

**SU KAYIP VE İSRAFININ BOYUTLARI:
İKLİM KAYNAKLI POTANSİYEL
RİSK VE TEHDİTLER**

**DIMENSIONS OF WATER LOSS AND WASTE:
CLIMATE-RELATED POTENTIAL
RISKS AND THREATS**

**İzzet ÖZTÜRK
Mehmet Melih KOŞUCU
Elif Zeynep DENERİ**

Atıf Künyesi: Öztürk, İ., Koşucu, M. M. ve Deneri, E. Z. (2024). Su Kayıp ve İsrafının Boyutları: İklim Kaynaklı Potansiyel Risk ve Tehditler. K. Şahin ve İ. Erol (Eds.), *Gıda, Su Kaybı ve İsrafı* (s. 39-72) içinde. Türkiye Bilimler Akademisi Yayınları.

SU KAYIP VE İSRAFININ BOYUTLARI: İKLİM KAYNAKLI POTANSİYEL RİSK VE TEHDİTLER

Prof. Dr. İzzet ÖZTÜRK
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Melih KOŞUCU
Arş. Gör. Elif Zeynep DENERİ
İstanbul Teknik Üniversitesi

Özet

Küresel ve bölgesel ölçekte yürütülen İklim Modellemesi çalışmalarında, Türkiye geneli için, özellikle 2070-2100 yılları döneminde, ortalama sıcaklıklarda 2,5~5°C artış, toplam yağışlarda ise %10-20 azalma öngörülmektedir. Bu durumun ülke mavi su (nehir akışları) ve yeşil su (toprak nemi) potansiyelinde %15-50 aralığında azalmaya yol açabileceği tahmin edilmektedir. Türkiye'deki bazı nehir havzalarının şimdi bile mutlak su kıtlığı sınırında olduğu düşünüldüğünde, suyun etkin ve verimli kullanılarak su kayıp ve israfının önlenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada, küresel iklim değişikliği perspektifiyle, su kayıp ve israfının boyutları ile su kullanımının suya bağımlı sektörler arasındaki dağılımı incelenerek başlıca kayıp azaltım seçenekleri değerlendirilmiştir. Bu bağlamda 4 ana sektör olan Tarım, Sanayi, İçme-Kullanma (hizmetler dahil) ve Ekosistem Hizmetleri'nde mevcut su kullanım durumu ile su kayıp ve israfının azaltım seçenekleri güncel verilerle açıklanmıştır. Çalışmada ayrıca iklim değişikliğine bağlı potansiyel risk ve tehlikeler dikkate alınarak incelenen suya bağımlı sektörlerin her biri özelinde, iklim risklerini azaltıcı tedbirlerle ilgili somut ve uygulanabilir öneriler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler

İklim Değişikliği, Su Stresi, Kuraklık, Su Kayıpları, Çevresel Akış

DIMENSIONS OF WATER LOSS AND WASTE: CLIMATE-RELATED POTENTIAL RISKS AND THREATS

Prof. Dr. İzzet ÖZTÜRK

Asst. Prof. Dr. Mehmet Melih KOŞUCU

Res. Asst. Elif Zeynep DENERİ

İstanbul Technical University

Abstract

In climate modeling studies conducted globally and regionally, it is projected that for Türkiye, average temperatures will increase by 2.5-5°C and total precipitation will decrease by 10-20% at the period of 2070-2100 years. This situation is expected to lead to a 15-50% decrease in the country's blue water (river flows) and green water (soil moisture) potential. Considering that some river basins in Türkiye are already at the absolute water scarcity limit, it is of great importance to use water efficient and effectively to prevent water loss and waste. This study examines the dimensions of water loss and waste from a global climate change perspective and the distribution of water usage among water-dependent sectors, evaluating major mitigation options. In this context, the current water usage situation and options for reducing water loss and waste in the four main sectors of Agriculture, Industry, Domestic Use (including services), and Ecosystem Services are explained with updated data. Additionally, the study provides concrete and applicable recommendations related to climate risk reduction measures specific to each of the water-dependent sectors examined, taking into account potential risks and hazards associated with climate change.

Keywords

Climate Change, Water Stress, Drought, Water Loss, Environmental Flow

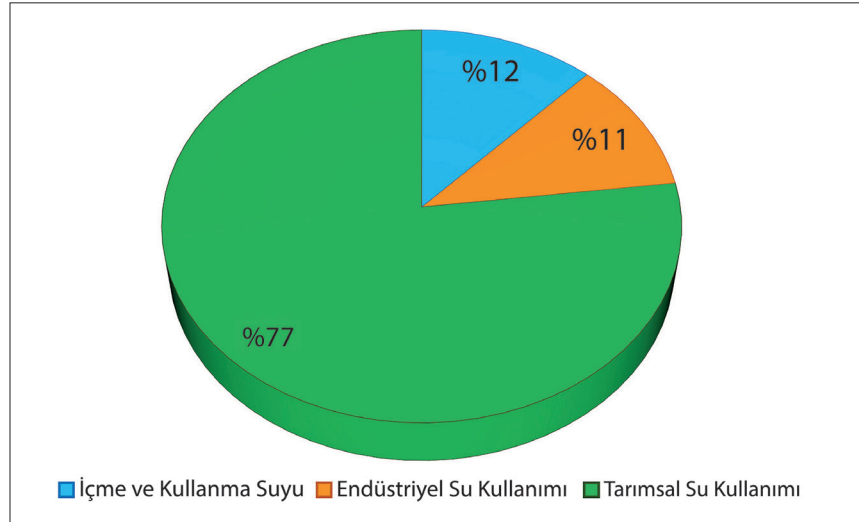
Türkiye ve Dünyada Sektörel Su Kullanımı Görünümü

Değişen İklim Uyum Çerçevesinde hazırlanan Su Verimliliği Strateji Belgesi ve Eylem Planı (2020-2033)'nda; Türkiye'de sektörel su kullanımı ile ilgili güncel durum değerlendirilmesi bulunmaktadır (Su Verimliliği, 2023). Söz konusu planda, hali hazırda ülke bütününde suya bağımlı sektörlerle ilişkin tüm alt sektörleri ihtiva eden ayrımlar bulunmamaktadır. Her bir alt sektör için, su tahsisleri ve/veya kullanımları ile alakalı havzalar bazında Master Plan çalışmaları yapım aşamasındadır.

Türkiye'nin 57 milyar m³'lük mevcut (kullanılabilir) su potansiyelinin %77'si Tarım, %12'si içme kullanma (ve hizmetler), %11'i ise sanayi (ve enerji) sektörlerinde kullanılmaktadır (Şekil 1).

Şekil 1

Türkiye'de 2021 Yılı Sektörel Su Kullanımları (Su Verimliliği, 2023)



Ülkemizde etkin ve verimli su kullanımı hedeflenmektedir ve mevcut durumda su kullanımında ana sektör tarımsal sulamadır. Bu kapsamda, 2021 yılında, 2021-2025 dönemine ilişkin Tarımsal Sulama Sektör Politika Belgesi yayınlanmıştır (TAGEM, 2021). Söz konusu belgede, 2021-2025 yılları arası için öngörülen sulama konusundaki sorunlar ile darboğazların çözümüne dönük politikalar yer almaktadır.

Su kullanan sektörlerin etkin ve verimli su kullanımını sağlamak ve iklim değişimine karşı uyumu gözetmek için Meclis Araştırma Komisyonu Raporu, 2021 yılında yayınlanmıştır. Söz konusu raporda, suya bağımlı sektörlerin uyum konusundaki çalışmaları ve alınması öngörülen tedbirler kapsamlı olarak incelenmiştir (TBMM, 2021). Bunun yanı sıra, 2021 yılında Avrupa Birliği (AB) ve Türkiye Cumhuriyeti (TC) tarafından finanse edilen Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Çalışmaları (TOB, 2020) başlıklı Proje, tamamlanmıştır. Söz konusu proje raporu, tüm sektörlerin uyum politikalarını kapsamaktadır. Aynı zamanda, proje ana alt başlıkları arasında su kaynakları yönetimi, tarım, ekosistem hizmetleri, sanayi, turizm, enerji gibi alt başlıklara detaylı olarak ele alınmıştır (ÇŞB, 2021).

Ocak 2023 tarihinde Tarım ve Orman Bakanlığı (TOB) Su Yönetimi Genel Müdürlüğü tarafından başlatılan Su Verimliliği Seferberliği (URL-1) ile sektörel su kullanımları, darboğazlar, su kullanımındaki mevcut sorunların çözümü ve iklimle uyum çalışmaları incelenmiştir.

Sektörel su kullanımı ile alakalı Dünya Bankası verileri ülkeden ülkeye önemli ölçüde değişiklik göstermektedir. Sektörel su kullanımı verileri küresel açıdan değerlendirildiğinde, genellikle dünyadaki birçok yerde mevcut tatlı suyun %70'lik kısmının tarımsal faaliyetlerde kullanıldığı ortaya çıkmaktadır. Dünya Bankası verilerine göre, tarımsal su kullanımı oranını %19 ile sanayi sektörü (enerji, ticari ve endüstriyel işletmeler) takip ederken içme-kullanma amaçlı (hane halkı) su kullanımı oranı ise %12 civarındadır (UN, 2019). 2017 yılı Avrupa Çevre Ajansı'nın verileri, Avrupa ülkelerindeki suyun %58,3'ünü tarım, ormancılık ve balıkçılıkta; %18,2'i elektrik, gaz ve buhar temini ile de iklimlendirmede; %10,6'sı madencilik ve taş ocakçılığı, imalat ve inşaat alanında; %9,6'sı evsel kullanımda, %3,3'ü hizmet sektöründe kullanıldığını göstermektedir (ÇŞİDB, 2018).

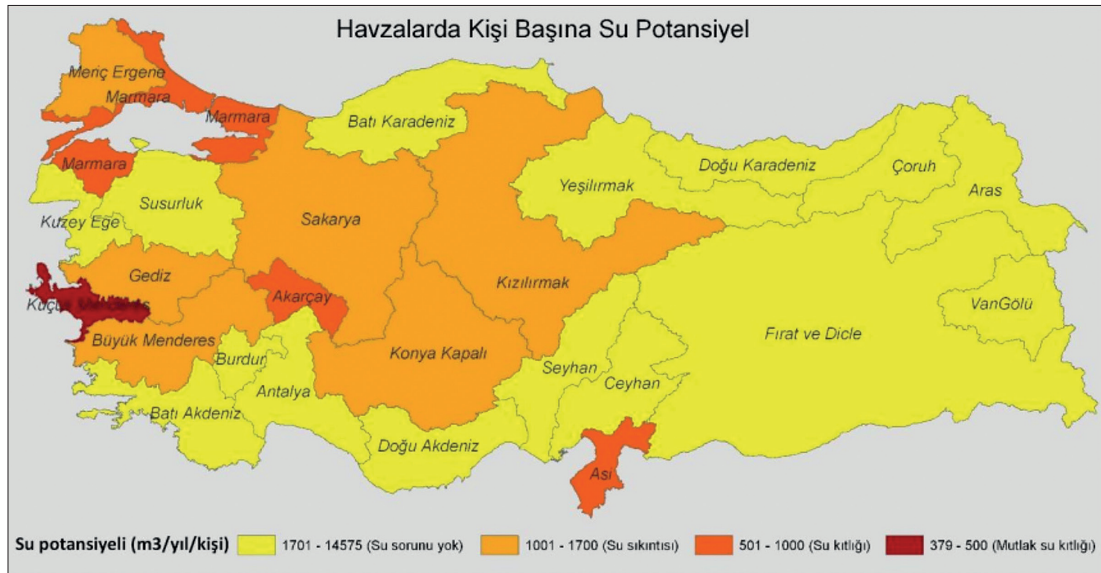
Su kıtlığı veya stres durumunu tanımlamak için kullanılan Falkenmark indeksine göre su kıtlık/stres durumu, aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır (Hakyemez, 2019):

- Mutlak Su Kıtlığı: Yılda kişi başına düşen su miktarının 500 m³'ten az olması,
- Su Kıtlığı: Yılda kişi başına düşen su miktarının 1.000 ~ 500 m³ arası,
- Su Sıkıntısı: Yılda kişi başına düşen su miktarının 1.700 ~ 1.000 m³ arası,
- Su Sorunu Olmayan: Yılda kişi başına düşen su miktarı 1.700 m³'ten daha fazla olması.

Türkiye'de 2020 yılında kişi başına düşen yıllık kullanılabilir su miktarı 1.346 m³'tür Bu duruma göre **Türkiye su sıkıntısı olan ülke konumundadır**. Şekil 2, Türkiye'de Falkenmark Stres İndeksine göre havzalarda kişi başına düşen su potansiyelini göstermektedir (TOB, 2021a).

Şekil 2

Falkenmark Su Stres İndeksine Göre Havzalarda Kişi Başına Düşen Su Potansiyeli (TOB, 2021a)



Türkiye'nin Su Kaynakları ve Su Potansiyeli Üzerindeki Etkiler

İklim değişikliği ile alakalı küresel ve bölgesel ölçekte yapılan çalışmalarda, iklim değişikliğinden en fazla etkilenmesi beklenen bölgeler arasında Akdeniz Havzası öne çıkmaktadır. Ülkemizin farklı bölgelerinin, iklim değişikliğinden farklı düzeylerde etkilenmesi beklenmektedir. Yapılan çalışmalarda, Türkiye genelinde 2020-2100 yılları arasında özellikle 2070 sonrasında, ortalama sıcaklıkların 2,5-5°C artması ve toplam yağış miktarının %10-20 azalması öngörülmektedir (Şen ve ark., 2024). Bunun yanı sıra sıcak hava dalgaları, kuraklık ve taşkın gibi aşırı hava olaylarının görülme sıklıkları, süreleri ve şiddetlerinde önemli artışlar beklenmektedir. Söz konusu değişiklikler iklim projeksiyonları sonuçları ile birlikte, ülkemizde geçmişten bugüne yapılan hidro-meteorolojik gözlemlerle de doğrulanmaktadır. Ülkemizde yapılan iklim modelleme çalışmalarının, günümüzde yaşanan değişikliklerle ilgili öngörülerinin isabetli ve tutarlı olduğu görülmektedir.

İklim değişikliği sonucunda dünya genelinde atmosferin ortalama sıcaklığı artmaya başlamış ve hidrolojik çevrim hızlanmıştır. Bu sebeple yağış ve sıcaklık gibi meteorolojik parametrelerin dünyadaki zaman ve mekâna göre dağılımı değişmiştir. Özellikle tatlı su kaynakları, karadaki hidro-meteorolojik parametrelerdeki değişimden etkilenmektedir. Bu değişim sonucunda yağış azalımı ve sıcaklık artışı ile Akdeniz Havzası'nda erişilebilir su potansiyeli olumsuz yönde etkilenmektedir. Türkiye'de gerçekleştirilen su kaynaklarıyla ilgili hidrolojik modelleme çalışmaları sonuçlarına göre 2020-2100 döneminde su potansiyelinin genel itibarı ile %15-50'ye varan oranlarda azalması öngörülmektedir (Tablo 1) (OSİB 2016a). Türkiye için öngörülen sıcaklık artışları dolayısıyla yıllık ortalama yağış miktarı geçmiş dönem ortalaması civarında seyrete (sabit kalsa) bile, özellikle terleme ve buharlaşma kayıpları artışı yüzünden, akarsu akışlarında ~%10'lara varan oranlarda azalma beklenmektedir (Ozturk ve ark., 2013). Su potansiyelindeki değişimler bölgeler arasında farklılık göstermektedir. İklim değişikliği için yapılan hidrolojik modelleme çalışmaları, ülkemizdeki mevcut su kaynaklarının gelecekte çok daha verimli ve etkin kullanılması gerektiğini gözler önüne sermektedir.

Tablo 1

Türkiye Geneli İçin İklim Projeksiyonlarına Göre Hidrolojik Modellemeyle Üretilen Brüt Su Potansiyelleri Medyan Değerlerinin ve Referans Dönemi Medyan Değerlerinden Sapmaları (OSİB, 2016a)*

Projeksiyon Dönemi	Referans Dönemi	Brüt Su Potansiyeli (milyon m ³ /yıl)					
		HADGEM2-ES		MPI		CNRM	
		RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
2015-2040	193.499	117.508 (-39%)**	118.864 (-39%)	169.903 (-12%)	174.607 (-10%)	169.353 (-12%)	156.950 (-19%)
2041-2070	193.499	111.015 (-43%)	95.687 (-51%)	162.900 (-16%)	147.515 (-24%)	168.470 (-13%)	142.114 (-27%)
2071-2100	193.499	117.363 (-39%)	107.045 (-45%)	153.613 (-21%)	135.158 (-30%)	161.939 (-16%)	156.869 (-19%)
HADGEM2-ES: Hadley Centre Global Environment Model Version 2 (Hadley Merkez Küresel Çevre Modeli 2.Versiyon) MPI: Max Planck Institute Modeli (Max Planck Enstitüsü Modeli) CNRM: Centre National de Recherches Météorologiques Model (Ulusal Meteoroloji Araştırma Merkezi Modeli) RCP: Representative Concentration Pathways (Temsili Konsantrasyon Rotaları) RCP4.5: Orta emisyon/Nispeten iyimser senaryo RCP8.5: Kötümser senaryo * %50 medyan görülme olasılığı **Parantez içindeki değerler referans dönemi değerinden rölatif sapma oranlarını göstermektedir.							

Türkiye’de Sektörel Su Kayıp ya da İsrafının Türleri ve Boyutları

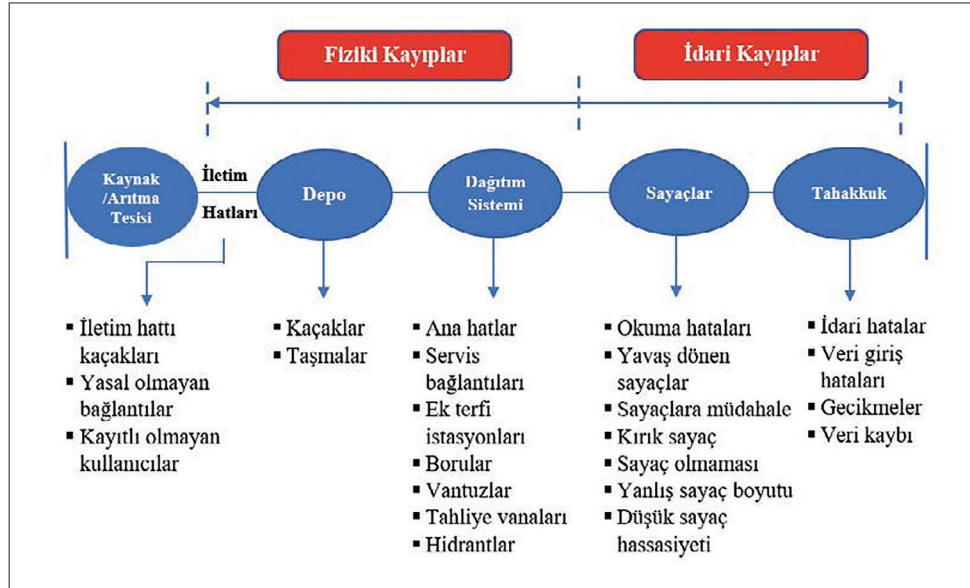
İçme ve Kullanma Suyu Sektörü

Su Kayıplarının Tür ve Bileşenleri

İçme suyu dağıtım sistemlerindeki su kayıpları, içme suyu şebekelerine verilen toplam su miktarı ile kullanıcıların yasal ve izinli olarak tükettikleri toplam su miktarı arasındaki fark olarak tanımlanmaktadır (Coşkun Dilcan ve ark., 2018). İçme suyu temin ve dağıtım sistemlerindeki su kayıpları, İdarî ve Fizikî Kayıplar olmak üzere iki ana başlık altında incelenebilir (Şekil 4) (Muhammetoğlu ve Muhammetoğlu, 2017).

Şekil 4

İdarî ve Fizikî Su Kayıpları (Muhammetoğlu ve Muhammetoğlu, 2017)



İdarî su kayıpları, abonelerin su tüketiminin yanlış ölçülmesi, ölçülememesi (izinsiz tüketim) veya yanlış kaydedilmesiyle alakalı kayıplardır. Fizikî su kayıpları ise su dağıtım sistemlerinin depo, boru ve sair bağlantı elemanlarından çatlak, taşma ve sızma gibi yollarla suyun kaybedilmesi sonucunda oluşmaktadır.

Su Temin Sistemlerindeki Kayıpların Boyutları

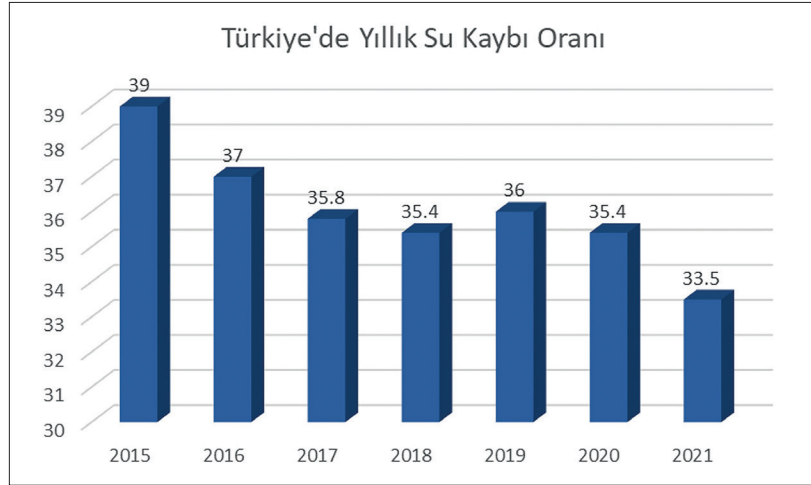
Türkiye’de su kayıplarıyla mücadeleyle özel önem verilmektedir. Bu kapsamda Orman ve Su İşleri Bakanlığı (Günümüzde Tarım Orman Bakanlığı)’na bağlı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü (SYGM) tarafından hazırlanan İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliği 2014 yılında yayınlanmıştır. Bu yönetmeliğe göre su kayıp oranlarının, büyükşehir ve il belediyeleri tarafından 2023 yılına kadar en fazla %30’a, 2028 yılına kadar ise en fazla %25’e düşürülmesi yükümlülüğü getirilmiştir. Diğer belediyelere de su kayıplarını 2023 yılına kadar en fazla %35’e, 2028 yılına kadar en fazla %30’a ve 2033 yılına kadar ise en fazla %25’e düşürme sorumluluğu verilmiştir.

2015 yılının Temmuz ayında yayınlanan İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği ile de su kayıplarının azaltılmasında takip edilecek adımlar, içme suyu dağıtım sistemlerinde kullanılması gereken malzemeler ve izinsiz su kullanımıyla alakalı hususlar ortaya konmuştur. Bahsedilen tebliğin ekinde yer alan Su Kayıpları Yıllık Raporu'nun ve Standart Su Dengesi Tablosu'nun belediyeler ve su idareleri tarafından doldurularak her yıl bakanlığa gönderilmesi yükümlülüğü getirilmiştir.

Türkiye'de Su Kayıpları: Tarım ve Orman Bakanlığı (TOB) Su Yönetimi Genel Müdürlüğü (SYGM) tarafından belediyelere ve su kanalizasyon idarelerine getirilen su kayıplarını azaltma ve düzenli bir şekilde raporlama yükümlülüğü getirilmiştir. Bu yükümlülüğün tesirini kısa sürede gösterdiği Şekil 5'ten anlaşılmaktadır. Zira 2015'ten 2021'e kadar Türkiye'deki su kayıplarının ana eğilimi azalma yönünde olmuştur. Bakanlığın, SYGM'nin, belediyelerin ve su kanalizasyon idarelerinin çalışmalarıyla 2015 yılında %39 olan su kaybı oranı, 2021 yılında %33,5 seviyesine indirilmiştir. Ayrıca 2003 yılında Türkiye'deki genel su kaybı oranının %51 olduğunun bilinmesi, %33,5 değerini daha da anlamlı kılmaktadır (Ozturk ve ark., 2007).

Şekil 5

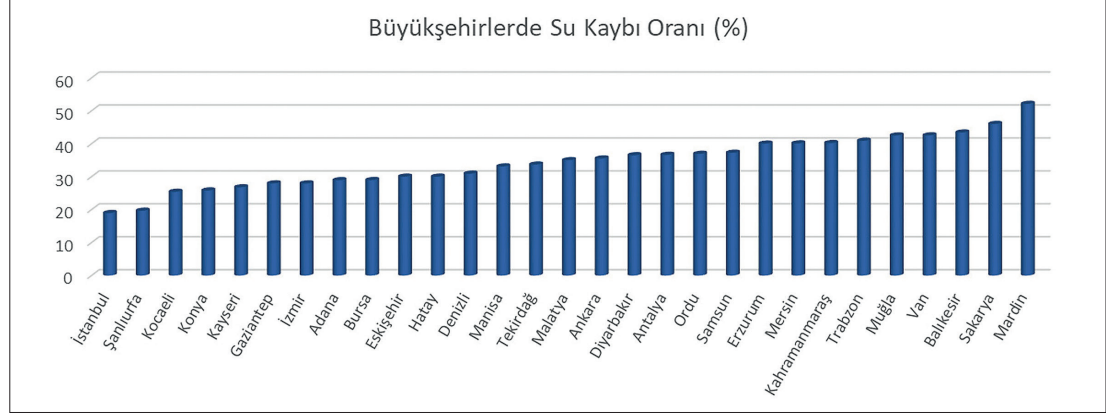
Türkiye'de 2015-2021 Yılları Arasındaki Genel Su Kaybı Oranı (Su Verimliliği, 2023)



Türkiye'deki su ve kanalizasyon idarelerinin kendi web sitelerinde yayınlamış oldukları raporlardan ve TÜİK verilerinden bu 30 büyükşehirden 29'unun su kaybı oranı değerlerine ulaşılmıştır. Aydın Büyükşehir Belediyesi'ne ait sağlıklı su kaybı verisine ise maalesef ulaşılammıştır. Aydın Büyükşehir Belediyesi dışında kalan 29 büyükşehir belediyesinden 8'inin su kaybı verisi TÜİK'ten, kalan 21'inin su kaybı verisi ise ilgili su ve kanalizasyon idarelerinin web sitelerinde sunmuş oldukları raporlardan alınmıştır. İstanbul, Şanlıurfa, Ankara, Adana, Antalya ve Kocaeli'ye ait veri 2023 yılına, Ordu'ya ait su kaybı verisi ise 2021 yılına aittir. Bunlar dışındaki su ve kanalizasyon idarelerinin verileri 2022 yılına aittir. Bahsedilen veriler Şekil 6'da verilmiştir. Şekil 6'ya göre en düşük su kaybı oranına sahip olan büyükşehir %18,94 ile İstanbul'dur. İstanbul'u Şanlıurfa, Kocaeli ve Konya takip etmektedir. En yüksek su kaybı oranına sahip olan büyükşehir ise %52,1 ile Mardin'dir. Mardin'i Sakarya, Balıkesir ve Van izlemektedir.

Şekil 6

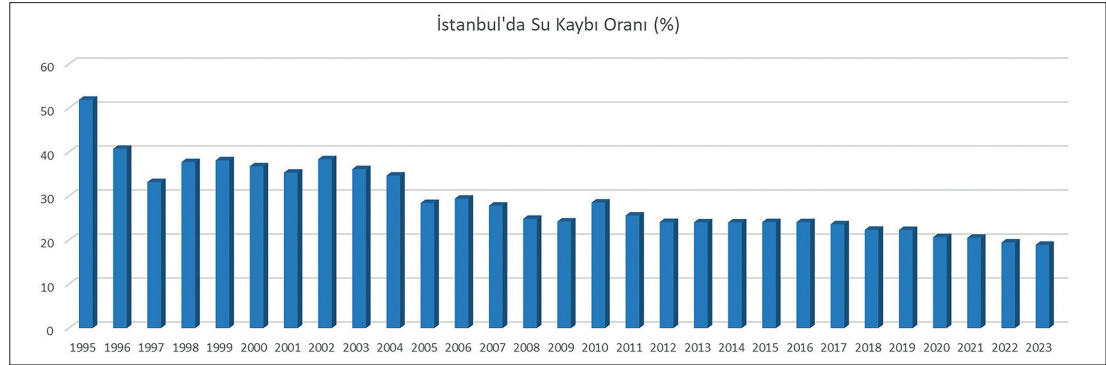
Büyükşehirlerde Su Kayıp Oranları (İlgili idarelerin raporlarından ve TÜİK'ten elde edilmiştir)



İstanbul'un su kaybı oranının yıllar içindeki değişimi Şekil 7'de verilmiştir. Şekil 7'den de görüleceği üzere 1995 yılında %51,9 olan su kaybı oranı 2023'te %18,94'e inmiştir. Bu hızlı inişin temelinde muhakkak, kaliteli boru ve bağlantı malzemelerinin kullanımı, aktif sızıntı kontrolü, boru hatlarının hızlı tamiri ve basınç yönetimi gibi su kaybı kontrolü uygulamalarının payı vardır.

Şekil 7

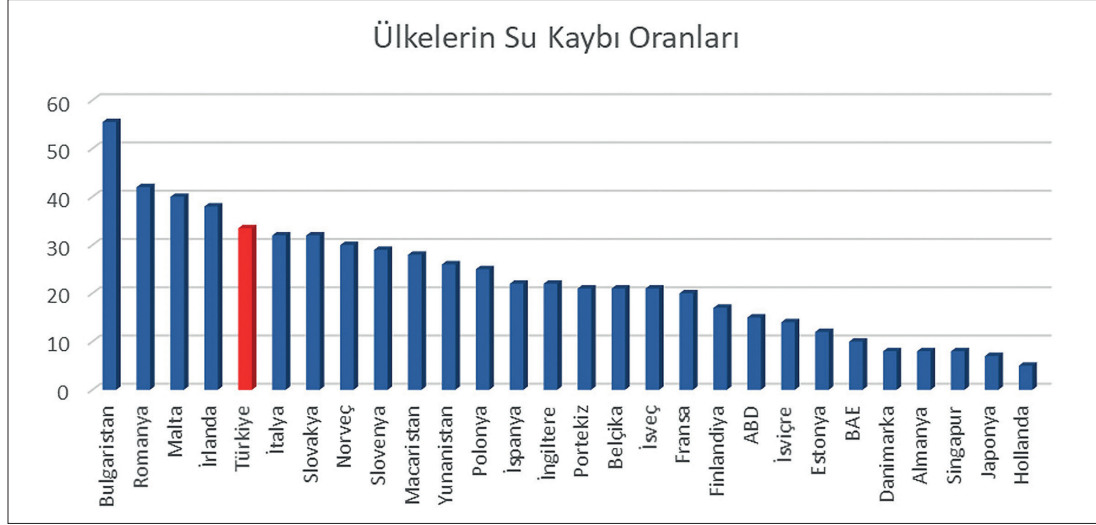
1995-2023 Yılları Arasında İstanbul'un Yıllık Su Kaybı Değerleri (İSKİ, 2024; Kıran, 2022)



Dünya'da Su Kayıpları: Türkiye'nin de aralarında olduğu pek çok ülkenin su kayıp oranları Şekil 8'de verilmiştir ("Leakage in the water industry," 2022; Roland Berger GmbH, 2023). Grafikte Bulgaristan ve Romanya sırasıyla %50 ve %40'ı aşan oranlarıyla en yüksek su kayıp oranına sahip ülkeler olarak görülmektedir. Öte yandan Hollanda, Japonya, Singapur, Almanya, Danimarka ve Birleşik Arap Emirlikleri ise %10'un altında olan su kayıp oranlarıyla dikkat çekmektedirler. Türkiye ise %33,5 olan su kaybı oranıyla Bulgaristan, Romanya, Malta ve İrlanda'dan daha iyi bir konumda olsa da Avrupa ülkelerinin çoğunun gerisinde yer almaktadır.

Şekil 8

Farklı Ülkelerin Su Kaybı Oranları ("Leakage in the water industry," 2022; Roland Berger GmbH, 2023)



Altyapı Kayıp/Kaçak Endeksi: Su kayıp oranı dışında içme suyu dağıtım şebekelerinde su kayıplarının seviyesini gösteren ve dünyada yaygınlıkla kullanılan bir başka gösterge de Altyapı Kaçak Endeksi'dir (Infrastructure Leakage Index = ILI). Bu endeks, mevcut yıllık fiziki su kayıplarının (Current Annual Real Losses = CARL) kaçınılmaz yıllık fiziki su kayıplarına (Unavoidable Annual Real Losses = UARL) bölünmesiyle elde edilir (Eşitlik 1):

$$ILI = \frac{CARL}{UARL} \quad (1)$$

Burada UARL ve CARL parametrelerinin birimleri l/gün'dür. ILI ise boyutsuz bir niceliktir. ILI'nin değeri 1.0'a ne kadar yaklaşırsa şebekenin yönetimi su kayıpları açısından o kadar iyidir denilebilir. UARL parametresi ampirik bir büyüklüktür ve şu şekilde hesaplanmaktadır (Eşitlik 2):

$$UARL = (18 \times L_m + 0.8 \times N_c + 25 \times L_p) \times AZP \quad (2)$$

Burada L_m şebeke ana hat uzunluğu (km), N_c servis bağlantısı sayısı, abone servis bağlantılarının toplam uzunluğu (km) ve AZP de şebekedeki ortalama basınç değeri (m)'dir. ILI parametresinin farklı değerleri için teknik performans kategorileri belirlenmiştir (Tablo 2).

Tablo 2

ILI Teknik Performans Kategorileri (Lambert ve ark., 1999; McKenzie ve ark., 2007)

Kategori	A	B	C	D
ILI	1 - 2	2 - 4	4 - 8	> 8

Burada *Kategori A*, şebeke durumunun iyi olduğunu, *Kategori B* durumun kötü sayılamayacağını ama iyileşme potansiyelinin bulunduğunu, *Kategori C* şebeke durumunun zayıf olduğunu ve bu zayıflığın iyiye götürülmesi gerektiğini ve *Kategori D* ise şebekenin kötü yönetildiğini ve kaynakların verimsiz kullanıldığını göstermektedir.

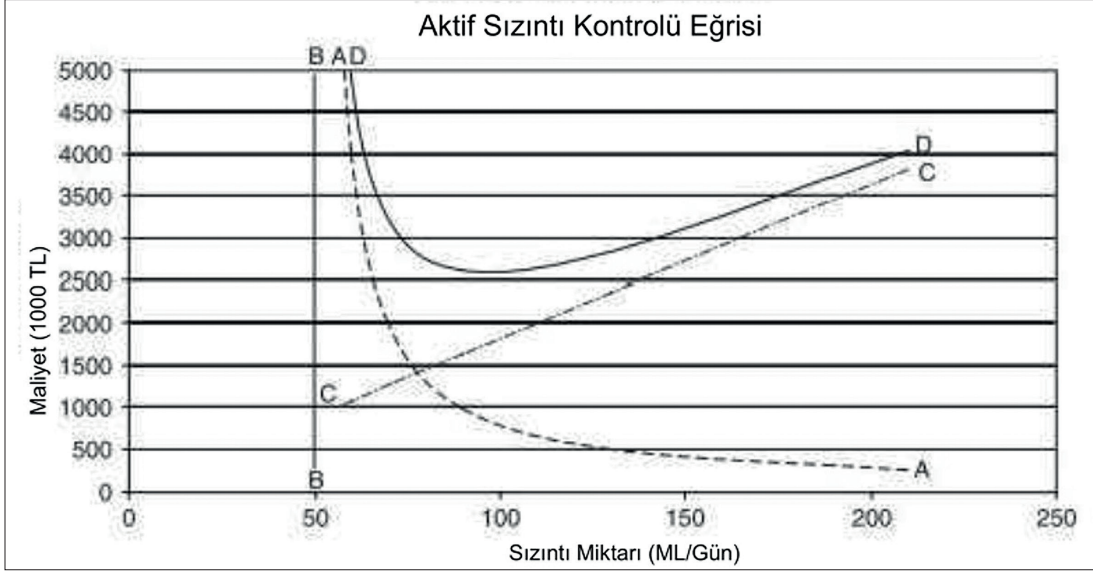
SUEN (2022) tarafından Türkiye'deki 20 su kanalizasyon idaresi (SUKİ) için yapılan analiz neticesinde ILI değeri ortalama 4,77 seviyesinde çıkmıştır. Avustralya, Belçika, Almanya, Fransa, İtalya, Portekiz, İspanya, Hırvatistan, İngiltere, İsviçre ve Malta gibi ülkelerde bulunan 71 adet su idaresinde detaylı ILI analizi yapıldığında, bu su idarelerinin 53 tanesinde ILI değeri 4'ten daha düşük olarak hesaplanmıştır. Bosna-Hersek, Bulgaristan ve Sırbistan'da bulunan 12 su idaresinde yapılan çalışmada ise bu su idarelerinin tamamında ILI değerinin 5'ten yüksek olduğu ve genel olarak bu değer 8'in üzerinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir. ILI değerinin Batı Avrupa ülkelerinin su kanalizasyon idarelerinde genel olarak 4'ten daha düşük olduğu göz önüne alındığında Türkiye'deki SUKİ'lerin içme suyu dağıtım sistemlerinin performansını iyileştirme faaliyetlerine ağırlık vermesi gerektiği görülmektedir. Bir de bu iyileştirme faaliyeti için öncelikle düzenli ölçüm ve raporlama gerekmektedir ki, Türkiye'deki bazı su idarelerinde bu konuda birtakım eksiklikler olduğu vurgulanmalıdır.

Su Kayıplarının Kontrolü

Fiziki Kayıpların Kontrolü

Boru Hattı Yönetimi: Bir su idaresinin yapabileceği en büyük yatırımlardan biri yeraltında bulunan boru hatlarının yenilenmesidir. Dolayısıyla, eski boru hatlarının bakımı ya da değiştirilmesinin maliyeti, sadece boru hattının kendi öz maliyetleri nedeniyle değil, aynı zamanda yoğun şehir koşullarında kazı ve yeniden eski durumuna getirme işlemleri yüzünden genellikle çok yüksektir. Boru bakımı birçok şekilde olabilir ve problemin niteliğine, su idarelerindeki yetkililerin tutumuna ve durumun ciddiyetine bağlı olarak değişen zaman sıklıklarında gerçekleştirilebilir. Kayıpları önlemek için sık karşılaşılan bakım programları arasında korozyon kontrolü, boru kaplaması ve değişimi zikredilebilir. Boru değişimi gerektiğinde ise bu işlemi kazısız gerçekleştirebilmek için yeni teknolojiler kullanılmaktadır.

Aktif Sızıntı Kontrolü: Aktif sızıntı kontrolünün amacı, zemin yüzüne çıkmayan veya su abonelerinin ihbarı yoluyla su idaresinin dikkatini çekmeyen sızıntıları bulmaktır. Aktif sızıntı kontrolü süreci, su idareleriyle koordineli çalışan tespit ekiplerinin genellikle ses dinleme tekniklerini kullanarak sızıntıları bulmak için bir araziye taramasını içerir. Bu ekipler aktif sızıntı kontrolü faaliyeti ile araziye tarayarak, rapor edilmemiş sızıntıları tespit etmekte ve böylece boru veya bağlantı arızaları tespit edildikten sonra onarılacak sızıntıların önüne geçilmektedir. Ortalama sızıntı seviyesi ile ardışık taramalar arasındaki süre arasında bir ilişki vardır. Bu ilişki Şekil 9'da A-A eğrisi olarak gösterilmekte ve aktif sızıntı kontrol eğrisi olarak adlandırılmaktadır. Düşey eksen kaçak tespit faaliyetlerinin yıllık maliyeti, yatay eksen ise aynı dönemdeki (genellikle bir yıl) ortalama sızıntı debisi seviyesidir. Bazı sızıntıların yüzeye çıkmaması ve akustik cihazlarla da tespit edilememesi halinde su idaresinin dikkatini çekmeyeceği ve bu nedenle devam edeceği varsayımı altında, eğri yatay eksene asimptot şeklinde çizilmektedir. Eğri aynı zamanda düşey eksene paralel bir doğruya da asimptot olacaktır. Bu B-B doğrusu, sızıntı kontrol faaliyeti için sonsuz kaynak kullanılması halinde ortaya çıkacak sızıntı seviyesine eşdeğerdir. Yani aktif sızıntı kontrolü için çok büyük masraflar yapılırsa da engellenmesi mümkün olmayan bir sızıntı miktarı mevcuttur.

Şekil 9*Aktif Sızıntı Kontrolü Eğrisi (Thornton ve ark., 2008)*

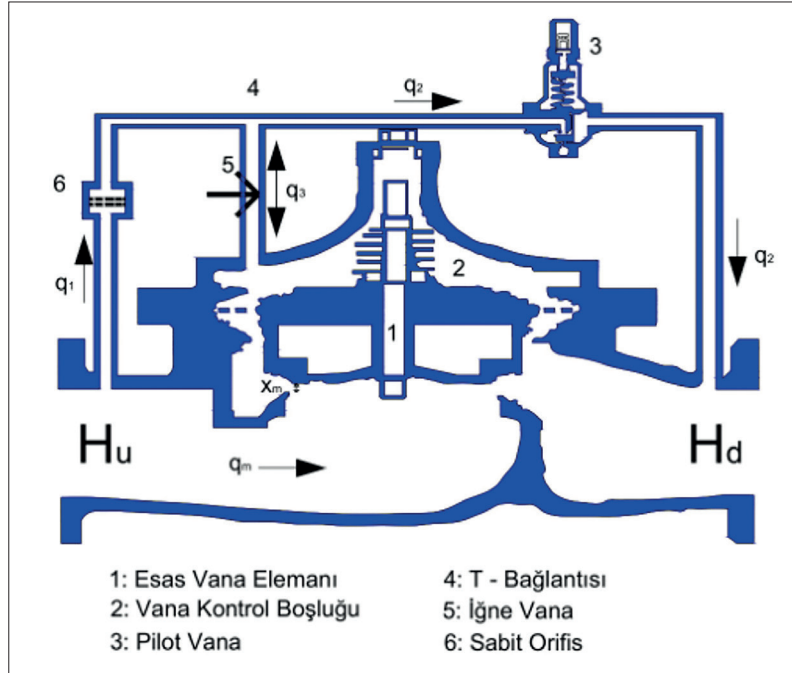
Farklı kaçak seviyelerinde kaybedilen suyun maliyeti aynı grafik üzerinde C-C doğrusu ile temsil edilmektedir. Burada maliyet, birim miktarda su üretmek için harcanan gücün, kimyasalların ve emeğin maliyetidir. D-D eğrisi ise toplam işletme maliyetidir, yani sızıntı kontrol maliyeti ile su üretim maliyetinin toplamıdır. Görüleceği üzere, çok düşük kaçak seviyelerine ulaşmak için gereken yüksek sızıntı tespit maliyeti nedeniyle D-D eğrisi, B-B doğrusuna yakın bölgede yüksek değerler almaktadır. D-D eğrisiyle gösterilen toplam maliyet, sağ tarafa doğru gittikçe azalmakta ve minimum değere ulaşmaktadır. Bu minimum değerden sağa doğru gidildikçe artan sızıntı seviyeleriyle birlikte su üretim maliyeti de arttığı için toplam maliyet tekrar yükselmektedir. Toplam maliyetin en düşük olduğu nokta, ekonomik sızıntı seviyesi olacaktır.

Basınç Yönetimi: İçme suyu dağıtım sistemlerinde su basıncını düşürerek, patlak ve sızıntı olasılığını azaltma faaliyetinin genel ismine basınç yönetimi adı verilmektedir. Basınç yönetimi, içme suyu dağıtım şebekelerinde su kayıplarını azaltmaya çalışırken göz önünde bulundurulması gereken en önemli yöntemlerden biridir (Hamilton ve Mckenzie, 2014). Boru hatlarındaki sızıntıların basınca bağlı olarak artmakta veya azalmakta olduğu bilinmektedir. Yüksek basınca bağlı olarak boru hatlarının arızalanmasıyla birlikte onarım işlemini gerçekleştirmek elbette elzemdir, fakat basınç yüksek olmaya devam ettikçe arızaların tekrerr etme ihtimali artar. Bu sebeple içme suyu dağıtım şebekelerindeki yüksek basınçları düşürerek basıncı yönetmek arızaların tekrarlanmasını önlemek açısından gereklidir.

Basınç yönetiminin gerçekleştirilmesinde en yaygın kullanılan cihaz Basınç Düşürücü Vana'lardır (Pressure Reducing Valve – PRV). PRV'nin şematik gösterimi Şekil 10'da verilmiştir (Prescott ve Ulanicki, 2003). Burada H_u ve H_d sırasıyla menba ve mansaptaki basınç yükseklikleridir. Basınç yönetme faaliyeti, pilot vananın açılıp kapanarak q_2 debisinin büyüklüğünün değiştirilmesiyle yürütülür. q_2 debisi, q_1 ve q_3 debilerinin toplamına eşittir.

Pilot vananın açılıp kapanmasıyla T – Bağlantısı'nın basıncı değişir. Bu basınç değişimine bağlı olarak q_3 debisinin yönü de değişir. H_d , PRV'nin çıkış ayarından küçükse pilot vana biraz açılır, q_3 debisi yukarı doğru yönelir, vana kontrol boşluğunun hacmi azalır ve esas vana elemanı yukarı hareket ederek PRV'de meydana gelmesi beklenen yük kaybını azaltır. Tam tersi olduğunda, yani H_d PRV'nin çıkış basıncı ayarından büyükse, pilot vana kısmen kapanır, q_3 debisi aşağı doğru yönelir, vana kontrol boşluğunun hacmi artar ve esas vana elemanı aşağı hareket ederek PRV'nin oluşturacağı yük kaybını artırır. Bu şekilde çalışan sistem sayesinde esas vana elemanının hareketine ve vana açıklığı (x_m)'na bağlı olarak, PRV'den geçen akımın yük kaybı, hedeflenen çıkış basıncına ulaşabilmek için sürekli güncellenebilecektir.

Şekil 10
PRV'nin Şematik Görünümü (Koşucu, 2022)



Pratikte 4 adet basınç yönetimi metodunun olduğu bilinmektedir. Bunlar (1) Sabit Çıkışlı Basınç Yönetimi, (2) Zaman Ayarlı Basınç Yönetimi, (3) Debi Ayarlı Basınç Yönetimi ve (4) Kritik Nokta Ayarlı Basınç Yönetimi metotlarıdır (Koşucu ve Demirel, 2022). Sabit Çıkışlı Basınç Yönetimi, en yaygın kullanılan metottur. Bu metotta PRV çıkış basıncı, zamanın ve debinin değişmesine rağmen sabit bir değer olarak belirlenir.

İdarî Kayıpların Kontrolü

İdarî kayıplar, su dağıtım şebekelerindeki aboneler tarafından tüketilen ancak kayda geçirilemeyen veya eksik geçirilen su miktarı olarak nitelenebilir. Su idarelerinin azaltmak için en çok çaba harcadığı kayıplar fizikî kayıplardır ancak idarî su kayıplarını minimize etmek de su idarelerinin gelir kalemlerinde hatırı sayılır artışlara yol açabilir. Akdeniz ve Muhammetoğlu (2022), Türkiye'de idarî su kaybı oranı %20'nin üzerinde seyreden su idarelerinin bulunduğunu ortaya koymuştur.

Bu idarelerin idarî su kayıplarını azaltması, gelirlerinin artmasını sağlayacaktır. İdarî su kayıplarının sebepleri, aşağıda verilmiştir (Thornton ve ark., 2008).

- Abone sayaçlarının düşük ölçüm hassasiyeti
- Sayaç okuma hataları
- Veri işleme ve faturalandırma hataları
- İzinsiz (kaçak) su tüketimi.

İdarî kayıpların kontrolü için alınacak tedbirler yukarıdaki sebeplerin ortadan kalkmasını veya azaltılmasını sağlayacaktır. Akdeniz ve Muhammetoğlu (2022), idarî su kayıplarının etkin bir şekilde kontrol edilebilmesi için 6 maddelik bir faaliyet listesi önermiştir. Bu 6 maddeyi şu şekilde sıralayabiliriz:

1. Sayaç çaplarının uygun seçilmesi
2. Su tüketimi yüksek olan hastane, otel, avm, havuz vb. abonelerin uzaktan okunabilen sayaçlarla tüketim takibinin yapılması
3. Bütün abone sayaçlarının periyodik ve sistematik bir şekilde okunarak kontrol edilmesi
4. Sayaçların kurallara uygun şekilde monte edilerek ölçüm hatalarının engellenmesi
5. Paket su arıtma cihazı olan binalarda cihaz geri yıkama suyunun ölçülmesi
6. Eskimiş ve görevini ifa edemeyen abone sayaçlarının değiştirilmesi.

Bütün bunlara ilaveten abone sayaçlarını okuyan idare personelinin, idarî kayıpların kontrolünün sağlanması için eğitimler ve tecrübe aktarımı yoluyla, desteklenmesi de önem taşımaktadır. Ayrıca izinsiz su tüketimi olan bölgelerde abonelerin bilgi ve bilinç düzeyinin arttırılması ve şebeke suyunu izinsiz tüketenlere ağır müeyyideler uygulanması birer tedbir olarak düşünülebilir.

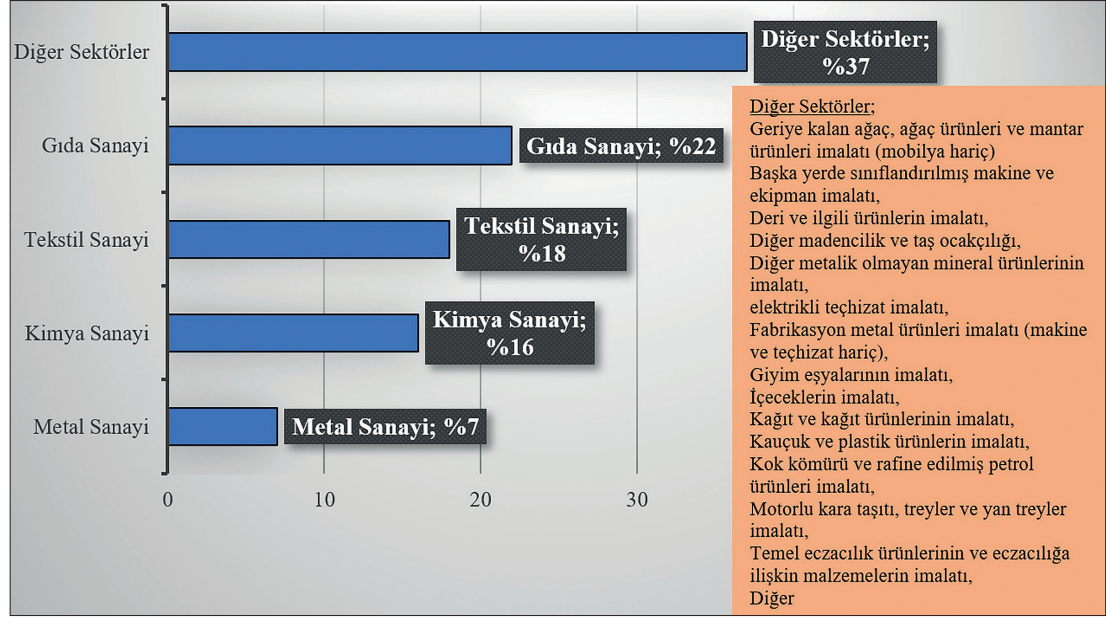
Sanayi Sektörü

Türkiye’de Sanayi Sektörlerinin Suya Bağımlılık Açısından Durumu

Türkiye’de endüstriyel su kullanımı verileri incelendiğinde en çok su kullanan sektör, %22’lik bir pay ile gıda sektörüdür. Gıda sektöründe su; soğutma, ısıtma, buhar üretimi, pastörizasyon dondurma gibi işlemlerde proses suyu amacıyla ve hatların yıkanması/durulanması gibi dezenfeksiyon amaçlı da kullanılmaktadır. Su kullanımının en fazla olduğu ikinci sektör ise tekstil sektörüdür. Toplam endüstriyel suyun %18’i tekstil sektöründe kullanılmaktadır (TOB, 2023). Endüstriyel su kullanımında üçüncü sırada yer alan sektör ise toplam endüstriyel suyun %16’sını kullanan kimya/kimyasalların ve kimyasal ürünlerin üretimi sektörüdür. Söz konusu üç sektörde kullanılan toplam su miktarı, endüstriyel amaçlı kullanılan toplam su miktarının %50’sinden fazlasını oluşturmaktadır. Su kullanım verilerine bakıldığında bu sektörler yakın diğer bir sektör ise, metal sanayi sektörüdür. Endüstriyel amaçlı kullanılan toplam suyun %7’si bu sektörde tüketilmektedir. Bahsi geçen dört sektör dışındaki diğer tüm sektörlerin su kullanımlarının toplamı, ülkemizde endüstriyel amaçlı kullanılan su miktarının %37’sine tekabül etmektedir (TOB, 2023). Ülke geneli en çok su kullanımına sahip 4 sektör ve diğerlerine ait toplam su kullanım dağılımları Şekil 11’de verilmektedir.

Şekil 11

Sektörlere Göre Kullanılan Su Miktarı Oranları (TOB, 2023)



SYGM Su Verimliliği Projesi

TOB, SYGM için io Çevre Çözümleri tarafından 2023 yılında tamamlanan proje *NACE Kodlarına Göre Endüstriyel Su Kullanım Verimliliği Projesi*'dir. Söz konusu proje ile NACE kodlarını ele alarak su tüketiminin yoğun olduğu sanayi tesislerinde, su kullanım verimliliğinin iyileştirilmesi için bir yol haritasının oluşturulmasını amaçlanmıştır. Projede tesis ziyaretleri yapılarak endüstrideki farklı alt sektörlerin su kullanımları ve atıksu miktarları belirlenmiş, kullanılan su miktarının azaltılması ve atıksu oluşumunun minimize edilmesine yönelik Mevcut En İyi Teknikler (MET'ler) ortaya konulmuştur. TOB SYGM için 2017-2021 yılları arasında 3 Pilot Havzada Nehir Havza Yönetim Planı Kapsamında hazırlanan *Ekonomik Analiz ve Su Verimliliği Çalışmaları için Teknik Yardım Projesi* (3 NHYP)'nde; Akarçay, Batı Akdeniz ve Yeşilirmak havzalarında endüstriyel su kullanım verimliliği kapsamlı olarak incelenmiştir. 3 NHYP'nin sonuçları da *NACE Kodlarına Göre Endüstriyel Su Kullanım Verimliliği Projesi*'ne eklenmiştir (TOB, 2021b).

NACE Kodlarına Göre Endüstriyel Su Kullanım Verimliliği Projesi kapsamında sektörlerdeki temsil edici nitelikteki tesislere saha ziyaretleri yapılmıştır. Söz konusu tesisler için su kaynakları, su kullanım noktaları, su kullanım miktarları, atıksu oluşum noktaları ve atıksu miktarları, su verimliliğine yönelik mevcut uygulamalar, su ve atıksu arıtma uygulamaları, proses bazlı su kullanımları, üretim kapasitesi ve ürün özellikleri gibi veriler toplanarak değerlendirmeler yapılmıştır. Tesis yetkilileri, teknik personel ve uzmanlara anket uygulaması yapılmış, su-atıksu kütle dengesi kurulmuş ve suların verimli kullanılması amacıyla MET listeleri hazırlanmıştır. Yapılan çalışma sonucunda, endüstriyel su kullanım verimliliğini sağlamak üzere ülkemizde teknik ve ekonomik olarak uygulanabilecek Sektörel MET rehber dokümanları hazırlanmıştır (Su Verimliliği, 2023).

TOB NACE kodlarına göre Endüstriyel Su Verimliliği Projesi kapsamında yürütülen çalışma sonuçlarına göre su tüketiminde en büyük paya sahip olan sektörlerden Gıda, Tekstil, Kimya ve Metal sektörlerini temsilen seçilen 3'er tesisteki özgül su kullanımlarının genel olarak AB Sektörel Temiz Üretim Teknolojileri (MET) normlarında verilen Referans/Rehber (AB, 2023) değerlerin alt limitleri civarında veya altında kalmaktadır (TOB, 2024). Söz konusu endüstrilerde; iç tesisat revizyonu, tasarrufu/sensörlü musluk ve aparatlar ile gri su geri kazanımı ve yağmur hasadı benzeri veya sektöre özel MET uygulamalarıyla %20-90 arasında ek su tasarrufunun mümkün olabileceği ortaya konmuştur (TOB, 2024; Su Verimliliği, 2023; Öztürk ve ark., 2024).

İstanbul'da Arıtılmış Kentsel Atıksulardan Sulama ve/veya Sanayi Proses Suyu Geri kazanım İmkanları

İSKİ'nin Paşaköy AAT çıkışında, geri kazanım amacıyla kurulmuş 100.000 m³/gün kapasiteli bir 3. Kademe Arıtma Tesisi (ME + Kum Filtre + UV Dezenfeksiyon) bulunmaktadır. Bu tesiste üretilen yüksek kaliteli sular, Tuzla OSB'ler bölgesi ile sahildeki Liman Tesislerine servis edilebilir durumdadır. İSKİ'nin Ataköy AAT çıkışında da 20.000 m³/gün kapasiteli geri kazanım amacıyla kurulmuş bir ME + MBR (+ Klorlama) tesisi bulunmaktadır. Bu tesis çıkışı da Yenibosna Bölgesi'ndeki sanayiler için (mor/turuncu şebeke tesisi ile) proses suyu olarak kullanılabilir. Aynı şekilde Ambarlı AAT çıkışında da geri kazanım amacıyla kurulan 25.000 m³/gün kapasiteli bir ME + Harici UF (+Klorlama) tesisi mevcuttur. Bu tesisin çıkış suları da inşa edilecek mor/turuncu şebeke üzerinden Ambarlı Bölgesi'ndeki sanayi tesislerine ulaştırılabilecek durumdadır. Türkiye'de Su Kanalizasyon İdarelerince geri dönüşüm sularına (AAT çıkış suları) uygulanan satış tarifeleri Tablo 3'te verilmiştir (Öztürk ve ark., 2024).

Tablo 3

İzmit, İstanbul ve İzmir'in Su Satış Bedelleri (Öztürk ve ark., 2024)

Abone Türü	Şehirlere göre Su Bedelleri (TL/m ³)		
	İSU-İzmit	İSKİ-İstanbul	İZSU-İzmir
Mesken	(0-12 m ³ arası) 13,671	1.Kademe (Konut Başına 0-15 m ³ /ay) 15,82	(0-10 barajlar m ³ /ay) 22,09
İşyeri	(0-20 m ³ arası) 23,985	1.Kademe (0-40 m ³ /ay) 41,43	(0-10 barajlar m ³ /ay) 44,18
Toptan Hamsu		6,16	
Sanayi ve Ortak Arıtma Tesisi Olan OSB	63,209	-	44,18
Geri Kazanım Suyu	(Sanayi ve Ortak Arıtma Tesisi Olan OSB) 10,232	2,14	(Endüstriyel Amaçlı Kullanım) 5,76

Tablo 3'ten görüldüğü üzere, 3 büyük şehrin su kanalizasyon idarelerinde, ileri biyolojik arıtma sonrası asgari ME + Kum Filtre + UV/Klor Dezenfeksiyonu uygulanmış geri dönüşüm sularına uygulanan tarife 2,14~10,232 TL/m³ (0,07~0,34 \$/m³) aralığında değişmektedir. Bu illerde geri dönüşüm suları belirtilen bedelle geri dönüşüm tesislerinden alınarak ihtiyaç noktalarında endüstriyel veya sulama maksadıyla kullanılabilir. İSKİ'nin Paşaköy AAT'de üretilen 100.000 m³/gün miktarındaki geri dönüşüm suyunun, ayrı bir boru hattı/şebekesi ile (mor şebeke) Tuzla OSB'leri ve sahildeki Tersane bölgesine verilme imkânı da bulunmaktadır.

Tarım Sektörü

Daha önce bölümlerde belirtildiği üzere Türkiye'deki 57 milyar m³'lük yıllık kullanılabilir su miktarının %77'si (44 milyar m³'ü) tarımda sulama amacıyla kullanılmaktadır. Ülkemizdeki takriben 6,5 milyon ha'lık mevcut sulu tarım alanı itibarı ile brüt ortalama su kullanımı $44 \times 10^9 / 6,8 \times 10^6 \cong 6790 \text{ m}^3/\text{ha.yıl}$ değerine karşı gelmekle birlikte sulama altyapısı bulunan ancak özellikle arazi toplulaştırılmasının tam olarak yapılamayışına bağlı çok fazla sayıda küçük tarlaların neredeyse yarısında sulu tarım yapılmadığı düşünüldüğünde, bu miktarın $> 10.000 \text{ m}^3/\text{ha.yıl}$ civarında gerçekleştiği söylenebilir.

Bitki su ihtiyacı; iklim, bitki deseni, toprak yapısı, topografya ve sulama sistemi gibi çok sayıda parametreye bağlı olarak belirlenmektedir. Bitki brüt su ihtiyacının tespitinde özellikle tarla/parsel içi uygulama randımanı (verimi) kritik önemdedir. Bitkiler tarafından kullanılan su hacminin (V_e), sulanan parselde ulaştırılan/verilen su hacmine (V_p) oranı olarak tarif edilen tarla içi uygulama randımanı (E_f),

$$E_f (\%) = [V_e (\text{m}^3/\text{yıl}) / V_p (\text{m}^3/\text{yıl})] \times 100$$

eşitliği ile verilir.

Tarlaya uygulanan/verilen su miktarının ihtiyacına yeter miktarda bitkiye ulaşması kullanılan sulama teknolojisine bağlı olup çiftlik randımanı (%) ile ifade edilir. Çeşitli sulama yöntemlerinin çiftlik randımanları Tablo 4'te verilmektedir.

Tablo 4

Farklı Sulama Yöntemlerinin Çiftlik Randımanları

Sulama Yöntemi	Çiftlik Randımanı (%)
<i>Yüzeysel sulama (salma sulaması)</i>	<i>50-60 (60)*</i>
<i>Yağmurlama sulaması</i>	<i>70-80 (75)*</i>
<i>Damla sulama</i>	<i>90-95 (95)*</i>
<i>*Tipik ortalama çiftlik randımanı</i>	

Tablo 4'teki tipik ortalama randıman/verim değerleri esas alınarak 1 ha'lık bir alandaki 10.000 m³/ha.yıl bitki su ihtiyacının karşılanabilmesi için parselde/tarlada uygulanması/verilmesi gereken su miktarları, çeşitli teknoloji seçenekleri için Tablo 5'teki gibi olur.

Tablo 5*Farklı Teknoloji Kullanım Seçenekleri için 10.000 m³/ha.yıl Bitki Su İhtiyacına Karşı Gelen Sulama Suyu Miktarları*

Sulama Yöntemi	Sulama Teknolojisi Kullanım Oranları (%)							
Yüzeysel Sulama	100	-	-	50	33	25	25	
Yağmurlama Sulama	-	100	-	25	33	50	25	
Damla Sulama	-	-	100	25	33	25	50	
Toplam Su miktarı (m³/ha.yıl)	16.667	13.333	10.526	14.291	13.374	13.471	12.763	

Tablo 5'teki verilere göre, örneğin %25 yüzeysel, %50 yağmurlama ve %25 damla sulama yapılan 1 ha'lık bir tarladaki, 10.000 m³/ha.yıl bitki su ihtiyacının karşılanabilmesi için 13.471 m³/ha.yıl sulama suyu (%100 yüzey sulamasına göre ~%20 daha az) verilmesi gerekecektir. Tablo 5'teki veriler, yağmurlama ve damla sulaması gibi modern kapalı (basınçlı) sulama teknolojileri kullanılarak sulama suyunun daha verimli ve etkin kullanılabileceğini göstermektedir. Toplam sulama suyu ihtiyacının tespitinde su kaynağı ile tarla arasındaki iletim kayıplarının da mutlaka dikkate alınması gerekecektir.

Havzadaki su potansiyeline uygun bitki deseni (suya göre tarım ilkesi) ve kapalı sulama teknolojileri ile daha etkin ve verimli sulama yapılarak sulama suyu ihtiyacında %20-30 (25)'e varan oranlarda su tasarrufu sağlanabilmektedir.

ABD'nin Kaliforniya eyaleti El Segundo'da kurulu Edward C. Little Su Geri dönüşüm/Yeniden Kullanım Tesis, 1995 yılından beri 5 farklı kullanım amacına uygun suyun üretildiği başarılı kanıtlanmış benzersiz bir uygulamadır (Walters ve ark., 2013). Bu tesiste Kaliforniya'nın kentsel atıksularının arıtıldığı Hyperion AAT'de saf oksijenle ikinci kademe biyolojik arıtma uygulanmış atıksuların belli bir kısmından, farklı kullanım amaçları için gerekli su kalitesini elde etmek üzere ilave 3. Kademe arıtma prosesleri uygulandıktan sonra, ikinci bir dağıtım şebekesi ile endüstriyel abonelere satılmaktadır. Ortalama 3. Kademe arıtılmış su üretim kapasitesi 132.500 m³/gün olan bu entegre geri dönüşüm tesisleri kompleksinde aşağıdaki miktar ve kalitelere geri dönüşüm suyu üretimi yapılmaktadır (Öztürk, ve ark., 2024).

Geri Dönüşüm Tesisleri ve şebeke ile birlikte toplam yatırım maliyeti 500 milyon \$'ı bulan bu proje ile, hanelerdeki temiz suyla sulama tarifesinin ~%60'ı civarındaki bir bedelle (0,45-0,60 \$/m³) kaliteli geri dönüşüm suyu sağlanmaktadır; kazan suyu satış bedeli ise 0,74-1,1 \$/m³ aralığındadır. Proje sayesinde Batı Kaliforniya'daki sanayi tesislerinin duraklığa bağlı su sıkıntısından etkilenmeleri önlenerek yerlerinde kalmaları sağlanmıştır. Kaliforniya Su İdaresi'nin, iklim dirençliliği için hedefi, bu proje ile bölge dışından sağlanan temiz su talebinin ~%50 oranında azaltılmasıdır.

Ekosistem Hizmetleri

Ekosistem hizmetleri genelde akarsu, göl ve göletler ile doğal/yapay sulak alanlardaki sucul hayatın korunması ve sürdürülebilirliği ile ilgili faaliyetleri kapsamaktadır. Dünyada en çok değişime ve tahribata uğramış ekosistemlerden biri akarsulardır. İnsan kaynaklı girişimler bu sistemlerde su kalitesinin azalmasına ve ekolojik habitatın bozulmasına sebep olmaktadır.

İklim değişikliği modellerinin öngördüğü yoğun kuraklık beklentileri, gelecekte havzalardaki aşırı yeraltı suyu kullanımlarının akiferlerdeki statik rezervlerin tükenmesine ve bu sebeple akarsu rejimlerinin değişmesine yol açacağını işaret etmektedir (Wu ve ark., 2020). Yapılan çalışmaların sonuçlarına göre, 2050 yılına dek yeraltı suyu çekiminden etkilenen havzaların %42-79'unda, akarsu akışının ekolojik sınırlara ulaşması öngörülmektedir (Graaf ve ark., 2019). Tüm dünyada iklim değişikliği, kuraklık ve nüfus artışı gibi sebeplerle akarsuların kalitesi ve debisinin artırılmasına dönük tedbirlerin alınması kaçınılmaz bir ihtiyaç halini almıştır.

İklim değişikliği ve antropojenik su tüketimine karşı su miktarını koruma amacıyla akarsularda gerçekleştirilen çalışmalardan biri de arıtılmış atıksuların akarsulara deşarjıdır. Atıksuların tarım ve peyzaj sulaması maksadıyla kullanımının yaygınlaşması ile nehir ekosistemlerinde ekolojik ihtiyaç debisi olarak atıksuyun yeniden kullanımına dair örnekler artmaktadır. Mevsimsel değişkenlikler, atıksuyun nehre karışmadan önce geçirdiği aşamalar ve özellikle kurak dönemlerdeki nehrin akış geçmişi gibi faktörler dikkate alınarak akarsular arıtılmış atıksular ile beslenebilmektedir. Buradaki temel amaç akarsuyun debisini sabit tutmak (düz bir hidrograf) değil, akarsuyun doğal akış rejimini değiştirmemek ve suya ihtiyaç duyan canlıları korumaktır (Luthy ve ark., 2015). Arıtılmış atıksuların akarsuya beslenmesiyle nehir taşkın yatağında bulunan canlıların korunması sayesinde canlı türlerinin devamlılığı sağlanır ve doğal akış durumu benzeştirilebilir (Bischel ve ark., 2013). Arıtılmış atıksuların akarsulara deşarjının; akarsuyun doğal akış şartlarına geri döndürülmesi, nesli tükenen türlerin devamlılığının sağlanması ve doğal koşullarda oluşmayacak yeni ekosistemler kurulması gibi faydaları olabilir (Wolfand ve ark., 2022). Kaliforniya'da bulunan doğal olarak kesikli akışa sahip Calera Deresi'nde, arıtılmış atıksuların ikame debisi olarak kullanılması ile sürekli akış hali oluşturulması ve bu durumun nesli tükenmekte olan ve nadir görülen türlerin artmasını sağlaması, söz konusu duruma örnek olarak gösterilebilir (Halaburka ve ark., 2013; Karpuzcu ve ark., 2024).

İleri biyolojik arıtma seviyesinde (besi maddesi giderimli aktif çamur sistemi (BNR) vb.) arıtma uygulanmış atıksuların yeniden kullanım/geri kazanım amaçlı ilave arıtma (Mikrofiltrasyon + Ozonlama + Granüler Aktif Karbon Filtrasyonu) ile öncelikli kirleticilerden de arıtıldıktan sonra, doğrudan ya da doğal ve/veya yapay sulak alanlar üzerinden, akarsulara çevresel akışı desteklemek üzere verilmesi; nehir göl ekosistemlerinin iklim değişikliği etkilerine karşı direncin arttırılması bakımından kritik önemdedir (Karpuzcu ve ark., 2024). Bu bağlamda, özellikle Baraj, HES ve Göletlerin mansabına gerekli çevresel akışın bırakılması ve sürekliliğin sağlanması uygulamadaki en önemli sorunlardan biri durumundadır. Havza temelli sektörel su tahsis planlamasında, söz konusu ekosistem hizmetleri su ihtiyaçlarının da küresel iklim değişikliği etkileri gözetilerek öncelikli olarak dikkate alınması büyük önem arz etmektedir.

Değerlendirme ve Öneriler

İklimle Bağlı Risk ve Tehlikeler

Atmosfer üzerindeki antropojenik etkiler, sanayi devrimi ile büyük oranda artmış ve yer yüzeyindeki ortalama sıcaklıklar yükselmiştir. IPCC'nin Ağustos 2021'de yayınladığı rapor incelendiğinde, dünya ortalama yüzey sıcaklığındaki artışın yaklaşık olarak 1,1°C'ye yükseldiği görülmektedir (IPCC, 2021). Dünya yüzeyindeki söz konusu sıcaklık artışının, buharlaşma ve yağış miktarının artmasına sebep olduğu görülmektedir ancak yağışlar ekstrem olaylar halinde meydana gelmekte olduğundan sel ve taşkın riski yükselmektedir.

Ekstrem iklim indisleri, literatürde aşırı hava olaylarının görülme sıklığı veya şiddetindeki değişimi tanımlamak için kullanılmaktadır. Tanımlanan bölge için belirli bir eşik değerin üzerindeki veya altındaki yağış ve sıcaklık değerlerinin ortalamadan farkı aşırı iklim olaylarını temsil etmektedir. Daha önce yapılmış olan çalışmalar göz önünde bulundurulduğunda, genel itibariyle en çok çalışılan tekil tehlikelerin kuraklık ve şiddetli yağış olduğu görülmektedir. İklim indisleri ile kuraklık, şiddetli yağış ve sel, sıcak hava dalgası, şiddetli rüzgâr ve orman yangını tehlikeleri belirlenip değerlendirilebilmektedir.

Ortalama sıcaklık artışı için uzun dönemli sıcaklık değişimi analizleri gerçekleştirilmektedir. Heyelan, su stresi ve deniz seviyesi yükselmesi gibi tehlikeler için gerçeği temsil eden bilgi ve veriler küresel kaynaklardan toplanarak sonuçlar değerlendirilebilmektedir.

İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi (OSİB, 2016a) kapsamında tüm Türkiye için 10 km çözünürlükte bölgesel iklim projeksiyonları elde edilmiştir. Söz konusu proje çıktıları iklim tehlikelerinin detaylarına dikkat çekmektedir. Söz konusu çalışma sonuçları incelendiğinde, ülkemiz için önemli olan iklim tehlikeleri Tablo 6'da verilmektedir. Tabloda gösterildiği üzere 9 iklim tehlikesinden 5'i (T2, T6, T7, T8 ve T9) su odaklıdır. Kalan 4 tehlike ise sıcaklık ve rüzgârdan kaynaklanmaktadır. Kuraklık, su ve gıda stresi küresel göç olaylarını tetikleyen en önemli tehlikeler arasında yer almaktadır.

Tablo 6
İklim Tehlikeleri

Tehlike Kodları	İklim Tehlikeleri
T1	Ortalama Sıcaklık Artışı
T2	Meteorolojik Kuraklık
T3	Şiddetli Rüzgârlar
T4	Sıcak Hava Dalgaları
T5	Orman Yangınları
T6	Şiddetli Yağışlar ve Sel
T7	Su stresi
T8	Heyelan
T9	Deniz suyu yükselmesi

Türkiye ve yakın çevresi ile ilgili olarak, son 10 yılda su havzaları ölçeğinde, yürütülen yüksek çözünürlüklü İklim Modellemesi ve Hidrolojik Modelleme çalışmaları ile, özellikle 2050-2100 döneminde, sıcaklıkların artacağı, yağışların azalacağı ve ülke toplam mavi su (akarsu akışları) ile yeşil su (toprak nemi) potansiyelinin, iyimser senaryolarla bile, %15-30'a varan oranlarda azalacağı öngörülmektedir (Tablo 1) (OSİB 2016a ve b; Öztürk ve ark., 2023; Şen, ve ark., 2024). Ayrıca deniz seviyesi yükselmesine bağlı sahil akiferlerinin tuzlanması, aşırı çekim sonucu mevcut akiferlerdeki statik rezervlerin kontrolsüz kullanımı ile sınır aşan havzalarda mansaba bırakılacak su miktarı ile ilgili hususlar da aynı kapsamda yönetilmesi gereken kritik sorunlardır. Bu durum İklim Değişikliği etkilerinin azaltımı ile gerekli uyum tedbirlerinde 4 temel sektörün her biri için suyun etkin, verimli ve yerinde kullanılarak kayıp/israfın önlenmesini zorunlu hale getirmektedir.

Sektörlere Özgü İklim Etkilerini Azaltım ve Uyum Önerileri

İçme Kullanma Suyu (Temini) Sektörü

Su sağlayan yüzeysel su kaynaklarında ortaya çıkması kaçınılmaz olan muhtemel su açığının giderilebilmesi/karşılanabilmesi için bilhassa büyükşehirlerde aşağıdaki seçenekler kullanılabilir:

Su Arzının Artırılması: İlave su kaynaklarının (varsa) planlanıp devreye alınması, mevcut depolama (baraj/gölet) kapasitelerinin artırılması.

Su Kayıp ve Kaçaklarının Azaltılması: Ülkemizde ortalama %30-35 aralığında değişen su şebekesindeki kayıplar; basınç denetimi, mikro bölgeleme, boru, yenileme vb. çözümlerle %10-15 aralığına çekilebilir. Söz konusu aralık dünya ölçeğinde makul limit olarak kabul edilmektedir. Bu şekilde kayıp kaçak azaltımı uygulaması ile mevcut su temin sistemi kapasitesinin ~%15- 20'sine karşı gelen miktarda ilave bir kaynak sağlanabilir, eldeki suyun daha etkin kullanılması ile en ucuz kaynak sağlanmış olur.

Daha Etkin Bir Talep Yönetimi: Bu kapsamda başlıca; evlerde tasarruflu armatür, sifon haznesi ve ev aletleri kullanımı, daha hassas sayaç kullanımı, tuvaletlerde gri su veya arıtılmış atıksu (mor şebeke) kullanımının teşviki, kentsel yeşil alan sulaması ve araç yıkamada arıtılmış atıksu kullanımı ile yeni geliştirilen/dönüştürülen bölgelerde ikili şebeke uygulamaları gibi seçenekler düşünülebilir. Bu sayede su talebinde %40'lara varan oranlarda azaltım sağlanabilmektedir.

Almanya'da 410 yataklı 4 yıldızlı bir otelde banyo, mutfak ve bulaşık sularının ayrılarak; mekanik elek + terfi istasyonu + batık MBR + arıtılmış su deposu ve terfi merkezi birimlerini içeren bir sistemde arıtıldıktan sonra gri su olarak WC, sifon suyu, çamaşır yıkama ve yeşil alan sulamasında kullanıldığı bir projede 4.861 €/yıl maliyetle, bina içi su tesisatı dönüşümü dahil ~4,5 yılda yatırımın geri kazanabildiği gösterilmiştir (Paris ve ark., 2007).

Kademeli Su Tarifesi Uygulaması: Medyan harcanabilir hane halkı gelirinin ~%2-2,5'ini aşmayan, tüketilen su miktarına göre artan kademeli ve sürdürülebilir bir su tarifesi uygulayarak kişi başına su tüketimi (özellikle orta ve düşük gelirli ailelerde) makul seviyelerde tutulabilir (Öztürk ve ark., 2020). Örneğin, kademeli tarife uygulanan İstanbul'da yıllık ortalama birim su tüketimi ~133 L/kişi.gün (4 kişilik bir hane için ~194 m³/yıl) seviyesinde tutulabilmektedir. Bu değer Avrupa Birliği (AB) büyükşehirlerindeki ortalamalar civarındadır.

Arıtılmış Atıksuların Geri Kazanımı: AAT'lerde ileri arıtma teknolojilerinin uygulanması neticesinde sulama suyu, sanayide kullanım suyu, tuvalet sifon suyu vb. gibi farklı alanlarda kullanılmak üzere su geri kazanımı mümkündür. AAT'lerden enerji, madde ve su geri kazanımının maksimum şekilde sağlanmasıyla AAT'ler atıksu rafinerilerine dönüştürülebilirler (Erşahin ve ark., 2022). Kentsel alanlardaki merkezi AAT çıkış sularına, gerektiğinde geri kazanım amaçlı ilave arıtma uygulayıp AKM, patojen mikroorganizmalar ve öncelikli kirleticileri de giderildikten sonra, ayrı (ikinci) şebeke üzerinden, yeşil alan sulaması, WC sifon suyu, araç yıkama, endüstriyel soğutma ve proses suyu olarak yeniden kullanımı ile içme suyu talebinde %30-40, endüstriyel proses/soğutma suyu talebinde ise %50-70 oranlarında tasarruf sağlanabilir. İçilebilir kalitede (A kalite) arıtılmış içme suyunun WC sifon, araç yıkama, yeşil alan sulama ve endüstriyel ihtiyaçlarda ikinci kalite (arıtılmış atıksu) yerine (B kalite su) kullanılması gerçek anlamda bir israf göstergesidir.

Su Arıtma Tesislerine Yeni Prosesler İlavesi: Küresel iklim değişikliği etkileri dolayısıyla özellikle yüzeysel kaynaklardan su temin edilen su arıtma tesisi (SAT) performansları ile çıkış suyu kalitesinde bozulma/kötüleşme (özellikle besi maddesi ve öncelikli kirletici artışı ile alg kaynaklı tat/koku problemi) beklenmektedir. Bu bağlamda mevcut tesislerin ek proseslerle (ozon veya perokson prosesi + toz ya da granüler aktif karbon uygulamaları, membran prosesleri ekleme vb.) desteklenmesi hatta bazı yerlerde deniz suyundan içme suyu temini seçeneğine gidilmesi gerekebilecektir.

Sanayi Sektörü

İklim değişikliği problemine yönelik azaltım ve uyum faaliyetlerinin sanayiciler tarafından dikkate alınması uygulamaların minimum sorunla gerçekleştirilmesi için büyük önem arz etmektedir. Su Verimliliği Seferberliği kapsamında Türkiye’de endüstriyel faaliyetler için su kullanımında verimliliğinin artırılması ve verimlilik tedbirlerinin yaygınlaştırılmasıyla sanayi sektöründe %50’ye varan oranlarda su geri kazanımı amaçlanmaktadır (Su Verimliliği, 2023).

Su Verimliliği Seferberliği bağlamında 2023-2033 yıllarını içeren Su Verimliliği ve Strateji Belgesi (Su Verimliliği, 2023), endüstriyel su verimliliği adına öne çıkan uyum süreci politika belgesidir. Bu belgede su kullanan tüm sektörlerde önümüzdeki 10 yıllık süreç için amaçlar belirtilmiş ve karşılaşılan sorunlara ayrıntılı olarak değinilmiştir.

Bahsi geçen uyum süreci politikaları haricinde Sanayi Sektörü’nde su kullanımı odaklı iklim değişikliği etkilerinin azaltılmasına yönelik planlama tavsiyeleri, İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesinin Uyum Politikaları bölümünde de bulunmaktadır (OSİB, 2016a). Bu bağlamda diğer ülkelerde incelenen sektörlerin kapsamı değerlendirilmiş olup ülkemiz için Tablo 7’deki 12 ana sektörün seçilmesinin uygun olduğu görüşüne varılmıştır.

Tablo 7

Uyum Faaliyetlerinin Sıralanabildiği ve Sektörel Analizlerin Yürütülebileceği Sektör Ayırmaları

1) Sağlık	7) Denizel Ortam ve Balıkçılık
2) Tarım, Gıda Güvenliği, Orman ve Biyoçeşitlilik	8) Turizm
3) Su Kaynakları	9) Sanayi–Ticaret ve Enerji
4) Altyapı (Bina, Ulaşım ve Enerji)	10) Araştırma ve Geliştirme
5) Üst Yapılar (Kentsel ve Havza Planlama, Bina ve Yerleşimler)	11) Bilgilendirme, Eğitim ve Öğretim
6) Kıyı Alanları	12) Finansman ve Sigorta

Tablo 7’de belirtilen sektörlerin seçiminde Türkiye’nin coğrafi özellikleri, konumu, çevresel sorunları, iklimsel özellikleri, arazi kullanımı, kentleşme düzeyi, teknik ve ekonomik gelişmişlik seviyesinin yanında, sosyo-ekonomik yapısı ile finansal gelişmişlik durumu da göz önünde bulundurulmuştur. Analizlere konu olan 9. Sektör Sanayi-Ticaret ve Enerji Sektörü’dür (OSİB, 2016a).

Sanayi sektöründe İklim Değişikliği'ne uyum faaliyetleri kapsamında alınacak başlıca tedbirler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Sanayi üretim süreçlerinde, AB Temiz Üretim Protokollerinin esas alınarak özgül su tüketiminin, öncelikle tesis içinde gerekli tedbirler alınmak suretiyle, mevcut en iyi teknoloji (MET) limitleriyle uyumlaştırılması;
- Özellikle yeraltı suyu kullanan suya bağımlı tekil endüstriler ve OSB'lerde, mevcut endüstriyel AAT ve/veya yakındaki kentsel AAT çıkış sularına entegre edilecek ek proseslerle, proses soğutma suyu talebinin > %50 oranında bu tür sulardan sağlanması;
- Geniş oturumlu ve çatı alanlı sanayi tesisleri ve OSB'lerde, Güneş Enerjisi üretimi ile entegre Yağmur Hasadı ve Gri Su Geri kazanımı uygulamalarının teşvik edilerek ham içme suyu talebinin düşürülmesi;
- Büyük OSB ve Kentsel AAT arıtma tesislerinin çıkış sularının, endüstride proses/soğutma WC sifon ve sulama suyu olarak kullanımını sağlayacak ilave arıtma ve su dağıtım şebekesi kurulum ve işletimi ile ilgili uygulanabilir yatırım ve işletme seçeneklerinin (Yap İşlet Devret, Yap İşlet vb.) teşviki mümkündür.
- Bu kapsamda, OSB Yönetimleri, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı ve Belediyelerin katılımıyla, dünyadaki iyi uygulamalar da dikkate alınarak, sürdürülebilir hizmet sağlama yapılanmaları oluşturulabilir.
- Proses/Soğutma suyu olarak, arıtılmış atıksu kullanılarak temiz su ayak izini küçültlen tekil endüstri ve OSB'lere AAT'de ucuz enerji teşviki uygulanması.
- Türkiye'de bazı alt sektörler (Gıda, İlaç vb.) hariç genel itibarı ile özellikle suya bağımlı alt sektörlerde, proses ve soğutma suyu olarak >%50 oranında geri kazanım amaçlı arıtılmış endüstriyel ve/veya kentsel atıksu kullanımının mümkün olduğu düşünülmektedir.

Tarım Sektörü

OSİB (TOB) Su Yönetimi Genel Müdürlüğü (SYGM) tarafından yürütülen "İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi" kapsamında tarım sektörü için önem arz eden en önemli 3 uyum faaliyeti; *İklim değişikliğine uygun ürün deseniyle üretim, verimli kapalı sulama tekniklerinin yaygınlaştırılması ve organik (ekolojik) tarımın teşviki* olarak belirlenmiş bulunmaktadır (OSİB, 2016b).

- "Suya göre Tarım" ilkesinin hayata geçirilmesi için tarım/su havzalarındaki bitki deseni; ilgili havzanın su potansiyeli ve tarıma tahsis edilebilecek su miktarı ile uyumlu olmak durumundadır. Bu bağlamda <300 mm/yıl yağış alan su fakiri havzalarda; mısır, şeker pancarı, yonca vb. yüksek su isteyen ürünlerin üretimi sınırlandırılıp katma değeri yüksek ve damla sulamaya uygun bitki desenine geçilerek çok su tüketen bitkilerin üretimi olabildiğince GAP projesine kaydırılmalıdır.
- Daha önce de belirtildiği üzere, zirai sulamada kapalı sulama tekniklerinin yaygınlaştırılması, sulama suyu talebini çok büyük ölçüde azaltılmaktadır. Türkiye'nin 8,5 milyon ha'lık sulanabilir tarım arazi varlığı bütününde > %70-75 oranında kapalı sulamaya geçip bitki ürün deseni, iklim ve havza su potansiyeli gözetilerek, iyi yönetilebildiği takdirde; sulama sektörünün halen %77 olan su kullanımının 10 puanlık düşüşle %67 (hatta %65) seviyesine çekilebileceği düşünülmektedir. *Bunun başarılabilmesi için ürün destek mekanizmalarının yere özgü ürün deseni ile uyumlulaştırılması, kapalı sistem sulama şebekesi yatırımlarına düşük faizli kredi temini büyük ölçekli mekanize tarım işletmelerinin teşviki ve sulama suyunun mutlaka sayaçla ölçülerek makul tarifelerle ücretlendirilmesi gibi teknik ve ekonomik araçların etkin şekilde kullanılması gerekmektedir.*

- İklim, toprak yapısı ve üretim imkanlarının müsait olduğu, bilhassa büyük tüketim merkezlerine yakın ve/veya bağlantı yolları üzerindeki yerleşimlerde; organik/ekolojik tarımın eko turizmle de desteklenerek geliştirilmesi ve teşviki büyük önem taşımaktadır. Türkiye'nin organik tarım potansiyeli çok büyük olmakla birlikte henüz bu potansiyelin çok azından gerektiği gibi yararlanılabildiği düşünülmektedir. Bu kapsamda özellikle Adapazarı (Sakarya) Düzce organik tarım koridorunun çok büyük potansiyeli bulunmaktadır.
- Tarımda dolaylı su israfıyla ilgili çok önemli bir diğer sorun da gıda ürünleri israfıdır. UNEP 2024 Gıda İsrafı Endeksi Raporu verilerine göre, Dünya'da üretilen gıdanın %13'ü hasat (tarla) – satış noktası arasında, %19'u ise perakende (%12), gıda hizmeti (%28) ve haneler (%60) düzeyinde kaybedilmektedir. *Bu şekilde tarla – sofraya gıda kaybı %32 (~1/3)'ye ulaşmaktadır. Gıda kaybı aynı zamanda bu gıdanın üretiminde kullanılan suyun da kaybı/ israfı demektir. Gıda kaybı ve israfı dolayısıyla çöpe giden gıda atıklarının vahşi ve düzenli atık depolama alanlarında kontrolsüz olarak çürümesi sonucu atmosfere depo gazı ile salınan CH_4 + CO_2 miktarı, küresel sera gazı emisyonunun ~ %10'u olarak tahmin edilmektedir (UNEP, 2024).*
- Sınıraşan havzalarda mansaba bırakılacak su miktarının, iklim değişikliği etkileri dikkate alınarak, gözden geçirilmesi; mansaptaki ülkelere kapalı sulama ile katma değeri yüksek (damla sulamaya uygun) ürünlere geçiş konularında uzman ve teknoloji desteği sağlanmalıdır.
- Su potansiyelinin etkin ve verimli kullanımındaki çok önemli hususlardan biri de tarım ürünlerinde gömülü suyun (sanal su) bileşenleri (mavi, yeşil ve gri su) ile havza su potansiyeli arasındaki ilişkinin sürdürülebilir kılınmasıdır. Bu bağlamda, havza su potansiyelinin; iklim, bitki deseni ve su ayak izi bileşenleri gözetilerek optimize edilmesi mavi su ayak izi yüksek bitkilerin havzalar arası dağılımında dikkatli olunması kritik önemdedir.

Ekosistem Hizmetleri Sektörü

Ekosistem Hizmetleri Sektörü'nde, İklim Değişikliği Etkileri'ne bağlı olarak maruz kalınan ve giderek şiddeti artacak tehlike, Baraj, Gölet ve küçük HES tesislerinden mansaba yeterli miktarda, mevsimlik doğal akış rejimiyle uyumlu, çevresel akış (ekolojik ihtiyaç debisi) bırakılmayıdır. Akarsu, göl ve sulak alanlardaki sucül ekosistemin korunup sürdürülebilirliğinin sağlanması bakımından her geçen gün daha da önemli hale gelen bu sorunun, çok iyi seviyede arıtılmış kentsel ve endüstriyel atıksu deşarjlarıyla ikame debi sağlanarak önemli ölçüde aşılabileceği düşünülmektedir (Karpuzcu ve ark., 2024). Bu bağlamda, *Nehir Havzası Yönetim Planları'nda, ekosistem servisleri sektörü için tahsis edilen su miktarının korunması ile ilgili teknik, idari, hukuki ve ekonomik araçların etkinleştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu husus biyoçeşitliliğin korunması bakımından da kritik önemdedir.*

Kaynaklar / References

- Akdeniz, T. ve Muhammetoğlu, H. (2022). Türkiye’de kentsel su dağıtım şebekelerinde idari su kayıplarının değerlendirilmesi. *İTÜ Çevre, İklim ve Sürdürülebilirlik*, 24(1), 1–6.
- Bischel, H. N., Lawrence, J. E., Halaburka, B. J., Plumlee, M. H., Bawazir, A. S., King, J. P., ... Luthy, R. G. (2013). Renewing urban streams with recycled water for streamflow augmentation: Hydrologic, water quality, and ecosystem services management. *Environmental Engineering Science*, 30(8), 455-479. <https://doi.org/10.1089/ees.2012.0201>
- Coşkun Dilcan, Ç., Çapar, C., Korkmaz, A., İritiş, Ö., Karaaslan, Y. ve Selek, B. (2018). İçme suyu şebekelerinde görülen su kayıplarının dünyada ve ülkemizdeki durumu. *Anahtar Dergisi*, 354, 10–18.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (ÇŞB). (2021). Türkiye’de iklim değişikliğine uyum eyleminin güçlendirilmesi projesi, TR2017 ESOP MI A3 04, Türkiye’de iklim değişikliğine uyum çalışmaları. Ankara, s. 283. https://iklimeuyum.org/dokumanlar/Turkiyede_Iklim_Degisikligine_Uyum_Calismalari.pdf Erişim Tarihi: 1 Mayıs 2024.
- Çevre ve Şehircilik İklim Değişikliği Bakanlığı (ÇŞİDB). (2018). Sıfır atık, çevresel göstergeler: Su kullanımı. <https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/su-kullanimi-i-85738> Erişim Tarihi: 1 Mayıs 2024.
- Erşahin, M. E., Güven, H. ve Öztürk, İ. (2022). *Atıksu Arıtma Tesisinden Atıksu Rafinerisine*. M. Bulut ve C. Korkut (Eds). *Döngüsel Ekonomi ve Sürdürülebilir Hayat* (s. 385-410). Türkiye Bilimler Akademisi Yayınları.
- Graaf, I. E. M. de, Gleeson, T., van Beek, L. P. H. R., Sutanudjaja, E. H. ve Bierkens, M. F. P. (2019). Environmental flow limits to global groundwater pumping. *Nature*, 574(7776), 90-94. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1594-4>
- Hakyemez, C. (2019). Su: Yeni Elmas, TSKB Tematik Bakış. https://www.tskb.com.tr/i/assets/document/pdf/TSKBBAkis_SUYeniElmas_Subat2019.pdf adresinden alındı. Erişim Tarihi: 01.05.2024
- Halaburka, B. J., Lawrence, J. E., Bischel, H. N., Hsiao, J., Plumlee, M. H., Resh, V. H., ... Luthy, R. G. (2013). Economic and ecological costs and benefits of streamflow augmentation using recycled water in a California coastal stream. *Environmental Science & Technology*, 47(19), 10735-10743. <https://doi.org/10.1021/es305011z>
- Hamilton, S. ve McKenzie, R. (2014). *Water Management and Water Loss*. IWA Publishing.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC.
- İSKİ. (2024), *Standart Su Dengesi Formu 2023*, <https://iski.istanbul/kurumsal/stratejik-yonetim/su-kayiplari-yillik-raporlari/> Erişim Tarihi: 23.04.2024.
- Karpuzcu, M. E., Doğan, F. N. ve Öztürk İ. (2024). Arıtılmış Atıksuların Çevresel Akış için İkame Amaçlı Kullanımı: Tampon Bölge olarak Yapay Sulak Alanların Rolü, *Çevre, İklim ve Sürdürülebilirlik*, 24(1), 15-22.

- Kıran, S. (2022). Sürdürülebilir Su Kayıpları Yönetimi - İstanbul. 6. Su Kayıpları Forumu ve Sergisi.
- Koşucu, M. M. (2022). *Su Dağıtım Şebekelerinde En Uygun Basınç Yönetimi Metodunun Belirlenmesi*. [Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi].
- Koşucu, M. M. ve Demirel, M. C. (2022). Smart pressure management extension for EPANET: source code enhancement with a dynamic pressure reducing valve model. *Journal of Hydroinformatics*, 24(3), 642–658. <https://doi.org/10.2166/hydro.2022.172>
- Lambert, A. O., Brown, T. G., Takizawa, M. ve Weimer, D. (1999). A review of performance indicators for real losses from water supply systems. *Journal of Water Supply: Research and Technology - AQUA*, 48(6), 227–237. <https://doi.org/10.2166/aqua.1999.0025>
- Luthy, R. G., Sedlak, D. L., Plumlee, M. H., Austin, D. ve Resh, V. H. (2015). Wastewater-effluent-dominated streams as ecosystem-management tools in a drier climate. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 13(9), 477–485. <https://doi.org/10.1890/150038>.
- McKenzie, R., Seago, C. ve Lamberger, R. (2007). Benchmarking of Losses from Potable Water Reticulation Systems - Results from IWA Task Team. In V. Ciomos, E. Demetrescu, S. Lacatasu ve R. Horac Bubuianu (Eds.), *IWA International Specialized Conference Water Loss 2007* (s. 161–175). IWA Specialist Groups.
- Muhammetoğlu, H. ve Muhammetoğlu, A. (2017). İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü El Kitabı. T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü.
- Ofwat. (2022). Leakage in the water industry. https://www.ofwat.gov.uk/leakage-in-the-water-industry/#_ftn1 Erişim Tarihi: 23 Nisan 2024.
- OSİB (2016a). İklim Değişikliğinin Su Kaynakları Üzerindeki Etkileri Projesi. T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü.
- OSİB (2016b). İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi, Proje Nihai Raporu Ek 2 – İklim Değişikliği Projeksiyonları, T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü.
- Ozturk, I., Gurel M. and Erturk A. (2013). Effects of Climate Change on Water Resources in Turkey, AASSA Regional Workshop, 19-22 August 2013, Barnaul, Russia.
- Ozturk, I., Uyak, V., Cakmakci, M. ve Akca, L. (2007). Dimension of Water Loss Through Distribution System and Reduction Methods in Turkey. In *International Congress on River Management*. Antalya.
- Öztürk, İ., Kınacı, C., Ateş Genceli, E., Özgün, H., Cüceloğlu, G., Çiçekalan, B. ve Özababalı Sabuncu, A. (2020). *Çevre Ekonomisi Tam Maliyet Esaslı Tarife Hesabı (el kitabı)*. TBB Yayınları.
- Öztürk, İ., Cüceloğlu, G. ve Deneri, E.Z. (2023). Yerel Yönetimlerin Su Planlamasında İklim Değişiminin Rolü. M. E. Aydın ve A. D. Şahin (Eds.), *İklim Değişimi Çerçevesinde Su Kaynaklarının Mevcut Durumu ve Geleceği*. Türkiye Bilimler Akademisi Yayınları. <https://doi.org/10.53478/TUBA.978-625-8352-56-6.ch09>.
- Öztürk, İ., Tanık, A. G., Germirli Babuna, F., Şen, Ö. L., İnsel, G., Akca, L., Erşahin, M. E., Cüceloğlu, G., Türken, T., Deneri, E. Z., Övez, S. S. ve Delibaş, C. (2024). *Türkiye ve İstanbul Özelinde Su-Atıksu Yönetimi ve Politikaları Projesi, Sanayi Odaklı İklim Duyarlı Bütüncül Su-Atıksu Yönetimi Nihai Raporu*. İstanbul Sanayi Odası (İSO).

- Paris, S., Bischof, F. ve Huber, H. (2007). *Reuse of Treated Wastewater*. Proocedings of 10th German Japanese Workshop in Berlin, October 2006.
- Prescott, S. L. ve Ulanicki, B. (2003). Dynamic Modeling of Pressure Reducing Valves. *Journal of Hydraulic Engineering*, 129(10), 804–812. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(2003\)129:10\(804\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(2003)129:10(804))
- Roland Berger GmbH. (2023). *Water sobriety, alternative sources and circular models*. Brüksel.
- Sen, O. L. (2013). A holistic view of climate change and its impacts in Turkey. *Mercator-IPC Fellowship Report*. https://www.researchgate.net/profile/Omer-Sen/publication/360081804_A_Holistic_View_of_Climate_Change_and_its_Impacts_in_Turkey/links/62613418bca601538b5c7be1/A-Holistic-View-of-Climate-Change-and-its-Impacts-in-Turkey.pdf adresinden alınmıştır. Erişim Tarihi: 01.05.2024
- Su Verimliliği (2023). Değişen İklim Uyum Çerçevesinde Su Verimliliği Strateji Belgesi ve Eylem Planı (2020-2033), T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Su Verimliliği Seferberliği, Ankara, 80 s.
- SUEN. (2022). Büyükşehir Su ve Kanalizasyon İdareleri Arasında Mukayeseli Performans Değerlendirmesi. Türkiye Su Enstitüsü.
- Şen, Ö.L., Cüceloğlu, G., Öztürk, İ. ve Deneri, E.Z. (2024). *Türkiye ve İstanbul Özelinde Su-Atıksu Yönetimi ve Politikaları Projesi, İklim Değişikliğinin Türkiye ve İstanbul'un Su Kaynaklarına Etkisi*. İstanbul Sanayi Odası (İSO).
- TAGEM (2021). Tarımsal sulama sektör politika belgesi (2021-2025). T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politika Geliştirme Genel Müdürlüğü (TAGEM), Ar-ge İnovasyon.
- TBMM (2021). Küresel İklim Değişikliğinin etkilerinin en aza İndirilmesi, Kuraklıkla Mücadele ve Su Kaynaklarının Verimli Kullanılması için alınması gereken Tedbirlerin belirlenmesi amacıyla kurulan Meclis Araştırma Komisyonu Raporu, Sıra Sayısı: 300, Yasama Dönemi: 27, Yasama Yılı:5 Kanunlar ve Kararlar Başkanlığı, TBMM. http://www.tbmm.gov.tr/develop/owa/sirasayi_sd.sorgu_baslangic
- Tarım ve Orman Bakanlığı (TOB) (2020). İklim Değişikliği ve Uyum, T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Taşkın ve Kuraklık Yönetimi Daire Başkanlığı, (s. 220).
- Tarım ve Orman Bakanlığı (TOB) (2021a). Tarım Sektöründe Su Verimliliğine İlişkin Metodolojik Rehber.
- Tarım ve Orman Bakanlığı (TOB) (2021b). 3 Pilot Havzada Nehir Havza Yönetim Planları Kapsamında Ekonomik Analizler ve Su Verimliliği Çalışmaları için Teknik Destek Projesi (NHYP) AB Teknik Yardım Projesi, Técnica y Proyectos S.A. (TYPESA) danışmanlığında, T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı ve Su Yönetimi Genel Müdürlüğü için.
- Tarım ve Orman Bakanlığı (TOB). (2023). Değişen İklim Uyum Çerçevesinde Su Verimliliği Strateji Belgesi ve Eylem Planı, 2023 – 2033; <https://www.suverimliliği.gov.tr/yayinlar/#endustriyel-su-verimliliği> adresinden alınmıştır. Erişim Tarihi: 01.05.2024
- Tarım ve Orman Bakanlığı (TOB) (2024). NACE Kodlarına göre Endüstriyel Su Kullanım Verimliliği Projesi Kimya, Metal, Tekstil, Gıda Sektörleri Sunumları, Su Verimliliği Seferberliği Sanayi-Su Buluşması, 2 Şubat 2024, Kocaeli Kongre Merkezi.

- Thornton, J., Sturm, R. ve Kunkel, G. (2008). *Water Loss Control* (2nd ed.). McGraw-Hill. <https://doi.org/10.1036/0071499180>
- UN (2019). UN World Water Development Report 2021: Valuing Water. UN-Water. <https://www.unesco.org/reports/wwdr/2021/en/download-report>
- UNEP (2024). Food Waste Index Report, https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/45230/food_waste_index_report_2024.pdf?sequence=5&isAllowed=y
- URL-1. <https://www.suverimiligi.gov.tr/> adresinden alınmıştır. Erişim Tarihi: 01.05.2024
- Walters, J., Oelker, G. ve Lazarova, V. (2013). Producing designer recycled water tailored to customer needs, *Milestones in Water Reuse*. IWA Publishing.
- Wolfand, J. M., Taniguchi-Quan, K. T., Abdi, R., Gallo, E., Irving, K., Philippus, D., Rogers, J. B., Stein, E. D. ve Hogue, T. S. (2022). Balancing water reuse and ecological support goals in an effluent-dominated river. *Journal of Hydrology X*, 15, 100124. <https://doi.org/10.1016/j.hydroa.2022.100124>
- Wu, W.-Y., Lo, M.-H., Wada, Y., Famiglietti, J. S., Reager, J. T., Yeh, P. J.-F., Ducharne, A. ve Yang, Z.-L. (2020). Divergent effects of climate change on future groundwater availability in key mid-latitude aquifers. *Nature Communications*, 11(1), 3710. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-17581-y>.

Yazarlar Hakkında / About Authors

Prof. Dr. İzzet ÖZTÜRK | TÜBA Şeref Üyesi | İstanbul Teknik Üniversitesi
ozturkiz[at]itu.edu.tr | ORCID: 0000-0002-8274-5326

İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) İnşaat Fakültesi'nden 1976 yılında mezun oldu. 1978 yılında İTÜ Çevre Bilimleri ve Teknolojisi Anabilim Dalı'nda asistan olarak göreve başladı. İTÜ Çevre Mühendisliği Bölümü'nden, 1979 yılında Yüksek İnşaat ve Çevre Mühendisliği ve 1982 yılında Doktora derecelerini aldı. 1982-1984 yılları arasında İngiltere Newcastle Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde doktora sonrası araştırmalarda bulundu. 1994 yılında TÜBİTAK Bilimsel Araştırma ve Teşvik ödülüne layık görüldü, ardından aynı yıl İTÜ Çevre Mühendisliği Bölümü'nde Profesörlük kadrosuna atandı. Su ve atıksu arıtımı, bütünleşik su havzaları yönetimi, entegre katı atık yönetimi ve iklim değişiminin su kaynaklarına etkileri alanlarında uluslararası düzeyde uzmanlığı olan Öztürk'ün, ağırlıklı olarak uluslararası olmak üzere 350'den fazla bilimsel yayını, 17 kitabı ve çok sayıda araştırma/uygulama projesi raporu bulunmaktadır. Öztürk, Türkiye Bilimler Akademisi şeref üyesi ve İTÜ Yönetim Kurulu üyesidir. Bir dönem TÜBİTAK KAMAG GYK ve TÜBİTAK Bilim Kurulu üyelikleri de yapan Öztürk, 2015-2020 döneminde İSKİ Yönetim Kurulu üyeliği görevi yapmıştır.

Prof. Dr. İzzet ÖZTÜRK | TÜBA Honorary Member | Istanbul Technical University
ozturkiz[at]itu.edu.tr | ORCID: 0000-0002-8274-5326

He is graduated Istanbul Technical University (ITU) Civil Engineering Faculty in 1976. Afterwards, he attended ITU Environmental Sciences and Technology Division in 1978 as an Assistant. He received Environmental and Civil Engineering M.Sc. degrees in 1979, and Ph.D. degree in 1982 at ITU Environmental Engineering Department. During 1982-1984, he completed post-doctoral studies at the Newcastle University Environmental Engineering Department in UK. He achieved TR TUBİTAK's Scientific Research and Encouragement award in 1994, then he was enrolled as a Professor in ITU Environmental Engineering Department. He has international expertise in the fields of water and wastewater treatment, integrated watershed management, integrated solid waste management, effects of climate change on water resources, anaerobic digestion, and industrial pollution control. He withholds more than 350 scientific publications, 17 books, and many research/implementation Project reports mainly with international reputation. Öztürk is an honorary member of the Turkish Academy of Sciences (TÜBA), a member of International Water Association (IWA), and a member of ITU Administrative Committee. Prof. Öztürk, who was a member of TÜBİTAK KAMAG (Public Research Group), and a member of Science Board of TUBİTAK for a while, was a member of İSKİ Board of Management between 2015-2020.

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Melih KOŞUCU | İstanbul Teknik Üniversitesi
koşucu[at]itu.edu.tr | ORCID: 0000-0001-5907-6964

Pertevniyal Lisesi'nden 2007'de, İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden 2012'de mezun oldu. Askerlik görevini yerine getirmesinin ardından 2014'te İTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak göreve başladı. İTÜ İnşaat Mühendisliği'ne bağlı olan Hidrolik ve Su Kaynakları Mühendisliği Lisansüstü Programı'ndan 2016'da yüksek lisans, 2022'de doktora derecelerini aldı. 2019'da su kayıplarıyla mücadele edilmesinde önde gelen yöntemlerden olan gerçek zamanlı basınç yönetiminin hidrolik modelini kurarak 1. Su Yönetimi Ödülü'nü almaya layık görüldü. Mayıs 2023 itibarıyla İTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde öğretim üyesi olarak görev yapmaya başlayan Koşucu, su dağıtım sistemlerinin hidroliği, basınç yönetimi, fizikî su kayıplarının kontrolü, hidrolik modelleme ve baraj hidromekaniki konularında çalışmalar yürütmektedir. Halen lisans düzeyinde Akışkanlar Mekaniği, Hidrolik, Su Kaynakları ve Barajlar derslerini vermektedir.

Asst. Prof. Dr. Mehmet Melih KOŞUCU | Istanbul Technical University
koşucu[at]itu.edu.tr | ORCID: 0000-0001-5907-6964

He graduated from Pertevniyal High School in 2007 and Istanbul Technical University (ITU) Faculty of Civil Engineering, Department of Civil Engineering in 2012. After completing his military service, he started working as a research assistant at ITU Civil Engineering Department in 2014. He received his master's degree in 2016 and his PhD degree in 2022 from the Hydraulic and Water Resources Engineering Graduate Program, which is affiliated to ITU Civil Engineering. In 2019, he was awarded the 1st Water Management Award by establishing the hydraulic model of real-time pressure management, one of the leading methods to combat water losses. Koşucu, who started to work as a faculty member at ITU Civil Engineering Department as of May 2023, conducts studies on hydraulics of water distribution systems, pressure management, control of physical water losses, hydraulic modeling and dam hydromechanics. He is currently teaching Fluid Mechanics, Hydraulics, Water Resources and Dams courses at undergraduate level.

Arş. Gör. Elif Zeynep DENERİ | İstanbul Teknik Üniversitesi
deneri[at]itu.edu.tr | ORCID: 0000-0001-7190-737X

İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) Çevre Mühendisliği Bölümü'nden 2017 yılında mezun oldu. İTÜ Çevre Bilimleri, Mühendisliği ve Yönetimi programında eğitim gördü ve "Demiryollarından Kaynaklanan Çevresel Gürültünün İncelenmesi ve Değerlendirilmesi: Marmaray Örneği" başlıklı yüksek lisans tezini 2022 yılında tamamladı. 2022'nin şubat ayından bu yana İTÜ Çevre Mühendisliği Birimi'nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmakta ve İTÜ Çevre Bilimleri, Mühendisliği ve Yönetimi programında doktora eğitimine devam etmektedir.

Res. Asst. Elif Zeynep DENERİ | Istanbul Technical University
deneri[at]itu.edu.tr | ORCID: 0000-0001-7190-737X

She graduated from Istanbul Technical University (ITU) Environmental Engineering Department in 2017. She was educated in ITU Environmental Sciences, Engineering and Management program and completed her master's thesis titled "Investigation and Assessment of Environmental Noise arising from Railways: The case of Marmaray" in 2022. She has been working as a Research Assistant at ITU Environmental Engineering Department since February 2022 and continues her doctorate education in ITU Environmental Sciences, Engineering and Management program.

