve 27579 sayılı Resmî Gazete)

“Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik” kapsamında, uygulanan toprakta bulunan parametrelerin sınır değerleri verilmiştir. Bu değerler Tablo 6’da verilmiştir. Stabilize arıtma çamurundaki maksimum ağır metal değerleri ve diğer parametre değerleri Tablo 7 ve Tablo 8’de verilmiştir.

**Tablo 6. Topraktaki ağır metal sınır değerleri (EK I-A)**

Parametre	6≤pH<7	pH≥7
	mg. kg <sup>-1</sup> Fırın Kuru Toprak	mg. kg <sup>-1</sup> Fırın Kuru Toprak
Kurşun	70	100
Kadmiyum	1	1,5
Krom	60	100
Bakır	50	100
Nikel	50	70
Çinko	150	200
Civa	0,5	1

**Tablo 7. Toprakta kullanılacak stabilize arıtma çamurunda müsaade edilecek maksimum ağır metal muhtevaları (EK I-B)**

Parametre	Sınır Değerler (mg kg <sup>-1</sup> kuru madde)
Kurşun	750
Kadmiyum	10
Krom	1000
Bakır	1000
Nikel	300
Çinko	2500
Civa	10

## Çamur Geri Kazanım/Bertaraf Yöntemleri ve Değerlendirilmesi

**Tablo 8. Toprakta Kullanılacak Stabilize Arıtma Çamurundaki Organik Bileşiklerin Konsantrasyonlarının ve Dioksinlerin Sınır Değerleri (EK I-C)**

Parametre	Sınır Değerler (mg kg-1 kuru madde)
AOX (Adsorblanabilen organik halojenler)	500
LAS (Lineer alkilbenzinsülfonat)	2 600
DEHP (Diftalat(2-ethylhexyl))	100
NPE (Nonil fenol ile 1 ve 2 etoksi grubu olan nonil fenol etoksilatların toplamını içerir)	50
PAH (Polisiklikaromatik hidrokarbon veya poliaromatik hidrokarbonların toplamı )	6
PCB (28, 52, 101, 118, 138, 153, 180 sayılı poliklorlubifenil bileşiklerinin toplamı)	0.8
PCDD/F Poliklorludibenzodioksin/dibenzofuranlar	100

Arıtma çamurları “Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik (26.12.2019 tarih ve 30990 sayılı Resmî Gazete)” kapsamında düzenli atık tesislerinde depolanabilir. Bu yönetmelik, düzenli depolama tesislerine ilişkin teknik esaslar ile atıkların düzenli depolama tesislerine kabulü ve atıkların düzenli depolanmasına ilişkin usul ve esaslar ile alınacak önlemleri, yapılacak denetimleri ve tabi olunacak sorumlulukları kapsamaktadır. Düzenli atık tesisleri aşağıdaki gibi sınıflandırılır.

- I. sınıf düzenli depolama tesisi: Tehlikeli atıkların depolanması için gereken altyapıya sahip tesis.
- II. sınıf düzenli depolama tesisi: Belediye atıkları ile tehlikesiz atıkların depolanması için gereken altyapıya sahip tesis.
- III. sınıf düzenli depolama tesisi: İnert atıkların depolanması için gereken altyapıya sahip tesis.

Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmeliğin EK-IV’ünde tehlikesiz olarak sınıflandırılan arıtma çamurlarının, EK-2’de (Tablo 9) verilen diğer tüm parametreleri sağlaması, ağırlıkça en az %50 kuru madde ihtiva etmesi, ön işleme tabi tutularak kötü kokunun giderilmesi ve atığın kararlı hâle getirilmesi kaydıyla II. Sınıf düzenli depolama alanına kabulüne yer verilmiştir.

**Tablo 9. I., II. ve III. sınıf depolama tesisleri için sınır değerler (EK-2)**

No	Parametre	Sınır Değer (mg/L)		
		I.Sınıf Depolama Tesisleri	II.Sınıf Depolama Tesisleri	III.Sınıf Depolama Tesisleri
1	As (Arsenik)	2,5	0,2	0,05
2	Ba (Baryum)	30	10	2
3	Cd (Kadmiyum)	0,5	0,1	0,04
4	Cr (Toplam krom)	7	1	0,05
5	Cu (Bakır)	10	5	0,2
6	Hg (Civa)	0,2	0,02	0,001
7	Mo (Molibden)	3	1	0,05
8	Ni (Nikel)	4	1	0,04
9	Pb (Kurşun)	5	1	0,05
10	Sb (Antimon)	0,5	0,07	0,006
11	Se (Selenyum)	0,7	0,05	0,01
12	Zn (Çinko)	20	5	0,4
13	Klorür	2500	1500	80

## Uluslararası Genel Çevre Sorunlarına Bakış

No	Parametre	Sınır Değer (mg/L)		
		I.Sınıf Depolama Tesisleri	II.Sınıf Depolama Tesisleri	III.Sınıf Depolama Tesisleri
14	Florür	50	15	1
15	Sülfat	5000	2000	100
16	ÇOK (Çözünmüş organik karbon)	100	80	50
17	TÇK (Toplam çözünmüş katı)	10000	6000	400
18	TOK (Toplam organik karbon)	%6	%5	30000

Not: Çözünmüş Organik Karbon (ÇOK) sınır değeri atığın kendi pH değerinde sağlanamıyorsa, pH 7,5 – 8 değerinde test tekrarlanır ve sınır değerini aşmadığı tespit edilir. Sınır değeri aşılmıyorsa; Çözünmüş Organik Karbon (ÇOK) değerinin kabul kriterlerine uygun olduğu kabul edilir.

Atıkların Yakılmasına İlişkin Yönetmelik (06.10.2010 tarih ve 27721 sayılı Resmî Gazete) atık yakma ve beraber yakma tesisleri için gerekli asgari şartları kapsamaktadır. Arıtma tesisinde oluşan çamurun gerekli kuruluğa getirildikten sonra yakılması durumunda bu yönetmeliğin şartlarını sağlaması gerekecektir.

Tehlikeli ve tehlikesiz atıkların ayrı veya beraber yakılmasına ilişkin aynı emisyon limit değerleri uygulanır. Yakma tesisine çamur taşınırken Atık Yönetimi Yönetmeliğinin ilgili maddesi gereği bu iş için lisans almış kişi ve kuruluşlarca atığın özelliğine uygun araçlarla yapılır. Taşıma esnasında Ulusal Atık Taşıma Formlarının kullanılması zorunludur.

Sivas ili civarında faaliyet gösteren kireç fabrikası, çimento fabrikası vb. atık yakma lisansı olan işletmelerin talep ettiği şartlara (kuruluk vs.) uygunluk sağlandığı takdirde gerekli izinler alınarak atıklar yakılabilir.

### 4.2. AB Mevzuatı

Mevcut AB atık yönetimi mevzuatı temelde dört ana grup altında sınıflandırılabilir. Mevzuat kapsamında her bir kategori içinde yer alan yönetmelikler, direktifler ve kararlar aşağıda sıralanmıştır.

#### 1. Çerçeve atık mevzuatı

- Atık Çerçeve Direktifi (75/442/EC-2006/12/EC-2008/98/EC)
- Tehlikeli Atıklar Direktifi (91/689/EC)
- Atık Kataloğu hakkında Komisyon Kararı ((2000/532/EC)

#### 2. Atık yönetimi operasyonlarıyla ilgili mevzuat

- Düzenli Depolama Direktifi (99/31/EC)
- **Atıkların Yakılmasına İlişkin Direktif (2000/76/EC)**
- Kentsel Atıksu Arıtımı Direktifi (91/271/EEC)
- Atık Sevkiyatı Yönetmeliği (1013/2006/EC)
- Belirli atık türlerine ait mevzuat



## Çamur Geri Kazanım/Bertaraf Yöntemleri ve Değerlendirilmesi

- Yenilenebilir Kaynaklardan Elde Edilen Enerjinin Kullanılmasına İlişkin Direktif (2009/28/EC)
- **Aritma Çamurlarının Tarımda Kullanılması Sırasında Doğanın ve Toprağın Korunmasına Yönelik Aritma Çamuru Direktifi (86/278/EEC)**
- 27.04.2000 tarihli Çamur Konusunda Çalışma Dokümanı (3. Taslak)
- Raporlama ve Envanter Mevzuatı
- Raporların Standardizasyonu Direktifi (91/692/EEC)
- Envanter ve Raporlar için Komisyon Kararları (94/741/EC, 97/662/EC, 1999/412/EC, 2000/738/EC, 2001/753/EC)

Aritma Çamurlarının Tarımda Kullanılması Sırasında Doğanın ve Toprağın Korunmasına Yönelik Aritma Çamuru Direktifinde (86/278/EEC) arıtma çamurlarının tarımsal amaçla toprakta kullanımı değerlendirilmiştir. Direktifte öncelikle çamur, işlem görmüş çamur, tarım ve kullanım kavramlarının tanımlarına yer verilmiştir. Direktif, çamur uygulamalarında birtakım kısıtlamaları içermektedir. Bu kısıtlamalar, genel olarak toprağın ve uygulanacak çamurun ağır metal içeriği ile ilgilidir. Aritma çamurlarının toprakta kullanılması ile uzun vadede toprağa verilen metal miktarına sınır konularak, toprağa, sebze ve meyvelere ve halk sağlığına herhangi bir olumsuz etkisinin olmaması hedeflenmiştir. Aynı zamanda toprak ve toprakta yetiştirilecek ürünlerle ilgili koşullar göz önünde bulundurularak hangi durumlarda veya ne kadar süre ile çamurun kullanılabileceği de direktifte belirtilmektedir.

AB Düzenli Depolama Direktifi, düzenli depolama alanlarının yer seçimi, tasarımı, geçirimsizliği, denetlenmesi, işletilmesi ve rehabilitasyonu ile ilgili hedef ve yükümlülükleri içermektedir. Bu direktifin amacı, atıkların gömülmesi ve depolanması sonucunda ortaya çıkan yüzey suyu, yeraltı suyu, toprak ve hava kirliliklerinin çevre ve insan sağlığı üzerindeki negatif etkilerini olabildiğince azaltmak veya bu etkileri engellemek için gerekli ölçümlerin yapılmasını, prosedürlerin yerine getirilmesini ve uygun tanıtımların yapılmasını sağlamaktır. Bu direktifte, hem insan sağlığı ve çevre üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak hem de atık miktarını en aza indirmek için atığın, depolanmadan ya da gömülmeden önce arıtılması gerektiği vurgulanmaktadır.

Atıkların Yakılmasına İlişkin Direktif (2000/76/EC), atık, tehlikeli atık, karışık evsel atıklar, yakma tesisi, karışık yakma tesisi, mevcut karışık yakma veya karışık yakma tesisi, nominal kapasite, emisyon, emisyon sınır değerleri, dioksinler ve furanlar, işletmeci, izin ve kalıntı terimlerini tanımlamaktadır. Ayrıca, bu direktif, tehlikeli olmayan belediye atıklarının yakılmasının dışında, tehlikeli olmayan ve belediyelerden kaynaklanmayan atıkların, örneğin, arıtma çamurlarının yakılmasına da imkân vermektedir. Ayrıca yakma ve karışık yakma tesislerinde sürekli ölçülmesi gereken emisyonlar; NO<sub>x</sub>, CO, toplam toz, TOK, HCl, HF ve SO<sub>2</sub> olarak verilmektedir.

### 5. SIVAS AAT İÇİN ÇAMUR BERTARAF YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Bu çalışmada üç bertaraf alternatifine değinilmiş olsa da nihai bir bertaraf yöntemi olduğu için Sivas AAT’de oluşan günlük 80 ve 100 ton arasında değişen (dekantör çıkışı) çamurun yakılarak bertarafı tavsiye edilmektedir. Toprakta çamurun kullanımı konusu, çamurun toprakta kullanımında limit olması (sadece çamurun değerlendirileceği dönem olan ekim-dikim aylarında kullanılması) devre dışı bırakılmaktadır.

Daha önce de belirtildiği gibi Sivas AAT dekantörden çıkan çamur %20-22 katı miktarına sahiptir. Yakmadan önce ise %22 (maksimum) kuruluştaki arıtma çamurunun kurutulması gerekecektir.

Çamurun kurutma nedenleri arasında çamurdaki su miktarını ve böylece çamur hacmini azaltmak, çamurun kalorifik değerini arttırmak ve böylece ek yakıt kullanmadan çamurun yanmasını kolaylaştırmak, çamuru stabilize etmek, gübre veya yüksek piyasa değeri olan çamur elde etmek gibi nedenler vardır. Ayrıca yakma tesisleri %85-90 mertebelerinde kuru çamuru ek yakıt olarak kabul etmektedir, benzer şekilde en yakındaki çimento işletmesi de %90 kuruluk şartını koymaktadır. Bu nedenle Sivas AAT mevcut alanı da gözönünde bulundurularak AAT sahası içerisinde bir kurutma sistemi kurulması önerilmektedir.

Bu amaçla Sivas AAT için kullanılabilir çamur kurutma üniteleri, solar çamur kurutma veya mekanik kurutma olarak düşünülebilir.

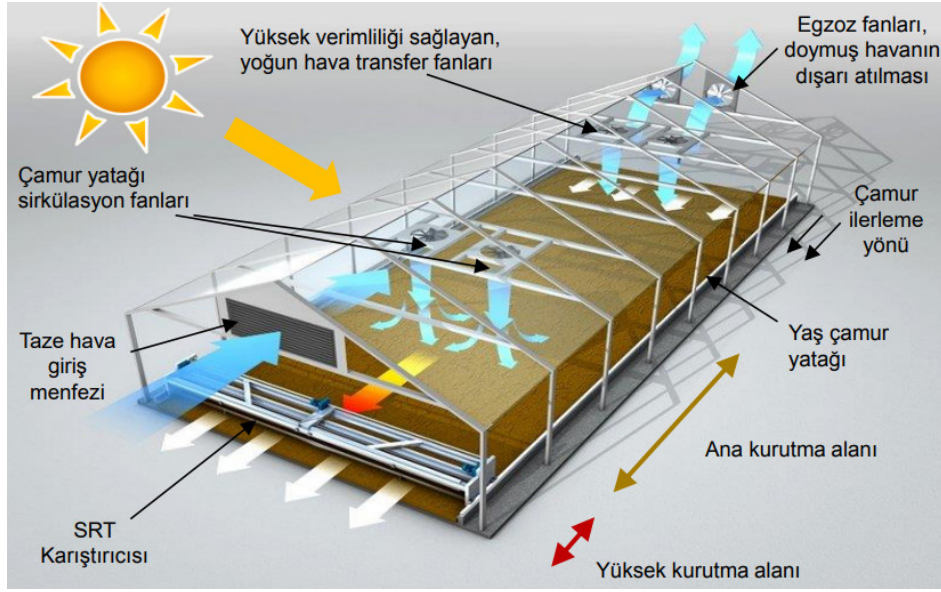
#### 5.1. Solar Çamur Kurutma

Solar çamur kurutma sistemlerinin çalışma prensibi güneş ışınlarıyla sera tipi kapalı alanlarda çamurun sürekli karıştırılması ve kurutulması şeklindedir. Bu yöntem, yıllık güneşlenme değerleri uygun olan yerleşim merkezlerinde tercih edilebilir.

Çamur kurutma yataklarında, güneş enerjisinin en iyi şekilde kullanılmasını sağlayan polikarbonat levha ile çevrili bir serada zemine serilen çamur, doğrudan güneş radyasyonu etkisine bırakılır. Çamur içerisindeki su güneş enerjisinin etkisi altında buharlaşır ve sera tavanına takribi 10 metre aralıklarla yerleştirilen sirkülasyon fanları yardımıyla çamur yüzeyinde buharlaşmadan kaynaklanan nem tabakası buradan uzaklaşarak seraya yayılır. Maksimum 50 cm kalınlığında zemine serilen çamur, mikserler aracılığı ile karıştırılır. Böylelikle alttaki nemli kısım üste, üstü kurumuş kısım alta alınır. Sera giriş ve çıkışlarında egzoz fanları yardımıyla suya doymuş buhar sistemden uzaklaştırılarak tekrar sisteme taze hava sağlanır. İstenilen kuruluğa ulaşan çamur, yükleyici tarafından sistemden uzaklaştırılır. Sistem, uzaktan iletişim yoluyla sürekli kontrol edilir.

Sistemin görseli Şekil 4’te verilmiştir. Bu kurutma sisteminin en büyük dezavantajı geniş alana ihtiyaç duymasıdır.

## Çamur Geri Kazanım/Bertaraf Yöntemleri ve Değerlendirilmesi



Şekil 4. Çamur Kurutma Ünitesi Şeması [7].

Solar çamur kurutma tesisi için avantaj ve dezavantajlar aşağıdaki tabloda özetlenmiştir.

Tablo 10. Solar çamur kurutmanın avantaj ve dezavantajları [7].

Avantajlar	Dezavantajlar
<b>Düşük enerji tüketimi</b>	<b>Yüksek alan ihtiyacı</b>
Enerji kaynağı olarak Güneş enerjisi kullanılması	Bölgeye göre güneş radyasyonunun değişimi
Kolay kurulum ve devreye alma	<b>Büyük kapasitedeki arıtmalardaki maliyet yüksekliği</b>
Yüksek kurutma verimi	Aynı kurulumda çamurun yıl boyunca elde edilememesi
Bölgeye bağlı olarak tüm yıl kullanılabilme (ek ısıtma ile)	
Düşük işletme maliyeti	
İşletme esnasında minimum operatör ihtiyacı duyması	
Full otomasyon sistemi sayesinde kontrol kolaylığı	

Solar Çamur Kurutma tesisleri Türkiye’de yaygın olarak birçok atıksu arıtma tesisinde kullanılmaktadır. Aşağıdaki tesislerde solar çamur kurutma faal olarak kullanılmaktadır.

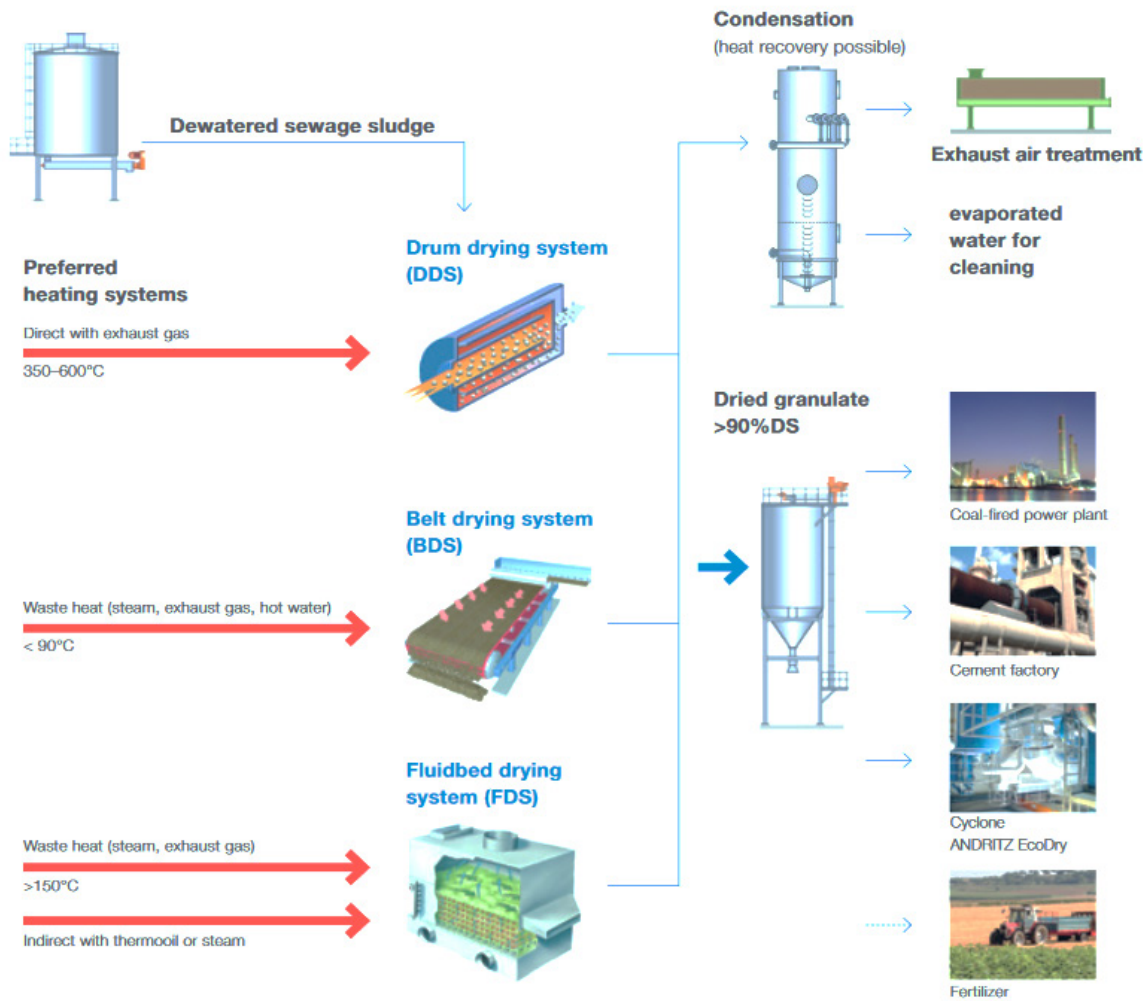
- Fet
- hiye AAT
- Menderes Havza AAT
- Kütahya AAT (IPA 1 kapsamında)
- İstanbul Havalimanı AAT
- Çanakkale AAT

## Uluslararası Genel Çevre Sorunlarına Bakış

- Kastamonu AAT (IPA 2 kapsamında inşaatı yapılmaktadır)
- Şırnak AAT (IPA 2 kapsamında yapılacak)
- Elbistan AAT (IPA 2 kapsamında yapılacak)

### 5.2. Mekanik Kurutma

Coğrafi koşullardan bağımsız, mekanik sistemlerin ana aktör olduğu kurutma sistemleri mekanik kurutmalı sistemlerdir. Mekanik kurutucuların ana çalışma prensibi, çamurun sıcak hava ile temas ettirilmesi suretiyle neminin azaltılmasıdır. Mekanik kurutucular sayesinde atıksu arıtma çamurundaki %25 mertebesindeki kuru madde oranı %90 kuru madde oranına kadar çekilebilmektedir.



Şekil 5. Mekanik Kurutma Alternatifleri(8).

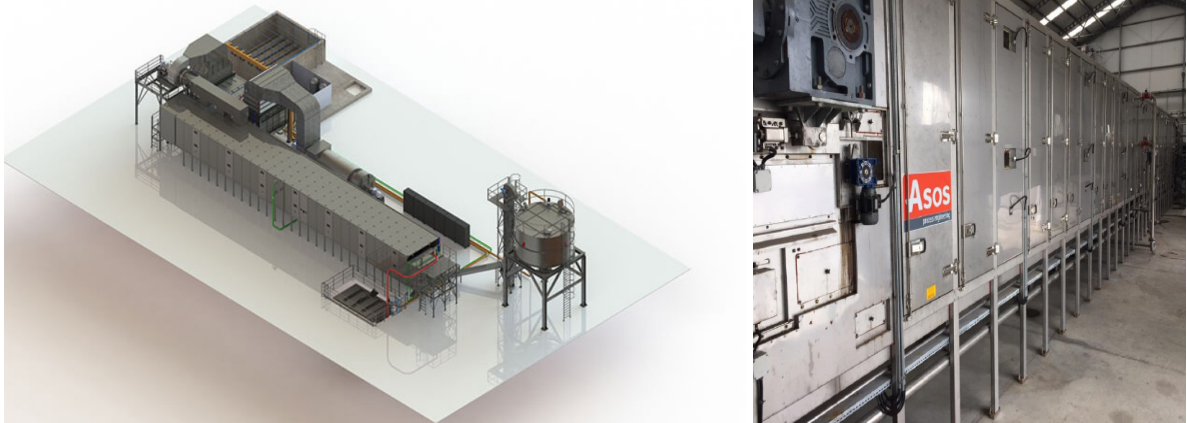
Türkiye’de ve dünyadaki yaygın kullanımı da göz önünde bulundurularak Sivas AAT’nin kurutma sistemleri bakımından orta ölçekli bir tesis olduğundan bantlı kurutma sisteminin kullanılması önerilmektedir.

## Çamur Geri Kazanım/Bertaraf Yöntemleri ve Değerlendirilmesi

Bantlı kurutma sistemin avantajları aşağıdaki gibidir [8]:

1. Çamur türevi ürünlerde; granül hâle getirilen ürün temas yüzeyi arttırılmakta ve böylece de daha iyi enerji kullanımı ortaya çıkmaktadır.
  2. Bant üzerindeki ürünün düzgün yayılmasını sağlayan sistemler koyularak enerji tam verimle kullanması sağlanır.
  3. Kurutma havasının sirküle edilerek ürünle temas miktarı artmaktadır. Bu işlem havaya yüklenen enerjinin alınmasını ve havanın neme doyurularak atılmasını sağlar. Böylece enerji verimliliği artmaktadır.
  4. Isı geri kazanımlı sistemlerde enerji verimliliği üst seviyededir.
- Bantlı kurutucu sistemi kapsamında aşağıdaki ekipmanlar bulunacaktır. Ayrıca Sivas AAT özelinde, bu sistem için yaklaşık olarak 40 x 15 x 9 m ebatlarında binaya ihtiyaç olacaktır.

Bantlı kurutucu tesis görseli Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Örnek Bant Kurutucu Tesisi [8].

Bant kurutucular, Türkiye'de birçok atıksu arıtma tesisinde kullanılmaktadır. Aşağıdakiler örnek olarak verilebilir.

- İSKİ Tuzla AAT
- Bulancak AAT
- Antalya Hurma ve Lara AAT
- Mardin AAT

### 5.3. Çamur Kurutma ve Yakma Entegre Tesisi

Çamuru kuruttuktan sonra yakma sistemine alıp yakan bu entegre sistemler, ilk 2 alternatifte göre daha kompleks ve maliyetlidir. Enerji verimliliği açısından, çamur yakma işleminde oluşan su buharı, çamurun kurutulmasında kullanılabilir.

## Uluslararası Genel Çevre Sorunlarına Bakış

Bu sistem için yaklaşık olarak kapalı 1.000-1.250 m<sup>2</sup> alana ihtiyaç vardır. Ayrıca sürekli olarak bu tesisi işletecek mekanik operatöre ihtiyaç duyulacaktır. Yıllık İşletme Bakım maliyetleri de diğer sistemlerden daha fazladır.

Çamur yakma üniteleri Doğu Bursa Atık Su Arıtma Tesisi veya GASKİ Atık Su Arıtma Tesisi gibi büyük kapasiteli atıksu arıtma tesislerinde kullanılmaktadır. Ayrıca buna ilaveten bazı organize sanayi arıtmalarında, Çerkezköy OSB Atık Su Arıtma Tesisi ve Bursa Organize Sanayi Bölgesi Atık Su Arıtma tesisinde kullanılmaktadır [9].

## 6. SONUÇ

Sonuç olarak; Sivas AAT çamurunun bertarafı kapsamında 3 alternatif değerlendirilmiştir.

Alternatif 1 kapsamında; Sivas AAT'den çıkan %20-22 KM'deki arıtma çamuru, solar kurutma ünitesinde %90 KM'ye kadar kurutulacak daha sonra Sivas AAT'nin karşısında bulunan çimento işletmesinde yakılarak bertarafı

Alternatif 2 kapsamında; Sivas AAT'den çıkan %20-22 KM'deki arıtma çamuru, belt kurutucu sisteminde %90 KM'ye kadar kurutulup daha sonra Sivas AAT'nin yakınında bulunan çimento işletmesinde yakılarak bertarafı

Alternatif 3 kapsamında Sivas AAT'den çıkan %20-22 KM'deki arıtma çamuru, belt kurutucu sisteminde %45 KM'ye kadar kurutulup daha sonra yine Sivas AAT sınırlarının içine inşası planlanan kurutma tesisinde yakılarak bertarafıdır.

Belirlenen 3 adet çamur bertarafı alternatifinin teknik maliyet çalışması değerlendirildiğinde, ilk maliyeti en yüksek olan alternatif, arıtma çamurunun solar çamur kurutma tesisinde kurutulduktan sonra Sivas AAT karşısında bulunan çimento fabrikasında yakılarak bertarafı olup, işletme maliyeti en düşük olan alternatiftir. Solar çamur kurutma ünitelerinin daha küçük ölçekli tesislerde kullanılması ve çok büyük alan ihtiyacı olması, Sivas AAT alanı içinde bu tesis için yer olmaması ve büyük tesislerde maliyetin yüksek çıkması; Sivas AAT için bu alternatifin seçilmesinin uygun olamayacağını göstermektedir.

Alternatif 2, tesisi içinde belt kurutucu ile katı miktarını %90'a çıkartmak ve daha sonra bedelsiz olarak çimento işletmesinde yakma olarak çalışılmış, maliyeti de tüm alternatifler içinde en düşük maliyet olarak hesaplanmıştır. İlk maliyet ve toplam maliyetler de göz önüne alındığında bu seçenek yine en avantajlı konumdadır. 13 yıl içindeki toplam çamur miktarı 120.450 ton olarak hesaplanmış ve her bir alternatif için birim çamur bertarafı fiyatları, Alternatif 1 için 27 €/ton; Alternatif 2 için 17 €/ton; Alternatif 3 için 32 €/ton olarak hesaplanmıştır.

Alternatif 3'te ise arıtma çamurunun tesis içinde kurutulduktan sonra yine tesis içinde yakılması çalışılmıştır. Hem ilk maliyet hem de işletme maliyeti göz önüne alındığında en yüksek maliyet bu seçenektir. Çamur bertarafı sorunun Sivas AAT sınırlarında çözülmesi avantajının yanında, yüksek maliyet gerektirdiği için bu alternatif de değerlendirmeye alınamayacaktır.

## Çamur Geri Kazanım/Bertaraf Yöntemleri ve Değerlendirilmesi

### KAYNAKLAR

- [1] Sivas Belediyesi Kentsel Atıksu arıtma tesisi çamurlarının Bertaraf/Geri Kazanım Yöntemleri için karakterizasyon çalışması, TÜBİTAK, 2018
- [2] Gömeç, Ç.Y., Öztürk, İ., Çamurların İşlenmesi, Arıtılması ve Uzaklaştırılması, Öztürk İ., (Ed.), Atıksu Mühendisliği. İstanbul, İSKİ Genel Müdürlüğü Teknik Kitaplar Serisi; 2017: Bölüm 9, 341.
- [3] Sivas'ta Topraklaştırma Çevresel Pilot Projenin Geliştirilmesi, Re-Q-BodenGmbH / AHT GROUP AG, 2011
- [4] CNG Europe, Fuel Calorific Values, <http://cngeurope.com/fuel-calorific-values/>, 2011.
- [5] EQUIPO, Management of sewage sludge, [http://www.equipo.com.pl/en\\_en/sludge-management.html](http://www.equipo.com.pl/en_en/sludge-management.html) 2015.
- [6] Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 20.03.2010 tarih ve 27527 sayılı Resmî Gazete.
- [7] Solar Kurutma, Solar Kurutmanın Avantajları, <https://www.solarkurutma.com/solar-camur-kurutma-nin-avantajlari/>
- [8] Drying technologies for sewage sludge (andritz.com), <https://www.andritz.com/>
- [9] Sivas Atıksu Arıtma Tesisi Çamur Yönetim Planı, Sivas Kızılırmak Sağ ve Sol Kıyıları Atık Su Kolektörü Projesi için Teknik Destek ve Kontrolörlük, Eptisa, 2021
- [10] Evsel/Kentsel Arıtma Çamurlarının Yönetimi Projesi Final Raporu, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2015





# ARITMA ÇAMURU BERTARAFI VE ALTERNATİF STRATEJİLER

Sajiter Yıldız<sup>1</sup> - Asaad Olabi

## ÖZET

Atık su arıtma tesislerinden gelen arıtma çamuru, küresel olarak önemli bir sorun hâline gelmektedir. Çamurun uygun bertarafı zordur ve bileşenleri arasında yüksek oranda organik, toksik ve ağır metal kirletici içeriği nedeniyle ciddi çevresel tehlikeler oluşturmaktadır. Bu çalışmada, arıtma çamuru bertaraf yöntemleri ve alternatif stratejileri incelenmiştir. Farklı sistemlerin olası çevresel, ekonomik ve teknik değerlendirmelerini uygun şekilde belirlemek için atık sonu kriterleri ve Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD) gibi seçilmiş karar verme araçları önerilmiştir. Arıtma çamurunun önemi ve bu stratejilerin uygulanmasıyla ilgili potansiyel riskler ortaya konulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Çamur Bertarafı, Çamur İşleme, Çamur Yönetimi.

## ABSTRACT

The growing volume of sewage sludge from wastewater treatment plants is turning into a outstanding challenge globally. The disposal of sludge is specifically tough and poses extreme environmental dangers because of the excessive content of organic, toxic and heavy etal pollutants among its constituents. This article presents the most popular strategies of sewage sludge control and management, and related unit operations and procedures regarding them. Selected decision making tools, particularly end-of-waste standards and Life Cycle Assessment has been proposed in order to appropriately evaluate the viable environmental, economic and technical assessment of various systems. The significance of sewage sludge as a treasured supply of energy and matter has been appreciated, in addition to a probable risk associated with the application of these strategies.

**Keywords:** Sludge Disposal, Sludge Processing, Sludge Management.

---

1 Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü \*sayiteryildiz@gmail.com

### 1. GİRİŞ

Aritma çamuru, atıksu arıtımının bir yan ürünüdür. Dünyanın her yerindeki büyük arıtma çamuru üretimi nedeniyle bu organik atıkların uygun şekilde yönetilmesi gerekmektedir. Arıtma çamuru yönetimi için iki ana bertaraf stratejisi, yeniden kullanım veya nihai bertaraf.

Aritma çamurunu yeniden kullanmak için birçok strateji vardır, ancak aynı zamanda her yönetim yönteminin kullanımıyla ilgili birçok kısıtlama vardır [1]. Çamur işleme olarak tanımlanan arıtma çamurunun yeniden kullanım için hazırlanması da bir diğer alternatif kabul edilmektedir. Arıtma çamurunun geri kazanım süreçlerinde kullanılması mümkün değilse mutlaka nötralize edilmelidir. Arıtma çamurunun dönüştürülmesiyle ilgili en önemli kavram, organik maddelerin geri dönüştürülmesi veya geri kazanılmasıdır. Arıtma çamuru alanında uygulanan iyi uygulamalarla ilgili temel konulardan biri, dünya genelinde atıksu arıtma tesislerinde üretilen arıtma çamuru miktarı hakkında bilgidir. Oluşan arıtma çamurunun miktarı hakkında ayrıntılı bilgi olmadan, arıtma çamurunun işlenmesi, geri kazanımı veya bertarafına yönelik doğru kararları veya yatırımları vermek mümkün olmayacaktır.

### 2. ÇAMUR TÜRLERİ, ÖZELLİKLERİ VE İŞLEME PROSESLERİ

Çamur kaynağına bağlı olarak, evlerden veya septik tanklardan gelen dışkı çamuru ve atıksu arıtma tesislerinde oluşan arıtma çamuru olarak sınıflandırılmaktadır [2]. Atıksu arıtımının her aşamasında oluşan çamurun türüne bağlı olarak, farklı özelliklere sahip farklı çamur türleri bulunmaktadır [3]. Tipik arıtma çamuru, ham çamur, birincil çamur, ikincil çamur, karışık çamur, konsantre çamur, çürütülmüş çamur, susuzlaştırılmış çamur, hijyenik çamur, kurutulmuş çamur ve stabilize çamurdan oluşmaktadır. Ham çamurlar, ham ve arıtılmamış çamurlardır. Birincil çamurlar, organik ve inorganik çamurların çökmesinden oluşur. İkincil çamurlar, aktif çamur havuzlarında veya biyolojik yataklarda biyolojik arıtmadan sonra üretilir, biyolojik reaktöre geri döndürülebilir ve daha sonra arıtma sisteminden çıkan bakteriyel biyokütlenin büyümesi nedeniyle aşırı çamur oluştuğunda, yeniden sirküle edilir. Karışık çamurlar, birincil çamurların ikincil çamurlarla karıştırılmasından oluşur ve stabilizasyon, dehidrasyon ve hijyenizasyon gibi uygun bir arıtmaya ihtiyaç duyarlar. Konsantre çamur, susuzlaştırma ve konsantrasyon işlemlerinden sonra oluşan çamurdur. Çürütülmüş çamur, anaerobik veya aerobik stabilizasyondan sonra ortaya çıkan çamurdur. Susuzlaştırılmış çamur, Susuzlaştırma işleminden sonra oluşan susuz çamurdur. Hijyenik çamur, patojenik organizmaların uzaklaştırılmasından sonra oluşan çamurdur. Kurutulmuş çamur, kurutma işlemlerinden sonra oluşur. Stabilize çamur ise organik maddeyi azaltmayı amaçlayan çeşitli işlemlere tabi tutulan çamurdur [4, 5].

#### 2.1. Arıtma Çamurunun Fiziksel, Kimyasal Ve Biyolojik Parametreleri

Arıtma çamuru üç ana parametre ile karakterize edilebilir:

- Arıtma çamurunun işlenme ve işlenme yeteneğini belirleyen fiziksel parametre
- Besin maddelerinin ve toksik/tehlikeli bileşiklerin varlığını içeren kimyasal parametre

## Arıtma Çamuru Bertarafı ve Alternatif Stratejiler

- Mikrobiyal aktivite (esas olarak patojenik) ve organik madde [7] hakkında bilgi veren biyolojik parametre.

Arıtma çamurunda, atık su arıtma prosesinde gerekli olan fosfor ve azot olmak üzere iki ana ve arzu edilen mikroelement vardır. Fosforun sınırlı kaynakları nedeniyle, geri kazanılması için yeni yöntemler gereklidir. Azot kaynakları tükenmez, ancak tarımda azot talebi oldukça büyüktür [8, 9]. Arıtma çamuru toksik ve daha az toksik kirleticiler, organik maddeler, patojenik mikroorganizmalar, inorganik maddeler ve ağır metaller (kadmiyum, krom, bakır, kurşun, cıva, nikel, çinko, platin ve platin grubu metaller (PGM), gümüş vb.) içermektedir [8, 9]. Her arıtma aşamasında üretilen arıtma çamurunun kalitesi ve miktarı, kirleticilerin içeriğine, arıtma teknolojilerine, stabilize etmek için çamuru işleme yöntemine, kütle ve hacmin azaltılmasına ve atık su arıtma işleminde kullanılan reaktiflere bağlıdır [2, 10].

Arıtma çamuru, katı fazın sıvı içinde süspansiyonu olan katı konsantrasyonu dâhil olmak üzere farklı parametrelerle karakterize edilebilir. Çamuru karakterize eden diğer parametre ise; partikül boyutu, su dağılımı ve akış özellikleridir. İlk parametre (partikül boyutu), arıtma çamurunun susuzlaştırma prosesindeki özelliklerini etkiler. Suyun dağılımı ise suyun partiküllere yapışmasını belirler [11]. Arıtma çamurunun sınıflandırma kriterleri; menşei (endüstriyel veya evsel atıksu arıtma tesislerinden) tarafından belirlenen karakteristik ve özelliklerinden, organik maddelerin içeriğinden, patojenik organizmaların ve toksik maddelerin varlığından kaynaklanmaktadır. Diğer parametreler susuzlaştırma özellikleri ve stabilitedir [11, 12].

### 3. ARITMA ÇAMURU BERTARAFI İÇİN GENEL STRATEJİLER

Arıtma çamuru tarımda (%37), yakmada (%11) ve düzenli depolamada (%40) kullanılırken kalan %12 ormancılık veya arazi ıslahında kullanılmaktadır [13].

#### 3.1. Çamurun Tarımda ve Toprak Islahında Kullanımı

Dünyanın birçok yerindeki sınırlı su ve gübre kaynakları, arıtma çamurunun yeniden kullanılmasının bir nedenidir. Birçok ülkede atıksu nihai atıktır ve doğrudan toprağa kullanılmaktadır [14]. Genel olarak, atık su toplama ve arıtmanın sınırlı ilgi gösterdiği düşük gelirli ülkelerde, atıksu ve arıtma çamurunun doğrudan ve genellikle gayriresmî olarak kullanılması muhtemeldir. Yüksek gelirli ülkelerde, eğilim tam tersidir ve atıksular ve arıtma çamurları genellikle arıtılır ve bunların uygulanması ve kullanımı kontrol edilir ve programlanır [15].

Arıtma çamurunun güvenli kullanımı için en önemli kriter ağır metallerin seviyesidir. Arıtma çamuru, arazi uygulaması için önemli bir kriter olan ağır metallerin farklı seviyelerini içerebilir [16]. Diğer parametre, Salmonella, virüsler veya parazitler gibi patojenik mikroorganizmaların varlığını veya yokluğunu gösteren patojen giderimidir. Salmonella, çamur dezenfeksiyonu için bir gösterge olarak değerlendirilebilir ve kompostlama veya pastörizasyon yoluyla giderilebilir. Genellikle bu bakteri yaklaşık 20 hafta yaşar [17]. Çamurdaki diğer patojenler virüsler, parazitler, nematodlar veya ascaris türleridir.

## Uluslararası Genel Çevre Sorunlarına Bakış

Çamur, ormancılıkta ve endüstriyel arazilerde gübre olarak pelet şeklinde kullanılabilir [8, 9]. Arazi uygulaması için kriterler ise; toprağın derinliği, dokusu, erozyon, topografya, yeraltı suyu seviyesi, drenaj ve hidromorfizm, eğim ve yapısıdır [18]. Arıtma çamurunun tarımda kullanılmasının faydalarından biri, ferrik fosfat formunda oluşan ve bitkiler için daha az bulunan fosforun geri kazanılmasıdır [4]. Stabilizasyon yöntemlerine ve bileşimine bağlı olarak kurutulmuş arıtma çamuru, enerji veriminin yanı sıra tarım için değerli bir substrattan oluşur. Makro ve mikro besinler, özellikle nitrojen ve fosfor içeren yüksek organik bileşik içeriği (%50-%70), arıtma çamurunu pratikte mükemmel bir gübre, ucuz ve zengin bir toprak güçlendirici yapar [1, 19]. Arıtma çamurunun gübre olarak kullanılabilirliği ekoloji ile uyumludur ve potansiyel olarak tehlikeli atıkların yeniden kullanılmasına yol açar. Ayrıca, atıkların azaltılmasına da katkıda bulunur [20]. Mevcut durumda arıtma çamuru, tarımda bitki büyümesini desteklemek için kullanılmaktadır [21]. Arıtma çamurunun çeşitli ağır metallerle kirlenmiş toprağa eklenmesi, biyokütle veriminde önemli bir artışa ve sürgün büyümesinin (çam için) yanı sıra kök büyümesinin (ladın için) uyarılmasına neden oldu [22]. Arıtma çamuru gübresinin okaliptüs plantasyonunun sürdürülebilirliğini arttırdığı ve odun üretimini iyileştirdiği de belirtilmiştir [23]. Arıtma çamuru ile yapılan bir toprak ıslahının biyolojik özellikler üzerinde olumlu bir etkisi vardır [24]. Bitkiler ve mikroorganizmalar arasındaki simbiyozun (ortak yaşam) etkisi bitki büyümesini dolaylı olarak teşvik edebilir [25].

Arıtma çamuru zengin bir biyojenik element ve karbon kaynağı olabilir [26]. Ancak, arıtma çamurunun tarımsal kullanımı, uygulama süresi ve arazinin şekli ve konumu ile ilgili çok sayıda sınırlama vardır [27]. Toprağa uygulanan arıtma çamuru, toprakların fizikokimyasal ve biyolojik özelliklerini iyileştirir, bu da daha iyi bitki gelişiminin yanı sıra bor, manganez, bakır, molibden ve çinko gibi eser elementler açısından da teşvik eder [28]. Arıtma çamuru topraktaki humus içeriğini de artırır. Organik madde içeriğindeki artış, yığın yoğunluğunu azaltır, toplam stabilitesini artırır, topraklarda su tutma kapasitesini artırır ve artan su emilimini teşvik eder. Organik maddeler ayrıca elementlerin dolaşımını, biyokütleyi ve toprak çeşitliliğini etkiler ve toprak erozyonuna duyarlılığı azaltır. Toprakta arıtma çamurunun kullanılması, hava sirkülasyonunun yanı sıra sızma kabiliyetini artırarak toprak parametrelerinin iyileştirilmesine katkıda bulunur. Çamur gübreleri parklarda veya yeşil alanlarda da kullanılabilir. Çamur içerisindeki mikroorganizma içeriği nedeniyle hasarlı alanlarda arazi ıslahı için kullanılabilir [29].

Büyük atıksu arıtma tesislerinin termal yöntemler (kurutma, yakma) için arıtma çamuru kullanımına izin vermesine rağmen, kompostlaştırma en sık tercih edilen yöntemdir [30]. Arıtma çamurundan üretilen organik gübreler arasında ağırlıklı olarak kompost hâkimdir. Bununla birlikte, biyobileşenler ve/veya arıtma çamuru olarak adlandırılan “biyokatılar” a dayalı kompozitler hakkında çok büyük sosyal kaygılar vardır.

Bununla birlikte, arıtma çamuru, çamurun işlenmesinde giderilmemiş tarımsal bir bakış açısından istenmeyen ve hatta tehlikeli maddeler (organik ve inorganik kirleticiler) içerebilir [31]. Evsel atıksulardaki hormonların, bitki ve hayvanların büyümesini ve gelişmesini bozan en tehlikeli maddelerden biri olduğu tespit edilmiştir [32]. Antibiyotikler veya ağır metaller, arıtma çamurunun potansiyel toksisitesine neden olabilir [33]. Arıtma çamuru partikülleri üzerinde emilen farmasötikler, nihai olarak toprağa uygulandığında bunu ekosistem için büyük bir risk hâline getirir [34].

## Aritma Çamuru Bertarafı ve Alternatif Stratejiler

Aritma çamurundaki ağır metaller ekosistemler ve insan sağlığı için büyük risk oluşturabilir [35, 36]. Bu nedenle, arıtma çamurunun gübre olarak yeniden kullanımı, ekolojik ve insan sağlığı açısından yakından izlenmelidir.

### 3.2. Aritma Çamurunun Yeniden Kullanımında Termal Yöntemler

Organik maddenin termal ayrışması sonucunda hacmin önemli ölçüde azalması (yaklaşık %10) nedeniyle yakma, arıtma çamuru kullanımı için en iyi yol hâline gelmektedir [13]. Yakma işleminden sonra, hâlâ ağır metaller içerebilen kül kalır. Yakma işleminde çok ocaklı ve akışkan yataklı fırınlar kullanılmaktadır. Bu yöntemler arasındaki fark, esas olarak kullanılan çamurların farklı nem oranlarıdır [13]. Çamur işleminin klasik termal yöntemlerine bir alternatif, vitrifikasyon işlemidir. Bu, yüksek kimyasal direnci olan tehlikeli ve endüstriyel atıkların ve arıtma çamurlarının bertarafında çok etkilidir [11]. Önemli miktarda krom veya diğer tehlikeli metaller içeren arıtma çamurunun vitrifikasyonu, atmosfere emisyon olmadan silika matrisine dâhil edilerek hareketsiz hâle getirilmesine izin verir [37, 38].

Aritma çamuru yönetim yöntemlerinin geliştirilmesine rağmen, en çok vurgu enerji geri kazanımı ve ısıtma değerinin iyileştirilmesine verilmektedir. Enerji geri kazanımı için en önemli prosesler, piroliz ve gazlaştırma prosesleridir [39].

Gazlaştırma işlemi, %70-%95 arasında TS ile arıtma çamuru için kullanılabilir. Bu proses, atıkların bir enerji kaynağı olarak yeniden kullanılması için büyük bir potansiyele sahiptir ve esas olarak arıtma çamuru gibi ucuz hammaddeler için değerli olabilir [11]. Üretilen gazda biriken enerji, besleme yakıtı veya reaksiyon türü gibi etkenlere ve aynı zamanda diğer pek çok etkene büyük ölçüde bağlıdır [13]. Aritma çamurunun gazlaştırılmasının en büyük dezavantajı, nihai ürünlerdeki ağır metallerin konsantrasyonu ile ilgili problemidir [40]. Bu yöntemi kullanarak hem ısı hem de elektrik üretmek mümkündür [41].

## 4. ALTERNATİF STRATEJİLER

Aritma çamuru yönetimi ve kullanımı için alternatiflerden biri, aşağı çekişli gazlaştırma tekniği uygulanarak arıtma çamurundan hidrojen üretilmesidir. Bu, şu anda üretilen hidrojenin neredeyse tamamının doğal gazlardan gelmesi gerçeğinden dolayı yenilikçi bir yöntemdir. Hidrojen üretim yöntemleri, fosil yakıtların üretimine oldukça benzerdir [42]. Aritma çamuru yüksek sıcaklıkta gaza dönüştürülür. Bu ürün esas olarak H<sub>2</sub>, CO ve metandan oluşur. Üretilen metan daha sonra hidrojen ve karbon okside dönüştürülür. Sırayla, karbon oksit daha sonra daha yüksek miktarda hidrojen elde etmek için dönüştürülür. Bu yöntemde elektrik verimi %30'dan fazla olabilir [13]. Üretilen gazda hidrojen verimi yaklaşık %10-11 H'dir ve yakıt hücrelerinde kullanılabilir [43].

Ayrıca, *Lipomyces* starkeyi tarafından arıtma çamurunun biyodizel üretimi için potansiyele sahip olduğu gösterilmiştir [44].

Aritma çamurunun bertarafı olasılığı endüstriyel alanda bile genişler. Aritma çamuru ve oksijen fırını çamurunun, çimento üretiminde alt tabakalar için geleneksel maddeler olarak, kireçtaşı, kum ve diğer hammaddelerin yerine etkili bir şekilde kullanılabilmesi belirtilmiştir [12]. Bununla bir-

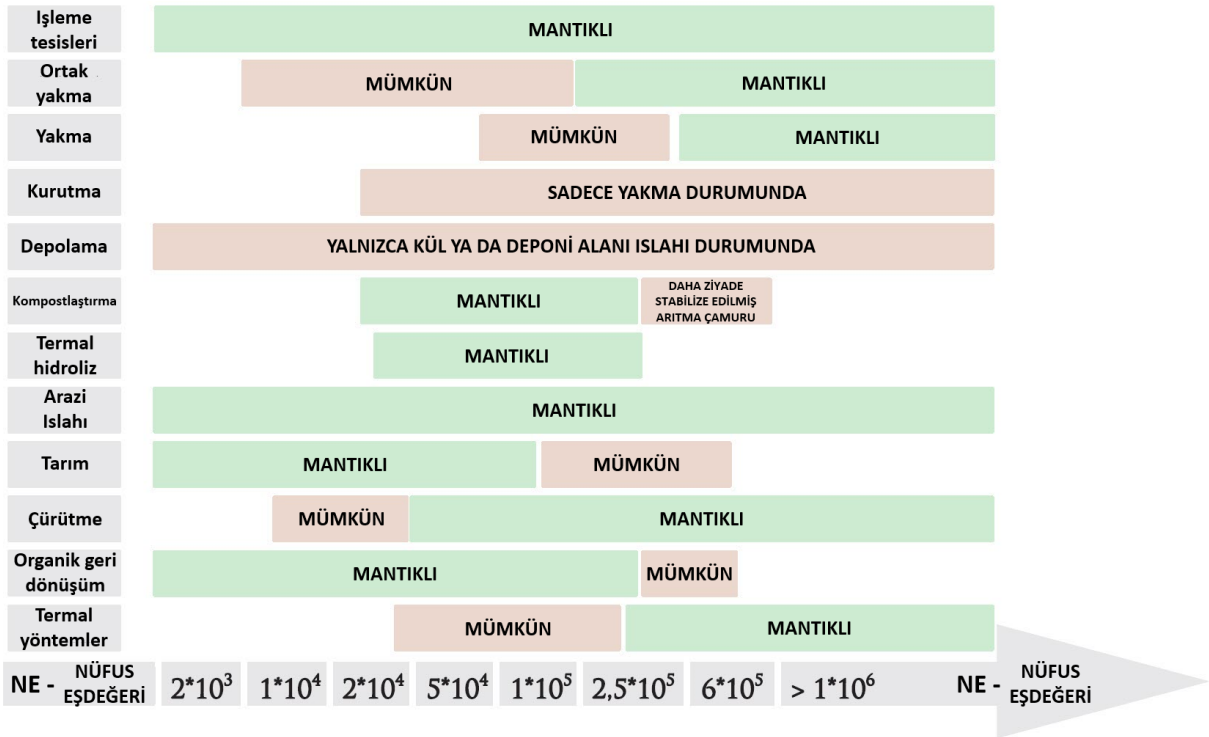
## Uluslararası Genel Çevre Sorunlarına Bakış

likte, bu kullanılabilirlik, sertleşme süresinin gecikmesi ile sınırlıdır ve nihai ürünün mekanik özellikleri üzerinde bir etkiye sahiptir [45].

Arıtma çamurunun hafif tuğla ve seramik ürünlerin üretiminde büyük bir potansiyele sahip olduğu da bildirilmiştir [12]. Ayrıca, Başbüyük ve Kalat [46], bitkisel yağ rafineri suyunun arıtımında arıtma çamurunun kullanılabilirliğini göstermiştir. Bu nedenle arıtma çamurlarının atıksu arıtma tesislerinde pıhtılaştırıcı olarak yeniden kullanımı ilgi kazanmıştır. Şap çamurunda çözünmeyen alüminyum hidroksitlerin yüksek konsantrasyonu ve pıhtılaştırıcı olarak rolleri nedeniyle, şap çamurunun birincil atıksudaki SS ve KOİ giderimini etkili bir şekilde arttırdığı araştırılmıştır [47]. Ayrıca, Jangkorn ve ark. [48], şap çamurunun uygulanmasının, endüstriyel ve kimyasal atıkların atık su arıtımında bulanıklığın yanı sıra KOİ ve anyonik yüzey aktif maddelerin giderilmesini tartışmasız bir şekilde etkilediğini göstermiştir. Bu yöntemin de TSS'yi artırabileceği bulunmuştur; ancak bu, taze şap ilavesiyle kolayca dengelenebilir. Arıtma çamuru, atık su arıtımında kirleticilerin ve ağır metallerin uzaklaştırılması potansiyeline sahiptir. Fosforun yanı sıra Pb, As, Cu, hidrojen sülfür vb. maddeleri de uzaklaştırdığı bildirilmiştir [49]. Absorpsiyon proseslerinin verimliliği, çözeltinin pH değeri tarafından büyük ölçüde düzenlenir [50].

Bununla birlikte, günümüzde arıtma çamuru yönetimi için iki ana yön vardır, birincisi organik geri dönüşüm, ikincisi ise enerjinin ve materyalin geri dönüşümüdür [1].

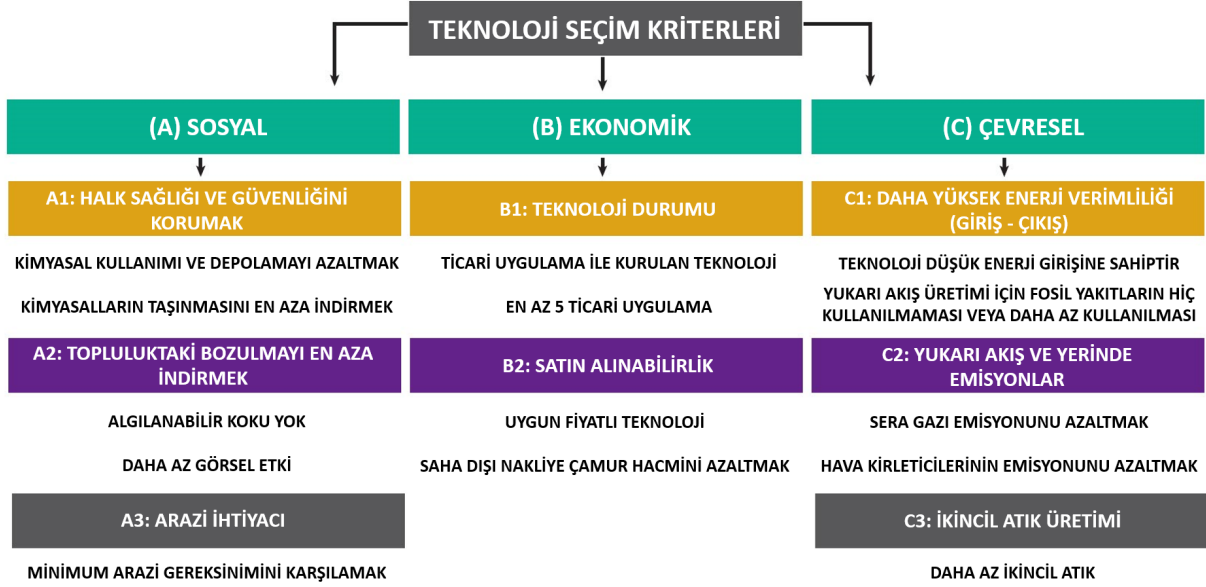
Şekil 1'de, temel olarak AAT'nin boyutuna ve üretilen arıtma çamurunun hacmine dayalı olarak tercih edilen arıtma çamuru arıtma prosesleri için öneriler verilmiştir [51].



Şekil 1. Nüfus eşdeğerine (NE) bağlı olarak seçilen arıtma çamuru arıtma proseslerinin ana tavsiyeleri [51].

## Aritma Çamuru Bertarafı ve Alternatif Stratejiler

Şekil 2’de gösterildiği gibi, diğer yazarlar teknoloji seçim kriterlerini aşağıdaki şekilde ayırmışlardır [52]:



Şekil 2. Aritma çamurundan kaynak geri kazanımı için teknoloji geliştirme ile ilgili sosyal, ekonomik ve çevresel kriterler [52].

Bununla birlikte, iklim değişikliği politikası ve yenilenebilir enerji ile ilgili gelişmeler gibi birçok başka faktör de çamur yönetimini etkileyebilir [53].

- Çamur uygulamalarının toprağa ek faydalarına odaklanan iklim değişiklikleri ve sera gazı emisyonlarının azaltılması ile ilgili artan ilgi;
- Külün geri dönüşümü ve fosfatların geri kazanılmasıyla birlikte anaerobik çürütme, yakma veya diğer ısıl işlemlerle enerji geri kazanımı ile çamurun arıtılmasında beklenen artış;
- Aritma çamurundan biyogaz üretimi ve kullanımında olası bir artış ve ayrıca piroliz ve gazlaştırma kullanılarak doğrudan arıtma çamurundan bazı alkol ve diğer yakıtların üretimi;
- Miscanthus, söğüt, hibrit kavak ve diğer gıda dışı enerji bitkileri gibi yakıt mahsullerine çamur uygulamasında artış;
- Geleneksel kil ve beton tuğlaların yerini alabilecek karbon nötr bir yapı malzemesine dönüşen arıtma çamuru.

Açık bir vaka çalışması olmasa da, Avrupa Komisyonu Ortak Araştırma Merkezi tarafından yazılan Biyoatık Yönetimine Yaşam Döngüsü Değerlendirmesini (YDD) Uygulayan Mevcut Çalışmalar Envanteri, organik atık yönetimi üzerine çok sayıda YDD çalışmasını incelemektedir. Aşağıdaki ön sonuçları sunar [54]:

- Etkin bir çevre yaklaşımı olmadığı için diğer arıtma seçenekleri lehine biyoatıkların düzenli depolanmasından kaçınılmalıdır;

## Uluslararası Genel Çevre Sorunlarına Bakış

- Tercih edilen organik atık arıtma sisteminin seçimi, kaçınılmış ürünler, diğer atık arıtma seçeneklerinin mevcudiyeti ve arıtma tesislerinin verimliliği gibi belirli yerel faktörlerin analizinin bir sonucu olmalıdır;
- Organik atıkların geri dönüşümünün olumlu etkileri, kaçınılan ürünlerden kaynaklanır ve bu sonuçlara ulaşmak için ihtiyaç duyulan atık yönetim sisteminin olumsuz etkilerini aşabilir;
- Sadece tek bir arıtma yöntemine odaklanmak yerine birden fazla organik atık arıtma yöntemi aynı anda benimsendiğinde optimum çevresel performans da optimize edilmiş olarak kabul edilir.

Çamurun uzun süre araziye yayılması, tarım topraklarında kirlilik birikimine (ağır metaller) yol açabilir ve tüm ekosistemleri etkileyebilir. Birikme seviyesinin şu anda izin verilen değerleri aşmamasına rağmen, toprak ve flora etkileşimleri hakkında artan bilimsel bilgiler, çevredeki kaderlerinin tehlikesinin anlaşılmasını sağlar. Arıtma çamuru yönetiminin olası yönlerinden biri Spinosa vd. [55] tarafından sunulmuştur. Yazarlara göre, sistem üç ana süreci içermelidir: Anaerobik çürütme, Susuzlaştırma/Kurutma ve Piroliz/Gazlaştırma ile ısıl işlem, belirli koşullarda malzemenin yeniden kullanımı ve/veya enerji amaçları için ürünlerin geri kazanımı için verimli bir şekilde birleştirilir (Şekil 5).



Şekil 3. Enerji girişi-çıkışı bir fonksiyonu olarak arıtma çamuru yönetiminin olası yolu [55].

## 5. SONUÇ

Arıtma çamuru, organik madde, karbon, fosfor, azot, uçucu asitler ve hatta proteinler gibi zorunlu olarak geri dönüştürülmesi gereken bir enerji ve değerli bileşikler deposu olarak kabul edilir. Bununla birlikte, uygulanan stratejiler, bir kaynak olarak çamurun yüksek geri kazanım oranına yol açan ve ardından zararlı bileşiklerin maksimum düzeyde çıkarılmasına izin veren teknolojilere odaklanır. Belirli bir alan için en uygun arıtma çamuru yönetim senaryosunun seçimi, karar verme



## Aritma Çamuru Bertarafı ve Alternatif Stratejiler

araçlarının, yani önerilen stratejilerin olası bir çevresel etkisinin değerlendirilmesine izin veren YDD'nin kullanılmasını gerektirir. Atıksu arıtma tesisinin büyüklüğüne göre farklı yaklaşımlar gerekmektedir. Büyük miktarda arıtma çamuru üreten büyük atıksu arıtma tesislerinin temel amacı, enerji geri kazanımını en üst düzeye çıkarmak iken, küçük kırsal tesislerde ise maddenin geri kazanımı olmalıdır. Orta ölçekli bir atıksu arıtma tesisinde, daha sonraki işlemler için (örneğin kompostlama işlemi için) mümkün olan iyi kalitede bir ürün elde edilirken, enerji geri kazanımının verimliliğinin artırılması düşünülebilir.

Tüm arıtma çamuru yönetim stratejilerinin nihai ürünlerin pazar analizini ve pazarların büyüklüğünün tahminini içermesi ve uygun bir çözüm için süreyi belirlemesi gereklidir. Bu nedenle, arıtma çamuru yönetimi stratejisi, çamur yönetimi alternatifinin temel amacının arıtma çamuru bertarafı olduğu ve uygulanan çözümün uzun vadeli niteliği olduğu göz önünde bulundurularak yüksek derecede riskli çözümleri reddetmelidir.

### KAYNAKLAR

- [1] Kacprzak, M. vd., Sewage sludge disposal strategies for sustainable development. *Environmental Research*, 2017. **156**: p. 39-46.
- [2] Mateo-Sagasta, J., Raschid-Sally, L. ve Thebo, A., Global wastewater, sludge production, treatment and reuse. Chapter: wastewater. *Wastewater: economic asset in an unbanning world*. 15–38. 2015, Dordrecht: Springer.
- [3] Grosser, A. ve Neczaj, E. Pretreatment methods as a means of boosting methane production from sewage sludge and its mixtures with grease trap sludge. 2017. **22**: p. 00058.
- [4] Lundin, M. vd., Environmental and economic assessment of sewage sludge handling options. *Resources, Conservation and Recycling*, 2004. **41**(4): p. 255-278.
- [5] Grosser, A. vd., Co-digestion of organic fraction of municipal solid waste with different organic wastes: A review. 2013: CRC Press-Taylor & Francis Group: London, UK.
- [6] Metcalf ve Eddy, *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. New York: McGraw-Hill, 2003.
- [7] Grosser, A., The influence of decreased hydraulic retention time on the performance and stability of co-digestion of sewage sludge with grease trap sludge and organic fraction of municipal waste. *Journal of Environmental Management*, 2017. **203**: p. 1143-1157.
- [8] Kacprzak, M. vd., The potential of biosolid application for the phytostabilisation of metals. *Desalination and Water Treatment*, 2014. **52**(19-21): p. 3955-3964.
- [9] Kacprzak, M. vd., Efficacy of Biosolids in Assisted Phytostabilization of Metalliferous Acidic Sandy Soils with Five Grass Species. *International Journal of Phytoremediation*, 2014. **16**(6): p. 593-608.
- [10] Krzywicka, A. ve Kwarciak-Kozłowska, A., Advanced oxidation processes with coke plant wastewater treatment. *Water Science and Technology*, 2014. **69**(9): p. 1875-1878.
- [11] Foladori, P., Andreottola, G. ve Ziglio, G., *Sludge reduction technologies in wastewater treatment plants*. 2010: IWA publishing.
- [12] Ahmad, T., Ahmad, K. ve Alam, M., Sustainable management of water treatment sludge through 3'R' concept. *Journal of Cleaner Production*, 2016. **124**: p. 1-13.

## Uluslararası Genel Çevre Sorunlarına Bakış

- [13] Fytily, D. ve Zabaniotou, A., Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2008. **12**(1): p. 116-140.
- [14] Raschid-Sally, L., City Waste for Agriculture: Emerging Priorities which Influence Agenda Setting. *Aquatic Procedia*, 2013. **1**: p. 88-99.
- [15] Scott, C. A. vd., Wastewater irrigation and health: challenges and outlook for mitigating risks in low-income countries, in *Wastewater Irrigation and Health*. 2009, Routledge. p. 407-420.
- [16] Fijalkowski, K. vd., Modification of properties of energy crops under Polish condition as an effect of sewage sludge application onto degraded soil. *Journal of Environmental Management*, 2018. **217**: p. 509-519.
- [17] Kacprzak, M. vd., *Escherichia coli* and *Salmonella* spp. Early diagnosis and seasonal monitoring in the sewage treatment process by EMA-qPCR method. *Polish journal of microbiology*, 2015. **64**(2): p. 143-148.
- [18] Grobelak, A. vd., Chapter 28 - Mine Waste Rehabilitation Case Studies From Poland, in *Bio-Geotechnologies for Mine Site Rehabilitation*, M.N.V. Prasad, P.J.d.C. Favas, and S.K. Maiti, Editors. 2018, Elsevier. p. 515-527.
- [19] Linderholm, K., Tillman, A. M. ve Mattsson, J. E., Life cycle assessment of phosphorus alternatives for Swedish agriculture. *Resources, Conservation and Recycling*, 2012. **66**: p. 27-39.
- [20] Cieřlik, B. M., Namieřnik, J. ve Konieczka, P., Review of sewage sludge management: standards, regulations and analytical methods. *Journal of Cleaner Production*, 2015. **90**: p. 1-15.
- [21] Grobelak, A. vd., Chemophytostabilisation of soil contaminated with cadmium, lead and zinc. *ROCZNIK OCHRONA SRODOWISKA*, 2013. **15**: p. 1982-2002.
- [22] Grobelak, A. vd., Effects of single sewage sludge application on soil phytoremediation. *Journal of Cleaner Production*, 2017. **155**: p. 189-197.
- [23] Abreu-Junior, C.H. vd., Fertilization using sewage sludge in unfertile tropical soils increased wood production in Eucalyptus plantations. *Journal of Environmental Management*, 2017. **203**: p. 51-58.
- [24] Kulling, D., Stadelmann, F. ve Herter, U., Sewage sludge—fertilizer or waste. UKWIR Conference, Brussels. 2001. p. 9-11.
- [25] Grobelak, A., Napora, A. ve Kacprzak, M., Using plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) to improve plant growth. *Ecological Engineering*, 2015. **84**: p. 22-28.
- [26] Smol, M. vd., The possible use of sewage sludge ash (SSA) in the construction industry as a way towards a circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 2015. **95**: p. 45-54.
- [27] Smol, M., Kulezycka, J. ve Kowalski, Z., Sewage sludge ash (SSA) from large and small incineration plants as a potential source of phosphorus – Polish case study. *Journal of Environmental Management*, 2016. **184**: p. 617-628.
- [28] Wołejko, E. vd., The effect of sewage sludge fertilization on the concentration of PAHs in urban soils. *Environmental Pollution*, 2018. **232**: p. 347-357.
- [29] Zsirai, I., Sewage sludge as renewable energy. *Residuals Sci. Tech*, 2011. **8**(4): p. 165-179.
- [30] Suleiman, H. vd., Determination of the performance of vermicomposting process applied to sewage sludge by monitoring of the compost quality and immune responses in three earthworm species: *Eisenia fetida*, *Eisenia andrei* and *Dendrobaena veneta*. *Bioresource Technology*, 2017. **241**: p. 103-112.
- [31] Sobik-Szołtysek, J., Wystalska, K. ve Grobelak, A. Effect of addition of sewage sludge and coal sludge on bioavailability of selected metals in the waste from the zinc and lead industry. *Environmental Research*, 2017. **156**: p. 588-596.

## Aritma Çamuru Bertarafı ve Alternatif Stratejiler

- [32] Thomsen, T. P. vd., Changes imposed by pyrolysis, thermal gasification and incineration on composition and phosphorus fertilizer quality of municipal sewage sludge. *Journal of Environmental Management*, 2017. **198**: p. 308-318.
- [33] Wołejko, E. vd., The influence of chemical protection on the content of heavy metals in wheat (*Triticum aestivum* L.) growing on the soil enriched with granular sludge. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2017. **189**(8): p. 424.
- [34] Bondarczuk, K., Markowicz, A. ve Piotrowska-Seget, Z., The urgent need for risk assessment on the antibiotic resistance spread via sewage sludge land application. *Environment International*, 2016. **87**: p. 49-55.
- [35] Rorat, A. vd., Vermiremediation of polycyclic aromatic hydrocarbons and heavy metals in sewage sludge composting process. *Journal of Environmental Management*, 2017. **187**: p. 347-353.
- [36] Placek, A., Grobelak, A. ve Kacprzak, M., Improving the phytoremediation of heavy metals contaminated soil by use of sewage sludge. *International Journal of Phytoremediation*, 2016. **18**(6): p. 605-618.
- [37] Celary, P. ve Sobik-Szołtysek, J., Vitrification as an alternative to landfilling of tannery sewage sludge. *Waste Management*, 2014. **34**(12): p. 2520-2527.
- [38] Celary, P., Sobik-Szołtysek, J. ve Tajchman, A., Heavy metal volatilization during vitrification of tannery sewage sludge with mineral waste. *Inżynieria i Ochrona Środowiska*, 2016. **19**.
- [39] Bridle, T. R. ve Pritchard, D., Energy and nutrient recovery from sewage sludge via pyrolysis. *Water Science and Technology*, 2004. **50**(9): p. 169-175.
- [40] Dogru, M., Midilli, A. ve Howarth, C. R., Gasification of sewage sludge using a throated downdraft gasifier and uncertainty analysis. *Fuel Processing Technology*, 2002. **75**(1): p. 55-82.
- [41] Groß, B. vd., Energy recovery from sewage sludge by means of fluidised bed gasification. *Waste Management*, 2008. **28**(10): p. 1819-1826.
- [42] Vierrath, H. ve Greil, C., Energy and electricity from biomass, forestry and agricultural waste. in the First World Conference and Exhibition on Biomass for Energy and Industry. 2001. James & James.
- [43] Midilli, A. vd., Hydrogen production from sewage sludge via a fixed bed gasifier product gas. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2002. **27**(10): p. 1035-1041.
- [44] Angerbauer, C. vd., Conversion of sewage sludge into lipids by *Lipomyces starkeyi* for biodiesel production. *Bioresource Technology*, 2008. **99**(8): p. 3051-3056.
- [45] Sobik-Szołtysek, J. ve Jabłońska, B., Possibilities of joint management of sewage sludge and dolomite post-flotation waste. *Ecol Chem Eng S*, 2010. **17**(2): p. 149-159.
- [46] Basibuyuk, M. ve Kalat, D.G., The use of waterworks sludge for the treatment of vegetable oil refinery industry wastewater. *Environmental Technology*, 2004. **25**(3): p. 373-380.
- [47] Guan, X.-H., Chen, G. H. ve Shang, C., Re-use of water treatment works sludge to enhance particulate pollutant removal from sewage. *Water Research*, 2005. **39**(15): p. 3433-3440.
- [48] Jangkorn, S. vd., Evaluation of reusing alum sludge for the coagulation of industrial wastewater containing mixed anionic surfactants. *Journal of Environmental Sciences*, 2011. **23**(4): p. 587-594.
- [49] Yang, L. vd., Reuse of acid coagulant-recovered drinking waterworks sludge residual to remove phosphorus from wastewater. *Applied Surface Science*, 2014. **305**: p. 337-346.

## Uluslararası Genel Çevre Sorunlarına Bakış

- [50] Razali, M., Zhao, Y. Q. ve Bruen, M., Effectiveness of a drinking-water treatment sludge in removing different phosphorus species from aqueous solution. *Separation and Purification Technology*, 2007. **55**(3): p. 300-306.
- [51] Wójtowicz, A. vd., Modelowe rozwiązania w gospodarce osadowej. Izba Gospodarcza Wodociągi Polskie, 2013.
- [52] Tyagi, V. K. ve Lo, S. L., Sludge: A waste or renewable source for energy and resources recovery? *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2013. **25**: p. 708-728.
- [53] Commission, E., Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on Waste and Repealing Certain Directives (Waste framework directive, R1 Formula in Footnote of Attachment II). 2008.
- [54] Krutwagen, B., Kortman, J. ve Verbist, K., Inventory of Existing Studies Applying Life Cycle Thinking to Biowaste Management. Office of Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 2008.
- [55] Spinosa, L. vd., Sustainable and Innovative Solutions for Sewage Sludge Management. *Water*, 2011. **3**(2).

# EVSEL ATIKSULARDAN ENERJİ, NÜTRİYENT VE SU GERİ KAZANIMI

Özlem Özcan<sup>1</sup> - Erkan Şahinkaya<sup>2</sup> - Niğmet Uzal<sup>3</sup>

## ÖZET

Günümüzde, atıksu arıtım proseslerinde tüketilen enerjiyi azaltmak ve arıtılan suyun yeniden kullanımı için alternatif proses uygulamaları geliştirmek yeni nesil arıtma proseslerinin bir parçası olarak bilimsel araştırmaların odak noktası hâline gelmiştir. Evsel atıksuların arıtımında, atıksuyun yönetmeliklerle belirlenen deşarj sınır değerlerini sağlamak hedefi ile yaygın olarak kullanımda olan konvansiyonel ileri biyolojik atıksu arıtma tesisleri yerine atıksuyun içeriğinde bulunan organik madde, azot, fosfor ve suyun geri kazanımı ile döngüsel fayda maksimizasyonunu hedefleyen kendi enerjisini üreten yenilikçi arıtma proseslerinin geliştirilmesi önem kazanmıştır. Teorik olarak, 1 kg kimyasal oksijen ihtiyacındaki (KOİ) enerji içeriği 3,5 kWh civarındadır ve evsel atıksu ortalama 1,66 kWh/m<sup>3</sup> enerji içerebilir. Ancak kendi enerjisini üreten arıtma prosesleri geliştirilmesi noktasında en yaygın kullanılan anaerobik proseslerin düşük organik madde içeriğinden dolayı evsel atıksularda doğrudan uygulanmasını sınırlamaktadır. Membran esaslı prosesler atıksuların konsantrasyonunu artırarak, kullanım kolaylığı, düşük net enerji gereksinimi, yüksek arıtılmış su kalitesi ve yüksek su geri kazanım oranı gibi ön plana çıkan özellikleri ile yüksek potansiyele sahiptir. Membran proseslerde temel sorun membran tıkanmasıdır. Bu noktada membran proseslere entegre teknolojiler ile organik madde geri kazanımının maksimize edilmesi ve membran tıkanmasının minimize edilmesi önem kazanmıştır. Bu çalışmada evsel atıksuda bulunan organik maddeden enerji eldesi, azot, fosfor gibi nütriyentlerin ve su gibi kısıtlı kaynakların geri kazanımına yönelik araştırmaların önemi vurgulanarak, bu konuda yapılan çalışmalar incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Evsel Atıksu, Enerji Geri Kazanımı, Nütriyent Geri Kazanımı, Su Geri Kazanımı, Doğrudan Membran Filtrasyonu

## ABSTRACT

Today, reducing the energy consumption in wastewater treatment plants and developing alternative process applications for the reuse of treated water, as a part of the new generation treatment processes have become the focus of scientific research. In the treatment of domestic wastewater, it is important to develop innovative treatment processes that produce their own energy, aiming at the recovery of organic matter, nitrogen, phosphorus and water in the wastewater, and circular benefit maximization, instead of conventional advanced biological wastewater treatment plants, which are widely used with the aim of ensuring the discharge limit values of wastewater determined by regulations. Theoretically, the energy content in 1 kg chemical oxygen demand (COD) is around 3.5 kWh and the average domestic wastewater can contain 1.66 kWh/m<sup>3</sup> of energy. However, it limits the direct application of anaerobic processes, which are the most widely used for the treatment processes that produce their own energy, in domestic wastewater due to their low organic matter content. Membrane-based processes have high potential in concentrating wastewater

- 1 Abdullah Gül Üniversitesi, Malzeme Bilimi ve Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Kayseri, 38080, ozlem.ozcan@agu.edu.tr, ORCID No: 0000-0003-0869-9533
- 2 İstanbul Medeniyet Üniversitesi, Biyomühendislik Bölümü, İstanbul, 34700, erkan.sahinkaya@medeniyet.edu.tr, ORCID No: 0000-0002-9898-9173
- 3 Abdullah Gül Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kayseri, 38080, Turkey, nigmet.uzal@agu.edu.tr, ORCID No: 0000-0002-0912-3459

## Uluslararası Genel Çevre Sorunlarına Bakış

with their prominent properties such as ease of use, low net energy requirement, high purified water quality and high water recovery rate. The main problem in membrane processes is membrane fouling. At this point, maximizing organic matter recovery and minimizing membrane fouling with technologies integrated into membrane processes have gained importance. In this study, the importance of obtaining energy from organic matter in domestic wastewater, the recovery of nutrients such as nitrogen and phosphorus and the recovery of limited resources such as water has been emphasized and studies on this subject have been reviewed.

**Keywords:** *Domestic Wastewater, Energy Recovery, Nutrient Recovery, Water Recovery, Direct Membrane Filtration,*

### 1. GİRİŞ

Günümüzde doğal kaynakların sürdürülebilirliğinin sağlanması için uygulanan atıksu arıtım prosesleri, alıcı ortama verilen kirleticilerin azaltılması prensibinin ötesinde prosesin atıksuda bulunan organik, enerji ve nütrientlerin geri kazanımı ile birlikte değerlendirilmesine yönelik yürütülen çalışmalar ile yeni bir bakış açısı kazanmıştır. Bu yüzden arıtma teknolojilerinin uygulamasında enerji bakımından kendi kendine yetebilen veya tükettiğinden fazlasını üreten evsel arıtma tesislerine yönelik araştırmalar, kısıtlı kaynaklar olan su, nütrient ve enerjinin sürdürülebilirliği noktasında özellikle gelişmekte olan ülkeler için büyük önem taşımaktadır [1]. Çünkü hem su hem de enerjinin sürdürülebilir olarak temini ve buna karşılık gelen karbon emisyonunun azaltılması sürdürülebilir kentsel gelişim için kritik bir önem taşımaktadır [2, 3]. Atıksuların toplanması ve tesise iletilmesi, fiziksel ve kimyasal arıtma, biyolojik arıtma, çamur arıtma ve deşarj gibi atıksu arıtma tesislerinin temel aşamalarında önemli miktarda enerjiye gereksinim vardır [4]. Geleneksel bir atık su arıtma tesisinde, işletme maliyetlerinin %25-40'ı proseslerdeki enerji tüketiminden kaynaklanırken [3] kullanılan enerjinin %75'i havalandırma işlemi için tüketilmektedir. Bunun yanı sıra, nitrifikasyon prosesinde de organik madde parçalanması için yaklaşık aynı miktarda oksijen ve enerji tüketildiği belirtilmektedir [5]. Hâlbuki, atıksu içeriğinde bulunan organik madde ve nütrientlerin arıtılarak uzaklaştırılması yerine geri kazanımı hem enerji tasarrufu hem de kaynak korunumu açısından büyük önem taşımaktadır. Ayrıca, atıksu arıtma tesislerinde enerji tüketiminden kaynaklanan sera gazı emisyonları da küresel boyutta endişeye neden olmaktadır [6, 7]. Dünyada ve ülkemizde evsel atıksu arıtımında yaygın olarak uygulanan ileri atıksu arıtma prosesleri nütrient giderimini de içerdiğinden enerjiye bağımlılığı daha yüksektir ve bu proseslerin enerji tüketimleri, Japonya'da 0,39–3,74 kWh/m<sup>3</sup>, Amerika'da 0,43 kWh/m<sup>3</sup>, Tayvan'da 0,41 kWh/m<sup>3</sup>, Yeni Zelanda'da 0,49 kWh/m<sup>3</sup>, Macaristan'da 0,45–0,75 kWh/m<sup>3</sup> değerlerindedir ve Türkiye'de bu veri 0,24-0,42 kWh/m<sup>3</sup>'tür [8-11].

Evsel atıksu içeriğinde bulunan organik maddenin yanı sıra nütrientlerin de arıtılarak uzaklaştırılması yerine geri kazanımı da kritik önem taşımaktadır. Kimyasal çökeltme, kristalleştirme, adsorpsiyon ve iyon değişim prosesleri, membran prosesler, elektrokimyasal prosesler ve biyolojik prosesler dâhil olmak üzere, atık sudan N ve P geri kazanımına yönelik birçok fiziksel, biyolojik ve kimyasal yaklaşım geliştirilmiştir [12-15]. Evsel atıksular, nütrient içeriğinin yanı sıra ağır metaller, metaloidler, pestisitler, farmasötikler, kişisel bakım ürünleri, nanomalzemeler, perflorlu bileşikler, hormonlar ve patajonlar dâhil olmak üzere hem organik hem de inorganik birçok kirletici içerir. Bu nedenle arıtılmamış atıksuların tarım arazisinde kullanılması insani gıda tüketiminde

## Evsel Atıksulardan Enerji, Nütrient ve Su Geri Kazanımı

sakıncalar doğurmakta ve fosforu gübre olarak güvenli bir şekilde kullanılabilen katı formda gidermek, belirli seçicilik derecesine sahip geri kazanım proseslerini gerektirmektedir [16]. Bu çalışmada atıksuda bulunan organik maddeden enerji eldesi, azot, fosfor gibi nütrientlerin ve su gibi kısıtlı kaynakların geri kazanımına yönelik aştırmaların önemi vurgulanarak, bu konuda yapılan çalışmalar incelenmiştir.

## 2. ORGANİK MADDE VE ENERJİ GERİ KAZANIMI

Atıksuyun içeriğinde bulunan organik maddeler kimyasal enerji potansiyeli olarak tanımlanır ve organik moleküllerin kimyasal bağlarında bulunur [17]. Organikler kaynaklı karbonlu madde, atıksuyun toplam enerji içeriğinde 1.66 kWh/m<sup>3</sup> ile en yüksek paya sahiptir ve azotlu madde, 0.30 kWh/m<sup>3</sup>lük ek bir enerji içeriği sunmaktadır [18]. Evsel atıksuların organik madde konsantrasyonu tipik olarak 400–500 mg KOİ/L aralığındadır [19]. Teorik olarak, 1 kg kimyasal oksijen ihtiyacındaki (KOİ) enerji içeriği 3,5 kWh civarındadır ve ortalama belediye atıksuyu 1,66 kWh/m<sup>3</sup> enerji içerebilir. Anaerobik koşullar altında atık sudaki organik maddenin metana dönüştürülmesi, enerji geri kazanımı için en çok uygulanan işlemdir. Bununla birlikte, evsel atık sudaki askıda katı maddelerin hidrolizinin, düşük sıcaklıklarda [20] hız sınırlayıcı adım olduğu ve 25-37°C mezofilik sıcaklık aralığı gerektirebileceği iyi bilinmektedir. Ancak reaktör sıcaklığının uygun değerlere yükseltilmesinde, su sıcaklığını 1°C arttırmak için yaklaşık 1,2 kWh/m<sup>3</sup> enerjiye ihtiyaç duyulduğundan, anaerobik prosesin üretilmesinden ziyade enerji tüketilmesine neden olabilir [20]. Bu nedenle, atık sudaki organik madde, anaerobik arıtmayı daha verimli ve enerji pozitif bir süreç hâline getirmek için konsantre edilmelidir. Bu şekilde, aerobikten anaerobik bazlı arıtma süreçlerine geçiş, atık su arıtımının enerji tüketimini azaltma (yani havalandırmayı önleyerek) ve ayrıca enerji nötral atık su arıtımı (yani biyogaz üretimi yoluyla) elde etme konusunda önemli bir potansiyele sahiptir.

Konvansiyonel aktif çamur proseslerinde havalandırma işleminden kaynaklanan yüksek enerji gereksinimi ve atıksudaki enerji ve nütrientlerin atmosfere gaz olarak salınması (örneğin karbon dioksit ve azot gazı) gibi dezavantajları yüzünden bu proseslere alternatif daha az enerji tüketen proseslere ilgi giderek artmaktadır. Bu noktada, atıksuyu faydalı hâle getirme hedefi ile özellikle enerji nötral; kendi enerjisi ile işletilebilen arıtma prosesleri geliştirilmesinde alternatif olarak anaerobik membran biyoreaktörler (AnMBR) ön plana çıkmaktadır [21]. Atıksuyun içeriğindeki organik maddenin enerjiye dönüştürülmesindeki en yaygın uygulama olan anaerobik metan (CH<sub>4</sub>) üretimi [22], düşük organik madde içeriğinden dolayı evsel atıksularda bu prosesin uygulanmasını doğrudan kısıtlamaktadır. Son zamanlarda bu organik maddenin çeşitli ön arıtma teknolojileri ile ön-konsantrasyonunda bu sorunun aşılmasında önemli bir potansiyel çözüm olarak görülmektedir [23-25].

Anaerobik biyolojik prosesler, hidroliz, asitojenez, asetojenez ve metanojenez gibi dört entegre aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalarda, organik maddenin biyogaza dönüşümü, farklı mikroorganizma grupları arasındaki (örneğin fermantatif bakteriler, sentrofik asetojenler, homoasetojenler, hidrojenetrofik metanojenler ve asetiklastik metanojenler) arasındaki simbiyotik ilişkiye bağlıdır

## Uluslararası Genel Çevre Sorunlarına Bakış

ve bu mikroorganizma gruplarından, metanojenler, önceki aşamalardan oluşan ara ürünleri, nihai ürün olan metan gazına dönüştürerek biyogaz üretiminde en önemli role sahip mikroorganizma grubudur [26]. Optimize edilmiş koşullar altında AnMBRların, KOİ'nin yaklaşık %98'ini etkili şekilde biyogaza dönüştürdüğü ve üretilen CH<sub>4</sub> gazının sistemin çalışması için gereken enerjinin yedi katını karşıladığı belirtilmektedir [27].

Anaerobik proseslerin performansları büyük ölçüde işletim sıcaklığına bağlıdır. Bu nedenle birçok çalışma sıcaklığın, organik maddenin CH<sub>4</sub>'e dönüşüm oranı ve membran tıkanması üzerindeki önemli etkisini incelemiştir [28-30]. Sung vd. (2010) yaptıkları çalışmada, sentetik evsel atıksu ile beslenen sırasıyla 15 ve 25°C'de işletilen iki AnMBR'nin performansını karşılaştırmıştır. KOİ giderim verimi 25°C'de %95'ten fazla iken, 15°C'de sadece %85 olarak tespit edilmiştir ve aynı azalma eğilimi metanojenik aktivitede de gözlemlenmiştir [31]. Watanabe vd. (2017) ise işletme sıcaklığı 25°C'den 15°C'ye düştüğünde membran tıkanmasında önemli bir artış (%17'den %45'e kadar) gözlemlerken sistem TMP'sindeki artış 0.1701 kPa/gün iken 0.7231 kPa/gün değerlerine yükseliş göstermiştir [28]. Ayrıca 20°C'de yürütülen çalışmalarda mezofilik (30°C) koşullara kıyasla ötrofikasyonun %50 azaltılarak nütrient geri kazanımının maksimize edildiği gözlemlenmiştir [32]. Huang vd (2011) de AnMBR ile evsel atıksu arıtımında sonsuz SRT ve kısa HRT değerleri uygulaması ile KOİ gideriminin maksimize edildiği ve metan üretiminin arttığını rapor etmişlerdir. Ancak bu SRT ve HRT uygulamasının polimerik membranlarda tıkanma sorunlarına yol açabileceği belirtilmektedir. AnMBR'ler, evsel atıksuyun arıtılmasında askıda kalan katı maddelerin tamamen giderilmesi, düşük çamur üretimi, yüksek organik giderim ve biyogaz üretimi gibi çeşitli avantajları olmasına rağmen membran tıkanması sonucu yüksek işletme ve bakım maliyetleri bu prosesin kullanımını kısıtlamaktadır [33, 34]. Ancak Jeong vd. (2018) yaptıkları araştırmada polimerik membranlar ile seramik membranların AnMBR içinde evsel atıksu arıtımındaki performanslarını karşılaştırmışlardır. Bu çalışmaya göre seramik membran kullanılan AnMBR'da daha yüksek biyokütle konsantrasyonu nedeni ile tıkanmada etkili olan çözünebilir mikrobiyal ürün ve hücre dışı polimerik madde miktarının çok olduğunu ama bu koşullar altında da seramik membran ile işletilen AnMBR'da polimerik membran ile işletilen AnMBR'dan çok daha stabil akımlarla işletim sağlandığı belirtilmektedir [35]. Geleneksel polimerik membranlardan daha yüksek akı performansı ve düşük tıkanma eğilimi gösteren seramik membranlar AnMBR prosesinde kullanılarak proses performansının geliştirilmesinde ve proses verimini artırmada çok etkili olmaktadır [36].

Literatürde yapılan birçok çalışmada tam karışımli AnMBR prosesleri kullanılmasına rağmen son zamanlarda akışkan yataklı anaerobik seramik MBR (AnFSMBR) proseslerinin tıkanma sorunlarının daha az olması ve arıtma performanslarının daha yüksek olması nedeniyle kullanımı artmaya başlamıştır. Dolayısıyla AnFSMBR kullanılarak, mikroorganizmanın daha çok akışkan yatakta kalması (aktif karbon gözeneklerinde bulunması) nedeniyle tıkanma sorunu azaltılacaktır. Bilindiği gibi anaerobik MBR proseslerinde kek tıkanması (yüksek biyokütle konsantrasyonu nedeniyle) en önemli sorundur. Ancak AnFSMBR prosesinde biyokütle daha çok reaktör içinde yani yatakta kaldığı ve membranla teması azaltarak özellikle kek tıkanması sorunu kontrol altına almaktadır. Ayrıca, yukarıda da bahsedildiği gibi bu proseste kek sıyırması amacıyla, gaz geri devri ihtiyaç duyulmadığından, kek sıyırılması için suyun sirkülasyonu enerji gereksinimi azalmaktadır.



## Evsel Atıksulardan Enerji, Nütrient ve Su Geri Kazanımı

Anaerobik proseslerle evsel atıksulardan enerji geri kazanımını kolaylaştırmak ve prosesi daha ekonomik ve uygulanabilir hâle getirmek için atıksudaki organik maddelerin filtrasyon ve kimyasal ilaveli çöktürme gibi proseslerle konsantre edilmesi önemlidir. Böylece anaerobik proseslere beslenecek atıksu miktarı azalırken organik madde konsantrasyonu da artmış olacaktır. Diğer önemli bir husus ise özellikle düşük sıcaklıklarda su fazında metanın çözünerek enerji elde etmeden sistemden su ile atılmasıdır. Bu durum enerji kaybına neden olabileceği gibi ayrıca, sera gazı potansiyeli yüksek bir gaz olan metan da atmosfere salınmış olacaktır. Hâliyle, düşük sıcaklıklarda anaerobik arıtım sırasında, çıkış suyunda çözünerek kaybedilecek metanın toplanması ve geri kazanılması önemlidir.

### 3. NÜTRİENT GERİ KAZANIMI

Nüfusun artışı ile gıda ihtiyacının ve güvenliğinin sağlanması için kimyasal gübreye olan ihtiyaç her yıl giderek artmaktadır. Aslında azot yenilenebilir bir kaynaktır. Doğada azot, amonyum iyonu ( $\text{NH}_4^+$ ), azot gazı ( $\text{N}_2$ ), organik azot bileşikleri (aminoasitler ve nükleik asitler), azot oksitler ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}$  ve  $\text{N}_2\text{O}$ ) gibi farklı bileşikler hâlinde bulunur. Fosfor ise azotun aksine doğada sınırlıdır ve  $\text{P}_2\text{O}_5$  formunda fosfat kayaçlarında bulunur. 2033 yılına kadar küresel ticari fosfor üretiminin zirve yapacağı ve 50 ile 100 yıl arasında bir süre içerisinde ise fosfor rezervlerinin tükeneyeceği [37] tahmin edilmekte olup, alternatif sürdürülebilir besin kaynaklarının değerlendirilmesi gerekmektedir.

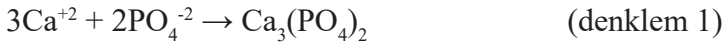
Çevresel açıdan sucul ortamlarda azot kirliliği oluşturan en önemli kaynakların başında organik ve inorganik azot gübrelerinin tarımsal faaliyetlerde kullanımı sonucu kullanılmamış amonyum azotunun salınması ve evsel atıksular gelmektedir [38-40]. Ayrıca üre, çöp depolama sahalarının sızıntı suları ve anaerobik çürütücü çamurunun susuzlaştırılması prosesi sonucu oluşan sıvı faz, azot bakımından zengin atıklardandır [41, 42]. Atıksu arıtma tesislerinde genellikle reaktif amonyum azotunu zararsız azot gazına dönüştüren nitrifikasyon ve denitrifikasyon prosesleri kullanılır [37]. Ancak nitrifikasyon için havalandırma, denitrifikasyon için elektron verici gereklidir. Bu nedenle nitrifikasyon-denitrifikasyon prosesi ile azot giderimi enerji gereksinimi ile arıtma maliyetini büyük oranda artırmaktadır [5]. Bunun yanı sıra biyolojik arıtma proseslerinin nütrient giderim verimi çamur bekletme süresi (SRT), hidrolik bekletme süresi (HRT), pH ve alkalinite gibi birçok parametrenin optimizasyonuna bağlıdır [43].

Fosfor da azot gibi, yaşayan organizmalar için önemli bir element iken aynı zamanda sucul ortamlar için de önemli bir kirleticidir. Fosforun canlılar için önemli olan formu fosfattır ( $\text{PO}_4$ ). Fosfat, nükleik asitlerin fosfolipidlerin ve ATP/ADP'nin bileşenidir ve canlı hücrelerin büyümesi için gereklidir. Fosfor, atıksulardan çöktürme, adsorpsiyon ve/veya biyolojik prosesler yoluyla giderilebilir. Biyolojik proseslerde çok az miktarda fosfor, hücre sentezinde kullanılır. Bu nedenle fosforun atıksudan uzaklaştırılması büyük ölçüde biyolojik arıtma proseslerinin iyileştirilmesini ve kimyasal arıtma uygulanmasını gerektirir. Ayrıca fosfatın çökeltme ve adsorpsiyon ile giderilmesinde uygun pH değerlerini ve demir veya kalsiyum gibi iyonların ortamda uygun konsantrasyonda bulunması gibi proses işletim gereksinimleri vardır [43]. Hâlbuki atıksu içeriğindeki

## Uluslararası Genel Çevre Sorunlarına Bakış

nütrientlerin giderimi yerine çeşitli prosesler kullanılarak geri kazanımı ile hem atıksuların sucul ortamlardaki yaratacağı olası çevresel etkiler engellenmiş hem de doğal kaynakların korunması sağlanarak sürdürülebilir kaynak kullanımında önemli bir adım atılmış olur.

Nütrient geri kazanımındaki yaklaşımların çoğunun problemi düşük saflıkta ürünler ortaya çıkması, yüksek maliyetlere sahip olmaları veya işletiminin karmaşık olmasıdır. Bununla birlikte, kristalizasyon, nispeten yüksek bir geri kazanım oranı ve ekonomik olmasının yanı sıra çevresel riskleri de minimize eden bir yaklaşımdır [14, 44, 45]. Kalsiyum fosfat (Ca-P) ve strüvit ( $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ -MAP) olmak üzere iki temel kristalizasyon prosesi bulunmaktadır (denklem 1 ve 2)



Alkali pH gerektiren strüvit ( $\text{NH}_4\text{MgPO}_4$ ) çöktürmesi stokiometrik olarak amonyum, fosfor ve magnezyum miktarlarına bağlıdır.



$n=1,2,3$  vb. çözelti pH'ına bağlıdır.

Genellikle atıksuda amonyum azotunun geri kazanılmasında fosfor miktarı yetersizdir. Fosfat ve amonyum iyonlarının farklı pH değerlerinde hidrolize olabileceği ve strüvit çökeltimini etkileyebileceği bilinmektedir [37].

## 4. SU GERİ KAZANIMI

İklim değişikliği, ekonomik büyüme ve kentleşmenin artmasıyla mevcut temiz su kaynaklarının aşırı kullanımı ile çok yakın bir gelecekte dünya nüfusunun %50'sinin su stresi yaşayacağı tahmin edilmektedir [46]. Türkiye'de DSİ verilerine göre kişi başına düşen yıllık kullanılabilir su miktarı  $1.519 \text{ m}^3$  civarında olmakla birlikte 2030 yılında bu miktarın  $1120 \text{ m}^3$  olacağı öngörülmektedir. Su fakirliği sınırının  $1000 \text{ m}^3$  olduğu göz önüne alınırsa, ülkemizde mevcut atıksu arıtma tesislerinin geri kazanım tesislerine dönüştürülmesi, yeni geri kazanım tesislerinin yapılması ve sıfır deşarj yaklaşımıyla atıksuların yönetimi için araştırmaların yapılması gerekmektedir. Aynı zamanda içeriğindeki azot, fosfor ve KOİ bulunan arıtılmış atıksuların yüzey sularına deşarjı, mevcut evsel amaçlı kullanılabilir yüzey sularının kalitesini olumsuz yönde etkileyeceği için kısıtlanmaktadır (TOB, 2012). Bu yüzden temiz suya erişim sorununu sürdürülebilir bir şekilde ele almak için atıksu yönetiminde, atıksuyun yenilenebilir bir kaynak olarak değerlendirilmesi ve kaynak ve enerji geri kazanım imkânı sağlayan arıtma sistemleri ile birlikte kullanımı konusunda araştırmalar artarak devam etmektedir [47].

Atıksudan yeniden kullanılabilir su eldesinde yaygın olarak kullanılan ters ozmos (RO) sistemleri tuzlu bileşiklerin, çözünmüş organik maddelerin, ve virüslerin atıksudan yüksek oranlarda uzaklaştırılmasını sağlamaktadır. Ancak bu proseste yaşanan en önemli sorun yüksek enerji tüketimi ve membranlarda oluşan tıkanmadır [48]. Sürücü kuvveti, konsantrasyon farkı yani doğal ozmotik basınç olan ileri ozmos (FO) prosesi ise, yüksek basınçla çalışan membran proseslere kıyasla daha düşük enerji ihtiyacı ve sadece fiziksel yıkama uygulanarak daha yüksek su geri kazanım oranı

## Evsel Atıksulardan Enerji, Nütrient ve Su Geri Kazanımı

ve daha düşük membran tıkanma eğilimi göstermektedir [49]. Bu prosesin en önemli dezavantajı olarak görülen ters tuz difüzyonu, özellikle nütrient geri kazanımında çekme çözeltisi olarak  $Mg^{2+}$  katyonlarının kullanılmasıyla strüvit çökeltme potansiyelini yükselterek faydaya dönüştürülebilmektedir [50]. Özellikle anaerobik proseslerden çıkan arıtılmış ve nütrient bakımından zengin içeriğe sahip olan atıksulardan, nütrient ve su geri kazanımında RO ve/veya FO gibi yüksek tuz itme kapasitesine sahip membran prosesler tercih edilmektedir [51, 52]. Hooloway vd. (2007), atıksu arıtma tesisi anaerobik çürütücüden çıkan arıtılmış atıksudan, FO/RO hibrit sistemi ile optimum su geri kazanım oranının %70 olduğunu belirlemiş ve hidrate olmuş fosfatın molekül çapı çok daha büyük olduğu için %99'un üzerinde fosfat geri kazanırken amonyumda bu oranın %84-92 aralığında değiştiği gözlemlenmiştir [51]. Bir diğer çalışmada ise üreden nütrient ve su geri kazanımını hedefleyen RO prosesi uygulanarak pozitif yüklü amonyumun tutulmasının, yüksüz olan amonyaktan daha iyi olması nedeni ile amonyum geri kazanım performansının büyük oranda pH değerine bağlı olduğunu bildirilmiştir [53]. Sistem hidrodinamik koşullarının geri kazanım performansında oldukça etkin olması nedeniyle, bu kapsamda yapılacak çalışmalarda sistemin işletim parametrelerinin yanı sıra, pH, giriş konsantrasyonu vb. konularında detaylı olarak incelenerek optimizasyonuna yönelik araştırmalar yapılmasına ihtiyaç açıktır.

## 5. SONUÇ

Ülkemizin çok yakın bir gelecekte yüz yüze olacağı bilimsel verilerle de desteklenen su kıtlığı sorununa çözüm alternatiflerinin başında gelen atıksuların yeniden kullanımına olanak sağlayan bir proses geliştirilmesi kritik önem taşımaktadır. Mevcut atıksu tesislerinin modifikasyonu ya da yenilikçi tesisler kurulması aşamasında yol gösterici nitelikte çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca çalışmalar ile elde edilecek veriler ile ülkemiz için oldukça fazla sayıda ve yüksek enerji maliyetleri nedeni ile çalıştırılmayan atıksu arıtma tesislerinde yapılması planlanacak önlem ve uygulamalara örnek teşkil edecektir. Bu noktada, evsel atıksudan enerji, nütrient, organik madde ve su geri kazanımının maksimize edilerek elde edilen faydanın artırılması için geliştirilecek prosesler ülke ekonomisine yük getirmek yerine yasal zorunlulukları da rahatlıkla sağlayabilen kendi kendine yetebilen yenilikçi arıtma tesislerinin geliştirilmesine önemli katkılar sağlayacaktır. Bu kapsamda, membran esaslı prosesler, evsel atıksuların arıtımında hem konvansiyonel arıtma teknolojilerine göre yüksek kirlilik giderme verimleri ile sucul ortamlara deşarj edilen kirletici miktarını azaltmakta hem de enerji, nütrient ve su geri kazanımı hususunda yüksek potansiyele sahip teknolojilerdir. Küresel iklim değişikliğine uyum aşamasında, atıksuları (her ne kadar isminde atık kelimesi bulunsa da) kaynak olarak ve arıtma tesislerini de kaynak geri kazanım tesisi olarak görmemiz gerekmektedir.

## KAYNAKLAR

1. Sun, D. vd., *Energy-neutral sustainable nutrient recovery incorporated with the wastewater purification process in an enlarged microbial nutrient recovery cell*. Journal of Power Sources, 2018. **384**: p. 160-164.
2. Scott, C. A. vd., *Policy and institutional dimensions of the water–energy nexus*. Energy Policy, 2011. **39**(10): p. 6622-6630.

## Uluslararası Genel Çevre Sorunlarına Bakış

3. Panepinto, D. vd., *Evaluation of the energy efficiency of a large wastewater treatment plant in Italy*. Applied Energy, 2016. **161**: p. 404-411.
4. Reed, R. B. vd., *Potential Environmental Impacts and Antimicrobial Efficacy of Silver and Nanosilver-Containing Textiles*. Environmental Science & Technology, 2016. **50**(7): p. 4018-4026.
5. Luo, L. vd., *A novel index of total oxygen demand for the comprehensive evaluation of energy consumption for urban wastewater treatment*. Applied Energy, 2019. **236**: p. 253-261.
6. Ashrafi, O., Yerushalmi, L. ve Haghightat, F., *Greenhouse gas emission and energy consumption in wastewater treatment plants: impact of operating parameters*. CLEAN–Soil, Air, Water, 2014. **42**(3): p. 207-220.
7. De Haas, D., Pepperell, C. ve Foley, J., *Perspectives on greenhouse gas emission estimates based on Australian wastewater treatment plant operating data*. Water Science and Technology, 2014. **69**(3): p. 451-463.
8. Plappally, A., *Energy requirements for water production, treatment, end use, reclamation, and disposal*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2012. **16**(7): p. 4818-4848.
9. Bodik, I. ve Kubaska, M., *Energy and sustainability of operation of a wastewater treatment plant*. Environment Protection Engineering, 2013. **39**(2): p. 15--24.
10. Mizuta, K. ve Shimada, M., *Benchmarking energy consumption in municipal wastewater treatment plants in Japan*. Water Science and Technology, 2010. **62**(10): p. 2256-2262.
11. TUIK. *Belediye Atıksu İstatistikleri*. 2016 12.03.2019]; Available from: <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=24875>.
12. Hutnik, N. vd., *Phosphates (V) recovery from phosphorus mineral fertilizers industry wastewater by continuous struvite reaction crystallization process*. Water research, 2013. **47**(11): p. 3635-3643.
13. Loganathan, P. vd., *Removal and recovery of phosphate from water using sorption*. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 2014. **44**(8): p. 847-907.
14. Tarayre, C. vd., *New perspectives for the design of sustainable bioprocesses for phosphorus recovery from waste*. Bioresource technology, 2016. **206**: p. 264-274.
15. Ichihashi, O. ve Hirooka, K., *Removal and recovery of phosphorus as struvite from swine wastewater using microbial fuel cell*. Bioresource technology, 2012. **114**: p. 303-307.
16. Melia, P. M. vd., *Trends in the recovery of phosphorus in bioavailable forms from wastewater*. Chemosphere, 2017. **186**: p. 381-395.
17. Garrido, J., Fdz-Polanco, M. ve Fdz-Polanco, F., *Working with energy and mass balances: a conceptual framework to understand the limits of municipal wastewater treatment*. Water science and technology, 2013. **67**(10): p. 2294-2301.
18. Scherson, Y. D. ve Criddle, C. S., *Recovery of freshwater from wastewater: upgrading process configurations to maximize energy recovery and minimize residuals*. Environmental science & technology, 2014. **48**(15): p. 8420-8432.
19. Owen, W. F., *Energy in wastewater treatment*. 1982.
20. Xu, S. vd., *Improving the energy efficiency of a pilot-scale UASB-digester for low temperature domestic wastewater treatment*. Biochemical Engineering Journal, 2018. **135**: p. 71-78.
21. Verstraete, W., Van de Caveye, P. ve Diamantis, V., *Maximum use of resources present in domestic "used water"*. Bioresource technology, 2009. **100**(23): p. 5537-5545.

## Evsel Atıksulardan Enerji, Nütrient ve Su Geri Kazanımı

22. Stuckey, D. C., *Recent developments in anaerobic membrane reactors*. Bioresource technology, 2012. **122**: p. 137-148.
23. Gong, H. vd., *Organics and nitrogen recovery from sewage via membrane-based pre-concentration combined with ion exchange process*. Chemical Engineering Journal, 2017. **311**: p. 13-19.
24. Behera, C. R. vd., *Organic carbon recovery modeling for a rotating belt filter and its impact assessment on a plant-wide scale*. Chemical Engineering Journal, 2018. **334**: p. 1965-1976.
25. Gao, Y. vd., *Direct concentration of municipal sewage by forward osmosis and membrane fouling behavior*. Bioresour Technol, 2018. **247**: p. 730-735.
26. Chen, C. vd., *Challenges in biogas production from anaerobic membrane bioreactors*. Renewable Energy, 2016. **98**: p. 120-134.
27. Van Zyl, P. vd., *Design and start-up of a high rate anaerobic membrane bioreactor for the treatment of a low pH, high strength, dissolved organic waste water*. Water Science and Technology, 2008. **57**(2): p. 291-295.
28. Watanabe, R. vd., *Investigation on the response of anaerobic membrane bioreactor to temperature decrease from 25°C to 10°C in sewage treatment*. Bioresource technology, 2017. **243**: p. 747-754.
29. Seib, M., Berg, K. ve Zitomer, D., *Influent wastewater microbiota and temperature influence anaerobic membrane bioreactor microbial community*. Bioresource technology, 2016. **216**: p. 446-452.
30. Sierra, J. D. M. vd., *Temperature susceptibility of a mesophilic anaerobic membrane bioreactor treating saline phenol-containing wastewater*. Chemosphere, 2018. **213**: p. 92-102.
31. Ho, J. ve Sung, S., *Methanogenic activities in anaerobic membrane bioreactors (AnMBR) treating synthetic municipal wastewater*. Bioresource technology, 2010. **101**(7): p. 2191-2196.
32. Pretel, R. vd., *Environmental impact of submerged anaerobic MBR (SAnMBR) technology used to treat urban wastewater at different temperatures*. Bioresource technology, 2013. **149**: p. 532-540.
33. Huang, Z., Ong, S. L. ve Ng, H. Y., *Submerged anaerobic membrane bioreactor for low-strength wastewater treatment: effect of HRT and SRT on treatment performance and membrane fouling*. Water research, 2011. **45**(2): p. 705-713.
34. Poorasgari, E. vd., *Fouling of enhanced biological phosphorus removal–membrane bioreactors by humic-like substances*. Chemosphere, 2014. **117**: p. 144-150.
35. Jeong, Y. vd., *Comparison of filtration and treatment performance between polymeric and ceramic membranes in anaerobic membrane bioreactor treatment of domestic wastewater*. Separation and Purification Technology, 2018. **199**: p. 182-188.
36. Yue, X., Koh, Y. K. K. ve Ng, H. Y., *Effects of dissolved organic matters (DOMs) on membrane fouling in anaerobic ceramic membrane bioreactors (AnCMBRs) treating domestic wastewater*. Water research, 2015. **86**: p. 96-107.
37. Nancharaiah, Y. V., Venkata Mohan, S. ve Lens, P. N. L., *Recent advances in nutrient removal and recovery in biological and bioelectrochemical systems*. Bioresour Technol, 2016. **215**: p. 173-185.
38. Carpenter, S. R. vd., *Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen*. Ecological applications, 1998. **8**(3): p. 559-568.
39. Camargo, J. A. ve Alonso, A., *Ecological and toxicological effects of inorganic nitrogen pollution in aquatic ecosystems: A global assessment*. Environ Int, 2006. **32**(6): p. 831-49.

## Uluslararası Genel Çevre Sorunlarına Bakış

40. D'Inverno, G. vd., *Water pollution in wastewater treatment plants: An efficiency analysis with undesirable output*. European Journal of Operational Research, 2018. **269**(1): p. 24-34.
41. Naveen, B. P. vd., *Physico-chemical and biological characterization of urban municipal landfill leachate*. Environ Pollut, 2017. **220**(Pt A): p. 1-12.
42. Galvagno, G., Eskicioglu, C. ve M. Abel-Denee, *Biodegradation and chemical precipitation of dissolved nutrients in anaerobically digested sludge dewatering centrate*. Water Res, 2016. **96**: p. 84-93.
43. Zuthi, M.F. vd., *Enhanced biological phosphorus removal and its modeling for the activated sludge and membrane bioreactor processes*. Bioresour Technol, 2013. **139**: p. 363-74.
44. Dai, H. vd., *An efficient approach for phosphorus recovery from wastewater using series-coupled air-agitated crystallization reactors*. Chemosphere, 2016. **165**: p. 211-220.
45. Dai, H. vd., *Effects of supersaturation control strategies on hydroxyapatite (HAP) crystallization for phosphorus recovery from wastewater*. Environmental Science and Pollution Research, 2017. **24**(6): p. 5791-5799.
46. WHO. *World Health Organization, Drinking Water*. 2018 15.03.2019]; Available from: <https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>.
47. Guest, J. S. vd., *A new planning and design paradigm to achieve sustainable resource recovery from wastewater*. 2009, ACS Publications.
48. Shenvi, S. S., Isloor, A. M. ve Ismail, A., *A review on RO membrane technology: developments and challenges*. Desalination, 2015. **368**: p. 10-26.
49. Phuntsho, S. vd., *Assessing the major factors affecting the performances of forward osmosis and its implications on the desalination process*. Chemical Engineering Journal, 2013. **231**: p. 484-496.
50. Xie, M. vd., *Membrane-based processes for wastewater nutrient recovery: Technology, challenges, and future direction*. Water Res, 2016. **89**: p. 210-21.
51. Holloway, R. W. vd., *Forward osmosis for concentration of anaerobic digester centrate*. Water research, 2007. **41**(17): p. 4005-4014.
52. Adam, G. vd., *Fractionation of anaerobic digestates by dynamic nanofiltration and reverse osmosis: An industrial pilot case evaluation for nutrient recovery*. Journal of Environmental Chemical Engineering, 2018. **6**(5): p. 6723-6732.
53. Maurer, M., Pronk, W. ve Larsen, T., *Treatment processes for source-separated urine*. Water research, 2006. **40**(17): p. 3151-3166.

# BİYOMETAN ÜRETİMİNDE NANOMALZEME ETKİSİ

Ö. Begüm Gökçek<sup>1</sup> - Hamdi Muratçobanoğlu<sup>2</sup> - Fatma Muratçobanoğlu<sup>3</sup>  
Ruhullah Ali Mert<sup>4</sup> - Bilal Yıldırım<sup>5</sup> - Sevgi Demirel<sup>6</sup>

## ÖZET

Yenilenebilir enerji ihtiyacına karşı ilginin artmasıyla birlikte farklı biyokütlelerden enerji elde etmek amacıyla kullanılan organik atıkların anaerobik parçalanma proseslerinde metana dönüşümünü hızlandırmak ve sistemi stabilize etmek de kullanılan iletken malzemeler son zamanlarda araştırmaların ilgi odağı olmuştur. Yapılan bu çalışmada farklı atık kaynakları (yemek atığı, hayvan gübresi ve karışım atık) ve farklı iletken malzemeler (grafit (0.2, 0.4, 0.5, 0.75, 1, 1.5, 2, 2.5, 5 g/L), grafen (10-20-30 mg/L)) kullanılmıştır. İletken malzeme kullanılan ve kullanılmayan reaktörlerde biyogaz ve biyometan verimleri karşılaştırılmıştır. Biyogaz verimi grafit kullanılmayan reaktörlere göre; grafit kullanılan reaktörlerde %19,57 artış görülmüştür. Bu artış yemek atığı ve 1 g/L grafit içeren reaktörde gözlemlenmiştir. İndirgenmiş grafen oksit (rGO) (20 mg/L) kullanılan reaktörlerde (hayvan gübresi atığı) biyometan verimi, rGO kullanılmayan reaktörlere göre %65 daha fazla olmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Anaerobik Parçalanma, İletken Malzeme, Biyometan Üretimi, Biyogaz Üretimi, Grafit, rGO.

## ABSTRACT

With the increasing interest in the need for renewable energy, conductive materials, which are used to accelerate the conversion of organic wastes used to obtain energy from different biomass to methane in anaerobic decomposition processes and to stabilize the system, have recently been the focus of research. In this study, different waste sources (food waste, animal manure and mixed waste) and different conductive materials (graphite (0.2, 0.4, 0.5, 0.75, 1, 1.5, 2, 2.5, 5 g/L), graphene (10-20) -30 mg/L)) was used. Biogas and biomethane yields were compared in reactors with and without conductive material. Biogas efficiency compared to reactors without graphite; An increase of 19.57% was observed in reactors using graphite. This increase was observed in the reactor containing food waste and 1 g/L graphite. The biomethane yield in the reactors (animal manure waste) using reduced graphene oxide (rGO) (20 mg/L) was 65% higher than the reactors without rGO.

**Keywords:** Anaerobic Decomposition, Conductive Material, Bioethanol Production, Biogas Production, Graphite, rGO.

- 1 Corresponding Author, Faculty of Engineering, Department of Environmental Engineering, Nigde Ömer Halisdemir University, Nigde, Türkiye 018begumgokcek@ohu.edu.tr
- 2 Faculty of Engineering, Department of Environmental Engineering, Nigde Ömer Halisdemir University, Nigde, Türkiye
- 3 Faculty of Engineering, Department of Environmental Engineering, Erciyes University, Kayseri, Türkiye
- 4 Faculty of Engineering, Department of Environmental Engineering, Nigde Ömer Halisdemir University, Nigde, Türkiye
- 5 Faculty of Engineering, Department of Environmental Engineering, Nigde Ömer Halisdemir University, Nigde, Türkiye
- 6 Faculty of Engineering, Department of Environmental Engineering, Nigde Ömer Halisdemir University, Nigde, Türkiye

### 1. GİRİŞ

Artan enerji ihtiyacı ve fosil yakıtların tükenmekte olması ve sürdürülebilirlik ile ilgili kaygılar yenilenebilir enerji kaynaklarının üretimine olan ilgiyi arttırmaktadır. Yenilenebilir enerjilerden olan biyogaz; her türlü organik atığın işlenmesiyle elde edilen temiz, çevre dostu ve oldukça verimli bir enerji kaynağıdır. Dünya genelinde atıklardan biyogaz üretimi, küçük, orta ve büyük ölçekli uygulamalarla, atık değerlendirme konusunda yaygın olarak kullanılan bir tekniktir [1].

Kanalizasyon ve dip çamurları, gıda sanayi atıkları, çözünmüş organik madde derişimi yüksek endüstriyel atık sular ve arıtma çamurları biyogaz üretiminde kullanılmaktadır. Ayrıca büyük ve küçükbaş hayvan gübresi, tarımsal ve kentsel organik atıklardan da biyogaz elde edilmektedir. Bu bağlamda, biyogaz üretim süreci geniş bir bantta atık değerlendirme olanağı sunmaktadır. Anaerobik arıtma organik ve inorganik maddelerin, oksijen yokluğunda mikroorganizmalar yardımıyla parçalanarak  $CH_4$ ,  $CO_2$ ,  $H_2S$  ve  $NH_3$  gibi nihai ürünlere dönüşümünü kapsayan karmaşık birtakım biyokimyasal reaksiyonların bütünüdür [2]. Temiz bir enerji kaynağı olan biyogaz başlıca hayvan gübresi olmak üzere özel olarak yetiştirilen bazı bitkilerden, tarımsal ve her türlü organik atıktan uygun bakteriler ile anaerobik arıtım sonucunda elde edilmektedir.

Anaerobik arıtım sürecinin gelişmesi ve ilerleminde son yıllarda doğrudan türler arası elektron transferi (DIET) etkili olmuştur[3]. Doğrudan türler arası elektron transfer (DIET) mekanizması anaerobik arıtımda bakterilerin enerji kullanımını azaltarak sistem içerisinde biyogaz ve metan veriminin artmasını sağlamış ve sistem içerisinde tıkanıklığı gidermede büyük bir rol oynamıştır. Elektriksel iletkenlik çoğu zaman metanojen bakteri arasındaki ilişkiyi arttırmayı teşvik ettiği görülmüştür [4]. DIET mekanizmasında karbon bazlı iletken malzemelerin (biochar, manyetit, aktif karbon vb.) kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır [4].

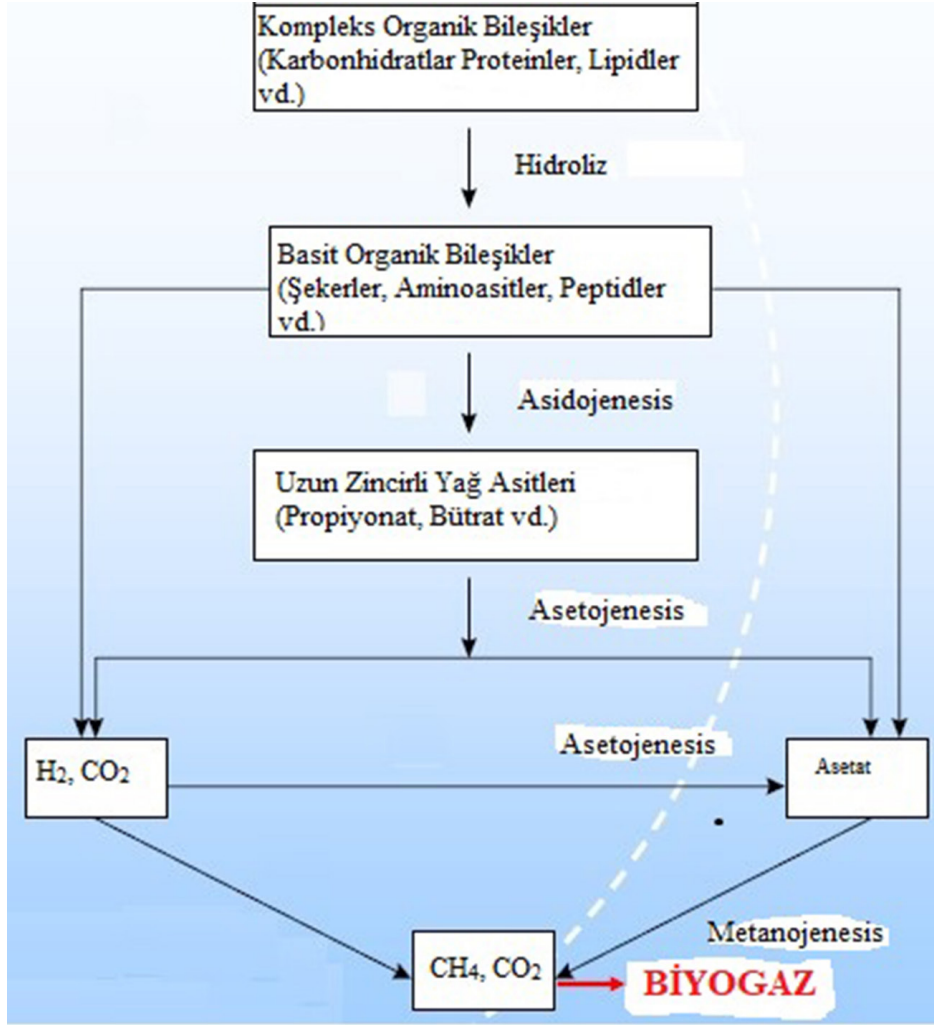
Yapılan bu çalışmada farklı atık kaynakları (yemek atığı, hayvan gübresi ve karışım atık) ve farklı iletken malzemeler (grafit, grafen) kullanılmış olup bu bağlamda iletken malzemelerin biyogaz verimine etkisi araştırılmıştır. Bu kapsamda birim atık başına üretilen biyogaz ve enerji potansiyelinin artırılması ve artış miktarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Elde edilen sonuçlar neticesinde gerçek ölçekli tesislerin işletilmesine önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

### 2. ANAEROBİK ARITIM

Anaerobik arıtma, karmaşık organik maddelerin oksijensiz ortamda parçalanmaları ve çok kademeli birbirini izleyen reaksiyonlar dizisi ile gerçekleşir. Atıkların anaerobik ayrışması, mikroorganizmalar tarafından üretilen hücre dışı enzimlerin organik bileşikleri basit çözülebilir bileşiklere ayrıştırdığı hidroliz basamağı ile başlar. Diğer bir basamak, asit oluşturan bakterilerin basit organik bileşikleri uçucu asitlere dönüştürdüğü asit üretim basamağı şeklinde tanımlanır (Şekil 1). Son olarak da asetik asit kullanan metan bakterileri asetik asiti parçalayarak, hidrojen kullanan metan bakterileri hidrojen ve karbondioksiti kullanarak metan üretirler [5].



## Biyometan Üretiminde Nanomalzeme Etkisi



Şekil 1. Anaerobik proseslerde metan oluşum aşamaları [6]

Anaerobik arıtma prosesi arıtma çamurları, atıksu ve katı organiklerin bertarafı amacıyla kullanılmaktadır. Özellikle enerji maliyetlerinin önemli bir problem olduğu günümüzde, aerobik arıtmaya nazaran daha az enerji gerektirmesi ve proses sonucu ortaya çıkan metanın enerjiye dönüştürülebilmesi anaerobik arıtmanın yaygın bir şekilde kullanılmasına neden olmuştur. Anaerobik şartlarda arıtma teknolojisi ile hem atık bertarafı gerçekleşir, hem de biyogaz üretilir [7].

### 2.1. Anaerobik Arıtımın Avantajları

Anaerobik sistemler; birçok farklı atık ile ve birçok farklı koşul altında işletilebilir sistemlerdir. Bu sistemin temel avantajlarından biri atıklardan geri dönüşüm ile enerji elde edilmesidir [8].

Anaerobik sistemlerin çeşitli avantajları;

- Düşük işletme maliyeti
- Düşük atık çamur üretimi

## Uluslararası Genel Çevre Sorunlarına Bakış

- Aerobik olarak giderilemeyen maddelerin giderimi
- Atık çamurun gübre olarak kullanımı
- Düşük besin elementi gereksinimi
- Düşük reaktör hacmi
- Atık gaz arıtım gereksinimi yok
- Düşük köpük problemi
- Mevsimsel şartlara uygunluk
- Yüksek hacimsel yükleme olanakları
- 500-2000 kWh/1000 kg KOİ enerji üretimi
- 0.35 m<sub>3</sub> CH<sub>4</sub>/kg KOİ giderimi
- Düşük ekipman gereksinimi

### 2.2. Anarobik Arıtımın Dezavantajları

Birçok sistemin avantajları olduğu gibi dezavantajları da bulunmaktadır. Anaerobik sistemlerde dezavantaj olarak en çok dikkat çeken ise ısıtma ihtiyacının olmasıdır[8]. Bunun yanı sıra diğer dezavantajlar şu şekildedir;

- Biyokütle gelişimi için başlangıç evresinin uzun sürmesi
- Seyreltik atıksularda alkalinite yetersizliği
- Nitritifikasyonun mümkün olmaması
- Düşük sıcaklıklarda kinetik hızların daha da düşük olması
- Biyokütlenin maksimum aktivitesi için gerekli azot konsantrasyonunun daha fazla olması
- Metanojenlerin toksik maddelere ve çevre şartlarına hassas duyarlılıkta olması

### 3. BİYOGAZ ÜRETİMİ

Biyogaz ağırlıklı olarak CH<sub>4</sub> ve CO<sub>2</sub>, az miktarda H<sub>2</sub>S ve NH<sub>3</sub> ayrıca eser miktarda H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CO, O<sub>2</sub>, aromatikler, halojenli bileşikler (klorürler, florürler vb.) ve silikonlar içermektedir. Biyogaz elde edildikten sonra enerji seyreltici olan su buharı ile de doymuş hâldedir. Biyogazın ilk üretiminde birçok kimyasal bileşenler içermektedir. Bu bileşenler, hacimsel olarak %60–%70 metan (CH<sub>4</sub>), %30–%40 karbon dioksit (CO<sub>2</sub>), %1–%2 azot (N<sub>2</sub>), amonyak (NH<sub>3</sub>) ve atık sudaki kükürt derişimine bağlı olarak hidrojen sülfür (H<sub>2</sub>S) ile hidrojen (H<sub>2</sub>) içermektedir [9, 7]

## Biyometan Üretiminde Nanomalzeme Etkisi

### 3.1. Biyogaz Üretimini Etkileyen Faktörler

#### 3.1.1. pH

Biyogaz üretimi için en uygun pH değeri 6,8 ila 7 arasında olmalıdır. Biyogaz oluşumu aşamasında yani anaerobik fermantasyon işlemi sırasında pH değeri 7 ile 7,5 arasında değişir. pH değerinin 6,7 nin altına düşmesi durumunda ise metanojen bakteriler üzerinde toksik etki yapar. Anaerobik fermantasyon sırasında asit oluşturuçu bakterilerin artması pH in düşmesine sebep olmaktadır. Bu tür proseslerde reaktöre organik yükleme kesilerek asit oluşumunun düşmesi sağlanmaktadır [10].

#### 3.1.2. C/N oranı

Metanojen ve anaerobik bakteriler karbon (C) atomunu enerji elde etmek için ve azot (N) atomunu da bakterilerin büyümesi ve üremesi için gerekli bileşenlerdir. C/N oranı 23'ten fazla ve 10'dan düşük olamaz. Eğer 10'dan düşük olursa reaktörde amonyak oluşumu olur ve bu oluşum biyogaz üretimini olumsuz etkiler. Eğer 23'ten fazla olursa uçucu yağ asitleri oluşur ve inhibitör etki yaparak biyogaz üretimini yavaşlatır [10].

#### 3.1.2. Organik yükleme hızı

Organik yükleme hızı m<sup>3</sup> basına biyoreaktöre beslenen organik madde miktarıdır. Organik yüklenme hızı hesaplanarak optimum değerde sabitlenmelidir ki aksi hâlde pH yükselerek biyogaz üretimi durabilmektedir [10].

#### 3.1.4. Toksisite

Biyoreaktöre beslenen tavuk ve büyükbaş hayvan gübrelelerin bazılarında antibiyotikler bulunmaktadır. Bu antibiyotikler biyogaz üretimini sağlayan biyoreaktör için olumsuz etki yapmaktadır. Aynı şekilde substrat olarak kullanılan organik maddenin içerisinde bulunan ağır metaller, mineraller, deterjanlar vb. yabancı maddeler biyogaz oluşumunu olumsuz etkilemektedir [10].

#### 3.1.5. Sıcaklık

Biyogaz üretimini gerçekleştiren bakteri türleri ve bu bakterilerin çalıştığı ortalama sıcaklık aralıkları Tablo 1'de verilmiştir. Biyogaz üretimi için sıcaklık çok önemli bir değerdir. Özellikle bu sıcaklığın 10°C'nin altına düşmesi durumunda biyogaz üretimi durmaktadır [11].

**Tablo 1. Metanojen bakteri türleri ve çalışma sıcaklıkları**

Bakteri türleri	Optimum aktivite (°c)
Psikofilik	5-15
Mezofilik	35-38
Termofilik	48-60

### 3.2. Biyogaz Üretiminde Kullanılan Organik Atıkları

#### 3.2.1. Hayvansal atıklar

Sığır, at, koyun, tavuk gibi hayvanların dışkıları, mezbahane atıkları ve hayvansal ürünlerin işlenmesi sırasında ortaya çıkan atıklar özellikle kırsal kesimler için önerilen biyogaz tesislerinde kullanılmaktadır. Hayvan gübreleri biyogaz üretimi için önemli bir potansiyele sahiptir. Hayvanların merada veya ahırda beslenmeleri günlük gübre üretimini etkilemektedir. Ortalama olarak 1 ton sığır gübresinden yaklaşık 33 m<sup>3</sup>, 1 ton koyun gübresinden 58 m<sup>3</sup> ve 1 ton kümes hayvanları gübresinden 78 m<sup>3</sup> biyogaz üretilmektedir [8].

#### 3.2.2. Kentsel katı atıklar

Biyogaz üretimini kentsel katı atıklardan sağlamak için iki tane genel yöntem bulunmaktadır. Birinci yöntem bu kentsel katı atıkların organik kısmının diğer kısımlardan ayrılması ve bu organik kısımlardan oksijensiz fermantasyon biyogaz üretilmesidir. Bu yöntem biyometanizasyon denilmektedir. Bu yöntem ile gaz üretimi genellikle daha verimlidir. Çünkü üretilen gazın kaynağı sadece organik atıklardır.

#### 3.2.3. Tarımsal atıklar

İnce kıyılmış sap, saman, anız ve mısır artıkları, şeker pancarı yaprakları ve çimen artıkları gibi bitkilerin işlenmeyen kısımları ile bitkisel ürünlerin işlenmesi sırasında ortaya çıkan atıklardır.

Ülkemizde ortalama olarak tarım sektöründen (arpa, buğday, tütün, çeltik, pamuk vb. zirai atıklar) yıllık olarak 65 Mton atık üretilmektedir [8]. Bu atıklar tarımsal çevrede çok büyük bir kirliliğe sebep olmaktadır.

#### 3.2.4. Atıksu çamuru

Biyogaz üretimi için substrat olarak kullanılan biyokütle kaynaklarından biride kentsel atıksu arıtma çamurudur. Atık suların yapısında organik madde, besin maddeleri, ağır metaller, patojen mikroorganizmalar içerdiklerinden dolayı bu suların arıtılması önem kazanmaktadır. Ülkemizde toplamda 69 tane evsel atıksu arıtma tesisi bulunmaktadır. Bu rakam ise ülkemizin nüfusunun yaklaşık %13'üne karşılık gelmektedir. Bu tesisler toplam olarak yıllık 500 bin tona yakın arıtma çamuru üretmektedir. Bu ise çok büyük bir biyogaz oluşum potansiyeline sahiptir [8].

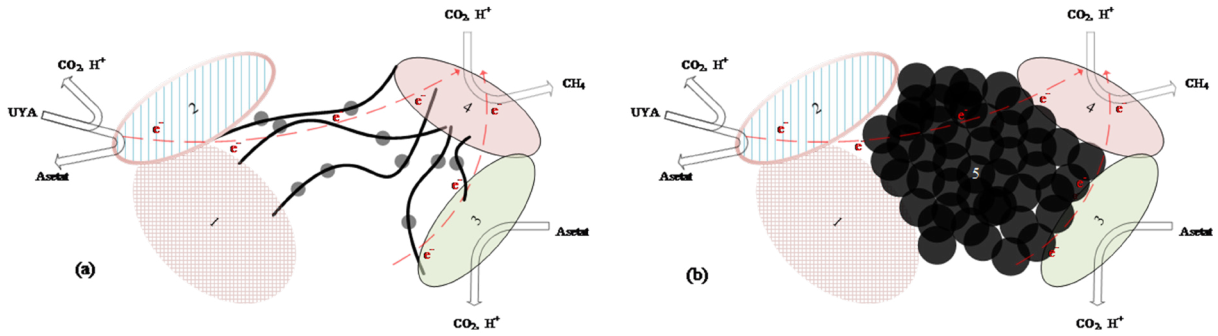
### 3.3. Biyogaz Üretiminde Nanomalzemelerin Etkisi

Metan üretim yavaş bir süreç olup genellikle anaerobik şartlarda arıtmada hız sınırlayıcı safha olarak kabul edilir. Metan, asetik asidin parçalanması ve/veya CO<sub>2</sub> ile H<sub>2</sub>'nin sentezi sonucunda üretilir.

Anaerobik reaktörlerde üretilen CH<sub>4</sub>'ün takriben %30'u H<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub>'den %70'i ise asetik asidin parçalanmasından oluşmaktadır. Biyolojik reaksiyonlarda mikroorganizmalar, doğrudan ya da dolaylı olarak yaptıkları elektron transferi ile enerji elde ederler. Mikroorganizmalar bu enerjiyi metabolik

## Biyometan Üretiminde Nanomalzeme Etkisi

reaksiyonlarında kullanılır. Türler arası elektron transferi metan üreten mikrobiyal toplulukların işleyişinin merkezinde yer alır ve AP’de enerji eldesinde önemli bir rol oynamaktadır (Dang, 2019). Şekil 2(a)’daki DIET proseslerde, elektron veren ve alan mikroorganizmalar arasındaki transfer hücre dışı pili, nanoteller veya elektron taşıyıcı protein yapıları vasıtasıyla doğal olarak gerçekleşmektedir. Şekil 2(b)’deki gibi ortamda iletken malzemelerin bulunması durumunda, mikroorganizmalar metabolik olarak daha avantajlı olduğu için biyokömür gibi biyolojik olmayan iletken malzemeleri kullanarak da doğrudan elektron transferini gerçekleştirebilmektedirler. İletken malzeme kullanımı ile elektron taşınımı hızlandırılmaktadır [12].



Şekil 2. a) Biyolojik DIET

b) İletken malzeme kullanımı ile oluşan DIET

Birçok araştırmacı biyogaz üretimini arttırmaya ve karşılaşılan işletme problemlerinin çözümüne yönelik araştırmalar yapmaktadır [13, 14]. Bu çalışmalar genellikle ön işlemlerin (ultrasound, mikrodalga, yüksek sıcaklık, oksidant kullanımı vs.) anaerobik arıtma sürecine etkisinin araştırılmasıyla ilgilidir. Ayrıca bazı çalışmalarda Fe, Ni, Zn, Cu, Co gibi katalistler kullanılarak yaşanan işletme problemlerinin önüne geçilmeye çalışılmıştır [3]. Ancak bahsedilen bu uygulamalar AP sürecinin yavaş ilerlemesine temel bir çözüm üretmemiştir [11]. Yapılan araştırmalar, anaerobik parçalanma sürecindeki verimsizlik ve kararsızlığın temel sebebinin mikrobiyal süreçlerdeki türler arası (bakteriler ve arkeler) elektron transferindeki sorunlardan kaynaklandığını göstermektedir [14]. Elektron transferinin iyileştirilmesi, biyogaz üretimini arttırmak ve anaerobik parçalanma sistemini optimize etmek için kritik öneme sahiptir. Bu amaçla karbon bazlı (toz ve granül aktif karbon, biyokömür, karbon nanotüpler vb.) ya da karbon olmayan (magnetit, hematit, paslanmaz çelik vb.) iletken malzemeler kullanılmaktadır. İletken malzeme kullanımı bu süreçte karşılaşılan uzun lag fazı, yavaş metan üretimi ve olumsuz koşullara (düşük pH, amonyak etkisi vs.) karşı dirençsizlik gibi dezavantajlara pratik bir çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır.

## 4. YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR

Muratçobanoğlu ark., 2020 de hayvan gübresi, yemek atığı ve bu atıkların karışımından oluşan besin ile anaerobik bir sistem kurulmuştur. Reaktörler, 63 gün boyunca 300 ml’lik bir çalışma hacmine sahip serum şişeleri kullanılarak bir inkübatörde  $35 \pm 1$  °C’de işletilmiştir. Reaktör içerisinde iletken malzeme olarak grafit (0.2, 0.4, 0.5, 0.75, 1, 1.5, 2, 2.5, 5 g/L) kullanılmıştır. Grafit (Merck kalitesi, partikül büyüklüğü 50 µm’den az (%99.5)). S/I oranları yemek atığı, hayvan gübresi ve karışım atık

## Uluslararası Genel Çevre Sorunlarına Bakış

için sırasıyla 2.02, 1.66 ve 1.89 idi. Yemek atığı + 1 g/L, hayvan gübresi + 1.5 g/L ve karışım atık + 0.75 g/L için grafit ilaveli maksimum biyogaz üretimi sırasıyla 1128.46, 829.6 ve 1471.1 mL/gVS'dir. Reaktörler 37 °C sıcaklıkta ve 45 gün boyunca işletilmiştir. En yüksek verim yemek atığı ve 1,0 g/L grafit eklenen reaktöre aittir. Bu reaktörlerden edilen biyogaz verimi %19,57'dir [15]

Demirel ark., (2020), yaptıkları çalışmada anaerobik arıtım içerisinde grafit ilavesinin performansını araştırmışlardır. Anaerobik sistemde besin olarak yemek atığı ve hayvan gübresi kullanılmıştır. Ayrıca anaerobik mikrobiyal yapının dağılımı arasındaki ilişki ve işletme koşulları dizi analizi yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Dizi analizi tekniklerinin kullanımı işletme koşulları ile mikrobiyomu arasındaki ilişkinin araştırılmasına olanak sağlayacaktır. 16S rRNA yoluyla dizi analizi yapılmıştır. Reaktör içerisinde belirli konsantrasyonlarda grafit eklenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda, mikrobiyom ve işletme koşulları arasındaki korelasyonun analizinin sonuçlarına göre Clostridium, Methanosaeta ve Methanosarcina'nın hep birlikte grafit ilavesiyle metanogenez sürecine katkıda bulunabileceğini göstermiştir [16].

Muratçobanoğlu ark., (2021), rGO'nun (indirgenmiş grafen oksit) anaerobik çürütme üzerindeki etkisini ve proses performansını görmek adına bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada, rGO'nun hayvan gübresinden biyometan üretimi ve mikrobiyal topluluk yapısı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Reaktörün S/I (besin/aşırı oranı VS bazlı) oranı 1,66 gVS'dir. Reaktörlerde kullanılan rGO konsantrasyonları sırasıyla hayvan gübresi (HG) HG10- HG20 ve HG30 örneklerinde 0, 10, 20, 30 mg/L idi. HG10-HG20 ve HG30 ilavesi ile rGO'nun kümülatif CH<sub>4</sub> verimleri ve sonuçlar, rGo eklenmesinin biyometan üretimi üzerinde olumlu bir etkisi olduğunu göstermektedir. HG-HG10-HG20 ve HG30 numuneleri için CH<sub>4</sub> verimi sırasıyla 203, 299, 335 ve 291 mL/gVS'dir. Reaktörlerde rGO eklenmiş HG10-HG20 ve HG30 numuneleri için CH<sub>4</sub> iyileştirme oranları, rGO eklenmemiş HG numunelerine kıyasla sırasıyla %47, %65 ve %44'tür. Bu çalışmada en yüksek verime sahip reaktör 20 mg/L rGO eklenen reaktör olmuştur. Bu reaktörde %65 biyometan veriminin artışı gözlemlenmiştir [17].

## 5. SONUÇ

Organik atıkların anaerobik olarak parçalanmasında DIET mekanizmasının kontrol altında tutulabilmesi önemli bir stratejidir. Aktif karbon, biyokömür, karbon kumaş, manyetit, grafen, grafit gibi nanomalzemelerin bakteri ve metanojenler arasında DIET bazlı elektron transferini teşvik etmektedir. Nanomalzeme kullanımı ile anaerobik reaktörlerde olumsuz işletme koşullarına dayanaklılığın arttığı, lag fazının ve işletmeye alma süresinin kısaldığı gözlemlenmiştir.

Ancak, nanomalzemelerin sürekli reaktörlerde uzun süreli kullanımı ve geri kazanımına yönelik çalışmaların sayısı oldukça sınırlıdır. Dolayısıyla nanomalzeme ve anaerobik mikrobiyom arasındaki mekanizmanın tam olarak anlaşılabilmesi için ilave çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

### KAYNAKLAR

- [1] Dang, Y., Sun, D., Woodart, T. L., Wang, L. Y., Nevin, K. P. ve Holmes, D. E. Stimulation of the anaerobic digestion of the dry organic fraction of municipal solid waste (OFMSW) with carbon-based conductive materials. *Bioresource. Technology.* 2017 30–38.
- [2] Türkiye’de Hayvancılık Potansiyeli ve Biyogaz Üretimi, Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları. 4-2 17-20. *Biyogaz.* 2015. <http://www.biyogaz.org.tr>. Retrieved July 1, 2021.
- [3] Lei, Y., Sun, D., Dang, Y., Feng, X., Huo, D., Liu, C., Holmes, D. E. Metagenomic analysis reveals that activated carbon aids anaerobic digestion of raw incineration leachate by promoting direct interspecies electron transfer. *Water Res.*, 161 (2019) 570-580.
- [4] Zhao, K., Li, Y., Zhou, Y., Guo, W., Jiang, H., Xu, Q. Characterization of hydrothermal carbonization products (hydrochars and spent liquor) and their biomethane production performance *Bioresour. Technol.* 267 (2018) 9-16
- [5] Rittmann, B. E., ve McCarty, P. L., *Environmental biotechnology: Principles and applications.* 2000.
- [6] Trzcinski., A. P. ve Stuckey, D. C., Anaerobic digestion of the organic fraction of municipal solid waste in a two-stage membrane process, *Water Sci. Technol.*, 60:8 (2009) 1965–1978.
- [7] Öztürk, İ., *Anaerobik Arıtma ve Uygulamaları.* (2007).
- [8] Kaya, D., Evsel kaynaklı arıtma çamurlarının biyogaz üretiminde kullanımının değerlendirilmesi, *ICCI - Uluslararası Enerji ve Çevre Fuarı ve Konferansı.* (2010).
- [9] Gökçay., C. F., Duran, M. M. ve Demirer, G. N., Anaerobik biyoteknoloji teorik altyapı ve uygulamalar. IV. Ulusal Çevre Müh. Kongresi. (2001).
- [10] Ziauddin, Z. ve Rajesh, R., Production and analysis of biogas from kitchen waste. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 2 (2015): 622-632.
- [11] Tian, G., Yang, B., Dong, M., Zhu, R., Yin, F., Zhao, X., Wang, Y., Xiao, W., Wang, Q., Zhang, W. ve Cui, X., The effect of temperature on the microbial communities of peak biogas production in batch biogas reactors. *Renewable Energy.* 123 (2018). 15-25.
- [12] Muratçobanoğlu, H., Gökçek, Ö. B., Demirel, S., (2019). İletken malzemelerin katı organik atıklardan biyogaz üretimine etkisi. *Omer Halisdemir University Journal of Engineering Sciences.* 8:2, (2019), 712-720.
- [13] Ariunbaatar, J., Panico, A., Esposito, G., Pirozzi, F. ve Lens, P. N. L., Pretreatment methods to enhance anaerobic digestion of organic solid waste. *Appl Energy.* (2014) 123:143-156.
- [14] Lin, R., Cheng, J., Ding, L. ve Murphy, J., Improved efficiency of anaerobic digestion through direct interspecies electron transfer at mesophilic and thermophilic temperature ranges. *Chem Eng J.* 350 (2018) 681-691.
- [15] Muratçobanoğlu, H., Gökçek, Ö. B., Mert, R. A., Zan, R. ve Demirel, S., Simultaneous synergistic effects of graphite addition and co-digestion of food waste and cow manure: Biogas production and microbial community. *Bioresource Technology.* 309 (2020).
- [16] Demirel, S., Muratçobanoğlu, H. ve Gökçek, Ö. B., (2020). Linkage of operational parameters and microbiome in anaerobic co-digestion with graphite. *Sigma J Eng & Nat Sci* 38 (3), (2020) 1191-1201.
- [17] Muratçobanoğlu, H., Gökçek, Ö. B., Mert, R. A., Zan, R. ve Demirel, S., The impact of reduced graphene oxide (rgo) supplementation on cattle manure anaerobic digestion: focusing on process performance and microbial syntrophy. *Biochemical Engineering Journal.* 173 (2021).





# SİVAS İLİ ÇAYBOYU MAHALLESİ BÖLGESİNİN GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALİ KURULUMUNA UYGUNLUĞUNUN DEĞERLENDİRİLMESİ

Ahmet Turan Bozpolat<sup>1</sup> - Bilal Seçilmiş<sup>2</sup> - Turgay Bişgin<sup>3</sup>  
Harun Işık<sup>4</sup> - Nurullah Topkaraoğlu<sup>5</sup>

## ÖZET

Çayboyu mahallesi, 5574 ada, 176 parsel alanda güneş enerji santrali kurulması amacı ile belirlenen alanın enerji üretimine uygunluğu ile ilgili gerekli ön çalışmalar yapılmıştır. Belirtilen alanın jeopolitik konumu, enerji nakil hatlarına yakınlığı, topoğrafik durumu ve iklim faktörlerinden etkilenme durumu çalışma kapsamında incelenmiştir. Yapılan ön çalışmalar neticesinde bölgede toplam 1MW gücünde tesisin oluşturulmasının uygun olduğu tespit edilmiş ve ilgili çalışmalar tamamlanmıştır. Kurulacak tesisin yıllık elektrik üretimi 1.697 MWh olarak öngörülmekte olup, tesisin ilk yatırım maliyeti ise yaklaşık olarak 950.000 dolardır. Bu kapsamda tesisin maliyetlerinin %85'i IPA II kapsamında Avrupa Birliği fonlarından finanse edilmiş %15'i ise Sivas Belediyesi bütçesinden karşılanmıştır. Yatırım maliyetlerinin geri dönüşümü yani tesisin ilk yatırım maliyetini amorti edeceği süre ise nominal olarak 6 yıldır.

*Anahtar Kelimeler: Elektrik Enerjisi, Güneş Enerjisi, Yenilenebilir Enerji,*

## ABSTRACT

Necessary preliminary studies have been carried out regarding the suitability of the land located on Çayboyu district, island 5574, parcel 176, for solar energy production and furthermore with the aim of establishing a solar power plant. The geopolitical position of the specified area, its proximity to the power transmission lines, the topographic condition and the effect of climatic factors were examined within the scope of this study. As a result of the preliminary studies, it has been determined that it is appropriate to establish a facility with a total power of 1MW in the region and the related studies have been completed. The annual electricity production of the facility to be established is predicted to be 1.697 MWh, and the initial investment cost of the facility is approximately 950,000 dollars. In this context, 85% of the costs of the facility were financed from European Union funds within the scope of IPA II, and 15% was covered from the Sivas Municipality budget. The return of investment costs, that is, the period during which the facility will amortize the initial investment cost, is nominally 6 years.

*Key Words: Electric Energy, Solar Energy, Renewable Energy*

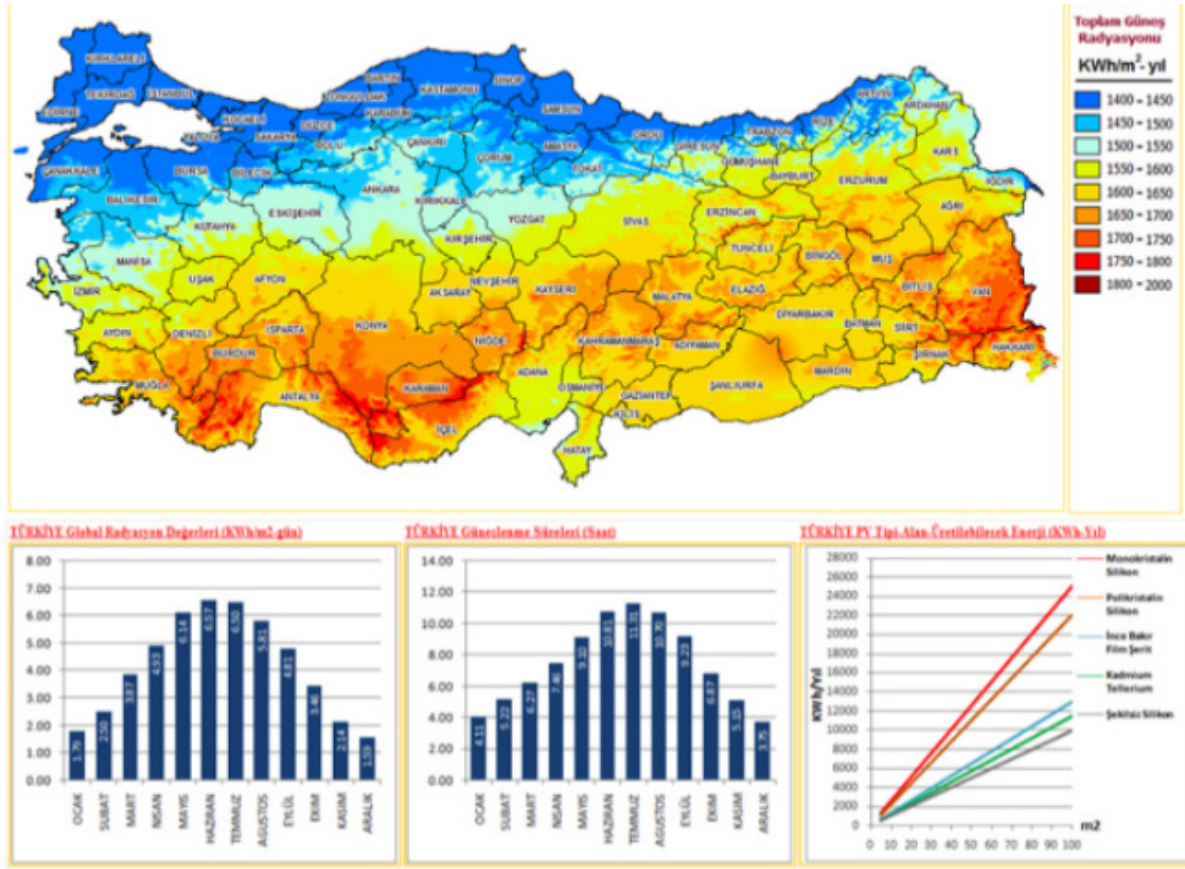
1 Sivas Belediyesi Avrupa Birliği Koordinasyon Merkezi OGRIC ID 0000-0002-2437-378X ahmetturanbozpolat@hotmail.com  
2 Sivas Belediye Başkanlığı Plan Proje Müdürlüğü OGRIC ID 0000-0001-8998-2933 bilalsecilmis@gmail.com  
3 Sivas Belediyesi SİBESKİ Müdürlüğü OGRIC ID 0000-0003-2426-0053 turgaybisgin@gmail.com  
4 Sivas Belediyesi SİBESKİ Müdürlüğü OGRIC ID 0000-0002-6149-5372 harun-isik@outlook.com  
5 Orta Anadolu Kalkınma Ajansı Kayseri OGRIC ID 0000-0003-2032-3555 nurullahtopkaraoglu@oran.org.tr

### 1. GİRİŞ

Ülkemiz için önem arz eden konulardan biriside enerji meselesidir. Sanayileşme hızla artan nüfusun oluşturmuş olduğu taleplerin karşılanması gibi sorunlar, enerji ihtiyacının yıllara göre artışına neden olmuştur. Bu artış beraberinde enerji üretimi için doğal kaynakların hızlı bir şekilde tüketilmesini sağlamış. Kaynakların hızlı tüketilmesi birçok çevresel sorunun oluşmasına neden olmuştur. Bu sorunlardan önemlilerini zikretmek gerekir ise küresel ısınma başta olmak üzere hava, su ve toprağın kirlenmesidir. Enerji meselesi aslında stratejik öneme sahip bir konu olması hasebi ile birçok ülke Sanayi Devrimi'nden sonra ihtiyaç duyduğu enerjiyi karşılamak için zengin doğal kaynaklara sahip ülkeleri sömürge edinmek amacı ile savaşlar yapmış, hatta birinci ve ikinci dünya savaşlarının bu sebepten yapıldığı bilinen tarihî bir gerçektir. Savaşların sona ermesi enerji ihtiyacının karşılandığı anlamına gelmemekle beraber hâlen zengin enerji kaynakları potansiyele sahip coğrafi bölgelerde zengin enerji ve doğal kaynaklara erişim ihtiyacının kontrol altına alması gibi konularda gelişmiş ülkeler savaş hâlinde olduğu bilinen bir gerçektir. Sanayi Devrimi, İngiltere'de başlayıp Avrupa ve Amerika'ya yayılarak tüm dünyaya enerjinin, uygarlıkların devamı için vazgeçilmez bir unsur olduğunu, güçlü bir devlet olmanın yolunun enerji sorununu çözmekten geçtiğini göstermiştir (Anonim, 2020). Enerji sorununu çözümlleyen ülkeler ekonomik anlamda güçlü olan ülkeler olarak nitelendirildiği için bu ülkeler aynı zamanda dünya siyasetine de yön veren ülkelerdir. Enerjinin günümüz dünyasında öneminin yüksek olması, ülkemizin enerji ihtiyacını karşılamada dışa bağımlı olması, enerji üretiminde çevreye daha az zarar veren yöntemlerin tercih ediliyor olması gibi nedenler enerji üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının popülaritesini artırmıştır. Bir diğer sorun ise çevre kirliliğidir. Fosil yakıtların aşırı kullanımı geri dönüşü olmayan çevresel sorunların başlamasına neden olmaktadır. Özellikle araçlarda tüketilen yakıtlar atmosferde sera gazı etkisini giderek artırmaktadır [4]. Çevresel avantajlar, hükümet destekleri, kurulum yerinin esnek olması ve taşınabilirlik açısından en hızlı yayılan enerji santrali güneş enerji santralleri olarak karşımıza çıkarmaktadır [8]. Son yıllarda güneş enerjisinden enerji üretiminin popülaritesi artmıştır [9]. Sürdürülebilir kalkınma ve CO<sub>2</sub> salınımının azaltılması amacı ile solar sistemlerin kullanımı dünyada artış göstermiştir [10]. Yapılan çalışmalar göstermiştir ki güneş enerji sistemleri küresel enerji ihtiyacının 1000 katını karşılayabilmektedir. Fakat biz günümüzde bu enerjinin %0,02 kullanmaktayız [11]. Her ne kadar bu oran çok düşükte olsa dünya güneş enerjisinden yararlanma oranları gün geçtikçe artış göstermektedir [12]. Avrupa, Çin ve Amerika Birleşik Devletleri gibi ülkelere dünyada en fazla güneş enerji yatırımına sahip ülkelerdir [13]. Marjinal arazilerin güneş enerji santrali olarak kullanımı hem ekonomik hem de çevresel açıdan önemlidir [14]. Güneş enerjisi santrali kurulacak alanların tarımsal alan olmamalarına dikkat edilmelidir. Bu durum ileride küresel açlık gibi önemli sonuçlar doğurabilir [15]. Güneş enerji santrali için uygun olmayan alanlar orman arazileri, gelişmeye öncelikli alanlarda olan tarım arazileri, mera arazileri, çok eğimli alanlar, şehir merkezine ve bağlantı noktalarına uzak alanlar ve iklim şartlarının sert geçtiği bölgelerdir [16]. GES alanlarının mekânsal seçimi için birçok analiz metodu ve modelleme sistemleri kullanılmaktadır. Bu kapsamda Uyan ve ark. Coğrafi bilgi sistemlerinin güneş enerjisi santrali kurulumunda kullanmışlar özellikle santrallerin vaziyet planlarının oluşturulması panellerin güney cepheye konumlandırılmasında etkin sonuçlar elde etmişlerdir [17].

## Sivas İli Çayboyu Mahallesi Bölgesinin Güneş Enerjisi Santrali...

Coğrafi bilgi sistemleri veri tabanı kullanımı ile İtalya da büyük ve geniş arazilere güneş enerji santrali kurulumu yapılarak bu alanların aynı zamanda verimli kullanımı ve enerji ihtiyaçlarının belirlenmesi amacı ile birçok çalışma yürütülmüştür [18]. GES alanlarının belirlenmesinde birçok faktör etkili olduğundan bu etkilerin birbirleri üzerine etkisinin hesaplanması çok güçtür. Bu sebepten Sánchez-Lozano ve ark. (2013) yılında çoklu kriter karar verme yöntemi geliştirmişlerdir. Bu yöntem en uygun GES alanının belirlenmesinde kullanılmaktadır [19]. Bu yöntem ve coğrafi bilgi sistemleri yardımı ile Çayboyu GES alanı seçimi yapılmış bu alanda 1MW kapasiteye sahip güneş enerjisi santrali kurulmasına karar verilmiştir.



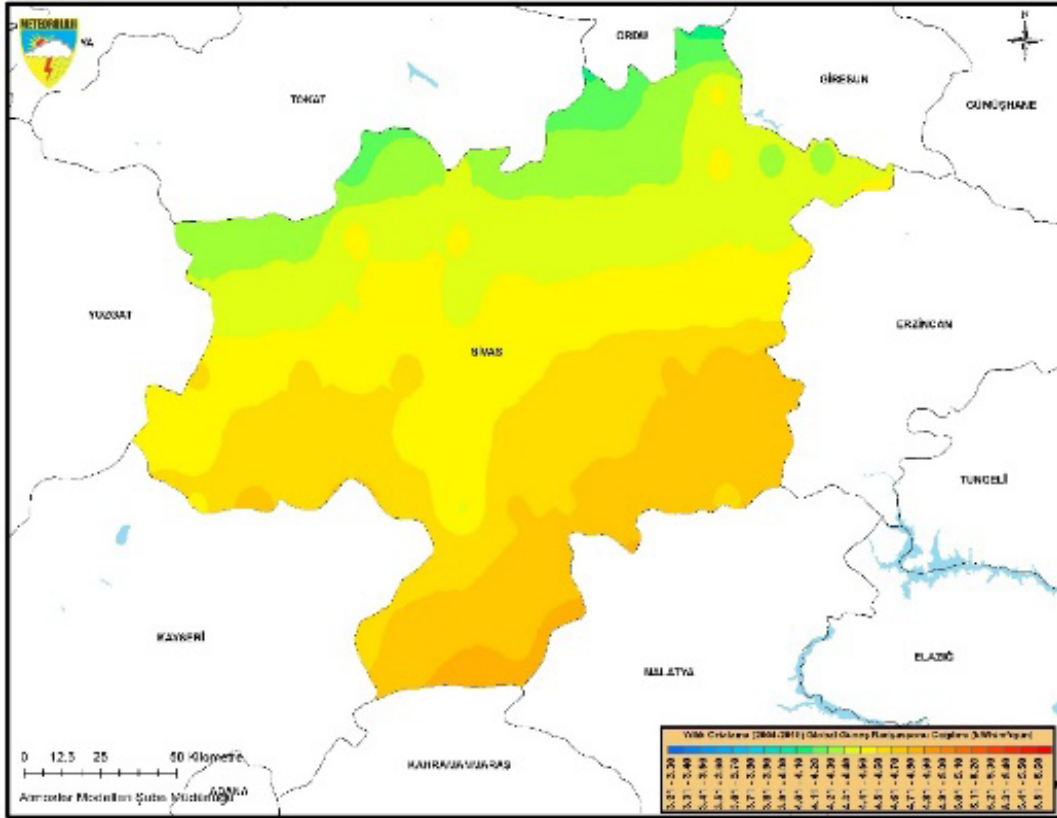
Şekil 1. Güneş enerji güneş enerjisi potansiyeli atlası(1)

Bu kararın alınmasında önemli nedenlerin biriside bölgenin konumunun enerji üretimine olan uygunluğu olmuştur. Güneşlenme süresi 2,653 (saat –yıl ) dır. Bu değer Türkiye ortalaması olan 2687 (saat-yıl) değerine çok yakın bir değerdir. Şekil 1’de görüldüğü üzere Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğünün vermiş olduğu güneş enerjisi potansiyeli atlasında Sivas ili güneş enerji santrali kurulumu için en uygun iller arasında yer almaktadır. (Anonim 2020a) Türkiye-nin güneş enerjisi potansiyeli son derece elverişli olmasına rağmen yeterince kullanılamamaktadır. [2],[3]

## 2. GEREÇ VE YÖNTEM

### 2.1. Güneş Potansiyeli Durumu:

Güneş enerjisinden santral kurulumunda aranacak en önemli şartlardan bir tanesi de bölgenin güneş enerji santrali kurulumu için gerekli güneş potansiyeline sahip olup olmaması hususunda araştırma yapmaktır. Bölgemiz İç Anadolu bölgesinin en fazla güneşlenme gün sayısına sahip bölgelerinden birsidir. Bu değer Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün vermiş olduğu güneş enerjisi potansiyeli atlasında güneşlenme süresi 2,653 (saat –yıl ) olarak belirlenmiş. Bu durum ortalama güneşlenme süresi yakındır. Ülkemizde toplam güneş ışınım şiddeti yıllık 1527 kWh/m<sup>2</sup>, yıllık toplam güneşlenme süresi ise 2 bin 741 saattir. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası'na göre günlük ışınım değerlerinin en az 3,29 kWh/m<sup>2</sup>, en fazla 5,48 kWh/m<sup>2</sup> olduğu görülmektedir [1].



Şekil 2. Sivas ili yıllık ortalama global güneş radyasyonu dağılımı kWh/m<sup>2</sup>/gün (7)

Şekil 2'den de anlaşılacağı üzere Sivas ilinin kuzeyi güneş enerji santrali kurulumuna uygunluğu düşük iken bu değer güneye ilerledikçe artmaktadır özellikle Gürün, Kangal, Ulaş Divriği Şarkışla, Gemerek, Zara ve şehir merkezi güneş radyasyonu değerleri güneş enerjisi santrali kurulumu için uygunluk göstermektedir.

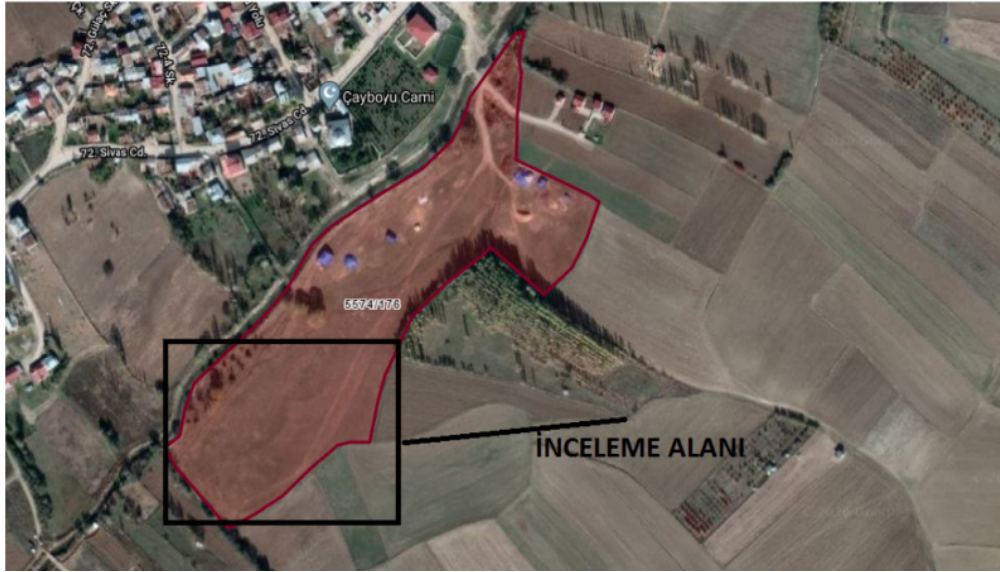
## Sivas İli Çayboyu Mahallesi Bölgesinin Güneş Enerjisi Santrali...

### 2.2. Arazinin Toprak Yapısı:

Bu hususta arazi seçimi yapılırken arazinin toprak yapısının killi ve kayalık olmaması için gerekli araştırma yapılmıştır. Aksi takdirde aşırı killi ve aşırı taşlık alanlarda panellerin yere sabitlenmesi amacı ile oluşturulacak konstrüksiyon değişmektedir. Kayalık arazilerde çelik konstrüksiyon ile birlikte beton ayaklıkların kullanımı tesisin ilk yatırım maliyetlerini %30 oranında artırmaktadır. Parsel alanı topoğrafyasında en düşük kot 1306 m, en yüksek kot 1306 m ve eğimsiz bir arazidir. Çalışma alanı içerisinde gözlemlenen sulu ve kuru dere yoktur. İncelenen parsel ve yakın civarında yapılan jeolojik çalışmalarda aktif ve potansiyel nitelikte kaya düşmesi, heyelan, feyezan vb. doğal afet olaylarına ve olabilecek risk faktörlerine rastlanılmamıştır. İnceleme alanında herhangi bir dolgu, hafriyat veya çöp döküm sahası bulunmamaktadır. Arazini toprak tekstürü killi kumlu silt olarak belirlenmiştir.

Ayrıca bu alanda zemin etüt çalışmaları da yapılmış bu çalışmalara göre alanın herhangi bir afet, heyelan, kaya düşmesi, su baskını vb. riskli durum yoktur. İnceleme alanı koordinatları Enlem 39,7908<sup>0</sup>, Boylam 36,0526<sup>0</sup> olarak belirlenmiştir.

İnceleme alanında mevsimsel yağışlara bağlı olarak yüzey ve sızıntı suyu seviyelerinde değişiklik olabilir. Bundan dolayı temel kazısı yapılırken yüzey suları ve/veya yeraltı sularına rastlanabilir ve yapı temellerine zarar verebilir. İnceleme alanında yeraltı su seviyesi ölçümleri sondajların bitim tarihinden sonraki günlerde ölçülmüş olup sondaj kuyularında yeraltı su seviyesine 1,00 metrede rastlanılmıştır. İnceleme alanında temellerin yeraltı ve yüzey sularından uzak tutulması amacı ile kalıcı bir çevre drenajı ve izolasyonu yapılması önerilmektedir. İnceleme alanındaki zeminlerin plastisite indeksi değerleri (PI) genelde %15.2-48.0 aralığındadır. Çalışma alanında yapılan incelemeler doğrultusunda sıvılaşma bulunmamaktadır.



Şekil 3. Güneş enerjisi santrali yapılması planlanan bölgenin kuş bakışı hava fotoğrafı görüntüsü

### 2.3. Arazinin Cephesi:

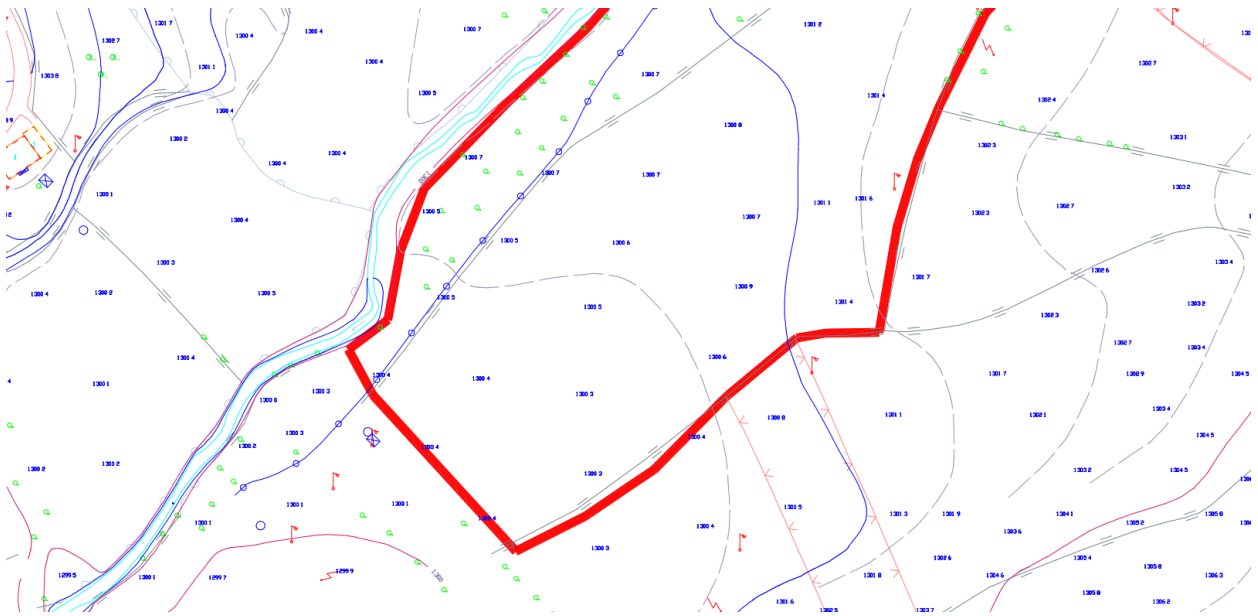
Arazi düz bir topografyaya sahiptir ayrıca arazinin Şekil 3'te görüldüğü üzere güney cephesi mevcuttur. Bu durum kurulması planlanan güneş santrallerinin enerji üretimi çok önemlidir. Enerji üretiminde panellerin güneşlenme oranı hesap edilmiş arazinin güneye olan cephelinin geniş olmasına dikkat edilmiştir.

### 2.4. Arazinin Konumu:

Ges için arazi seçiminde dikkat edilmesi gereken diğer husus arazinin konumudur.  $39^{\circ}47'24.56''N$ ,  $37^{\circ}3'9.17''E$  koordinatlarında bulunan proje alanı Sivas ili, Merkez ilçesi, Çayboyu mahallesi, 5574 ada, 176 parsel lokasyonun da bulunmaktadır. Bu alanın uygulamalı güneş enerjisi santrali kurulumuna uygunluğu analiz edilmiştir. Arazinin topografyasının enerji santrali kurulumuna uygun olduğu düz ve engebesiz bir alan olduğu, enerji nakil hatlarına yakın olduğu güneşlenme süresinin uzun olduğu, heyelan riskinin olmadığı belirlenmiştir.

### 2.5. Arazinin Fiziki Yapısı ve Eğim Durumunun Analiz Edilmesi :

Şekil 4'te arazinin topoğrafi haritası verilmiştir. Bu haritada eş yükselti eğrileri incelendiğinde arazini düz ve engebesiz bir alan olduğu görülmektedir. GES yer seçimi kriterleri ve gereklilikleri ne göre güneş enerji santralleri kurulumu için eğim hususunda belirlenen kriterler  $<5^{\circ} - 15^{\circ}$ [5] arasındadır. Arazinin eğim durumunun  $5^{\circ}$  az olması güneş enerji santrali kurulumu için uygun olduğunu göstermektedir. Panellerin çok eğimli arazilerde montajı erozyon, drenaj ve statik gibi problemlere yol açabilir [6].



Şekil 4. Arazi topografik haritası

### 2.6. Arazinin Marjinal Tarıma Uygunluğu:

Arazide güneş enerji santrali kurulmadan önce alanın marjinal tarım arazisi olup olmadığına dair tetkikler yapılmış, resmî kurumlardan gerekli izinler alınmıştır. Güneş enerji santrali kurulması planlanan arazi marjinal tarım arazisi olmadığı tespit edilmiştir.

### 2.7. Arazinin Gölgeleme Durumunun Analizi:

Bu hususta yapılan ön çalışmalarda güneş panellerin gölgede kalmasına neden olacak örneğin uzun geniş ağaçlar, yüksek gerilim hatları, konut vb. yapıların bulunmadığı tespit edilmiştir. Arazinin çevresinin açık olması nedeni ile gölgelemede herhangi bir sorun yaşanmayacağı belirlenmiştir.

### 2.8. Arazinin Kirlenme ve Tozlanma Durumunun Analizi:

Panellerin tozlanması enerji üretimini olumsuz etkilemesi ve ayrıca panellerin temizlenmesi durumunda oluşabilecek olumsuz durumların ortaya çıkması gibi sorunlar yüzünden arazi seçiminde dikkat edilmesi gereken önemli bir durumda Arazinin Kirlenme ve Tozlanma Durumudur. Enerji üretimi için arazi seçiminde toz kaynağı olan beton santrali taş ocağı kum ocağı gibi tesislerin bulunmaması gerekmektedir. Yapılan teknik incelemelerde seçilen arazinin bahse mevzu toz kaynaklarına yakın olmadığı tespit edilmiştir.

### 2.9. Arazinin İklimsel Şartlara Göre Analiz Edilmesi:

Güneş santrali için arazi seçimi yaparken arazinin bulunduğu bölgeye de iklim faktörü tesisin efektif çalışması için önemli bir faktördür. Bu hususta Sivas ili iklim verileri meteoroloji il müdürlüğünden alınmıştır. Ortalama yağmurlu gün sayısı 88 gün, sisli gün sayısı 13 gün, kar yağışlı gün sayısı ise 29 gün olarak belirlenmiştir. Ortalama sıcaklık, panellerin verimli çalışmasını etkilemektedir. Bölgenin ortalama sıcaklığı meteorolojik verilere göre en düşük sıcaklıkların yıl içerisindeki ortalaması  $-34^{\circ}\text{C}$  en yüksek ise  $40^{\circ}\text{C}$ 'dir. Panellerin yılın 7 ayı yüksek verimde çalışacağı kış aylarında veriminin düşeceği ön görülmektedir. Panellerin optimum verimde elektrik enerjisi üretebilmesi için en uygun hava sıcaklık aralığı  $15^{\circ}\text{C} - 40^{\circ}\text{C}$  aralığıdır [5].

### 2.10. Arazinin Ulaşım Durumunun Analiz Edilmesi:

Şekil 5 ve 6 görüldüğü üzere araziye ulaşım durumu incelendiğinde 72. Sivas Caddesi yolu üzerinden biçimsiz asfalt, toprakla karışık asfalt ve taşlık toprak yol mevcut bulunmaktadır. Söz konusu proje alanına erişim kapsamında yer yer dar yollar mevcut bulursa da, ulaşımı imkânsız kılacak ve/veya çok zorlayacak herhangi bir engele rastlanmamıştır. Proje alanının düz ve toprak zemin olmasından ötürü proje alanı içerisinde de ulaşımı olumsuz etkileyecek herhangi bir engel mevcut değildir

## Uluslararası Genel Çevre Sorunlarına Bakış



Şekil 5. Arazi ulaşımında kullanılan toprak yol Çayboyu tali yol



Şekil 6. Arazi ulaşımında kullanılan asfalt yol 72 . Sivas caddesi

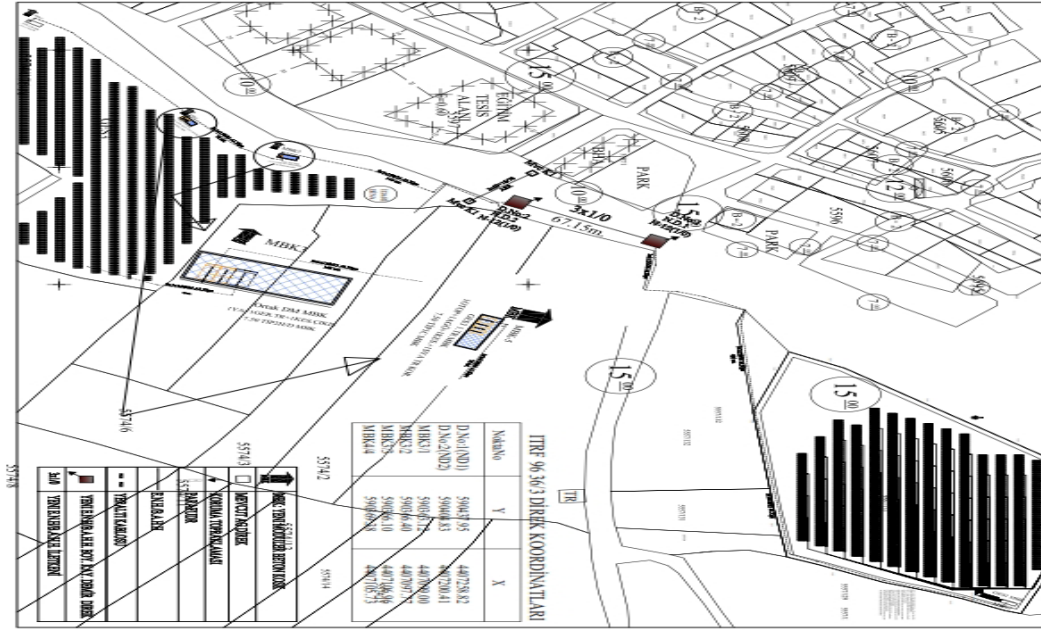
### 2.11. Arazinin Enerji Nakil Hattına Olan Uzaklığının Analiz Edilmesi:

Güneş santralini kurulumunda önemli olan bir diğer durumda, enerji iletim veya nakil hatları ile dağıtım şirketinin gösterdiği noktaya bağlantı yapılması durumudur. Bu nakil hatlarının gittiği



## Sivas İli Çayboyu Mahallesi Bölgesinin Güneş Enerjisi Santrali...

güzergâh çok önemlidir. Güzergâhı enerji nakil hatlarına uzak olması santralin ilk yatırım maliyetlerini artırmaktadır. Ayrıca nakil hatlarının başkalarının arazisinden geçme durumu yatırımın farklı hukuki sorunların oluşmasına neden olmaktadır. Bu durumlar göz önüne alındığında Çayboyu güneş enerji santrali alanı enerji nakil hatlarına yakın olması ve bağlantı noktalarına erişimin kolay olması nedeni ile santral kurulumu için uygun bir bölgedir. Şekil 7 ve 8 den görüldüğü üzere bu alanın enerji nakil hatlarına uzaklığı 1 km.



Şekil 7. Enerji bağlantı noktası krokisi



Şekil 8. Enerji bağlantı noktası krokisi

## Uluslararası Genel Çevre Sorunlarına Bakış

### 2.12. Arazinin İmar Durumunun İncelenmesi:

Bölge Belediye imar planında güneş enerjisi santrali alanı olarak belirlenmiştir.

### 2.13. Elektrik Altyapı ve Bağlantı Analizi:

Sivas ili, Merkez ilçesi, Çayboyu mahallesi, 5574 ada, 176 parsel adresinde mevcutta herhangi bir tüketim tesisi bulunmamakla birlikte söz konusu parsel alanı boş araziye belirtmektedir. Bu kapsamda kurulacak olan güneş enerjisi santralinin 1.250 kVA (0,4/34,5 kV) transformatör üzerinden TEİAŞ 11. Bölge Müdürlüğü Sivas İşletme ve Bakım Müdürlüğü'ne bağlı olan Sivas OSB TM DM-2'den çıkış yapan 3/0 hatta (kuş uçuşu mesafe ~ 850 metre); Sivas OSB transformatör merkezine bağlantı sağlayan ve Sivas Belediyesi'ne ait mevcut ve aktif olan güneş enerjisi santraline ait transformatör merkezinde bulunan hücreler üzerinden (kuş uçuşu mesafe ~ 450 metre); ilgili şebeke işletmecisi tarafından belirtilebilecek opsiyonel bir başka hatta bağlantı sağlaması planlanmaktadır.

**Çizelge. Elektriksel bağlantı detayları**

Tesisin Bağlantı Sağlayacağı Dağıtım Trafosu ve Kapasite Bilgisi	TEİAŞ Sivas OSB TM Trafo A – 154/34,5 kV (80 (100) MVA) Trafo B – 154/34,5 kV (50 MVA–Yedek)
Üretim Tesisi Bağlantı Sağlayacağı Gerilim Seviyesi	34,5 kV
TEİAŞ Arıza Akım Limiti Kontrolü	Problem Öngörülmemektedir
Ölçüm Noktası Bilgisi ve Sayaç Numaraları	Beton Travers Fabrikası (50843561)
GES Bağlantı Trafosu İhtiyaç Bilgisi	Gerekli (0,4 kV /34,5 kV)
Mevcut Tesis Elektrik Panosu Boş Bağlantı Yeri Bilgisi	Tüketim Tesisi Mevcut Değil
Enerji Nakil Hattı Bilgisi	~ 850 metre (Yeraltı XLPE + Havai ile Sivas OSB TM 3/0 Hat)

## 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çoklu kriter karar verme yöntemi ile Coğrafi Bilgi Sistemlerinin entegre çalışmaları sonucunda 3 farklı arazide değerlendirme yapılmış. Bu değerlendirme sonucu Çayboyu mahallesinde belirlenen alana güneş enerji santrali yapılmasına karar verilmiştir. Bu alanın tarım dışı kullanımda olması, güney cephesinin genişliği, güneşlenme oranının yüksek olması, trafo merkezlerine yakınlığı, toprak yapısının uygunluğu, eğimli olmaması, gölgelenme ve tozlanma faktörlerinden uzak olması, heyelan ve deprem riskinin olmaması, ulaşım konusunda karayollarına bağlantısı olması gibi hususlarda yapılan çalışmalar. Bu bölgenin güneş enerji santrali kuruluna uygun olduğunu göstermiştir.

## 4. SONUÇ

Proje kapsamında yapılan arazi çalışmaları sonucunda Çayboyu mahallesinde bulunan imar uygulamalarında GES alanı olarak belirlenen 30 dönümlük alanın güneş enerjisi üretimine uygun

## Sivas İli Çayboyu Mahallesi Bölgesinin Güneş Enerjisi Santrali...

olduğu anlaşılmıştır. Bu alanda yapılacak imalatın güneş enerjisi üretimine engel olmayacağı görülmüş gerekli yatırım yapılmasına yönelik uygun görüş bildirilmiştir. Bu görüşlere göre bölgede toplamda 1 MW gücünde tesisin oluşturulması amacı ile gerekli çalışmalar tamamlanmış ve tesis inşa edilmesi için gerekli çalışmalar sürdürülmektedir. Tesisin yıllık elektrik üretimi 1.697 MWh, olup tesisin ilk yatırım maliyeti yaklaşık olarak 950.000 dolardır. Tesisin ilk yatırım maliyetini 6 yılda karşılayacağı ve daha sonra kara geçeceği ön görülmektedir.

### TEŞEKKÜRLER

Projenin yazılması ve uygulanmasına kadarki süreçte desteklerini esirgemeyen Bilal Seçilmiş, Turgay Bişgin, Harun Işık ve Nurullah Topkaraoğlu'na ve desteğini bizden esirgemeyen Prof. Dr. Meltem Sarıoğlu Cebeci hocamıza teşekkür ederim

### KAYNAKLAR

- [1] www.eie.gov.tr Erişim Tarihi: 11.09.2019
- [2]Bahnmann, D. (2004). Photocatalytic water treatment: solar energy applications. *Solar energy*, 77(5), 445- 459
- [4] Čeřovský, Z., Mindl, P., “Hybrid Electric Cars, Combustion Engine driven cars and their Impact on Environment”, SPEEDAM 2008 International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion, pp. 739 – 743
- [3]Winston, R. ve Hinterberger, H. (1975). Principles of cylindrical concentrators for solar energy. *Solar Energy*, 17(4), 255-258
- [5] Kereush, D., Perovych, I., Determining Criteria for Optimal Site Selection for Solar Power Plants, *Geomatics, Landmanagement and Landscape C 4 S 39-54*, 2017.
- [6] Brewer, J., Ames, D. P., Solan, D., Lee, R., Carlisle, J., Using GIS analytics and social preference data to evaluate utility-scale solar power site suitability. *Renewable Energy S 81 S 825- 836*, 2015.
- [7] [https://www.mgm.gov.tr/kurumici/radyasyon\\_iller.aspx?il=sivas](https://www.mgm.gov.tr/kurumici/radyasyon_iller.aspx?il=sivas)
- [8] Uyan, M, 2013. GIS-based solar farms site selection using analytic hierarchy process (AHP) in Karapınar region, Konya/Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28:11–17
- [9] Solangi, K. H., Islam, M. R., Saidur, R., Rahim, N. A., Fayaz, H., A review on global solar energy policy. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2011, 15, 2149–2163.
- [10] Devabhaktuni, V., Alam, M., Depuru, S. S. R., Green, R. C., II, Nims, D., Near, C. Solar energy: Trends and enabling technologies. **Renew. Sustain. Energy Rev.** 2013, 19, 555–564
- [11] Xia, X., Xia, J., Evaluation of potential for developing renewable sources of energy to facilitate development in developing countries. In *Proceedings of the Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference*, Chengdu, China, 28–31 March 2010; pp. 1–3.
- [12] Frankfort School, FS-UNEP Collaborating Centre for Climate and Sustainable Energy Finance. *Global Trends in Renewable Energy Investment*. Available online: [http://fs-unep-centre.org/sites/default/files/publications/globaltrendsinrenewableenergyinvestment2016lowres\\_0.pdf](http://fs-unep-centre.org/sites/default/files/publications/globaltrendsinrenewableenergyinvestment2016lowres_0.pdf) (accessed on 15 January 2018)

## Uluslararası Genel Çevre Sorunlarına Bakış

- [13] Johnston, I., Developing World Invests More in Renewable Energy than Rich Countries for First Time, New Study Says. Availableonline <http://www.independent.co.uk/environment/climate-change/renewable-energyinvestment-developed-world-developing-world-ren21-report-a7058436.html>
- [14] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation; Cambridge University Press: Cambridge, UK; New York, NY, USA, 2011
- [15] Turney, D., Fthenakis, V., Environmental impacts from the installation and operation of large-scale solar power plants. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2011, 15, 3261–3270.
- [16] Perpiña Castillo, C., Batista e Silva, F., Lavalle, C., An assessment of the regional potential for solar power generation in EU-28. *Energy Policy* 2016, 88, 86–99.
- [17] Uyan, M., “GIS-based solar farms site selection using analytic hierarchy process (AHP) in Karapinar region, Konya/Turkey,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 28, pp. 11–17, 2013.
- [18] Massimo, A., Dell’Isola, M., Frattolillo, A., Ficco, G., Development of a Geographical Information System (GIS) for the integration of solar energy in the energy planning of a wide area. *Sustainability* 2014, 6, 5730–5744.
- [19] Sánchez-Lozano, J. M., Teruel-Solano, J., Soto-Elvira, P. L., Socorro García-Cascales, M. (2013). Geographical Information Systems (GIS) and Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods for the evaluation of solar farms locations: Case study in south-eastern Spain. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 24:544–556

# ENERJİ VE ÇEVRE BAKIŞ AÇISIYLA SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

Derya Betül Ünsal<sup>1</sup>

## ÖZET

Dünyada gelişen teknoloji ile birlikte enerji kullanımı her geçen gün artmaktadır. Bu durum enerji kaynaklarının çevre tahribatı oranını da yükseltmektedir. Fosil kaynak rezervlerinin giderek azalmasıyla insana ve doğaya geri dönülemez hasarlara sebep olması, alternatif enerji kaynakları arayışını ortaya çıkarmıştır. Sürdürülebilirlik kapsamında yenilenebilir enerji kaynakları birçok avantaja sahiptir. Bu avantajı değerlendirebilmek için akıllı teknolojiler kullanılarak çevresel sürdürülebilir sistemler tasarlanabilir. Bu çalışmada; enerji kaynakları hakkında genel bilgiler verilerek, yenilenebilir enerji kaynaklarının avantaj ve dezavantajlarıyla birlikte enerji ve çevrede sürdürülebilirliğin gereklilikleri incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Sürdürülebilirlik, Temiz Enerji, Çevre Etkisi.

## ABSTRACT

Recently, in the world, the technology is developing and the use of energy is increasing day by day. This situation also increases the rate of environmental destruction of energy resources. The gradual decrease in fossil resource reserves, causing irreversible damage to humans and nature, has led to the search for alternative energy sources. Within the scope of sustainability, renewable energy sources have many advantages. In order to utilize this advantage, environmentally sustainable systems can be designed using smart technologies. In this study; By giving general information about energy resources, the positive and negative aspects of renewable energy resources, as well as the requirements of sustainability in energy and environment are examined.

**Keywords:** Renewable Energy Sources, Sustainability, Clean Energy, Environmental Effect.

---

<sup>1</sup> Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Enerji Bilimi ve Teknolojisi A.B.D, dbunsal@cumhuriyet.edu.tr

### 1. GİRİŞ

Son yıllarda, teknolojinin de gelişmesiyle birlikte artan enerji kullanımı, enerji kaynaklarının tükenebilme ihtimalini ortaya çıkarmıştır. Bu durum, araştırmacıları, alternatif enerji kaynakları arayışına teşvik eden bir kuvvet olmuştur. Enerji ve çevre ise tam da bu sebeple, dünyada son yıllarda artan bir oranla yakından incelenen ve birbirleriyle ilişkili konular hâline gelmiştir. Alternatif enerji kaynaklarının doğru teknolojilerle kullanılmaması sonucunda oluşacak çevre zararı, zamanla birlikte geri dönülmez sorunlara yol açabilir. Bu bakış açısıyla çevre ve enerji kavramları birbirinden bağımsız değerlendirilmemelidir.

Sürdürülebilirlik ise tanım olarak Birleşmiş Milletler (BM) tarafından “Doğal sistemleri bozmadan veya tehlikeye atmadan, kullanılan kaynakları eşit veya daha değerli kaynaklarla değiştirerek dünya üretkenlik süreçlerini süresiz olarak sürdürmenin uygulaması” [1] olarak açıklanmaktadır. Enerji ve Çevre hakkındaki gelişmeler, enerji kaynakları kullanımı açısından düşünüldüğünde, Fosil kaynaklı yakıtların kullanımı çevre üzerinde, yüksek sera gazı üretimi, toprak kirliliği, yeraltı ve yüzey sularının kirlenmesi gibi birçok olumsuz etkiye neden olmaktadır. Bununla birlikte tüm dünyanın uluslararası fosil yakıt rezervlerinin de azalmakta olduğu gözlemlenmekte ve bazı araştırmalar, 2050 yılı için yıllık petrol bulunabilirliğinde önemli bir sıkıntı yaşanacağından söz etmektedir. Bu gerçekler nedeniyle, yeni, alternatif ve özellikle sürdürülebilir kaynaklardan elde edilen yakıtların geliştirilmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Enerji kaynakları, kullanım amaçlarına ve elde edilmiş yöntemlerine göre sınıflandırılabilir. Kendi kendini yenileyen veya yenileyemeyen olarak değerlendirilen enerji kaynakları, farklı amaçlar için çeşitli teknolojilerle birlikte kullanılabilir. Bölüm içerisinde ayrıntılı olarak incelenecek olan fosil yakıtlara alternatif enerji kaynakları, tüm dünyadaki teknoloji ve üretim faaliyetlerinin yapısını değiştirebilecek potansiyele sahiptir. Enerji üretim ve kullanım süreçleri içerisinde atık olarak kabul edilen malzemelerin kullanımını da içeren çözümlere sahip olan alternatif enerji kaynakları sayesinde, sadece enerji tüketilirken çevreyi korumakla kalmaz, aynı zamanda sürdürülebilir kalkınmaya da destek olunabilir. Bununla birlikte, doğru teknolojiler kullanılmadığı takdirde, alternatif enerji kaynakları kullanılırken çevreye zarar verilebilir. Bu sebeple enerji, çevre ve sürdürülebilirlik ilişkisinin iyi anlaşılması gerekmektedir.

Bu çalışmanın amacı, benzer konulardaki bir analizin gerçekleştirilmesini hedefleyen araştırmacılara bilgi sağlamaktır: alternatif enerji kaynaklarının gelişimi, çevresel avantajları, dezavantajları ve doğru uygulamada kullanılan en son teknolojinin gözden geçirilmesi ve çevre koruma enerji üretim ve tüketimini birleştiren akıllı sistemlere, bu sistemlerin geliştirilmesindeki hedef ve süreçlere dikkat çekmektir.

### 2. ÇEVRE VE ENERJİDE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK YÖNTEMLERİ

Teknolojinin gelişmesiyle insanların refah düzeyi ve çevreye olan zararlı etkilerinin doğru orantılı olarak arttığı bilinmektedir. İnsanlar doğal çevrenin bir parçasıdır ve insan ekolojisi olarak da adlandırılan bu kavram sürdürülebilirlik kavramını gelişmenin odağında insanla birlikte genişlet-

## Enerji ve Çevre Bakış Açısıyla Sürdürülebilirlik

mektedir. Sürdürülebilir gelişmenin ekolojik temelleri olan Hava, su, ve barınma ihtiyacı insan ekolojisinin de temellerini oluşturmaktadır [4]. Çevre ekosistemi içerisine yapılacak yatırımlarla sürdürülebilir kalkınma, insanla birlikte güçlendirilebilir. [5].

Birleşmiş Milletler'in Brundtland Raporu'nda ilk defa 1987'de bugünkü anlamıyla izah edilen "sürdürülebilirlik" kavramı, sürecin başında "sürdürülebilir kalkınma" tanımı ile özdeş bir şekilde kullanılmış. Bu tanıma göre de "Bugünün gereksinimlerini, gelecek kuşakların gereksinimlerini karşılama yeteneğinden ödün vermeden karşılayan kalkınma" olarak açıklanmıştır.

Sürdürülebilirlik tanımının bugün kullanılan şekline ulaşmasındaki ilk önemli adım, 1972 yılında "Roma Kulübü" tarafından hazırlanan "Büyümenin Sınırları" isimli rapordur. Raporda, enerji ekonomisi ve çevre arasında birbirine bağlı bir ilişki olduğuna dikkat çekilmiş. Aynı zamanda gelişen teknolojinin, doğa üzerinde sebep olduğu zararlara dair verilere de yer verilmiştir. Büyümenin Sınırları raporundan sonra Stockholm'de "Birleşmiş Milletler İnsan ve Çevre Konferansı" (United Nations Conference on the Human Environment) düzenlenmiş ve sürdürülebilirlik tanımını çevre ve kalkınma bakış açısında inceleyen küresel boyuttaki ilk etkinlik olarak 1972 yılında tarihe geçmiştir. Etkinlik, tüm dünyada büyük yankı uyandırmış, gelişmiş ülkelerin sanayileşmesinin çevreye sebep olduğu tahribatla birlikte, gelişmekte olan ülkeler için yapılabilecekler de tartışılmıştır. Bu tartışmalar sonucunda Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) kurulmuştur. Etkinlik sonrasında gerçekleştirilen "Habitat I" ile birlikte, dünyada çevre korunması konusunun önemi gittikçe artmıştır ve Birleşmiş Milletler (BM) tarafından "Dünya Koruma Stratejisi" yayınlanmıştır. "Birleşmiş Milletler Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu" 1983 yılında kurulmuş ve 1987 yılında yayınlanan Brutland raporu ile sürdürülebilirlik kavramı son hâlini almıştır. Aynı hedef için atılan bir diğer önemli adım ise 1992 yılında Brezilya'da gerçekleştirilen "Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı" sürecinde başlayan ve sürdürülebilirliğin yalnızca çevreyle sınırlı olmadığı tartışmasının başlatılmasıdır. Konferans sonrasında Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği ve Çevre Sözleşmesi – UNFCCC ortaya çıkmış ve 1995'te Mısır'da gerçekleşen "Nüfus ve Kalkınma Konferansı" ve 1996'da İstanbul'da gerçekleşen "Habitat-II" etkinlikleriyle sürdürülebilirlik kavramı biyolojik çeşitlilik ve nüfus gibi kavramlarla birlikte anılmaya başlanmıştır. 2000 yılında New York'ta yapılan "Milenyum Zirvesi" sonucunda, 8 maddelik Binyıl Kalkınma Hedefleri (Millennium Development Goals), sürdürülebilirlik kavramına dair bu zamana kadar yapılan çalışmaları yansıtmaktadır. 2012 yılında tekrar Brezilya'da gerçekleştirilen zirve sonucunda ise 2015 ile 2030 yıllarını amaçlayan, Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri (Sustainable Development Goals) toplumsal cinsiyet eşitliği, yoksulluğun sebepleri, sürdürülebilir kentler, ayrımcılıkla mücadele, insan hakları gibi konularda ekonomik göstergelerle birlikte hedeflere de yer vermektedir [2, 3].

Bütün bu gelişmeler ışığında sürdürülebilirlik kavramının küresel anlamda neredeyse tüm başlıkların gündemine girdiği sonucuna varılabilir. Son yarım yüzyılda yapılan çalışmalar incelendiğinde, birçok bakış açısıyla birlikte tartışılan bu kavram, enerji ve çevre gibi insanlığın geleceğini etkileyen konularda da gün gittikçe daha da merkezi bir role sahip olduğu görülebilir. Bu anlamda sürdürülebilirlik kavramının enerji, çevre, insanlık tanımlarıyla birlikte uzun bir süre daha yoluna devam edeceği açıkça görülmektedir.

## Uluslararası Genel Çevre Sorunlarına Bakış

Çevresel sürdürülebilirlik, çevrenin nasıl doğal kalabildiği ve çeşitliliği korurken nasıl üretken kalabildiği ile ilgilidir. Enerji üreten kaynaklar doğadan alındığında, havanın, toprağın, suyun ve iklimin durumu ise özel bir endişe kaynağıdır. Bu konuları barındıran IPCC 5. Değerlendirme Raporu, iklim değişikliği ve doğanın değişimi ile ilgili bilimsel, teknik ve sosyoekonomik bilgiler hakkındaki güncel bilgileri özetlerken, çevrenin zararlı etkilerini azaltma ve uyum içerisinde yaşama seçeneklerini listelemektedir [6].

İnsanın çevresel sürdürülebilirliğin bir parçası olduğunu iyi anlaması, bu konuda bireysel hareket etmeye teşvik edilmesi gereklidir. Enerji kaynakları kullanımı sonucunda her birey çevresine faydalı olabilirse sürdürülebilir toplum kavramına erişilmiş olacaktır.

Ekonomiyi ve toplumu bir bütün olarak değerlendirmeyi ve böylece dönüştürücü bir gündem tanımlamayı ve uygulamayı hedefleyen, Avrupa çevre araştırma ve yenilik politikasının bir ürünü olan, aynı zamanda dünya çapında katılımın da mümkün olduğu Horizon 2020 tarafından finansal olarak desteklenen programlar mevcuttur [7, 8]. Sürdürülebilir toplumun gelişmesi için odaklanılması gereken; akıllı, esnek ve adaptif sistemler tasarlamak ve bu sistemleri insan hayatına entegre edebilmeyi başarmaktır [9, 10]. Bu sistemler sayesinde toplum gelişebilecek, enerji kullanımı ve refah düzeyi artarken çevresel sürdürülebilirlik de sağlanmış olacaktır.

Çevresel sürdürülebilirlik konusu enerji açısından ele alınmak istendiğinde, enerjinin tanımı incelenerek başlanabilir. Enerji, bir sistemin iş yapabilme kapasitesi olarak tanımlanmaktadır. Sistemin iş yapabilmesi ve çalışmaya devam edebilmesi için enerji sağlaması dolayısıyla enerji kaynağı kullanımına ihtiyacı vardır. Bu enerji kaynakları ise yenilenebilir ve yenilenemez olarak ikiye ayrılmaktadır. Yenilenemeyen yani tükenebilen ve sürdürülemeyen enerji kaynakları, Doğal gaz, Petrol, Kömür olarak sıralanabilir. Yenilenebilir enerji kaynakları ise Güneş Enerjisi, Rüzgâr Enerjisi, Biyokütle Enerjisi, Jeotermal Enerji, Hidroelektrik Enerji, Hidrojen Enerjisi, Dalga Enerjisi ve Nükleer Enerji olarak sınıflandırılır [9, 10]. Ancak her enerji kaynağı kullanımın doğaya bir müdahale olduğu ve mutlak bir etkisi olduğu bilinmelidir. Fosil yakıtlardan enerji eldesinin yan etkileri daha çok kabul edilebilir ve toplum tarafından da bilinen etkiler iken yenilenebilir enerji kaynaklarının tamamının çevre dostu olduğunu düşünmek yanlış olacaktır. Doğru teknolojiler kullanıldığında çevreye dost enerji kaynakları hâline dönüşen yenilenebilir enerji kaynakları, yanlış uygulamalarla gerçekleştirildiğinde, fosil kaynaklardan daha zararlı hâle gelebilir.

Enerji kaynaklarının çevreye olan tahribatı konusuyla değerlendirilmesi durumundaki major noktalar incelenecek olursa;

Fosil kaynak kullanımında, kömür, doğal gaz ve petrolün yakılarak kullanılması sebebiyle ortaya çıkan zararlı gazlar atmosferde birikmekte ve buna bağlı olarak sera gazı emisyonları ile iklim değişikliği, küresel ısınma gibi yan etkilere neden olmaktadır. Kendini yenileyemeyen, tükenen, fosil kaynaklar ile kıyaslandığında çevreye verdiği zarar çok daha az boyutta olmasına rağmen, yenilenebilir enerji kaynaklarının tamamının doğaya zarar vermediğini düşünmek yanlış olacaktır. Örneğin Yenilenebilir enerji kaynakları arasında çevreye en fazla zarar verdiği düşünülen hidrolik santrallerin çevresel etkileri incelenecek olursa şöyle sıralanabilir. Hidrolik barajların çevreye olan etkileri üç başlıkta değerlendirilebilir. İnşaat aşamasındaki olası etkiler, Su tutulması ve işletme aşamalarındaki olası etkiler ve Kapanış sonrası olası etkiler [11].



## Enerji ve Çevre Bakış Açısıyla Sürdürülebilirlik

Uygulama sonrasında ise fiziksel çevre üzerine etkilerden, toprak kalitesi, erozyon ve arazi kullanımı, zemin emniyeti, depremsellik ve sismik riski, iklim ve sera gazı oluşumu şeklinde açıklanabilen çevre etkileri mevcuttur. Baraj göllerinin yüzey alanlarının dere veya nehirlere göre daha geniş olması ve buharlaşmanın artmasından dolayı iklimsel etkiler oluşmaktadır. Bu şekilde havadaki nem oranı artmakta ve hava hareketleri değişmektedir. Bunların sonucu olarak da sıcaklık, yağış, rüzgâr olayları standardın dışına çıkabilmektedir. Bu durumda ise yöredeki doğa bitki örtüsü tarım bitkileri sucul karasal hayvan varlığı ani bir değişim içine girmekte, uyum sağlayabilen türler yaşamlarını devam ettirmektedirler. Nehirlerin engellenerek, baraj gölü hâline getirilmeleri, baraj gölündeki suyun bir miktarının buharlaşması ile su içindeki tuz miktarı ve diğer minerallerin artmasına da neden olmaktadır. Akarsudan göle geçişteki su hızı ise difüzyon ve oksijen alma kapasitesinin düşmesine bağlı olarak doğal temizleme kapasitesi düşmekte ve göl ötrofikasyon sürecine girmektedir. Ayrıca barajların inşaatı aşamasında; özellikle hafriyatların gelişigüzel dere veya nehir yataklarına bırakılması, su kotu altındaki çalışmaların uzun süreli bulanıklık yaratması ve atık suların dinlendirilmeden dere yatağına verilmesi inşaat aşamasındaki en büyük tehlikelerdendir. İnşaat atıkları değerlendirildiğinde ise özellikle hafriyatın şevlerden aşağıya dökülerek, ağaç ve orman altı florasının tahrip edilmesi, malzeme ocakları ve ulaşım yollarının etkilenmesi de sıralanabilir. Biyolojik çevre üzerine etkiler ise flora ve vejetasyon, karasal fauna, sucul fauna, yüksekte düşen sular nedeniyle hava azotunun aşırı doygunluk düzeyinde çözülmesi, balıklar için öldürücü olması şeklinde örneklendirilebilir. Sosyoekonomik çevre üzerine etkileri, Kamulaştırma ve yeniden yerleşime sebep olan arazinin kıymetinin değişmesi, altyapı ve ulaşım değişikliği, yöredeki tabiat ve tarih varlıklarının korunmaması neticesinde kültürel değerlerin kaybının söz konusu olması olarak örneklendirilebilir [11].

Hidroelektrik enerjinin avantajları incelenecek olursa; termik ve nükleer santraller gibi ısınmış su, hava emisyonları, kül ve radyoaktif atıklara neden olmayan önemli bir alternatif enerji kaynağıdır. Nükleer ve termik santraller, ısınan su, kül ve radyoaktif atıklara neden olmayan önemli bir alternatif enerji kaynağıdır. Termik santrallerinden ise meydana getirdikleri karbondioksit emisyonları ve küresel ısınma etkisi nedeniyle çevreye en fazla zarar veren enerji kaynağı olduğu kanısına varılabilir.

Bununla birlikte diğer yenilenebilir enerji kaynakları incelendiğinde minor etkiler olarak değerlendirilebilecek noktalar da mevcuttur. Örneğin rüzgâr santralleri, sebep olduğu gürültü ve kuşların göç yolunu değiştirme etkisi gibi dezavantajlara sahiptir. Jeotermal enerjinin ise sülfür ve azot oksit emisyonları ile sifıra yakın atıkla enerji elde etmesi, fosil yakıtlara göre bir avantaj olmasına rağmen yer kabuğunun derinliklerinden gelen bu kaynağın kullanımı esnasında Hidrojen sülfür ve karbondioksit türevi gazların açığa çıkması nedeniyle reenjeksiyon gerektirmesi ise dezavantajları olarak sıralanabilir. Her enerji kaynağı gibi jeotermal kaynak kullanımında da yanlış teknolojiler kullanılırsa çevre kirliliğine yol açabilmektedir [12].

Çevre tahribatı açısından değerlendirildiğinde, biyokütle ve güneş enerjisi, çevreye en dost enerji kaynakları olarak değerlendirilebilir ancak her iki enerji kaynağı için de dikkat edilmesi gereken noktalar mevcuttur. Biyokütle enerjisi, biyokütle atıklarının yakılması veya diğer işlemlerden geçirilmesi sonrasında elde edilen enerji çeşidi şeklinde tanımlanmaktadır. Biyokütle, alternatif enerji kaynakları içerisinde büyük bir potansiyele sahip olup rüzgâr ve güneş gibi kesikli değil, sürekli

## Uluslararası Genel Çevre Sorunlarına Bakış

enerji sağlayabilen bir kaynak olmak, iklim değişikliği ve sera gazı emisyonları azaltılmasında etkili olmak gibi avantajlara sahiptir. Yanma reaksiyonu sonucu ortaya çıkan CO<sub>2</sub> gazı yanma sonrası yenilenen bitki örtüsü tarafından geri emildiği için doğada mevcut olan karbon döngüsü sistemi dengede kalabilmektedir. Bu açıdan biyokütle enerjisi alternatif ve temiz bir enerji kaynağı sayılmaktadır. Biyokütle enerjisinin kolay depolanabilme özelliği de avantajlarından biridir [12].

Güneş enerjisi, sera gazı emisyonlarına sebep olmaz, tam tersine, kullanımının yaygınlaşması hâlinde CO<sub>2</sub> yoğunluğunun azalmasında etkin rol oynaması ve atık oluşturmaması gibi özellikleri ile yenilenebilir enerji kaynakları arasındaki en temiz kaynak sıfatına sahiptir.

Enerji ile çevre arasındaki ilişkiye bakıldığında iki konunun bir bütün olduğu ve birlikte değerlendirilmeleri gerektiği görülmektedir. Yenilenemeyen, fosil kaynakların kullanımından doğan çevresel sorunların çözümü, yenilenebilir, çevre dostu enerji kaynaklarının tercih edilmesinden geçmektedir. Enerji ve çevre ilişkisi ilk insandan günümüze kadar sürekli artan oranda devam eden küreselleşmenin temel sorunu olarak tartışılmaya devam ederken, enerji kullanımı azaltmak da kaynak tüketimi açısından değerlendirildiğinde bir çözüm olarak sunulmalıdır. Örneğin Akıllı otomasyon sistemlerinin yaygınlaştırılması ile enerjiye olan talep azaltılabilir. Akıllı sistemler kendi kendini izleyip kontrol edebilmekte, bu sayede enerji kullanımını azaltmaktadır. Daha geniş kapsamda Akıllı Bina, Akıllı Şehir ve Akıllı Şebeke yapısı ile birlikte, enerjiye olan ihtiyaç düşecek ve dolayısıyla daha az enerji kaynağı tüketilmiş olacaktır. Akıllı binalarda sıcaklık ve nem kontrolü, elektrikli ev aletleri için tükettiği akım ve voltaj değerleriyle enerji verimliliği, ev ve bina girişlerinde kimlik doğrulama uygulamaları mevcuttur. Akıllı şehirlerin daha az enerji harcadığı, teknolojiyle uyumlu olarak, insana ve enerji sermayesine katkıda bulunduğu, geleneksel ve modern iletişim altyapısıyla kentte ekonomik büyüme ve yüksek yaşam kalitesi sağladığı kabul edilmektedir. Bu kapsamda değerlendirildiğinde enerji kaynağı tüketimini azaltacak, çevreye ve sürdürülebilirliğe katkıda bulunacak olan akıllı uygulamalara dünyadan örnekler verilebilir. Nesnelerin İnterneti (IoT) Teknolojisi ile akıllı şehirleri temel alan birçok teknoloji geliştirilmekte, bu sayede gereksiz enerji kaynağı kullanımının önüne geçilmekte ve yenilenebilir enerji kaynağı kullanımı artırılarak çevresel sürdürülebilirliğe de katkıda bulunmaktadır. Örneğin IoT teknolojisinin trafik ışıklarına entegre edilmesi uygulamaları yapılan Akıllı şehirlerde yer alan akıllı trafik lambalarıyla insanların zaman ve enerji kaybı engellenirken ücretsiz park yerleri ve elektrikli araç şarj istasyonları algılanarak sürücüler nerede uygun bir yer bulabilecekleri konusunda uyarılabilmektedir. Akıllı Şehir ve Akıllı Bina uygulamalarında konut sakinlerinin güvenliğini artırmak ve olay müdahale sürelerini artırmak için de bu teknolojiden faydalanılmaktadır [13].

Dünyadan akıllı şehir örnekleri olarak, Londra, Singapur, Tokyo, Hong Kong, Oslo, Amsterdam, Stockholm verilebilir. Farklı yıllara ve sınıflandırmalara göre dünyanın en akıllı şehri değişiklik gösterse de Singapur sahip olduğu ayrıcalıklar ve teknolojik özellikleri ile 2021 yılında dünyadaki akıllı şehirlerden en dikkat çekici olanıdır. Araç sayısını azaltmak için akıllı ve bağlantılı trafik çözümlerinin yanı sıra araç sahipliğini sınırlayan katı bir politika uygulamakta ve şehirde, otonom araç kullanımı da her geçen gün artmakta ve Toplum 5.0 hedefi ile birlikte sağlıklı toplum uygulamalarından biri olarak nitelendirilen Health City Novena adlı bir uygulama da mevcuttur [13].

## Enerji ve Çevre Bakış Açısıyla Sürdürülebilirlik

Londra’da bulunan akıllı yol insan etkileşimli akıllı şehir olarak gösterilebilirken, Birleşik Arap Emirlikleri’ndeki Songdo ve Masdar City çok fazla teknoloji merkezli ve birçok insan deneyimi faktörüne sahip olmayan iki popüler akıllı şehir olarak düşünülebilir. Barselona, Smart City 3.0 stratejisiyle başlattığı teknoloji ve toplum arasındaki dengenin başarılı örneklerinden biri olarak gösterilmektedir [13, 14].

Akıllı otopark, akıllı sağlık hizmetleri, akıllı tarım, akıllı ulaşım, akıllı devlet, akıllı enerji hedeflerinden birine veya daha fazlasına ulaşmak için akıllı şehir girişimlerinin nasıl başlatıldığına bakılabilir [13-15]:

- Enerji Verimliliği için kamu kaynaklarının kullanımını optimize etmek ve yüksek düzeyde vatandaş hizmeti sağlanması hedeflenmektedir.
- Çevresel Sürdürülebilirlik için çevresel etkiye büyük önem vererek şehri büyütmek ve geliştirmek hedeflenmektedir.
- Hareket kabiliyetinin artırılması için toplumdaki vatandaşların, çalışanlar ve turistlerin şehirde yürüyerek, bisikletle, araçla veya toplu taşımayla hareket etmelerini kolaylaştırarak bireysel ulaşım araçlarının azaltılması ve çevresel sürdürülebilirliğe de katkı sağlanması hedeflenmektedir.
- Güvenlik ve insan huzurunu arttırmak için gündelik yaşamda ve özel etkinliklerde kamu güvenliğini arttırmanın yanı sıra acil durumlar ve felaketlere karşı en iyi şekilde hazırlanmak planlanmaktadır.
- Ekonomik büyüme için şehirlere işletmeleri, yatırımcıları, vatandaşları ve turistleri çekmek hedeflenmektedir.
- Şehir itibarını arttırmak için de akıllı şehrin imajını ve itibarını sürekli olarak iyileştirmek hedeflenmektedir.

Ana hedefleri ne olursa olsun başarılı akıllı şehir projeleri, şehirlerin insanlara sunduğu yaşam kalitesini ve refahı arttırarak “Yaşanabilirlik” düzeyini iyileştirmek konusunda nihai hedeflerine yaklaştıracaktır. Bu düzeyi arttırabilmek için Hans Neuber tarafından odak noktası, bir birey ölçeğinde yaşayanlar için şehir merkezlerini iyileştirme teknolojileri olan akıllı şehirler tasarlamak için farklı mimari stratejiler de önerilmiştir. Neuber araştırma ekibinin çalışmaları sonucunda teknolojiyi şehir yönetimiyle insan haklarına, sivil doğaya ve halkın cebine saygı duyacak şekilde entegre etmek için gereken unsurlar ortaya çıkarılmıştır. Akıllı şehirlerin insanlaştırılması gerektiğini savunan araştırma ekibinin hedeflerine göre [13-15]:

- Akıllı ulaşım hedeflerini içeren, Akıllı park etme ve akıllı trafik sinyalleri teknolojilerinin uygulanmasıyla bir vatandaşın işe gidiş geliş saatinde günde 15-30 dakikanın azaltılması, toplumun refah düzeyini arttıracaktır,
- Sağlıkta iyileşme sağlayabilmek için uzaktan veri algılama teknolojileri kullanılarak, hastalıkların erken tanı, teşhis ve tedavisi sonucunda hastalıkların etkisini %8-15 oranına azaltmak,
- Şehir güvenliğini arttırabilmek için gerçek zamanlı suç haritalama ve tahmin algoritmaları kullanılan stratejilerle suç oranını %30-40 azaltmak,

## Uluslararası Genel Çevre Sorunlarına Bakış

- Akıllı Bina uygulamaları ile otomasyon sistemleri yardımıyla, değişken elektrik fiyatlandırması kullanılarak, emisyonları %10-15 azaltmak ve çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlamak hedeflenmektedir.

Neubert, “Akıllı şehir teknolojileri *doğru uygulandığında, insan vatandaşı ve şehir arasında iki yönlü bir diyalog için bir sağlıklı platform sağlayabilir. Mimarlar ve mühendisler, bu durumun pratikte nasıl sınırlı bir ölçekte çalışabileceğini göstermek konusunda eşsiz bir konumdadır.*” diyerek durumu özetlemekte, akıllı teknolojilerin insan hayatına uygulanması ve çevre ve enerjide sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi için multidisipliner çalışmalar yapılması gerektiğine dikkat çekmektedir [15].

## SONUÇ

Sonuç olarak öncelikli hedefin, çevre ve enerji bilincine sahip bireyler yetişmesi olduğu söylenebilir. Bu durumun gerçekleşebilmesi için akıllı toplum için gereken uygulamalara bir an önce başlanması gerekmektedir. Yeni nesil ile birlikte geliştirilecek olan akıllı teknolojilerin ise enerji ve çevre odağında yapılandırılması ve gelecekte enerji kaynağı olarak kullanılacak olan yatırımlarda sürdürülebilirlik odağında hareket edilmesi gerekmektedir. Üretilen yenilenebilir enerji çeşitlerinin çoğu depolanamadığı için yatırımlarda taleple uyumlu hareket edilmeli, yerli enerji kaynaklarına dayalı, dışa bağımlılığı minimum seviyede tutmayı hedefleyen uygulamalar yapılmalıdır. Enerjinin en doğru ve güvenli şekilde karşılanabilmesi için, Akıllı Şehir, Akıllı Toplum hedefleriyle birlikte hareket edilmelidir. Çevre ve enerjide sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi için insan refahını teknolojiyle arttırırken doğayı korumanın da mümkün olduğu bilincine sahip olunması yaşamsal bir gerekliliktir.

## KAYNAKLAR

- [1] Kahle, L.R. ve Gurel-Atay, E. (2014). *Communicating Sustainability for the Green Economy* (1st ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315705491>
- [2] White, F., Stallones, L., Last, J. M. (2013). “*Global Public Health: Ecological Foundations*”, Oxford University Press. ISBN 978-0-19-975190-7.
- [3] [http://www.iisd.org/pdf/2012/annrep\\_2011\\_2012\\_en.pdf](http://www.iisd.org/pdf/2012/annrep_2011_2012_en.pdf). “Bringing human health and wellbeing back into sustainable development. In: IISD Annual Report 2011-12.” Erişim tarihi: 07.08.2021.
- [4] Kuhlman, T., Farrington, J. (2010). “What is Sustainability?”, *Sustainability*, 2, 3436-3448.
- [5] Saith, A. (2006). From Universal Values to Millenium Development Goals: Lost in Translation, *Development and Change*, 37(6), 1167-1199.
- [6] IPCC Fifth Assessment Report (2014). “Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability”. Geneva (Switzerland): IPCC. Erişim tarihi: 07.08.2021
- [7] [http://europa.eu/rapid/press-release\\_MEMO-13-1085\\_en.html](http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-13-1085_en.html). “See Horizon 2020 the EU’s new research and innovation programme” Erişim Tarihi: 08.08.2021
- [8] Fawcett, William; Hughes, Martin; Krieg, Hannes; Albrecht, Stefan; Vennström, Anders (2012). “Flexible strategies for long-term sustainability under uncertainty”. *Building Research*. 40 (5). ss. 545-557. doi:10.1080/09613218.2012.702565.

## Enerji ve Çevre Bakış Açısıyla Sürdürülebilirlik

- [9] Zhang, S. X., Babovic, V. (2012). “A real options approach to the design and architecture of water supply systems using innovative water technologies under uncertainty”. *Journal of Hydroinformatics*.
- [10] Daly, H. E., *Economics, Ecology, Ethics: Essays toward a Steady-State Economy*. Hardin, G. “The tragedy of the commons”. New York and San Francisco: W. H. Freeman and Company. ss. 100-114.
- [11] Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Dokümanları, [www.csb.gov.tr](http://www.csb.gov.tr), Erişim Tarihi: 08.08.2021
- [12] Armstead, H., Christopher, H., *Geothermal Energy: Its Past- Present- and Future Contributions to the Energy Needs of Man*, ISBN 10: 0470263377, PUBLİŞER: E & FN SPON, 1978.
- [13] Maysoun, I., Carl, A. El-Zaart, A., “Paving the Way to Smart Sustainable Cities: Transformation Models and Challenges”, *JISTEM*, Vol. 12, No. 3, Sept/Dec., 2015 pp. 559-576 ISSN online: 1807-1775 DOI: 10.4301/S1807-17752015000300004
- [14] <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2020/07/02/the-smart-cities-of-the-future-5-ways-technology-is-transforming-our-cities/#4ab178e973f8>, Erişim Tarihi: 03.08.2021
- [15] <https://www.newsweek.com/momentum-awards-worlds-smartest-cities>, Erişim Tarihi: 03.08.2021

