







Türkiye’de Endüstriyel Su Tüketimi ve Arıtımı

Büşra KAVURUCU¹ , Erdem EKMEN² , Ömer YAMAN³ , Serkan Yılmaz YAZAN⁴ 
Nergiz KANMAZ*⁵ , Ümit ÜNVER⁶ 

^{1,2,3,4}Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Yalova, 77200, Türkiye

⁵Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Yalova, 77200, Türkiye

⁶Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Yalova, 77200, Türkiye

Derleme Makalesi, Geliş Tarihi: 03.01.2022, Kabul Tarihi: 16.04.2022

Özet

Su kullanımı günümüzde artan endüstriyelleşme ile doğru orantılı olarak artış göstermekte olduğundan sanayide suyun verimli kullanılması adına yapılacak çalışmalar öncelikle su tüketiminin sektörel bazda kullanımının incelenmesini gerekli kılmaktadır. Yapılan araştırmalar sonucunda sanayide su kullanım oranları %39,3 kimya sektörü, %19,3 tekstil ve %14,5 gıda sektörü olarak belirlenmiştir. Kullanılmış suyun arıtılıp tekrar kullanım alanı bulacağı proseslere sevk edilebilmesi veya arıtıldıktan sonra ekosisteme güvenli bir şekilde deşarj edilmesi su verimliliği konusunun kapsamına girmektedir. Çalışma kapsamında, sanayide kullanılan su arıtma teknolojilerinin geliştirilmesi ve arıtılan suyun m³ başına düşen enerji maliyetinin azaltılması üzerine literatüre kazandırılmış çalışmalar derlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Su verimliliği, Atık su arıtma, Endüstriyel su.

Industrial Water Consumption and Treatment in Turkey

Abstract

Since the use of water is increasing in direct proportion with the increasing industrialization, the studies to be carried out for the efficient use of water in the industry make it necessary to examine the use of water consumption on a sectoral basis. As a result of the studies, the water usage rates in the industry were determined as 39.3% in the chemical sector, 19.3% in the textile and 14.5% in the food sector. The subject of water efficiency includes the transfer of used water to processes where it will be treated and reused, or its safe discharge to the ecosystem after treatment. Within the scope of the study, studies that have been brought to the literature on the development of water treatment technologies used in the industry and the reduction of the energy cost per m³ of treated water have been compiled.

Keywords: Water efficiency, Wastewater treatment, Industrial water.

*Sorumlu yazar nergizkanmaz@gmail.com, ¹kavurucubusra@gmail.com, ²ekmn.erdem@gmail.com, ³omeryamanzz@gmail.com, ⁴seryilyaz@gmail.com, ⁶umitunver@gmail.com

1. GİRİŞ

Geçen yüzyılda, su yönetimi araştırmaları ile yasal, çevresel, ekonomik ve sosyal konulardan bağımsız şekilde, birçok hükümet tarafından, bakanlıklar aracılığıyla, su bir insan hakkı olarak, kanun kapsamında tanınmıştır (Wingfield, Martínez-Moscoso, Quiroga, & Ochoa-Herrera, 2021). Artan dünya nüfusu ve gelişen teknoloji ile birlikte su kullanımı da artış göstermektedir. Su kaynakları, bir ülkenin veya bölgenin ekonomik kalkınması için gereklidir. Ekonomik küreselleşmenin gelişimi ve küresel nüfustaki sürekli artışın ortasında, su kıtlığı çeşitli ülkelerde sosyoekonomik kalkınma için bir kısıtlama haline gelmektedir (Chen, Yin, & Liu, 2021). Su yönetiminin verimliliğinin artırılması, suyun doğal döngüsüne uyumlu olacak şekilde sosyal, ekonomik ve ekolojik boyutlarını içeren bütüncül organizasyonun sağlanması, suyun stratejik önemi ile korunması, su kaynaklarının verimli bir şekilde değerlendirilip, projelendirilerek su tesislerinin işletilmesi ve su yönetimindeki tüketici bilincinin artırılması sürdürülebilirlik politikaları açısından önem taşıyan adımlardır (Özel İhtisas Komisyonu Raporu, 2018).

Türkiye’de de su tüketimi, nüfus artışı, kentleşme ve endüstrileşmeye bağlı olarak artmaktadır. Bu eğilimler yenilenebilir su kaynaklarının miktarının ve kalitesinin azalmasına neden olmaktadır. Ülkelerin su politikaları, su potansiyeli ve yağış rejimiyle ilgilidir. Sahip olduğu coğrafi çeşitlilikler sebebi ile Türkiye, farklı özellikteki iklim tipleri ve yağış rejimlerine sahiptir. Bu da Türkiye’nin su politikasına yön veren ana bileşenlerdendir ve yarı kurak iklim bölgesinde yer almasından dolayı, iyileştirilmiş su kalitesi, kullanılabilir su miktarının artırılmasının yanında koruma ve kullanma dengesinin sürdürülebilirliğinin sağlanması büyük önem taşımaktadır. Su stresi, tatlı su kaynaklarından sağlanan içme ve kullanma suyunun seviyesini belirten bir terimdir. Kişi başına 1600 m³/yıl su kullanım potansiyeli ile Türkiye, su stresi yaşayan ülkeler arasında bulunmaktadır (Özlem Durmuş, 2013).

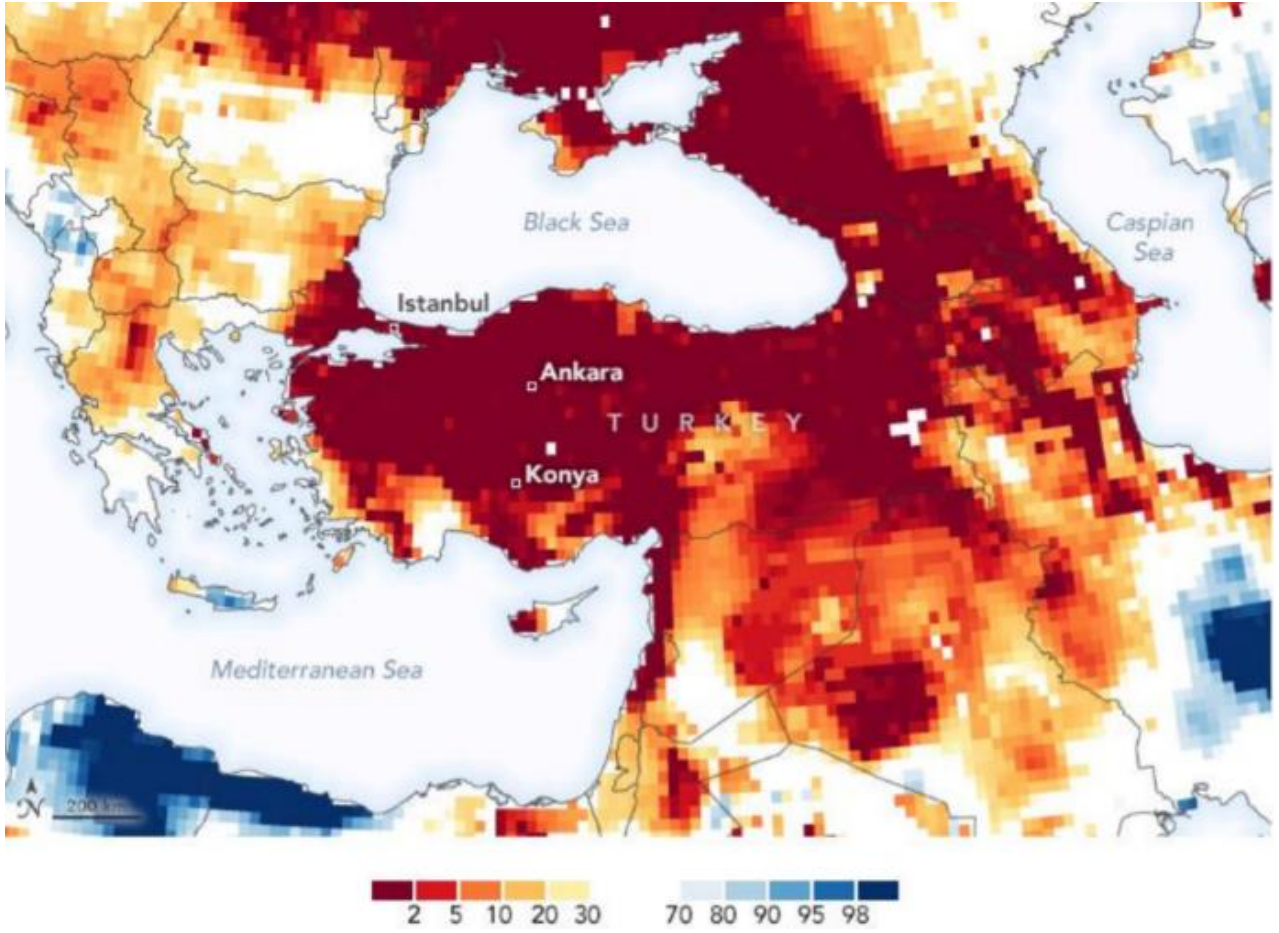
Türkiye’nin yeraltı su kaynakları ile ilgili durumu NASA’ya (Amerikan Havacılık ve Uzay Dairesi) ait GRACE-FO uyduları tarafından 2020 yılında kaydedilen görüntülerden gözlemlenmektedir. Şekil.1’de, GRACE-FO uydu görüntülerinden temin edilen, Türkiye için sırasıyla yeraltı su kaynaklarına ve topraktaki nem miktarına ilişkin ölçümlere ait haritalar sunulmuştur. Haritalara göre mavi renkliliğin şiddetlendiği bölgeler normalden fazla (%50 üzeri nem) su olan, sarıdan kırmızıya renkliliğin koyulaştığı bölgeler normalden az (%50’nin altında nem) su olan kısımları ifade etmektedir (Patel, 2021). Türkiye haritasındaki kırmızı renkliliğin

baskın olması, yeraltı su kaynaklarımız açısından su stresinin ciddi boyutlarda olduğunu belirtmektedir.

İmalat sanayindeki rekabet gücünün artırılması ve çevresel kirliliklerin azaltılması amacıyla kaynaklarının verimli kullanımı önem arz etmektedir. İmalat sürecindeki kaynak tüketimi ve atık oluşumu minimum seviyede tutularak, temiz çevre üretim prensibinin yaygınlaşması sağlanmalıdır. Her sektör için imalat aşamasındaki kaynak kullanımı farklılıklar gösterebilmektedir ve sınırlı kaynaklardan dolayı sektörel bazda verimlilik uygulamaları yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

Su tüketiminde sektör başına düşen su miktarları belirlenerek bu bağlamda çözüm metotları incelenmelidir. Su arıtma teknolojilerinin geliştirilmesi ve arıtılan suyun m³’ü başına düşen proses maliyetinin azaltılması uygulanacak su arıtma metodu seçilirken göz önünde bulundurulmalıdır. Tarımsal sulamaya ait Devlet Su İşleri (DSİ) verileri, diğer su tüketimleri için Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerinden yararlanılarak Türkiye’de 2018 yılından itibaren kullanılan suyun %71,5’i tarımsal sulamada, %17,8’i sanayide, %10,7’si içme ve kullanma suyu olarak tüketilmiştir (Çevresel Etki Değerlendirmesi İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü, 2020).

Sanayide suyun verimli kullanımı ile ilgili yeterli kaynak bulunamaması verimlilik çalışmalarının da izlenebilirliğini etkilemektedir. Bu derlemede, Türkiye’de sanayi alanında su temini ve atık su arıtma ihtiyacının belirlenmesi, atık suyun geri kazanılmasına yönelik tesislerin planlanmasında takip edilecek adımların belirlenmesi, mühendislik açısından alternatiflerin değerlendirilmesi ve maliyet analizi konusunda yeterli seviyeye gelinmesi adımları incelenmiş ve mevcut veriler derlenerek sunulmuştur.



Şekil 1. Türkiye için yeraltı su kaynakları haritası (Patel, 2021)

2. Türkiye’de Su ve Atık Su Üretimi

Atık su oluşumu incelemelerinde ilk adım olarak yüzey sularının potansiyel kalite değerleri göz önünde bulundurulmalıdır. Yüzey suyu kaynakları ise literatürde 4 farklı kalitede sınıflandırılmıştır (Nayan, Hashim, Saleh, Mahat, & See, 2018):

1.sınıf su kaynakları: İçme suyu olma potansiyeli yüksek olan, rekreasyonel amaçlar ve alabalık üretimi için uygun olan yüzeysel sularıdır.

2.sınıf su kaynakları: İçme suyu temini için iyi bir kaynak olarak nitelendirilmekte ve 20.3.2010 tarih ve 27527 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren “Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği”, 7. Bölüm, Madde 22 Ek 7’de artırılmış atık suların sulama suyu olarak kullanımına ilişkin sınıflandırılması verilen sulama suyu kriterlerini sağlaması koşulu ile sulama suyu olarak kullanılabilir.

3.sınıf su kaynakları: Orta sınıf suları temsil etmektedir. İçme suyu kalitesini elde etmek için fiziksel, kimyasal, biyolojik ve ileri arıtma adımlarını içeren tam arıtma prosesleri gereklidir.

4.sınıf su kaynakları: Çok kirlenmiş olarak nitelendirilir ve drenaj kullanımları için uygundur.

2016 yılında yapılan araştırmalara göre Türkiye’de toplam kaynakların %33’lük kısmı en düşük kalite olan 4.sınıf olarak nitelendirilmiştir. Takip eden en yüksek orana sahip kaynak miktarı %21 ile 3.sınıf ve %20 ile 2.sınıf su kaynakları olmuştur. Bu durum Türkiye’de bulunan su kaynaklarının yaklaşık %74 oranında doğrudan kullanım imkânı olmayan suların oluştuğunu göstermektedir. 2016 yılında açıklanan 158 yüzey su kaynağı arasından sadece 42 kaynağın doğrudan içme suyu kalitesinde olduğu açıklanmıştır (TMMOB, 2019).

2018’de yapılan incelemelere göre endüstriyel su tüketimi 2,9 milyar m³ olarak gerçekleşmiştir. Tüketilen suların 2,2 milyar m³ soğutma suyu, 489,7 milyon m³ proses suyu, 52,9 milyon m³ kazan suyu ve 87 milyon m³ kadar kullanım suyu olarak tüketilmiştir. Diğer kullanımların miktarı ise 52,6 milyon m³ olarak gerçekleşmiştir. Suların yaklaşık %71,2’si denizlerden, %15,5’i kaynak ve kuyu sularından ve %4,8’i organize sanayi bölgelerine (OSB) ait şebekelerden, %3,6’sı barajlardan, %1,5’i şehir şebekesinden, %1,4’ü

akarsulardan ve %2'si diğer su kaynaklarından çekilmiştir. Atık suların %81,3'ü denizlere, %2,6'sı şehir kanalizasyonlarına, %6,8'i oranında ise akarsulara, aynı oranda OSB kanalizasyonlarına ve %2,5'i diğer alıcı ortama deşarj edilmiştir. Soğutma suları haricinde tüketilen 466 milyon m³ endüstriyel atık suların %54,6'sı artırılmıştır. Endüstriyel atık suların farklı yöntemlerle arıtılmasına karşılık kapasite değerleri Tablo.1'de verilmiştir. Mikrofiltrasyon, nanofiltrasyon, ultrafiltrasyon ve ters ozmoz gibi ileri arıtma tekniklerinin geleneksel arıtma sistemlere göre daha üstün arıtma kapasitesine sahip olduğu gözlemlenmektedir (TUİK, 2019).

Tarımda ise kısaca su verimliliği açısından, su yönetimi ve suyun sürdürülebilirliği göz önüne alındığında, tüketimi azaltmak için damla sulama ve yağmurlama

sistemleri gibi verimliliği artırılmış çözümlerin uygulamaya geçirilmesi önerilmektedir. Damla sulamada, su tasarrufu ile yüksek verim sağlanırken, yağmurlama sistemlerinde ise suyun araziye yerleştirilen muhafazalı borularla iletilmesi ve belirlenen basınç oranıyla toprağa ulaşması sağlanmaktadır (Ekinci, 2015).

Ülkelerin sahip oldukları su varlığını değerlendirmek ve su kıtlık seviyesini belirlemek için Falkenmark Su Stres Göstergesi ve Shiklomanov Göstergesi en yaygın kullanılan referanslardır. Falkenmark İndisine göre, bir ülkede kişi başına su arzı 1700 m³/yıl'ın üzerinde ise su arzı yeterlidir, 1000-1700 m³/yıl arasında ise su stresi yaşanmaktadır, 1000 m³/yıl'ın altında ise su kıtlığı yaşanmaktadır (Çiçek & Ataol, 2009). Tablo.2'de kişi başına Shiklomanov Göstergesi'ne ait sınıflandırmalar sunulmuştur (Kinaci, 2017).

Tablo 1. Endüstriyel atık su arıtma yöntemlerine göre 2018 kapasite değerleri (TUİK, 2019)

Kapasite / Yöntem	Fiziksel/Kimyasal		
	Arıtma	Biyolojik Arıtma	İleri Arıtma
Aritılan Atık su Miktarı (m ³)	108.422	182.678	41.290
Tesis Sayısı (adet)	1.386	1.323	118
Tesis Kapasiteleri (m ³ /yıl)	223.503	368.568	83.946

Tablo 2. Shiklomanov Göstergesi (Kinaci, 2017)

Sınıflandırma	Su Miktar (m ³ /yıl)
Çok Az	<2.000
Az	2.000-5.000
Orta	5.000-50.000
Yüksek	>50.000

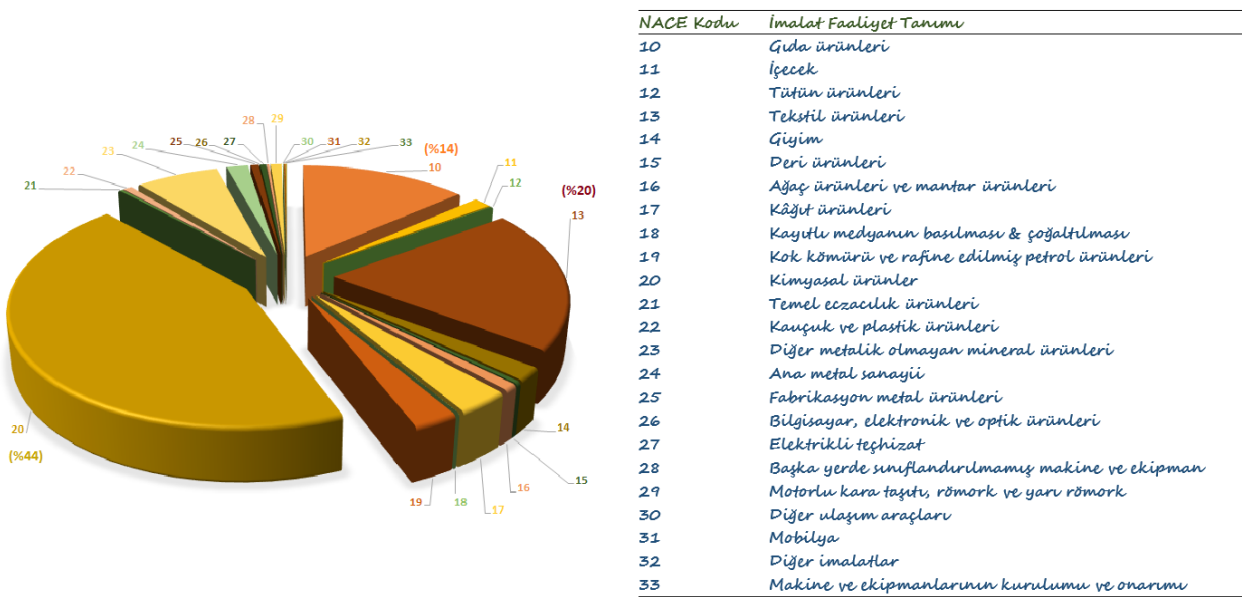
3. Sanayide Su Verimliliği

Türkiye geliştirmekte olan ülkeler seviyesinde olduğu için sanayide kullanılan suyun 2012’de yapılan bir araştırmada %17,2 olmasıyla İspanya’dan sonra geldiği ve 2030 yılında %20’ye ulaşılması beklenmektedir (Eurostat, 2018), Avrupa’daki gelişmiş ülkeler için bu oran %40 civarlarındadır. 1980’ler ve 1990’larda

Avrupa’da su tüketiminin azaltılması için verimli teknolojiler geliştirilmiştir (Çapar & Yetiş, 2018), bu yeni yaklaşımlar ile sulama sistemlerinde kullanılan hortum başlıkları, ayarlanabilir otomatik kapatma sistemleri, az su harcayan spreyley ve ultrasonik temizlik

gibi uygulamalarla suyun sürdürülebilirliği desteklenmektedir (Krinner et al., 1999).

Ülkemizde sanayide proseslerde kullanılan su verileri TÜİK tarafından yayınlanmaktadır. NACE kodlarına göre proseslerde sektörler için su tüketimi Şekil.2’de sunulmuştur (BSTB VGM, 2017). Tüketilen proses suyu miktarlarının en yüksek olduğu sektörler; kimyasal ürünlerin imalatı (%44), gıda (%14), tekstil (%20), diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı (%7), kok kömürü ve rafine edilmiş petrol ürünleri (%3), kâğıt ürünleri (%3), giyim eşyaları (%2) ve ana metal sanayii ürünlerinin (%2) imalatıdır.



Şekil 2. NACE kodlarına göre sanayide su tüketimi (BSTB VGM, 2017)

3.1. Ticari/endüstriyel Su Tüketimi

Su kullanımının önemli bir bölümü sanayide gerçekleştiğinden, endüstriyel alanlardaki su tüketiminin hesaplanabilmesi önem arz eder. Endüstriyel tesislerdeki su tüketiminin hesaplanabilmesi için (Kavaklı ve Civan, 2000) tarafından, ortalama su gereksinimini, ton başına üretim için su gereksinimini ve günlük üretimi göz önünde bulunduran denklemler verilmiştir (Kavaklı & Civan, 2000).

3.1.1. Gıda Endüstrisi

Gıda tesislerinin devamlı olarak kullandığı temel maddelerden biri olarak suyun yüksek kalitede kullanılması ve sürekliliği ile ilgili endişe duyulmaktadır. Suyun yeniden kullanımı, gıda

endüstrisi açısından da önemli bir konu haline gelmiştir (Önal & Ötleş, 2015).

Proses suyu, gıda endüstrisinde katkı maddesi, imalatın bir parçası, ürüne doğrudan veya dolaylı teması gibi birçok amaçla kullanılmaktadır. Gıda imalatında, hammadde hazırlık, temizleme, parçalama, pompalama, şekil verme, kaplama gibi birim işlemlerin gelişimi için suyun daha az kullanımı ve suyun yeniden kullanımı gibi stratejilerle su tasarrufu sağlanmaktadır. Gıdada suyun tekrar kullanılabilirliğinde, başta mikrobiyolojik riskler olmak üzere, yasal engeller bulunmaktadır. Tekrar kullanılabilir suyun mikrobiyal kalitesi izlenmelidir. Bu bağlamda, ülkemizde, gıda endüstrisinde Kritik Kontrol Noktaları ve Analizi Yönetim sisteminin (HACCP) uygulanması zorunludur (Notermans, Zwietering, & Mead, 1994). İçme suyu kalitesi izlenmesinde, HACCP ilkelerini 1994’te Havelaar tanımlamıştır ve bu çalışma ile gıda

sanayisinde su tekrar kullanılabilir kalitede elde edilebilmektedir (Havelaar, 1994). İzlenmesi istenen parametrenin belirlenmesi için analitik yöntemler seçilirken sıralanan değerlendirmeler yapılmaktadır (Casani & Knöchel, 2002):

- Sınır parametrelerinin ihtiyaç duyduğu saptama limitleri,
- Doğrulama gerekliliği, kesinlik ve hız durumu,
- Kullanılan ekipmanların ve yöntemlerin uygulanabilir olması,
- Analiz personelinin tecrübeli olması,
- Laboratuvar ve analiz ekipmanlarının maliyeti,

- Prosedürlerin uygulanabilir olması.

Balık sektörü

Balık sektöründeki su verimliliği su tüketim miktarları, işlenen balık türünün çeşidine, işlemin büyüklüğüne ve kullanım proseslerinin tüketimlerine göre hesaplanmaktadır (Santonja, Karlis, Stubdrup, Brinkmann, & Roudier, 2019). Tablo.3'te Türkiye'de bir balık işleme tesisine ait proses adımlarında kullanılan ortalama su miktarları ve atık suda oluşan kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) değerleri verilmiştir. Verilen değerlerden, 1 ton balık temizlemede 3,3-10 m³ aralığında değişebilen miktarlarda su tüketildiği görülmektedir (Alkaya, Böğürücü, Ulutaş, & Demirer, 2010)

Tablo 3. Su tüketimi ve atık su (Alkaya et al., 2010)

Proses	Su tüketimi (m ³ /ton balık)	KOİ (kg/ton balık)
Temizleme	3,3 – 10	95'e kadar
Çözdürme	9,8	-
İşleme	23-32	100-130

Balık temizleme tezgâhlarının altındaki atık su borularındaki su filtrelendikten sonra pompa ile çökertme tankına gönderilerek içerisindeki hafif ve ağır maddeler ayrışmaktadır. Ağır maddeler atılırken, hafif maddeler tank yüzeyinden deşarj edilir ve bir sonraki tankta ozonlama yöntemi ile dezenfeksiyon yapılarak kan rengi giderilir. Bir pompa kullanılarak temizleme alanına temizleme suyu geri kazandırılır. Bu kapsamda yıllık %36-41 oranlarında tasarruf edilebilmektedir (Jespersen, Christiansen, & Hummellose, 2000). Bir başka yöntem olarak basınçlı uygulama yöntemi ile su kullanımında yaklaşık %40 oranında azalma sağlanabilir. Benzer şekilde, su akış hatlarının otomasyonu ve suyun devridaimi, su kullanım alışkanlıklarının sürekli izlenmesi ve balık temizlemede kuru işlem gibi su optimizasyon tekniklerinin endüstride benimsenmesi de su kullanımındaki verimlilik getirecektir (Murali et al., 2021).

İçecek sektörü

İçecek endüstrisinde en çok tüketim parametresine sahip olan meyve suyu imalatı için EPI (Environment Policy Index) standartları temel alınarak Türkiye'de bulunan bir içecek üretim tesisine ait su tüketim miktarları Tablo.4'te verilmiştir (Alkaya et al., 2010).

Tablo 4. Bir pilot tesise ait içecek üretiminde yıllık su tüketim miktarı (Alkaya et al., 2010)

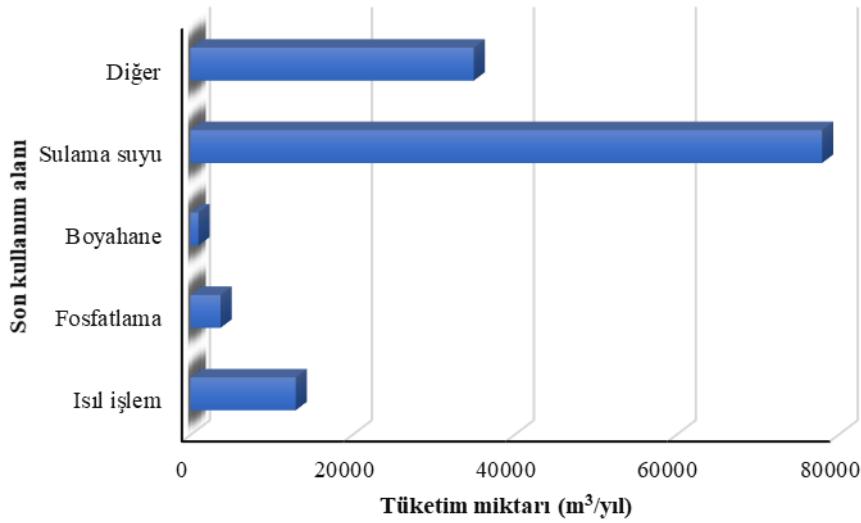
Proses (İçecek üretimi)	Tüketim Miktarı (m ³)
Yıkama	8.600-14.400
Soğutma	317.000-346.000
Proses işlemleri	13.800
Soğutma	138.000-173.000
Ürün içinde	55.000
Toplam	750.000-850.000

Sistemde soğutma suyunun fazla kullanıldığı gözlenmektedir. Çözüm olarak açık halde bulunan soğutma suyunu iki farklı kapalı soğutma suyu sistemiyle değiştirerek su tüketimi azaltılır (Hsine, Benhammou, & Pons, 2005). Verim artırma çalışmaları sonucunda toplam su tüketiminde yıllık %41-47 arasında tasarruf sağlanmaktadır (Alkaya et al., 2010). Son birkaç yılda, IoT (nesnelerin interneti) tabanlı sistemler, gıda dışı imalat sektöründe kaynak verimliliğini artırma konusunda kabul görmektedir ve suyun soğutma kulesi ve kazan için yeniden kullanılması yoluyla yaklaşık %11 oranında su tasarrufu

sağladığını göstermiştir (Jagtap, Skouteris, Choudhari, Rahimifard, & Duong, 2021).

3.1.2 Makine/İmalat Endüstrisi

Bir metal işleme (ısıl işlem)-makine üretimi üzerine faaliyet gösteren firma için üretim prosesleri ve bu proseslere karşılık gelen su tüketimleri Şekil.3'te ifade edilmiştir. Yıllık ısıl işlem için 13.000 m³, fosfatlama için 3.700 m³, boyama işlemleri için 1.000 m³, sulama suyu için 78.000 m³ ve vulkanizasyon, yıkama tezgahı, indüksiyon tezgahı ve dövme banyosu gibi diğer prosesler için 35.000 m³ su tüketimi olduğu ifade edilebilmektedir (Alkaya et al., 2010).



Şekil 3. Bir pilot tesise ait su tüketimi (Alkaya vd., 2010)

Verimlilik çalışmalarıyla birlikte ısıl işlemlerden çıkan soğutma suyu tesise su sağlayan genel havuza gönderilerek tekrar kullanılmaktadır, fosfatlama prosesine özel optimizasyon geliştirilmiştir. Bir pilot tesis için yapılan verimlilik çalışması sonrasında yıllık su tüketiminde %15 tasarruf sağlanması beklendiği ifade edilmiştir.

3.1.3 Kâğıt Endüstrisi

Kâğıt endüstrisi, su kaynaklarının dünya çapında en büyük endüstriyel tüketicilerinden biridir (IFC, 2014). Bir kâğıt fabrikasının ana girdilerinin başında selüloz elyafı, su ve enerji gelmektedir. İmalat sonrasında açığa çıkan atık su miktarı ve atık suyun içerdiği kirlilik miktarı oldukça yüksektir; bu kirlilik büyük ölçüde üretimde kullanılan hammaddelerden, katkı maddelerinden ve imalat yönteminden kaynaklanmaktadır (Özçelep, 2009). Kâğıt üretim prosesi, ilk basamak olan hamur çürütmeden hamur

Bulamaçlarına ve kâğıt üretim makinelerinin yıkanmasına kadar her adımda yüksek miktarlarda atık su ve çamur atığı da üretmektedir. Kâğıt prosesi atık suyunda %80 oranında askıda katı madde, KOİ, ağır metaller, klor içeren organik bileşikler, biyolojik oksijen ihtiyacı, boya ve diğerlerinin yanı sıra bakteriler bulunabilmektedir (Yarar, 2019).

Köken ve Büyükkamacı tarafından, kâğıt endüstrisinde orta kirlilik yüküne sahip atık suyun kimyasal arıtma ve anaerobik biyolojik arıtma işlemlerinin işletme maliyetleri hesaplanmıştır. Kimyasal arıtmada yer verilen kimyasal madde bileşenlerine bağlı olarak çamur işleme ve bertaraf ünitelerinin maliyetlerinin de arttığı; öte yandan anaerobik arıtma işleminde az miktarda çamur oluşumu, maliyet hesaplamalarında da belirgin fark oluşturmuştur. Aynı debideki kâğıt endüstrisi atık suyu yukarı akışlı çamur yataklı anaerobik reaktör ve klasik aktif çamur sistemi ile arıtıldığında kimyasal arıtma ve klasik aktif çamur sisteminin kullanılmasına

oranla %37,9 daha az işletim maliyeti oluşturmuştur (Köken & Büyükkamaci, 2010).

4. Suyun Analizi

İçme suyu açısından en önemli kaynak yeraltı sularıdır. Bu sebeple suyun verimli kullanılması yapılabilecek en önemli adımlardan biridir. Bu adımı gerçekleştirebilmek adına doğal su korunması sağlanır (Geçer, Şentürk, & Büyüküngör, 2019). Atık suyun bir kirletici olmadığı, yeniden dönüştürülerek kullanılması tavsiye edilmektedir (Polat, 2013). Suyun kirlilik derecesine göre ayrılması ve ayrılan her suyun özelliklerine uygun işlemlerden geçmesi ile tekrar kullanımı sağlanır. Bu şekilde suyun kullanım verimi artırılır (Karahana, 2009).

Su üretim aşamaları şu şekilde listelenebilir.

1. Suyun çıkarılması,
2. Suyun arıtılması,

3. Suyun dağıtımı,

4. Atık suyun toplanması,

5. Atık suyun arıtılması ve uzaklaştırılması (Çalcalı, 2014).

Evsel atık su, DIN EN 1085 Standardına göre, mutfaktan, çamaşır makinesinden, banyodan, tuvaletten ve benzer amaçlı kullanılarak kanalizasyona atılan atık sularıdır. Siyah su, içerisinde tuvalet rezervuarlarından gelen suyun ve fosseptik atıklarını bulunduran suya denir (Kantaroğlu, 2011). Gri su, atık suyun duş, lavabo ve mutfak gibi alanlardan gelen, içerisinde siyah su olmayan sudur (Şekil.4) (Üstün & Tırpancı, 2015). Kullanım suyu, birçok sanayi, endüstriyel, tarımsal amaçlı kullanımı olan, suyun kullanımında içme suyu kalitesinin gerekmediği alanlarda kullanılabilir sulardır (Karahana, 2009).

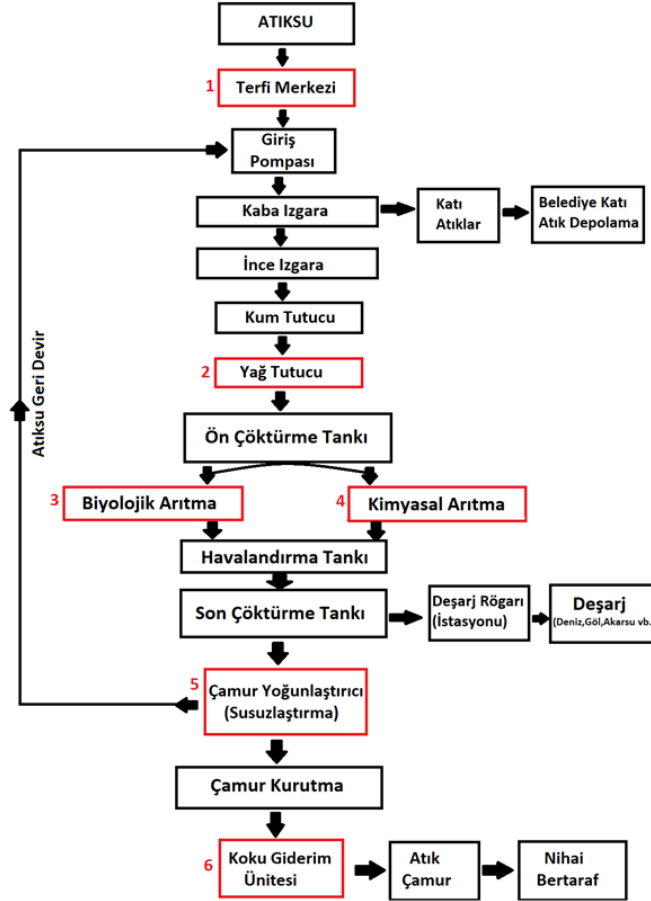


Şekil 4. Temiz su, gri su, siyah su özellikleri

4.1. Atık Su Arıtımı

Atık su arıtımı, fiziksel, kimyasal ve biyolojik işlemler uygulanarak, kirleticilerinden arındırılmış suların tamamının veya bir kısmının doğaya deşarjı ile alıcı ortam şartlarını değiştirmeden kazandırma proseslerini kapsamaktadır (Kavaklı & Civan, 2000). Atık su arıtma tesis tasarımı yapılırken bölgenin seçiminde başlıca altyapı kalitesine ve tesisin kurulacağı bölgenin deniz seviyesine olan yüksekliği göz önünde bulundurulmaktadır (Koyuncu et al., 2013). Atık suyun oluştuğu noktalardan toplanması, daha sonra kanallar vasıtasıyla terfi merkezlerine iletilmesi gerekmektedir (Gül, 2019) Yani, oluştukları kaynaktan alınıp altyapı kanalları vasıtasıyla ilk toplanma noktalarına getirilir olmasıdır (Ulutaşdemir, Özmusul, & Çopur, 2019). Tesise gelen atık sular, fiziksel ayırıştırıma tabi

tutulurak, parça boyutu büyük katı atıklar giderilir, böylelikle hem kanal giderlerinin tıkanması hem de tesise suyu basacak olan pompaların tıkanması önlenir (Tanyol & Uslu, 2013). Bu nedenle, örnek bir tesise ait atık su arıtma akış şemasının verildiği Şekil.5'te 1 numaralı kırmızı kutu olarak gösterilen terfi merkezleri ihtiyaca göre sisteme dahil edilebilmektedir. Özellikle şehirlerde evsel atık suların işlendiği arıtma tesisleri merkezi yerleşimden uzak bölgelerde olduğundan terfi merkezleri ile desteklenmektedirler (Üstün & Solmaz, 2007). Eğer arıtma tesisine olan uzaklık artarsa bu durumda birden fazla terfi merkezine ihtiyaç duyulabilmektedir (Çetiner & Keskin, 2019). Ancak ikinci terfi merkezinin rakım olarak daha alt bölgelerde bulunması halinde pompa gücü çok düşük uygulanabilir veya tamamen suyun cazibesi ile iletim sağlanabilmektedir (Çavuş, Kilit, & Saplıoğlu, 2018).



Şekil 5. Geleneksel atık su arıtma akış şeması (Ahi, 2019; Arık, 2012; Aydın, 2004; Erşahin, Dereli, Özgün, Akmırza, & Öztürk, 2017; Koyuncu et al., 2013; Özmen, 2016; Topaç & Acar, 2020; Türkmenler, 2017; Üstün, 2006)

Geleneksel su arıtma tesislerinde, arıtma işleminin başlangıcında tesise alınan atık suların debisi sürekli olarak takip edilir. Yıl boyunca değişim gösteren su miktarı ($m^3/gün$) olarak izlenir. Yaz ve kış aylarında üretime bağlı olarak ciddi değişimler olabilmektedir (Üstün, Solmaz, & Kestioğlu, 2004). Debisi ölçülen atık su katı atıkların hızlıca uzaklaştırılacağı ön arıtma işlemine gelir ve burada ızgara biçimindeki oluktan geçirilir. Tıkanma ihtimaline karşı gerekli önlemler belirli aralıklarla devreye giren devir daimli demir taraklı yapılar ızgaraları süpürür ve konveyör banda aktarılır (Cerit, 2011). Kaba atıklar henüz arıtma işlemlerine başlanılmadan alınıp çöp konteynırlarına iletilmiş olur. Kaba ve ince ızgaraların ardından gelen su kum tutuculara doğru ilerler. Su içerisinde bulunan kum ve toprak tanecikleri burada çöker ve çöken tanecikler gezici köprü sistemi ile atık sudan toplanarak sistemden uzaklaştırılır. Kum ayırıcı gezer köprü sisteminde prostenen uzaklaştırılan kum taneciklerine uygulandığı gibi ihtiyaca göre 2 numaralı yağ tutucu (sıyırıcı) köprü düzenekleri de bulunmaktadır. Yağ tutucu eklenmesiyle birlikte yağlar suyun içerisinde sıyırılır ve sistemden uzaklaştırılmış olur (YASKİ, 2017). Bu yağlar farklı

sanayi üreticileri tarafından işlenmek üzere alınmaktadır. Kum ve yağ birikiminden ayrılan atık su dalgıç pompalar vasıtasıyla ön çöktürme havuzlarına doğru basılır. Ön çöktürme ile kum ve yağ tutucudan gelen su dinlendirilmiş olur. Daha sonra tesis tasarımına göre 3 numaralı biyolojik veya 4 numaralı kimyasal arıtmaya doğru aktarılır (Arık, 2012). Örneğin gıda sanayisinin yoğun olduğu bir alanda oluşan atık sular için genellikle biyolojik arıtma tercih edilmektedir (Aşık & Katkat, 2005). Tekstil sanayisi gibi boyar maddelerin yoğun kullanıldığı alanlarda kimyasal arıtma tercih edilmektedir. Kâğıt endüstrisinin atık sularının işlenmesinde her iki arıtımında uygulanması söz konusudur (Köken & Büyükkamaci, 2010). Eğer ön çöktürmeden gelen su yalnızca kimyasal arıtmaya tabii tutuluyorsa suya flokülasyonu sağlayan kimyasallar eklenerek, suda askıda bulunan küçük yapıları partiküllerin çökelti oluşturması sağlanır. Oluşan çökelti katı hale geldiğinden kolaylıkla sistemden arındırılarak uzaklaştırılır (Namal, 2017). Ön çöktürmeden gelen su tesis tasarımına göre yalnızca biyolojik arıtmaya tabii tutuluyorsa biyolojik arıtma bölümüne beslenir. Burada suya çeşitli bakteriler eklenir. Canlı organizmalar

olduğundan düzenli olarak suyun pH değeri kontrol edilmektedir (Uyanık & Özkan, 2016).

Bunun nedeni ise canlı bakterilerin yaşam şartlarının korunmasıdır. Fakat tesislerde bakteri popülasyonunun azalması gibi ortaya çıkabilecek acil durumlarda tanklara bakterilerin ilavesi gibi farklı doğal teknikler uygulanarak bakteri popülasyonunun artması sağlanabilmektedir (Aydın, 2004). Bir arıtma tesisinin toplam elektriğinin %60 kadarı burada harcanmaktadır. Bu nedenle en büyük enerji tüketim noktalarından biri havalandırma kısmıdır (Üstün, 2006). Yöntem sayesinde atık suyun dibine çökmesi engellenirken azot ve fosfor gibi gazların uzaklaştırılması sağlanır (Arık, 2012). Havalandırma tanklarında arıtmadan gelen suyun oksijen miktarı, pH değeri ve iletkenliği gibi çeşitli parametrelerin incelenmesi için örnekler alınıp laboratuvar ortamında analizleri yapılmaktadır (Demirci, Pekel, Altınten, & Alpbaz, 2016). Atık su son çökeltme tankına doğru devam eder. Dinlenmekte olan suyun içerisindeki katı partiküller dibine doğru çökmeye başlar ve dipte bulunan sıyrıcılar tarafından çamurların toplandığı kanallara doğru itilir (Aydın, 2004). Toplanan çamurlar bir sonraki aşamaya doğru giderken son çökeltme tankından çıkan temiz su savaklardan geçer ve deşarj ünitesine doğru akar. Deşarj rögarına dolan su buradan pompalar vasıtasıyla açık denizlere veya istenen baraj, göl, akarsu, nehir gibi noktalara basılır (Üçüncü, 2019). Oluşan dip çamurlar ise 5 numaralı çamur yoğunlaştırma veya bir diğer adıyla susuzlaştırmaya gelen atık çamurdan sızmakta olan sızıntı suları atık su geri devir ile tesis giriş pompasına basılır. Nemli çamurlara ise kapalı evaporatörlerde ısı işlem uygulanır. Susuzlaştırılan çamur konveyör bantlarla çamur tankına aktarılır (Erşahin et al., 2017). Atık su arıtma tesisinin yerleşim alanlarına yakın olması durumunda 6 numaralı koku giderim ünitesi de sisteme dahil edilebilmektedir (Kara, Akbulut, & Topak, 2018). Son ürün olarak ortaya çıkan çamur ise artık nihai bertaraf için kamyonlarla tesisten uzaklaştırılmaya hazırdır (Yüksekdağ, Gökpinar, & Yelmen, 2020).

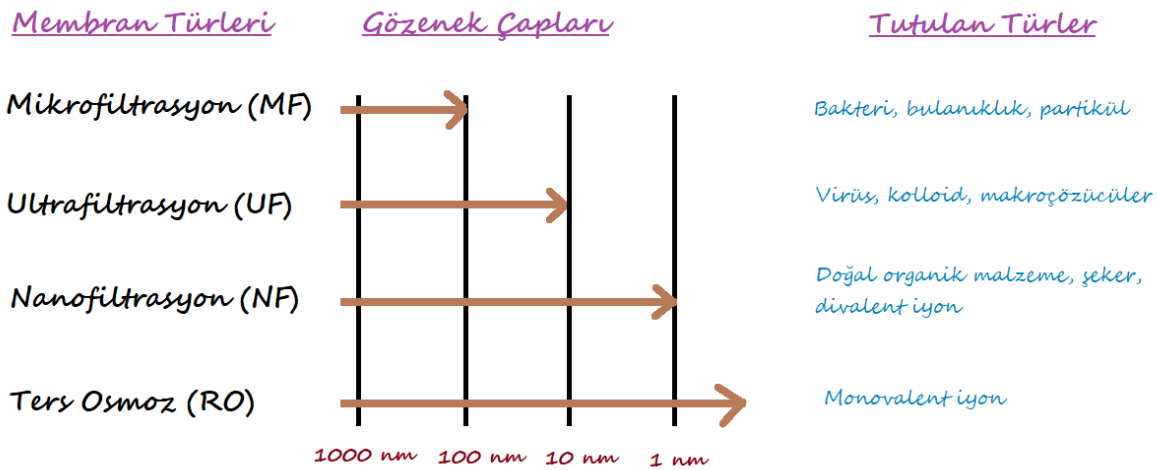
susuzlaştırmaya gelen atık çamurdan sızmakta olan sızıntı suları atık su geri devir ile tesis giriş pompasına basılır. Nemli çamurlara ise kapalı evaporatörlerde ısı işlem uygulanır. Susuzlaştırılan çamur konveyör bantlarla çamur tankına aktarılır (Erşahin et al., 2017). Atık su arıtma tesisinin yerleşim alanlarına yakın olması durumunda 6 numaralı koku giderim ünitesi de sisteme dahil edilebilmektedir (Kara, Akbulut, & Topak, 2018). Son ürün olarak ortaya çıkan çamur ise artık nihai bertaraf için kamyonlarla tesisten uzaklaştırılmaya hazırdır (Yüksekdağ, Gökpinar, & Yelmen, 2020).

4.2. İleri Su Arıtma Teknikleri

Geleneksel arıtma sistemlerinde arıtılmış atık suda bulunan askıda katı madde, çözünmüş formdaki maddeler, organik madde türevindeki kirliliklerin arıtımı ileri seviyede arıtma sistemlerini gerektirmektedir.

Membran Teknolojileri

Membran filtrasyon, çözünmüş maddeleri ve ince parçacıkları çözeltilerden uzaklaştırmak için kullanılmaktadır. Membran teknolojisinin diğer ayırma proseslerine göre başlıca avantajları düşük enerji tüketimi, basitlik ve çevre dostu olmasıdır. Şekil.6'da farkları sunulan dört yaygın membran ayırma işlemi vardır: mikrofiltrasyon (MF), ultrafiltrasyon (UF), nanofiltrasyon (NF) ve ters osmoz (RO) (Madsen, 2014).



Şekil 6. Yaygın kullanılan membran türleri ve özellikleri (Madsen, 2014)

MF: Gözenek çapı aralığı 0,1-3 µm arasındadır. Moleküler ağırlığı ayırma sınırı (MWCO) >1000 Da olan makromolekülleri ve askıda katı maddeleri ayıran bir sistemdir (Singh & Purkait, 2019).

UF: Gözenek boyutu 0,005-0,1 µm arasındadır ve MWCO 1000-500 Da olan makromolekül içeren sıvıların saflaştırılmasında, fraksiyonlanmasında veya konsantre edilmesinde tercih edilmektedir (Lutz, 2015).

NF: Gözenek çapı yaklaşık olarak 0,001 µm ve MWCO 180-500 Da arasındadır (Cheng, Oatley, Williams, & Wright, 2011). Yüzeyleri hafif yüklü olarak çalıştırılan NF membranlarında uygulanan basınç aralığı 3-40 bar'dır. Ayırma prosesinde yüklü yüzeyden kaynaklı yük etkileşimi önemli rol oynamaktadır (Bruggen, Everaert, Wilms, & Vandecasteele, 2001).

RO: Yüksek basınç uygulanarak çalıştırılan sistemde, düşük molekül ağırlığında organik maddeler ve tuzlar konsantre olurken, su ve çözücüler geçmektedir. Yoğun olarak, deniz suyunun ve kuyu suyunun arıtılmasında kullanılmaktadır (İbrahim, Isloor, & Farnood, 2020).

Membran Biyoreaktörler

Membran biyoreaktör (MBR) teknolojisi biyolojik ve membran filtrasyonunu içerir (Deng et al., 2022). Katı fazdaki kirliliklerin giderimi, fiziksel dezenfeksiyon kapasitesi, yüksek oranda organik madde giderimi, geleneksel sistemlerden daha az alan kaplaması ve çeşitli atık suların arıtımını gerçekleştirmesi MBR'nin avantajlarından. Son dönemlerde, belediye ve endüstriyel atık su arıtımı için yaygın olarak kullanılmaktadır (Gürel & Büyükgüngör, 2011).

Elektrokoagülasyon

Metal elektrot yüzeyinde gerçekleşen elektrolitik reaksiyonlar sonucu metalik iyonlar oluşur ve koloidal haldeki partiküller adsorpsiyon, koagülasyon, sedimentasyon veya flotasyon mekanizmaları ile giderilir (Barrera-Diaz, Balderas-Hernandez, & Bilyeu, 2018). Elektrokoagülasyon prosesi ağır metal gideriminde, koloidal katıların gideriminde, yağ emülsiyonlarının gideriminde, yağ ve gres gideriminde, kompleks organiklerin gideriminde ve mikroorganizmaların gideriminde kullanılmaktadır (Vepsäläinen & Sillanpää, 2020).

Yapay sulak alan

Yapay sulak alanlar, bitki topluluklarının, mikroorganizmaların ve doğal olarak gelişen omurgasızların oluşturduğu dolgu malzemesiyle doldurularak hazırlanan havuz sistemleridir. Atık suda bulunan kirlilikler, sedimentasyon ve filtrasyon gibi

fiziksel, bitki, toprak ve organik substratla adsorpsiyon gibi biyokimyasal ve fizikokimyasal indirgenme, çürüme, nitrifikasyon ve denitrifikasyon gibi biyolojik prosesler ile arıtılmaktadır (Temel, 2017).

Döner biyolojik diskler

Üzerinde mikroorganizmaların üremesi ve çoğalmasına uygun bir yüzey oluşturulmak için tasarlanan sistemlere döner biyolojik disk veya biyodisk denmektedir. Diskler halinde plastik malzemelerin döner bir shaft üzerine yerleştirilmesiyle veya delikli tambur şeklindeki silindirik bir yapının içi dolgu malzemesi ile doldurulmasıyla oluşmaktadır. Sistem içerisinde biyolojik reaksiyonlarla organik madde ve mikroorganizma giderimi sağlanmaktadır (Üstün & Tırpancı, 2015).

4.3. Arıtılmış Suyun Endüstride Yeniden Kullanımı

Atık suyun belirli işlemlerden geçirilip tekrar kullanılması sanayinin su ihtiyacını kısmen karşılarken, daha az atık üretilmesiyle hem atık bertaraf maliyetleri azalmaktadır hem de çevreyle dost bir uygulama gerçekleştirilmektedir. Birçok endüstriyel işlemde içme suyu kalitesindeki suya gereksinim olmamasından dolayı, sanayisi gelişmiş ülkelerde, kullanılmış suyun arıtılarak yeniden kullanılması oldukça yaygındır. İşletmedeki atık suyunun arıtılarak sisteme döngüsü proses adımlarından biri olarak uygulanır (Asan, 2013). Geri kazanılan su, soğutma suyu, proses suyu, radyoaktif atıkları seyreltme suyu, kül havuzlarını sulama suyu, kazan besleme suyu olarak tesislerde kullanılabilir. Soğutma suları, endüstriyel su tüketiminde başlıca sebeplerden biri olmakla, arıtılan suyun en yaygın kullanım yöntemidir (Başkan, 2006). Atık suların yüksek miktarlardaki tüketimi, yeniden kullanımı ile ilgili potansiyele sahip olduğunu; bu alanda daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir (Demir, Yıldız, Sercan, & Arzum, 2017).

5. MALİYET

Enerji maliyetlerinin artışıyla atık su arıtma tesislerinde enerji yönetimi, toplam maliyetleri de etkilemektedir. Atık su arıtma tesislerinde enerjinin verimliliğinin sağlanması için tesisin hidrolik proses planı, gerekli standartlarda arıtım için prosesin ve ekipmanların seçimi önem taşımaktadır. Atık su arıtma tesislerinde maliyetlerin %11,5 aktif çamur, %7 damala filtresi, %7 döner biyolojik kontaktör, %6,5 havalandırılmış lagün, %5,5 sulak alan ve %4,5 atık stabilizasyon havuzları olmak üzere toplam %47'sini işletme maliyetleri

oluşturur (Johnson, Camargo Valero, & Mara, 2007). Arıtılan atık suyun ise m³'ü başına yaklaşık 0,3-2,1 kWh aralığında bir enerji sarfiyatına sahip olduğu görülmektedir (Venkatesh & Brattebø, 2011). Gelişen teknoloji ile işlemlerde harcanan enerji azalır ve dolaylı olarak enerji kayıpları da azalma gösterir. Bu ilerlemelerle arıtılan suyun m³'ü başına harcanması gereken enerjinin de zaman içerisinde azalacağı tahmin edilmektedir. Bazı tesislerde çamurdan biyogaz üretimi ile geri kazanım sağlanırken bazı tesislerde

elektrodializ yöntemiyle işletme maliyetlerinin geri kazanım enerjisiyle başabaş noktalara getirilmesine çalışılmaktadır (Baran, 2020).

Marmara denizindeki atık su kirliliğini önlemek amacıyla kurulmuş Ataköy İleri Biyolojik Atık Su Arıtma Tesisinin 2012 yılının Ocak-Eylül aylarına ait ortalama geri kazanım verileri Tablo.5'te verilmiştir (Türkmenler, 2017).

Tablo 2. Geri kazanım verileri (Türkmenler, 2017)

Toplam elektrik tüketimi (MWh/ay)	Şebekeden alınan elektrik (MWh/ay)	Toplam elektrik üretimi (MWh/ay)	Enerji geri kazanımı (%)	Arıtılan atık su miktarı (m ³ /ay)	1 m ³ atık su için elektrik tüketimi (kWh)
3.221,93	1.652,90	1.568,03	46,34	9.762.735	0,33

Hidro enerji su akışından yararlanılarak elde edilen yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olarak bilinmektedir (Ak, Kentel, & Kucukali, 2017). Atık su arıtma tesislerinin (AAT) hidroelektrik güç üretecek şekilde tasarlanmasıyla da geri kazanım sağlanması mümkündür. 15 metre düşüde yılda 172,68 GWh, 30 metre düşüde yılda 345,36 GWh üretilebilir olduğu tahmin edilmektedir (Baran, 2020).

6. SONUÇ

Son yıllarda nüfusun artışı ve iklim değişiklikleri nedeniyle insanoglu su kaynaklarının yok olma ihtimali ile karşı karşıyadır. Su kaynakları Türkiye için bilinen yaklaşımın aksine bol değildir. Gelecekte suyun miktarı kadar kalitesi de büyük önem taşıyacaktır. Bu sebeple, su kaynaklarının korunmasının ve sürdürülebilirliğinin sağlanması için su tasarruf yöntemlerinin araştırılması önem arz etmektedir. Su tüketim oranları incelendiğinde, sanayi kuruluşlarında tüketilen su miktarları önemli bir paya sahiptir. Kimyasal, gıda ve tekstil üretimi gibi yoğun su tüketen sektörlerde tüketilen su miktarını azaltmak ve su verimliliğini arttırmak adına her bir endüstrinin kendi içerisinde verimlilik çalışması yapması ve işleyişte istikrar göstermesi gerekmektedir. Gıda sektöründe kullanılan HACCP uygulamaları sayesinde suyun daha verimli ve kontrollü kullanımı öne çıkmaktadır. Bunun yanında balık temizleme prosesinin su verimlilik analizi yapıldığında yıllık %40 oranında su tasarrufu sağlayabildiği gözlemlenmiştir. İçecek, makine ve kâğıt sektörlerinde ise yapılan verimlilik çalışmalarında sırasıyla %41, %15 ve %38 oranlarında verimlilik sağlanabilmiştir. Birim üretim başına

kullanılan su miktarlarının her sektör için bilinmesi ile su verimliliği değerlendirmesi yapılabilecek ve suyun sürdürülebilirliği açısından olumlu adımlar atılabilecektir.

KAYNAKLAR

- Ahi, V. K. (2019). Endüstriyel Arıtma Çamurlarından Enerji Kazanılması. İskenderun Teknik Üniversitesi.
- Ak, M., Kentel, E., & Kucukali, S. (2017). A fuzzy logic tool to evaluate low-head hydropower technologies at the outlet of wastewater treatment plants. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68, 727–737. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.10.010>
- Alkaya, E., Böğürücü, M., Ulutaş, F., & Demirer, G. N. (2010). Sanayide İklim Değişikliğine Uyum:Ekoverimlilik Yaklaşımı ile Su Tasarrufuna Yönelik Pilot Uygulamalar. "International Sustainable Water and Wastewater Management Symposium" 26-28 October 2010 - Konya/Turkey Aydın, (October), 21–29.
- Arık, K. S. (2012). Organize Sanayi Bölgeleri Atıksu Arıtma Tesisi Çıkış Sularının Geri Kullanımının Araştırılması. Uludağ Üniversitesi.
- Asan, C. (2013). Gri Suların Yeniden Kullanımında Membran Biyoreaktör (MBR) Uygulamaları. Ondokuz Mayıs Üniversitesi.
- Aşık, B. B., & Katkat, A. V. (2005). Gıda Sanayii Arıtma Tesisi Atık Suyu ' nun Sulama Suyu Olarak Kullanım Olasılığı. *Uludağ Üniv.Zir.Fak.Derg.*, 19(2), 23–31.
- Aydın, S. (2004). Atıksu Arıtma Tesisi Çamurlarının Değişik Amaçlarla Kullanımının Araştırılması. İstanbul Üniversitesi.

- Baran, B. (2020). Atıksu Arıtma Tesisleri nden Elde Edilen Hidroelektrik Üretim in Türkiye Mesken Elektrik Talebini Karşılama Oranı. *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 8(1), 139–145. <https://doi.org/10.21541/apjes.503355>
- Barrera-Diaz, C. E., Balderas-Hernandez, P., & Bilyeu, B. (2018). Electrocoagulation: Fundamentals and Prospectives. In *Electrochemical Water and Wastewater Treatment* (pp. 61–76). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813160-2.00003-1>
- Başkan, T. (2006). Arıtılmış Evsel Atıksuların Tarımda Sulama Amaçlı Yeniden Kullanılması. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Bruggen, B. Van Der, Everaert, K., Wilms, D., & Vandecasteele, C. (2001). Application of nanofiltration for removal of pesticides , nitrate and hardness from ground water: rejection properties and economic evaluation. *Journal of Membrane Science*, 193, 239–248.
- BSTB VGM, T. C. B. S. ve T. B. V. G. M. (2017). Sanayide kaynak verimliliği potansiyelinin belirlenmesi projesi sonuç raporu.
- Çalcalı, Ö. (2014). Su Sektörünün Kamusal Niteliğinin Dönüşümü:Türkiye’deki ŞEbeke Suyu Endüstrisi için Bir Değerlendirme. *Journal of Academic Researches and Studies*, 6(10), 111–129.
- Çapar, G., & Yetiş, Ü. (2018). Sanayide Su Verimliliğinin Ülkemizdeki Durumu. *Anahtar Dergisi*, 19–24. Retrieved from <http://suyonetimi.ankara.edu.tr/wp-content/uploads/sites/88/2018/10/Anahtar-Dergisi-Sanayide-Su-Verimliliğinin-Ülkemizdeki-Durumu.pdf>
- Casani, S., & Knöchel, S. (2002). Application of HACCP to water reuse in the food industry. *Food Control*, 13, 315–327.
- Çavuş, U. Ş., Kilit, M., & Saphioğlu, K. (2018). Sürdürülebilir Çevre Yönetimi için Atıksu Arıtma Tesisi İşletilmesi Afyonkarahisar İli Atıksu Arıtma Tesisi Örneği. *International Symposium on Urban Water and Wastewater Management October 25-27, 2018, Denizli*, (December). Denizli.
- Cerit, D. (2011). Atıksu Arıtma Tesisi Ekipmanları. *Teknik*, 32–35.
- Çetiner, H. İ., & Keskin, T. E. (2019). Bilgisayar Yazılımları Kullanılarak İçme Suyu, Atık Su ve Taşkın Debi Hesaplarının Yapılması ve Projeye Esas Alanların Kübaj Hesaplamalarının Gerçekleştirilmesi: Çankırı Örneği. *1st International Potable Water and Waste Water Symposium December 6-7, 2018 Afyonkarahisar*, (December 2018). Afyonkarahisar.
- Çevresel Etki Değerlendirmesi İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü, Ç. E. ve B. Y. D. B. (2020). Çevresel göstergeler. Ankara.
- Chen, Y., Yin, G., & Liu, K. (2021). Regional differences in the industrial water use efficiency of China: The spatial spillover effect and relevant factors. *Resources, Conservation and Recycling*, 167(October 2020), 105239. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105239>
- Cheng, S., Oatley, D. L., Williams, P. M., & Wright, C. J. (2011). Characterisation and application of a novel positively charged nanofiltration membrane for the treatment of textile industry wastewaters. *Water Research*, 46(1), 33–42. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.10.011>
- Çiçek, İ., & Ataoğlu, M. (2009). Türkiye’nin Su Potansiyelinin Belirlenmesinde Yeni Bir Yaklaşım. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 7(1), 51–64. https://doi.org/10.1501/cogbil_0000000094
- Demir, Ö., Yıldız, M., Sercan, Ü., & Arzum, C. Ş. (2017). Atıksuların Geri Kazanılması ve Yeniden Kullanılması. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 02, 1–14.
- Demirci, Y., Pekel, L. C., Altınten, A., & Alpbaz, M. (2016). Elektrokoagülasyon reaktöründe bulanık kontrol metodu ile pH , iletkenlik ve sıcaklığın eş zamanlı kontrolü. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 31(4), 987–996. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.278454>
- Deng, L., Guo, W., Hao, H., Zhang, X., Chen, C., Chen, Z., ... Wang, Q. (2022). Recent advances in attached growth membrane bioreactor systems for wastewater treatment. *Science of the Total Environment*, 808, 152123. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152123>
- Ekinci, B. (2015). Su Kaynaklarının Verimli Kullanılmasına Yönelik Örnek Ülke Uygulamaları ve Ülkemizde Bu Çalışmaların Uygulanabilirliği. <https://doi.org/10.1145/3132847.3132886>
- Erşahin, M. E., Dereli, R. K., Özgün, H., Akmırza, Z. A., & Öztürk, İ. (2017). Atıksu Arıtma Tesislerinde Enerji Verimliliğinin İncelenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(2), 380–387. <https://doi.org/10.19113/sdufbed.78149>
- Eurostat. (2018). *The EU in the world 2018 edition-Statistical Books* (P. W. Helene Strandell, Ed.). Luxembourg.
- Geçer, E., Şentürk, İ., & Büyükgüngör, H. (2019). Yeşil Bina Tasarımında Su ve Enerji Yönetimi Üzerine Uygulama Örneği. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9, 332–343. <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.413915>
- Gül, E. (2019). Arıtma Tesislerinde Meydana Gelen Kazalar ve İş Sağlığı ve Güvenliği Yönünden Alınması Gerekli Tedbirler. *Mali Çözüm İSMMMO*, 29(151), 241–254.

- Gürel, L., & Büyükgüngör, H. (2011). Atıksu arıtımında membran biyoreaktörler. *İTÜ Dergisi*, 21(1), 13–23.
- Havelaar, A. H. (1994). Application of HACCP to drinking water supply. *Food Control*, (3), 145–152.
- Hsine, E. A., Benhammou, A., & Pons, M. (2005). Water Resources Management in Soft Drink Industry-Water Use and Wastewater Generation. *Environmental Technology*, 26, 1309–1316. <https://doi.org/10.1080/09593332608618605>
- Ibrahim, G. P. S., Isloor, A. M., & Farnood, R. (2020). Fundamentals and basics of reverse osmosis. In *Current Trends and Future Developments on (Bio-) Membranes* (pp. 141–163). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816777-9.00006-X>
- IFC, I. F. C. Müşteri Vaka Çalışması. , (2014).
- Jagtap, S., Skouteris, G., Choudhari, V., Rahimifard, S., & Duong, L. N. K. (2021). An Internet of Things Approach for Water Efficiency: A Case Study of the Beverage Factory. *Sustainability*, 13, 3343. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su13063343>
- Jespersen, C., Christiansen, K., & Hummelose, B. (2000). Cleaner Production Assessment in Fish Processing. Denmark.
- Johnson, M., Camargo Valero, M. A., & Mara, D. D. (2007). Maturation ponds, rock filters and reedbeds in the UK: Statistical analysis of winter performance. *Water Science and Technology*, 55(11), 135–142. <https://doi.org/10.2166/wst.2007.364>
- Kantaroglu, Ö. (2011). Yüksek Performanslı Binalarda Su Stratejileri. *TMMOB Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 32–43.
- Kara, G., Akbulut, Z., & Topak, A. N. (2018). Türkiye’deki Atıksu Arıtma Tesislerinde Koku Problemleri. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 1(4), 185–188.
- Karahan, A. (2009). Gri suyun değerlendirilmesi. IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 1155–1164.
- Kavaklı, M., & Civan, Z. (2000). Türkiye’de Su Kullanımı, Atıksuları Geri Kazanma ve Yeniden Kullanma Uygulamaları. Kocaeli.
- Kinaci, C. (2017). Su Yönetiminde Temel Kavramlar ve Bileşenler; Türkiye’de Su Yönetimi.
- Köken, E., & Büyükkamaci, N. (2010). Kağıt endüstrisi atıksu arıtma tesislerinde çamur işleme ünitelerinin toplam maliyete etkisi. *İtüdergisi/E*, 20(1), 66–76.
- Koyuncu, İ., Öztürk, İ., Aydın, A. F., Alp, K., Arıkan, O. A., İnsel, G. H., ... Özdoğru, A. (2013). Atıksu arıtma tesisleri tasarım rehberi.
- Krinner, W., Lallana, C., Estrela, T., Nixon, S., Zabel, T., Laffon, L., ... Cole, G. (1999). Sustainable water use in Europe-Part 1: Sectoral use of water. Copenhagen.
- Lutz, H. (2015). Membranes. In *Ultrafiltration for Bioprocessing* (pp. 7–30). <https://doi.org/10.1016/B978-1-907568-46-6/00002-1>
- Madsen, H. T. (2014). Membrane Filtration in Water Micropollutants. In *Chemistry of Advanced Environmental Purification Processes of Water* (pp. 199–248). <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53178-0.00006-7>
- Murali, S., Krishnan, V. S., Amulya, P. R., Alfiya, P. V., Delfiya, D. S. A., & Samuel, M. P. (2021). Energy and water consumption pattern in seafood processing industries and its optimization methodologies. *Cleaner Engineering and Technology*, 4, 100242. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100242>
- Namal, O. Ö. (2017). Tekstil Endüstrisi Atıksularının Arıtımında Kullanılan Proseslerin Araştırılması. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6, 388–396. <https://doi.org/10.17100/nevbittek.322169>
- Nayan, N., Hashim, M., Saleh, Y., Mahat, H., & See, K. L. (2018). Effect of Monsoon Flood to Groundwater Quality in Kuala Krai, Kelantan, Malaysia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 145(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/145/1/012112>
- Notermans, S., Zwietering, M. H., & Mead, G. C. (1994). The HACCP concept: identification of potentially hazardous micro-organisms. *Food Microbiology*, 11(3), 203–214.
- Önal, B., & Ötleş, S. (2015). Gıda endüstrisinde suyun yeniden kullanımı ve HACCP uygulamaları. *Plastik&Ambalaj Teknolojisi*, (April 2015), 76–83.
- Özçelep, Z. B. (2009). Kağıt Endüstrisi Atık Sularının Membran Prosesleriyle İleri Arıtımı. İstanbul Üniversitesi.
- Özel İhtisas Komisyonu Raporu. (2018). Su Kaynakları Yönetimi ve Güvenliği. Ankara.
- Özlem Durmuş. (2013). Su verimliliği. Ankara.
- Özmen, E. (2016). Akaryakıt Depolama Tesislerinde Oluşan Atıksuların Geri Kazanımı İçin Sıfır Deşarj Yaklaşımlı Arıtma Teknolojilerinin Geliştirilmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Patel, K. (2021). Turkey Experiences Intense Drought. NASA Earth Observatory. Retrieved from <https://earthobservatory.nasa.gov/images/147811/turkey-experiences-intense-drought>
- Polat, A. (2013). Su Kaynaklarının Sürdürülebilirliği İçin Arıtılan Atıksuların Yeniden Kullanımı. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 6(1), 58–62.
- Santonja, G. G., Karlis, P., Stubdrup, K. R., Brinkmann, T., & Roudier, S. (2019). Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Food, Drink and Milk Industries.

- Singh, R., & Purkait, M. K. (2019). Microfiltration Membranes. In *Membrane Separation Principles and Applications* (pp. 111–146). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812815-2.00004-1>
- Tanyol, M., & Uslu, G. (2013). Tunceli Eysel Atıksu Arıtma Tesisinin Arıtma Etkinliğinin Değerlendirilmesi. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 4(June), 24–29.
- Temel, F. A. (2017). Endüstriyel atıksuların arıtımında yapay sulak alanların kullanımı. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 8(1), 213–225.
- TMMOB, Ç. M. O. (2019). Dünya Çevre Günü Türkiye Raporu.
- Topaç, F. O., & Acar, Ö. Ö. (2020). Paket Atıksu Arıtma Tesisi Çıkış Sularının Sulama Suyu Olarak Kullanılabilirliğinin Değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (19), 858–865. <https://doi.org/10.31590/ejosat.748395>
- TUİK, T. İ. K. (2019). İmalat sanayi su, atıksu ve atık istatistikleri, 2008. Retrieved from www.tuik.gov.tr
- Türkmenler, H. (2017). Atık Su Arıtma Tesislerinde Enerji Verimliliği. *Politeknik Dergisi*, 20(2), 495–502.
- Üçüncü, O. (2019). Atıksu Arıtımı , Atıksu Deşarjı ve Su Kirliliği : Trabzon İli Örneği. *Türk Hidrolik Dergisi*, 3(2), 14–29.
- Ulutaşdemir, N., Özmuşul, B., & Çopur, E. Ö. (2019). Gaziantep’te Merkez Atıksu Arıtma Tesisinde Üç Yıllık Risk Değerlendirmesi Analizi. *Sağlık Akademisi Kastamonu*, 4(1), 22–33.
- Üstün, G. E. (2006). Bursa Organize Sanayi Bölgesi (BOSB) Atıksu Arıtma Tesisi Çıkış Sularının Geri Kazanılabilirliğinin Araştırılması. *Uludağ Üniversitesi*.
- Üstün, G. E., & Solmaz, S. A. K. (2007). Bir Organize Sanayi Bölgesi Atıksu Arıtma Tesisinden Çıkan Atıksuların Tarımsal Amaçlı Sulama Suyu Olarak Yeniden Kullanılabilirliğinin Araştırılması. *Ekoloji*, 62, 55–61
- Üstün, G. E., Solmaz, S. K. A., & Kestioğlu, K. (2004). Organize Sanayi Bölgelerinde Atıksu Arıtımı: Bursa’dan Bir O.S.B. Örneği. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 9(1), 65–70.
- Üstün, G. E., & Tırpancı, A. (2015). Gri suyun arıtımı ve yeniden kullanımı. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 20(2), 119–139. <https://doi.org/10.17482/uujfe.79618>
- Uyanık, İ., & Özkan, O. (2016). Organize Sanayi Bölgesi Atıksularının Yeniden Kullanım Seçeneklerinin Değerlendirilmesi. *Su ve Çevre Teknolojileri*, 44–48.
- Venkatesh, G., & Brattebø, H. (2011). Energy consumption, costs and environmental impacts for urban water cycle services: Case study of Oslo (Norway). *Energy*, 36(2), 792–800. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.12.040>
- Vepsäläinen, M., & Sillanpää, M. (2020). Electrocoagulation in the treatment of industrial waters and wastewaters. In *Advanced Water Treatment* (pp. 1–78). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819227-6.00001-2>
- Wingfield, S., Martínez-Moscoso, A., Quiroga, D., & Ochoa-Herrera, V. (2021). Challenges to Water Management in Ecuador: Legal Authorization, Quality Parameters, and Socio-Political Responses. *Water*, 12(8), 1017. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/w13081017>
- Yarar, B. (2019). Kağıt ve Karton Fabrikası Atık Su Arıtma Tesisinin Enerji Analizi. *Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi*.
- YASKİ, Y. A. S. ve K. A. T. İ. B. (2017). Yalova Atık Su ve Kanalizasyon Altyapı Tesislerini İşletme Birliği 1 Yalova Atık Su ve Kanalizasyon Altyapı Tesislerini İşletme Birliği.
- Yüksekdağ, M., Gökpınar, S., & Yelmen, B. (2020). Atıksu Arıtma Tesislerinde Arıtma Çamurları ve Bertaraf Uygulamaları. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 895–904. <https://doi.org/10.31590/ejosat.699952>