



İSTANBUL
SANAYİ ODASI



İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ ve SU YÖNETİMİ: Sanayi Sektörü Raporu



İSTANBUL
SANAYİ ODASI



Proje Ekibi

Prof. Dr. İzzet Öztürk (Koordinatör)
Prof. Dr. Ayşe Gül Tanık
Prof. Dr. Fatoş Germirli Babuna
Prof. Dr. Ömer Lütfi Şen
Prof. Dr. Güçlü İnel
Prof. Dr. Lütfi Akca (SUEN)
Doç. Dr. Mustafa Evren Erşahin
Dr. Öğr. Üyesi Gökhan Cüceloğlu (GTÜ)
Dr. Öğr. Üyesi Türker Türken
Araş. Gör. Elif Zeynep Deneri
Araş. Gör. Serra Selin Övez
Araş. Gör. Cansu Delibaş

İstanbul Sanayi Odası (İSO) Ekibi

Burçin Değirmencioğlu
Erbil Büyükbay
Özlem Ercan
Özge Güven

© 2024, İSO

Tüm hakları saklıdır. Bu eserin tamamı ya da bir bölümü, 4110 sayılı Yasa ile değişik 5846 sayılı FSEK.'nu uyarınca, kullanılmazdan önce hak sahibinden 52. Maddeye uygun yazılı izin alınmadıkça, hiçbir şekil ve yöntemle işlenmek, çoğaltılmak, çoğaltılmış nüshaları yayılmak, satılmak, kiralanmak, ödünç verilme, temsil edilmek, sunulmak, telli/telsiz ya da başka teknik, sayısal ve/veya elektronik yöntemlerle iletilmek suretiyle kullanılamaz.

Rapor Tasarım: Sonntag Agency
2024

ISBN: 978-625-6720-07-7 (Elektronik)

Meşrutiyet Cad. No:63, 34430 Beyoğlu/İSTANBUL
Telefon: (0212) 252 29 00 (Pbx) Faks: (0212) 249 50 84 - 293 43 98
cevre@iso.org.tr

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ ve SU YÖNETİMİ: Sanayi Sektörü Raporu

2024

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	08
KISALTMALAR	12
TABLO LİSTESİ	14
ŞEKİL LİSTESİ	16
YÖNETİCİ ÖZETİ	20
1 GİRİŞ	30
2 İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN TÜRKİYE'NİN SU KAYNAKLARI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ	32
2.1 İklim Değişikliğinin Türkiye'nin Yakın Çevresindeki Etkileri	32
2.2 Türkiye için İklim ve Hidrolojik Modelleme Projeksiyonları	37
2.2.1 İklim Modellemesi Projeksiyonları ve Sonuçları	37
2.2.2 Hidrolojik Modelleme Projeksiyonları	48
2.3 Marmara Havzası'ndaki Muhtemel Etkiler	59
2.4 İstanbul ile İlişkili Nehir Havzaları ve Alt Havzalar için İklim Modellemesi ve Hidrolojik Modelleme Projeksiyonları	61
2.4.1 Hidrolojik Modelleme Çalışmasının Amacı	62
2.4.2 İstanbul'a Su Temin Edilen Yüzeysel Su Kaynakları	62
2.4.3 Hidrolojik Model Projeksiyonları	64
3 TÜRKİYE VE İSTANBUL'DA SEKTÖREL SU KULLANIMI	72
3.1 Türkiye'de Sektörel Su Kullanımı	72
3.1.1 Su Kullanımında Ülke Önceliklendirmesi ile Yönetiminde Kurumsal ve Hukuki Çerçeve	72
3.1.2 Suya Bağımlı Sektörlerle İlgili Güncel Durum Değerlendirmesi	78
3.1.3 Türkiye'de Geleceğe Dönük Sektörel Su Kullanım Stratejileri ile İlgili Çalışmalar	81
3.1.4 Sektörel Dağılımlar Işığında Suyun Etkin ve Verimli Kullanımı, Tesis ve Bina İçi Geri Kullanım Olanakları	86
3.1.5 Sektörel Bazda Su-Katma Değer İlişkisi, Üretimin, Tüketimin, İthalat ve İhracatın Su Ayakizi	91
3.2 İstanbul'da Sektörel Su Kullanımı	101
3.2.1 İstanbul'un Su Havzaları, Nüfus Gelişimi ve Arazi Kullanımı	101
3.2.2 İstanbul'un Su Kaynakları ve Dağılımı	104
3.2.3 Sektörel Su Kullanımları ve Tahsisler	106
3.3 İstanbul'un 2023-2053 Dönemi Nüfus Projeksiyonu ve Su İhtiyacı	110
3.4 İstanbul'da Sanayi Sektörünün Su Talebi ile Atıksu Debi ve Kirlilik Yükleri	115

3.5 İstanbul'da Sanayi İçin Alternatif (B Kalite) Proses Suyu Temin İmkanları	118
3.6 İstanbul'da Su Arz Güvenliğini İklim Değişikliğine Dirençli Hale Getirici Faaliyetler	121
3.6.1 Su Arzını Artırıcı Seçenekler	121
3.6.2 Su Talebini Azaltıcı Seçenekler	122
4 SANAYİDE TEMİZ ÜRETİM VE İLERİ ARITMA TEKNOLOJİLERİ	124
4.1 Suya Bağımlı Sektörlerin Dağılımı	124
4.1.1 Türkiye'de Suya Bağımlı Sanayi Sektörlerinin Dağılımı	124
4.1.2 İstanbul'da Suya Bağımlı Sanayi Sektörlerinin Dağılımı	126
4.2 Güncel Atıksu Arıtma Teknolojileri	129
4.2.1 Kentsel Atıksulardan Endüstriyel Su Geri Kazanımı Esasları	129
4.2.2 Kentsel Atıksular için Su Geri Kazanım Sistemi Seçimi	133
4.2.3 Organize Sanayi Bölgelerinde Su Geri Kazanım Uygulamaları	149
4.3 Sanayide Temiz Üretim ve Öncelikli Sektörlere Özgü Atıksu Arıtma Teknolojileri	168
4.3.1 Genel Durum	168
4.3.2 Gerikazanım Amaçlı Endüstriyel Atıksu Arıtma Teknolojileri	171
5 SANAYİ İÇİN İKLİM DUYARLI YOL HARİTASI	182
5.1 İklim Değişikliğinin Sanayi Sektörü ve Alt Sektörlerinde Yol Açması Beklenen Risk ve Tehlikeler	182
5.1.1 İklimle Bağlı Risk ve Tehlikeler	186
5.1.2 Sektörel Duyarlılık	190
5.2 Sanayi Sektöründe İklim Değişikliği Etkilerinin Azaltılması ve Uyum Süreci Politikaları	193
5.3 Sanayi İçin İklim Duyarlı Bütüncül Anlayışa Dayalı Su-Atıksu Yönetimi -Yol Haritası Önerisi	197
5.3.1 Mevcut Durum Analizi	197
5.3.2 Su-Atıksu Yönetimi için Önerilen Yol Haritası	202
KAYNAKLAR	206
EKLER	218
EK-I İklim Değişikliğinin İstanbul'un Yüzeysel Su Kaynaklarına Etkisi ile İlgili Modelleme Çalışmaları	219
EK-II İstanbul İli Yıllara Göre Arazi Kullanımı Değişim Analizleri	225
EK-III Atık Azaltımı ve Su Geri Dönüşümü/Geri Kazanımı	228
EK-IV Sanayi Tesisleri için Halihazır Durum Anketi Örneği	236

ÖNSÖZ



Erdal BAHÇIVAN
İstanbul Sanayi Odası
Yönetim Kurulu Başkanı

Hiç şüphesiz “su” dünyanın en değerli varlığı. Sürekli bir döngü içerisinde ama sonsuz bir kaynak değil. Erişilebilir tatlı su kaynakları, dünyanın toplam su varlığının %1,2’sinden bile daha az. Onu besleyen ve depolayan nehirler, göller, sulak alanlar ve yeraltı su kaynaklarına yeterince değer verilmemesinin bir nevi “su körlüğü”nün büyük bedelleri oldu ve olacak. Dünyamız giderek kötüleşen su kriziyle karşı karşıya. Milyarlarca insan hâlâ temiz suya erişimden yoksun, gıda güvenliği tehdit altında, tarım ve sanayiye yönelik su riskleri artıyor. İklim değişikliğinin dünyanın hidrolojik sistemine verdiği zarar sebebiyle artan nüfus ve kentleşme, su kaynaklarına ek baskı oluşturuyor. Zira çağımızda iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinin %80’i su izini taşıyor.

Çağımızda iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinin %80'i su izini taşıyor.

Başlıca doğal kaynaklarımızdan olan tatlı suyun tek kaynağı yağışlar. Ancak bugün iyice hissedilir hale gelen iklim değişikliğinin su kaynakları üzerinde yol açtığı olumsuzluklardan, bulunduğu coğrafi konum itibariyle, ülkemiz de önemli ölçüde etkilenmektedir. Kısıtlı su kaynaklarımızın iklim etkisi sonucu azalmaya yüz tutmasıyla birlikte Türkiye, su stresi yaşayan ülkeler arasına girmiştir. Oysa ki su tüm canlıların ihtiyacı olduğu gibi tarım ve sanayi de suya bağımlı sektörlerdendir. Hâl böyle iken, günümüzde her sektörde su verimliliğinin sağlanması önem arz etmekte olup, ülkemizde Tarım ve Orman Bakanlığımız tarafından 31 Ocak 2023 tarihinde başlatılan Su Verimliliği Seferberliği çalışmaları kapsamında sanayide su verimliliği çalışmaları hızlandırılmıştır.

Sanayicilik güven sağlama, iletişim kurma, her an öğrenme, şartlara hızlı uyum sağlama, yol boyunca yeni yatırımlarla kendini yenileme gerektiren bir yolculuktur. İstanbul Sanayi Odası, sanayinin önemli bir temsilcisi olarak gelecek kaygısı taşıdığını ve ortak bir kaynağın en verimli şekilde kullanılmasında gerekli hassasiyete sahip olduğunu sürdürülebilirlik alanında yürüttüğü tüm faaliyetlerle göstermektedir.

Ülkemizin de içinde bulunduğu Akdeniz Havzası iklim değişikliğinden en fazla etkilenmesi beklenen bölgeler arasındadır. Yapılan bilimsel çalışmalar, Türkiye geneli için 2020-2100 dönemlerinde, özellikle 2070 sonrası, ortalama sıcaklıkların 2,5~5°C artacağını ve toplam yağış miktarının %10~20 azalacağını belirtir-

ÖNSÖZ

ken, İstanbul'a su temin edilen mevcut ve potansiyel su kaynaklarının verimliliklerinin ise %30 oranında azalacağını göstermektedir.

Ülkemizde su kullanımının sektörel dağılımına bakıldığında sırasıyla %77 tarımsal sulama, %12 içme-kullanma suyu (hizmetler sektörü dahil) ve %11 ile sanayi su ihtiyacı gelmektedir. İSKİ verilerine göre, sanayi sektörünün, İstanbul'un 2023 yılı toplam atıksuyu içindeki payı %1,6, kirlilik yükü içindeki payı ise %1,1 civarında. Bu veriler, mevcut ve gelecekteki durum itibarıyla sanayi sektörü atıksu debi ve kirlilik yüklerinin İstanbul kaynaklı kirlilik deşarjlarında belirleyici veya kritik boyutta olmadığını göstermekle birlikte "sürdürülebilir üretim" anlayışının bir yansıması olarak özellikle bu raporda temiz üretim ve ileri atıksu geri kazanımı konuları detaylı olarak ele alınmaktadır.

"Su ve Atıksu Yönetimi"; işletmeleri, akademiye, yerel yönetimleri ve hükümetleri ortak su sorununa kalıcı çözümler bulmak için bir araya gelmeye çağırarak bir kaynak yönetimi ve yönetim paradigmasıdır. Temiz üretim ve döngüsel atıksu yönetimi anlayışının uygulanması ile arıtılmış endüstriyel atıksuların %50-70'lere varan oranlarda yeniden kullanımı mümkün olabilecek; özgül su, enerji ve kimyasal madde kullanımlarında önemli oranlarda ekonomi sağlanarak sanayi sektörünün su, karbon ve enerji ayak izlerinde, uluslararası rekabette pozitif ayrışmaya imkân verecek mertebelerde azaltımlar elde edilebilecektir.

İstanbul Sanayi Odası olarak üniversite – sanayi işbirliğine yönelik çalışmalarımız kapsamında, üniversitelerimizde üretilen akademik bilginin stratejik kararlarda bizlere yol gösterici olmasını önemsiyoruz.

“Su ve Atıksu Yönetimi” işletmeleri, akademiyi, yerel yönetimleri ve hükümetleri ortak su sorununa kalıcı çözümler bulmak için bir araya gelmeye çağıran bir kaynak yönetimi ve yönetim paradigmasıdır.

Bu doğrultuda, İstanbul Teknik Üniversitesi akademisyenleri tarafından hazırlanan “İklim Değişikliği ve Su Yönetimi: Sanayi Sektörü Raporu”, içerdiği akademik bilginin yanı sıra ilgili tüm paydaşlarımızdan gelen bilgi ve görüşleri de içerecek şekilde bütüncül bir yaklaşımla hayata geçirildi.

Türkiye Bilimler Akademisi Şeref Üyesi ve İTÜ Çevre Mühendisliği Bölümü akademisyenlerinden Prof. Dr. İzzet Öztürk başta olmak üzere bu raporun hazırlanmasında emeği geçen kıymetli akademisyenlerimize ve katkıda bulunan tüm paydaşlarımıza teşekkürlerimi sunuyorum, üzerinde titizlikle çalışılan bu raporun sanayimize ve tüm paydaşlarımıza faydalı olmasını ümit ediyorum.

Erdal BAHÇIVAN

İstanbul Sanayi Odası
Yönetim Kurulu Başkanı

KISALTMALAR

AA	: Anadolu Ajansı
AAT	: Atıksu Arıtma Tesisleri
AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AÇP	: Aktif Çamur Prosesi
AGİ	: Asgari Geçim İndirimi
AKM	: Askıda Katı Madde
AKOSB	: Asım Kibar Organize Sanayi Bölgesi
AnMBR	: Anaerobik Membran Biyoreaktör
AOX	: Adsorblanabilir Organik Halojenler
AÖ/AK	: Arazi Örtüsü/Arazi Kullanımı
AR-GE	: Araştırma Geliştirme
ATH	: Atıksu Toplama Havzası
AYM	: Avrupa Yeşil Mutabakatı
BESTÜ	: Belirli Sektörlerde Temiz Üretim Uygulamaları
BM	: Birleşmiş Milletler
BOİ	: Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
C	: Karbon
CDP	: Karbon Saydamlık Projesi
CIP	: Clean in Place (Yerinde Temizlik)
CMIP	: Coupled Model Intercomparison Project
ÇED	: Çevre Etki Değerlendirme
ÇŞİDB	: Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı
DEG	: Dünya Enerji Görünümü
DOSAB	: Demirtaş Organize Sanayi Bölgesi
DSİ	: Devlet Su İşleri
EAS	: Endüstriyel Atıksu
EEA	: Avrupa Çevre Ajansı
EMBR	: Geliştirilmiş Membran Biyoreaktörü
EPA	: ABD Çevre Koruma Ajansı
ESKY	: Entegre Su Kaynakları Yönetimi
FAO	: Gıda ve Tarım Örgütü
GAK	: Granüler Aktif Karbon

GCM	: Global Circulation Model
IPCC	: Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli
IQR	: Interquartile Range
İAT	: İçmesuyu Arıtma Tesisleri
İBAAT	: İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisleri
İBB	: İstanbul Büyükşehir Belediyesi
İÇDR	: İl Çevre Durum Raporu
İMC	: İSKİ Master Plan Konsorsiyumu
İMP-OG	: İSKİ Master Plan Ortak Girişimi
İS	: İçme Suyu
İSKİ	: İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi
İSO	: İstanbul Sanayi Odası
İSU	: İzmit Su ve Kanalizasyon İdaresi
İYM	: İlk Yatırım Maliyeti
KAAY	: Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği
KMK	: Kritik Misel Konsantrasyonu
KOİ	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
KÖS ES	: Kritik Öneme Sahip Ekosistem Servisleri
MBB	: Marmara Belediyeler Birliği
MET	: Mevcut En İyi Teknikler
MF	: Mikrofiltrasyon
MP	: Master Plan
N	: Azot
NF	: Nanofiltrasyon
NHYP	: Nehir Havzaları Yönetim Planları
NPDES	: Ulusal Kirletici Deşarjı Ortadan Kaldırma Sistemi
NH ₄ -N	: Amonyum Azotu
NO ₃ -N	: Nitrat Azotu
OSB	: Organize Sanayi Bölgeleri
OSBÜK	: Organize Sanayi Bölgeleri Üstkuruluşu
P	: Fosfor
PCB	: Poliklorurlu Bifeniller
RCP	: Temsili Konsantrasyon Rotaları (Representative Concentration Pathways)

SAİS	: Sürekli Atıksu İzleme Sistemleri
SANTEM	: Sanayide Temiz Üretim Olanaklarının ve Uygulanabilirliğinin Belirlenmesi
SB	: Sağlık Bakanlığı
SÇD	: Su Çerçeve Direktifi
SDŞ	: Sektörel Dış Ticaret Şirketleri
SKA	: Sürdürülebilir Kalkınma Amacı
SKKY	: Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği
SPD	: Su Politikaları Derneği
SSP	: Paylaşılan Sosyoekonomik Patikalar (Shared Socioeconomic Pathways)
SSTP	: Sektörel Su Tahsis Planları
STK	: Sivil Toplum Kuruluşları
SWAT	: Soil and Water Assesment Tool
SYGM	: Su Yönetimi Genel Müdürlüğü
TAGEM	: Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü
TBB	: Türkiye Belediyeler Birliği
TBBM	: Türkiye Büyük Millet Meclisi
TC	: Türkiye Cumhuriyeti
TÇM	: Toplam Çözünmüş Madde
THM	: Trihalo Metanlar
TMO	: Toprak Mahsulleri Ofisi
TO	: Ters osmoz
TOB	: Tarım ve Orman Bakanlığı
TP	: Toplam Fosfor
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
UF	: Ultrafiltrasyon
UN	: Birleşmiş Milletler
UV	: Ultraviyole
WHO	: Dünya Sağlık Teşkilatı
WWF	: Doğal Hayatı Koruma Vakfı
YAS	: Yeraltı Suları

TABLOLAR

Tablo 2.1: RCP4.5 ve RCP8.5 senaryosuna göre HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 modellerine dayalı Türkiye ortalama sıcaklık anomali değerleri (°C) (OSİB, 2016a)	39
Tablo 2.2: RCP4.5 ve RCP8.5 senaryosuna göre HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 modellerine dayalı Türkiye toplam yağış anomali değerleri (mm)	40
Tablo 2.3: İklim indisleri (OSİB, 2016b)	47
Tablo 2.4: Türkiye nehir havzaları hakkında genel bilgi (Ormancılık ve Su Şurası, 2017)	48
Tablo 2.5: Türkiye geneli için iklim projeksiyonlarına göre hidrolojik modellemeyle üretilen brüt su potansiyellerinin görülme olasılıkları (OSİB, 2016a)	54
Tablo 2.6: Türkiye geneli için iklim projeksiyonlarına göre hidrolojik modellemeyle üretilen brüt su potansiyelleri medyan değerlerinin* ve referans dönemi medyan değerlerinden sapmaları (OSİB, 2016a)	54
Tablo 2.7: Türkiye'deki bazı havzalarda su potansiyellerindeki değişim yüzdeleri (%) (Ozturk vd., 2013)	64
Tablo 2.8: Melen, Ömerli ve Terkos içmesuyu havzalarında iklim değişikliği- hidrolojik çevrim ana bileşenleri etkileşimi (Cüceloğlu, 2019)	66
Tablo 2.9: RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları için baraj göllerine ulaşan toplam akım değerleri (Cüceloğlu, 2019)	71
Tablo 3.1: Su sektörü paydaşları ve rolleri (Türkiye ve İstanbul)	75
Tablo 3.2: ESKY ile ilgili mevzuat listesi ve bu kapsamda ülkemizde yayınlanan yönetmelikler	76
Tablo 3.3: Sektörel su kullanımının yarattığı katma değer (ABD \$/m ³) (FAO AQUASTAT, 2023)	92
Tablo 3.4: Türkiye su ayakizi miktarları (WWF, 2014)	93
Tablo 3.5: İhracat değerlerine ve su ayak izlerine göre Türkiye'nin ihracatı (WWF, 2014)	96
Tablo 3.6: İthalat değerlerine ve su ayak izlerine göre Türkiye'nin ithalatına ilişkin veriler (WWF, 2014)	96
Tablo 3.7: Bölgesel Falkenmark Göstergeleri (2015) (Hakyemez, 2019).	97
Tablo 3.8: İSKİ ile ilgili nehir havzalarına ilişkin bilgiler	101
Tablo 3.9: İlin akarsuları ve özellikleri	104
Tablo 3.10: İlin mevcut göl, gölet ve rezervuarları	105
Tablo 3.11: 2022 yılında sanayinin kullandığı suyun sektörlere göre dağılımı ve özellikleri (İÇDR, 2023)	108
Tablo 3.12: İstanbul'da ideal (temel) gelişme senaryosu için nüfus ve su ihtiyacı projeksiyonları (İMP-OG, 2018)	111
Tablo 3.13: İstanbul'da yüksek büyüme/nüfus artışı senaryosu için nüfus ve su ihtiyacı projeksiyonları (İMP-OG, 2018)	111
Tablo 3.14: Senaryo III için Asya ve Avrupa yakalarının su ihtiyaçları (hm ³ /yıl), (İMP-OG, 2023)	112
Tablo 3.15: ATH'lere ait mevcut endüstriyel birim atıksu debileri (İMP-OG, 2018)	116
Tablo 3.16: AAT'lerdeki toplam ve endüstriyel KOİ (t/gün) ve AKM (t/gün) yükleri (İMP-OG, 2018)	117

Tablo 4.1: Kentsel AAT çıkış parametrelerinin değişimi	133
Tablo 4.2: Atıksu filtreleri çıkışında gözlemlenen tipik toplam AKM ve Bulanıklık değerleri (Metcalf and Eddy, 2014)	135
Tablo 4.3: Seçili mekanik filtrelerin karşılaştırmalı işletme özellikleri (Metcalf and Eddy, 2014)	138
Tablo 4.4: Membran proseslerinin karşılaştırılması	141
Tablo 4.5: İzmit, İstanbul ve İzmir'in su satış bedelleri	159
Tablo 4.6: Arıtılmış atıksuların endüstride yeniden kullanımı ile ilgili seçilmiş örnekler (Lazarova vd., 2013).	162
Tablo 4.7: Türkiye'de tekstil atıksuyu geri kazanım örnekleri	176
Tablo 4.8: Gıda endüstrisinde geri kazanım amaçlı uygulanabilecek prosesler	179
Tablo 4.9: Gıda endüstrisi atıksularının ileri arıtım örnekleri	180
Tablo 5.1: İklim Tehlikeleri	187
Tablo 5.2: Sektörel duyarlılık kriterleri, ağırlıklandırılması ve derecelendirilmesi (örnek çalışma)	192
Tablo 5.3: Uyum faaliyetlerinin sıralanabildiği ve sektörel analizlerin yürütülebileceği sektör ayrımları	194
Tablo 5.4: Ziyaret edilen tesislerde özgül su tüketiminin AB Bref/MET (Temiz Üretim) dokümanları referans değerleri ile mukayesesi (TOB, 2024)	201

ŞEKİLLER

Şekil 2.1: Gözlemlere göre Türkiye’de tarihsel dönemler için iklim değişikliği (Sen, 2013)	34
Şekil 2.2: Kötümser senaryoya göre Türkiye’de (a) yüzyılın ortasını ve (b) yüzyılın sonunu temsil eden dönemler için sıcaklık değişimi (Sen, 2013)	35
Şekil 2.3: Kötümser senaryoya göre Türkiye’de (a) yüzyılın ortasını ve (b) yüzyılın sonunu temsil eden dönemler için yağış değişimi (Sen, 2013)	35
Şekil 2.4: Havzalardaki su potansiyeli değişimi (Sen, 2013)	36
Şekil 2.5: Ortalama sıcaklık anomali değerlerinin HadGEM2-ES modeli RCP4.5 senaryosu için 10’ar yıllık dönemlerde ve mevsimlik değişimi (OSİB, 2016a)	42
Şekil 2.6: Toplam yağış anomali değerlerinin HadGEM2-ES modeli RCP4.5 senaryosu için 10’ar yıllık dönemlerde ve mevsimlik değişimi (OSİB, 2016a)	43
Şekil 2.7: Türkiye’de akarsu havzaları (OSİB, 2016a)	48
Şekil 2.8: Türkiye’nin su potansiyeli ve dağılımı (OSİB, 2016a)	49
Şekil 2.9: Türkiye geneli için iklim projeksiyonları senaryolarına göre 2015-2040 dönemi brüt su potansiyelinin eklenik olasılık dağılım fonksiyonlarını gösteren S eğrileri (OSİB, 2016a)	52
Şekil 2.10: Türkiye geneli için iklim projeksiyonları senaryolarına göre 2040-2070 dönemi brüt su potansiyelinin eklenik olasılık dağılım fonksiyonlarını gösteren S eğrileri (OSİB, 2016a)	52
Şekil 2.11: Türkiye geneli için iklim projeksiyonları senaryolarına göre 2070-2100 dönemi brüt su potansiyelinin eklenik olasılık dağılım fonksiyonlarını gösteren S eğrileri (OSİB, 2016a)	53
Şekil 2.12: Türkiye geneli için 25 havza için iklim projeksiyonları senaryolarına göre 30’ar yıllık brüt su potansiyeli haritası (OSİB, 2016a)	55
Şekil 2.13: Türkiye geneli için iklim projeksiyonları HadGEM2-ES RCP4.5 senaryolarına göre havza bazlı su fazlası/açığı gösterir tematik harita (2015-2040) (OSİB, 2016a)	56
Şekil 2.14: Türkiye geneli için iklim projeksiyonları HadGEM2-ES RCP4.5 senaryolarına göre havza bazlı su fazlası/açığı gösterir tematik harita (2041-2070) (OSİB, 2016a)	57
Şekil 2.15: Türkiye geneli için iklim projeksiyonları HadGEM2-ES RCP4.5 senaryolarına göre havza bazlı su fazlası/açığı gösterir tematik harita (2071-2100) (OSİB, 2016a)	58
Şekil 2.16: Marmara havzası haritası (OSİB, 2016a)	59
Şekil 2.17: Marmara havzası iklim değişikliği projeksiyonlarına göre tahmin edilen toplam akış 30 yıllık ortalamaları (OSİB, 2016a)	59
Şekil 2.18: Marmara havzası’nda iklim değişikliği projeksiyonlarına göre tahmin edilen yas potansiyelinin 30 yıllık ortalamaları (OSİB, 2016a)	60
Şekil 2.19: İstanbul su temin sistemi (IMC, 1999)	63
Şekil 2.20: Havzalardaki toplam su potansiyelinin değişimi (Cüceloğlu, 2019)	68
Şekil 2.21: Asya ve Avrupa yakasında bulunan kaynakların toplam su arzına katkılarının değişimi (Cüceloğlu, 2019)	69

Şekil 2.22: İstanbul'un baraj göllerine ulaşan toplam akım değerleri ve gelecekteki değişimleri (Cüceloğlu, 2019)	70
Şekil 2.23: Havza bazında akarsu debilerinin değişimi (2020-2050) (Cüceloğlu, 2019)	71
Şekil 3.1: Türkiye'de sektörel su kullanımları (2021 yılı)	78
Şekil 3.2: Evsel su kullanımının kullanım amaçlarına göre miktar dağılımı	87
Şekil 3.3: TBB yağmur suyu hasadı kullanım broşürü (URL-9)	88
Şekil 3.4: İstanbul Kadıköy Belediyesi gri su tanıtım görseli (URL-10)	89
Şekil 3.5: Sanayi tesislerinde su yeniden kullanım programı oluşturmada izlenilebilecek adımlar (ÇŞİDB, 2018)	90
Şekil 3.6: Türkiye'de üretimin ve tüketimin su ayakizi (WWF, 2014)	98
Şekil 3.7: İstanbul nüfus grafiği (URL-14)	102
Şekil 3.8: Marmara Denizi Havzası 2021 arazi örtüsü/arazi kullanımı haritası (TÜBİTAK, 2022)	103
Şekil 3.9: İstanbul ili 2021 yılı itibariyle arazi örtüsü/arazi kullanımı dağılımı (TÜBİTAK, 2022)	103
Şekil 3.10: Endüstriyel atıksu üreten tesis sayılarının sektörlere göre dağılımı	107
Şekil 3.11: Senaryo I, II ve III için nüfus projeksiyon karşılaştırması	110
Şekil 3.12: İstanbul'a Melen ve Yeşilçay Sistemi'nden sağlanan su miktarının değişimi	112
Şekil 3.13: İstanbul su kaynakları verim grafiği (Öztürk, 2021)	114
Şekil 4.1: Sektörlere göre kullanılan su miktarı oranları (TOB, 2023a)	126
Şekil 4.2: Sektörlere göre İSKİ içme ve atıksu havzalarına deşarj yapan işletme sayıları (İSKİ MP, 2022b).	127
Şekil 4.3: Sektörlere göre İSKİ içme ve atıksu havzalarına deşarj yapan işletmelerin günlük atıksu debi dağılımları (İSKİ MP, 2022b)	128
Şekil 4.4: Kentsel AAT'ler ve sanayi için su geri kazanım üniteleri (Google Earth, 2023)	132
Şekil 4.5: AAT çıkışı kum filtrasyon ve mikrofiltre üniteleri	137
Şekil 4.6: MBR modüllerinin yerleşimi (temiz su ve aktif çamur)	140
Şekil 4.7: Klor temas tankı	143
Şekil 4.8: Ozon hazırlama, dozlama ve temas tankı (URL-17)	146
Şekil 4.9: Ultraviolet ile dezenfeksiyon ünitelerinin görüntüleri (İSU ve İSKİ AAT'leri)	148
Şekil 4.10: OSB'lerin illere göre dağılımı (AA, 2023)	150
Şekil 4.11: AKOSB AAT ileri arıtma üniteleri	156
Şekil 4.12: Demirtaş OSB MBR ve TO üniteleri	157
Şekil 4.13: TMO Afyon Alkaloidleri harici MBR, NF ve evaporasyon-kristalizasyon üniteleri	158

ŞEKİLLER

Şekil 4.14: Edward C. Little Su Geri Dönüşüm Tesisi (Lazarova, vd., 2013)	165
Şekil 4.15: Geri dönüşüm suyu dağıtım şebekesi (Lazarova, vd., 2013)	167
Şekil 4.16: Endüstriyel atıksu arıtma sistemleri (Mejía-Marchena vd., 2023)	172
Şekil 4.17: İleri atıksu arıtma teknolojileri (Roy, vd., 2021)	173
Şekil 4.18: Metal endüstrisinde kullanılan başlıca arıtma yöntemleri (Shrestha vd., 2021).	181
Şekil 5.1: İklim değişikliğinin sanayi sektörü ve finansal yapı üzerindeki riskleri ve etkileri (WB, 2020)	184
Şekil 5.2: Halihazır durum analizi kapsamında EK-IV'teki anketle toplanacak veriler	198
Şekil 5.3: Sanayide su-atıksu yönetimi için önerilen yol haritası	202
Şekil 5.4: Önerilen Temiz Üretim ve SKDM'ye Uyum Zaman Çizelgesi	205



YÖNETİCİ ÖZETİ

Başlıca doğal kaynaklarımız arasında yer alan suyun, son yıllarda gözle görülür etkilerini yaşadığımız iklim değişikliği nedeni ile sürdürülebilir kullanımının gerekliliği özellikle suya bağımlı tüm sektörler tarafından bilinmektedir. Bu bağlamda ülkemizde 2023 yılı itibariyle, Tarım ve Orman Bakanlığı (TOB) tarafından “Su Verimliliği Seferberliği” başlatılarak bireysel, kentsel, tarımsal ve endüstriyel su verimliliği konularında rehber dokümanlar hazırlanmış ve su verimliliği seferberliği internet adresinde kullanıma sunulmuştur. Sürdürülebilir su yönetimi, ülkelerin kalkınma hamlelerinde önemli rol oynamaktadır.

İstanbul Sanayi Odası (İSO) adına İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) tarafından uzman akademisyenlerden oluşturulan bir ekip tarafından hazırlanan bu raporun ana hedefi, iklim modellemesi ve hidrolojik modelleme ile mevcut durum analizlerini takiben Türkiye, Marmara Havzası ve İstanbul’da yüzyıl sonuna kadar genelden özele hareketle gelecek dönem projeksiyon sonuçlarına odaklanmaktadır. Rapor, öncelikle sanayicilere iklim değişikiminin su kay-

nakları üzerindeki etkilerini tanıtmak amaçlanmıştır. Ayrıca, su kullanımı, önceliklendirme, paydaşlar, hukuki altyapı ve sektörel su kullanımları gibi konular genelden özele doğru ele alınmış, özellikle İstanbul’daki sanayi sektörünün su ihtiyacı, atıksu debileri, karakteri ve alternatif proses suyu temini gibi konular ele alınarak su arzı güvenliğinin iklim değişikliğine dirençliliğini artırmaya yönelik faaliyetler açıklanmıştır. Rapor, ayrıca, temiz üretim ve su geri dönüşümünü sağlayan ileri atıksu arıtma teknolojileri gibi konulara da değinilmiş, sanayide geleceğe yönelik iklim değişikliği etkilerinin azaltılması ve uyum süreci politikaları çerçevesinde sanayiciler için iklime duyarlı su-atıksu yönetimi yol haritası sunulmuştur.

Küresel ve bölgesel ölçekte yürütülen iklim değişikliğine ilişkin çalışmalar, ülkemizin içinde bulunduğu Akdeniz Havzası’nı iklim değişikliğinden en fazla etkilenmesi beklenen bölgeler arasında göstermektedir. İklim değişikliğinin ülkemizin farklı bölgeleri üzerindeki etkisi ve şiddeti farklı olmakla birlikte, Türkiye geneli için 2020-2100 dönemlerinde,

özellikle 2070 sonrası, ortalama sıcaklıkların 2,5~5°C artması ve toplam yağış miktarının %10~20 azalması öngörülmektedir. Bununla birlikte sıcak hava dalgaları, kuraklık ve taşkın gibi aşırı hava olaylarının görülme sıklıkları, süreleri ve şiddetlerinde de önemli artışlar beklenmektedir. Bahse konu değişiklikler iklim projeksiyonları sonuçları ile birlikte, ülkemizde geçmişten bugüne yapılan hidrometeorolojik gözlemlerle de doğrulanmaktadır. Ülkemizde gerçekleştirilen iklim modelleme çalışmalarının günümüzde yaşanan değişiklikler hakkındaki öngörülerini de bu çalışmaların başarımı konusunda isabetli ve tutarlı izlemeler vermektedir.

İklim değişikliği ile birlikte atmosferin dünya genelindeki ortalama sıcaklığı artmaya başlamış ve hidrolojik çevrimin hızlanmasına yol açmıştır. Bu husus yağış ve sıcaklık gibi meteorolojik parametrelerin dünya üzerindeki zamana ve mekâna göre dağılımını değiştirmektedir. Karalar üzerindeki hidrometeorolojik parametrelerin değişimi tatlısu kaynaklarının mevcudiyetini etkilemektedir. Akdeniz

Havzası'nda bu değişimin yağışların azalması ve sıcaklıkların artması ile birlikte erişilebilir su potansiyelini olumsuz yönde etkilemesi beklenmektedir. Ülkemizde yapılan su kaynaklarına ilişkin hidrolojik modelleme çalışmalarında da gelecekte (2020~2100 dönemi) su potansiyelinin genel itibari ile, %15~50'ye varan oranlarda azalması öngörülmektedir. Türkiye için öngörülen sıcaklık artışları dolayısıyla yıllık ortalama yağış miktarı geçmiş dönem ortalaması civarında seyretse (sabit kalsa) bile, özellikle terleme ve buharlaşma kayıpları artışı yüzünden, akarsu akışlarında ~%10'lara varan oranlarda azalma beklenmektedir. Su potansiyelindeki değişimler bölgelere göre farklılık göstermekle birlikte, iklim değişikliği çerçevesinde yürütülen hidrolojik modelleme çalışmaları sahip olduğumuz mevcut su kaynaklarının gelecekte çok daha verimli ve etkin kullanılmasının kaçınılmaz olduğuna işaret etmektedir.

İklim değişikliğinin İstanbul ve civarındaki su kaynakları üzerindeki etkileri konusundaki hidrolojik modelleme çalışmaları, olumsuz et-

YÖNETİCİ ÖZETİ

kilerin bu yüzyılın 2. yarısından itibaren (özellikle 2070 sonrası) önemli boyutlara ulaşacağına işaret etmektedir. Söz konusu hidrolojik projeksiyonlara göre, İstanbul'a su temin edilen mevcut ve potansiyel su kaynaklarının su potansiyellerinde (verimlerinde) 2020-2050 döneminde ~%15, 2050-2100 döneminde ise ~%30 oranında azalma beklenmektedir.

Su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi, ulusal düzeyde stratejik planlamalarla birlikte bölgesel su yönetimi çalışmalarını içeren kapsamlı bir yaklaşım gerektirmektedir. Günümüzde su kullanımının sektörel dağılımına bakıldığında sırasıyla %77 tarımsal sulama, %12 içme-kullanma suyu (hizmetler sektörü dahil) ve %11 ile sanayi ihtiyacı gelmektedir. Türkiye'de su sektörünün kurumsal çerçevesi çok parçalıdır. Haliyle, su kullanımı hemen hemen toplumun tüm paydaşlarının odağındadır. Hukuki altyapı olarak Avrupa Birliği'ne adaylık sürecinde Avrupa'nın Su Anayasası olarak kabul edilmiş olan Su Çerçeve Direktifi ilkeleri doğrultusunda ulusal su mevzuatımız ve ilişkili yönetmeliklerimiz çok büyük oranda

uyumlaştırılmış olup zaman içerisinde aynı çerçevedeki revizyon ve güncellemeler de yapılmaktadır.

Raporda suya bağımlı sektörlerle ilgili güncel durum değerlendirilmesine yer verilerek, ülkemizde geleceğe dönük sektörel su kullanım stratejileri ile ilgili yürütülen çalışmalar konusunda bilgiler sunulmuştur. Sürdürülebilir Kalkınma Amaçlarına uyum, AB Yeşil Mutabakatı, Türkiye'nin Yeşil Mutabakat Eylem Planı, Su Verimliliği Seferberliği kapsamında hazırlanmış olan Değişen İklim Uyum Çerçevesinde Su Verimliliği Strateji Belgesi ve Eylem Planı (2023-2033), Nehir Havza Yönetim Planları, Arıtılmış Atıksuların Yeniden Kullanımı ve Temiz Üretim başlıklarına değinilmektedir. Suyun etkin ve verimli kullanılmasında alternatif su kaynaklarının değerlendirilmesi ile doğal su kaynaklarımızın korunması sağlanmış olacaktır. Bu kapsamda alternatif kaynaklar arasında yağmur suyu hasadı, gri su yeniden kullanımı ve arıtılmış atıksuların geri kullanımı önem kazanmaktadır. Sanayi tesisleri de dahil olmak üzere tüm bina tipolojilerinde alterna-

tif su kaynakları olarak bina-içi ve dışı yağmur suyu hasadı ve gri suyun bina içerisinde arıtıldıktan sonra yeniden kullanımları günümüzde mümkündür ve teşvik edilmektedir.

TOB Su Yönetimi Genel Müdürlüğü (SYGM) tarafından yürütülen Su Kaynaklarında İklim Değişikliğine Uyum Projesi ile özellikle çeşitli bina tipolojilerinde gri su ve yağmur suyu hasadı konularında en güncel çalışma sonuçlarını içermektedir. Bu projenin en önemli 2 çıktısı yağmur suyu hasadı ve gri su kullanımı Rehber Dokümanlarıdır.

Sektörel bazda su-katma değer ilişkisi ülkemizde havza ölçeğinde yapılan Sektörel Su Tahsis Planları (SSTP) Projelerinde ele alınmaktadır. Bu planlar kapsamında alt havzalarda belirlenen su tahsis miktarlarının oluşturduğu ekonomik değer belirlenmesi önemlidir. Alt havzaların özellikleri dikkate alınarak barındırdıkları ekonomik değere sahip olan bütün sektörler için (tarım, sanayi ve enerji) ekonomik analiz yapılmaktadır. Halen İSO'nun faaliyet alanındaki Marmara Havza-

sı'nda SSTP çalışmaları devam etmektedir. Değişen İklim Uyum Çerçevesinde Su Verimliliği Strateji Belgesi ve Eylem Planı'nda da su ayak izi konusuna vurgu yapılmış olup, su ayak izi önümüzdeki dönemlerde su tüketimimizi ölçen en kapsayıcı gösterge olarak kabul edilmiştir. Bu açıdan bakıldığında su ayak izinin yalnızca musluktan akan su, kaynaktan tarlaya alınan su ya da görünen su kullanımı olmadığını, aksine suyla ilgili doğrudan ve dolaylı; iç ve dış bütün tüketimlerin su ayak izine sebep olduğu net bir şekilde görülmektedir. Su ayak izi, yalnızca su tüketimimizi değil; satın aldığımız ürünlerin içeriğindeki su tüketimini, ithal ürünlerle birlikte başka coğrafyalarda sebep olduğumuz su ayak izini, gereksiz kullanımlarla birlikte küresel ölçekte başka insanların adil su hakkı üzerinde sebep olduğumuz ayak izi gibi görünmeyen su tüketimlerimizi de yansıtmaktadır.

İstanbul özeline gelindiğinde, nüfus yoğunluğu ve artış hızı itibarı ile, bu mega kentimizin Marmara Havzası'nda bulunmasına karşın bu havzada yerüstü sularını oluşturan büyük ka-

YÖNETİCİ ÖZETİ

pasiteli akarsular bulunmaması dolayısıyla, 2 komşu havzadan (Batı Karadeniz (Melen) ve Sakarya) su transferi ile ilave olarak beslendiği görülmektedir. 2022 yılında belediyeler tarafından içme ve kullanma suyu şebekesi ile dağıtılmak üzere temin edilen yerüstü su kaynaklarından dağıtılan su miktarının kaynaklara göre dağılımına bakıldığında, verilen suyun %60'ının barajlardan, %40'ının ise regülatörlerden ve kuyulardan karşılandığı görülmektedir. Şehre verilen suyun %100'ü arıtmadan geçirildikten sonra dağıtılmaktadır.

İSKİ Yeni Master Planı verilerine göre, sanayi sektörünün, İstanbul'un 2023 yılı toplam atıksuyu içindeki payı %1,6, kirlilik yükü içindeki payı ise %1,1 civarındadır. KOİ esaslı bu veriler, mevcut (ve gelecekteki) durum itibarıyla Sanayi Sektörü atıksu debi ve kirlilik yüklerinin İstanbul kaynaklı kirlilik deşarjlarında belirleyici veya kritik boyutta olmadığını göstermektedir. Temiz üretim ve döngüsel atıksu yönetimi anlayışının kabul edilmesi ile arıtılmış endüstriyel atıksuların %50-70'lere varan oranlarda yeniden kullanımı, özgül su, enerji ve kimyasal

madde kullanımlarında önemli oranlarda ekonomi sağlanarak sanayi sektörü su, karbon ve enerji ayak izlerinde, uluslararası rekabette pozitif ayrılmaya imkân verecek mertebelerde azaltımlar elde edilebileceği düşünülmektedir.

İstanbul'da sanayinin yoğun olduğu 6 atıksu havzasında (Tuzla, Yenikapı, Baltalimanı, Ataköy, Küçükçekmece ve Ambarlı) toplam endüstriyel atıksuyun %64'ü oluşmaktadır. Bu tesislerdeki proses suyunun, İSKİ içme suyu şebekesinden alınan A kalite su (içme suyu) yerine, İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesislerinde arıtıldıktan sonra dere veya denizlere deşarj edilen düşük kirlilikli atıksudan B kalite (alternatif) su olarak sağlanması düşünülmelidir. Mevcut durum itibarıyla, İSKİ'nin Paşaköy AAT çıkışında 100.000 m³/gün, Ataköy AAT çıkışında 20.000 m³/gün ve Ambarlı AAT çıkışında 25.000 m³/gün kapasiteli, arıtılmış atıksuların endüstriyel ve peyzaj maksatlı kullanımını sağlayacak geri dönüşüm amaçlı 3. kademe atıksu arıtma tesisleri kurulmuş bulunmaktadır. Bu tesislerde üretilen B kalite kullanım suları, Tuzla OSB'ler ve Tersaneler

Bölgesi, Yenibosna sanayi tesisleri bölgesi ve İkitelli OSB ile Ambarlı Sanayi tesisleri bölgelerindeki fabrikalara, gerekli Mor/Turuncu şebekeler tesis edilmek suretiyle hızlı bir şekilde ulaştırılabilir. İSKİ halen, geri dönüşüm amaçlı arıtılmış atıksuyu tankerlere ~0,07 \$/m³ bedelle satmaktadır.

İSKİ'nin ileri biyolojik atıksu arıtma tesisleri çıkış sularına, geri dönüşüm için, ilave 3. kademe arıtma ve dezenfeksiyon uygulanması sonrası, su kalitesinin daha da iyileştirilerek endüstriyel proses suyu olarak kullanım için çok daha uygun hale getirilmiş olmaktadır. İSO'nun bu konuda, İSKİ ve OSB/Tekil Endüstriler arasında, Dünya'daki iyi uygulamalardan ilhamla, uygun ve sürdürülebilir bir iş (yatırım + işletme) modeli oluşturulmasında etkin ve kolaylaştırıcı rolünün olabileceği düşünülmektedir.

Proses dışı ihtiyaçlar için su kullanımının yüksek olduğu tekil endüstrilerde, evsel atıksu/ gri su ayrımı ve yağmursuyu hasadına gidilerek özellikle MBR ile atıksu arıtımı ve dezen-

feksiyon sonrası geri kazanılan B kalite suyun WC sifon, sulama ve proses suyu olarak kullanımı da önemli bir diğer su geri dönüşüm seçeneğidir. Böylece su kaynakları üzerindeki baskı azaltılarak, endüstriyel su ayak izi küçültülüp, önemli oranda ısı ve kimyasal madde tasarrufuna gidilebilir.

Türkiye'de endüstriyel amaçlı kullanılan suyun %22'sini kullanarak en fazla su tüketen sektör olan gıda sektörünü %18'lik kullanımla tekstil sektörü izlemektedir. Bir diğer yüksek su kullanım oranına sahip sektör, endüstride kullanılan suyun %16'sını oluşturan kimya (kimyasallar ve kimyasal ürünlerin üretimi) sektörüdür. Bu 3 sektörde toplam kullanılan su miktarı, toplam endüstriyel amaçlı su kullanımının %50'sinden fazlasını oluşturmaktadır. Bu sektörlerle yakın bir diğer sektör ise, toplam endüstriyel amaçlı su kullanımının %7'sine karşılık gelen metal sanayi sektörüdür. Gıda, tekstil, kimya ve metal sanayi dışındaki diğer tüm sektörlerin su kullanımları toplamı, Türkiye genelinde endüstriyel amaçlı kullanılan su miktarının %37'sine tekbül etmektedir.

YÖNETİCİ ÖZETİ

İSKİ tarafından hazırlattırılan (Yeni) Master Plan uyarınca; İstanbul ili içinde 11 adet ana üretim yapan sanayi sektörü bulunmaktadır. Mevcut 11 ana üretim grubundan ve diğer sanayi sektöründen, İSKİ sorumluluğundaki içme suyu ve atıksu havzalarına deşarj yapılan toplam endüstriyel atıksu miktarı, 2021 yılı itibariyle 70465 m³/gün olarak belirlenmiştir. İstanbul'da 2021 yılında, İSKİ'nin sorumluluğundaki alanlara atıksu deşarjı yapan toplam 7484 işletmenin olduğu ve bunların 6812'sinin atıksularını İSKİ'nin sorumluluğundaki atıksu havzalarına deşarj ettiği tespit edilmiştir. Asya Yakası'nda 2639 adet, Avrupa Yakası'nda ise 4845 adet işletme bulunmakta olup, bu işletmelerden bir kısmı Organize Sanayi Bölgesi (OSB) içinde faaliyet göstermektedir. Bu işletmelerden kaynaklanan atıksu miktarı, İstanbul'daki toplam endüstriyel atıksu debisinin yaklaşık %98'ine karşılık gelmektedir.

Kentsel AAT'lerin su geri kazanım tesisine dönüştürülmesi için gerekli ilave arıtma sistemi seçimi, tesisin çıkış suyu ve sanayi için gerekli

su kalitesine göre değişkenlik göstermektedir. Mevcut AAT'ye entegre edilecek geri kazanım üniteleri ile sanayi için proses, soğutma ve rekreasyonel amaçlı su kaynağı (B kalite su) oluşturulabilir. İlgili sanayi sektörü tarafından belirlenen su kalite parametrelerine göre gerekli ilave sistem bileşenleri belirlenebilir. Bu bağlamda Raporda kentsel atıksular için geri kazanım sistemi seçimine yönelik teknik bilgilerle birlikte Organize Sanayi Bölgelerinde su geri kazanım uygulamalarına ilişkin örneklere de yer verilmektedir. Bu kapsamda incelenen İSKİ Paşaköy AAT, Kocaeli SKİ AAT ile Meksika ve ABD California Arıtılmış Atıksu Geri Dönüşüm tesisleri oldukça ilham vericidir.

Rapor'da İklim Değişikliği'nin sanayi sektörü ile alt sektörlerinde yol açması beklenen risk ve tehlikeler de incelenmektedir. İklim değişikliği kaynaklı riskler sanayi sektörü için iki grupta ele alınmaktadır: fiziksel riskler ve geçiş riskler. Fiziksel riskler kuraklık, sıcak hava dalgası, şiddetli yağış ya da taşkın gibi IPCC tarafından yıllar içinde oluşma sıklığı ve şiddetinin artacağı belirtilmiş iklim etkileridir.

Geçiş riskleri ise düşük karbon ekonomisine geçiş sırasında oluşan risklerdir. Özellikle karbona dayalı sektörler için düşük karbon ekonomisine geçiş sürecinde değer kaybı, üretimde maliyetin artması vb. durumlar oluşabileceği için bu sektörlerin finansal ihtiyaçlarının değişmesi söz konusudur. Fiziksel riskler üzerine yapılan kapsamlı çalışmalarından elde edilen bazı sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanmaktadır:

- Fiziksel riskler küresel olarak tüm sektörlerin üretim işleyişlerini tehdit etmektedir. Sektörlerin büyük çoğunluğu sıcaklık ve su stresinden büyük ölçüde etkilenmekte ve bu durum insan sağlığı, kaynaklara olan talep ve faaliyetler üzerinde çok yönlü etkilere neden olmaktadır.
- İmalat sektörü, iklim tehlikelerinden en çok etkilenen sektör olarak tespit edilmektedir. En çok etkilenen alt-sektörler; elektronik-elektrik ürünleri üretimi, petrol ve kömür ürünleri üretimi, metal olmayan mineral üretimi, gıda ve kimya sektörleridir.
- Emlak ve inşaat sektörleri akut iklim risk-

lerinden daha çok etkilenebilmektedir. Orman yangınları, taşkın ve fırtınalar bu sektörleri en çok etkileyen tehlikelerdir.

- Kimyasal üretimi yapan şirketler için sıcaklık stresinin yanı sıra, üretim için gerekli temiz suya ulaşım da su stresinden önemli ölçüde etkilenmektedir.

Sanayide temiz üretim ve öncelikli sektörlerde özgü atıksu arıtma teknolojilerinde güncel durum ile gerikazanım amaçlı endüstriyel atıksu arıtma teknolojileri de tanıtılmaktadır. Kimya ve kimyasal ürünler endüstrisi, tekstil endüstrisi, gıda endüstrisi ve metal endüstrisinin atıksularının arıtılması konusu da detaylı irdelenerek örnek uygulamalara değinilmektedir.

TOB SYGM tarafından 2016 yılında tamamlanan İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi (TOB, 2016) kapsamında üretilmiş olan, tüm Türkiye için çalışılmış 10 km çözümlükteki bölgesel iklim projeksiyonlarında iklim tehlikelerinin detaylarına değinilmektedir. Söz konusu 9 iklim tehlikesinden 5'i su odaklıdır.

YÖNETİCİ ÖZETİ

Üretim sektöründe en büyük sektörel farklılıkların su kullanımı ve ekstrem sıcaklıklardan kaynaklı ortaya çıktığı görülmektedir. İmalat yapmak için kullanılmak zorunda olan su miktarı, sektörü su stresine karşı duyarlı hale getirmektedir. Ancak yine de üretim sektörünün tüm alt-sektörleri hemen hemen bütün iklim tehlikelerine karşı duyarlıdır.

Türkiye’de ve özellikle İSO bünyesindeki sanayi kuruluşları, faaliyetlerini 1990’lı yılların ortalarından itibaren İSO 9001 ve 14001 üretim ve çevre standartlarıyla uyumlu yürütme konusundaki gerekli kurumsal, teknolojik ve mali yapılanmalarını, tedarikçileri ile birlikte, tamamlamış bulunmaktadır. Bu bağlamda Sanayi Tesisleri’nin ulusal mevzuatla uyumlu Atıksu Arıtma Tesisleri’ne sahip olma ya da AAT’ye bağlı endüstriyel işletme oranı, arıtmaya bağlı Belediye oranının hep önünde seyretmiştir. Sanayimizin en büyük müşterisinin AB ülkeleri olmasının getirdiği Uluslararası şartların da zorlamasıyla Tekil endüstriler ve OSB’ler bünyesindeki tesislerin endüstriyel

atıksu arıtımı alanındaki seviyesi, mevcut haliyle büyük oranda Yeşil Mutabakat ve Döngüsel Ekonomi hedefleriyle de uyum halindedir. Nitekim TOB NACE kodlarına göre Endüstriyel Su Verimliliği Projesi kapsamında Gıda, Tekstil, Kimya ve Metal sektörlerini temsilen örnek tesis olarak seçilen işletmelerde, özgül su kullanımları ile ilgili olarak yürütülen kapsamlı incelemeler, bu işletmelerin özgül su kullanımlarının genel itibariyle, AB Sektörel Temiz Üretim Teknolojileri (MET) normlarında belirtilen Referans/Rehber değerlerin alt limitleri civarı ve altında kaldığını göstermektedir.

Özgül su tüketimleri Temiz Üretim (MET) normları alt limitleri civarındaki bu endüstrilerde; iç tesisat revizyonu, tasarrufu/sensörlü musluk ve aparatlar ile gri su geri kazanımı ve yağmur hasadı benzeri uygulamalarla %20-90'lara varan oranlarda ek su tasarrufu imkânının bulunduğu belirtilmektedir.

AB Yeşil Mutabakatı ve Döngüsel Ekonomi perspektifinde, AB Üyesi ülkelerin 2050 yılın-

da Karbon Nötr olmaları hedeflenmektedir. Türkiye'nin Yeşil Mutabakat Eylem Planı'nda da 2053 yılında Karbon Nötr olunması öngörülmektedir. Dünya genelinde de G20 ülkeleri dahil gelişmiş ekonomilerinin tamamında en geç 2060 yılında Karbon Nötr olunması kararı alınmış durumdadır.

Arıtılmış atıksuların geri dönüşümü ile su kullanımının en aza indirilmesi ve Temiz Üretim Protokollerinin (MET'ler) hayata geçirilmesi, Sanayi Sektörü'nün Karbon Nötr olma hedefini destekleyen en önemli araçları olarak öne çıkmaktadır. Özellikle İSO'ya üye büyük sanayi kuruluşları ve tedarikçilerinin AB'nin Emisyon Ticaret Sistemi (ETS) çerçevesinde, 3 yıllık bir geçiş süresini takiben 2026 yılı başından itibaren uygulamayı planladığı sınırdaki karbon düzenleme mekanizması (SKDM)'na uyum konusunda Ticaret Bakanlığı'mızla koordineli bir yapılanmaya gitmeleri kritik önemdedir. Bu bağlamda, İSO'ya bağlı sanayi kuruluşları ile mal ve hizmet tedarikçileri için önerilen Temiz Üretim ve SKDM'ye uyum zaman çizel-

gesinde, AB hedefleriyle 5 yılı geçmeyen bir süre zarfında tam uyum öngörülmektedir. Döngüsel ekonomi ve kurumsal karbon ayak izi azaltımında ulusal ve uluslararası Yeşil Finans imkânlarının kullanım imkânı bulunduğu unutulmamalıdır.

1. GİRİŞ

Başlıca doğal kaynaklarımızdan olan tatlı suyun tek kaynağı yağışlardır. Ancak günümüzde iyice hissedilir hale gelen iklim değişikliğinin su kaynakları üzerinde yol açtığı olumsuzluklardan, bulunduğu coğrafi konum itibarıyla, ülkemiz de önemli ölçüde etkilenmektedir. Kısıtlı su kaynaklarımızın iklim etkisi ile azalmaya yüz tutması ile Türkiye’de 2015 yılından itibaren su stresi yaşayan ülkeler arasına girmiştir. Oysaki su tüm canlıların ihtiyacı olduğu gibi çeşitli sektörler tarafından da kullanılmaktadır. Sektörel su kullanımında, yerüstü akışa sahip akarsular ve sulak alanlardaki ekolojik dengenin korunması amaçlı çevresel akışın dışında, içme-kullanma suyu, tarımsal sulama ve sanayi önde gelen suya bağımlı sektörlerdendir. Hal böyle iken, günümüzde her sektörde su verimliliğinin sağlanması önem arz etmek olup, ülkemizde başlatılan Su Verimliliği Seferberliği kapsamında sanayide su verimliliği çalışmaları hızlandırılmıştır.

Sanayi sektörü içerisinde yer alan birçok alt sektörün suya bağımlı olmalarından hareketle, iklim

duyarlı sanayi odaklı bütüncül su-atıksu yönetimi konusunda İstanbul Sanayi Odası (İSO)ya bu rehber niteliğindeki Rapor, konularında her biri uzman olan İstanbul Teknik Üniversitesi akademisyenleri tarafından hazırlanmıştır.

Raporun 2. Bölümü iklim değişikliğinin su kaynakları üzerindeki etkilerine ayrılmıştır. Bu bağlamda, Türkiye için yüksek çözünürlüklü iklim ve hidrolojik modelleme projeksiyonları ve sonuçlarına yer verildikten sonra, Marmara Havzası özelinde İstanbul ile ilişkili nehir havzaları ve alt havzalar için iklim modellemesi ile hidrolojik modelleme projeksiyonları ve sonuçları açıklanmıştır.

Raporun 3. Bölümü’nde Türkiye’de sektörel su kullanımı ile ilgili mevcut durum özetlendikten sonra, İstanbul özelindeki su kullanımına değinilmiştir. İstanbul’un 2023-2053 dönemi su ihtiyacı, sanayi sektörünün su talebi ile atıksu debi ve kirlilik yüklerine ilişkin bilgilendirmenin devamında, İstanbul’da sanayi için alternatif proses suyu temin imkanları ile

Olumsuz iklim etkisi Türkiye'nin 2015'ten bu yana su stresi yaşayan ülkeler arasına girmesine neden oldu.

su arzında iklime dirençliliği artırıcı faaliyetler sıralanmıştır.

Raporun 4. Bölümü sanayide temiz üretim ve ileri arıtma teknolojilere ayrılmıştır. Öncelikle suya bağımlı sanayi sektörleri hakkında bilgilendirmede bulunulduktan sonra, güncel arıtma teknolojileri ile temiz üretim ve öncelikli sektörlere özgü atıksu arıtma teknolojileri anlatılmıştır.

Raporun 2. 3. ve 4. Bölümleri oldukça kapsamlı olarak ele alınmış olup, her biri için ayrı Ara Raporlar üretilmiştir.

Raporun son bölümünü oluşturan 5. Bölümü su-atıksu yönetimi konusunda sanayi için geleceğe dönük iklim duyarlı yol haritasına ayrılmıştır. İklim değişikliği etkilerinin sanayi sektörü ve alt sektörlerinde yol açması muhtemel risk ve tehlikelere değinildikten sonra, bu etkilerin azaltılması ve uyum süreci politikalarından bahsedilip, Sanayi İçin İklim Duyarlı Yol Haritası Önerisi'ne yer verilmiştir.

Su verimliliğinin her sektörde artırılması gerekliliği önem kazanmış durumda.

2. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN TÜRKİYE'NİN SU KAYNAKLARI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

2.1 İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN TÜRKİYE'NİN YAKIN ÇEVRESİNDEKİ ETKİLERİ

Küresel ve bölgesel iklim değişikliği projeksiyonları Akdeniz Havzası'nı iklim değişikliği açısından sıcak (hassas, kritik) bölge olarak nitelirmektedir. Bu havzada yer alması hasebiyle Türkiye de iklim değişikliğinden olumsuz etkilenmesi beklenen İspanya, İtalya, Yunanistan gibi ülkeler arasında yer almaktadır. Sıcaklık, yağış, dağ buzulları ve nehir akımları ölçümlerine dayanan çalışmalar Türkiye'de

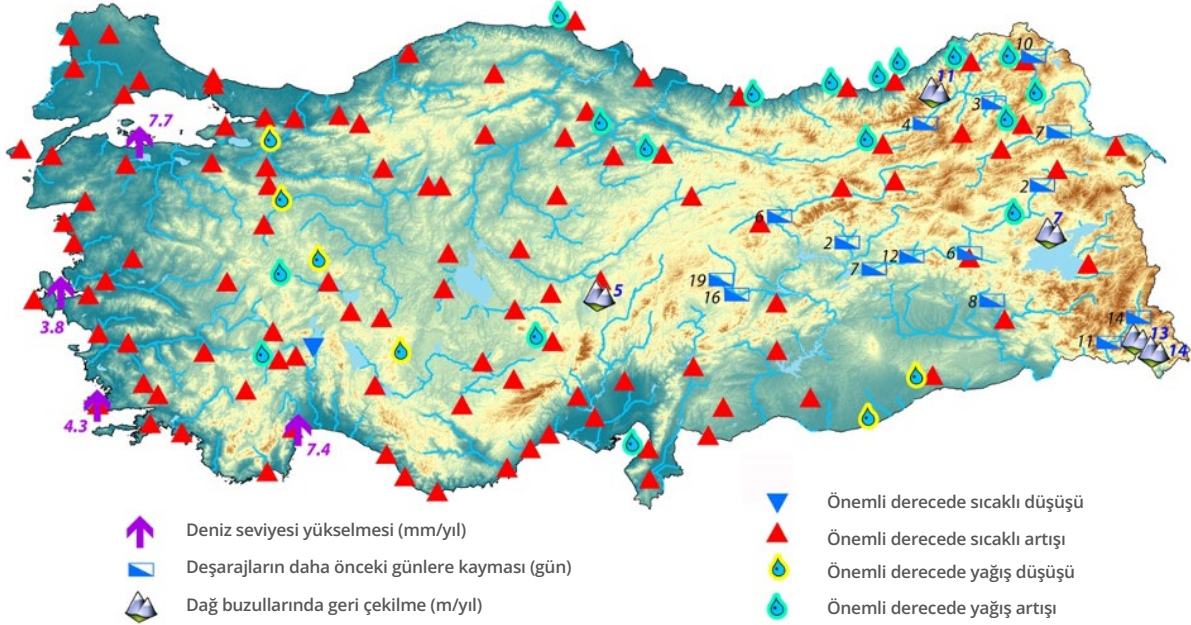
iklimin değişmekte olduğunu ortaya koymaktadır (Şekil 2.1). Hidro-meteorolojik gözlem yapılan istasyonlardan ve uydu gözlemlerinden elde edilen veriler sıcaklıkların Türkiye genelinde önemli oranda arttığını, buna paralel olarak erken eriyen kar örtüsünün Doğu Anadolu'daki karla beslenen nehirlerdeki tepe akımlarını erkene kaydırıldığını ve dağ buzullarının geri çekildiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca Akdeniz ve Ege kıyılarında yapılan gözlemler deniz seviyesinin de yükselmekte

Türkiye de iklim değişikliğinden olumsuz etkilenmesi beklenen İspanya, İtalya, Yunanistan gibi ülkeler arasında yer almaktadır.





Şekil 2.1: Gözlemlere göre Türkiye’de tarihsel dönemler için iklim değişikliği (Sen, 2013)

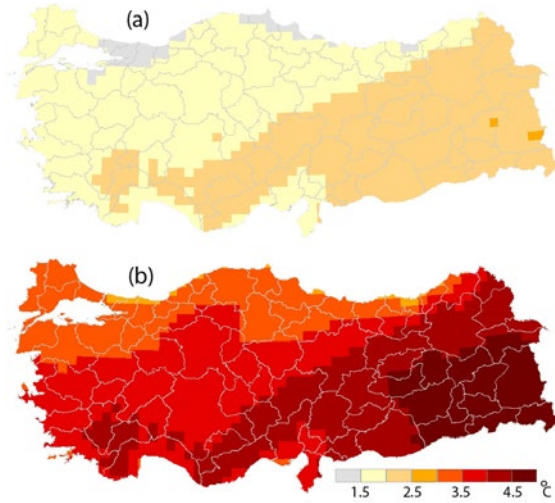


olduğunu göstermektedir. Bir bütün olarak değerlendirildiğinde gözlemler iklimin Türkiye’de de değişmekte olduğunu şüphe götürmez bir gerçek olarak ortaya koymaktadır (Şen vd., 2024).

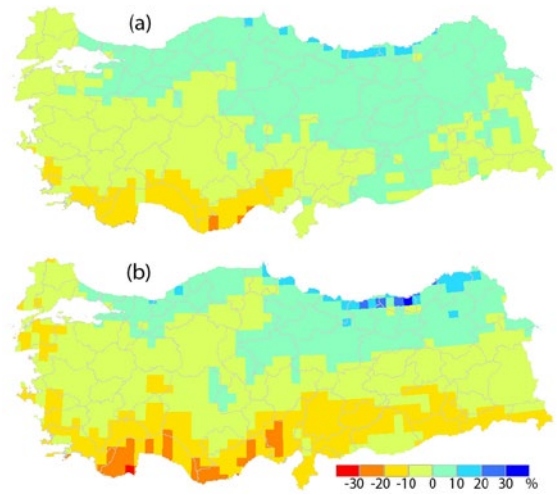
Sıcaklık Değişimi. Türkiye için gerçekleştirilen pek çok yüksek çözünürlüklü iklim değişikliği projeksiyonu mevcuttur. Bu projeksiyonlar arasında bazı farklar bulunmakla beraber büyük resim konusunda hemen hepsi benzer sonuçlar ortaya koymaktadır. Genel olarak ifade etmek gerekirse sıcaklığın Türkiye’nin

her yerinde artacağı, fakat artışların doğu ve güneydoğuya doğru gidildikçe daha fazla olacağı öngörülmektedir (Şekil 2.2). Kötümser senaryoda yüzyılın ortasına kadar artışların 1-3 °C arasında, yüzyılın sonuna kadar ise 2,5-5 °C bandında olması beklenmektedir. Türkiye’de en düşük ısınma öngörüsü (yüzyılın ortasına kadar 1,5 °C’nin altı ve yüzyılın sonuna kadar 3 °C’nin altı) İstanbul’a kadar Karadeniz sahil kesimi için ortaya çıkmaktadır. Genel olarak Türkiye’nin denizel etkiye açık kuzeybatı yarısı güneybatı yarısına göre daha az ısınacaktır (Şen vd., 2024).

Şekil 2.2: Kötümser senaryoya göre Türkiye’de (a) yüzyılın ortasını ve (b) yüzyılın sonunu temsil eden dönemler için sıcaklık değişimi (Sen, 2013)



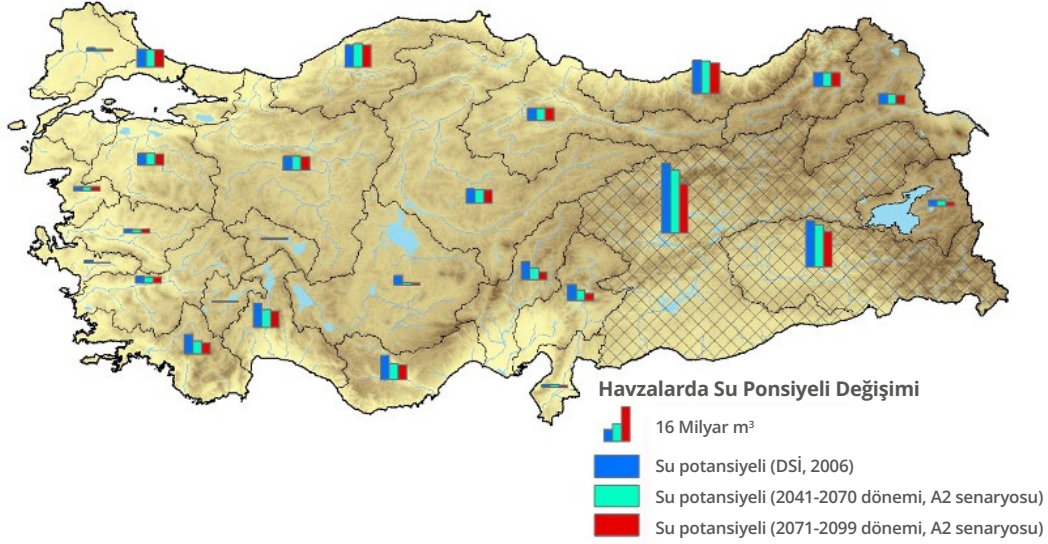
Şekil 2.3: Kötümser senaryoya göre Türkiye’de (a) yüzyılın ortasını ve (b) yüzyılın sonunu temsil eden dönemler için yağış değişimi (Sen, 2013)



Yağış Değişimi. Türkiye’de yağışların değişimi Akdeniz Havzası’nın kuzey kesimindeki değişime paralel olarak ülkenin güneyinde azalma kuzeyinde ise değişmeme veya bir miktar artma eğilimi göstermektedir (Şekil 2.3). Kötümser senaryoya göre yüzyılın ortasına kadar Akdeniz Bölgesi yağışlarında %10-20 arası azalma gerçekleşecektir. Marmara Bölgesi’nin batısı, Ege Bölgesi, İç Anadolu’nun orta, batı ve güney kısımları ve Güneydoğu Anadolu’nun doğu kesimlerinde azalma %10’unun altında kalacaktır. Türkiye’nin Doğu Karadeniz’in sahil kesimleri (artışları %10’un üzerinde olacaktır) hariç geri

kalan kısmında (İstanbul da dahil) %10’a kadar artış öngörülmektedir. Yüzyılın sonuna kadar yapılan öngörülerde bu tablo yağış azalma oranının büyümesi ve alansal olarak kuzeye doğru genişlemesi şeklinde ortaya çıkmaktadır. En büyük azalma oranları (> %20) Akdeniz Bölgesi’nde beklenmektedir. Yağış değişim deseni Türkiye’de güneybatıda ariditenin (kuruçluk) artması kuzeydoğuda azalması şeklinde kendini göstermektedir. Paleo çalışmalarda ise soğuk dönemde (son buzul dönemi) bu desenin tersi duruma işaret edilmekte, diğer bir ifade ile yağışların güneybatıda artması, kuzey-

Şekil 2.4: Havzalardaki su potansiyeli değişimi (Sen, 2013)



doğuda ise azalması öngörülmektedir. Bunun arkasındaki mekanizma, daha önce açıklanan fırtına yörüngelerindeki kuzey-güney doğrultusundaki kayma ile ilişkilidir. Soğuk dönemlerde daralan Hadley hücresi yağış getiren fırtına sistemlerinin daha güneyli (Akdeniz üzerinde) bir yörünge izlemelerini sağlarken, sıcak dönemlerde genişleyen Hadley hücresi fırtınaların daha kuzeyli bir yörünge takip etmelerine yol açmaktadır. Bu nedenle soğuk dönemlerde Türkiye'nin güneybatısı daha fazla, sıcak dönemlerde ise daha az yağış alma eğiliminde olmaktadır. Sıcak dönemlerde daha kuzeyli bir yörüngede hareket eden fırtına sistemleri Karadeniz'e ulaştıklarında sahil kesiminde yağışları artırmaktadır (Şen vd., 2024).

Su Potansiyeli Değişimi. Türkiye'de iklim değişikliğinin su kaynaklarına etkisi değişik çalışmalar ve projeler ile ortaya konmuştur. Havza bazlı yapılan ilk çalışmalardan birinde (Sen, 2013); Türkiye'nin güney havzalarında (Dicle, Fırat, Ceyhan, Seyhan, Konya ve Akdeniz havzaları) su potansiyellerinde ciddi oranlarda azalma meydana geleceği, buna mukabil kuzey havzalarımızdaki değişimin sınırlı kalacağı öngörülmektedir. Güney havzalarında sadece yağış eksilmesi değil aynı zamanda ısınma kaynaklı buharlaşma-terleme artışı da su potansiyelini azaltacaktır. Kuzey havzalarında ise özellikle yüzyılın ikinci yarısında buharlaşma-terlemedeki artış su potansiyeli üzerinde baskı oluşturacaktır (Şekil 2.4) (Şen vd., 2024).



Güney havzalarında sadece yağış eksilmesi değil aynı zamanda ısınma kaynaklı buharlaşma-terleme artışı da su potansiyelini azaltacaktır.

2.2 TÜRKİYE İÇİN İKLİM VE HİDROLOJİK MODELLEME PROJEKSİYONLARI

2.2.1 İklim Modellemesi Projeksiyonları ve Sonuçları

Türkiye’de iklim değişikliği ve su kaynakları etkileşimi konusunda bugüne kadar yapılan en kapsamlı çalışma olan ve Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü tarafından yürütülen “İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkileri Projesi”nde, iklim projeksiyonları kapsamında, IPCC’nin 5. Değerlendirme Raporu’nun tabanını oluşturan CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project 5) arşivinden seçilmiş üç küresel modelin (HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-5.1) çıktıkları, RCP4.5 (iyimser senaryo) ve RCP8.5 (kötümser senaryo) emisyon salım (zorlama) senaryoları ile tüm Türkiye’yi kapsayacak şekilde RegCM4.3 bölgesel iklim modeli çalıştırılmıştır (OSİB, 2016a).

Toplam 8 parametre ve ekstrem durumları temsil eden 17 iklim indisine ait projeksiyonlar tüm nehir havzaları (25 havza) ölçeğinde modellenmiş, incelenen parametrelerin 1971-2000 yılı simülasyonları olarak kabul edilen referans dönemine göre 2100 yılına kadarki farkları, 10'ar ve 30'ar yıllık dönemler için, mevsimlik ve yıllık ortalamalar halinde hesaplanmıştır. Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü tarafından gerçekleştirilmiş ve İTÜ'nün Bilimsel desteği ile gerçekleştirilen bu projede ilk kez, Türkiye için 10x10 km çözünürlükte 3 küresel iklim modelinin 2015-2100 dönemi simülasyon (projeksiyon) sonuçları elde edilmiştir (OSİB, 2016a, Öztürk vd., 2023).

İklim Değişimi Modellemesi Sonuçları

Sıcaklık Projeksiyonları. Türkiye genelinde RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları için HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 modellerine dayalı RegCM4.3 bölgesel iklim model çözümlerinin 10'ar yıllık mevsimlik sonuçları görselleştirilmiş, örnek olarak RCP4.5 senaryosu HadGEM2-ES modeli Şekil 2.5 ile



Tablo 2.1: RCP4.5 ve RCP8.5 senaryosuna göre HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 modellerine dayalı Türkiye ortalama sıcaklık anomali değerleri (°C) (OSİB, 2016a)

Dönem	HadGEM2-ES	MPI-ESM-MR	CNRM-CM5.1
2015-2020	1,2 (1,7)*	0,4 (0,6)	1,0 (0,8)
2021-2030	1,7 (1,7)	0,9 (0,8)	0,6 (1,0)
2031-2040	2,1 (2,2)	1,3 (1,1)	0,9 (1,2)
2041-2050	2,3 (2,7)	1,2 (1,7)	1,1 (1,5)
2051-2060	2,6 (3,2)	1,6 (2,4)	1,5 (2,3)
2061-2070	3,0 (4,1)	1,7 (2,8)	1,5 (3,0)
2071-2080	2,9 (4,5)	1,8 (3,3)	1,9 (3,1)
2081-2090	3,1 (5,3)	1,8 (3,8)	2,0 (3,6)
2091-2100	3,4 (5,9)	2,0 (4,5)	2,5 (4,3)

(*) Parantez içinde verilen değerler RCP8.5 senaryosu sonuçlarını göstermektedir.

verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere, her üç modelde projeksiyon dönemi boyunca (2015-2100) RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları için tahmin edilen ortalama sıcaklık anomali değerleri, dört mevsim için referans dönemine göre pozitif (artış yönünde) sonuçlar vermektedir (Tablo 2.1).

Her üç model için 25 havzada ortalama sıcaklıkların 30 yıllık değişimleri, 2015-2100 periyodunda her iki senaryo için de sıcaklık artışlarının, Türkiye'nin güneyinden kuzeyine gidildikçe artmakta olduğu dikkati çekmektedir. Özellikle yüksekliğin hâkim olduğu topografya içerisinde Fırat Dicle Havzası üzerin-

de yaz aylarındaki beklenen sıcaklık artışları diğer mevsimlere göre daha yüksek ve diğer bölgelere göre ise daha hızlıdır. Sıcaklık artışlarının 2100'lere doğru, özellikle Türkiye'nin doğu ve güneydoğusunda 4-6°C'ye ulaşacağı beklenmektedir. Artan sıcaklıklar nedeniyle kış aylarında yağış tipinin daha sık olarak kardan yağmura dönmesi, karla kaplı alanların azalmasına ve ilkbahar aylarında ise karın daha erken erimesine sebep olmaktadır. Karla kaplı yüzeylerdeki azalma yüzeyin albedosunun azalmasını ve dolayısıyla yüzey tarafından soğurulan güneş radyasyon miktarının artmasını sağlayarak sıcaklıkları diğer bölgelerden daha hızlı yükseltmektedir.

Toplam Yağış Projeksiyonları

Türkiye genelinde yağışın bölgesel, mevsimsel ve yıllık değişimlerinin HadGEM2-ES, MPIESM-MR ve CNRM-CM5.1 modellerine dayalı RegCM4.3 bölgesel iklim model çözümlerinin RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları altında 2100 yılına kadar 10'ar yıllık sonuçları görselleştirilmiştir. Örnek olarak RCP4.5 senaryosu için ortalama sıcaklık anomali değerlerinin değişimi HadGEM2-ES modeli ile Şekil 2.5'de ve toplam yağış anomali değerlerinin değişimi RCP4.5 senaryosu için HadGEM2-ES modeli ile Şekil 2.6'da verilmiştir.

RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları için HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 modellerine ait yağış projeksiyonları yer sistem modellerine bağlı olarak projeksiyon dönemi boyunca (2015-2100) bölgesel olarak yağışlarda artış ve azalışların meydana geleceğini göstermektedir. Genel olarak projeksiyon dönemi boyunca on yıllık mevsimsel yağış ortalamalarında RCP4.5 senaryosu için -50 mm ile 40 mm arasında RCP8.5 senaryosu için ise -60 mm ile 20 mm arasında değişimler (sapmalar) öngörülmektedir (Tablo 2.2).

Tablo 2.2: RCP4.5 ve RCP8.5 senaryosuna göre HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 modellerine dayalı Türkiye toplam yağış anomali değerleri (mm)

Dönem	HadGEM2-ES	MPI-ESM-MR	CNRM-CM5.1
2015-2020	9,20 (-17,20)	0,50 (-29,80)	41,40 (-10,40)
2021-2030	-1,10 (17,20)	-15,50 (5,50)	5,40 (-27,40)
2031-2040	-23,70 (-1,40)	-27,30 (4,00)	24,10 (-11,20)
2041-2050	-2,60 (-16,00)	10,60 (19,70)	32,10 (-13,50)
2051-2060	-24,20 (-42,50)	-7,70 (-30,10)	19,50 (-36,00)
2061-2070	-53,70 (-58,60)	-17,80 (-62,50)	-18,00 (-19,90)
2071-2080	21,20 (-33,30)	-28,10 (-44,30)	23,00 (-30,10)
2081-2090	-13,90 (-6,70)	-11,30 (-40,30)	0,30 (1,80)
2091-2100	-51,00 (-61,50)	-19,00 (-54,60)	-7,20 (-14,90)

(*) Parantez içinde verilen değerler RCP8.5 senaryosu sonuçlarını göstermektedir.

Model simülasyonları Türkiye'nin kuzeyinde yer alan havzalarda iklim rejiminin referans döneminden daha yağışlı olacağını öngörmektedir.



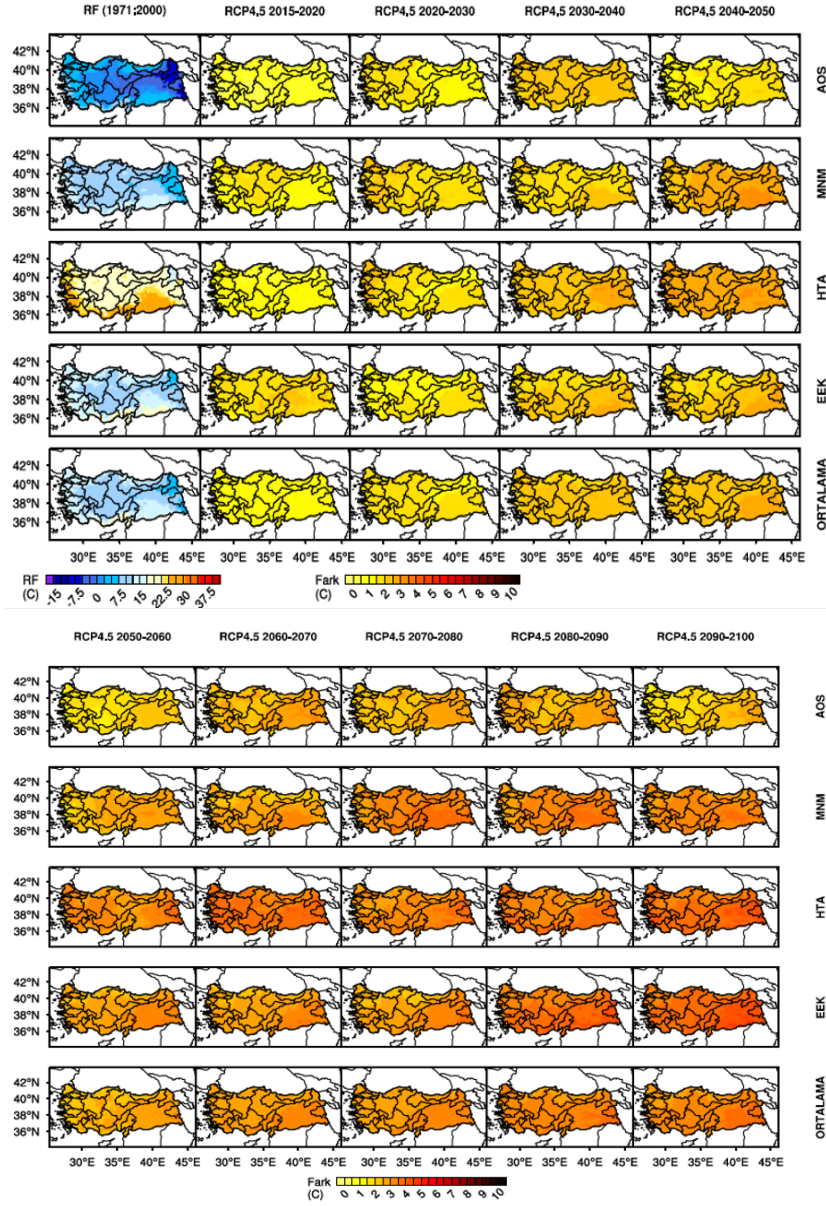
Yağışta meydana gelen bu değişimler, göz önüne alınan dönemler ve RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına bağlı olarak birbirinden önemli farklılıklar da gösterebilmektedir.

Model simülasyonları Türkiye'nin kuzeyinde yer alan havzalarda iklim rejiminin referans döneminden daha yağışlı olacağını öngörmektedir. Örneğin RCP8.5 senaryosu 2050'li yıllardan itibaren havzalardaki kuraklığın kuzeyden güneye doğru gidildikçe şiddetleneceğini ve havza ba-

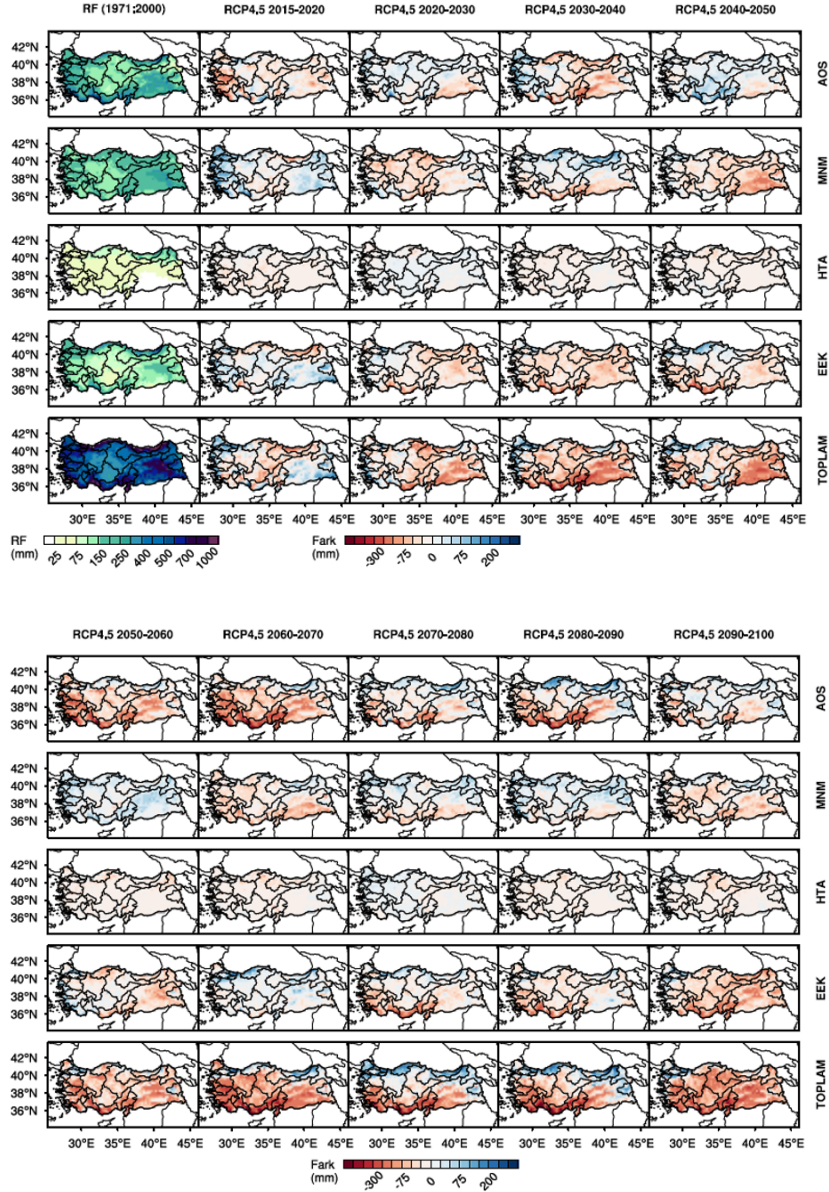
zındaki on yıllık ortalama yıllık yağış toplamlarının 150 mm'lere varan mertebelerde düşeceğini ortaya koymaktadır. En şiddetli kuraklık öngörülleri MPI-ESM-MR modeline, en ılıman kuraklık öngörülleri ise CNRM-CM5.1 modeline aittir.


Havzalar bazında yağış değişimleri yıllık toplam yağışın yüzdesi olarak incelendiğinde en fazla değişimlerin azalma yönünde Doğu Akdeniz, Batı Akdeniz ve Ceyhan havzalarında olduğu görülmektedir.

Şekil 2.5: Ortalama sıcaklık anomali değerlerinin HadGEM2-ES modeli RCP4.5 senaryosu için 10'ar yıllık dönemlerde ve mevsimlik değişimi (OSİB, 2016a)




Şekil 2.6: Toplam yağış anormali değerlerinin HadGEM2-ES modeli RCP4.5 senaryosu için 10'ar yıllık dönemlerde ve mevsimlik değişimi (OSİB, 2016a)





Fırat Dicle Havzası'nda da yıllık toplam yağışların %3 ila %8 arasında azalacağı beklenmektedir.

Türkiye genelinde 2015-2100 yılları arasında tahmin edilen en düşük yağış değerleri Konya Kapalı Havzası'ndadır. Konya Kapalı Havzası'nda RCP4.5 senaryosunda HadGEM2-ES modeli 2015- 2100 arasındaki üç dönem ortalamalarında yağışta 10 ile 30 mm arasında değişen düşüşler öngörülmektedir. RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarının her üç model üzerindeki etkisi Türkiye'nin batısında yer alan Meriç-Ergene, Marmara Kuzey Ege, Susurluk, Gediz, Küçük Menderes ve Büyük Menderes Havzalarında farklılık göstermektedir. RCP4.5 senaryosunda HadGEM2-ES ve CNRM-CM5.1 model simülasyonları Marmara, Kuzey Ege, Meriç-Ergene, Küçük Menderes Havzaları iklim rejiminin referans döneminden daha yağışlı olacağını; MPI-ESMMR ise Doğu Karadeniz, Batı Karadeniz, Marmara, Yeşilirmak Havzalarının daha yağışlı olacağını öngörmektedir.



Kar projeksiyonları genel olarak değerlendirildiğinde ise, Türkiye genelinde kar miktarlarının her iki senaryoda da 2015-2100 yılları arasında giderek azalacağı öngörülmektedir. Yüzyılın başlarında günümüz Türkiye iklim rejimine benzer olarak normalin biraz üzerinde veya altında kar yağışları tespit edilmesine karşın, sera gazı salım senaryolarının bölgenin doğal iklim değişkenliğinde daha baskın olması nedeniyle, yüzyılın ikinci yarısında kar yağışlarında hızla azalma beklenmektedir. Sıcaklıkların artması sonucu yağışların tipinin kar şeklinde olması hidrolojik açıdan önem arz etmektedir. Zira biriken kar bir su rezervuarı işlevi görmekte ve özellikle bahar ve yaz aylarının başlarında artan sıcaklıkların bir sonucu olarak eriyerek nehir sistemlerine su girişi sağlamaktadır. Dolayısıyla yüksek alanlardaki kar örtüsü bölgesel hidrolojik döngüde önemli bir role sahiptir. Özellikle Doğu Anadolu bölgesinde ve Doğu Toroslar'da kar örtüsündeki azalmanın Fırat Dicle Havzası'nın hidrolojik döngüsünü değiştireceği beklenmelidir.



İklim İndisleri

Ekstrem hava olayları bakımından sıcaklık aşırıları için en önemli göstergelerden biri sıcak hava dalgasına (WSDI) ait indis değerleridir. WSDI indisi her takvim gününün maksimum sıcaklığının referans döneminin %90'ından daha fazla olduğu günleri göstermektedir. RCP4.5 ve RCP8.5 senaryosuna ait 2015-2040 dönemi indis sonuçları Güneydoğu Anadolu Bölgesi dışında referans dönemi ile büyük ölçüde örtüşmektedir ve tüm yer sistem modelleri birbirine benzer olarak sıcak hava dalgalarının Türkiye'nin güney enlemlerinden kuzeye doğru her 30 yıllık periyotta tedricen artacağına işaret etmektedir (Tablo 2.3).

Özellikle 2041 yılından sonra RCP4.5 senaryosuna dayalı en yüksek sıcak hava dalgası indis değerleri Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgeleri'nde öngörülmektedir. Son projeksiyon döneminde ise ülkenin tamamen güney bölgelerinde 80-120 gün arasında değişen bu indis değerlerinin hâkim olacağı anlaşılmaktadır. RCP8.5 senaryosunda bu indis değerlerinde daha büyük artışlar öngörülmektedir.

Maksimum ve minimum sıcaklıkların yüzyılın sonuna doğru artması beklenirken özellikle Akdeniz Bölgesinde, Güney ve Doğu Anadolu Bölgelerinde bu artışların daha yüksek ola-

Beklenen yağış eksiklikleri ile beraber buharlaşma hızının artması su kaynaklarında ve tarım sektöründe stresi yükseltecektir.

cağı öngörülmektedir. Gündüz sıcaklıklarının yüksek seyretmesi sıcak hava dalgası sıklıklarında ve şiddetinde bu bölgelerde artışlar yaratacaktır. Buna ek olarak gece sıcaklıklarının da yüksek olması insan ve hayvanların gece rahatlamasını sınırlayacağı için sıcak hava dalgasının yaratacağı zararların artmasına neden olacaktır. Ayrıca gündüze ilave olarak gece de ortam soğutması için kullanılacak enerji talebini de artıracaktır.

Beklenen yağış eksiklikleri ile beraber buharlaşma hızının artması su kaynaklarında ve tarım sektöründe stresi yükseltecektir. Bu durum, Akdeniz kıyı şeridinde ise turizm sektöründe yeni bir yapılanma içine girilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu hususu yağışın 1 mm'den az olduğu ardışık günlerin sayısını veren CDD iklim indisinin Türkiye genelindeki davranışları da desteklemektedir. CDD indisi her üç modelde de artış gösterirken, yağışın 1 mm'den fazla olduğu ardışık ıslak gün sayısını veren CWD indis değerinde ise önemli bir değişim tespit edilmemiştir.

Marmara Bölgesinde, Ege (özellikle güney Ege) ve Karadeniz kıyı şeridinde, İç Anadolu Bölgesinde ve Fırat Dicle Havzası'nda yüzyılın sonuna doğru R20 çok şiddetli yağışlı gün sayısı iklim indisinde artışlar öngörülmektedir. Yağışın yüksek olduğu günlerin sayısı ile ilgili indisler olan gerek R20 (yağışın 20 mm'den yüksek olduğu günler) ve gerekse de R25 (yağışın 25 mm'den yüksek olduğu günler) indis değerleri Türkiye'de projeksiyon dönemi boyunca önemli bir değişim göstermemekle birlikte; Marmara, Batı Karadeniz, Güney Ege ve Van Gölü civarında 20 mm'den fazla yağışlı gün sayılarında sınırlı artışlar olacağı tüm modeller ve senaryolarca beklenmektedir.

2015-2100 yılları arasında pozitif yağış anomalilerinin görüldüğü Karadeniz ve Marmara Bölgesi'nde aşırı yağış olasılıklarının artması bu bölgelerde özellikle şehir sellerinin oluşum sıklığını ve buna bağlı ekonomik kayıpları artırabilir. Yıllık toplam yağışların 100-400 mm arasında artması dolayısıyla bu bölgelerdeki yağış rejiminin değişeceği veya hali hazırda değişmekte olduğu açıktır.

Tablo 2.3: İklim indisleri (OSİB, 2016b)

İndis -ID	İndis Adı	Tanımlama	Birim
FD0	Donlu günler	Minimum sıcaklık < 0°C olduğu günler	Gün
SU25	Yaz günleri	Maksimum sıcaklık > 25°C olduğu günler	Gün
TN10p	Serin geceler	Tmin < normalinin %10 olduğu günler	Gün
TX10p	Serin günler	Tmax < normalinin %10 olduğu günler	Gün
TN90p	Sıcak geceler	Tmin > normalinin %90 olduğu günler	Gün
TX90p	Sıcak günler	Tmax > normalinin %90 olduğu günler	Gün
TX35	Aşırı Sıcak Günler	Maksimum sıcaklık > 35°C olduğu günler	Gün
WSDI	Sıcak hava dalgası	Tmax > normalinin %90 olduğu en az 6 ardışık gün sayısı	Gün
CSDI	Soğuk hava dalgası	Tmin < normalinin %10 olduğu en az 6 ardışık gün sayısı	Gün
DTR	Günlük sıcaklık genişliği	Tmax-Tmin	°C
RX5	5 günlük maksimum yağış	5 günlük ardışık maksimum yağış miktarı	mm
RX1	1 günlük maksimum yağış	Günlük maksimum yağış miktarı	mm
R10	Şiddetli yağışlı gün sayısı	Yağış ≥ 10 mm olduğu günler	Gün
R20	Çok Şiddetli yağışlı gün sayısı	Yağış ≥ 20 mm olduğu günler	Gün
R25	Çok Şiddetli yağışlı gün sayısı	Yağış ≥ 25 mm olduğu günler	Gün
CDD	Ardışık kurak gün sayısı	Yağışın < 1 mm olduğu ardışık gün sayısı	Gün
CWD	Ardışık ıslak gün sayısı	Yağışın ≥ 1 mm olduğu ardışık gün sayısı	Gün

2.2.2 Hidrolojik Modelleme Projeksiyonları

2.2.2.1 Türkiye'nin Mevcut Su Potansiyeli Türkiye, Şekil 2.7 ile de görüldüğü üzere 25 hidrolojik havzaya bölünmüş durumdadır (Ormanlık ve Su Şurası Raporu, 2017). Devlet Su İşleri (DSİ) Genel Müdürlüğü verilerine göre toplam alanın yaklaşık %30'u, ülkenin doğusunda yer alan en büyük alansal büyüklükteki Fırat-Dicle Havzasına aittir. Fırat-Dicle'yi alansal büyüklük olarak Kızılırmak ve Sakarya Havzaları, ortalama yıllık akış miktarı bakımından ise Doğu Karadeniz, Doğu Akdeniz ve Antalya Havzaları takip etmektedir (Tablo 2.4).

Tablo 2.4: Türkiye nehir havzaları hakkında genel bilgi (Ormanlık ve Su Şurası, 2017)

Havza Adı	Yağış Alanı		Yıllık Ortalama Akış (Yüzeysel Su Potansiyeli)		Yıllık Ortalama Verim
	(km ²)	(%)	(km ³)	(%)	(l/s/km ²)
Akarçay	7.605	1	0,49	0,3	1,9
Antalya	19.577	2,5	11,06	5,9	24,2
Aras	27.548	3,5	4,63	2,5	5,3
Asi	7.796	1	1,17	0,6	3,4
Batı Akdeniz	20.953	2,7	8,93	4,8	12,4
Batı Karadeniz	29.598	3,8	9,93	5,3	10,6
Burdur Gölü	6.374	0,8	0,50	0,3	1,8
Büyük Menderes	24.976	3,2	3,03	1,6	3,9
Ceyhan	21.982	2,8	7,18	3,9	10,7
Çoruh	19.872	2,6	6,30	3,4	10,1
Doğu Akdeniz	22.048	2,8	11,07	6	15,6
Doğu Karadeniz	24.077	3,1	14,90	8	19,5
Ergene	14.560	1,9	1,33	0,7	2,9
Fırat-Dicle	184.918	23,7	52,94	28,5	8,3
Gediz	18.000	2,3	1,95	1,1	3,6
Kızılırmak	78.180	10	6,48	3,5	2,6
Konya Kapalı	53.850	6,9	4,52	2,4	2,5
Kuzey Ege	10.003	1,3	2,09	1,1	7,4
Küçük Menderes	6.907	0,9	1,19	0,6	5,3
Marmara	24.100	3,1	8,33	4,5	11
Sakarya	58.160	7,5	6,40	3,4	3,6
Seyhan	20.450	2,6	8,01	4,3	12,3
Susurluk	22.399	2,9	5,43	2,9	7,2
Van Gölü	19.405	2,5	2,39	1,3	5
Yeşilirmak	36.114	4,6	5,80	3,1	5,1
Toplam	779.452	100	186,05	100	-

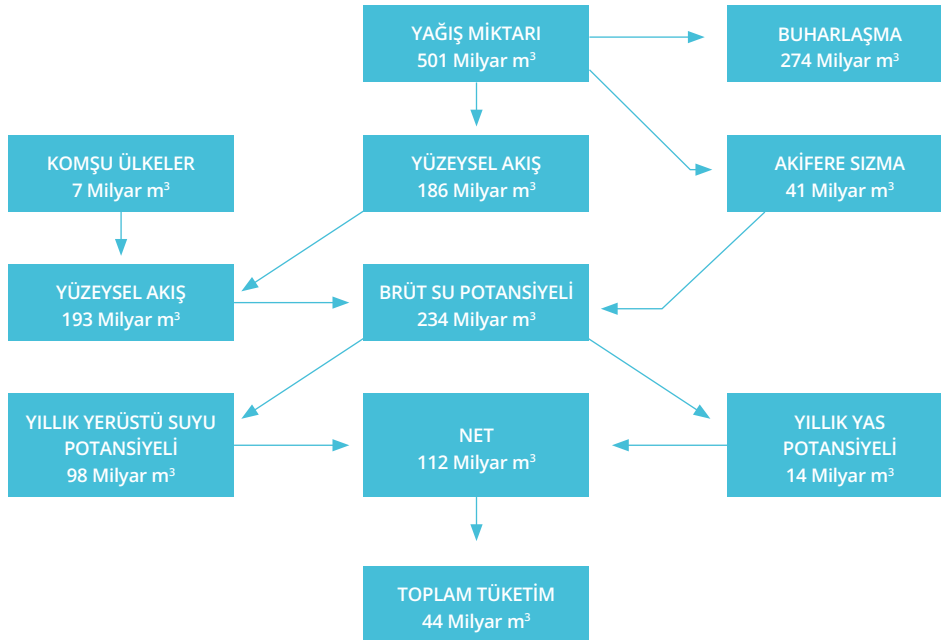
Şekil 2.7: Türkiye'de akarsu havzaları (OSİB, 2016a)



Ülkemizin su potansiyelinin Hidrolojik Bileşenler arasındaki dağılımı Şekil 2.8 ile şematik olarak gösterilmektedir (OSİB, 2016a). Türkiye’de çeşitli maksatlara yönelik su kullanımlarında, teknik ve ekonomik olarak kullanılabilir yerüstü (yüzeysel) ve yeraltı suyu miktarı (net su potansiyeli), DSİ tarafından

(234 milyar m³/yıllık brüt su potansiyelinin ~%48’ine karşı gelmek üzere) toplam 112 milyar m³ olarak belirlenmiştir. Toplam 112 milyar m³’lük net su potansiyelimizin 98 milyar m³’ü (~%88’i) yüzeysel, 14 milyar m³’ü (~%12’si) yeraltı suyu potansiyelinden oluşmaktadır.

Şekil 2.8: Türkiye’nin su potansiyeli ve dağılımı (OSİB, 2016a)



Ülkemizde mevcut durumda, 112 milyar m³'lük kullanılabilir yüzeysel ve yeraltı suyu potansiyelinin ancak 44x10⁹ m³'ü (~%40'ı) kullanılmaktadır.

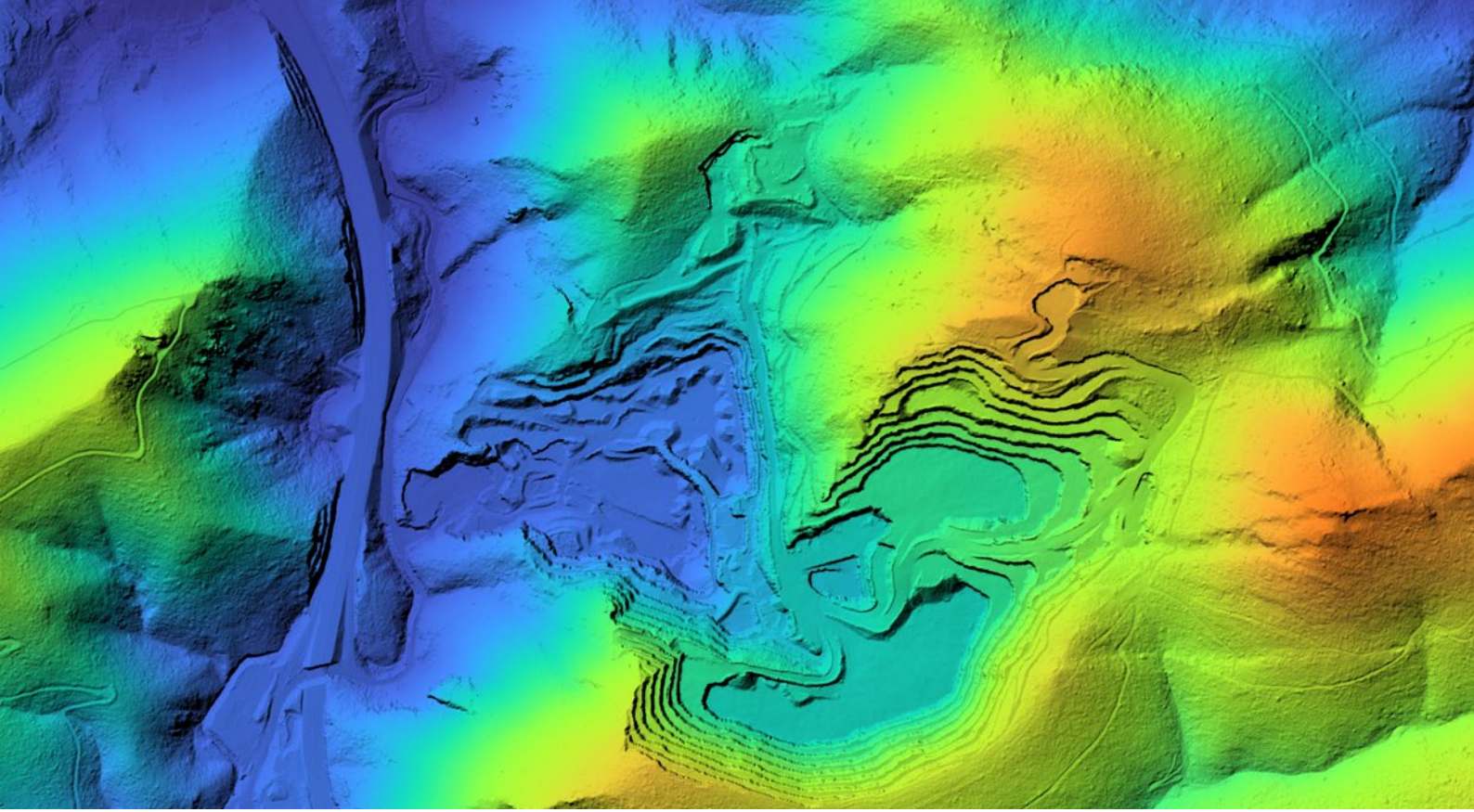
Türkiye'nin 1951-2000 dönemi hidro-meteorolojik verileri ile ortalama yağış yüksekliği 643 mm/yıl olup yılda ortalama 501x10⁹ (501 milyar) m³ suya karşılık gelmektedir. Düşen yağışın yaklaşık %55'i (274x10⁹ m³) buharlaşma ve terleme yoluyla atmosfere geri dönmekte, 69x10⁹ m³'lük kısmı (~%14'ü) yüzey altı ve yeraltı sularını beslemekte, 158x10⁹ m³'lük (%31) kısmı ise akışa geçerek akarsular vasıtası ile denizlere ve kapalı havzalardaki göllere boşalmaktadır (Ormançılık ve Su Şurası Raporu, 2017). Yüzeysel ve yeraltı sularını besleyen 69x10⁹ m³'lük suyun 28x10⁹ m³'lük kısmı (~%41) pınarlar vasıtası ile tekrar yüzeysel sulara katılmaktadır. Böylece yıllık toplam akış veya yüzeysel su potansiyeli (158+28)x10⁹ m³=186x10⁹ m³ olmaktadır. Ayrıca ülkemize komşu ülkelerden gelen yaklaşık 7x10⁹ m³/yıl su bulunmaktadır. Böylece ülkemizin brüt yüzeysel su potansiyeli 193x10⁹ m³'e ulaşmaktadır. Yeraltı suyunu besleyen 41x10⁹ m³'lük dinamik (yenilenebilir) rezerv de dikkate alınmakla ülkenin toplam yenilenebilir su potansiyeli, 234x10⁹ m³/yıl olmaktadır. Türkiye'deki 25 havzada ölçülen uzun yıllar ortalama akış-

ları esas alınarak yürütülen bir çalışmada yıllık ortalama akış miktarı (brüt yüzeysel su potansiyeli) ~186,05x10⁹ m³/yıl olarak bulunmuştur (OSİB, 2016a).

Şekil 2.8 ile görüldüğü üzere, Türkiye'nin teknik ve ekonomik kısıtlar çerçevesinde çeşitli maksatlar için kullanılabilir yüzeysel (net) su potansiyeli, komşu ülkelerden gelen akarsulardaki 7x10⁹ m³ su ile birlikte yıllık ortalama olarak 98x10⁹ m³'tür. Teknik ve ekonomik olarak çekilebilir yeraltı suyu potansiyeli de 14x10⁹ m³ (toplam YAS potansiyelinin ~%34'ü)'tür. Ülkemizde mevcut durumda, 112 milyar m³'lük kullanılabilir yüzeysel ve yeraltı suyu potansiyelinin ancak 44x10⁹ m³'ü (~%40'ı) kullanılmaktadır (Öztürk, 2019).

2.2.2.2 Hidrolojik Modelleme Çalışması

Projeksiyon çalışmalarının ikinci aşaması olan hidrolojik projeksiyonlar kapsamında, Türkiye'de ilk kez tüm havzaların su potansiyellerinin WEAP destekli SWAT yazılımı ile hesaplanması sağlanmıştır (OSİB, 2016a). İklim

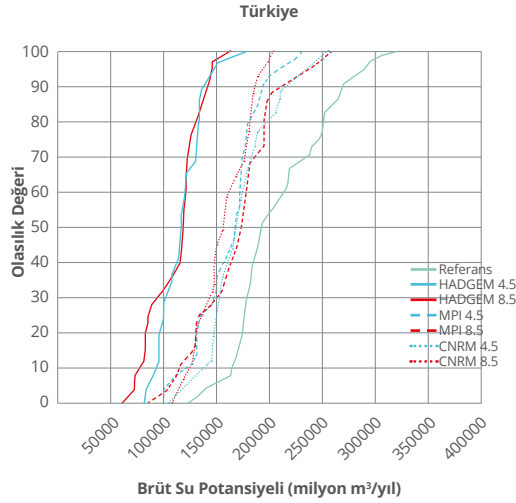


modellerinin çıktılarıyla hidrolojik modeller çalıştırılarak, yağış değerleri akış değerlerine çevrilmiş, tüm havzalarda yüzey ve yeraltı su kaynaklarının mevcut ve projeksiyon dönemleri için tahmin edilen durumu dikkate alınarak su potansiyeli modelleme/hesaplama çalışması gerçekleştirilmiştir.

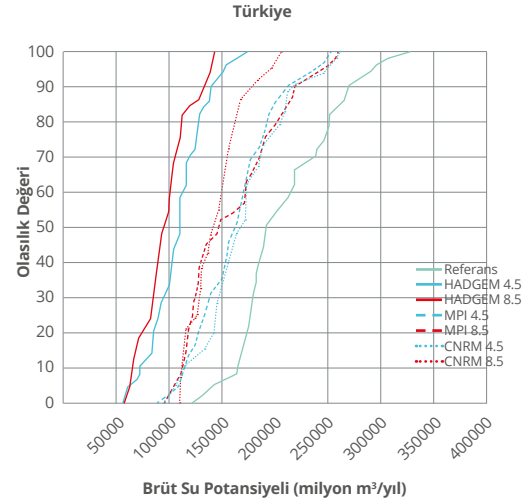
Hidrojeolojik çalışmalar kapsamında havza bazında akifer ortamları jeolojik ve hidrojeolojik olarak tanımlanmış, yeraltı su seviyesi gözlemleri, mevcut ve planlanan kuyu bilgileri gibi

özellikler havza ölçeğinde değerlendirilerek mevcut yeraltı suyu potansiyeli hesaplanmıştır. Mevcut yeraltı su potansiyeli verisi ile iklim değişimi projeksiyonları sonucunda değişen yağış buharlaşma ve sıcaklık verisi eklenerek projeksiyon dönemi için havzalar özelinde yeraltı su potansiyeli miktarları bulunmuştur. Türkiye'nin statik yeraltı suyu rezervi ilk defa bu proje kapsamında hesaplanmıştır. Dinamik ve statik rezervin birlikte değerlendirilmesi ile yeraltı su seviyesindeki olası değişimler öngörülebilmektedir (OSİB, 2016a).

Şekil 2.9: Türkiye geneli için iklim projeksiyonları senaryolarına göre 2015-2040 dönemi brüt su potansiyelinin eklenik olasılık dağılım fonksiyonlarını gösteren S eğrileri (OSİB, 2016a)



Şekil 2.10: Türkiye geneli için iklim projeksiyonları senaryolarına göre 2040-2070 dönemi brüt su potansiyelinin eklenik olasılık dağılım fonksiyonlarını gösteren S eğrileri (OSİB, 2016a)



Türkiye'nin Brüt Su Potansiyeli Projeksiyonları

İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkileri Projesi (OSİB, 2016a) kapsamında Türkiye geneli için iklim ve hidrolojik modelleme senaryo sonuçları dikkate alınarak bir istatistikî analiz yapılmıştır.

Türkiye geneli için 3 modelle 2 iklim projeksiyonu senaryosuna (RCP4.5 ve RCP8.5) göre elde edilen brüt su potansiyeli değerlerinin eklenik olasılık dağılım fonksiyonları 2015-2040, 2041-2070 ve 2071-2100 alt dönemleri için sırasıyla Şekil 2.9-Şekil 2.11'de gösteril-

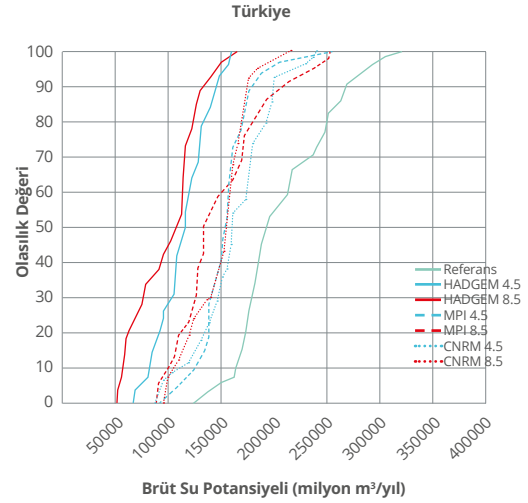
mektedir. Söz konusu grafiklerdeki brüt su potansiyeli değerlerinin, %50 (medyan) ve %90'lık görülme olasılıkları Tablo 2.5'te ayrıca toplu olarak özetlenmiştir.

İklim modelleri çıktılılarıyla, WEAP destekli SWAT hidrolojik modeliyle gerçekleştirilen simülasyonlarda, 3 alt projeksiyon dönemi için tahmin edilen medyan brüt su potansiyellerinin referans dönemi medyan değerine göre rölatif sapma durumları da Tablo 2.6'da verilmektedir.

Tablodan görüldüğü üzere, HadGEM2-ES RCP4.5 senaryosu için hidrolojik modelle-



Şekil 2.11: Türkiye geneli için iklim projeksiyonları senaryolarına göre 2070-2100 dönemi brüt su potansiyelinin eklenik olasılık dağılım fonksiyonlarını gösteren S eğrileri (OSİB, 2016a)



meyle 2041-2070 dönemi için tahmin edilen medyan su potansiyelinin, 111 milyar m³'e eşit veya küçük olması beklenmektedir. Sadece medyan değerlerin referans dönemi ile mukayesesini veren Tablo 2.6 ile görüldüğü üzere, HadGEM2-ES iklim modeli çıktılarına dayalı hidrolojik modelleme ile 2015-2100 dönemindeki 3 alt dönem için medyan brüt su potansiyellerinin, referans dönemi medyan değerine göre %40-45 (kötümser durum) azalacağı tahmin edilmektedir. Türkiye Geneli için 25 Havzada için iklim projeksiyonları senaryolarına göre 30'ar yıllık brüt su potansiyeli haritası Şekil 2.12'de verilmiştir.

Tablo 2.5: Türkiye geneli için iklim projeksiyonlarına göre hidrolojik modellemeyle üretilen brüt su potansiyellerinin görülme olasılıkları (OSİB, 2016a)

Projeksiyon Dönemi	Görülme Olasılığı (%)	Brüt Su Potansiyeli (milyon m ³ /yıl)						
		Referans Dönemi	HADGEM		MPI		CNRM	
			RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
2015-2040	50	193.499	117.508	118.864	169.903	174.607	169.353	156.950
	90	271.307	141.081	142.539	196.715	215.517	220.161	187.847
2041-2070	50	193.499	111.015	95.687	162.900	147.515	168.470	142.114
	90	271.307	140.465	132.900	212.991	219.495	215.963	178.743
2071-2100	50	193.499	117.363	107.045	153.613	135.158	161.939	156.869
	90	271.307	147.596	136.372	181.192	213.077	200.876	176.317

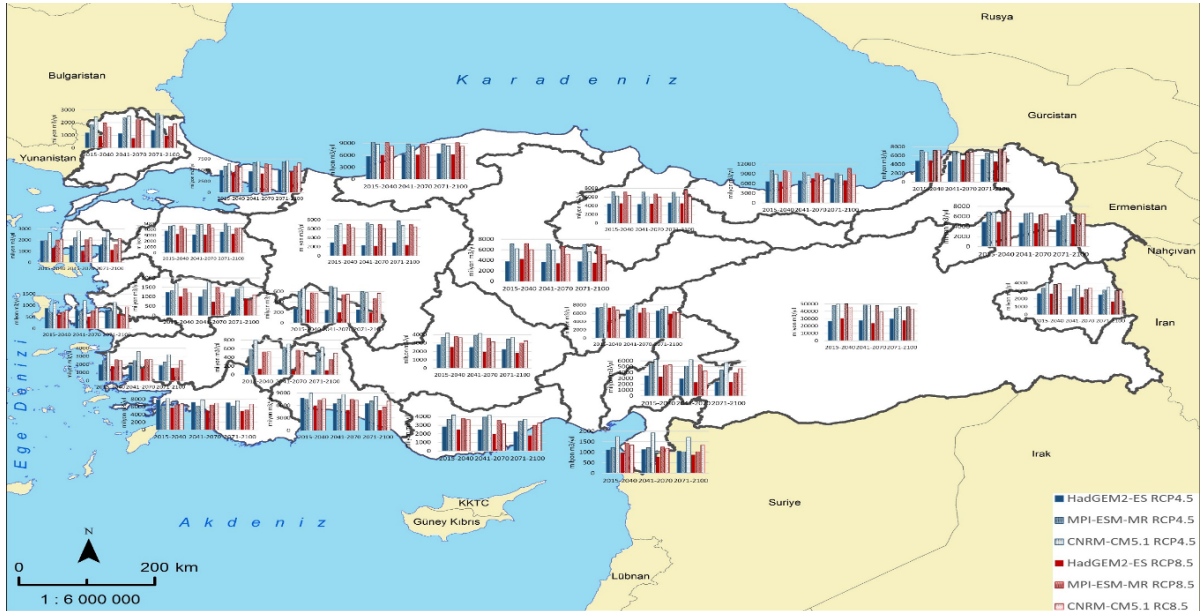
Tablo 2.6: Türkiye geneli için iklim projeksiyonlarına göre hidrolojik modellemeyle üretilen brüt su potansiyelleri medyan değerlerinin* ve referans dönemi medyan değerlerinden sapmaları (OSİB, 2016a)

Projeksiyon Dönemi	Referans Dönemi	Brüt Su Potansiyeli (milyon m ³ /yıl)					
		HADGEM		MPI		CNRM	
		RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
2015-2040	193.499	117.508	118.864	169.903	174.607	169.353	156.950
		(-39%)**	(-39%)	(-12%)	(-10%)	(-12%)	(-19%)
2041-2070	193.499	111.015	95.687	162.900	147.515	168.470	142.114
		(-43%)	(-51%)	(-16%)	(-24%)	(-13%)	(-27%)
2071-2100	193.499	117.363	107.045	153.613	135.158	161.939	156.869
		(-39%)	(-45%)	(-21%)	(-30%)	(-16%)	(-19%)

* %50 görülme olasılığı

** Parantez içindeki değerler referans dönemi değerinden rölatif sapma oranlarını göstermektedir.

Şekil 2.12: Türkiye geneli için 25 havzada iklim projeksiyonları senaryolarına göre 30'ar yıllık brüt su potansiyeli haritası (OSİB, 2016a)





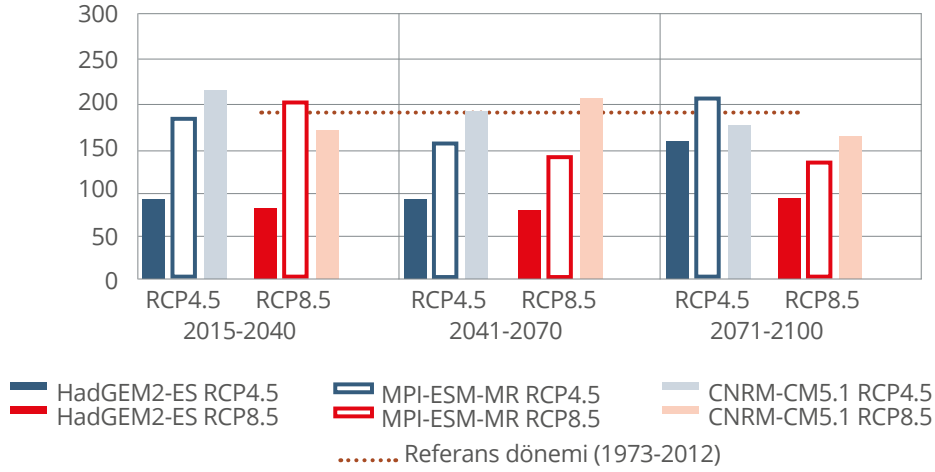
2.2.2.3 Türkiye için Su Potansiyeli Projeksiyonları

Türkiye’de akarsu havzalarının 2015-2100 dönemi için net su açığı/fazlası durumu tematik harita formatında üç model ve iki senaryo için ayrı ayrı hazırlanmış olup, örnek olarak HadGEM2-ES modeli RCP4.5 senaryosu ile aşağıda sunulmaktadır (Şekil 2.13-Şekil 2.15). Bütün dönemlerde en kayda değer su açığının gözlendiği havzalar genel itibariyle Fırat Dicle, Doğu Akdeniz ve Konya Kapalı Havzalarıdır.

Şekil 2.13: Türkiye geneli için iklim projeksiyonları HadGEM2-ES RCP4.5 senaryolarına göre havza bazlı su fazlası/açığını gösterir tematik harita (2015-2040) (OSİB, 2016a)



Şekil 2.18: Marmara havzası'nda iklim değişikliği projeksiyonlarına göre tahmin edilen yas potansiyelinin 30 yıllık ortalamaları (OSİB, 2016a)



30'ar yıllık (alt) dönemlerin tümünde, modeller referans dönemi değerlerinin altında projeksiyon sonuçları göstermektedir. Her iki senaryo sonuçlarına bakıldığında, 3 model arasında en düşük değerleri HadGEM2-ES modeli sonuçları vermektedir. Bu durumu benzer sonuçlar üreten MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 modelleri takip etmektedir. En yüksek sonuçlar CNRM-CM5.1 modeli RCP4.5 senaryosu ile 2071-2097 döneminde, en düşük sonuçlar ise HadGEM2-ES modeli RCP8.5 senaryosu ile 2041-2070 döneminde öngörülmektedir. 30'ar yıllık ortalamalara bakıldığında Marmara havzasında toplam akış değerinin ortalama RCP8.5 senaryosu (kötümser senaryo) için %25, bazı dönemlerde ise %49'a varan oranlarda düşmesi beklenmektedir.

Ancak Bölüm 2.5'te belirtildiği üzere, İstanbul ve civarındaki su kaynaklarında, söz konusu azalmanın %15~30 aralığında kalması beklenmektedir (Cüceloğlu, 2019).

Net YAS Potansiyeli

Marmara Havzası'nda tahmin edilen net (yeraltı suyu) YAS potansiyelinin 30 yıllık ortalamaları Şekil 2.18 ile verilmektedir.

Tüm 30'ar yıllık dönemler boyunca referans dönemin üzerinde ya da civarında seyreden modeller MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1 sonuçlarıdır. Gerek RCP4.5 gerekse RCP8.5 senaryosu sonuçları, her üç model dikkate alındığında en düşük değerlerin HadGEM2-ES ve bunu sırasıyla MPI-ESM-MR ve CNRM-CM5.1



modellerinin oluşturduğu görülmektedir. İstisnai durumlar MPI-ESM-MR modelinin 2015-2040 dönemi RCP8.5 sonuçları ve 2071-2097 dönemi RCP4.5 sonuçlarında gözlenmektedir.

30'ar yıllık ortalama YAS potansiyeli sonuçlarına göre her iki senaryoda da dönem referans değerine göre ortalama %20, bazı dönemlerde ise %57'ye varan oranlarda azalma görülmeye beklenmektedir.

2.4 İSTANBUL İLE İLİŞKİLİ NEHİR HAVZALARI VE ALT HAVZALAR İÇİN İKLİM MODELLEMESİ VE HİDROLOJİK MODELLEME PROJEKSİYONLARI

Küresel ve bölgesel iklim modellerine ait model sonuçları genellikle sıcaklık ve yağış düzenlerinin belirli bir bölgedeki zamansal ve mekânsal değişimine vurgu yapmaktadır. Bu çalışmalara ilişkin sonuçlar gelecek iklim koşulları, özellikle sıcaklık ve yağışların değişimleri ile birlikte su kaynaklarına ilişkin de detaylı bilgi sunmamaktadır. Bu nedenle iklim değişikliğinin su kaynaklarına etkisini farklı iklim senaryoları altında inceleyebilmek amacıyla hidrolojik modelleme çalışmaları yürütülmektedir. İklim modellemesi çalışmalarından elde edilen çıktılar (yağış ve sıcaklıklar) hidrolojik modelleme çalışmaları için en önemli girdi veri setlerinden birini oluşturmaktadır. Hidrolojik modelleme araçları ile suyun karalar üzerindeki hareketleri simüle edilerek geleceğe yönelik kestirimler yapmak mümkün olabilmektedir. Hidrolojik model çıktıları su kaynaklarının etkin ve sürdürülebilir yönetimine olanak sağlayan araçlardan biri olarak bütünleşik havza yönetimi çalışmaları için esas teşkil etmektedirler.

2.4.1 Hidrolojik Modelleme Çalışmasının Amacı

Bu bölümde iklim değişikliğinin İstanbul'a içme-kullanma suyu sağlayan su havzalarındaki su potansiyeline etkisi incelenmiştir. Bu kapsamda beş farklı küresel iklim modelin çıktıları kullanılarak geliştirilen hidrolojik modelleme çalışmasına ilişkin sonuçlar sunulmuştur.

İstanbul'un su kaynakları için gerçekleştirilen hidrolojik modelleme çalışmasının amacı:

- İstanbul'un yüzeysel su kaynaklarının mevcut su potansiyelinin hidrolojik model yardımı ile ortaya konulması,
- İklim değişikliğinin mevcut su potansiyeline olası etkilerinin belirlenmesi,
- İstanbul su temin sisteminin şehrin gelecekteki su ihtiyaçlarını karşılama potansiyelinin dinamik simülasyon modelleri yardımı ile araştırılması ve gelecekte yapılacak su kaynakları planlama ve yönetim çalışmalarına altlık oluşturabilecek modelleme altyapısının geliştirilmesi olmak üzere temel olarak üç ana başlık altında toplanabilir.

2.4.2 İstanbul'a Su Temin Edilen Yüzeysel Su Kaynakları

İstanbul'un su ihtiyacının yaklaşık %97'si yüzeysel su kaynaklarından sağlanmaktadır. Yüzeysel su kaynaklarının kullanımı için birçok baraj inşa edilmiş olup şehrin içme-kullanma suyu ihtiyacı bu baraj göllerinden temin edilmektedir. Şekil 2.19'da İstanbul su temin sistemi gösterilmektedir. Artan su ihtiyacına bağlı olarak zaman içerisinde yeni su havzaları İstanbul'un su temin sistemine dâhil edilmiştir.

Günümüzde içme-kullanma suyu temini amacı ile kullanılan su kaynakların bir kısmı İstanbul il sınırları dışında bulunmaktadır. Şehrin içme-kullanma suyu ihtiyacı; doğuda Kocaeli (Darlık Havza'nın bir kısmı ile İsaköy, Sungurlu ve Kabakoz Havzaları), Düzce (Melen Havzası) ve gerekli olması durumunda Sakarya'dan (Sakarya Nehri), batıda ise Kırklareli'nden (Ist-rancalar) temin edilmektedir. Şekil Ek-I.1'de İstanbul'a içme-kullanma suyu temin edilen havzalar ve sınırları gösterilmiştir.

Tablo 2.7: Türkiye'deki bazı havzalarda su potansiyellerindeki değişim yüzdeleri (%) (Ozturk vd., 2013)

Havza Adı	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3
Sakarya	21,48	-7,64	-47,32
Batı Karadeniz	20,77	-2,39	-46,45
Marmara	25,47	-3,74	-43,19
Akarçay	21,98	-12,07	-49,35
Konya Kapalı	18,13	-10,47	-44,28
Doğu Akdeniz	17,87	-9,08	-37,90
Seyhan	17,78	-8,96	-38,59

2.4.3 Hidrolojik Model Projeksiyonları

Cüceloğlu (2019) tarafından yapılan bir doktora tez çalışması kapsamında, iklim değişikliğinin İstanbul'un yüzeysel su kaynaklarına olan etkisi ortaya konmuştur. Bu kapsamda yapılan hidrolojik modelleme çalışması model yapısı ve özellikleri, model kalibrasyonu ve modelin genel metodolojisine dair ayrıntılı bilgiler Ek-1'de verilmiştir. Söz konusu çalışmada, modelleme ile her bir küresel iklim modeli (GCM) için sonuç elde edilmiş olmakla birlikte, her bir iklim modelindeki belirsizlikler de dikkate alarak, simülasyon sonuçları 5 farklı modelin toplu değerlendirilmesine ilişkin (çoklu model ortalamaları yaklaşımı) sonuçları içermektedir.

Sıcaklık Artışının Akarsu Akışlarına Etkisi. Türkiye'deki 25 havza için iklim değişimi trendiyle

uyumlu mevsimlik sıcaklık artışlarının (kışın 3 °C, ilkbaharda 2 °C, yazın 5 °C ve sonbaharda 4 °C), yıllık ortalama yağış yüksekliklerinin referans dönemi ortalamalarıyla aynı olması halinde, akarsu akışlarına (mavi su potansiyeli) etkisi özel bir senaryo olarak (Senaryo 2) Ozturk vd. (2013) tarafından SWAT Hidrolojik Modeli ile araştırılmıştır. Anılan çalışmada, sıcaklık artışı dolayısıyla (yağış yükseklikleri sabit kalmak üzere) Türkiye'deki bazı akarsu havzasındaki mavi su potansiyellerinde %10~12 oranında azalma olabileceği ortaya konmuştur (Tablo 2.7). Bu bulgular yağışlarda önemli mertebede azalma olmasa da iklim değişikliğine bağlı sıcaklık artışlarının su havzalarını besleyen akarsu akışlarında önemli düzeylerde azalmalara yol açabileceğini göstermektedir.



İklim Değişimi Hidrolojik Çevrim Etkileşimi.

Cüceloğlu (2019) tarafından doktora tezi kapsamında yürütülen yüksek çözünürlüklü Hidrolojik Modelleme çalışmasında; İstanbul'a su temin eden üç önemli su kaynağında (Melen, Ömerli ve Terkos) İklim Değişikliğinin Hidrolojik Çevrim ana bileşenlerini ne ölçüde etkileyeceği ortaya konmuştur (Tablo 2.8). Tablodan da görüldüğü üzere İstanbul'un üç önemli su kaynağında; özellikle yüzyılın son çeyreğinde (2075-2099) dönemi; iklim değişikliğine bağlı sebeplerle RCP8.5 senaryosu (kötümser senaryo) için mavi su potansiyellerinde %28~49, Yeşil Su (zemin nemi)'da %16~22 ve yeraltısuyu besleniminde (dinamik yenilenebilir rezerv)

%33~41 düzeylerinde değişimler (azalma) beklenmektedir. Bu durum mevcut su kaynaklarının özenle korunarak özellikle daha etkin talep yönetimiyle su talebinin azaltılmasının önemini göstermektedir.

Su Potansiyeli Tahminleri. Simülasyon sonuçlarına göre özellikle bu yüzyılın sonunda İstanbul ve çevresindeki yüzeysel su kaynaklarının verimlerinde önemli azalma beklenmektedir. Her iki RCP senaryosu da Yakın Gelecek (NF) döneminde (2025-2050) benzer sonuçları üretmektedir (Şekil Ek-1.5 a, c). Buna göre çalışma bölgesinde yüzeysel su potansiyelinde yakın gelecekte genel itibari ile %10 ile %20 arasında değişen bir azalma beklenmektedir.

Tablo 2.8: Melen, Ömerli ve Terkos içmesuyu havzalarında iklim değişikliği- hidrolojik çevrim ana bileşenleri etkileşimi (Cüceloğlu, 2019)

Havza	Zaman	Yağış (mm/yıl)	Sapma (%)	Potansiyel Evapotranspirasyon (mm/yıl)	Sapma (%)	Gerçek Evapotranspirasyon (mm)	Sapma (%)
Melen	Referans 1980-2013	1073,14	-	975,15	-	532,16	-
	RCP4.5 2075-2099	956,75	956,75	1065,6	0,09	525,67	-0,01
	RCP4.5 2025-2050	1017,28	1017,28	997,9	0,02	530,70	0,00
	RCP8.5 2075-2099	890,58	890,58	1168,1	0,2	492,23	-0,08
	RCP8.5 2025-2050	972,79	972,79	1013,95	0,04	516,16	-0,03
Ömerli	Referans 1980-2013	1156,45		979,7		523,59	
	RCP4.5 2075-2099	870,99	-0,25	1069,32	0,09	480,81	-0,08
	RCP4.5 2025-2050	891,96	-0,23	1020,02	0,04	474,46	-0,09
	RCP8.5 2075-2099	788,02	-0,32	1159,98	0,18	441,32	-0,16
	RCP8.5 2025-2050	872,81	-0,25	1031,87	0,05	470,27	-0,10
Terkos	Referans 1980-2013	785,31		933,11		436,65	
	RCP4.5 2075-2099	680,44	-0,13	997,05	0,07	402,54	-0,08
	RCP4.5 2025-2050	700,98	-0,11	969,01	0,04	408,86	-0,06
	RCP8.5 2075-2099	617,94	-0,21	1169,98	0,25	414,81	-0,05
	RCP8.5 2025-2050	694,8	-0,12	1057,84	0,13	443,00	0,01

Şekil Ek-I.5 b ve d'de gösterilen haritalarda görülebileceği üzere RCP4.5 ve RCP8.5 senaryo için elde edilen sonuçlar arasındaki farkın Uzak Gelecek (FF) döneminde (2075-2099) daha da belirginleşmesi beklenmektedir. Ortalama olarak, RCP4.5 senaryoları kapsamında, su potansiyelindeki düşüş minimum %10

ile maksimum %35 arasında değişmektedir. Bu sonuçlar yakın gelecek için elde edilen sonuçlardan biraz daha fazla azalmaya işaret etmektedir. Ancak kötümser bir senaryo olan RCP8.5 tahminleri için bazı bölgelerde (hidrolojik işlem birimleri) için %50'ye varan azalmalar öngörülmektedir. Bununla birlikte

	Toprak Nemi (Yeşil Su Deposu) (mm/yıl)	Sapma (%)	YAS Beslenimi (mm/yıl)	Sapma (%)	Akarsu Akışları (Mavi Su) (mm/yıl)	Sapma (%)
	103,83	-	87,71	-	524,56	-
	95,56	-0,08	86,32	-0,02	408,38	-0,22
	104,24	0	95,09	0,08	462,6	-0,12
	81,85	-0,21	51,72	-0,41	379,77	-0,28
	98,86	-0,05	82,54	-0,06	427,78	-0,18
	87,85		165,5		613,05	
	76,85	-0,13	143,45	-0,13	349,55	-0,43
	78,67	-0,1	133,04	-0,2	368,65	-0,4
	68,69	-0,22	104,49	-0,37	314,08	-0,49
	74,78	-0,15	114,59	-0,31	360,99	-0,41
	80,17		142,5		295,46	
	74,93	-0,07	104,44	-0,27	197,04	-0,33
	77,44	-0,03	118,27	-0,17	214,11	-0,28
	66,98	-0,16	96,05	-0,33	165,54	-0,44
	75,08	-0,06	131,63	-0,08	214,62	-0,27

azalma öngörülen hidrolojik işlem birimlerinin de daha geniş coğrafi alanları etkilediği görülmektedir. Model simülasyonlarından çıkarılabilecek diğer bir bulgu da farklı GCM modellerine ilişkin simülasyonların nüfusun çoğunluğunun ikamet ettiği çalışma alanının batı kısmını (Avrupa Yakası) oluşturan böl-

gedeki yüzey suyu potansiyelinin daha fazla etkileneceği konusunda hemfikir olmalarıdır. Tüm çalışma bölgesi için elde edilen yüzeysel su miktarının azalmasını öngören bu bulgular, Türkiye'nin kuzeybatı kesiminde yağışların azaldığını öne süren önceki çalışmalarla da tutarlılık göstermektedir (Önol vd., 2014).

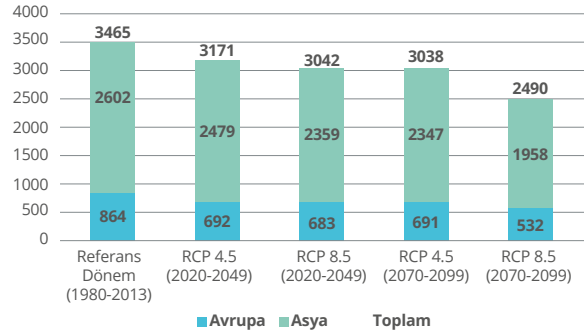
Asya yakasında yer alan kaynaklar toplam su potansiyelinin %75'ini oluşturmaktadır.

Su Potansiyelinin Asya ve Avrupa Kesimleri Arasındaki Dağılımı. Şekil 2.20'de İstanbul'a su temin edilen 17 havzadaki toplam su potansiyeline ilişkin sonuçlar verilmektedir. Bu şekilde, referans dönem (1980-2013) yılları için elde edilen yıllık ortalama toplam su potansiyelinin, iki farklı iklim senaryosu altında, yakın ve uzak gelecek zaman aralıklarındaki değişimi gösterilmiştir. Şekil 2.20'de verilen grafiklerde, Asya ve Avrupa yakasının su potansiyellerine katkısı da ayrıca gösterilmektedir.

Şekil 2.20'ye göre havzaların toplam su potansiyellerinde yakın gelecekte RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları için sırası ile %8 ve %12 civarında azalması öngörülmektedir. Uzak gelecek simülasyonları için su potansiyelindeki azalmanın şiddetlenmesi öngörülmekte olup RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları için sırası ile %12 ve %28 mertebelerinde bir azalma beklenmektedir.

Her iki yakada (Asya ve Avrupa) bulunan su kaynakları kendi içerisinde değerlendirildiğin-

Şekil 2.20: Havzalardaki toplam su potansiyelinin değişimi (Cüceloğlu, 2019)



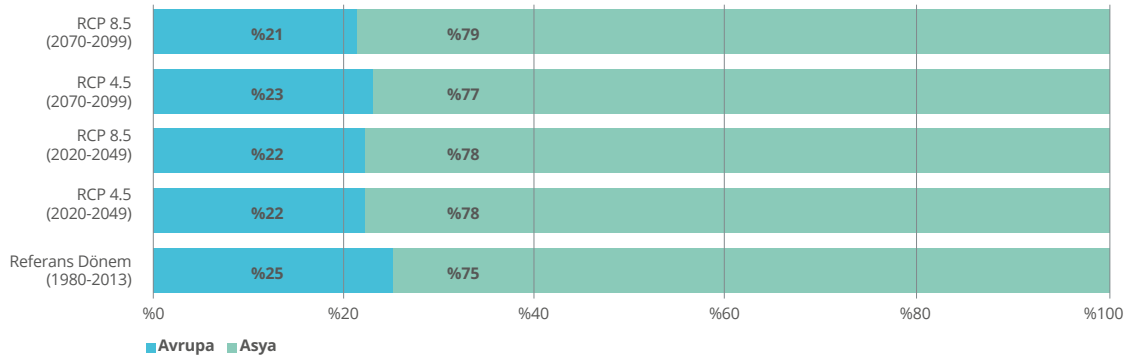
de ise Şekil Ek-1.5'teki bulgulara paralel olarak Asya yakasında bulunan havzalardaki azalma oranı daha fazladır (Şekil 2.20).

Şekil 2.21'de ise Asya ve Avrupa'da yer alan su kaynaklarının toplam su potansiyeline oranları gösterilmiştir. Daha önce de bahsedildiği üzere Asya yakasında yer alan kaynaklar toplam su potansiyelinin %75'ini oluşturmaktadır. Yakın gelecek simülasyonlarına ilişkin sonuçlara göre bu oranın %78'e yükseleceği öngörülmektedir. En kötümser model sonuç-

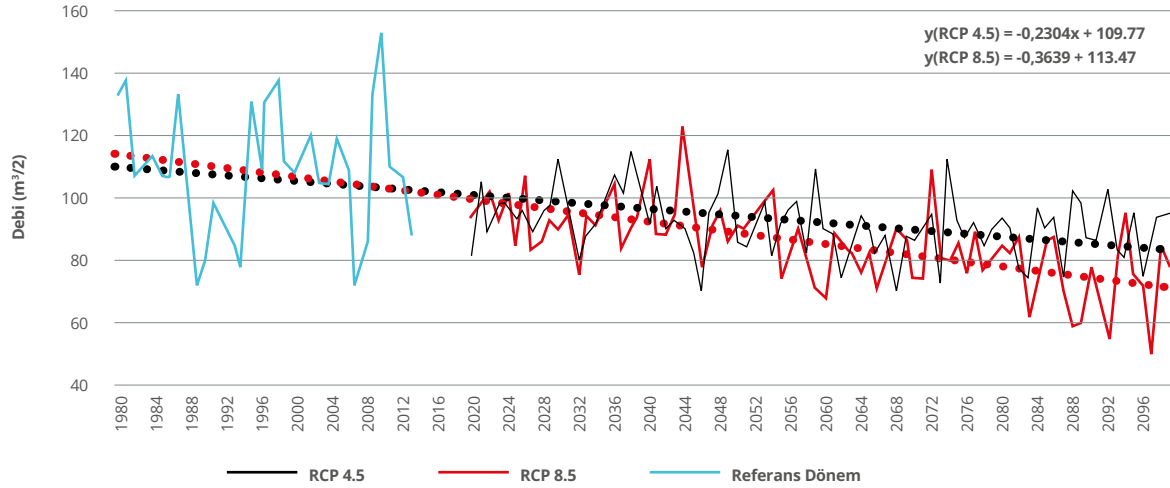


ları olan uzak gelecekteki RCP8.5 senaryosuna ait sonuçlarına göre Asya yakasının katkısının %78 mertebelerinde olması beklenmektedir. Bu sonuçlar, mevcut durumda gerçekleştirilmiş olan Asya Yakası'ndan Avrupa Yakası'na İçmesuyu transferi projesinin (Melen Sistemi Boğazı geçiş tüneli) önemine işaret etmektedir. İstanbul'un Asya ve Avrupa Yakası nüfusları ile bu kısımdaki su kaynakları arasında bulunan asimetrinin gelecekte daha da artması durumu anılan deniz geçişinin önemini daha da artıracaktır.

Şekil 2.21: Asya ve Avrupa yakasında bulunan kaynakların toplam su arzına katkılarının değişimi (Cüceloğlu, 2019)



Şekil 2.22: İstanbul'un baraj göllerine ulaşan toplam akım değerleri ve gelecekteki değişimleri (Cüceloğlu, 2019)



Akarsu Akışlarındaki Muhtemel Değişimler.

Şekil 2.22'de verilen grafikte İstanbul'a içme suyu temini amacı ile kullanılan tüm biriktirme haznelere ulaşan toplam debinin yıllık ortalama değerinin zamana göre değişimi gösterilmiştir. Şekil 2.22'de ayrıca toplam akış debisinin iki senaryo için azalım eğilimleri ile bu hidrografa uyan eğilim eğrilerinin denklemleri de verilmektedir. Gelecek dönemlere ait sonuçlar ise iklim modellerinin RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına ilişkin sonuçların medyan değerleri (toplu değerlendirilmesi) olarak verilmiştir. Modelleme çalışmalarında İstanbul'a içme suyu temin edilen baraj göllerine ulaşan toplam akım değerinin 1980-2013 yılları arasında ortalama değeri 108 m³/s olarak hesaplanmıştır.

Şekil 2.22'de verilen toplam akım değerlerinin yakın (2020-2049) ve uzak dönemlere (2070-2099) ait uzun yıllar ortalama değerleri ve referans döneme göre değişim yüzdeleri Tablo 2.9'da verilmiştir. Model sonuçlarına göre yakın dönem (2020-2049) için her iki senaryo arasında önemli bir fark öngörülmemektedir (RCP4.5 için %12 azalma ve RCP8.5 için %15 azalma). Ancak daha önce sunulan model sonuçlarına paralel olarak, uzak dönem simülasyonları ortalamaları arasında fark belirginleşmektedir. RCP4.5 senaryosuna göre baraj göllerine ulaşan toplam akış miktarı %19 oranında azalırken, RCP8.5 senaryosuna göre bu azalmanın %30 civarında olacağı öngörülmektedir.

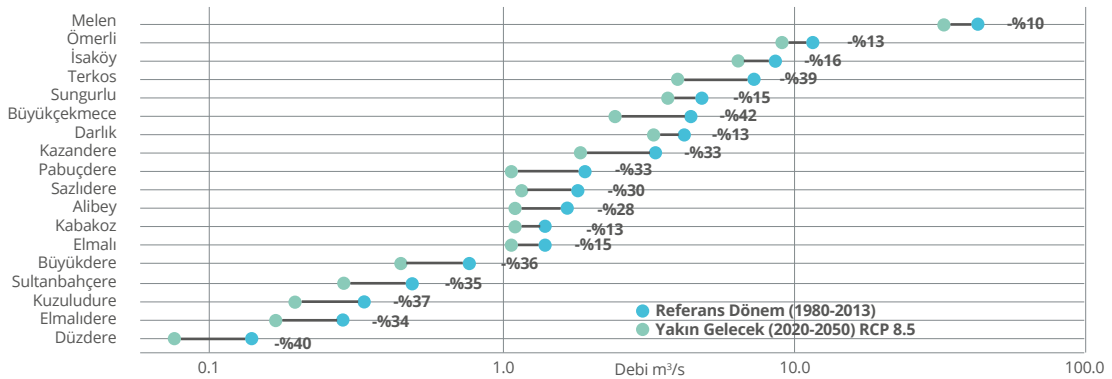
Tablo 2.9: RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları için baraj göllerine ulaşan toplam akım değerleri (Cüceloğlu, 2019)

Senaryo	1980-2013 (Referans) Dönemi	2020-2049 Dönemi Ortalama Debi (m ³ /s)	2070-2099 Dönemi Ortalama Debi (m ³ /s)	2020-2049 Dönemi Değişim (%)	2070-2099 Dönemi Değişim (%)
RCP 4.5	108	95	88	12	19
RCP 8.5	108	92	76	15	30

Şekil 2.23'de İstanbul'a içme-kullanma suyu temin edilen her bir havza özelindeki akım değişimleri gösterilmiştir. Bu grafikte havzalar y-eksenine referans dönem debi miktarları dikkate alınarak büyükten küçüğe sıralanacak şekilde yerleştirilmiş, debi miktarı x-ekseninde logaritmik ölçekte gösterilmiştir. Grafikte referans dönem ortalama akım değeri mavi daireler ve RCP8.5 senaryosuna ait yakın dönem akım değerleri ise kırmızı daireler ile gösterilmiştir. Mavi dairelerin sağında yer alan değerler ise

her bir havzadaki akımların değişim yüzdesini göstermektedir. Şekil 2.23 daha önce toplam su potansiyelleri ve akım değerleri verilen İstanbul'un su kaynaklarının tekil incelenmesine olanak sağlayan bir grafikdir. Bu grafikte Melen Havza'sının akım değerlerinin diğer havzalara göre oldukça yüksek olduğu görülmektedir (x-ekseni logaritmik ölçektir). Su potansiyelinde azalma beklentisi en düşük (≤ 15) havzalar: Melen, Ömerli, İsaköy, Sungurlu, Darlık, Kabakoz ve Elmalı olarak öne çıkmaktadır.

Şekil 2.23: Havza bazında akarsu debilerinin değişimi (2020-2050) (Cüceloğlu, 2019)



3. TÜRKİYE VE İSTANBUL'DA SEKTÖREL SU KULLANIMI

3.1 TÜRKİYE'DE SEKTÖREL SU KULLANIMI

3.1.1 Su Kullanımında Ülke Önceliklendirmesi ile Yönetiminde Kurumsal ve Hukuki Çerçeve

Suyun miktarı, kalitesi, yerel özelliği, zorunlu ihtiyaçları ve şartları başka türlü bir çözüm yolu gerektirmedikçe su kaynaklarından faydalanma ve kullanma hakkının belirlenmesinde aşağıdaki öncelik sırası uygulanır ve ilk 2 kullanım alanı bütün ülkeler için aynı olmaktadır.

- İçme ve kullanma suyu ihtiyaçları,
 - Ekosistem hizmetleri (doğal hayat) için gerekli su ihtiyaçları,
 - Tarımsal sulama suyu ihtiyaçları,
 - Enerji ve endüstri suyu ihtiyaçları,
 - Ticaret, turizm, taşıma, ulaşım, rekreasyon, projeye dayalı su ürünleri yetiştiriciliği ve avcılığı ile sair su ihtiyaçları.
- İlk 2 yararlı kullanım alanı sonrasındaki sıralama tüm ülkelerdeki öne çıkan sektörlerle bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir.





Ülkemiz halen bir tarım ülkesi olduğundan genelde 3. sırada tarımsal sulama yer almakta olup, alt havza ihtiyaçlarına dayanarak su tahsislerinde 3. sıradan sonra gelen sektörlerin de mağduriyetinin önlenmesi adına mümkün mertebe ilgili havzada var olan ve suya bağımlı sektörler arasında en uygun paylaşım yapılmaktadır.

Türkiye’de su sektörünün kurumsal çerçevesi çok parçalıdır. Sektörde çok sayıda kurum bulunmaktadır. Tablo 3.1’de sektördeki paydaşlar ve rolleri Türkiye genelinden yola çıkılarak İstanbul ili özelinde verilerek özetlenmektedir (İSKİ MP, 2022a). Tablo 3.2’de Entegre Su Kaynakları Yönetimi (ESKY) ile ilgili mevzuat listesi ve bu kapsamda ülkemizde yayınlanan ve 2023 yılı sonu itibariyle yürürlükte olan yönetmelikler yer almaktadır.



Tablo 3.1: Su sektörü paydaşları ve rolleri (Türkiye ve İstanbul)

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (ÇŞİDB)	Çevre koruma ve imar ile ilgili kanunlar ve mevzuatı çıkarır; Su ve Kanalizasyon İdareleri ve sanayi kuruluşları tarafından atıksu arıtma tesislerinden alıcı ortama deşarj edilen atıksuyun kalitesini izler ve denetler; tesislerin yapı ruhsatlarını ve işletme izinlerini verir; stratejik planlar ve projeler ÇŞİDB mevzuatına uygun olmalıdır; ARGE çalışmaları yapar ve bu çalışmaları destekler; çevrenin korunmasını sağlamak için güçlü koordinasyona ihtiyaç vardır.
Tarım ve Orman Bakanlığı (TOB)	Su yönetimi ve ESKY ile ilgili kanunlar ve mevzuatı çıkarır; su yönetiminin ulusal ve uluslararası düzeyde koordinasyonu, havza yönetim planlarının hazırlanması, yeraltı ve yüzeysel suların kalitesinin izlenmesi, su verilerinin Ulusal Su Bilgi Sistemi ile kayıt altına alınması, taşkınlarla ilgili strateji ve politikaların belirlenmesi, arıtma tesislerinin tasarım esas, norm ve kriterlerinin belirlenmesi faaliyetlerini yürütür, stratejik planlar ve projeler TOB mevzuatına uygun olmalıdır; orman arazilerinde kamulaştırma ve geçiş hakkı verir; su havzalarındaki (özellikle baraj ve göl koruma alanlarında) tarımsal faaliyetleri izler ve denetler; ARGE çalışmaları yapar ve bu çalışmaları destekler; etkili su yönetimi ve ESKY sağlanması için güçlü koordinasyona ihtiyaç vardır.
Sağlık Bakanlığı (SB)	Stratejik planlar ve projeler SB mevzuatına uygun olmalıdır; içme suyu kalitesini izler ve denetler, içme suyu kalite standartlarını sağlamak için koordinasyona ihtiyaç vardır.
İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB)	İSKİ'nin planlarını ve görüşlerini dikkate alarak İstanbul'daki bütün ilçe belediyelerinin imar planlarını onaylar; İBB Meclisi İSKİ Genel Kurulu olarak toplanarak su/atıksu projeleri, tarifeler ve İSKİ'nin yatırım finansmanı ile ilgili kilit kararları alır, yönetmelikleri onaylar; İSKİ tesisleri ve binaları için belediye arazisi tahsis eder; İSKİ için hedefler belirler, performansını izler ve denetler; su havzalarındaki zararlı yapı ve faaliyetler ile ilgili izin ve yaptırımları uygular (gsmr, döküm faaliyetleri izin ve denetimi, imar planları onaylanması, imar faaliyetlerinin denetimi vb.), yağmur suyu sistemlerinin ve derelerin (geniş caddeler > 12 m) geliştirilmesi ve işletilmesi için İSKİ ile işbirliği yapar; yurttaş memnuniyetini sağlamak için güçlü koordinasyona ihtiyaç vardır.
İlçe Belediyeleri	İSKİ'nin planlarını ve görüşlerini dikkate alarak ilçelerde imar planları hazırlar; yerleşim alanlarında yapı ruhsatı ve iskan verir, su havzalarındaki zararlı yapı ve faaliyetler ile ilgili yaptırımları uygular (kaçak yapı tespit ve yıkımı, kaçak döküm tespiti, engellenmesi ve temizlenmesi, vb.) ; dar sokaklarda (< 12 m) ve mahallelerde yağmur suyu sistemlerinin geliştirilmesi ve işletilmesinden sorumludur; yapım ve rehabilitasyon çalışmaları için ruhsat verir ve bu çalışmaları kontrol eder; yurttaş memnuniyeti sağlamak ve SDŞ ve ESKY kavramları geliştirmek için güçlü koordinasyona ihtiyaç vardır.
Aboneler	Stratejik planlar ve projeler abonelerle istişare halinde hazırlanmalı ve uygulanmalıdır; talepleri karşılamak için gerekli hizmet ve kalite seviyesinde etkili faaliyetlerle ve abone hizmetleriyle İSKİ tarafından abone memnuniyeti sağlanmalıdır; abone şikayetleri gereğince ve zamanında ele alınmalıdır; özel mülk kamulaştırma ve geçiş hakkı ihtiyaçlarının sulh içinde giderilmesi gerekir; abone memnuniyetini sağlamak ve SDŞ ve ESKY kavramlarını geliştirmek için güçlü koordinasyona ve bilgi paylaşımına ihtiyaç vardır.
Sivil Toplum Kuruluşları (STK)/Muhtarlar	"Abonelerle" aynı; aboneleri kurumsal ve örgütlü bir şekilde temsil etmektedirler.
Yükleniciler/Hizmet Sağlayıcılar (elektrik dağıtım şirketleri dahil)	İSKİ'ye yatırım ve işletme ihtiyaçları için gerekli standartlarda iş, malzeme ve hizmet verirler.

Tablo 3.2: ESKY ile ilgili mevzuat listesi ve bu kapsamda ülkemizde yayınlanan yönetmelikler

AB Mevzuat Listesi	Yayımlanan Ulusal Yönetmelik
2000/60 /EC Su Çerçeve Direktifi	<ul style="list-style-type: none">• Su Havzalarının Korunması ve Yönetim Planlarının Hazırlanması Hakkında Yönetmelik” 17 Ekim 2012 tarihli ve 28444 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. “Su Havzalarının Korunması ve Yönetim Planlarının Hazırlanması Hakkında Yönetmelikte Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik”, 28 Ekim 2017 tarihli ve 30224 sayılı Resmî Gazete ile “Havza Yönetim Planlarının Hazırlanması, Uygulanması ve Takibi Yönetmeliği” olarak değiştirilmiş olup, 11 Ocak 2019 tarihli ve 30652 sayılı Resmî Gazete’de yayınlanan “Havza Yönetim Planlarının Hazırlanması, Uygulanması ve Takibi Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik” ile mevcut halini almıştır.• “Yüzeysel Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliği” 30 Kasım 2012 tarihli ve 28483 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. “Yüzeysel Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik” 15 Nisan 2015 tarih ve 29327 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanarak ilgili yönetmeliğin adı “Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği” olarak değiştirilmiştir. 10 Ağustos 2016 tarihli ve 29797 sayılı Resmî Gazete’de yayınlanan “Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik” ardından da 16 Haziran 2021 tarih ve 31513 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanarak “Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği” güncel halini almıştır.• “İçme-Kullanma Suyu Havzalarının Korunmasına Dair Yönetmelik” 28 Ekim 2017 tarihli ve 30224 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Yönetmelik güncel hali “İçme-Kullanma Suyu Havzalarının Korunmasına Dair Yönetmelikte Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik” olarak 27 Ağustos 2020 tarih ve 31226 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanarak almıştır.• “Sulak Alanların Korunması Yönetmeliği” 04 Nisan 2014 tarihli ve 28962 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. 23 Ekim 2019 tarihli ve 30927 sayılı Resmî Gazete’de yayınlanan “Sulak Alanların Korunması Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik”te güncellemeleri yayımlanarak mevcut halini almıştır. Bu yönetmeliğin işleyişinde yapılan düzenleme ise 23.06.2022 tarih ve 31875 sayılı Resmî Gazete’de yayınlanmıştır.• “Yüzeysel Sular ve Yeraltı Sularının İzlenmesine Dair Yönetmelik” 11 Şubat 2014 tarihli ve 28910 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir.• 31 Aralık 2004 tarih ve 25687 sayı ile Resmî Gazete’de yayımlanan “Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği”nin 24. maddesi yürürlükten kaldırılmıştır. “Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik” olarak 14 Ocak 2020 tarih ve 31008 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. En güncel hali ise yine aynı başlık altında yapılan çeşitli düzenlemeler ile 17 Aralık 2022 tarih ve 32046 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanmıştır.• “Hassas Su Kütelleri ile Bu Kütelleri Etkileyen Alanların Belirlenmesi ve Su Kalitesinin İyileştirilmesi Hakkında Yönetmelik” 23 Aralık 2016 tarihli ve 29927 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe girmiş olup, 30 Aralık 2021 tarih ve 31705 2.Mükerrer sayılı ile Resmî Gazete’de Tebliğ’deki değişiklikler ile güncel hali yayınlanmıştır.
98/83/EC İçme Suyu Direktifi	<ul style="list-style-type: none">• “İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik” adı altında 17 Şubat 2005 tarih ve 25730 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir.• “İçme Suyu Temin Edilen Suların Kalitesi ve Artırılması hakkında Yönetmelik” adı altında 24 Eylül 2021 tarih ve 31608 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir.
91/271/EEC Kentsel Atıksu Arıtımı Direktifi	<ul style="list-style-type: none">• “Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği” 08 Ocak 2006 tarihli ve 26047 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir.
91/676/EEC Tarımsal Kaynaklı Nitrat Kirliliğine Karşı Suların Korunmasına İlişkin Direktif	<ul style="list-style-type: none">• “Tarımsal Kaynaklı Nitrat Kirliliğine Karşı Suların Korunması Yönetmeliği” 23 Temmuz 2016 tarihli ve 29779 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir.• “Sularda Tarımsal Faaliyetlerden Kaynaklanan Nitrat Kirliliğinin Önlenmesine Yönelik İyi Tarım Uygulamaları Kodu Tebliği (Tebliğ No: 2016/46)”, 11 Şubat 2017 tarihli ve 29976 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Tebliğin güncel hali 09 Nisan 2021 tarih ve 31449 sayılı Resmî Gazete’de yer almaktadır.

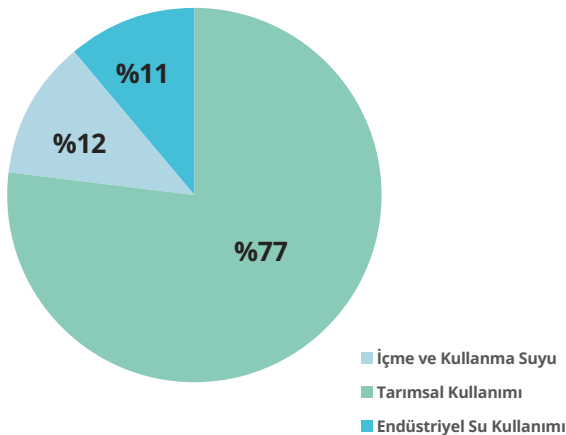
AB Mevzuat Listesi	Yayımlanan Ulusal Yönetmelik
76/160/EEC Yüzme Suyu Direktifi	<ul style="list-style-type: none"> • "Yüzme Suyu Kalitesinin Yönetimine Dair Yönetmelik" 25 Eylül 2019 tarihli ve 30899 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir.
2006/118/EC Yeraltı Suları Direktifi	<ul style="list-style-type: none"> • "Yeraltı Sularının Kirlenmeye ve Bozulmaya Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik" 07 Nisan 2012 tarihli ve 28257 sayılı Resmî Gazete 'de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Yeraltı Sularının Kirlenmeye ve Bozulmaya Karşı Korunması Hakkında 2006/118/AT sayılı Direktifin iki numaralı ekini tadil eden 2014/80/AB sayılı Direktife uyum sağlamak amacıyla "Yeraltı Sularının Kirlenmeye ve Bozulmaya Karşı Korunması Hakkında Yönetmelikte Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik" 22 Mayıs 2015 tarih ve 29363 sayılı Resmî Gazete 'de yayınlanmıştır.
76/464/EEC Tehlikeli Maddeler Direktifi	<ul style="list-style-type: none"> • "Tehlikeli Maddelerin Su ve Çevresinde Neden Olduğu Kirliliğin Kontrol Yönetmeliği" ilk kez 26 Kasım 2005 tarih ve 26005 sayılı ile Resmî Gazete' de yayımlanmıştır. Daha sonra yine aynı başlık altında güncellenerek 30 Mart 2010 tarih ve 27537 sayılı Resmî Gazete 'de yayımlanmıştır.
2001/42/EC Stratejik Çevresel Değerlendirme Direktifi-(SÇD)	<ul style="list-style-type: none"> • "Stratejik Çevresel Değerlendirme Yönetmeliği" 08 Nisan 2017 tarihli ve 30032 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir.
2007/60/EC Taşkın Direktifi	<ul style="list-style-type: none"> • "Taşkın Yönetim Planlarının Hazırlanması, Uygulanması ve İzlenmesi Hakkında Yönetmelik" 12 Mayıs 2016 tarihli ve 29710 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. • "Yağmursuyu Toplama, Depolama ve Deşarj Sistemleri Hakkında Yönetmelik" 23 Haziran 2017 tarihli ve 30105 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. • "Taşkın ve Rüşubat Kontrolü Yönetmeliği" 03 Mayıs 2019 tarihli ve 30763 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir.

3.1.2 Suya Bağımlı Sektörlerle İlgili Güncel Durum Değerlendirmesi

Güncel durum değerlendirilmesine, Değişen İklim Uyum Çerçevesinde Su Verimliliği Strateji Belgesi ve Eylem Planı (2023-2033) içinde yer verilmiştir (Su Verimliliği, 2023). Bu plana göre %23 olarak belirlenmiş sanayi ve içme-kullanma suyu sektörlerinin payı; %12'sinin içme-kullanma suyu, %11'inin ise sanayi amaçlı kullanıldığı belirtilmiştir (Şekil 3.1). Hali hazırda ülke bütününde suya ba-

ğımlı sektörlerle ilişkin alt sektörlerin tümünü içerecek kısımlar bulunmamaktadır. Her bir alt kullanıcı sektör temelinde su tahsisleri ve/veya kullanımları ile ilgili havzalar ölçeğinde Master Plan çalışmaları ile birlikte su tahsis planları yapılmaya başlanmış olup, bu çalışmalarda mevcut durum detaylı olarak ortaya konulmaya başlanmıştır. Halen tüm havzalar-daki bu çalışmalar sürmektedir ve dolayısıyla ülke bütünü için detaylı sektörel kısımlara henüz ulaşılmamıştır.

Şekil 3.1: Türkiye'de sektörel su kullanımları (2021 yılı)



Etkin ve verimli su kullanımını hedefleyen ülkemizde su kullanımında ana sektör konumunda olan tarımsal sulama konusunda 2021-2025 yılları arasına ilişkin Tarımsal Sulama Sektör Politika Belgesi'nin 2021 yılında yayınlanmış olması önemli bir gelişmedir (TAGEM, 2021). Bu Politika Belgesi'nde 2021-2025 yılları içerisinde sulama konusundaki problem ve darboğazların giderilmesine yönelik politikalar geliştirilmiştir. Politikaların uygulamalarda da yerini alması ile sorunlar zaman içerisinde ortadan kalkabilecektir.

Türkiye Büyük Millet Meclisi (TBMM), sektörlerin etkin ve verimli su kullanımlarının sağlanmasının yanı sıra, iklim değişikliğine karşı uyum bağlamında Meclis Araştırma Komisyonu Raporu'nu 2021'de açıklamıştır. Bu raporda da Türkiye İklim Değişikliği başlığında incelemeler yapılmış ve uyum çalışmalarında Su Kaynakları Yönetimi başlığına yer verilmiştir. Raporda, suya bağımlı sektörlerin uyum konusundaki çalışmaları ve atılması gereken adımlara raporda odaklanılmıştır (TBMM Raporu, 2021). Benzer şekilde, Türkiye'de İklim değişikliğine uyum eyleminin güçlendirilmesi konusunda da Avrupa Birliği (AB) ve Türkiye Cumhuriyeti (TC) tarafından finanse edilmiş ve BM Kalkınma Programı tarafından uygulanmakta olan Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Çalışmaları (İklim Değişikliği ve Uyum, 2020) başlıklı Proje 2021 yılında tamamlanmıştır. Proje raporunda tüm sektörlerin uyum politikalarına yer vermiş olup, ana alt başlıklar arasında su kaynakları yönetimi, tarım, ekosistem hizmetleri, sanayi, turizm, enerji gibi alt başlıklara detaylı ele alınmıştır (AB Uyum, 2021).



31 Ocak 2023 tarihinde Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından başlatılan Su Verimliliği Seferberliği (URL-1) kapsamında ise sektörel su kullanımları, darboğazlar, sorunların çözümü ve iklime uyum çalışmaları ivme kazanmıştır. Başta tarım, içme-kullanma (hizmetler sektörü dahil), sanayi sektörleri olmak üzere tüm sektörlerle ilgili su kullanımı stratejileri belirlenmiştir. Su verimliliği ile ilgili web sayfası aktif olup, tüm veriler ve çalışmalara www.suverimliliği.gov.tr (URL-1) adresinden adresinden ulaşılabilmektedir.



Sektörel su kullanımını küresel açıdan değerlendirecek olursak, Dünya Bankası verileri ülkeden ülkeye önemli ölçüde değişiklik göstermesine rağmen, Dünya'nın birçok bölgesinde sahip olunan tatlısuyun %70'lik kısmının genelde tarımsal faaliyetlerde harcandığını göstermektedir. Bunu %19 ile sanayi sektörü (enerji, ticari ve endüstriyel işletmeler) takip ederken, içme-kullanma (hane halkı) kullanımı ise %12 civarı ile en sonda gelmektedir (UN, 2019). Avrupa Çevre Ajansı'nın 2017 yılı verilerine göre, Avrupa ülkelerinde su varlıklarının %58,3'ü 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 kullanılmıştır (ÇŞİDB, 2018).

Tatlısuyun %70'lik kısmının genelde tarımsal faaliyetlerde harcandığını göstermektedir.

3.1.3 Türkiye'de Geleceğe Dönük Sektörel Su Kullanım Stratejileri ile ilgili Çalışmalar

Ülke stratejisinde ilkesel olarak; su verimliliği yaklaşımı, suyun, miktar ve kalite bakımından korunarak sadece insanların değil ekosistem duyarlılığı ile tüm canlıların gereksinimlerini dikkate alacak şekilde başta tarım, sanayi ve evsel kullanımlar olmak üzere tüm sektörlerde akılcı, paylaşımcı, etkin, verimli şekilde ve hakkaniyetle kullanılması esas alınmaktadır.

Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SKA)

BM tarafından ilan edilen 17 adet Sürdürülebilir Kalkınma Amacından (SKA) 6.'sı (Temiz Su ve Atıksu (Sanitasyon)) doğrudan su yönetimi ile ilgilidir. Bütün sektörlerde su verimliliğinin büyük ölçüde artırılması hedefi bu doğrultudaki temel amaçlar arasındadır. Ayrıca BM Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) tarafından, artan gıda ihtiyacı ve su kaynakları üzerindeki baskılar göz önüne alınarak tarımda "daha az suyla daha fazla gıda üretilmesi" hususu vizyon olarak benimsenmiştir.

Avrupa Yeşil Mutabakatı (AYM)

AB, 11 Aralık 2019 tarihinde açıkladığı Avrupa Yeşil Mutabakatı (AYM) ile 2050 yılında iklim-nötr ilk kıta olma hedefini ortaya koyarken; aynı zamanda sanayisinin dönüşümünü gerektiren yeni bir büyüme stratejisi benimseyeceğini ve tüm politikalarını iklim değişikliği ekseninde yeniden şekillendireceğini açıklamıştır (URL-2). AYM kapsamında ülkemiz 9 ana başlıktan oluşan Türkiye Yeşil Mutabakat Eylem Planını hazırlamıştır (Yeşil Mutabakat, 2021). Bu 9 başlıktan birisi *Yeşil ve Döngüsel Bir Ekonomi* olarak belirlenmiştir. Bu başlık altında su verimliliğine yönelik olarak artırılmış atıksuların yeniden kullanılması, Su Yeniden Kullanım Ulusal Master Planı hazırlanması, Sektörel Su Tahsis Planları ışığında su ayakizi ile ilgili rehber doküman hazırlanması gibi hedefler de belirlenmiştir.

Suyun Etkin ve Verimli Kullanımı

Su, sektörler arası ortak kullanılan bir kaynak olması nedeniyle, her bir sektörde alınacak kaynak verimliliğine yönelik stratejiler su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi açısından büyük önem taşımaktadır. Bu doğrultuda, ülkemizde su verimliliğinin suyu kullanan tüm sektörlerde yaygınlaştırılması maksadıyla ileriye dönük hedefler ve stratejilerinin belirlendiği ve *Su Verimliliği Seferberliği* kapsamında hazırlanmış olan “Değişen İklimle Uyum Çerçevesinde Su Verimliliği Strateji Belgesi ve Eylem Planı (2023-2033)” hazırlanmıştır (Su Verimliliği, 2023). Söz konusu belge kapsamında; su kullanımına yönelik mevcut durum, ulusal ve uluslararası mevzuat, yürürlükte olan plan, program ve belgeler analiz edilmiş, küresel ölçekte su verimliliği uygulamaları değerlendirilmiştir. Belgenin hazırlanması süreci paydaşların sürece aktif katılımıyla gerçekleştirilmiştir. Türkiye’de geleceğe dönük sektörel su kullanım projeksiyonları, ülke stratejisi, sektörler temelinde iklim değişikliği etkilerine karşı uyum temelinde bu planda detaylı olarak yer verilmiştir. Bu anlamda Planın itici bir gücü bulunmaktadır.

Nehir Havzası Yönetim Planları (NHYP)

Sürdürülebilir su yönetiminde yararlı kullanımın iki önemli bileşeni miktar ve kalitedir. Bu yönetim tarzının günümüzde kabul görmüş ölçeği havzadır. Özellikle kuraklık şartlarında miktar projeksiyonlarının yapılıp, havzadaki faal durumdaki sektörler arasındaki en uygun tahsisler ve planlamaları Sektörel Su Tahsis Planları (SSTP) ile hazırlanırken, yine iklim değişikliğinin etkileri altında havzadaki mevcut yerüstü ve yeraltı su kaynaklarının kalitelerinin AB Su Çerçeve Direktifi (SÇD) doğrultusunda *'iyi su durumuna'* ulaşabilmesi amaçlı tedbirlerin sıralanması ve önceliklendirilmesi ise döngüler çerçevesinde Nehir Havzaları Yönetim Planları (NHYP) ile hazırlanmaktadır. Gerek miktar gerekse kalite odaklı bu planlamalarda suya bağımlı tüm sektörler göz önüne alınmaktadır.

Bu bağlamda ilk Melen Projesi ile başlatılan Havzalar arası Su Transferi de ülkemiz havzalarında öne çıkan uygulamalar arasındadır. Çeşitli nedenlerle su kaynaklarının havzayı beslemede yeterli olmaması durumunda, diğer bir deyişle su açığı bulunan havzalar komşu havzaya su transferi ile açığını kapatabilmektedir. Böylelikle, su fazlalığı bulunan bir havza komşu havzasına su transferi ile

destek olabilmektedir. SSTP ve NHYP Projeleri Tarım ve Orman Bakanlığı (TOB) Su Yönetimi Genel Müdürlüğü (SYGM) tarafından hazırlanmaktadır. Tamamlanmış olan Gediz, Küçükmenderes, Burdur, Konya Kapalı, Akarçay ve Seyhan Havzası SSTP Projelerine ve ilgili dokümanlarına SYGM internet sitesinden ulaşılabilir (URL-3).

NHYP kapsamında çalışmaları tamamlanmış olanlar Gediz, Meriç-Ergene, Büyük Menderes, Konya Kapalı, Susurluk, Küçük Menderes, Burdur, Kuzey Ege, Akarçay, Batı Akdeniz ve Yeşilirmak havzalarının yönetim planları ile tedbirler programına SYGM internetten sitesinden ulaşılabilir (URL-4). İstanbul Sanayi Odası'nın (İSO'nun) da ilgi alanına giren Marmara Havzası'nın SSTP ve NHYP Projeleri AB Katılım Öncesi Yardım Aracı IPA-2 dönemi kapsamında desteklenen 6 Havzada NHYP Hazırlanması AB Teknik Yardım Projesi kapsamında hazırlanmaktadır. 2021 yılında başlayan projenin 2025'de tamamlanması beklenmektedir (URL-5). Kapsamdaki diğer havzalar Batı Karadeniz, Kızılırmak, Doğu Karadeniz, Antalya ve Doğu Akdeniz havzalarıdır. Bu projeler tamamlandığında, havzalarda miktar (tahsis) ve kalite ile ilgili tüm verilere ulaşılabilir olacaktır.



Arıtılmış Atıksuların Yeniden Kullanımı

2007–2013 yılları arasında uygulanan 9. Kalkınma Planı'nda Çevrenin Korunması ve Kentsel Altyapının Geliştirilmesi başlığı altında, su alanına yapılan atıklar arasında “atıksuların arıtıldıktan sonra tarım ve sanayide kullanımının teşvik edilmesi” ifadesi yer almaktaydı. Ayrıca (2014–2018) 10. Kalkınma Planı'nda da Kentsel Altyapı başlığı altındaki politikalar arasında “arıtılan atık suların yeniden kullanımı özendirilecektir” ifadesine yer almıştır. “Suyun yeniden kullanımı”, kullanılmış suyun, atıksu arıtma tesisleri (AAT) ile arıtılıp döngüsel su kullanımı çevrimi içine alınmasını ifade eder. Arıtılmış atıksuların tarımsal sulama, sanayi, akifer besleme ve tuvalet sifon suyu, yeşil alan

sulaması vb. amaçlı yeniden kullanımı dünyada giderek yaygınlaşmaktadır. Bu konu ülkemiz açısından da büyük önem taşımaktadır. Arıtılmış atıksuların yeniden kullanımında, kullanım amacının gerektirdiği su kalitesi kriterlerinin sağlanması da ayrıca önemlidir. Bu konuda farkındalık yaratan adımlardan biri de Türkiye Belediyeler Birliği tarafından yayınlanan eserdir (Öztürk vd., 2015; Öztürk vd., 2016). Arıtılmış atıksuların başta tarımsal sulama olmak üzere yeniden kullanımı, bina ölçeğinde ve yerleşimlerde yağmur suyu hasadı, gri su geri kullanımı ve deniz suyunun tuzsuzlaştırma (desalinizasyon) işleminden sonra yeniden kullanılması günümüzde öne çıkan alternatif su kaynakları olarak değerlendirilmektedir.



Arıtılmış atıksuların tarımsal sulama, sanayi, akifer besleme ve tuvalet sifon suyu, yeşil alan sulaması vb. amaçlı yeniden kullanımı dünyada giderek yaygınlaşmaktadır.

Arıtılmış atıksuların yeniden kullanımı ile alıcı ortama deşarjın azalmasını sağlayarak çevresel etkilerin de göreceli olarak azalmasına imkân sağlanmaktadır. Türkiye’de son yıllarda arıtılmış atıksuların yeniden kullanımını teşvik etmek amacıyla önemli projeler yürütülmüştür.

Kullanılmış Suların Havza Bazında Yeniden Kullanım Alternatiflerine ilişkin SYGM Projesi 2019 yılında tamamlanmış olup, projenin en önemli çıktılarında olan Kullanılmış Suların Yeniden Kullanım Uygulamalarına İlişkin Rehber doküman hazırlanmış ve kamuoyu ile paylaşılmıştır (URL-6). Bu rehberde detaylı olarak yeniden kullanım sistemlerinin planlanması, ulusal ve uluslararası geri kullanım mevzuatı ile birlikte ulusal ve uluslararası uygulama örneklerine değinilmiş ayrıca geri kullanım alanları ve uygulama türleri de belirtilmiştir. Bu kapsamlı dokümanda çeşitli sanayi alt sektörlerinde de tesis içi ve dışı geri kullanım alternatiflerine uygulama örnekleri arasında yer verilmiştir.

100 hektarlık düzenli bir golf sahasının tükettiği su miktarı yaklaşık 1 milyon m³/yıl olabilmektedir.

2021 yılı itibariyle ülkemizde arıtılmış atıksuların yeniden kullanımı oranı %2,5'tur (SPD, 2021). Ancak son yıllarda yapılan projelerin uygulanması ile bu oran artmıştır. 2022 yılı için konulan %4 hedefine ise Temmuz 2022 itibariyle ulaşılmıştır. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (ÇŞİDB)'nin açıklamasına göre, arıtılmış atıksuların yeniden kullanım oranının 2023'te %5'e, 2030 yılında ise %15'e çıkarılması amaçlanmıştır (URL-7). Bakanlıktan yapılan açıklamada atıksuların *Döngüsel Ekonomi* ilkeleri doğrultusunda su kullanımını azaltma, oluşan atıksuları arıtarak yeniden kullanma ve bu sayede su kaynaklarının korunmasını sağlamanın öncelikli hedeflerden biri olduğuna vurgu yapılmıştır.

Temiz Üretim

ÇŞİDB, AYM doğrultusunda, temiz üretim çalışmaları için Türkiye'deki sanayi tesislerinde tüketilen suyun azaltılması, arıtılmış atıksuların kullanımının yaygınlaştırılması hususunda da faaliyetlerin sürdüğünü bildirmiştir. Bu kapsamda hem uluslararası politikalara uyum hem de orta ve uzun vadede yaşanma-

sı muhtemel su sıkıntısının önüne geçebilmek amacıyla, Bakanlıkça atıksuyun yeniden kullanımı için gerçekleştirilecek arıtma proseslerinde tüketilecek enerjinin de teşvik kapsamına alınmasının sağlandığı ifade edilmiştir.

Genel itibariyle önümüzdeki yıllarda nüfus artışı ile içme-kullanma suyuna talep daha da artacaktır. Ancak tarımsal sulamada arıtılmış suların geri kullanılması, basınçlı sulamaya geçiş ve modern tarım uygulamaları ile bir tasarrufa gidilmesi hedeflenmektedir. Benzer durum sanayi sektörü için de geçerlidir. Tesis içi kontrol, alternatif su kaynaklarının kullanımı ve temiz üretim teknolojilerine geçiş ile verimli su kullanımı beklenmektedir.

Bununla birlikte, 2050 yılı için su kullanımı açısından günümüzdekinin iki katına ulaşılacağı ve bu nedenle de Dünya su varlıkları üzerinde ciddi bir baskı yaratacağı tahmin edilen sektörlerden biri turizmdir. Turizmde en fazla su tüketiminin yapıldığı faaliyetleri ise golf (sulama) ve kayaktır (yapay kar üretimi). Örneğin, 100

hektarlık düzenli bir golf sahasının tükettiği su miktarı yaklaşık 1 milyon m³/yıl olabilmektedir. Ülkemizde iç ve dış turizm sektörünün, sahip olduğumuz su varlıklarının %3,97'sini kullandığı hesaplanmıştır. Bu oranla İspanya, Fransa, Tayland, Birleşik Krallık, İtalya ve Almanya'dan sonra ülkemiz 7. sırada yer almaktadır (Akyüz, 2018). Dolayısıyla, su kullanımındaki sektörler arası kullanımların her birinin dikkatle ele alınarak irdelemesinde yarar vardır.

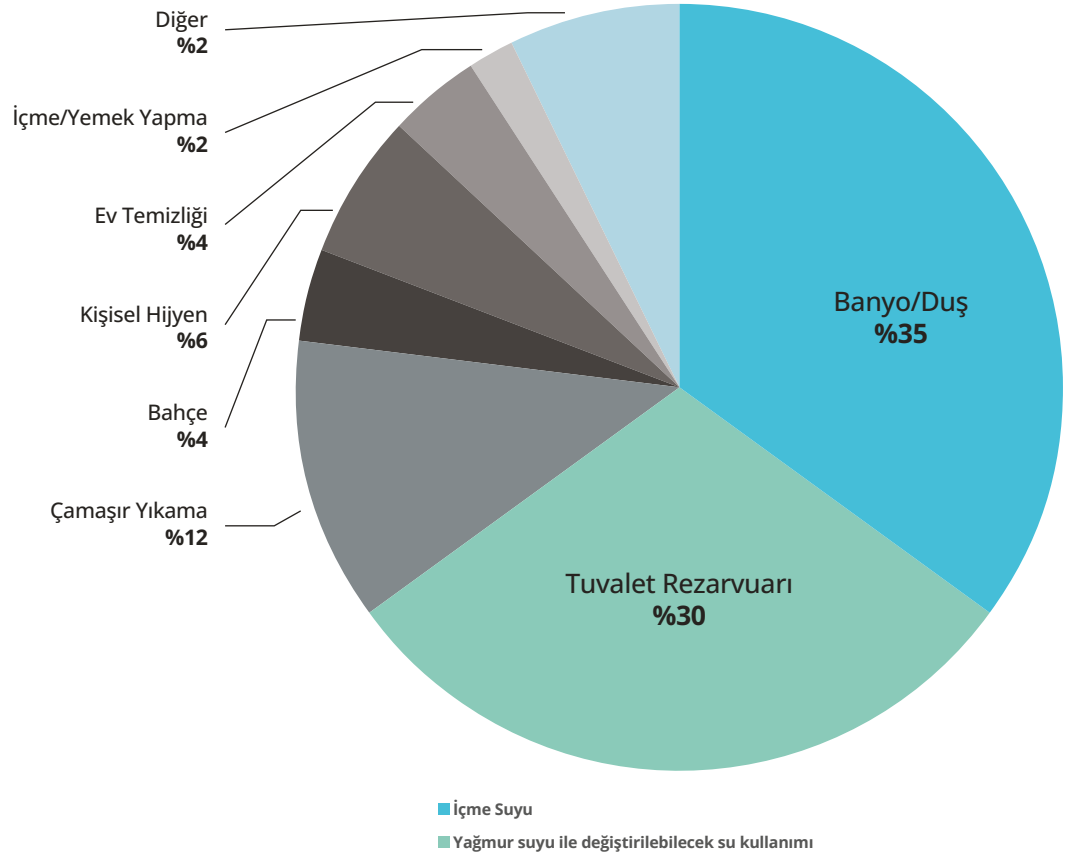
3.1.4 Sektörel Dağılımlar Işığında Suyun Etkin ve Verimli Kullanımı, Tesis ve Bina İçi Geri Kullanım Olanakları

Sektörel dağılımlara bakıldığında en önde gelen sektör olan tarımda, verim ve etkinliği arttırmak adına yayınlanan 2019-2023 yıllarını kapsayan Stratejik Planın 2022 yılındaki güncellenmiş versiyonunda bu konudaki uyarı ve öneriler sıralanmıştır (On Birinci Kalkınma Planı, 2018) (URL-8). Ayrıca, 2021-2025 Tarımsal Sulama Sektör Politika Belgesi'nde sulama konusundaki etkin ve verimli su kullanımını teşvik edici politikalara yer verilmiştir (TAGEM, 2021).

Akım Ayrımı, İkili Şebeke ve Yağmur Hasadı

Diğer suya bağımlı (içme-kullanma suyu, sanayi, turizm, vs.) sektörel kullanımlarda amaç deşarjların yapıldığı alıcı ortamın daha az kirletilmesi, kirliliğin olabildiğince kaynaktan kontrolü, yağmur suyu ve farklı kirlilik yükü taşıyan suların ayrı toplanması, tüm bina ti-polojilerinde (mevcut ve planlanan mesken, spor kompleksi, otel, turizm merkezleri, kamu binaları, hastaneler, okullar, stadyum, alışveriş merkezleri, ofis binaları, havaalanları, sanayi tesisleri vb.) ikili tesisatın zorunlu olması ve evsel atıksuyun ayrık akımlar olarak toplanması, teknik ve ekonomik yapılabilirlikte gözetilerek, hedeflenmelidir. Evsel atıksuların ayrık akımlar halinde (gri su, siyah su) toplanıp kaynak olarak değerlendirilmesi, doğal kaynakların verimli kullanımı ve geri kazanım açısından önemli bir atıksu yönetim alternatifi sunmaktadır. Gri suların arıtıldıktan sonra su çevriminin birçok noktasına döndürülebilmesi su kaynaklarının verimli kullanımı açısından önem taşımaktadır. Su kısıtı yaşayan yörelerle

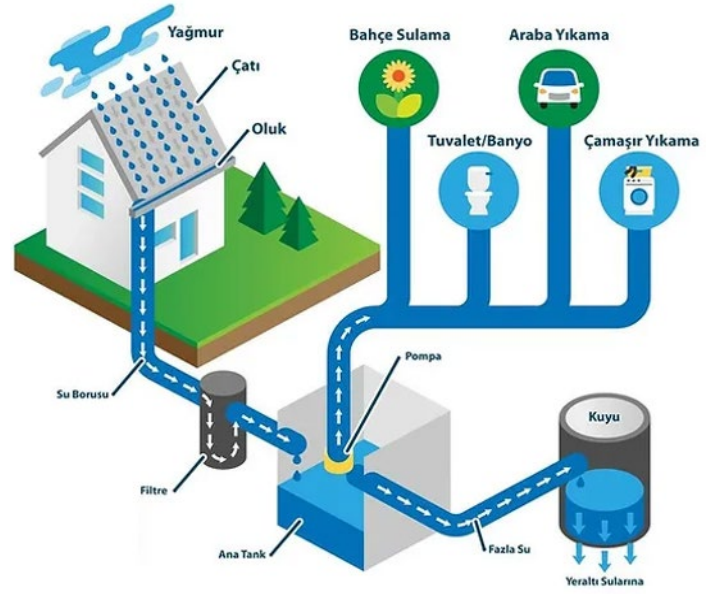
Şekil 3.2: Evsel su kullanımının kullanım amaçlarına göre miktar dağılımı



mevsimsel su talebi farklılıklarının belirgin olduğu turistik bölgelerde bu önem daha da artmaktadır. Suyun yeniden kullanımı çevresel, ekonomik ve sosyal faydalar sunarken aynı zamanda olası kısıtları da beraberinde getirmektedir. Arıtılmış atıksuyun tekrar kullanılmasına ilişkin standartlara uyulması ve gerekli denetimlerin çok dikkatli ve sürekli bir şekilde yapılması da büyük önem taşımaktadır.

Tüm bina tipolojilerinde alternatif su kaynakları olarak bina-içi ve dışı yağmur suyu hasadı ve gri suyun bina içerisinde arıtıldıktan sonra yeniden kullanımları günümüzde mümkündür. Şekil 3.2'de tipik evsel kullanım suyunun kullanım amaçlarına göre miktar dağılımı verilmektedir.

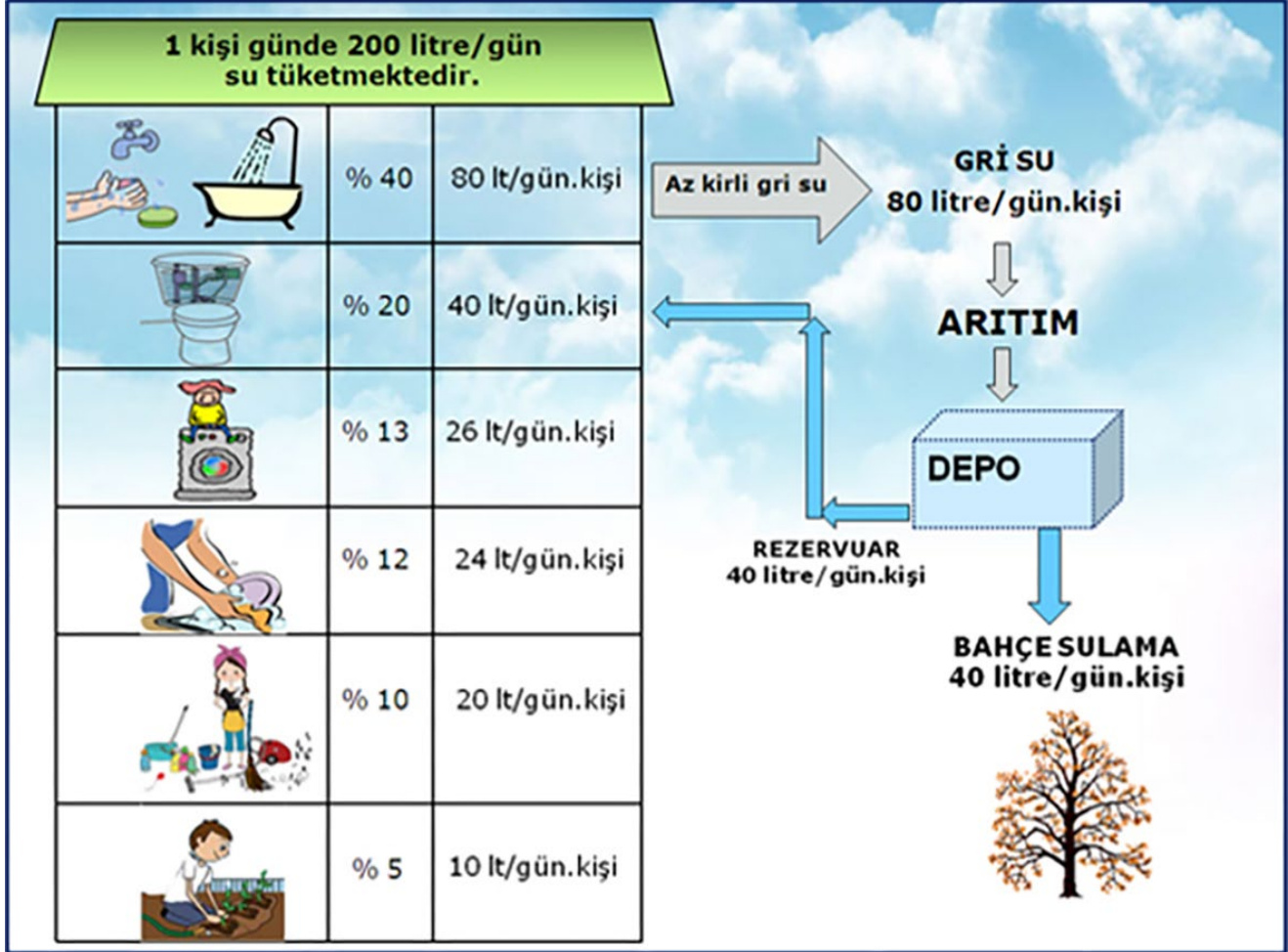
Şekil 3.3: TBB yağmur suyu hasadı kullanım broşürü (URL-9)



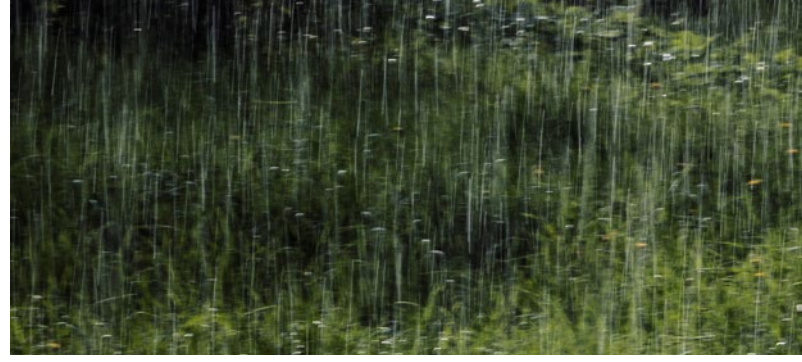
Evsel nitelikli su kullanımında belediyeler tarafından binaya kadar iletilen ve içme-kullanma suyu özelliğini taşıyan bu kaynağın ev içi kullanımındaki her alanda aynı kalitede olmasına gerek bulunmamaktadır. Şekil 3.2’den de görüldüğü üzere, yaklaşık %30 su tuvalet rezervuarında kullanılmaktadır. Rahatlıkla bu su yerine yağmur suyu ve/veya grisu geri kullanımı değerlendirilebilir. Benzer şekilde uluslararası uygulamalarda da tespit edildiği üzere çamaşır yıkama, bahçe sulama, araba yıkama hatta bina içi temizlik ihtiyacı alternatif su kaynaklarından sağlanabilir (Öztürk vd., 2016). Evsel atıksuların, lavabo, duş ve küvetten kaynaklanarak fosseptik içermeyen kısmına “gri su” adı verilmektedir. Söz konusu gri su, evsel atıksuyun en az kirli olan kısmıdır ve tekrar kullanılmak üzere rahatlıkla artırılabilir. Atıksuyun tuvalet kaynaklı kısmına ise “siyah su” adı verilmektedir. Evsel kullanımlardan oluşan atıksuyun yaklaşık %75-80’i gri su, geri kalanı ise siyah sudan oluşmaktadır. Gri suların arıtıldıktan sonra tuvalet rezervuarları, yangın tesisatı, çamaşır yıkama, bah-

çe sulama, araba yıkama ile süs havuzlarında kullanımının, hatta yüzeysel sulara doğrudan deşarjının uygun olduğu kanıtlanmıştır. Bu alanlarda geri kazanılmış su kullanılmasıyla %50’ye varan oranlarda su tasarrufu ile, su faturalarında azalma ve doğal su kaynaklarının korunması sağlanabilir. Bu konuda Türkiye Belediyeler Birliği (TBB) ve ÇŞİDB’nin farkındalık arttırma sloganları ve broşürlerine internetten ulaşılabilir. Şekil 3.3’te TBB’nin yağmur suyu hasadına ilişkin tanıtıcı şekline yer verilmiştir (URL-9). Şekil 3.4’te İstanbul Kadıköy Belediyesi’nin gri su kullanımına ait tanıtım görseli yer almaktadır (URL-10).

Şekil 3.4: İstanbul Kadıköy Belediyesi gri su tanıtım görseli (URL-10)



Evsel atıksuların, lavabo, duş ve küvetten kaynaklanarak fosseptik içermeyen kısmına “gri su” adı verilmektedir. Söz konusu gri su, evsel atıksuyun en az kirli olan kısmıdır ve tekrar kullanılmak üzere rahatlıkla arıtılabilmektedir.

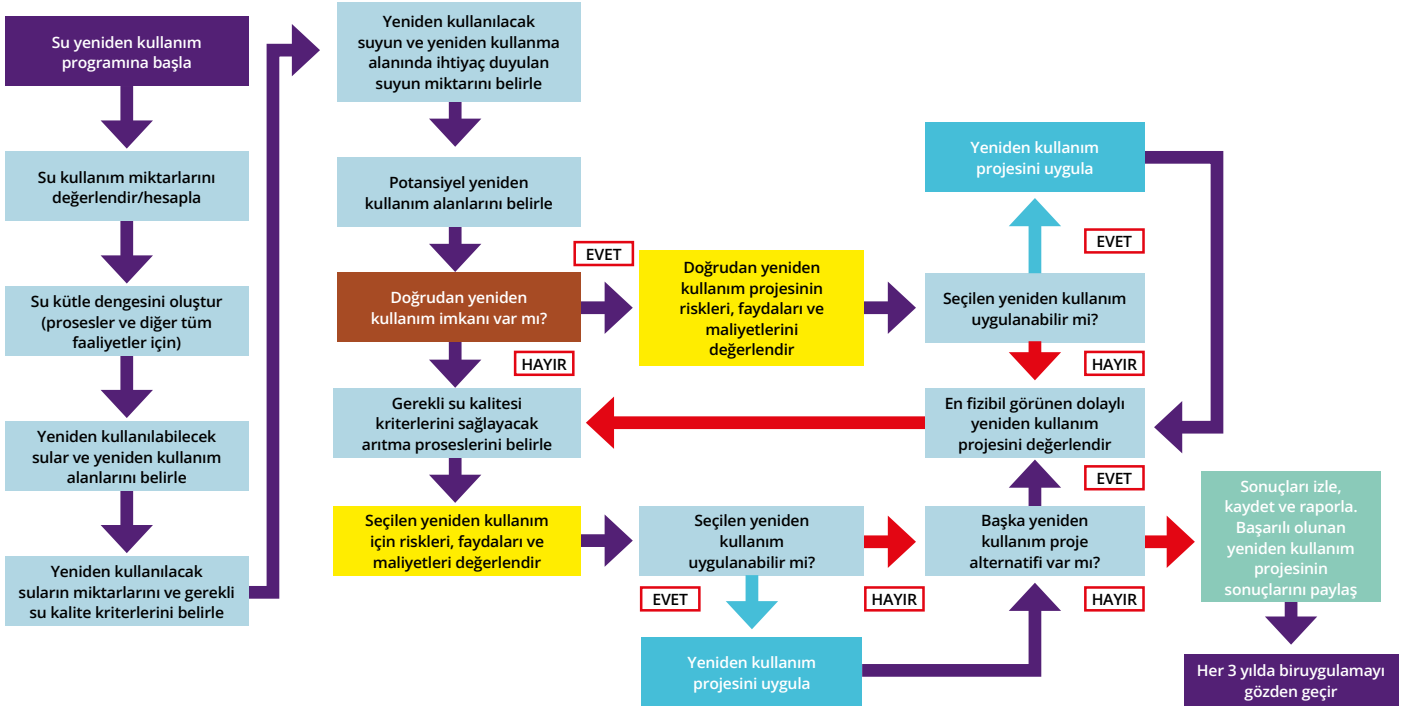


Artırılmış Atıksuların Yeniden Kullanımı

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının Selçuk Üniversitesi ile iş birliği yapılarak tamamlanan Artırılmış Atıksuların Yeniden Kullanımı Projesi (ÇŞİDB, 2018) kapsamında suya

bağımlı birçok sektör yerinde incelenmiştir. Bu uygulama örnekleri arasında sanayi sektörü de yer almıştır. Şekil 3.5'te sanayi tesislerinde su yeniden kullanım programı oluşturulmada izlenilebilecek adımlar verilmiştir.

Şekil 3.5: Sanayi tesislerinde su yeniden kullanım programı oluşturmada izlenilebilecek adımlar (ÇŞİDB, 2018)



Gri Su Ayrımı ve Yağmur Hasadı Pilot Projeleri

Su Kaynaklarında İklim Değişikliğine Uyum Projesi de özellikle çeşitli bina tipolojilerinde gri su ve yağmur suyu hasadı konularında en güncel çalışma sonuçlarını içermektedir (Su Verimliliği (2023)). Proje Şubat 2023 tarihinde tamamlanmıştır. İklim değişikliğinin olumsuz etkilerinin azaltılması amacıyla su yönetimi iklim değişikliğine uyum planlamaları ve uygulamalarının büyük önem ve öncelik teşkil etmesinden dolayı “yağmur suyu hasadı”, “gri suyun kullanımı” ve “su fiyatlandırması” faaliyetlerinin bölgelere ve çalışma alanlarına göre değişen gerçek uygulama maliyetleri ve uygulama detayları (zorluklarının) gerçek örnekler ile ortaya çıkartılmış ve sonuçlar büyükşehirlerde gerçekleştirilen çalıştay ve eğitim faaliyetleri ile açıklanmıştır (URL-11). Proje kapsamında sürdürülebilirlik, teknik yapılabirlik ve fayda-maliyet analizleri gerçek bina tipolojileri üzerinde yapılmıştır. Pilot projelerin de gerçek örnekler üzerinde yapılmıştır. Bu projenin en önemli 2 çıktısı yağmur suyu hasadı ve gri su kullanımı Rehber Dokümanlarıdır. Bu dokümanlara SYGM internet sayfalarından ulaşılabilir (URL-12; URL-13). Değişik bina tipolojileri üzerinde yapılmış pilot projeler de SYGM Taşkın ve Kuraklık Yönetimi Daire Başkanlığı’ndan temin edilebilir.



3.1.5 Sektörel Bazda Su-Katma Değer İlişkisi, Üretimin, Tüketimin, İthalat ve İhracatın Su Ayakizi

Dünya ölçeğinde sektörel bazda su-katma değer ilişkisi, aralarında Türkiye’nin de yer aldığı gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler için örneklerine Tablo 3.3’te yer verilmiştir (FAO AQUASTAT, 2023). Tablo 3.3’ten de görüleceği üzere sektörel su kullanımında en yüksek katma değer sanayi ve hizmetler sektörlerinde elde edilmektedir. Su kullanımının yarattığı katma değer ülkelerin gelişme seviyeleriyle de paralellik göstermektedir. Su kullanımında yüksek katma değer açısından İsrail, belirgin şekilde öne çıkmaktadır. Bunun temel nedeni ülkenin sınırlı su kaynaklarını en verimli ve etkin şekilde kullanıyor olmasıdır.

Sektörel bazda su-katma değer ilişkisi ülkemizde havza ölçeğinde yapılan Sektörel Su Tahsis Planları (SSTP) Projelerinde ele alınmaktadır. Bu planlar kapsamında alt havzalarda belirlenen su tahsis miktarlarının oluşturduğu ekonomik değer belirlenmesi önemlidir. Çalışmalarda her bir alt havzada 1

Tablo 3.3: Sektörel su kullanımının yarattığı katma değer (ABD \$/m³) (FAO AQUASTAT, 2023)

Ülke	Yıl	Endüstriyel Su Kullanımı	Zirai Su Kullanımı	Hizmetler Sektörü Su Kullanımı	Genel Su Kullanım Verimliliği
Türkiye	2019	232,75	0,36	87,01	13,75
	2020	251,77	0,38	83,31	13,75
Mısır	2019	23,78	0,69	18,81	4,81
	2020	21,83	0,75	19,91	4,87
İspanya	2019	39,64	0,52	208,44	40,27
	2020	36,24	0,57	184,49	36,23
İtalya	2019	47,21	0,97	143,12	50,08
	2020	42,99	0,83	131,63	45,88
Almanya	2019	48,60	4,73	224,35	112,16
	2020	45,66	4,65	219,07	108,40
İsrail	2019	560,17	2,09	255,12	136,46
	2020	554,14	2,12	247,91	134,15

m³ su başına her sektörde oluşması öngörülen katma değer hesaplanmaktadır. Alt havzaların özelliklerine ve barındırdıkları ekonomik değere sahip olan bütün sektörlerde (tarım, sanayi ve enerji) ekonomik analiz yapılmaktadır. Halen İSO'nun faaliyet alanındaki Marmara Havzası'nda SSTP çalışmaları sürmektedir.

Dünyada genel itibarıyla tarım sektöründen sonra en büyük ikinci su tüketicisi, hizmetler ve endüstri sektörleridir. Dünya genelinde, su kullanımının yaklaşık %20'si bu sektörlerde gerçekleşmektedir. Tarım sektörüne benzer şekilde, endüstriyel sektörlerdeki su kullanımı da ülkeden ülkeye değişiklik göstermektedir. Gelişmiş ülkelerde sanayi sektörlerinde su kullanımı %50'lere ulaşırken, tarım sektöründe su kullanımı nispeten daha düşük sevi-

yelerde kalmaktadır. Hizmetler ve endüstriyel sektörlerin arasında yer alan enerji alt sektörü, söz konusu sektörlerin kullandığı toplam su miktarının yaklaşık %75'ini tek başına tüketmektedir. Enerji üretiminde çok miktarda tüketilen su, petrolün pompalanması, santrallerde kirlenici maddelerin temizlenmesi, türbinlerin çalışması için gerekli buharın üretimi ve santrallerin soğutulması gibi enerji üretiminin farklı aşamalarında kullanılmaktadır. Dünya Enerji Görünümü Raporu'na (DEG, 2018) göre, enerji sektörü 2016 yılında yaklaşık 340 milyar m³ su çekmiş ve bunun yaklaşık 50 milyar m³'ünü tüketmiştir. Enerji sektörü, su çekimlerinin büyük bir kısmından sorumludur ve çekilen toplam suyun 1/3'ünden fazlası kömürden elektrik üreten santrallerde soğutma suyu olarak kullanılmaktadır.

Tablo 3.4: Türkiye su ayakizi miktarları (WWF, 2014)

Üretimin su ayak izi	Bir ülke içerisinde üretilen tüm ürünler için gereken toplam su (yeşil, mavi ve gri) miktarıdır.
İhracatın su ayak izi (Sanal su ihracatı)	Bir ülkenin ihraç ettiği mal ve hizmetlerin üretimi için gereken toplam su (yeşil, mavi ve gri) miktarıdır.
İthalatın su ayak izi (Sanal su ithalatı)	Bir ülkenin ithal ettiği mal ve hizmetlerin üretimi için gereken toplam su (yeşil, mavi ve gri) miktarıdır.
Tüketimin su ayak izi	Ülke içerisinde tüketilen mal ve hizmetlerin üretimi için gereken toplam su (yeşil, mavi ve gri) miktarıdır.

Tekstil endüstrisi, yoğun su tüketen bir diğer endüstri olarak bilinmektedir. ABD Çevre Koruma Ajansı'na (EPA) göre, tek bir kot pantolon üretimi için 10 bin litre su gerekmektedir. Yoğun bir şekilde su tüketen bir diğer sektör ise et üretimi ve meşrubat endüstrisidir. Su Ayakizi Ağına göre, bir fincan kahve yapmak için gerekli içeriklerin üretiminde yaklaşık 130 litre su kullanılmaktadır. Küresel otomotiv endüstrisi, çeşitli üretim süreçlerinde kullandığı için önemli miktarda su tüketen başka bir endüstridir. Bazı tahminlere göre, bir araba üretmek için 150 m³'ten fazla su tüketilmektedir (Su Raporu, 2022).

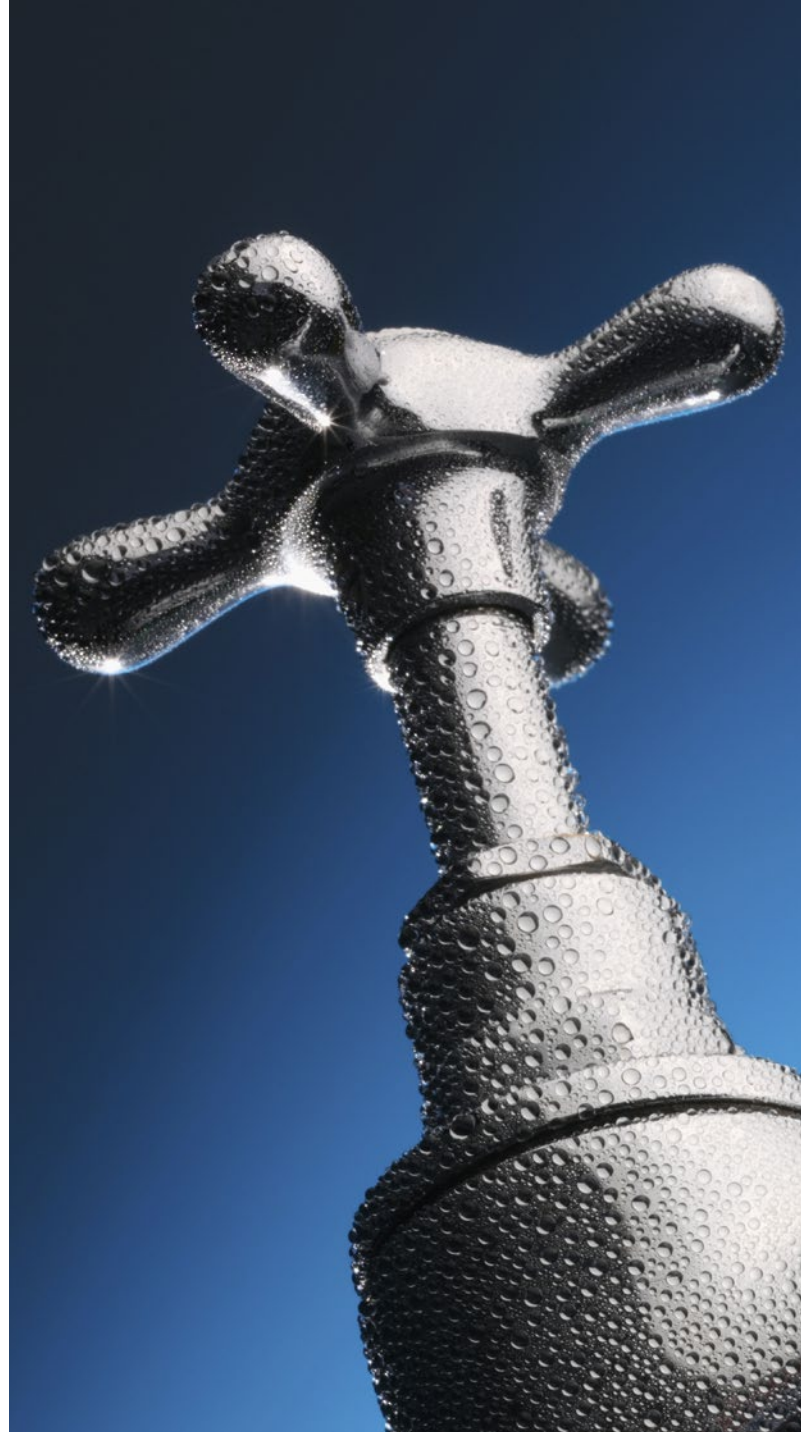
Su kullanımına yönelik bir gösterge olan *su ayakizi*, bir mal veya hizmeti üretmek için gerekli tatlı su miktarının tüm tedarik zinciri içindeki ölçümünü ifade eder ve *mavi, yeşil ve gri su ayak izlerinden* oluşur. Üretim için ihtiyaç duyulan yerüstü ve yeraltı tatlı su kaynakları mavi su ayakizi; toplam yağmur suyu yeşil su

ayakizi; üretimde oluşan kirlilik yükünün bertaraf edilmesi ya da azaltılması için kullanılan tatlı su miktarı ise gri su ayakizidir. Türkiye'nin su ayakizini değerlendirirken, üretimin ve tüketimin su kullanımıyla Türkiye'nin ithalat ve ihracatında yer alan su miktarı da incelenmelidir ve bu miktarlar Tablo 3.4'te özetlenmiştir (WWF, 2014).

Tarımsal ya da endüstriyel bir ürünün üretim sürecinde kullanılan toplam su miktarı ise, o ürünün *sanal su* olarak adlandırılır. Sanal su olarak ifade edilmesinin sebebi üründe mevcut su miktarından ziyade üretim süreci boyunca tüketilen suyu ifade etmesidir. Sanal su miktarı ürünlerin yetiştirilme koşullarına göre farklılık gösterir. Örneğin, elverişli iklim koşullarında yalnız yağmur suyu ile yetiştirilen bir kilo tahılın sanal su miktarı 1.000-2.000 kg aralığındayken, iklim koşulları elverişsiz olan bir bölgede yetiştirilen bir kilo tahılın sanal su miktarı 3000-5000 kg aralığındadır (Hoekstra ve Hung, 2002).

Sanal su kavramı, uluslararası veya bölgeler arası su akışlarının değerlendirilmesinde kullanılır. Bir ülke veya bir bölge bir ürünü ithal veya ihraç ediyorsa, suyu da sanal olarak ithal veya ihraç etmektedir. Bu da genel olarak sanal su ticareti olarak ifade edilmektedir (WWF, 2014). Ülkelerin sanal su transferleri su kaynaklarının küreselleşmesini sağlamaktadır. Düşük sanal su içeriğine sahip ülkelerde yetiştirilen ürünlerin su kıtlığı yaşayan ülkelere ithal edilmesiyle, bu ülkelerin su kaynaklarındaki baskı azaltılmaktadır. Su fakiri ülkeler bu şekilde su yönetim etkinliklerini artırarak sınırlı su kaynaklarını daha sürdürülebilir şekilde kullanabilmektedir.

Küresel düzeyde sanal su ticaretine yönelik değerlendirmeler su kaynaklarının etkin yönetimi açısından önem kazanmaktadır. Sanal su ticaretinde en büyük miktarı %76'lık oran ile işlenmiş ve işlenmemiş bitkisel ürünler oluşturmaktadır. Hayvansal ürünler ile sanayi ürünlerinin sanal su ticaretindeki oranları %12 olarak belirlenmiştir (Durmuşlar, 2021).



Bir ülke veya bir bölge bir ürünü ithal veya ihraç ediyorsa, suyu da sanal olarak ithal veya ihraç etmektedir.

Toplam sanal su ihracatında Amerika, Çin, Hindistan, Brezilya, Arjantin, Kanada, Avustralya, Endonezya, Fransa ve Almanya öne çıkan ülkeler olup bu ülkelerin sanal su ihracatı, küresel sanal su ticaretinin yarısını oluşturmuştur. Amerika, Pakistan, Hindistan, Avustralya, Özbekistan, Çin ve Türkiye ise mavi su ihracatında öne çıkmakta olup bu ülkelerin mavi su ihracatı küresel mavi su ticaretinin %49'una denk gelmektedir. Mavi su ihracatında öne çıkan ülkelerin kısmen su baskısı yaşayan ülkeler olması düşündürücüdür. Kısıtlı olan ulusal su kaynaklarının ihracat ürünlerinde kullanılması su kaynaklarının sürdürülebilirliğini olumsuz etkilemektedir.

Net sanal suda en büyük ihracatçı ülkeler ise Kuzey Afrika, Orta Doğu, Meksika, Avrupa, Japonya ve Güney Kore'dir. Türkiye' de 1996-2005 yılları arasında sanal su dengesi pozitif olan ülkeler arasındadır. Uluslararası ticaret sayesinde tasarruf edilen su miktarı oldukça önemlidir. Küresel sanal su ticaretine yönelik değerlendirmede; ticaret yapılmaması ve

tüm ürünleri ithalatla karşılayan ülkelerde, küresel su ayakizinin %4 oranında daha yüksek olacağı belirlenmiştir (Mekonnen ve Hoekstra, 2011).

Ülkemizde ihracatın su ayakizinin önemli bir bölümü ithal edilerek işlenen ve ihraç edilen ürünlerden kaynaklanmakta olup, ihracat su ayakizinde pamuk ve buğday öne çıkmaktadır. Toplam ihracat değerinin %30'unu oluşturan işlenmemiş tarım ürünleri, tekstil ürünleri ve işlenmiş tarım ürünleri, ihracatın su ayakizinin %95'ine karşılık gelmektedir. Toplam ihracat değerinin %70'ine denk gelen mineral, cam ve metal ürünleri, makine aksamaları ve diğer ürünler ise ihracatın su ayakizinin sadece %5'lik bölümünü oluşturmaktadır (Tablo 3.5).

Türkiye'de sanal su ithalatı, ihracata benzer şekilde işlenmiş ve işlenmemiş tarım ürünleri ile tekstil ürünlerinde yoğunlaşmıştır. Bu ürünler toplam ithalat değerinin %13'ünü, toplam ithalat su ayakizinin ise %92'sini oluşturur.

Tablo 3.5: İhracat değerlerine ve su ayak izlerine göre Türkiye'nin ihracatı (WWF, 2014)

Ürün Türü	İhracattaki Payı	İhracatın Su Ayak İzi
İşlenmemiş tarım ürünleri	%6	%19
Tekstil ürünleri	%20	%42
İşlenmiş tarım ürünleri	%4	%34
Mineral, cam ve metal ürünler	%33	-
Makine, motorlu taşıt, elektronik vb.	%30	%5
Diğer	%7	-
Toplam	%100	%100

Tablo 3.6: İthalat değerlerine ve su ayak izlerine göre Türkiye'nin ithalatına ilişkin veriler (WWF, 2014)

Tür	İthalattaki Payı	İthalatın Toplam Su Ayak İzi
İşlenmemiş tarım ürünleri	%3	%60
Tekstil ürünleri	%6	%14
İşlenmiş tarım ürünleri	%4	%18
Mineral, cam ve metal ürünler	%49	-
Makine, motorlu taşıt, elektronik vb.	%35	%8
Diğer	%3	-
Toplam	%100	%100

İthalat değerinin %87'sini oluşturan mineral, cam ve metal ürünlerinin ithalat su ayakizindeki payı ise, %8'dir. Türkiye'de ithalatın su ayakizinin en büyük bölümünü %20'lik oran ile pamuk oluşturur. Ülkemize ithalatla giren sanal su, ihracatla çıkan sanal su miktarına denktir. Türkiye'nin sanal su ithalatının ve ihracatının birbirine neredeyse eşit olması, sanal su bütçesinin denliğini ifade eder (WWF, 2014). Tablo 3.6'da ithalat değerlerine ve su ayak izlerine göre Türkiye'nin ithalatına ilişkin değerlere yer verilmektedir.

Sanal su ticaretine yönelik uluslararası düzeyde yapılan değerlendirmelerin bölgesel,

hatta havza düzeylerinde gerçekleştirilmesi su yönetiminde etkinliğin sağlanabilmesi için kritik öneme sahiptir. Ülkemiz temiz su potansiyeli açısından su stresi yaşayan ülkeler sınıfındadır ancak bu potansiyel ülke genelinde farklılık göstermekte olup havza temelli değerlendirmelerde bazı havzaların su zengini bazı havzaların ise su fakiri kategorisinde bulunduğu görülmektedir (Tablo 3.7).

Su fakiri bir havzada üretimin su ayakizinin yüksek olması ve sanal su ticaretinde negatif bir denge bulunması, bu havzadaki ekono-

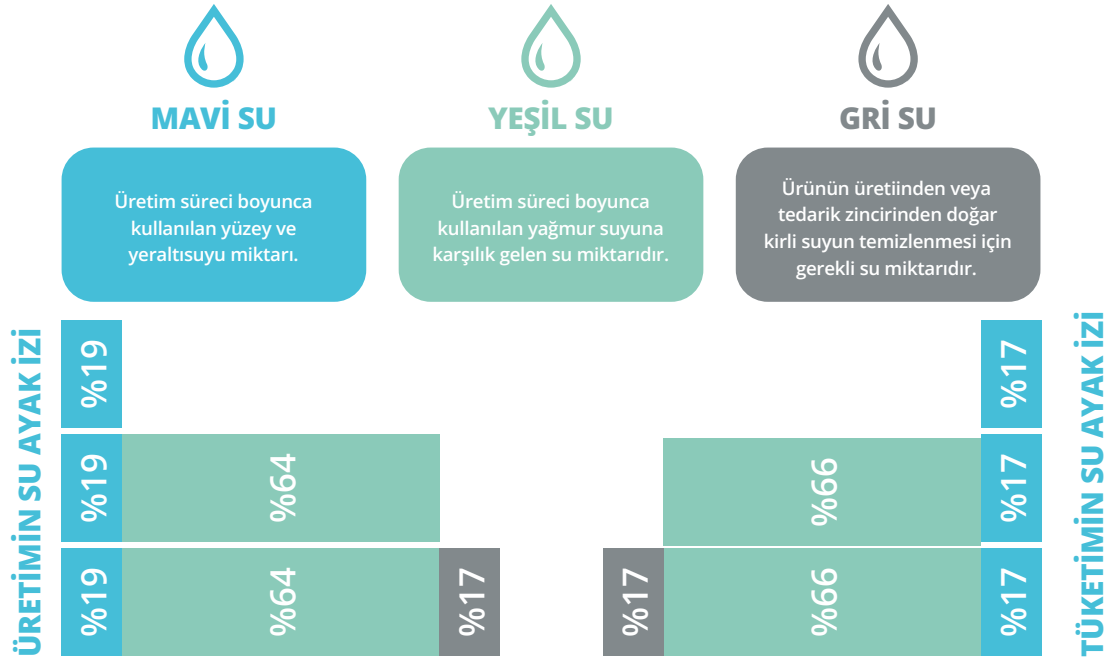
Tablo 3.7: Bölgesel Falkenmark Göstergeleri (2015) (Hakyemez, 2019).

Havza Adı	Nüfus	Kullanılabilir Su Potansiyeli (milyar m ³ /yıl)	Falkenmark Göstergesi (m ³ /kişi/yıl)	Tanım
Meriç Ergene	749.510	0,76	1.014	Su Stresi
Marmara	17.608.408	2,84	161,06	Mutlak Kıtlik
Susurluk	3.793.746	2,57	677,43	Kıtlik
Kuzey Ege	1.112.098	0,88	791,3	Kıtlik
Gediz	1.588.561	0,79	497,31	Mutlak Kıtlik
Küçük Menderes	4.168.415	0,46	109,15	Mutlak Kıtlik
Büyük Menderes	1.346.490	1,7	1.262,54	Su Stresi
Batı Akdeniz	908.877	3,87	4.258	Su Zengini
Antalya	3.341.962	7,03	2.103,55	Su Zengini
Burdur	680.105	0,17	244,08	Mutlak Kıtlik
Akarçay	709.015	0,31	437,23	Mutlak Kıtlik
Sakarya	7.262.833	4,03	554,88	Kıtlik
Batı Karadeniz	1.879.209	5,09	2.705,93	Su Zengini
Yeşilirmak	2.721.221	3,1	1.139,19	Su Stresi
Kızılırmak	3.715.291	3,95	1.063,17	Su Stresi
Konya Kapalı	3.105.368	4,9	1.577,91	Su Stresi
Doğu Akdeniz	1.745.221	4,8	2.747,50	Su Zengini
Seyhan	2.183.167	3,55	1.626,08	Su Stresi
Asi	1.533.507	1,18	769,48	Kıtlik
Ceyhun	1.609.483	3,81	2.367,22	Su Zengini
Dicle-Fırat	12.646.409	37,48	2.963,81	Su Zengini
Doğu Karadeniz	2.404.480	9,36	3.892,73	Su Zengini
Çoruh	246.920	4,46	18.064,15	Su Zengini
Aras	584.360	3,28	5.609,62	Su Zengini
Van Gölü	1.096.397	2	1.505	Su Stresi
Türkiye (2015)	78.741.053	112,02	1.422,23	Su Stresi

mik faaliyetlerin ve canlılığın sürdürülebilirliğini tehdit edecektir. Üretim ve ihracatta su ayakizinin niteliği de dikkatle değerlendirilmelidir. Ülkemiz sanal su ihracatında mavi su ayakiziyle öne çıkan ülkeler arasında yer almaktadır. Bu da zaten kısıtlı olan temiz su kaynaklarımızın sanal su ticaretiyle ihraç edildiği anlamına gelmektedir. Su fakiri hav-

zalardan yapılan ihracatta mavi su ayakizinin düşürülmesi zorunludur. Ayrıca, uluslararası ticaretin yanında bir ülkede farklı su kategorilerinde yer alan bölgeler ve havzalar arasındaki sanal su akışlarının ele alınması, üretim ve akış planlamalarının yapılması su kaynaklarının sürdürülebilirliğine önemli katkılar sağlayacaktır.

Şekil 3.6: Türkiye’de üretimin ve tüketimin su ayakizi (WWF, 2014)



Türkiye’de üretimin su ayakizi yaklaşık 139,6 milyar m³/yıl’dır.

Tüketimin su ayakizi, dünyanın herhangi bir yerindeki tüketimle, bambaşka bir yerindeki su sistemi arasındaki bağlantıyı ortaya koymaktadır. Türkiye’de tüketimin su ayakizinin büyük oranda ülke içindeki su kaynaklarının kullanımına dayanması; suyun ekonomik, sosyal ve çevresel sürdürülebilirlik çerçevesinde ele alınmasını gerektirir. Su ayakizi bileşenlerine göre Türkiye’de üretimin ve tüketimin su ayakizi Şekil 3.6’da görselleştirilmiş olarak sunulmaktadır.



Üretimin su ayakizi, ülkede suyun nasıl kullanıldığıının ve bu kullanımın uygun ve sürdürülebilir olup olmadığının anlaşılmasını sağlamaktadır. Türkiye’de üretimin su ayakizi yaklaşık 139,6 milyar m³/yıl’dır. Bu değer’in %64’ü yeşil su ayakizidir; mavi su ayakizi %19 ve gri su ayakizi %17’dir. Tarım %89 ile en büyük payı oluşturmaktadır. Eysel su kullanımı ve endüstriyel üretim, tüm su ayakizinde sırasıyla, %7 ve %4’lük bölümleri kapsamaktadır (WWF, 2014).

Türkiye’de tüketimin su ayakizi yaklaşık 140,2 milyar m³/yıldır. Tüketimden kaynaklanan su ayakizinin %66’sı yeşil su ayakizidir; mavi su ayakizi %17, aynı şekilde gri su ayakizi de %17’lik paya sahiptir. En büyük bölümü %89 ile tarımdan kaynaklanmaktadır. Endüstriyel ve evsel su kullanımı, tüketimin su ayakizinin sırasıyla %6’sını ve %5’ini oluşturur. Özellikle son yıllarda, dünyada su konusu iş dünyasının odağındaki en önemli

konulardan biri haline gelmiştir. Karbon Saydamlık Projesi (CDP) tarafından 2012 yılında hazırlanan Küresel Su Raporu’nda (CDP-Water, 2013), su kaynakları üzerindeki risklerin iş dünyasının dikkatle üzerinde durması gereken bir konu olduğunun altı çizilmektedir. Küresel düzeyde 470 yatırımcının görüşünü kapsayan raporda, katılımcıların %53’ü işlerinin su kaynaklarından etkilendiğini, %68’i ise suya bağlı risklerle karşı karşıya olduklarını belirtmişlerdir. İş dünyası, su kaynaklarının yönetiminde ve su ayakizi etkilerinin azaltılmasında önemli roller oynamaktadır. Şirketler, operasyonlarında suyu verimli kullanmanın ötesine geçerek tüm tedarik zinciri boyunca su kullanımını dikkate almalıdır. Etkin bir su yönetimi, tüm iş süreçlerinin vazgeçilmez bir parçası haline gelmelidir. Şirketler, iş geliştirme ve büyüme hedeflerini, buldukları veya etkiledikleri havzalardaki su döngülerinin sürdürülebilirliğini dikkate alarak planlamalıdır.

Su ayakizinin küçültülmesi için özel sektöre yönelik aşağıdaki hususlar önerilebilir:

- Şirketler öncelikle, su kaynaklarıyla ilişkili sorunları sosyal, ekonomik ve çevresel açıdan değerlendirebilecek gelişmiş bir anlayışa sahip olmalıdır.
- Şirketler, tedarik zincirleri boyunca su kullanım miktarını, bunun etkisini ve risklerini belirlemelidir.
- Su ayak izlerini ölçerek hâlihazırda su kıtlığı yaşanan veya gelecekte yaşayabilecek

havzalarda etkilerini azaltmak için harekete geçmelidirler.

- Şirketler bir araya gelerek, doğa ve insanlar için temel hak olan suya erişimin güvence altına alındığı uluslararası sözleşmeleri desteklemelidir.
- Kendi su ayakizi etkilerini azaltmanın ötesine geçerek, su kaynaklarının sürdürülebilirliği amacıyla karar vericiler, diğer şirketler, akademisyenler ve sivil toplum kuruluşlarıyla ortak çalışmalar yürütmelidirler.

Değişen İklim Uyum Çerçevesinde Su Verimliliği Strateji Belgesi ve Eylem Planı (2023-2033)'nda da "su ayakizi" konusuna vurgu yapılmış olup, önümüzdeki dönemlerde su tüketimimizi (yani sebep olduğumuz su kullanımını ve kirliliğini) ölçen en kapsayıcı gösterge olarak kabul edilmiştir. Bu açıdan bakıldığında su ayakizinin yalnızca musluktan akan su, kaynaktan tarlaya alınan su ya da görünen su kullanımını olmadığını, aksine suyla ilgili doğrudan ve

dolaylı; iç ve dış bütün tüketimlerin su ayakizine sebep olduğu net bir şekilde görülmektedir (Su Verimliliği, SGYM, 2023). Su ayakizi, yalnızca su tüketimimizi değil; satın aldığımız ürünlerin içeriğindeki su tüketimini, ithal ürünlerle birlikte başka coğrafyalarda sebep olduğumuz su ayakizini, gereksiz kullanımlarla birlikte küresel ölçekte başka insanların "adil su hakkı" üzerinde sebep olduğumuz ayakizi gibi "görünmeyen su tüketimlerimizi" de yansıtmaktadır.

3.2 İSTANBUL'DA SEKTÖREL SU KULLANIMI

3.2.1 İstanbul'un Su Havzaları, Nüfus Gelişimi ve Arazi Kullanımı

İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ) sadece İstanbul'un içinde bulunduğu Marmara Havzası'nda değil, İstanbul'a su sağlayan komşu 2 havzada (Sakarya ve Melen (Batı Karadeniz)) da faaliyetlerine devam etmektedir. Sakarya ve Melen (Batı Karadeniz) Havzaları dışındaki İstanbul'a su temin edilen yüzeysel su kaynaklarının ve içme suyu havzalarının tamamı Marmara Nehir Havzası içerisinde kalmaktadır. İstanbul'un idari sınırlarının içme suyu havzaları dışında kalan en batıdaki çok küçük bir bölümü kısmen Meriç-Ergene Nehir Havzası sınırları içerisinde. Melen Barajı ve Havzası ise Batı Karadeniz, Sakarya'dan Su Alma Yapısı

ve Terfi hattı ise Sakarya Nehir Havzası'nda yer almaktadır. İSKİ ile ilgili nehir havzalarının adları, havzadaki koordinasyonla görevli valilikler, havza alanları ve havzada bulunan diğer iller hakkındaki bilgiler Tablo 3.8'de yer almaktadır.

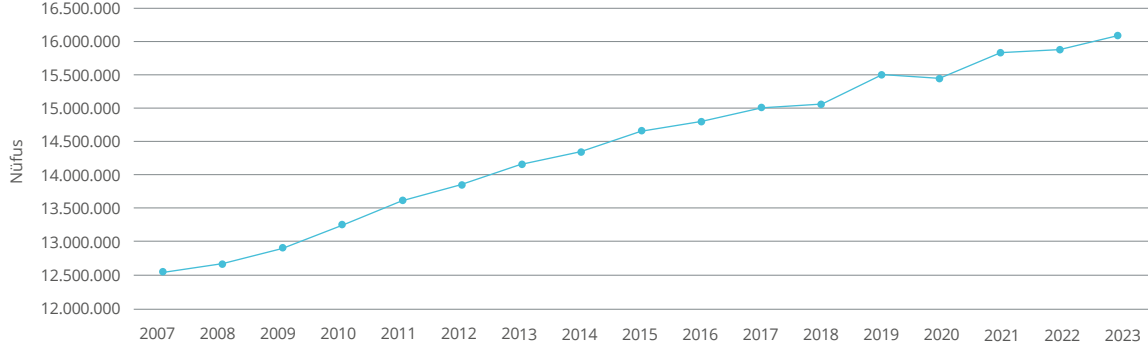
Meriç-Ergene Havzası'nın Nehir Havza Yönetim Planı tamamlanmış olmasına karşın, Marmara Havzası ve Batı Karadeniz Havzasının Su Tahsis Planlarının Hazırlanması (SSTP) ve Nehir Havza Yönetim Planlarının Hazırlanmasına (NHYP) ilişkin Projeler halen devam etmektedir. Bu projelerin 2025 yılında tamamlanması ile su konusunda daha güncel veriler ortaya çıkacaktır.

İstanbul'un 2000-2022 nüfusuna bakıldığında 2010-2017 arası artış hızının 2017 sonrası sönümlendiği görülmektedir (Şekil 3.7).

Tablo 3.8: İSKİ ile ilgili nehir havzalarına ilişkin bilgiler

Havza Adı	Koordinatör Valilik	Havzada Bulunan Diğer İller
Meriç - Ergene	Tekirdağ	Edirne, Kırklareli
Marmara	İstanbul	Kocaeli, Çanakkale, Bursa, Tekirdağ, Yalova, Balıkesir, Kırklareli
Batı Karadeniz	Kastamonu	Zonguldak, Bolu, Düzce, Karabük, Bartın, Sinop, Çankırı, Sakarya

Şekil 3.7: İstanbul nüfus grafiği (URL-14)



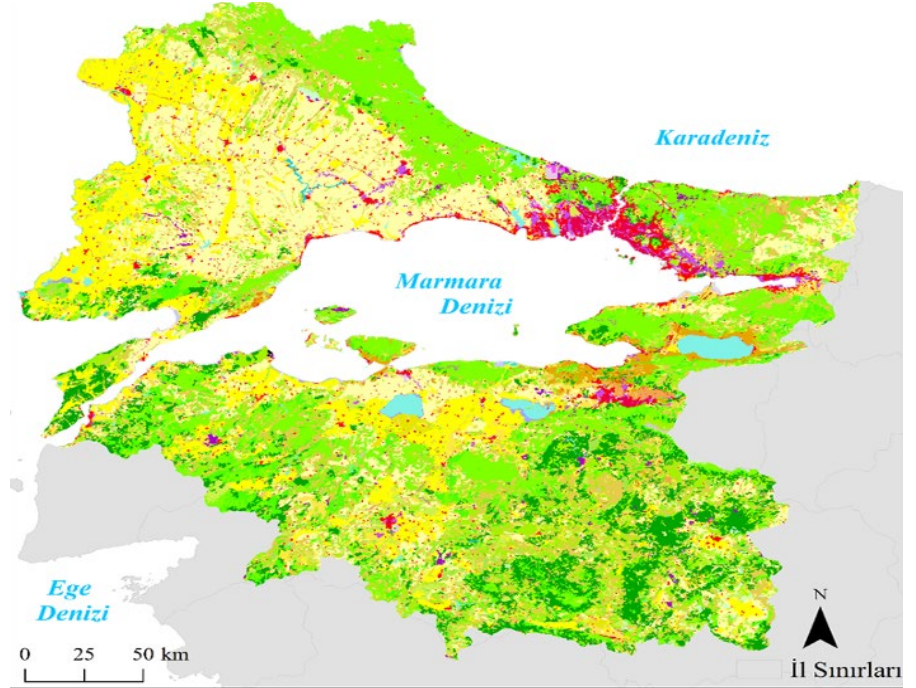
Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi bilgilerine göre, 2023 yılı sonu itibariyle, İstanbul ilinin nüfusu (16.067.031 kişi), Marmara Havzası'ndaki 8 ilin toplam nüfusunun %64'ünden fazlasını oluşturmaktadır. Ancak, İstanbul ilinin coğrafi alanı Marmara Havzası'nın yalnızca %10'unu kapsamaktadır (MBB, 2021).

Şekil 3.8'de İstanbul'un da içinde bulunduğu Marmara Denizi Havzasının 2021 yılı arazi örtüsü/arazi kullanımı (AÖ/AK) haritası yer almaktadır. Bu haritadan görüldüğü üzere, İstanbul'da yapay alanların diğer illere nazaran çok fazla olduğu anlaşılmaktadır. Sadece İstanbul ilinin 2021 yılı itibariyle AÖ/AK dağılımı ise Şekil 3.9'da gösterilmektedir. Halen İstanbul'un %39'u ormanlarla kaplı olmasına karşın, yapay alanlar %24 oranındadır. Bu paylaşımı %18'lik bir oran-

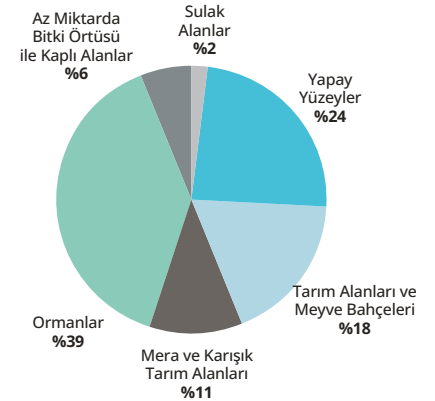
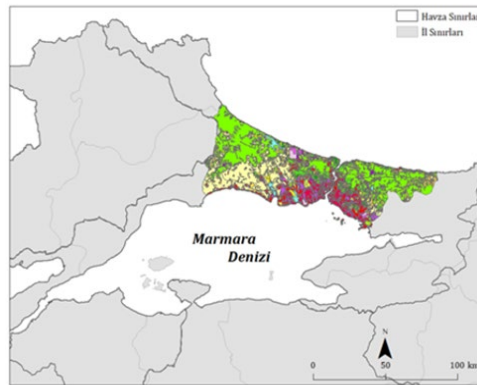
la tarım alanları ve %11 ile de mera ve karışık tarım alanları takip etmektedir. 1990-2000, 2000-2006, 2006-2012, 2012-2018, 2018-2021 dönemlerindeki değişim analizine ilişkin grafikler ise EK-II'de verilmektedir. Böylelikle İstanbul'daki özellikle yapay alanlardaki artış, dönemlere göre dikkat çekmektedir.

2023 yılı sonu itibariyle, İstanbul ilinin nüfusu (16.067.031 kişi), Marmara Havzası'ndaki 8 ilin toplam nüfusunun %64'ünden fazlasını oluşturmaktadır.

Şekil 3.8: Marmara Denizi Havzası 2021 arazi örtüsü/arazi kullanımı haritası (TÜBİTAK, 2022)



Şekil 3.9: İstanbul ili 2021 yılı itibariyle arazi örtüsü/arazi kullanımı dağılımı (TÜBİTAK, 2022)



Tablo 3.9: İlin akarsuları ve özellikleri (URL-15)

Akarsu	Toplam uzunluğu (km)	İl sınırları içindeki uzunluğu (km)	Debisi (2022 su yılı Ort. Debi) (m ³ /sn)	Kullanım Amacı [İS: içme suyu]
Istranca Deresi	-	-	2,060	Terkos Gölünü besler. İS
Karasu	70	-	1,650	B. Çekmece Gölünü besler. İS
Sarısu	25	-	0,740	B. Çekmece Gölünü besler. İS
Çakıl Deresi	-	-	0,329	B. Çekmece gölünü besler. İS
Sazlıdere	40	-	-	Sazlıdere baraj gölünü besler. İS
Nakkaş Deresi	-	-	-	K. Çekmece Gölüne dökülür.
Alibeyköy Deresi	50	-	-	Alibeyköy Barajı-Haliçe dökülür.
Kağıthâne Deresi	-	-	-	Haliçe dökülür.
Göksu Dere	-	25	5,750	İsaköy Regülatörünü besler. İS -Karadeniz'e dökülür.
Riva Deresi	100	-	-	Ömerli Barajı- İS -Karadeniz'e dökülür.
Hiciv Deresi	50	-	-	Marmara Denizine dökülür.
Kuzuludere	-	-	-	Karadeniz'e dökülür.
Düzdere	-	-	-	Karadeniz'e dökülür.
Yıldındere	-	-	0,278	Sungurlu Regülatörü mansabından Çanakdere'ye deşarj olup, oradan Karadeniz'e dökülür.
Kabakozdere	-	-	1,260	Karadeniz'e dökülür.
Çanakdere	-	-	4,210	Sungurlu Regülatörü üzerinden Karadeniz'e dökülür.
Ozan dere	-	-	1,400	Ömerli Barajını besler. (Darlık Barajından Ömerli Barajı'na akan su AGİ den geçtiğinden doğal akışı etkilemektedir)
Göçbeyli dere	-	-	-	Ömerli Barajını besler. (AGİ Köprü yenilemesi nedeniyle debi ölçümü yapılamamıştır)

3.2.2 İstanbul'un

Su Kaynakları ve Dağılımı

İstanbul'un 2022 yılına ait verileri bu bölümde sunulmuş olup, bilgiler İstanbul İl Çevre Durum Raporu'ndan derlenmiştir (İÇDR, 2023). Bu bölümde verilen bilgiler en güncel durumu yansıtmaktadır. İBB Su Kanalizasyon İdaresi (İSKİ) 40 İlçe Belediyesi su hizmetlerinden sorumludur.

İstanbul'da yerüstü sularını oluşturan büyük kapasiteli akarsular bulunmamaktadır. Bu

nunla birlikte içme ve kullanma suyu temin edilen göl ve göletleri besleyen ya da denize dökülen dereler mevcuttur; ancak bunların debilerinin düşük ve düzensiz olması ulaşım, taşımacılık, su sporları gibi faaliyetleri engellemektedir. Derelerin bir kısmı yaz aylarında bütünü ile kurumakta, bir kısmı ise şiddetli yağışlardan sonra taşkınlara yol açmaktadır.

Tablo 3.9'da İstanbul'daki akarsularla ilgili bilgilere yer verilmektedir. Tablo 3.10'da ise mevcut göl, gölet ve rezervuarlarla ilgili yıllık



su verileri bulunmaktadır. Su kaynaklarına ait daha detaylı bilgilere İSKİ'nin web sitesinden ulaşılabilir (URL-15).

İstanbul genelinde Yeraltı Suyu Kullanma Belgesi verilerek su tahsisi yapılan belgeli kuyuların büyük çoğunluğunda su kullanım amacı "Kullanma-Sulama Suyu" olarak verilmektedir. İstanbul'da su sondaj kuyusu açım çalışmaları, DSİ 14. Bölge Müdürlüğünden alınmakta olan Yeraltısuyu Arama ve Yeraltısuyu Kullanma Belgeleri doğrultusunda yapılmakta olup, Bakanlar Kurulu Kararıyla ilan edilmiş ve su sondaj kuyusu açılmasına kapalı 9 Adet İşletme Sahası bulunmaktadır. Bunlar dışında kalan alanlarda İstanbul Asya ve Avrupa Yeraltısuyu İşletme Sahaları olarak emniyetli çekim rezervi doğrultusunda, kontrollü olarak yeraltısuyu tahsisi yapılmaktadır.

Ocak-2023 tarihi itibari ile Toplam Kayıtlı Yeraltı suyu Kullanma Belgesi sayısı 5637 adet

Tablo 3.10: İlin mevcut göl, gölet ve rezervuarları (URL-15)

AVRUPA	650,70 hm ³ /yıl
Büyükçekmece Barajı Havzası	136,59
Alibey Barajı Havzası	53,15
Terkos Barajı Havzası	170,44
Sazlıdere Barajı Havzası	58,84
Kuzuludere Barajı Havzası	13,35
Büyükdere Barajı Havzası	34,15
Düzdere Barajı Havzası	4,18
Yeraltısuyu (emniyetli rezerv)	180,00
ASYA	999,84 hm ³ /yıl
Göksudere Havzası	221,68
Kabakozdere Havzası	39,48
Ömerli Barajı Havzası	193,02
Darlık Barajı Havzası	108,36
Çanakdere Havzası	134,90
Elmalı Barajı Havzası	10,67
Yeraltısuyu (emniyetli rezerv)	120,00
Şile (Ağva)- İhsaniye Arası Su	171,73
Toplam yerüstü suyu (il çıkışı)	1350,54
Toplam su potansiyeli	1650,54

olmakla birlikte, İstanbul geneli toplam tahsis miktarı 146 hm³tür. İstanbul ilindeki yeraltısuyu seviyeleri jeolojik, topografik yapı, mevsimsel koşullara ve beslenimlere bağlı olarak değişiklik göstermektedir. 2022 Şubat ayı itibariyle DSİ 14. Bölge Müdürlüğüne yapılan yeraltısuyu kullanma belge başvurularında kuyulara ait statik seviyelerde önceki yıllara göre nispeten düşüşler olduğu gözlemlenmektedir. İstanbul genelinde yeraltısuyu kütle belirleme çalışmalarında kapsamdaki rasat kuyuları marifetiyle kuyulara yönelik seviye ölçümleri programlanmıştır.

3.2.3 Sektörel Su Kullanımları ve Tahsisler

İçme-kullanma suyu 2022 yılında belediyeler tarafından içme ve kullanma suyu şebekesi ile dağıtılmak üzere temin edilen yerüstü su kaynaklarından dağıtılan su miktarının kaynaklara göre dağılımına bakıldığında, verilen suyun %60'ının barajlardan, %40'ının ise regülatörlerden ve kuyulardan karşılandığı görülmektedir. Şehre verilen suyun %100'ü arıtmadan geçirildikten sonra dağıtılmaktadır. Göreceli olarak düşük miktarda yeraltı suyu da içme-kullanma amaçlı kullanılmakta olup bu miktar takriben 0,2 hm³/yıl'dır.

İstanbul'da 2023 yılı itibariyle toplam tarım arazisi 86.521 hektar olup, işlenen tarım arazisi ise yaklaşık 76.900 hektardır. Bu alanların 2.984 hektarında sulu tarım yapılmaktadır. İstanbul ilinde ağırlıklı olarak yağışa dayalı bitkisel üretim gerçekleştirilmektedir. Kayıtlara göre toplam 5 adet sulama kooperatifi bulunmaktadır.

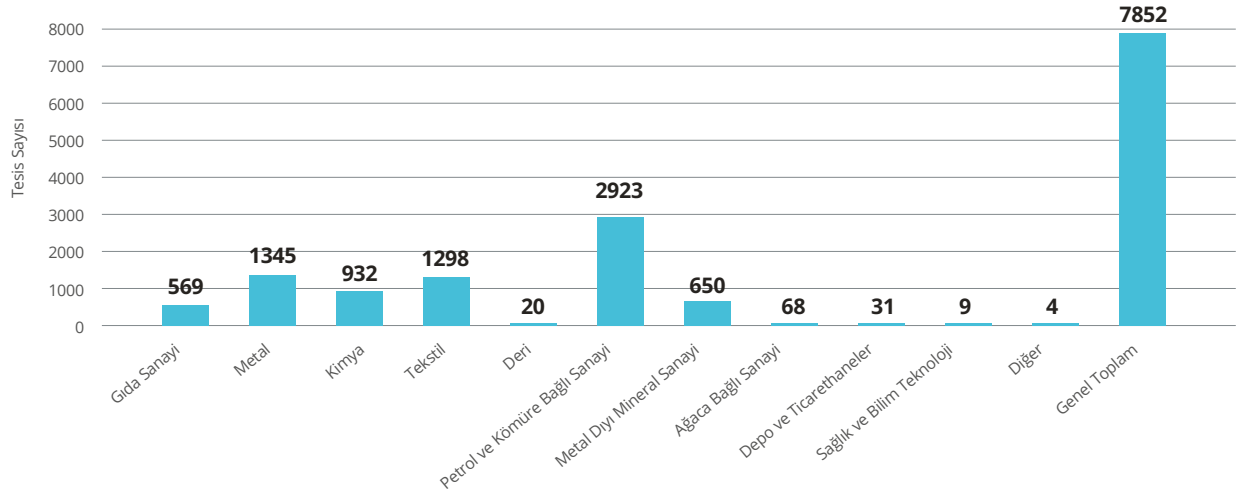
Sanayi Suyu, İSKİ'nin Paşaköy, Ataköy ve Ambarlı İleri Biyolojik AAT'de kurulan toplam kapasitesi 80.000 m³/gün olan geri kazanım tesislerinde geri kazanılan atıksular, peyzaj, proses ve soğutma suyu olarak kullanılmaktadır. İstanbul'da endüstrinin 2022 yılında kullandığı suyun alt sektörlere göre dağılımı Tablo 3.11'de gösterilmektedir.

İstanbul'da su kaynakları üzerinde enerji üretme amacıyla kurulan hidroelektrik santraller bulunmamaktadır. İstanbul'da endüstriyel atıksu deşarjı olan tesisler "İSKİ Atıksuların Kanalizasyona Deşarj Yönetmeliği" doğrultusunda İSKİ tarafından sürekli olarak denetlenmekte olup, bu çerçevede 2022 yılında işletmeler üzerinde 15.704 adet inceleme yapılmıştır. İstanbul'da 7852 adet firmadan endüstriyel atıksu (EAS) kaynaklanmaktadır. Toplam endüstriyel atıksu debisi yaklaşık 72.648 m³/gün'dür. EAS kaynaklanan işletmelerden 1187 tanesinde arıtma tesisi (ortak arıtmalar hariç) mevcut olup, 74 işletmeden atıksuları için önlem almaları talep edilmiştir.



Yönetmelik gereği AAT gerekmeyen işletme sayısı 5087 olup, 937 işletme tesis içi önleme sahiptir; 567 işletme atık suyunu taşıttırmakta, takriben 281 m³/gün EAS mevzuatta belirtilen limit değerler sağlanarak deşarj edilmekte, 744 m³/gün atıksu için önlem aldırma çalışmaları devam etmektedir. Endüstriyel atıksu üreten 7852 tesisin sektörlere göre dağılımı Şekil 3.10'da gösterilmektedir.

Şekil 3.10: Endüstriyel atıksu üreten tesis sayılarının sektörlere göre dağılımı



Tablo 3.11: 2022 yılında sanayinin kullandığı suyun sektörlere göre dağılımı ve özellikleri (İÇDR, 2023)

Sektör Kodu	Açıklama	End. Atıksuyu Olan		Arıtması Olan	
		Tesis Sayısı	Debi	Tesis Sayısı	Debi
A	Gıda Sanayi	569	5.517	65	4.158
B	Metal	1348	6.351	535	5.295
C	Kimya	932	3.422	141	2.902
D	Tekstil	1298	19.398	399	16.179
E	Deri	20	18.563	5	18.563
F	Petrol ve Kömüre Bağlı Sanayi	2923	6.427	10	601
G	Metal Dışı Mineral Sanayi	650	9.913	20	108
H	Ağaca Bağlı Sanayi	68	964	7	954
L	Depo ve Ticarethaneler	31	2.049	5	2.028
Z	Sağlık ve Bilim Teknoloji Tesisleri	9	5		
	Diğer	4	40		
	Genel Toplam	7852	72.648	1.187	50.787

ilde Organize Sanayi Bölgeleri (OSB) bulunmaktadır. Alıcı ortama deşarjı olup, atıksu konulu çevre izni almış tesis sayısı 46'dır. Bununla birlikte SAİS Onayı verilmiş 19 adet AAT bulunmaktadır. İstanbul'da 8 önemli OSB bulunmaktadır:

(1) İstanbul Tuzla OSB: Kimyasal-Biyolojik Atık su Arıtma Tesisi (İSKİ Kanalizasyonuna bağlı, arıtma çamuru tehlikeli özellikte) bulunmaktadır.

(2) Deri OSB: Biyolojik AAT (İSKİ Kanalizasyonuna bağlı, arıtma çamuru tehlikesiz özellikte) bulunmaktadır.

(3) Birlik OSB: Evsel atıksular İSKİ Kanalizasyonuna bağlı, Endüstriyel atıksular taşıma yoluyla bertaraf edilmektedir.

(4) Anadolu Yakası OSB: Evsel atık sular İSKİ Kanalizasyonuna bağlı, Endüstriyel atık sular taşıma yoluyla bertaraf edilmektedir.

Tesis İçi Önlemi Olan		Taşıma Yapan		Önlem İstenmeyen		Önlem İstenen	
Tesis Sayısı	Debi	Tesis Sayısı	Debi	Tesis Sayısı	Debi	Tesis Sayısı	Debi
100	707	8	2	390	562	6	88
73	846	355	87	352	106	33	16
128	112	142	172	512	180	9	56
7	8	10	8	857	2.620	25	584
1	0	1	0	13	1		
72	421	12	2	2828	5.403	1	
546	9.071	15	1	69	733		
6	1	18	5	37	4		
4	5			22	17		
		6	4	3	1		
				4	40		
937	11.171	567	281	5.087	9.666	74	744

(5) Kimya Sanayicileri OSB: Evsel atıksular İSKİ Kanalizasyonuna bağlı, Endüstriyel atıksular taşıma yoluyla bertaraf edilmektedir.

(6) Dudullu OSB: Evsel atıksular İSKİ Kanalizasyonuna bağlı, Endüstriyel atıksular taşıma yoluyla bertaraf edilmektedir.

(7) İkitelli OSB: Galvano Teknik Sanayi Sitesinde Kimyasal AAT (İSKİ Kanalizasyonuna bağlı, arıtma çamuru tehlikeli özellikte), diğer

sanayi sitelerinde Evsel atıksular İSKİ Kanalizasyonuna bağlı, Endüstriyel atıksular taşıma yoluyla bertaraf edilmektedir.

(8) Beylikdüzü OSB: Birlik Sanayi Sitesi ve Bakır Sanayi Sitesinde Kimyasal-Biyolojik AAT (İSKİ Kanalizasyonuna bağlı, arıtma çamuru tehlikeli özellikte) Mermer Sanayi Sitesinde Evsel atıksular İSKİ Kanalizasyonuna bağlı, Endüstriyel atıksular taşıma yoluyla bertaraf edilmektedir.

Şekil 3.11: Senaryo I, II ve III için nüfus projeksiyon karşılaştırması



3.3 İSTANBUL'UN 2023-2053 DÖNEMİ NÜFUS PROJESİYONU VE SU İHTİYACI

İstanbul'un gelecek projeksiyonuna ilişkin ana strateji belgesi Vizyon 2050 ile açıklanmıştır (İBB, 2022). Bu belge ile 7 tema altında sunulan amaç ve hedefler ile 2050 yılında İstanbul'un hak ettiği yeri almasını garantileyecek, toplumsal adalet ve refahın sağlanması öngörülmektedir. Belgede ele alınan temalar aşağıda sıralanmaktadır:

- Çevreyi Koruyan ve Değişen İklimle Uyum
- Etkin ve Kapsayıcı Hareketlilik
- Bütünleşik ve Akıllı Altyapı Sistemleri
- İyi Yaşam Sağlayan Canlı ve Duyarlı Mekânlar
- Dönüştüren ve Dayanıklı Ekonomi

- Herkes için Erişilebilir ve Adil Kentsel Olanaklar
- Eşit ve Özgür Toplum

Bu vizyon belgesi yanı sıra, İSKİ Master Planı Ortak Girişimi (İMP-OG), 2018-2023 döneminde yürüttüğü kapsamlı çalışmalar sonunda hazırladığı Master Planı Ekim 2023 tamamlamıştır. İSKİ'nin yeni Master Planı'nda İstanbul'un il nüfusunun 3 farklı senaryo (Düşük Büyüme, İdeal (Beklenen) Büyüme ve Yüksek Büyüme Senaryoları) için gelecek 30 yıldaki projeksiyon tahminleri Şekil 3.11'de verilmektedir. İstanbul'da temel büyüme senaryosunun yanı sıra ilin cazibesinden dolayı yüksek büyüme senaryosunun da gerçekleşebileceği

Tablo 3.12: İstanbul'da ideal (temel) gelişme senaryosu için nüfus ve su ihtiyacı projeksiyonları (İMP-OG, 2018)

Yıllar	Nüfus (Kişi)	Evsel (l/kişi/gün)	Kamu + Ticaret (l/kişi/gün)	Sanayi (l/kişi/gün)	Toplam (l/kişi/gün)	Su Kayıp Oranı	Brüt Birim Su Tüketimi (l/kişi/gün)	Toplam Su İhtiyacı (m ³ /yıl)
2020	15.594.599	100	35,00	7,50	142,50	0,2206	180	1.024.565.168
2025	16.269.113	100	35,00	7,35	142,35	0,2081	180	1.068.880.724
2030	17.243.908	100	35,00	7,20	142,20	0,1962	175	1.101.454.624
2035	18.185.036	100	35,00	7,05	142,05	0,1851	175	1.161.569.175
2040	19.009.396	100	35,00	6,89	141,89	0,1746	170	1.179.533.022
2045	19.503.238	100	35,00	6,74	141,74	0,1647	170	1.210.175.918
2050	19.807.390	100	35,00	6,59	141,59	0,1553	170	1.229.048.550
2053	19.896.000	100	35,00	6,50	141,50	0,1500	170	1.234.546.800

Tablo 3.13: İstanbul'da yüksek büyüme/nüfus artışı senaryosu için nüfus ve su ihtiyacı projeksiyonları (İMP-OG, 2018)

Yıllar	Nüfus (Kişi)	Evsel (l/kişi/gün)	Kamu + Ticaret (l/kişi/gün)	Sanayi (l/kişi/gün)	Toplam (l/kişi/gün)	Su Kayıp Oranı	Brüt Birim Su Tüketimi (l/kişi/gün)	Toplam Su İhtiyacı (m ³ /yıl)
2020	15.653.455	100,00	37,50	7,50	145,00	0,2225	190	1.085.567.086
2025	16.495.461	102,53	37,50	7,50	147,53	0,2189	190	1.143.960.220
2030	17.748.906	105,11	37,50	7,50	150,11	0,2154	195	1.263.278.385
2035	18.978.306	107,77	37,50	7,50	152,77	0,2120	195	1.350.780.930
2040	20.004.088	110,49	37,50	7,50	155,49	0,2086	200	1.460.298.424
2045	20.542.918	113,28	37,50	7,50	158,28	0,2052	200	1.499.633.014
2050	20.835.340	116,14	37,50	7,50	161,14	0,2020	205	1.559.004.316
2053	20.902.492	117,89	37,50	7,50	162,89	0,2000	210	1.602.176.012

düşünülmektedir. Her iki senaryo için yıllara bağlı olarak izlenen nüfus artışı trendi (azalan hızlı geometrik artış) benzerdir. Bu projeksiyon eğrilerine göre su ihtiyacı değişimi de paralellik göstermektedir.

İSKİ yeni Master Planı'nda, İdeal (Temel) senaryo olarak tanımlanan Senaryo II ile Yüksek (Büyüme) Senaryosu-Senaryo III için öngörülen nüfus ve su İhtiyacı projeksiyonları Tablo 3.12 ve Tablo 3.13'te verilmektedir.

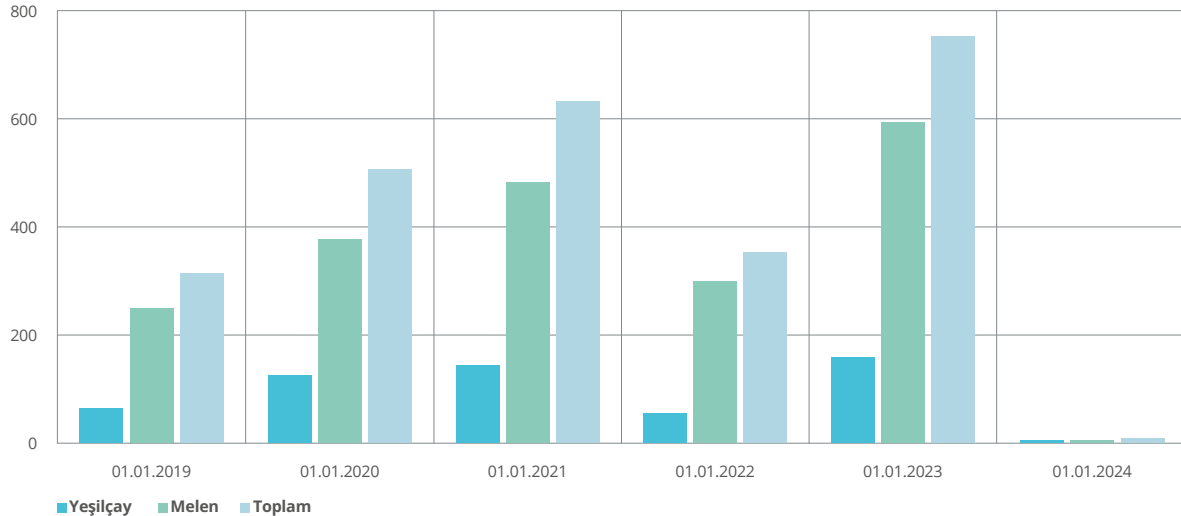
Tablo 3.14: Senaryo III için Asya ve Avrupa yakalarının su ihtiyaçları (hm³/yıl), (İMP-OG, 2023)

Kıta	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055
Asya	396 (%35)	429	452	482 (%33)	497	519	534 (%33)
Avrupa	748 (%65)	834	899	978 (%77)	1.003	1.041	1.068 (%77)
Toplam	1.144 (%100)	1.263	1.352	1.461 (%100)	1.501	1.560	1.602 (%100)

İstanbul'a içmesini sağlayan su kaynakları, bağlantı hatları ve arıtma tesisi besleme bölgeleri ile bütünleşik olarak çalışmaktadır. Asya Yakasında bulunan Melen ve Yeşilçay Sistemleri ile Darlık ve Ömerli Barajları'ndan temin edilen sular, Ömerli ve Cumhuriyet İçmesuyu Arıtma Tesisleri'nde (İAT) arıtıldıktan sonra ihtiyaca göre Asya ve Avrupa Yakasında tüketilmektedir. Güncel durum itibarı

ile İstanbul'un su ihtiyacının takriben %50'si regülâtörler üzerinden Melen ve Yeşilçay Sistemleri'nden sağlanmaktadır (Şekil 3.12). Ayrıca, besleme bölgelerindeki entegrasyon nedeniyle, özellikle Avrupa Yakasındaki bazı besleme bölgeleri Asya yakasındaki kaynaklardan beslenmektedir. İstanbul'daki su kaynakları tam olarak ayrılmasa da su ihtiyaçları alanlara göre ayrılabilir (Tablo 3.14).

Şekil 3.12: İstanbul'a Melen ve Yeşilçay Sistemi'nden sağlanan su miktarının değişimi (URL-16)



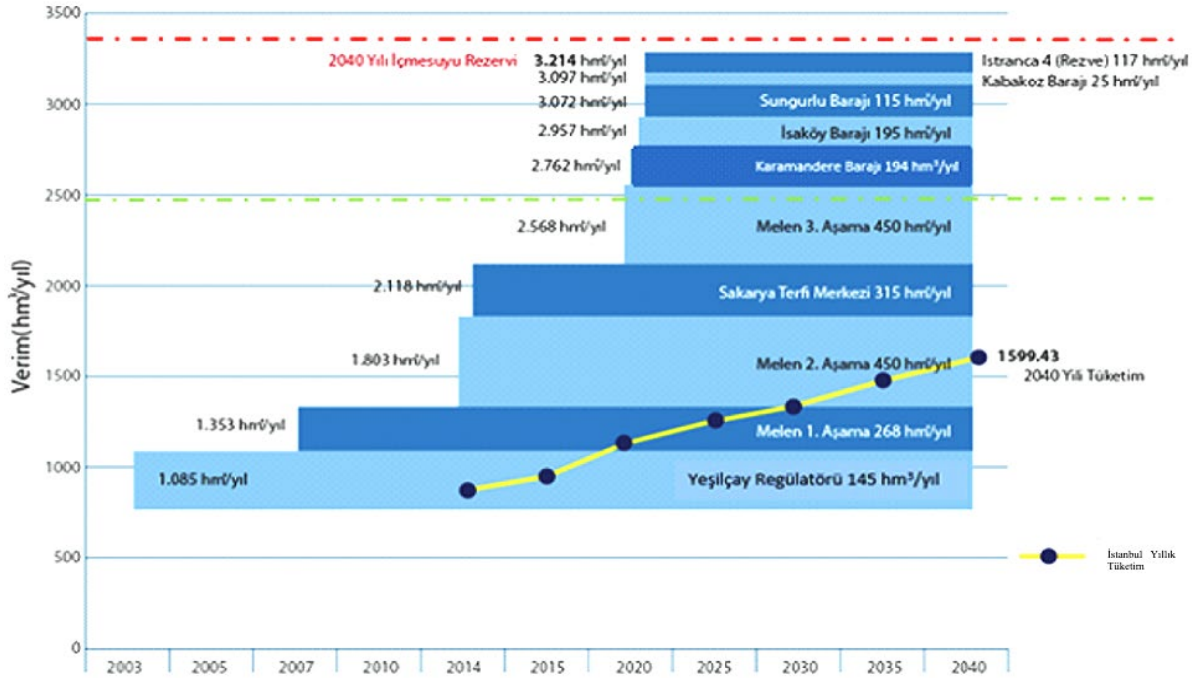


Güncel durum itibariyle İstanbul'un su ihtiyacının takriben %50'si regülatörler üzerinden Melen ve Yeşilçay Sistemleri'nden sağlanmaktadır.

Cüceloğlu (2019) tarafından, İklim Değişikliği'nin İstanbul ve Civarındaki Su Kaynaklarının Verimleri (Su Potansiyelleri) üzerindeki muhtemel etkileriyle ilgili olarak yürütülen yüksek çözünürlüklü hidrolojik modelleme çalışmasında; 2023-2053 döneminde İstanbul'u besleyen baraj ve akarsuların verimlerinde ~%15'lik azalma beklendiği sonucuna varılmıştır (Tablo 2.9).

İstanbul'un Asya ve Avrupa Yakası nüfusları ile bu kısımdaki su kaynakları arasında tam anlamıyla bir asimetri bulunmaktadır. İstanbul nüfusunun ~%35'i Asya, ~%65'i ise Avrupa Yakası'nda ikamet etmektedir. Buna mukabil, İs-

Şekil 3.13: İstanbul su kaynakları verim grafiği (Öztürk, 2021)



İstanbul'u besleyen su kaynaklarının ise ~%65'i Asya, ~%35'i Avrupa Yakası'nda yer almaktadır (Şekil Ek-1.4). Bu durum Asya Yakası'ndan Avrupa Yakası'na, deniz geçişi ile büyük miktarda su aktarımını zorunlu kılmaktadır. Bu kapsamda Boğaz İçmesuyu Tüneli (~35 m³/s su iletim kapasiteli); Salacak-Sarayburnu, arası 2φ1200 mm çelik (~2,5 m³/s su iletim kapasiteli) ve 2φ1600 mm Yüksek Yoğunluklu PE (~6,5 m³/s su iletim kapasiteli) boru hatları ile Asya Yakası'ndan Avrupa Yakası'na içmesuyu transferi yapılmaktadır.

İstanbul'un mevcut (geliştirilmiş) ve planlanan (potansiyel) su kaynaklarının su temin kapasiteleri (verimleri) ile hangi yıllarda devreye girmeleri gerektiği Şekil 3.13'te verilmektedir. Bu grafikten de görüldüğü üzere, Melen Barajı su tuttuğunda, İstanbul için geliştirilmiş (kullanılabilir) su kaynaklarının toplam verimi 2,5 milyar m³/yılı aşmış olacaktır. Dolayısıyla İstanbul'un mevcut su kaynakları şehrin 2023-2053 dönemi su ihtiyacını sorunsuz şekilde karşılayabilecek imkân ve kapasiteye sahip durumdadır.

3.4 İSTANBUL'DA SANAYİ SEKTÖRÜNÜN SU TALEBİ İLE ATIKSU DEBİ VE KİRLİLİK YÜKLERİ

İSKİ'nin Yeni Master Planı'nda İstanbul'daki sanayi tesislerinin kişi başına su talebi 6,5-7,5 L/kişi.gün (maksimum 8 L/kişi.gün) olup 2023 yılı itibarı ile $\sim 16.000.000 \times 0,0070 = 112.000 \text{ m}^3/\text{gün}$ (kayıp kaçak dahil 180 L/kişi.gün'lük toplam brüt tüketimin $\sim 4,0\%$ ü) olarak öngörülmektedir (IMP-OG, 2018). İSKİ'nin 2010-2019 döneminde gerçekleşen tahakkuk verileri itibarı ile de İstanbul'daki sanayi sektörü su tüketiminin azami 8 L/kişi.gün olarak gerçekleştiği tespit edilmiş bulunmaktadır. İstanbul'daki sanayi tesislerinin atıksu havzaları (ATH) itibarıyla dağılımı ve atıksu debileri de Tablo 3.15'te verilmektedir (IMP-OG, 2018).

İSKİ'nin 2018 yılı Faaliyet Raporu'nda Su Arıtma Tesisleri'nde arıtılarak şehre verilen (üretilen) $2.851.000 \text{ m}^3/\text{gün}$ içme suyuna karşılık AAT'de arıtılan atıksu debisinin $3.927.000 \text{ m}^3/\text{gün}$ olarak ölçüldüğü belirtilmektedir (İSKİ, 2018). Bu durumda, $\sim 23\%$ lük su dağıtım şe-

bekesi kayıp-kaçak oranı ve dağıtılan suyun %90'ının atıksu olarak kanal şebekesine intikal ettiği kabulleri ile atıksu debisi içindeki infiltrasyon (sızma) debisi payı,

$$\bullet 3.927.000 - 2.851.000 (1-0,23) \times 0,90 = 1.951.000 \text{ m}^3/\text{gün}$$

olur. Atıksu debisi içindeki infiltrasyon oranı da,

$$\bullet 1.951.000 / 3.927.000 \cong 0,497 \approx 0,50 \text{ (%50)}$$

bulunur. Bu veriler esas alınarak İstanbul'un 2023 yılı atıksu debisinin

$$\bullet 2.900.000 \times (3.297.000/2.851.000) \cong 4.100.000 \text{ m}^3/\text{gün}$$

olması beklenir.

Sanayi sektörünün, İstanbul'un 2023 yılı toplam atıksuyu içindeki payı da $65.000 / 4.100.000 = 0,016 \text{ (%1,6)}$ civarındadır.

Tablo 3.15: ATH'lere ait mevcut endüstriyel birim atıksu debileri (IMP-OG, 2018)

ATH	ATH Endüstriyel Alanları (ha)	Endüstriyel Atıksu Debisi (m ³ /gün)	Birim Endüstriyel Atıksu Debisi (L/gün.ha)
Üsküdar	0	0	0
Kadıköy	69	915	13.261
Tuzla	1.996	24.125	12.087
Yenikapı	693	4.472	6.453
Baltalimanı	281	2.716	9.665
Ataköy	971	6.317	6.506
Küçükçekmece	259	1.324	5.112
Ambarlı	2.662	11.321	4.253
Büyükçekmece	401	97	242
Selimpaşa	145	380	2.621
Silivri	68	237	3.485
Çanta	232	368	1.586
Değirmenköy	92	0	0
Çatalca-Terkos	2	2	1.000
Küçüksu	447	327	732
Paşabahçe	21	80	3.810
Beykoz	0	50	0
Paşaköy	360	9	25
Riva	68	105	1.544
Ağva	0	6	0
Şile	6	44	7.333
Ömerli	8	55	6.875
Karadeniz-Kilyos	1,8	1	278
Reşadiye	18,5	0	0
Adalar	0	0	0
Darlık	0	2	0
Toplam		65.266	

İstanbul'da 2018 yılı itibarı ile Sanayi (tesisleri) kaynaklı konvansiyonel (KOİ ve AKM) kirletici yüklerinin AAT'lerde arıtılan kirlilik yükü içindeki payı da belirlenmiştir (IMP-OG, 2018). Tablo 3.16'dan da görüldüğü üzere İstanbul'daki endüstriyel KOİ ve AKM yükünün merkezi AAT'de arıtılan toplam kirlilik yükü içindeki payı sırası ile ~%1,1 ve %0,4'tür. Bu-

nunla birlikte endüstri kaynaklı azot (Tuzla Deri OSB), yağ-gres (tersaneler bölgesi) ve öncelikli kirleticiler (ağır metaller, sentetik organik kirleticiler vb.) dolayısıyla, özellikle Tuzla ve Ataköy İleri Biyolojik AAT'deki azot giderim süreçlerinin olumsuz şekilde etkilendiği (düşük nitrifikasyon-denitrifikasyon verimleri) bilinmektedir. Bu itibarla İstan-

Tablo 3.16: AAT'lerdeki toplam ve endüstriyel KOİ (t/gün) ve AKM (t/gün) yükleri (IMP-OG, 2018)

ATH	ATH Endüstriyel Alanları (ha)	Endüstriyel Atıksu Debisi (m ³ /gün)	Birim Endüstriyel Atıksu Debisi (L/gün.ha)
Ambarlı	KOİ	146,5	3,3
	AKM	106,5	1,06
Tuzla	KOİ	160,3	6,47
	AKM	102,8	1,48
Selimpaşa	KOİ	17,6	0,02
	AKM	8,7	0,01
Silivri	KOİ	6,4	0,02
	AKM	7,7	0,01
Küçüksu	KOİ	113,5	0,05
	AKM	77,7	0,02
Paşabahçe	KOİ	13,1	0
	AKM	8,6	0
Kadıköy	KOİ	232,2	0
	AKM	172,7	0
Üsküdar	KOİ	15,6	0,04
	AKM	11,4	0
Küçükçekmece	KOİ	97	0,24
	AKM	70	0,07
Baltalimanı	KOİ	211,1	0,65
	AKM	139	0,12
Toplam KOİ		1013,3	10,79 (%1,06)
Toplam AKM		705,1	2,77 (%0,40)

bul'daki tekil ve OSB'ler bünyesindeki sanayi tesislerinde mikro kirleticilerin (öncelikli kirleticiler, özel kirleticiler, tehlikeli maddeler) kaynağında önlenmesi/etkin kontrolü özel önem taşımaktadır.

Temiz üretim ve dögüsel atıksu yönetimi konseptlerinin hayata geçirilmesi ile artırıl-

miş endüstriyel atıksuların %50-70'lere varan oranlarda yeniden kullanımı, özgül su, enerji ve kimyasal madde kullanımlarında önemli oranlarda ekonomi sağlanarak sanayi sektörü su, karbon ve enerji ayak izlerinde, uluslararası rekabette pozitif ayrışmaya imkân verecek seviyelerde azaltımlar elde edilebileceği düşünülmektedir.

3.5 İSTANBUL'DA SANAYİ İÇİN ALTERNATİF (B KALİTE) PROSES SUYU TEMİN İMKÂN LARI

İstanbul'da sanayinin yoğun olduğu 6 atıksu havzasında (Tuzla, Yenikapı, Baltalımanı, Ataköy, Küçükçekmece ve Ambarlı) toplam endüstriyel atıksuyun %64'ü (~2/3'ü) oluşmaktadır. Bu tesislerdeki proses suyunun İSKİ içmesuyu şebekesinden alınan A kalite su (içme suyu) yerine, İleri Biyolojik AAT'lerde (İBAAT) arıtıldıktan sonra dere veya denizlere deşarj edilen düşük kirlilikli atıksudan (KOİ <100 mg/L, AKM ≤30 mg/L, TN ≤10 mg/L, TP ≤1~2 mg/L), B kalite (alternatif) su olarak sağlanması düşünülmelidir. Bu kapsamda öncelikle;

- Paşaköy İBAAT çıkışında kurulu, geri kazanım amaçlı 50.000 m³/gün kapasiteli, "Mikro Elek + Hızlı Kum Filtrasyonu + UV Dezenfeksiyonu" birimlerinden alınan 3. Kademe Arıtma tesisi çıkış sularının Tuzla'daki OSB'ler ve Tersane Bölgesi'nde,
- Ataköy İBAAT çıkışında kurulu 20.000 m³/gün kapasiteli "Mikro Elek/Mekanik Filtre





+ MBR” birimlerinden oluşan 3. Kademe Arıtma Tesisi çıkış sularının Yenibosna ve İkitelli bölgesinde,

- Ambarlı İleri Biyolojik AAT çıkışında kurulu, 25.000 m³/gün kapasiteli “Mikro Elek/Mekanik Filtre + Harici Ultra Filtrasyon ± UV Dezenfeksiyonu” birimlerinden oluşan 3. Kademe Arıtma Tesisi çıkış sularının Ambarlı havzasındaki sanayi tesislerinde,

B kalite proses suyu olarak kullanılmaları mümkündür.

Benzer özellikteki, geri kazanım amaçlı, 3. Kademe ileri AAT’ler İSKİ Büyükçekmece İleri Biyolojik AAT çıkışında da kurularak, sanayi proses suyu ve yeşil alan sulama suyu olarak kullanılabilir. İSKİ’nin İBAAT çıkış sularına, yukarıda belirtilen proseslerle ilave arıtma ve dezenfeksiyon uygulanması sonrası, su kalitesinin daha da iyileştirilerek (KOİ ≤ 40~50 mg/L, AKM <5~20 mg/L) endüstriyel proses suyu olarak kullanım için çok daha uygun hale getirilmiş olmaktadır.



İSO'nun bu konuda, İSKİ ve OSB/Tekil Endüstriler arasında uygun ve sürdürülebilir bir iş (yatırım + işletme) modeli oluşturulmasında etkin ve kolaylaştırıcı rolünün olabileceği düşünülmektedir.

Proses dışı ihtiyaçlar (personel, duş, yemek, sulama vb.) için su kullanımının yüksek olduğu tekil endüstrilerde, Evsel Atıksu/Gri Su ayrımı ve yağmursuyu hasadı entegrasyonuna gidilerek yukarıda değinilen 3. Kademe ileri atıksu arıtımı ve dezenfeksiyon sonrası geri kazanılan B kalite suyun WC sifon, sulama ve proses suyu olarak kullanımı mümkündür. Bu tür endüstriyel tesislerde, proses atıksuyu arıtma

tesisleri ile üretilen ve alıcı ortamlara verilen, arıtılmış evsel atıksulara yakın atıksuların; geri kazanım amaçlı 3. Kademe ileri arıtma uygulanıp %50~70'e varan oranlarda B kalite kullanım/proses suyu olarak yeniden kullanımı sağlanabilir. Böylece su kaynakları üzerindeki baskı azaltılarak, endüstriyel su ayak izi küçültülüp önemli oranda ısı ve kimyasal madde (tuz/kostik vb.) tasarrufuna gidilebilir.

Yukarıda belirtilen geri kazanım amaçlı 3. Kademe Arıtma seçeneklerinin hayata geçirilmesi, gerekli ilave birim maliyetin, diğer seçeneklerin su temini maliyetleri ile mukayese edilebilir/cazip seviyelerde olması kritik

önemdedir. Bu konuda büyük ölçekli uygulamalar yapan bazı ülkelerde, B kalite suyun ikinci şebeke üzerinden satış fiyatı A kalite şebeke suyunun yarısı mertebesinde. Dolayısıyla 3. Kademe İleri Arıtma + Turuncu (Mor) Şebeke üzerinden dağıtım maliyeti makul ve sürdürülebilir olmalıdır.

3.6 İSTANBUL'DA SU ARZ GÜVENLİĞİNİ İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNE DİRENÇLİ HALE GETİRİCİ FAALİYETLER

İklim Değişikliği'nin İstanbul ve çevresindeki su havzalarının su potansiyeline olası etkilerine dair güncel, yüksek çözünürlüklü Hidrolojik Modelleme çalışmalarıyla, İstanbul'a su sağlayan baraj ve akarsuların 2020-2053 dönemi (Melen ve Yeşilçay da dahil) verimlerinde (su temin potansiyeli) ~%15 düzeyinde azalma beklendiği ortaya konmuş bulunmaktadır (Tablo 2.9) (Cüceloğlu, 2019). İstanbul'un 2023-2053 dönemindeki su temini (arz) güvenliğinin sürdürülebilirliği için aşağıdaki seçeneklerin bütünlük olarak değerlendirilmesi gerektiği düşünülmektedir.

3.6.1 Su Arzını Artırıcı Seçenekler

- İSKİ su dağıtım sistemindeki (hazne ve şebeke) %23 oranındaki fiziki kayıp kaçak oranının her yıl en az %1 azaltılarak orta vadede \leq %10 seviyesine indirilmesi.

Bu kapsamda şebeke basıncını 80 mss'den 60 m'ye düşürülmesi ile, başkaca bir işlem yapmaksızın, $1 \cdot \sqrt{60/80} \approx 0,13$ (%13)'lük kayıp kaçak azaltımı sağlanabilir. Basınç denetimi ve mikro bölgeleme ile İstanbul'daki şebeke fiziki su kayıpları gelecek 15 yılda ~%10'lar seviyesine indirilebilecektir. Bu yolla, 2023 yılı itibarı ile $\sim 0,13 \times 3.000.000 = 390.000$ m³/gün (142.000.000 m³/yıl) eşdeğeri su tasarrufu / ilave kaynak elde edilebilir.

- Melen Barajı'nın devreye alınması.

Bazı zemin ve yapısal sorunlar dolayısıyla işletmeye alınamayan Melen Barajı rehabilite edilerek devreye alındığında, İstanbul'a yıl boyu ~ 33 m³/s ($\sim 2.750.000$ m³/gün) su temini mümkün olacaktır. Dolayısıyla Melen'den, baraj sonrası, İstanbul'a şu anki günlük ihtiyaca yakın miktarda su sağlanabilecektir.

2053 yılına kadar tarımda kullanılan su oranının 10 puanlık düşüşle %60~62 düzeyine çekilmesi sağlanabilir.

- Melen Barajı ve Sakarya Terfi Merkezi üzerinden İstanbul'a $33 + 10 = 43 \text{ m}^3/\text{s}$ ($3.715.000 \text{ m}^3/\text{gün} \cong 1,36 \text{ milyar m}^3/\text{yıl}$) su temin imkânı bulunmaktadır. Bu iki sistemle, İstanbul'daki diğer su kaynakları ile birlikte, 3 yıl süren ekstrem kuraklıklara (%50 yağış azalması) bile direnç kazanılmış olmaktadır.
- İstanbul'daki, aşırı YAS çekimi sonucu statik rezervleri kullanılmış ve tuzlanmış akiferlerin (Bakırköy, Halkalı vd.) belli bir plan dahilinde tekniğine uygun şekilde temiz su ile doldurularak, stratejik rezerv olarak tutulmak üzere, rehabilitasyonları sağlanmalıdır.

3.6.2 Su Talebini Azaltıcı Seçenekler

Bu kapsamda başlıca;

- İstanbul'daki kentsel yeşil alan sulamalarının arıtılmış atıksularla yapılması.
- Endüstriyel proses suyu olarak, teknik ve ekonomik uygunluğu sağlayacak 3. Kademe Arıtma uygulanıp gerekli işletme modeli yapılandırılarak geri kazanım amaçlı olarak arıtılmış kentsel atıksuların (B kalite su) kullanımı.
- Fabrika, hastane, otel, iş merkezi, site tipi yerleşimler gibi büyük oturma/çatı alanlı yerlerde öncelikli olarak Yağmursuyu Hasadı ve Gri Su Gerikazanım uygulamalarının teşvik edilerek yaygınlaştırılması.
- Kentsel dönüşüm sürecinde oluşturulacak modern uydu kentlerde, ikili (çift) şebeke teşkili ile arıtılmış atıksuların; sulama, araç yıkama ve WC sifon suyu olarak kullanımının teşviki (Bu yolla %30-40 oranında su tasarrufu sağlanabilir).
- Ev ve iş yerlerinde; tasarruflu armatür, özel basınç kırıcı aparat/parça ve WC rezervuarlarının küçültülmesi/bölünmüş hazne uygulamaları yaygınlaştırılarak %50'lere varan oranlarda su tasarrufu sağlanabilmektedir. Yüksek enerji tasarruflu çamaşır ve bulaşık makinelerinin kullanımının teşviki de aynı kapsamda önem taşımaktadır.
- Kademeli tarife ile de özellikle talep esnekliği yüksek olduğu bilinen düşük ve alt



orta gelirli hanelerde önemli ölçüde su tasarrufu sağlanması mümkündür

- İstanbul için kritik olmasa da tarım sektörü, dünya genelinde suyun en fazla kullanıldığı sektördür. Türkiye’de de mevcut kullanılabilir su potansiyelinin ~%72’si zirai sulamada kullanılmaktadır. Modern (yağmurlama, damla vb.) sulamanın yaygınlaşması, bölgeye (iklime) uygun ürün deseni ve suya göre tarım uygulamaları ile 2053 yılına kadar tarımda kullanılan su oranının 10 puanlık düşüşle %60~62 düzeyine çekilmesi sağlanabilir. Bu yolla elde edilecek tasarrufla, iklim değişikliği dolayısıyla tarım ve tarım dışı sektörlerde oluşması beklenen su açığının dengelenmesi kolaylaştırılabilir.
- Sıfır atık gibi, “suda sıfır kayıp (israf)” kampanyaları ile farkındalığın artırılması için mevcut iletişim araçlarının etkin kullanımına önem verilmeli, konunun özellikle okul öncesi ve ilk/orta öğretim düzeyindeki eğitim programlarında yer alması sağlanmalıdır.

4. SANAYİDE TEMİZ ÜRETİM VE İLERİ ARITMA TEKNOLOJİLERİ

4.1 SUYA BAĞIMLI SEKTÖRLERİN DAĞILIMI

4.1.1 Türkiye’de Suya Bağımlı Sanayi Sektörlerinin Dağılımı

Türkiye’de en fazla endüstriyel amaçlı su kullanan sektör, %22’lik bir pay ile gıda sektörüdür. Bu sektörde su soğutma, ısıtma, buhar üretimi, pastörizasyon dondurma gibi işlemlerde proses suyu olarak ve dezenfeksiyon amaçlı hatların yıkanması/durulanması amaçlı da kullanılmaktadır. En fazla su kullanan ikinci sektör ise tekstil sektörü olup, endüstriyel suyun %18’ini kullanmaktadır (TOB, 2023a). Bir diğer yüksek su kullanım oranına sahip sektör, endüstride kullanılan

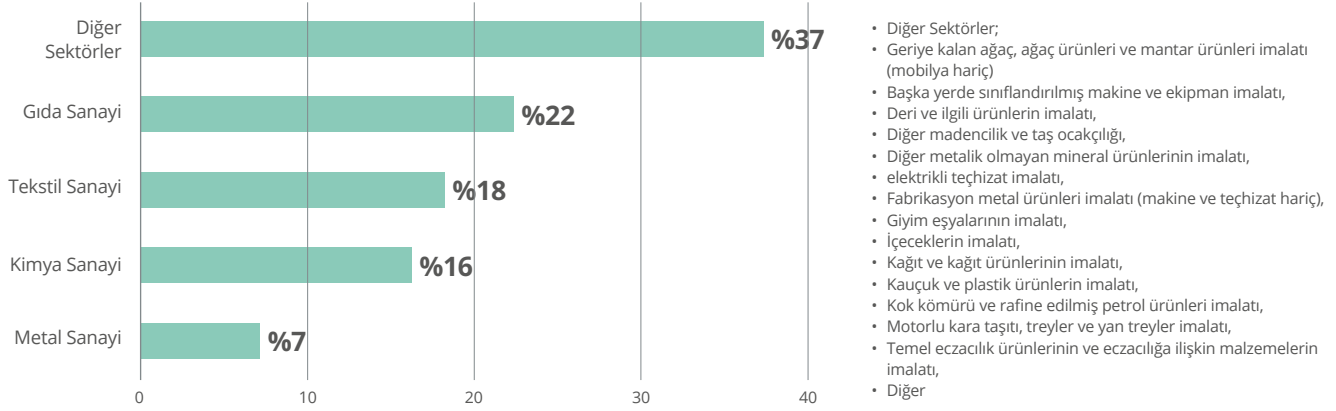
suyun %16’sını oluşturan kimya/kimyasalların ve kimyasal ürünlerin üretimi sektörüdür. Bu üç sektörde toplam kullanılan su miktarı, toplam endüstriyel amaçlı kullanılan su miktarının %50’sinden fazlasını oluşturmaktadır. Bu sektörlerle yakın bir diğer sektör ise, toplam endüstriyel amaçlı su kullanımının %7’sine karşılık gelen metal sanayi sektörüdür. Gıda, tekstil, kimya ve metal sanayi dışındaki diğer tüm sektörlerin su kullanımları toplamı, Türkiye genelinde endüstriyel amaçlı kullanılan su miktarının %37’sine tekabül etmektedir (TOB, 2023a). Ülke geneli en çok su kullanımına sahip 4 sektör ve diğerlerine ait toplam su kullanım dağılımları Şekil 4.1’de verilmektedir.

Türkiye’de en fazla endüstriyel amaçlı su kullanan sektörler sırasıyla gıda, tekstil, kimya ve metal sanayileridir.





Şekil 4.1: Sektörlere göre kullanılan su miktarı oranları (TOB, 2023a)



4.1.2 İstanbul'da Suya Bağımlı Sanayi Sektörlerinin Dağılımı

İSKİ tarafından hazırlattırılan (Yeni) Master Plan uyarınca; İstanbul ili içinde 11 adet ana üretim yapan sanayi sektörü bulunmaktadır (İSKİ MP, 2022b). Bu sektörler içinde listelenen depo ve ticarethaneler ile toplu konut turizm tesisleri sanayi tesisi olarak niteliklendirilmemelidir. Master Plan'da sözü edilen 11 sektör aşağıda sıralanmıştır (İSKİ MP, 2022b):

- Ağaca bağlı sanayiler
- Deri sanayi
- Depo ve ticarethaneler
- Tekstil sanayi
- Gıda sanayi
- Kimya sanayi
- Metal sanayi
- Metal dışı mineral sanayi
- Petrol ve kömüre bağlı sanayi

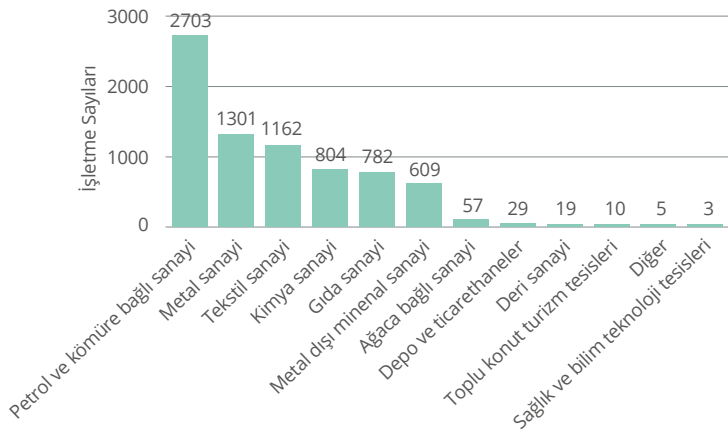
- Sağlık ve bilim teknoloji tesisleri
- Toplu konut turizm tesisleri

Mevcut 11 ana üretim grubundan ve diğer sanayi sektöründen, İSKİ sorumluluğundaki içme suyu ve atıksu havzalarına deşarj yapılan toplam endüstriyel atıksu miktarı, 2021 yılı itibarıyla 70465 m³/gün olarak belirlenmiştir (İSKİ MP, 2022b). İstanbul'da 2021 yılında, İSKİ'nin sorumluluğundaki alanlara atıksu deşarjı yapan toplam 7484 işletmenin olduğu ve bunların 6812'sinin atıksularını İSKİ'nin sorumluluğundaki atıksu havzalarına deşarj ettiği tespit edilmiştir (İSKİ MP, 2021). İSKİ sorumluluğu altındaki bazı işletmeler de Düzce ilindedir (Melen Havzası). Asya Yakası'nda 2639 adet, Avrupa Yakası'nda ise 4845 adet işletme bulunmakta olup bu işletmelerden bir kısmı OSB içinde faaliyet göstermektedir. İçmesuyu havzalarında bulunan işletmelerin atıksuları da



atıksu kanalına veya sızdırmaz septik tanklara bağlı olup havza dışına çıkarılmaktadır. 7484 işletmenin havza kirliliği açısından risk oluşturduğu değerlendirildiğinde, 6166 adet işletmenin gereken yükümlülüklerini yerine getirdiği belirlenmiştir. Bu işletmelerden kaynaklanan atıksu miktarı, İstanbul'daki toplam endüstriyel atıksu debisinin yaklaşık %98'ine karşılık gelmektedir. İçme suyu ve atıksu havzalarına atıksu deşarj eden işletmelerin atıksularının ~%69'u yerinde arıtılmaktadır (İSKİ MP, 2022b).

Şekil 4.2: Sektörlere göre İSKİ içme ve atıksu havzalarına deşarj yapan işletme sayıları (İSKİ MP, 2022b).



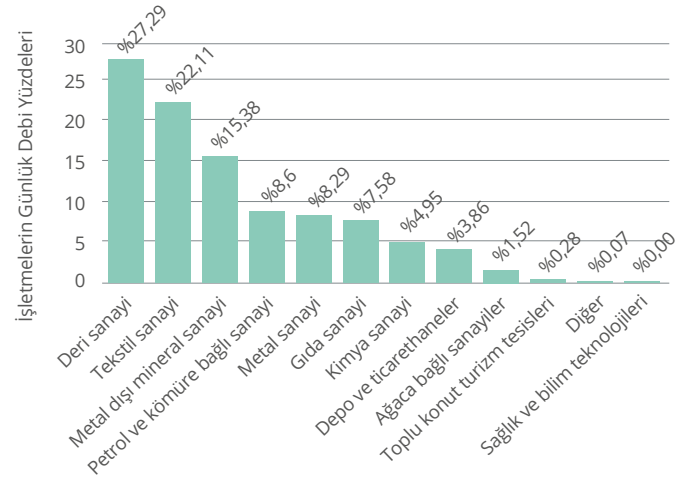
Atıksuları, içme suyu ve atıksu havzalarına deşarj edilen işletme sayıları Şekil 4.2'de gösterilmektedir. Mevcut endüstriler arasında, atıksu ve içme suyu havzalarına en fazla deşarj eden işletmenin, petrol ve kömüre bağlı sanayi sektörüne ait olduğu görülmektedir. Petrol ve kömür sanayine bağlı işletme sayısı 2703 iken, ikinci en fazla işletmeye sahip sektör 1301 işletme ile metal sektörü olmuştur. En az işletme sayısına sahip sektör ise 3 işletme ile sağlık ile bilim ve teknoloji tesisleridir (İSKİ MP, 2022b).

En fazla işletmeye sahip olan petrol ve kömür sanayi kategorisine ait toplam atıksu debisi (6109 m³/gün), İstanbul'daki toplam endüstriyel atıksu deşarj debisinin %8,67'sini oluşturmaktadır. Metal sektöründen kaynaklanan atıksu debisi ise (5842 m³/gün), toplam atıksu deşarj debisinin %8,29'una denk gelmektedir. Sektörler arasında en fazla günlük debiye sahip sanayi sektörü deri sanayi olarak belirlenmiştir. Deri sektörünün günlük atıksu debisi (yaklaşık 19230 m³/gün) olup, toplam endüstriyel atıksu deşarj debisinin %27,29'unu oluşturmaktadır. İkinci en büyük atıksu debisi ise, %22,11 ile tekstil sektöründen kaynaklanmaktadır (İSKİ MP, 2022b). Sektörlere göre debi dağılımlarından hareketle, deri sanayi sektöründe günlük su tüketiminin diğer sektörlerden oldukça fazla olduğu görülmektedir (Şekil 4.3).

Verilerden de görüldüğü üzere, Türkiye ve İstanbul'da suya bağımlı sanayi sektörlerinin dağılımı farklılık göstermektedir. Öte yandan İSO'ya kayıtlı bazı sanayi kuruluşlarının konumları İstanbul il sınırları dışına da (Düzce, Kocaeli, Tekirdağ) taşmaktadır.



Şekil 4.3: Sektörlere göre İSKİ işme ve atıksu havzalarına deşarj yapan işletmelerin günlük atıksu debi dağılımları (İSKİ MP, 2022b)



4.2 GÜNCEL ATIKSU ARITMA TEKNOLOJİLERİ

4.2.1 Kentsel Atıksulardan Endüstriyel Su Geri Kazanımı Esasları

Kentsel AAT çıkışlarındaki suyun geri kazanımı (veya dönüşümü) dünyada yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle ileri biyolojik arıtmaya (besi maddesi (N, P) giderimli biyolojik arıtma) tabi tutulmuş olan kentsel atıksular endüstriyel kullanım için su kıtlığında ulaşılabilir kaliteli bir kaynak olarak dikkate alınabilir. Ortalama kişi başına kentsel atıksu üretiminin ~200 L/kişi/gün olduğu ülkemizde, endüstriyel su ihtiyacı için kentsel atıksu kullanımının yüksek bir potansiyeli bulunmaktadır. İzmit, İstanbul gibi illerde ileri arıtılmış kentsel atıksuların belirli oranlarda endüstriyel kullanımı sağlanmaktadır. Örneğin, İzmit Su Kanalizasyon İdaresi (İSU) AAT'de arıtılan atıksuların %30'u geri dönüşüm amaçlı ilave (3. Kademe) arıtmaya tutularak sanayi tesislerinde kullanılmaktadır (İSU, 2022). İSKİ Paşaköy AAT çıkışı da ilave 3. kademe arıtma sonrasında döşenen özel bir hat (mor şebeke) ile İstanbul Deri OSB'ne ulaştırılmaktadır. Tesis-

lerin uydu görüntüleri ile birlikte geri kazanım sistemleri Şekil 4.4'te sunulmaktadır. Kentsel atıksulardan endüstriyel su temininde dikkate alınması gereken başlıca hususlar aşağıda özetlenmektedir.

- **Geri Kazanılmış Su Kalitesi.** Su kalitesi, geri kazanılan suyun endüstriyel süreçlerde kullanılabilir olmasını sağlamak için kritiktir. Özellikle askıda katı madde (AKM), çözülmüş katı maddeler, iletkenlik, organik kirleticiler, ağır metaller ve patojenlerin düşük seviyelerde olması önemlidir. Sanayi tesisleri içindeki diğer daha temiz atıksulardan (rejenerasyon, geri yıkama vb.) ayrı toplanarak geri kazanılan suların kalitesi de fabrikaların dışarıdan temin ettiği sulardan daha yüksek seviyeye ulaştırılabilir. Bu yüzden en değerli sular, tesis içi basit akım ayırma uygulamaları sonrası en az gayretle geri dönüştürülen atıksulardır.
- **Proses Uyumluluğu.** Geri kazanılan su, endüstriyel süreçlerde istenen kalite ile uyumlu olmalıdır. Endüstriyel kullanımda, soğutmada ve proseste kullanılacak

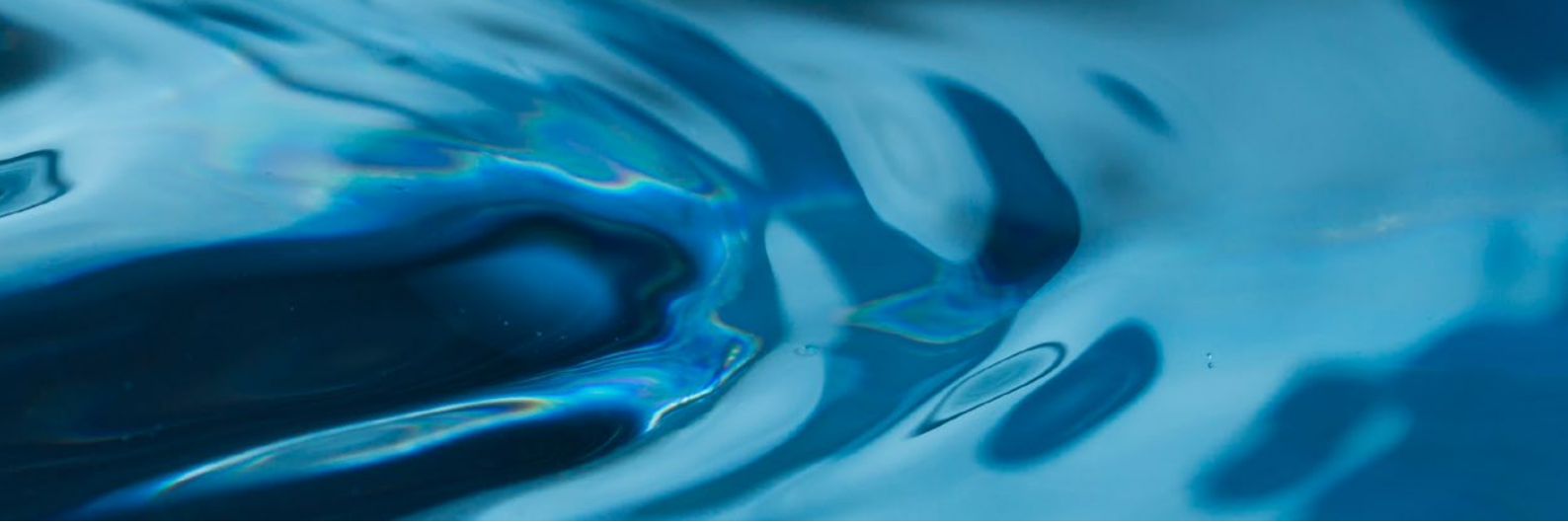


suyun kalitesi ve arıtma gereksinimi farklı olarak belirlenebilir. Endüstriyel proseslerin gereksinimlerini karşılayacak şekilde, kentsel AAT çıkışına ileri (3. kademe) arıtma için ek üniteler planlanmalıdır. Geri kazanım tesisi yatırımı belediye ve/veya sanayi tarafından gerçekleştirilebilmektedir. Kentsel AAT sonrasında planlanan geri kazanım tesisi için ayrılacak alan da önemli olup, m³ geri kazanılacak su başına ortalama 0,1-0,2 m² arasında değişmektedir. Bu alan genelde toplam kentsel AAT alanının takriben %2-4'üne karşı gelmektedir.

- **Geri Kazanılacak Su Miktarı.** İhtiyaç duyulan su miktarını temin için uygun teknolojiyi seçmek önemlidir. Sanayide vardiya sayısı üretime göre farklılık göstermekte olup, su kaynağının kesikli ve sürekli olması bu potansiyelin belirlenmesi açısından

dan önemlidir. Sanayi tesislerinin su ihtiyacına göre arıtma imkân veren proses çözümü tüm hedefleri sağlayacak şekilde planlanmalıdır.

- **Teknoloji Seçimi.** İleri (3. veya 4. kademe) arıtma teknolojileri kullanarak istenilen su kalitesine ulaşmak mümkündür. İstenilen proses suyu kalitesine bağlı olarak kum filtrasyonu, membran filtrasyonu, ters osmoz (TO), ileri oksidasyon ve granüler aktif karbon filtrasyonu gibi teknolojilerle geri kazanılan kentsel nitelikli arıtılmış atıksu endüstriyel kullanım için uygun hale getirilebilir. Öte yandan, geri kazanılan suyun mikroorganizmalardan arındırılması için etkili bir dezenfeksiyon da gerekir. Ultraviyole (UV), ozonlama ve klorlama gibi yöntemler bu amaç doğrultusunda kullanılabilir. Şekil 4.4'te Marmara Bölge-



si'nde AAT'lerin çıkış hatlarına uygulanan filtrasyon ve dezenfeksiyon proseslerinin kapladığı alanlar gösterilmektedir. Seçilen teknolojiye göre, kentsel AAT sınırları içinde geri kazanım sistemleri büyük alan kaplamamaktadır.

- **Yönetmeliklere Uyum.** Su geri kazanımıyla ilgili yerel, bölgesel ve ulusal yönetmeliklere uyum sağlanmalıdır. Geri kazanılan sudan geriye kalan konsantrelerin de (yük bazında) güncel deşarj yönetmelik koşullarını yerine getirmesi beklenmektedir. Sonuç olarak geri kazanılacak su miktarı sanayinin ihtiyacını karşılama yanında deşarj mevzuatı şartlarını da sağlamalıdır. Proses seçiminde su geri kazanım parametrelerinin sağlanması haricinde deşarj parametreleri için de (özellikle konsantrelerle ilgili) ek prosesler gerekebilir.

- **Enerji Verimliliği.** Seçilen geri kazanım teknolojisine göre arıtmanın enerji ve kimyasal madde ihtiyacı değişebilmektedir. Endüstriyel kullanım için en uygun arıtma ihtiyacının belirlenmesi ve enerji verimli teknolojilerin kullanılması, işletme maliyetlerini azaltarak sürdürülebilir proses seçimi sağlayabilmektedir. Kentsel AAT'lerde organik madde, N ve P gibi kirleticiler giderildiğinden daha düşük ek işletme maliyeti ile yüksek kalitede geri kazanım suyu elde edilebilir.
- **Atık Yönetimi.** Geri dönüşüm suyu arıtma süreçlerinden kaynaklanan atık ve konsantrelerin etkili bir şekilde yönetilmesi ve bertarafı önemlidir. Atık miktarını azaltmak için geri dönüşüm ve yeniden kullanım stratejileri geliştirilmelidir. Bu atıkların/atıksuların mevzuata uygun bertarafı sağlanmalıdır.

- **Personel Eğitimi.** İleri arıtma uygulananak su geri kazanım sisteminin verimli işletilebilmesi için tesis personeline iyi bir eğitimle yetkinlik kazandırılmalıdır. Kentsel AAT işletmesinde görev yapan personele ek olarak özel niteliklere sahip kalifiye personel istihdamı gerekebilir. Bu tesislerin işletiminin uzman atıksu firmalarına yaptırması da diğer bir seçenektir.
- **İzleme ve Bakım.** Sanayi için gerekli suyu temin eden geri kazanım tesisi

sürekli olarak izlenmeli ve düzenli bakımı yapılmalıdır. Bu sayede, sistemin verimli çalışması ve su kalitesinin sürdürülebilirliği sağlanabilir. Su geri kazanımının başarıyla uygulanabilmesi için, tesisin özel gereksinimleri ve yerel koşullar da mutlaka dikkate alınmalıdır. Belediye ve sanayi iş birliği ile geri kazanım tesisinin performansını sürekli izleyip, denetleyen bir izleme sistemi oluşturulmalıdır.

Şekil 4.4: Kentsel AAT'ler ve sanayi için su geri kazanım üniteleri (Google Earth, 2023)



4.2.2 Kentsel Atıksular için Su Geri Kazanım Sistemi Seçimi

Kentsel AAT'lerin su geri kazanım tesisine dönüştürülmesi için gerekli ilave arıtma sistemi seçimi, tesisin çıkış suyu ve sanayi için gerekli su kalitesine göre değişkenlik göstermektedir. Mevcut AAT'ye entegre edilmesi planlanan geri kazanım ünitesi ile sanayi için (a) proses (b) soğutma ve (c) rekreasyonel amaçlı su kaynağı oluşturulabilir. İlgili sanayi sektörü tarafından belirlenen su kalite parametrelerine göre gerekli ilave sistem bileşenleri belirlenebilir. Kentsel AAT'ler (a) organik karbon giderimi, (b) organik karbon giderimi

ve nitrifikasyon ve (c) biyolojik karbon, N ve P giderimi gerçekleştirecek biyolojik prosesler olarak tasarlanmaktadır. Uygulanan teknolojiye göre AAT'nin çıkış suyu kalitesi de farklılık göstermektedir. Su geri kazanım sistemi seçimi kentsel AAT'nin çıkış suyu kalitesine de bağlıdır. Uygulanan arıtma alternatiflerine göre orta seviyede kirliliğe sahip bir atıksu için beklenen tipik tesis çıkış suyu kalitesi Tablo 4.1'de özetlenmektedir. Organik karbon giderimi, organik karbon giderimi ve nitrifikasyon, biyolojik N ve P (besi maddesi) giderimine göre beklenen çıkış (deşarj) suyu aralık değerleri Tablo 4.1'de sunulmaktadır.

Tablo 4.1: Kentsel AAT çıkış parametrelerinin değişimi

Parametre	Birim	Organik Karbon	Org. Karbon + Nitrifikasyon	Biyolojik Azot/Fosfor
KOİ	mg/L	20-50	10-30	10-30
AKM	mg/L	15-35* 5-15**	8-20* ~0**	8-20* ~0**
NH4-N	mgN/L	35-50	<3	<3
NO3-N	mgN/L	<5	30-45	<10
TP	mgP/L	1-5	<2	<1
İletkenlik	µS/cm		1000-12.000	

* çamur ayırma çökeltme havuzu ile

** çamur ayırma Membran Biyoreaktör ile

İkinci kademe biyolojik arıtma uygulanmış kentsel atıksuların yeniden kullanımı veya geri kazanımı için uygulanan ilave arıtma sistemleri, istenen su kalitesi gözetilerek, genel itibari ile aşağıdaki birimlerden oluşturulmaktadır:

- Mikroelek + UV Dezenfeksiyonu
- Kum Filtre ± GAK Filtre + UV Dezenfeksiyonu
- Mikroelek + MBR + UV Dezenfeksiyonu
- Mikroelek + UF + UV Dezenfeksiyonu
- Mikroelek + UF + NF ± TO

4.2.2.1 Granüler Ortam (Medya) Filtrasyonu
Filtrasyon işleminin amacı, sudaki partikülleri tutmak, AKM ve bulanıklığı gidermektir. Genellikle kum, antrasit ve/veya aktif karbon gibi granüler malzemelerin kullanıldığı bir süreçtir. Günümüzde en yaygın kullanılan filtreler kum filtreleridir. Kum filtresi giren suyun filtre içinde belirli boyutta dizilmiş katmanlardan (filtre yatağı) geçirilerek bulanıklığa sebep olan partiküllerin sudan uzaklaştırılması esasıyla çalışır. Bu sayede 30–40 µ'ya kadar boyutta partiküllerin tutulup ayrılması sağ-

lanmaktadır. Filtre boşluklarında tutulan partiküller filtre veriminin zamanla düşmesine sebep olurlar. Filtrenin tekrar verimli olarak çalışmasını sağlamak için belli aralıklarla geri yıkama yapılmaktadır. Ayrıca, büyük kapasiteli kum filtrelerde geri yıkama verimini arttırmak üzere geri yıkama esnasında filtreye aralıklı olarak basınçlı hava da verilmektedir. Atıksu filtrelerinde dolgu malzemesi olarak değişik ebatlarda kuvars kumu ve/veya antrasit kullanılmaktadır.

Düşük debiler için basınçlı (kapalı) kum filtresi uygulanırken, büyük kapasiteler ($\geq 1000 \text{ m}^3/\text{gün}$) için serbest yüzeyli (açık) filtreler tercih edilmektedir. Hızlı kum filtrelerinin kapasite ihtiyacı, özgül filtrasyon hızı ve geri yıkama hızlarına ($\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dak}$) göre belirlenir. Çevrim içi ölçülen bulanıklık (NTU) ile proses verimi sürekli kontrol edilmektedir (Metcalf and Eddy, 2014). Filtrenin akış kontrolü (a) sabit hızlı filtrasyon-sabit su yükü, (b) sabit hızlı filtrasyon – değişken su yükü veya (c) azalan hızlı filtrasyon şeklinde seçilebilmektedir. Ortala-

ma filtre yatağı kalınlıkları 600-1500 mm arasında değişkenlik göstermektedir. Filtrasyon ekipmanları (1) su besleme ve filtre edilmiş suyu toplama sistemi, (2) geri yıkama suyu savaklama ve toplama sistemleri ile (3) filtre malzemesi yıkama sistemlerinden (su, hava) ibarettir (Eroğlu, 2016).

Hava ile kaldırma/genleştirme (air-lift) sistemi entegre edilmiş yenilikçi kum fitreleri sürekli filtrasyon ve geri yıkama modunda işletilebilmektedir. Böylece, klasik geri yı-

kama pompaları ve borulaması yatırımına ihtiyaç duyulmadığı için, işletme maliyetleri daha düşük tutulabilmektedir (Encosand, 2023).

İkinci kademe biyolojik arıtma uygulanmış kentsel atıksuların arıtıldığı atıksu (gerikazanım) filtrelerinde elde edilen tipik toplam AKM ve Bulanıklık seviyeleri Tablo 4.2'de verilmiştir (Metcalf and Eddy, 2014). Kum filtrasyonu ile iyi kalite ham yüzeysel su eşdeğeri bulanıklık elde edilebilmektedir.

Tablo 4.2: Atıksu filtreleri çıkışında gözlemlenen tipik toplam AKM ve Bulanıklık değerleri (Metcalf and Eddy, 2014)

Partikül Giderim Prosesleri	Birim	Tipik Çıkış Değerleri	Geometrik Standart Sapma, s_g^*	
			Değer Aralığı	Tipik Değer
AÇP'ni takip eden Derin Filtrasyon				
Bulanıklık	NTU	0,5-4	1,2-1,4	1,25
AKM	mg/L	2-8	1,3-1,5	1,4
BNG ile AÇP'ni takip eden Derin Filtrasyon				
Bulanıklık	NTU	0,3-2	1,2-1,4	1,25
AKM	mg/L	1-4	1,3-1,5	1,35
AÇP'ni takip eden Yüzey Filtrasyonu				
Bulanıklık	NTU	0,5-2	1,2-1,4	1,25
AKM	mg/L	1-4	1,3-1,5	1,25

AÇP: Aktif Çamur Prosesi

BNG: Biyolojik Nütrient Giderimi

* s_g : $P_{84,1}/P_{50}$

4.2.2.2 Mikroelek ve Filtreler

Mikroelekler genellikle biyolojik AAT'lerin çıkışına kurulan ve yerçekimi etkisiyle suyun 5~30 mikronluk bir gözenekli yüzeyden (elekten) geçirildiği sistemlerdir. Genellikle %60-70'i suya batık olarak çalıştırılır. Geri yıkama işlemi eleğin suya batık olmayan kısmı üzerine sürekli veya aralıklı olarak basınçlı su püskürtmekle gerçekleştirilir (Metcalf and Eddy, 2014).

Mikroelekler (Disk filtreler) genellikle atıksu ve içme suyu arıtma tesisi çıkışlarında, suyun kalitesini yükseltmek ve UV dezenfeksiyonun verimini arttırmak için kullanılırlar. Bu tür mikro eleklerle, suda askıda veya yüzer halde bulunan 10 mikrondan büyük katı partiküllerin ayrılması sağlanır. Sistemin giriş ve çıkışına entegre edilmiş hidrostatik seviye ölçerler sayesinde, elekler kirlendiğinde, ters yıkama sistemi otomatik olarak devreye girer. Çıkış suyu kalitesi olarak ortalama ≤ 5 mg/L AKM konsantrasyonu sağlanabilmektedir. Disk filtreler genelde geri kazanımda AKM para-

metresini gidermek için kullanılır. **Membran Filtrelere** göre daha yüksek akı değerlerine sahip olması mikroeleklerin çok daha küçük alanlara yerleşimini mümkün kılmaktadır. Genelde dikey içi boş disk çerçeve üzerine yerleştirilen filtre malzemesi (bez, özel örgü kumaş vb.) ile filtrasyon işlemi pompa ihtiyacı olmadan gerçekleştirilir. Üreticiler bez veya disk filtre şeklinde tasarım çözümleri sunmaktadır; akış doğrultusu olarak (a) içten dışa veya (b) dıştan içe filtrasyon sağlanacak şekilde tasarlanmaktadır.

Akış yönü; katı madde uzaklaştırma, filtrasyon alanı ve filtre derinliği dikkate alınarak seçilmektedir. Dıştan içe seçilen konfigürasyonda genellikle ünite başına 2-12 disk düşmekte olup, filtre alanının tamamı kullanılmaktadır. Yıkama ile geri dönen suların debisi; toplam giriş debisinin %2-5'i olarak filtre debisi seviye sensörü ile ayarlanır. Filtre aktif (çalışır) iken su yüzeyine çıkan kısmı geri yıkamaya tabi tutulabilir.

Mikrofiltrasyonda (MF) en çok kullanılan filtreler (a) bez filtre (b) diskfiltre (c) ultraelek (e) tambur filtre ve (f) kartuş filtrelerdir. Etkin filtre gözenekleri 10-40 µm arasında olup üretici firmaya ve ihtiyaca göre değişkenlik göstermektedir. Konvansiyonel AAT'lerde su geri kazanımında en yaygın mikrofiltrasyonlar bez ve diskfiltrelerdir. Bez filtrelerin, girişteki 30 NTU değerine kadar bulanıklıklarda çıkış veriminin stabil kaldığı rapor edilmektedir (Metcalf and Eddy, 2014).

Tambur filtreler, kendi kendini temizleyebilen mekanik filtrelerdir. 25 mikrondan büyük partiküllerin tutulmasını sağlamaktadır. Filtre edilecek atıksu, tamburun yan tarafından girip, filtreden geçirilerek filtre edilir. Filtre tasarımı özgül akıya göre yapılmakta olup bez filtreler suya %100 batık olarak diğerleri ise %50-70 oranında batırılarak çalıştırılır. Filtre malzemesi alanı hesaplanmasında bu koşul dikkate alınmaktadır. Ayrıca tasarımda atıksu debisi ve karakterizasyonundaki değişimler

Şekil 4.5: AAT çıkışı kum filtrasyon ve mikrofiltre üniteleri



Tablo 4.3: Seçili mekanik filtrelerin karşılaştırmalı işletme özellikleri (Metcalf and Eddy, 2014)

Parametre	Birim	Disk Filtre	Ultra (düşük gözenekli) Izgara ®	Tambur Filtre ®
Tipik HYO	m ³ /m ² .min	0,08-0,20	0,20-0,65	0,08-0,26
Pik HYO	m ³ /m ² .min	0,24	0,65	0,26
KHSB**'nin izin verdiği ortalama HYO	m ³ /m ² .min	-	0,32	-0
KHSB**'nin izin verdiği pik HYO	m ³ /m ² .min	0,24	0,65	-
Giriş TAKM***	mg/L	5-20	5-20	5-20
Filtre malzemesi	Tipi	Polyester ya da Paslanmaz Çelik	Paslanmaz Çelik	Polyester ya da Paslanmaz Çelik
Filtrenin Ağırlıklı Por Çapı	µm	10-40	10-20	10-40

*HYO: Hidrolik Yükleme Oranı

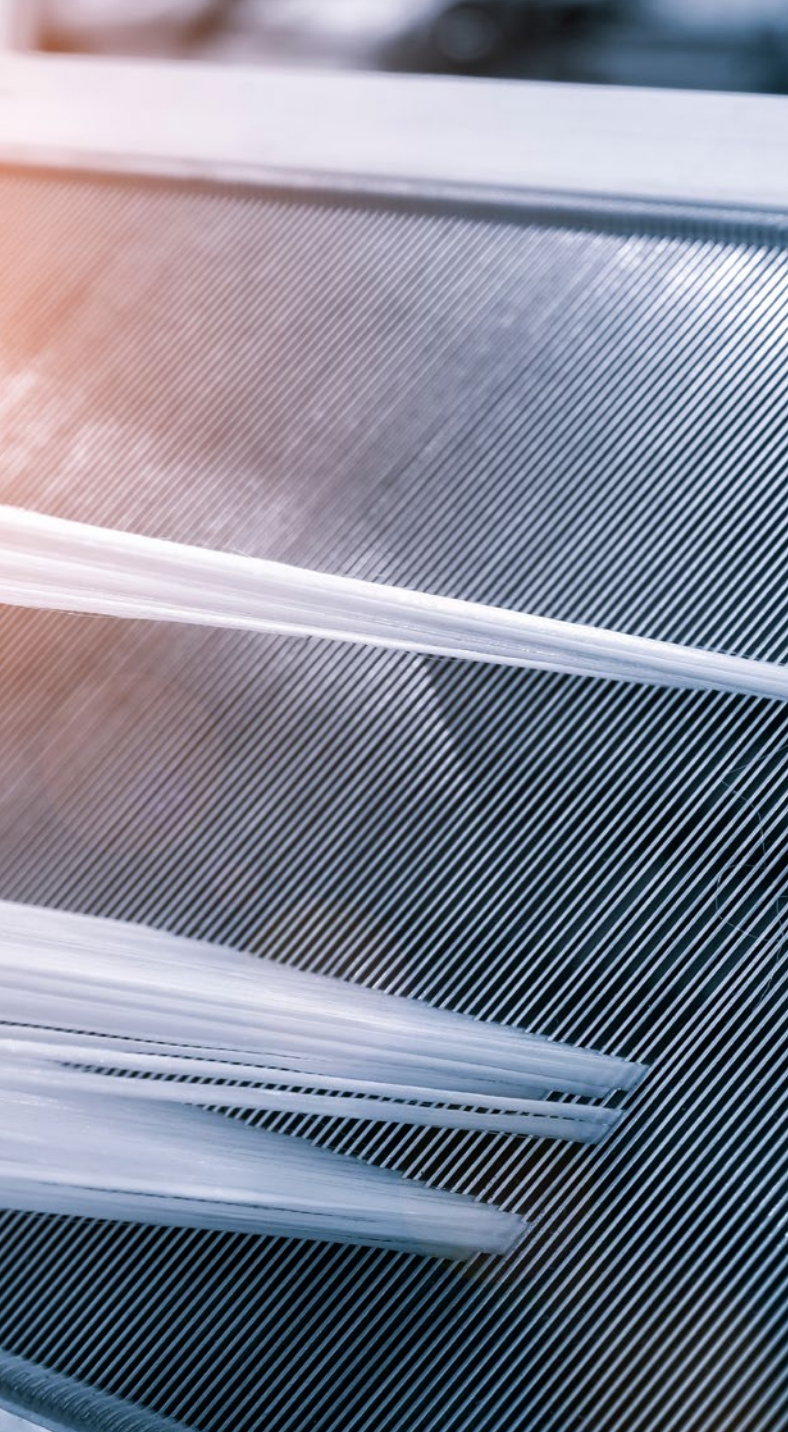
**KHSB: Kaliforniya Halk Sağlığı Birimi

***TAKM: Toplam Askıda Katı Madde

ile geri yıkama debisi ihtiyacı dikkate alınmaktadır. Geri yıkama debisi ihtiyacı filtreye giriş AKM konsantrasyonuna bağlı olarak değişmektedir. Mikroelektrik filtrasyonda en yeni teknoloji bez filtreler olup, üstün özelliği bezin çıkarılarak çamaşır makinalarında yıkayıp yeniden kullanılabilmesidir. İki farklı tesiste kurulu Kum Filtre (İzmit Merkez AAT) ve Mikrodisk Filtre ünitesi (Niksar AAT) Şekil 4.5'te gösterilmektedir.

Membran filtrelerde endüstriyel su geri kazanımı maksatlı MF işleminin farklı uygulamaları da bulunmaktadır. Özellikle süt endüstrisi atıksularından, uçucu yağ asidi geri kazanımı gibi uygulamalara literatürde rastlanmaktadır. Gıda sektöründe fermantasyon

ürünlerinden mikroorganizmaların ve yağ moleküllerinin uzaklaştırılması ile işleme artıklarından değerli içeriklerin geri kazanımı gibi alanlarda MF membranlarının kullanıldığı görülmektedir. Geri kazanım ve arıtım amacıyla MF kullanılan sektörler ise; metal işlemede kullanılan emülsiyonların geri kazanımı için metal işleme endüstrisi, atıksu arıtımı amacıyla kâğıt endüstrisi, çözeltilerin veya suların steril filtrasyonunda ilaç endüstrisi şeklinde sıralanabilir. Ayrıca su sektöründe NF ve TO öncesi ön arıtma, doğrudan su arıtımı ve organik madde giderimi için de MF membranları kullanılmaktadır (Koyuncu, 2018). Literatürde verilen 3 farklı filtrasyon prosesine ait parametreler Tablo 4.3'te verilmiştir (Metcalf and Eddy, 2014).



4.2.2.3 Membran Filtrasyonu

Membran filtrasyonu sıvılardan partikül ve kolloid maddelerin ayrılmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca membranlar çözünmüş maddelerin ayrılmasında da kullanılmakta olup, gözenek çapı 0,00001 - 1,0 µm aralığında değişmektedir. Membran tipinin doğru seçimi kapasite, verim ve verimlilik açısından optimize edilmiş bir filtrasyon için çok önemlidir. Sistem kullanılan membranın küçükten büyüğe gözenek boyutuna göre TO, Nanofiltrasyon (NF), Ultrafiltrasyon (UF) ve Mikrofiltrasyon (MF) olarak adlandırılır. Membran tipi, tesis tasarımı ve işleme parametreleri, istenen performans ve tüm prosesin maliyet verimliliğini karşılamak için birbiri ile uyumlu olmalıdır (Koyuncu, 2018; Ghernaout, 2020).

Membran Biyoreaktör (MBR): MBR tipi AAT'ler, bir membran ultrafiltrenin aerobik biyolojik arıtma reaktörünün içine yerleştirilmesi ile gerçekleştirilir. Arıtma sonrası-

Şekil 4.6: MBR modüllerinin yerleşimi (temiz su ve aktif çamur)



da biyokütle %100 ayırma verimi ile sudan ayrılır. Membranlar, mikrofiltrasyon ve UF membranı olarak seçilir (Fatta-Kassinos, 2016). Aktif çamur sistemi içine daldırılarak negatif basınçta (hidrostatik veya pompa ile) çalışan daldırma (batık) tip membran filtre veya biyolojik arıtma tesisi dışına (yanına) kurulan pozitif basınçta çalışan (harici) filtreler olarak uygulanabilen bu teknikte biyolojik arıtma tankındaki atıksu 0,1-0,4 mikron büyüklüğünde gözeneklerden geçirilir. Membranlar havuz içine modüller şeklinde simetrik olarak yerleştirilir. Atıksudaki katı maddeler tutulurken, neredeyse hiç katı madde ve bakteri içermeyen bir atıksu geri kazanılır.

Filtre yüzeyinde sürekli sağlanan akış sayesinde filtrelenen katıların yüzeyde tutunup filtreyi tıkamasının önüne geçilir. Buna rağmen membran filtre dokusu üzerinde biriken atıklar, arıtılmış atıksuyla yapılan periyodik ters yıkama ve kimyasal temizleme süreçleriyle fiziksel ve kimyasal olarak filtreden sökülür. Bu atıklar tekrar biyolojik arıtma sürecine alınır. Membran yüzey alanı kış aylarındaki filtrasyon akısına göre seçilmektedir. Ortalama filtrasyon akısı 0,2 L/m²/saat olarak alınmaktadır (Judd, 2006). Membranların m² fiyatı merteye olarak 15-40 € aralığında değişmektedir. Geri kazanım suyu elde etmek üzere planlanmış bir MBR sisteminin temiz su ve aktif çamur ile doldurulmuş görselleri Şekil 4.6'da sunulmuştur.

Tablo 4.4: Membran proseslerinin karşılaştırılması

Membran Prosesi	MF	UF	NF	TO
Membran tipi	Gözenekli	Gözenekli	Gözeneksiz	Gözeneksiz
Membran yapısı	Simetrik, asimetrik	Asimetrik	Asimetrik, ince film kompozit	İnce film kompozit
Sürücü kuvvet	Hidrostatik basınç	Hidrostatik basınç	Hidrostatik basınç	Hidrostatik basınç
Tipik kullanım alanları	AKM giderimi	Virüsler, kolloidler, makromoleküllerin giderimi	İyonlar ve renk giderimi, su yumuşatma	İyonlar ve küçük moleküllerin giderimi
Geçirgenlik harici performans göstergesi	Gözenek çapı	MWCO*	MgSO ₄ giderimi	NaCl giderimi
Membran tipi	Düz plaka, içi boşluklu fiber, tübüler	Düz plaka, içi boşluklu fiber, tübüler	Düz plaka, içi boşluklu fiber	Düz plaka
Tipik işletme basıncı	0,1 – 2	0,5 – 5	3 – 15	8 -60

*MWCO: Moleküler Ağırlık Katsayısı

Ultrafiltrasyon (UF): UF membranları, 1–100 nm gözenek çaplı membranlar olup makromolekülleri, kolloidler, AKM'leri, bakterileri, virüsleri ve moleküler ağırlıkları 1000 Da'dan büyük maddeleri ayırmak için kullanılmaktadırlar. UF sistemi öncesinde suyu basınçlandırmak gerekir ve genellikle pompa ihtiyacı olur. TO sistemlerinden önce ön arıtma olarak da kullanımları bulunmaktadır.

Nanofiltrasyon (NF): Nanofiltrasyon membranı, UF ve TO membranları arasında bulunan bir membran türüdür. Nanofiltrasyon membranları, yaklaşık olarak 1-10 nm'lik bir moleküler ağırlık engelleme sınırına tekabül edecek şekilde üretilmekte olup genel olarak 200-1000 Da gibi düşük moleküler ağırlığa sahip organik çözeltilerin ayırımında kullanılır.

maktadır. Çok değerlikli iyonların gideriminde etkin olduklarından, kısmi demineralizasyon prosesi olarak da bilinirler. UF membranlarının tutamadığı bazı çözünmüş tuzları, düşük molekül ağırlıklı organik maddeleri ve boyar maddeleri tutabilmektedirler. Sertlik gideriminde de kullanılmaktadır. Nanofiltrasyon işlemi öncesinde yüksek basınç pompalarına ihtiyaç duyulmaktadır.

Ters Osmoz (TO): Ters osmoz prosesi, yoğun aktif yüzeye sahip membranlar kullanılarak tuz ve küçük organik moleküllerin ayrımı için kullanılmaktadır. Taşınım mekanizması, çözünme/difüzyon ileidir. Yüksek aktif yüzey yoğunluğundan dolayı, işletme basınçları, MF ve UF proseslerine göre oldukça yüksektir. Tablo 4.4'te membran uygulamalarının karşılaştırılması sunulmaktadır.

4.2.2.4 Dezenfeksiyon

Dezenfeksiyon işlemi arıtılmış sulardaki bakteri, protozoa kistleri, virüsler ve helminth yumurtalarından kaynaklanan hastalıkların yayılmasını önlemek için uygulanır; özellikle atıksu geri kazanımında halk ve çevre sağlığı açısından büyük önem taşımaktadır. Dezenfeksiyon yöntemlerinden en yaygın olanları klor, ozon ve ultraviyole ile dezenfeksiyondur. Atıksu filtrasyonu sonrasında da dezenfeksiyon işlemi önerilmektedir. Dezenfeksiyon yöntemi seçimi, suyun kullanım amacına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Günümüzde atıksular için, dezenfeksiyon yan ürünü oluşumuna yol açmayan, UV ile dezenfeksiyon yaygın olarak kullanılmaktadır.

Klorla Dezenfeksiyon

Klor, gaz veya sıvı klor bileşikleri halinde en çok kullanılan dezenfektanlardan birisidir. En etkili klorlama, klordioksit (ClO₂) ile yapılmaktadır; ancak, ClO₂'in yerinde üretilip kullanılması gereklidir. Yaygın olarak kullanılan klorlama kimyasalları (a) sodyum hipoklorit,

(b) klorgazı ve (c) klordioksit olarak bilinmektedir. HOCl (hipokloroz asit) kuvvetli, OCl⁻ (hipoklorit) ise zayıf bir dezenfektandır. Dolayısıyla düşük pH değerlerinde dezenfeksiyon etkisi daha yüksektir (Gheraout, 2017).

Dezenfektan kimyasallarının depolanması, hazırlanması ve kullanılması, kullanılacak kimyasalların tipine bağlıdır. Sodyum hipoklorit çözeltisi ticari olarak %5-15'lik NaOCl çözeltisi halinde, tanklarda depolanabilir ve pozitif yer değiştirmeli pompalar kullanılarak uygun şekilde dozlanabilir. Sodyum hipoklorit, sodyum hidroksit çözeltisine klor verilerek hazırlanmaktadır. Sodyum hipoklorit çözeltisi, zamana bağlı olarak etkinliğini kaybeder. Etkinliğin azalması, sıcaklığın artışıyla hızlanır. Bu sebeple sodyum hipoklorit çözeltisi ışığa ve sıcaklığa karşı muhafaza edilmelidir. Öte yandan sodyum hipoklorit dozlanması suyun iletkenliğini arttırmaktadır. %1'lik sodyum hipoklorit çözeltisinin iletkenliği 174420 µS/cm olarak rapor edilmektedir. Klorla dezenfeksiyon sonucu, Adsorblanabilir Organik Halojen-

Şekil 4.7: Klor temas tankı



ler (AOX), Trihalometanlar (THM), Poliklorurlu Bifeniller (PCB), vb. gibi toksik/kanserojen yan ürünler de oluşabilir. Klorlanmış çıkış suyu yeniden kullanılacağı için, bu yan ürünlerin çevresel etkisi göz önünde bulundurulmalıdır. Klorlama için tasarım kriterleri aşağıda verilmektedir (Koyuncu, 2013):

- Reaksiyon temas süresi ortalama debide: 30 – 120 dakika (Pik debide: 15 – 90 dakika),
- Kısa devreler oluşmaması için uzun piston akımlı reaktörler kullanılır.
- Boy/En oranı en az 20/1 olmalıdır (tercihen 40/1),

- En az 2 adet klor temas tankı yapılmalıdır.
- Klor temas tankında katı maddelerin çökelmesinin önlenmesi için yatay akış hızı 2 – 4,5 m/dakika olmalıdır.
- Reaktör içerisinde şaşırtma duvarları ve perdeler kullanılmalıdır.
- Kontrollü dezenfeksiyon pH 6-8 arasında tutulursa gerçekleşir. Çıkış suyundaki bakiye dezenfektan değeri 0,2 mg/L'nin üstüne çıktığında, fazla klor uzaklaştırılmalıdır.

Şekil 4.7'de bir AAT çıkışındaki klor temas tankına ait örnek gösterilmektedir.

Gaz klor dezenfeksiyonu, aşağıdaki sebeplerle, büyük AAT'lerde aşağıda sıralanan sebeplerle daha uygulanabilir olmaktadır:

- **Ölçek Ekonomisi.** Büyük tesislerde daha fazla atıksu artılır ve bu nedenle m³ başına maliyetler düşer. Bu durum, gaz klor sistemlerinin kurulumu ve işletilmesi için gerekli olan başlangıç maliyetleri göz önüne alındığında cazip olabilir.
- **Stabil İşletme Koşulları.** Büyük tesisler genellikle daha istikrarlı işletme koşullarına sahiptir. Gaz klorun etkili ve güvenli bir şekilde kullanılabilmesi için doğru dozlama ve kontrol önemlidir. Büyük tesislerde bu kontrolü sağlamak daha kolaydır.
- **Daha Yüksek Oranda Dezenfeksiyon İhtiyaçları.** Büyük AAT'ler genellikle daha yüksek dezenfeksiyon ihtiyaçlarına sahiptir. Gaz klor, mikroorganizmaları etkili bir şekilde öldürebilir ve yüksek dezenfeksiyon düzeyleri sağlayabilir.

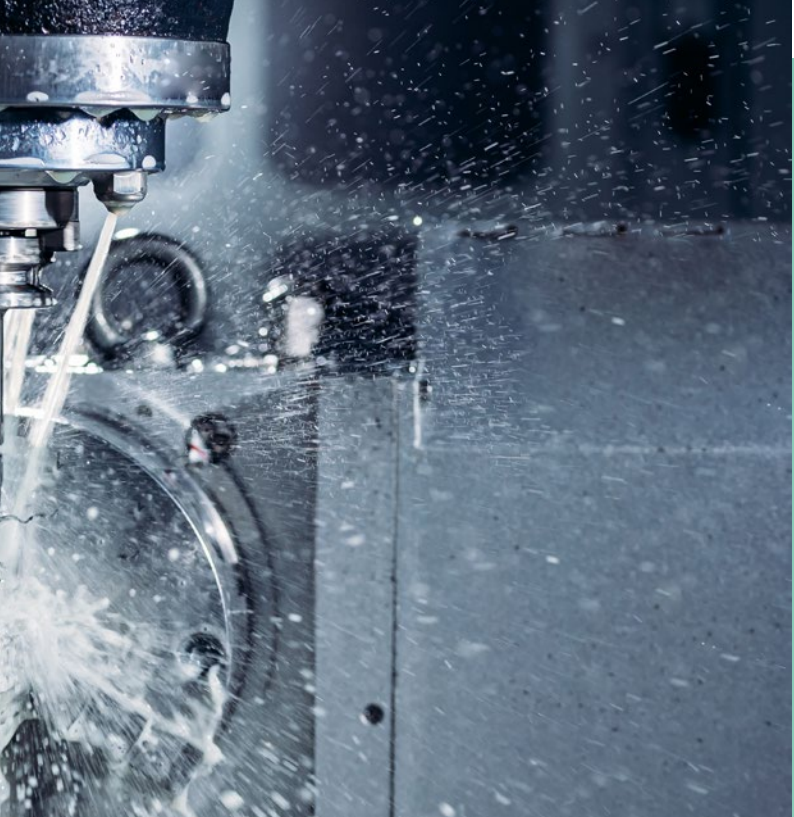
Klor ile dezenfeksiyon işlemi sonrasında THM gibi kanserojen özelliğe sahip dezenfeksiyon yan ürünleri oluşabilmektedir. Bu ürünlerin

konsantrasyonu atıksudaki organik maddelere, serbest klor konsantrasyonuna, brom konsantrasyonuna, sıcaklığa, pH'a ve zamana bağlı değişkenlik göstermektedir.



Ozonla Dezenfeksiyon

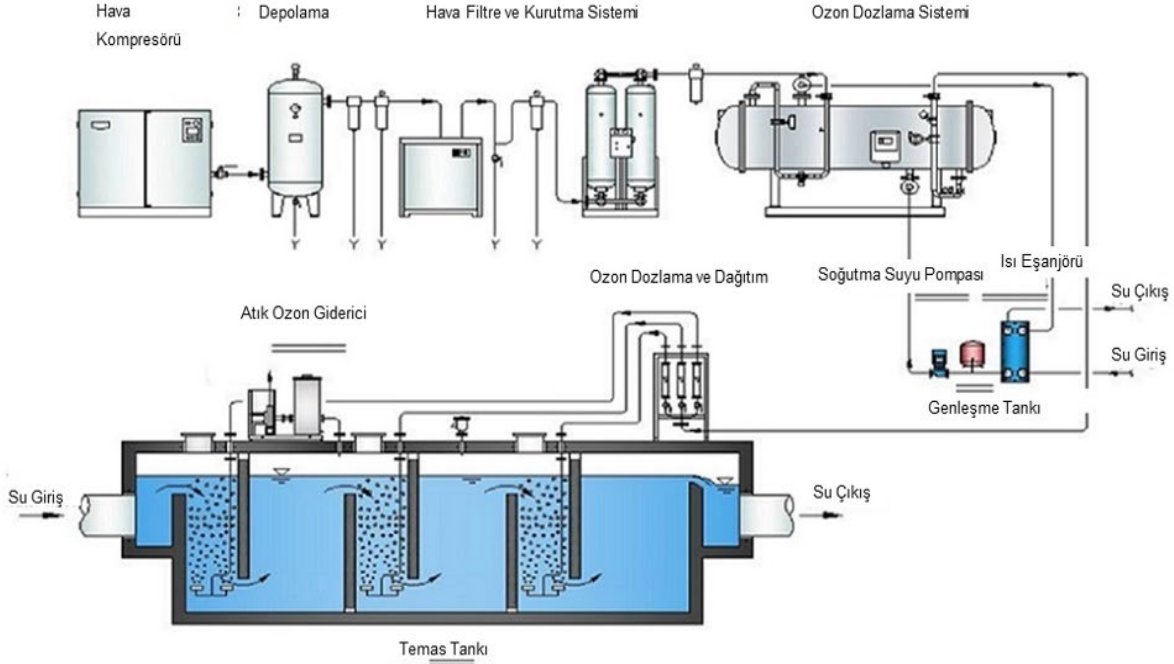
Ozonlamanın en önemli özelliği klordan daha yüksek oksidasyon kapasitesidir. Bu sayede sudaki alg, bakteri ve virüsleri kısa sürede



etkisiz hale getirebilmektedir. Ozonlamanın etkisi, ozon dozuna, reaksiyon süresine, arıtılacak organik madde yüküne ve pH değerine bağlıdır. Yüksek pH değerlerinde ozon, düşük seviyelere göre daha çabuk parçalanmaktadır. Bu yüzden dezenfeksiyon etkisinde bir azalma olmaktadır (Koyuncu, 2013). Ozonun kararlı olmayışı, onun bir kaba doldurulup taşınabilmesini engellemekte ve bu yüzden de kullanılacağı yerde üretilmektedir. Bu durum ozonlama yapılacak tesislerde ozon jeneratörlerinin kullanımını gerektirmekte ve ilk yatırım ve işletme maliyetlerini arttırmaktadır (Randtke and Horsley, 2012; Çakmakçı vd., 2013).

Ozonun dezenfeksiyon etkisinden başka suyun koku, renk ve tadının iyileştirilmesi gibi faydaları da vardır. Ozon çok kuvvetli bir dezenfektan olmasına karşın üretimi pahalıdır. Bu yüzden ancak büyük tesisler için kullanılması uygundur. Ozonun bir diğer önemli sakıncası son derecede kararsız olmasıdır. Bu özelliği, pH'ya bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. pH arttıkça ozonun etkisi azalmak-

Şekil 4.8: Ozon hazırlama, dozlama ve temas tankı (URL-17)



tadır. Geri kazanılacak suda bromür bulunması halinde ozonlama sonrasında bromat gibi yan ürünler oluşabilir. Ayrıca ozonun bazı organiklerle reaksiyonu sonucu aldehit ve ketonlar gibi istenmeyen yan ürünleri de oluşabilir (Koyuncu, 2013; Uzun, 2011).

Ozon çok kuvvetli bir dezenfektan olup, bakteri ve virüsleri öldürmek için gerekli doz 0,3-1,0 mg/L arasında değişmekte ve birkaç dakikalık temas süresi de yeterli gelmektedir. Dünya Sağlık Teşkilatı (WHO) tarafından bakteri ve virüslerin giderilmesi için 0,4 mg/L

ozon dozu ve en az 4 dakikalık bekleme süresi tavsiye edilmektedir. Ozonun yarılanma ömrü kısa ve sudaki çözünürlüğü nispeten düşük olduğundan dağıtım sırasında ortamdaki varlığının sürekliliği mümkün değildir (Metcalf and Eddy, 2014). Bu nedenle ozon daha çok primer dezenfektan olarak tercih edilir. Ozonlamadan sonra dağıtım sistemindeki dezenfeksiyon işleminin tamamlanabilmesi için klor, klordioksit, monokloramin gibi ikinci bir dezenfektan kullanılması gerekmektedir. Ozonlama sistemine ait bir akış diyagramını Şekil 4.8'de gösterilmektedir.

UV ile Dezenfeksiyon

UV radyasyonu fiziksel bir dezenfektandır. 254 nm dalga boyundaki radyasyon mikroorganizmanın hücre duvarından geçerek hücre DNA ve RNA'sını bozar, bu şekilde hücre çoğalamaz ve ölür. UV radyasyonunun bakterisit etkinliği suyun berrak olmasına bağlıdır. Bulanıklığa neden olan kirleticiler UV radyasyonunun doğrudan bakteriye ulaşmasını engelleyecektir. Bunun için etkin bir ön filtrasyon işlemi gereklidir. UV radyasyonunun su dezenfeksiyonunda etkin olabilmesi için en etkili yöntem; suyun ultraviyole lambalar arasından geçirilmesidir. UV ışınlarının etkinliği mikroorganizmaların hassasiyetine bağlıdır. Ayrıca, UV ışınlarını absorbe eden maddeler, sudaki katı maddelerin miktarı ve tipi ve atıksuyun hümik asit, demir ve mangan içeriği gibi diğer kimyasal ve fiziksel özelliklerinden de etkilenmektedir.

Teknik olarak, UV ışınları alçak veya orta basınç cıva buharı lambaları ile üretilmektedir. Uygulamada genellikle daha az enerji gerektirdiği için düşük basınçlı cıva lambaları

kullanılmaktadır. UV ışınından önce atıksu, biyolojik arıtmaya tabi tutulmalı, hava katabarcıklarından arındırılmalı ve düşük AKM konsantrasyonuna (düşük bulanıklığa) sahip olmalıdır. UV lambaları, kapalı veya açık sistem şeklinde olabilir. Atıksu dezenfeksiyonunda, orta basınçlı cıva lambaları açık kanal sistemleri içerisinde yaygın olarak kullanılır. Kapalı UV sistemleri ise daha çok kullanma suyu elde etme amaçlı olarak kullanılır. Tesis kapasitesinin yüksek olması durumunda açık kanal tipi UV dezenfeksiyon sistemleri tercih edilmektedir (Koyuncu, 2013).

Pratik uygulama noktasında UV cihazlarının su debisine bağlı dezenfeksiyon gücünün sayısal bir değer olarak verilmesi gerekir. Bu sayısal değer "UV dozu" olarak adlandırılır ve ölçüsü "Joule/m²"dir. UV cihazının doğru seçimi için hedef alınan mikroorganizmanın hangi UV dozu ile etkisiz hale getirileceğinin bilinmesi gerekir. UV dozu temelde aşağıdaki parametrelere bağlıdır: (1) Reaktördeki UV ışın yoğunluğu; (2) Temas süresi.

Şekil 4.9: Ultraviolele ile dezenfeksiyon ünitelerinin görüntüleri (İSU ve İSKİ AAT'leri)



UV dozu [J/m^2] = UV ışın yoğunluğu [$Watt/m^2$]
x Temas süresi [saniye]

- Debinin $1000 m^3/sa$ üzerindeki değerlerinde, akımın paralel kanallara dağıtılması gerekir.
- Sistemler, beklenen hava şartları değişimlerinde çalışabilir donanıma sahip olmalıdır.
- Tortu oluşumu ve lambaların temizlenmesi ile ilgili hususlara dikkat edilmelidir.

Seçilecek UV dozunun giriş AKM konsantrasyonu artınca yükseltilmesi gerekmektedir. Atıksulara genellikle $60-100 mJ/cm^2$ doz uygulanmaktadır. AKM parametresinin yüksek olması UV ışığının patojenlere ulaşmasını engellemektedir. Dolayısıyla UV dezenfeksiyonu öncesi etkin bir filtrasyon işlemi gerekir. İSU ve İSKİ AAT'lerindeki filtrasyon ünitesi sonrası UV dezenfeksiyon sistemi görüntüleri Şekil 4.9'da verilmektedir.



4.2.3 Organize Sanayi Bölgelerinde Su Geri Kazanım Uygulamaları

4.2.3.1 Genel Durum

Ülkemizde kaynak ve enerji yönetimi, üretim planlaması göz önüne alınarak endüstriyel faaliyetlerin OSB’de yürütülmesi, çeşitli kanun ve yönetmelikler aracılığı ile teşvik edilmektedir. İlgili üretimi yapan endüstrilerin bir arada bulunmasıyla üretim planlamasının yanında atıkların/atıksuların yönetimi, deşarjların denetlenmesini kolaylaştıracak, böylece endüstrilerin çevre yatırımlarını minimize ederek olumsuz çevresel etkileri en aza indirilecektir.

OSB’lerdeki atıksu yönetimi, saha koşulları dikkate alınarak ve bilimsel esaslara uygun planlandığında etkin sonuçlar elde edilmekte ve birim arıtma maliyetleri de azalmaktadır. Yürürlükteki ulusal mevzuat OSB’lerde çevre ile ilgili yükümlülükleri düzenlerken, AB uyum süreci dolayısıyla ilave düzenlemeler de uygulamaya konulmaktadır (UWTD, 1991; OSB-UY, 2009; SKKY, 2004).

4.2.3.2 Endüstriyel Atıksu

Geri Kazanımında Öne Çıkan Hususlar

OSB içinde faaliyet gösteren endüstrilerin atıksuları farklı özelliklere sahip olup, endüstriyel atıksulardaki kirletici parametreler ve arıtılabilirlik seviyeleri de değişkenlik göstermektedir. Atıksulardan proses suyu geri kazanımını endüstriler bireysel olarak planlayabileceği gibi, atıksular OSB tarafından kanal sistemi ile toplanarak merkezi bir tesiste de gerçekleştirilebilir. İki durum için de genel değerlendirme aşağıda verilmektedir.

- **Tekil sanayi bazında su geri kazanımı:** İlgili sanayi kendi üretimi içinde su kütlesini (bütçesini) kurarak; üretim ile uyumlu en uygun entegre arıtma teknolojilerini kullanarak atıksulardan kendi kullanımına uygun proses suyu üretebilir. Su geri kazanımında; (a) proses genelinde minimum arıtma ile, geri kazanılabilir ve kirli suların ayrılması; (b) ayrı toplanmış evsel atıksularda gri/siyah su ayırımı gerçekleştirilmesi; (c) yağmur suyu hasatı/geri kazanımı yapılarak di-

şarıdan temin edilen su miktarının azaltılması sağlanabilir. Buradaki önemli unsurlardan biri endüstrilerin ileri arıtma sonrasında geriye kalan konsantre akımlarının yönetimidir. Bu tür akımlar, OSB özelindeki kanala deşarj yönetmeliğine uygun özellikte ise, OSB içinde bertarafı gerçekleştirilebilir. Özellikle kirletici yükü yüksek olan sanayi için, genelde konsantre akımların arıtılabilirliği düşük olduğu için, OSB'lerin AAT açısından irdelenmesi gerekir.

- **Organize Sanayi Bölgesi genelinde atıksu geri kazanımı:** OSB'ler, kanalizasyon sistemi ile topladığı atıksularına merkezi bir tesiste ileri arıtma teknolojisini uygulayarak sanayicinin ihtiyacını karşılar. Arıtılmış atıksuyu, OSB içinde farklı bir şebeke ile ve/veya taşıyarak ihtiyaç noktasına ulaştırır. Fabrikaların ihtiyaç duyduğu su kalitesine göre en uygun altyapı yatırımını seçer. Genelde gerekli olan en yüksek su kalitesi dikkate alınarak geri kazanım tesisi planlanmakta-

dır. Benzer şekilde geri kazanım amaçlı ileri arıtmadan geriye kalan konsantre akımların deşarj öncesi mevzuat şartlarını yerine getirmesi gerekir. Konsantre yönetimi ve arıtımı için de maliyeti yüksek ileri arıtma teknolojileri (kimyasal oksidasyon, evaporasyon, kristalizasyon vb.) gerekebilir (Ozyildiz vd., 2023). Geri kazanılacak su miktarının ve kalitesinin belirlenmesinde konsantre yönetiminin etkisi büyüktür. Öte yandan, OSB genelinde atıksu geri kazanımında; planlama aşamasında, ayrık kanalizasyon sistemleri, yağmur suyu hasadı, evsel nitelikli atıksuların geri kazanılması ve/veya kentsel AAT'den arıtılmış su temini alternatifleri de değerlendirilebilir.

Yukarıda bahsedilen iki farklı yaklaşım birlikte de uygulanabilir. Ancak, en uygun atık/atıksu yönetimi açısından, endüstri özelinde ve/veya OSB genelinde geri kazanım tesisi yatırım ve işletme fizibilitesinin yapılarak karar alınması gerekmektedir.



OSB'lerde su geri kazanımında dikkate alınması gereken hususlar aşağıda özetlenmektedir:

- **Atıksu Karakterizasyonu ve Ön Arıtma İhtiyacı.** Atıksu arıtma ve geri kazanım tesisinin sağlıklı ve etkin çalışmasını sağlamak üzere; endüstrilerden gelebilecek, tesise ve kanalizasyon sistemine olumsuz etkileri muhtemel zararlı ve toksik deşarjların önlenmesi için bir ön arıtma programı belirlenmelidir (Kerestecioglu vd., 2005). Geri kazanım için planlanmış ileri arıtma sistemi işletilmesini engelleyecek, su kalitesini olumsuz etkileyecek maddelerin deşarjlarının, kaynağında kontrol altına alınması (seyreltme yasağı) gereklidir. Ön arıtma için konvansiyonel ve özel/öncelikli kirletici limit değerlerinin, tesise gelen kirletici yüklerine, OSB'nin altyapısı ve atıksu arıtma/geri kazanım sistemi kapasitesine ve su geri kazanımı stratejisine göre belirlenmesi uygun olacaktır. Ön arıtmanın doğru yapıldığına dair bir izleme ve kontrol sistemi OSB yönetimi tarafından kurulmalıdır.

- **Geri Kazanım Hedeflerinin Belirlenmesi.** Gerçekçi ve sürdürülebilir geri kazanım hedefleri belirlenmelidir. Bu hedefler, atıksulardan elde edilecek zamana bağlı su miktarını, kalitesini ve kullanım alanlarını içermelidir. Geri kazanım tesisinin en uygun maliyetle planlanması bu hedeflere bağlıdır. Su geri kazanımı için genel ve özel su kalite standartlarının belirlenmesi geri kazanım tesisinin ve su iletiminin buna göre planlanması (özel (ikinci) şebeke, tankerle taşıma vb.) gereklidir. Öte yandan, geri kazanım sonrası oluşan konsantre yönetiminin mevzuata uygun deşarjı da planlanmalıdır.
- **Mevcut AAT Kapasitesinin Belirlenmesi.** OSB'lerin çoğunda merkezi AAT'ler hizmet vermektedir. Su geri kazanımı için ileri arıtma sistemleri ile entegre edilmesi planlanan mevcut AAT'lerin kapasitelerinin yeterliliğinin tahkik edilmesi gerekmektedir. Tasarım ve işletmeden kaynaklanan sorunlar giderildikten sonra su geri kazanımı için planlama yapıl-

ması uygun olacaktır. Mevcut tesisteki kapasite ve proses yetersizliği ileri arıtma teknolojisinin de verimsiz çalışmasına neden olacaktır. Merkezi tesislerde yüksek seviyede C, N, P giderimi ve çıkış suyunda olabildiğince düşük BOİ₅ (Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı) (Toplam Organik Karbon) ve AKM; geri kazanım tesisi proses seçiminde kritik önemdedir.

- **Atıksu Analizi ve İleri Arıtma Teknolojileri.** Atıksuların detaylı analizi ve arıtılabilirlik çalışmaları, suyun geri kazanım potansiyelinin belirlenmesi ve uygun arıtma sistem seçimi için kritiktir. Bu analiz, atıksu içinde kirletici parametrelerin yanı sıra fabrikalar için gerekli su kalite parametrelerini de içermelidir. Atıksu kalitesi ve mevcut bilgilerin belirsiz olduğu durumlar için pilot ölçekli çalışmalar önerilmektedir. Pilot ölçekli çalışmalar sistem maliyeti ve fizibilitesine de ışık tutacaktır.
- **Maliyet ve Ekonomik Analiz.** Su geri kazanım projelerinin m³ başına yatırım ve işletme maliyetleri değerlendirilmeli ve

uzun dönemi kapsayan ekonomik analizler yapılmalıdır. Enerji ve işletme maliyetleri göz önüne alarak yatırımın getirisini ve uzun vadeli maliyet etkinliğini değerlendirmek için fayda/maliyet analizi yapılmalıdır. Ekonomik analiz, fizibilite çalışması kapsamında detaylı olarak ele alınmalıdır. Bu kapsamda Yeşil Finansman, enerji teşviki vb. ulusal ve uluslararası imkanlar da dikkatle değerlendirilmelidir.

- **Su Kalitesi Standartları ve İzinler.** Geri kazanılan suyun kullanılacağı üretimler için su kalitesi standartlarını sürekli sağlayacak alternatifler değerlendirilmelidir. Ayrıca, atıksu geri kazanım projeleri için gerekli olan yasal izinler alınmalı ve Çevre Etki Değerlendirme (ÇED) mevzuatına uygunluk sağlanmalıdır.
- **İşletme ve Bakım Stratejileri.** Su geri kazanım tesislerinin düzenli bakımı ve etkin işletimi için detaylı bir strateji oluşturulmalıdır. Bu strateji, tesisin verimli çalışmasını ve uzun ömürlü olmasını sağlamak

için düzenli bakım ve izleme süreçleri içermelidir. Yerel koşullara bağlı olarak OSB için en uygun işletme stratejisine karar verilmelidir. OSB tarafından veya işletmenin özelleştirilmesi ile atıksu arıtma/geri kazanım sistemi hizmete sunulabilir.

- **Tarife, Katılım Paylarının Belirlenmesi.** Geri kazanım tesisi ücretlendirme ve katılım paylarının hesaplanmasında çeşitli yaklaşımlar kullanılmaktadır. AAT'ye katkıda bulunan ve/veya geri kazanım tesisinden faydalanan fabrikaların su taleplerine göre ücretlendirme ve katılım paylarının hesaplanması gerekecektir. Günümüzde en sık kullanılan yaklaşım, AAT (geri kazanım tesisi) yönetim maliyetlerinin atıksu yükleri ve debilerine göre belirlenmesidir.
- **Toplumsal Kabul.** Su geri kazanım projelerinin başarısı, OSB'de faaliyet gösteren fabrikaların su geri kazanım projesi için ortak paydada buluşmasına ve projeye sahip çıkmasına bağlıdır. Geri kazanım sisteminin düzenli ve verimli işletilmesi

açısından sanayicinin yaklaşımı büyük önem taşımaktadır.

Yukarıda bahsedilen adımlar, su geri kazanım projelerinin etkili bir şekilde planlanması ve uygulanması için önemlidir. Bu aşamalara dikkat edilerek atıksulardan su geri kazanımı projeleri, sürdürülebilir su yönetimi ve çevrenin korunması açısından daha etkili bir şekilde gerçekleştirilebilir.

4.2.3.3 Endüstriyel Atıksular için İleri Arıtma ve Geri Kazanım Örnekleri

Endüstriyel faaliyetlerdeki artış ve su kaynaklarının kısıtlı hale gelmesi dünyada atıksulardan su geri kazanımını zorunlu hale getirmektedir. Ayrıca, küresel ısınmanın etkisi ile de suya dayalı endüstriyel faaliyetlerin sürdürülebilmesi için su geri kazanımının önceden planlanması gereklidir. Ülkemizde endüstriyel atıksuların ileri arıtımı ve/veya üretimde kullanılmak üzere su geri kazanımı uygulamaları ivme kazanmaktadır. Bu uygulamalara ait bazı örnekler aşağıda sunulmaktadır.

• **Asım Kibar Organize Sanayi Bölgesi (AKOSB) AAT'ye entegre edilen geri kazanım tesisi** sanayiye uygun kalitede su temin etmektedir. Otomotiv, çelik ve ambalaj sanayinin yaygınlık gösterdiği AOSB'de 2014 yılında yaşanan kuraklık probleminin ardından 2018 yılında yapımı tamamlanan AAT ileri arıtma teknolojileri kullanılarak su geri kazanımını mümkün kılmıştır. Bu OSB'de, sanayi için geri kazanım suyu maliyetinin şebeke suyu maliyetinin 1/3'ü mertebesinde olduğu rapor edilmektedir

(SÇD, 2018). AKOSB Endüstriyel AAT'de biyofilm tipi (Hareketli Yataklı) aktif çamur sisteminden sonra geri kazanım için ileri arıtma uygulanmaktadır. İleri arıtmada geri kazanım amaçlı sırası ile mekanik filtre ve kum filtre, UF, Granüler Aktif Karbon (GAK) filtresi, TO ve UV dezenfeksiyon üniteleri bulunmaktadır (Şekil 4.11). Bu tesisde ortalama 2500 m³/gün arıtılmış su geri kazanılmakta ve OSB bünyesindeki fabrikalara üretimde kullanılmak üzere dağıtılmaktadır.

Şekil 4.11: AKOSB AAT ileri arıtma üniteleri (Ultrafiltrasyon, Aktif Karbon, Ters Osmoz ve Ultraviyole Dezenfeksiyon)



- Endüstriyel atıksu geri kazanımı için diğer bir uygulama örneği **Demirtaş Organize Sanayi Bölgesi (DOSAB)** AAT içine kurulan geri kazanım sistemidir. İhale sürecinde yürütülen pilot tesis çalışmalarında yüksek organik madde gideriminin MBR ile sağlanabildiği rapor edilmiştir (Dogruel vd., 2021). Ağırlıklı olarak tekstil sanayinin faaliyet gösterdiği DOSAB'ın ileri merkezi biyolojik AAT 70.000 m³/gün kapasiteli olarak 2007 yılında hizmete girmiş, daha sonra bu kapasite toplamda 82.500 m³/gün'e çıkarılmıştır (URL-19).

Mevcut AAT'den 25.000 m³/gün atıksu ayrılarak geri kazanım amaçlı yüksek organik madde gidermek üzere MBR sistemi ile ilave arıtmaya tabi tutulmaktadır. Arıtılan atıksular daha sonra TO sisteminden geçirilip yüksek kalitede su geri kazanımı yapılmaktadır. Elde edilen su, OSB içinde ve soğutma suyu amaçlı kullanılmaktadır. TO konsantreleri ise merkezi ileri biyolojik arıtma tesisine yönlendirilmektedir. DOSAB'a ait 25.000 m³/gün giriş kapasiteli MBR ve TO ünitelerinin görüntüleri Şekil 4.12'de sunulmaktadır.

Şekil 4.12: Demirtaş OSB MBR ve TO üniteleri



- Endüstriyel atıksuların ileri arıtılmasına diğer bir örnek ise **Toprak Mahsulleri Ofisi (TMO)'nin Afyon Alkaloidleri Fabrikası AAT'sidir**. Endüstriyel atıksuların deşarjının bölgenin önemli su kaynaklarından biri olan Eber Gölü'ne yapılması bu atıksulara ileri seviyede organik madde, toplam azot, renk ve iletkenlik gideriminin uygulanmasını gerektirmiştir. 2016'da yürütülen uzun süreli pilot tesis çalışmalarında yüksek kirlilikteki atıksuyun entegre membran prosesler ile arıtılabileceği belirlenmiştir (İnsel vd., 2018). Endüstriyel tesisin atıksu arıtma sistemi mikroe-

lek, dengeleme, MBR ve NF ünitelerinden oluşmaktadır. NF çıkışında arıtılmış sular doğrudan göle deşarj edilebilmektedir. NF konsantreleri ise evaporasyon ve kristalizasyon ünitesine yönlendirilerek tuzu ayrılmakta ve katı atık olarak sistemden uzaklaştırılmaktadır. Sonuç olarak, yüksek iletkenlik içeren konsantrelerin baraj gölüne deşarjı da engellenmiş olmaktadır. Evaporasyon ünitesinde elde edilen buhar kondenserden geçirilerek deşarja ve/veya NF girişine yönlendirilebilmektedir (TMO, 2017). Afyon Alkaloidleri AAT'ye ait görseller Şekil 4.13'te verilmektedir.

Şekil 4.13: TMO Afyon Alkaloidleri harici MBR, NF ve evaporasyon-kristalizasyon üniteleri



• **İstanbul'daki gerikazanım imkanları.** İSKİ'nin Paşaköy AAT çıkışında, gerikazanım 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) pro-

ses suyu olarak kullanılabilir. Aynı şekilde Ambarlı AAT çıkışında da gerikazanım 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 4.5'te, arıtılmış atıkların endüstriyel amaçlı yeniden kullanım ile ilgili bazı Dünya örnekleri ise Tablo 4.6'da verilmiştir.

Tablo 4.5: İzmit, İstanbul ve İzmir'in su satış bedelleri

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 4.5'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 miktardaki geri dönüşüm suyunun, ayrı bir boru hattı/şebekesi ile (mor şebeke) Tuzla OSB'leri ve sahildeki Tersane bölgesine verilme imkânı da bulunmaktadır.

Meksika'da arıtılmış kentsel atıksuların sulama endüstri ve akifer restorasyonunda kullanımı amacıyla Yap İşlet Devret (YİD) Modeli ile gerçekleştirilen 90.720 m³/gün kapasiteli tesiste üretilen suya uygulanan endüstriyel su satış tarifesi 0,76 \$/m³ olup çiftçilere sulama suyu ücretsiz olarak verilmektedir. Almanya'da; azami oranda proses atıksuyu geri





**İzmit, İstanbul ve İzmir’de
geri dönüşüm suları belirtilen
bedelle geri dönüşüm
tesislerinden alınarak ihtiyaç
noktalarında endüstriyel
veya sulama maksadıyla
kullanılabilmektedir.**

dönüşümü uygulanması dolayısıyla; şeker endüstrisinde %92, kâğıt endüstrisinde %50-90, tekstil endüstrisinde ise %78 oranında özgül su tüketimi (m^3/ton ürün) azaltımı sağlandığı belirtilmiştir. Benzer şekilde büyük su tüketicileri arasında yer alan petrol rafinelelerinde $\sim 0,30$ $\$/m^3$ işletme maliyeti ile iyi kalite geri dönüşüm (proses) suyu üretilebilmektedir (Lazarova vd., 2013). Arıtılmış atıksuların endüstride yeniden kullanımı ile ilgili seçilmiş örneklerle Tablo 4.6’da yer verilmektedir.

Tablo 4.6: Arıtılmış atıksuların endüstride yeniden kullanımı ile ilgili seçilmiş örnekler (Lazarova vd., 2013).

Proje/Yapıldığı Yer	Devreye Alınma Tarihi/ Kapasite	Kullanım Alanları	Önemli Hususlar
San Luis Potosi, Meksika Arıtılmış Kentsel Atıksuların Endüstriyel Amaçlı Kullanımı	2006/ Aritma Kapasitesi: 90.720 m ³ /gün	Bir enerji santrali için soğutma suyu takviyesi, Tarımsal sulama, Yeraltı suyu (akifer) restorasyonu, Çevrenin iyileştirilmesi	<ul style="list-style-type: none">• Geri Dönüştürülen Su Hacmi: 23,9 Mm³/yıl'a kadar sulama amaçlı ve 9,9 Mm³/yıl endüstriyel amaçlı.• İlk Yatırım Maliyeti: 67,4 milyon \$.• YİD Projesi.• Endüstri için geri dönüştürülen su oranı: 0,76 \$/m³ çiftçilere ücretsiz.• 6 yıl içinde akifer iyileştirme çalışmaları (48 Mm³).• Enerji santrali tasarruf miktarı: 6 yılda 18 milyon \$.
Panipat, Hindistan Endüstriyel Atıksu Geri Dönüşümü	2006/ Paniprat rafinerisi arıtılmış atıksu geri dönüşüm tesisi Kapasite: 650 m ³ /saat 2010/ Nafta Kraker tesisi 450 m ³ /saat	Kazan suyu takviyesi, Soğutma kulesi için takviye	<ul style="list-style-type: none">• Toplam Üretim: 26.500 m³/gün.• Arıtılan atık suyun toplam hacmi: 10,9 Mm³/yıl• Geri dönüştürülen suyun toplam hacmi: 9,0 Mm³/yıl• İşletme maliyetleri: 0,3 €/m³• Suyun yeniden kullanım standartları: < 10 µg/L silika; <0,1 mg/L TDS
RARE Projesi, Geri Arıtılmış Kentsel Atıksuların Endüstriyel Amaçlı Kullanımı	2010 Aritma Kapasitesi: 13.249 m ³ /gün	Kazan suyu takviyesi, Soğutma kulesi için takviye	<ul style="list-style-type: none">• Arıtılan atık suyun toplam hacmi: 4,28 Mm³/yıl• Suyun yeniden kullanım standartları: <2,2 E.coli/100 mL
Kapalı Döngü, Almanya Endüstriyel Su Geri Dönüşümü	2000'lerin başından bu yana ve 1970'lerden beri hızlı bir gelişme mevcuttur.	Endüstrinin tüm kollarında kullanım; soğutma, kazan suyu takviyesi, proses suyu, temizleme dahil.	Atıksu hacim azaltılmasına örnekler: <ul style="list-style-type: none">• Şeker endüstrisi: 10 m³/ton şeker pancarından %92 azaltım (0,8 m³atıksu/ ton şeker pancarı)• Kâğıt endüstrisi: 29 m³/ton kâğıttan %50 azaltım ve 0-15 m³/ton kâğıttan %90 azaltım.• Tekstil endüstrisi: 20 m³/ton üründen %77,5 azaltım.

	Faydaları	Zorlukları	Başarıya Götüren Yönleri
	<p>İçilemez kalitedeki sular için kaynak seçeneği oluşturulmaktadır.</p> <p>Atıksuların %70'i (hedef %85) arıtmakta ve bunların %100'ü yeniden kullanılmaktadır. Endüstri ve tarım sektörlerine ekonomik kalkınma sağlanmaktadır.</p> <p>Güvenli su temini ve çevre korunması için uzun dönem sürdürülebilir su yönetimi. Sürnekliği ve güvenilirliği sağlamak için projenin ekonomik fizibilitesinin olması.</p>	<p>Güvenli dağıtım yapısı ve sürekli su temini için altyapı inşaa etmek.</p> <p>Muhalif yerel çiftçi, endüstri ve kullanıcılarını ikna etmek.</p> <p>Uygulamayı sağlamak.</p> <p>Endüstrinin maliyetin büyük bir kısmını üstlenmesine rağmen makul ve adil fiyatlandırma stratejisi uygulamak.</p> <p>Aşırı su çekilen akiferler üzerindeki baskının azaltılmasını sağlamak.</p>	<p>Federal ve yerel politikalar, suların yeniden kullanım yönetmeliği ve politik destekler.</p> <p>Yenilikçi proje fonları (YİD sözleşmesi).</p> <p>Tarım ve endüstri için</p> <p>“Amaca Yönelik” kalitede geri dönüştürülmüş sular üretmek.</p> <p>Tüketici isteklerine ve yüksek işletme güvenilirliğine uyarlanmış, tutarlı su kalitesi.</p> <p>Kamu sosyal yardımı ve eğitim.</p>
	<p>Çevrenin korunması.</p> <p>Endüstriyel su temini güvenliğinin artışı.</p> <p>Yüksek miktarda temiz/taze suyun korunması (kullanımının önlenmesi).</p> <p>Ekonomik ve sosyal gelişmeler.</p>	<p>Ham su kalitesinin değişkenliği.</p> <p>Arıtılmış su kalite standartlarının sıkı oluşu.</p> <p>Gelecekte sıfır deşarj hedefi.</p>	<p>Hindistandaki ekonomik büyüme.</p> <p>Yatırımcının ekonomik başarısı.</p> <p>Hindistanda, özellikle Panipat bölgesinde çevre duyarlılığı.</p> <p>İleri teknolojilerin kullanılması.</p> <p>Tecrübeli tesis yöneticileri.</p>
	<p>İçme sularının güvenliği ve ithal edilen sulara bağımlılığın azaltılması.</p> <p>Kuraklık sırasında meydana gelebilecek çeşitli risklerden korunma.</p> <p>Enerji tasarrufu için uzak mesafelere pompa ile su iletilmesinden kaçınmak.</p> <p>San Francisco Körfezi'nde atıksu ve kirlilik deşarjını azaltmak.</p>	<p>Arıtma proseslerinde bulunması gereken yüksek düzeyde güvenilirlik.</p> <p>TO konsantrasyonunun uzaklaştırılması.</p> <p>Debinin dengelenmesi.</p>	<p>Başarı ile yürütülen kamu-özel sektör ortaklığı.</p> <p>Kanıtlanmış teknolojiler.</p> <p>Su arzının artırılması ve güvenilirlik.</p>
	<p>Geliştirilmiş malzeme kullanımı.</p> <p>Daha düşük miktarda enerji ve su kullanımı.</p> <p>Daha düşük miktarda atıksu üretimi.</p> <p>Yukarıda bahsedilen önemli azaltımlar dolayısıyla maliyetlerden tasarruf.</p>	<p>Atıksu geri kazanımının yol açtığı ilave ilk yatırım ve işletme maliyetlerine katlanmak zorunda kalmak.</p> <p>Su kalitesi bakımından sıkı gereksinimler.</p> <p>Atıksu arıtma ve iyileştirme proseslerinin verimli ve güvenilir olma gereksinimi. Yüksek malzeme, ekipman ve donanım korozyonu.</p>	<p>Kapalı devre üretimin faydalarını göstermek.</p> <p>Gerri dönüştürülmüş suların teknik ve ekonomik uygulanabilirliği ile yüksek verimi ve güvenilirliği.</p>

Proje sayesinde Batı California'daki sanayi tesislerinin kuraklığa bağlı su sıkıntısından etkilenmeleri önlenerek yerlerinde kalmaları sağlanmıştır.

Performansı Kanıtlanmış

Bir Uygulama Örneği

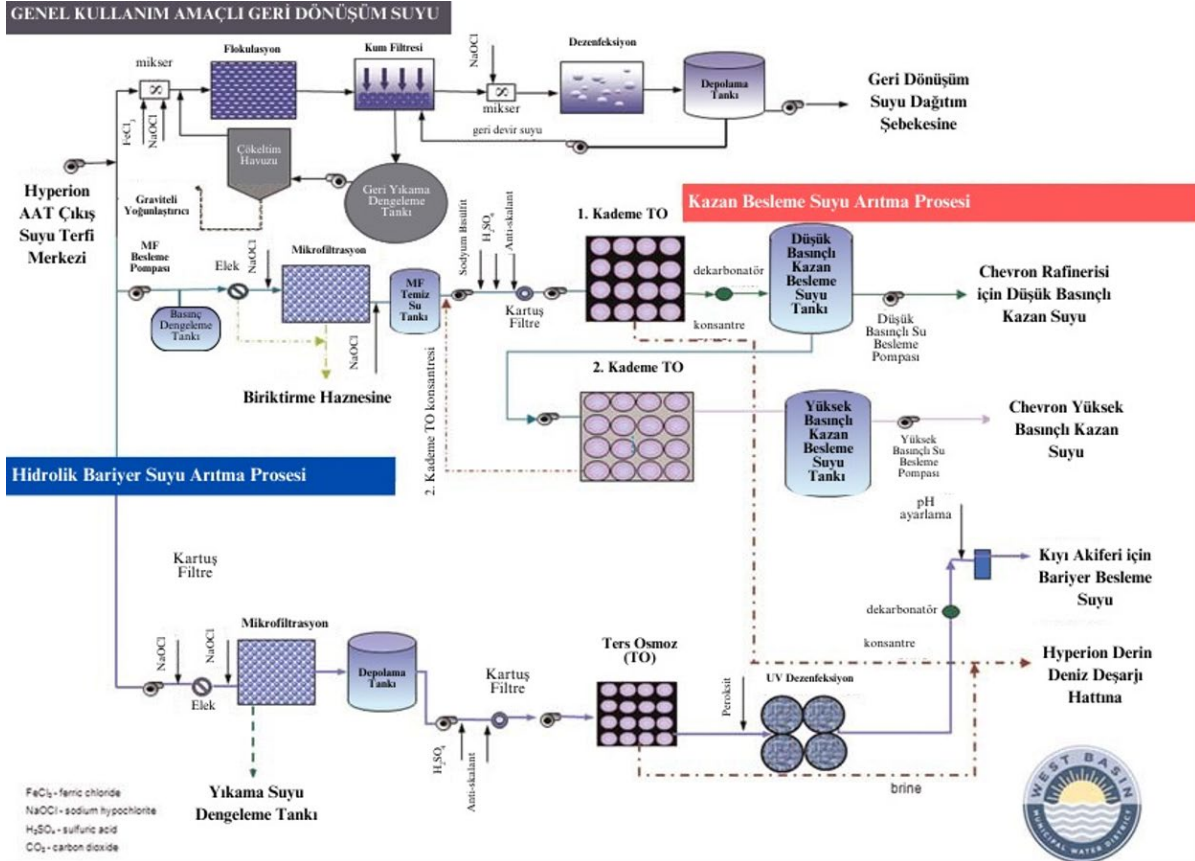
ABD'nin California eyaleti El Segundo'da kurulu Edward C. Little Su Geri dönüşüm/ Yeniden Kullanım Tesisi, 1995 yılından beri 5 farklı kullanım amacına uygun suyun üretildiği benzersiz bir uygulamadır (Walters vd., 2013). Bu tesiste California'nın kentsel atıksularının arıtıldığı Hyperion AAT'de saf 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 kalitelerde geri dönüşüm suyu üretimi yapılmaktadır (Şekil 4.14):

- *“Demir-Klorür (FeCl₃·6H₂O) + Katyonik Polymerle Kimyasal Çökeltim + Kum Filtrasyonu + Sodyum Hipoklorid ile Dezenfeksiyon”*

sonrası turuncu/mor şebeke üzerinden sulama ve başka kentsel kullanımlar için satış yapılmaktadır. Kurulu arıtma kapasitesi 151.400 m³/gün olan bu tesiste en düşük bakiye klor konsantrasyonu 4,1 mg/L olan ve kısıtlamasız sulama suyu standartlarına uygun kalitede su üretilmektedir.

- İkinci tesiste; *“Mikrofiltrasyon (MF) + Ters Osmoz (TO) + H₂O₂/UV ile İleri Oksidasyon”* sonrası sahil akiferlerini tuzlanmaya karşı koruyucu hidrolik bariyer oluşturulmasında kullanılan suyun üretimi yapılmaktadır. Bu tesisin kurulu arıtma kapasitesi 66.250 m³/gün olup geri dönüşüm suyundeki Nitrosdimetilamin konsantrasyonu <10 ng/L'dir.
- Üçüncü tesiste; *“MF + TO (tek kademe)”* sonrası buhar kazanı suyu üretimi yapılmaktadır. Toplam kurulu arıtma kapasitesi 44.265 m³/gün olan bu tesisten bölgedeki 3 petrokimya rafinerisinin kazan suyu ihtiyacı karşılanmaktadır.
- Üçüncü tesiste aynı zamanda, *“MF + TO*

Şekil 4.14: Edward C. Little Su Geri Dönüşüm Tesisi (Lazarova, vd., 2013)



(tek kademe)" sonrası çok yüksek saflıkta buhar kazanı suyu üretimi yapılmaktadır. Kurulu arıtma kapasitesi 9840 m³/gün olan bu tesiste üretilen çok yüksek saflıkta kazan suyu, bölgedeki bir rafinerinin yüksek basınçlı kazanlarında kullanılmak üzere satılmaktadır.

- Dördüncü bir tesiste, California Hyperion Kentsel AAT çıkış sularına "Biyolojik filtrasyonla tam nitrifikasyon" uygulanarak, bölgedeki 3 rafineri için (NH₄-N≈O) soğutma suyu üretilmektedir. Soğutma suyu üretimi yapılan tesisin kurulu arıtma kapasitesi 41.645 m³/gün'dür.



Yukarıdaki 3. Kademe arıtma tesislerinde üretilen geri dönüşüm suyunu kullanıcılara dağıtmak/servis etmek üzere Batı California bölgesinde ~160 km'lik ayrı turuncu/mor şebeke inşa edilmiştir (Şekil 4.15). 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 California'daki sanayi tesislerinin duraklığına bağlı su sıkıntısından etkilenmeleri

önlenecek yerlerinde kalmaları sağlanmıştır. California Su İdaresi'nin, iklim dirençliliği için hedefi, bu proje ile bölge dışından sağlanan temiz su talebinin ~%50 oranında azaltılmasıdır.

California'daki Geri Dönüşüm Tesisleri'nin en önemli sorunu; Hyperion Kentsel AAT çıkış suyu kalitesinde, zaman zaman yaşanan büyük salınımlardır (NH₄-N = 20-25 mg/L, TDS = 850-1100 mg/L, Klorür = 130-200 mg/L, Bulanıklık = 5-15 (maks. 130 NTU)). Özellikle yüksek AKM sorunu çözmek üzere bazı ek yatırımlar yapılması gerekmiştir.

4.3 SANAYİDE TEMİZ ÜRETİM VE ÖNCELİKLİ SEKTÖRLERE ÖZGÜ ATIKSU ARITMA TEKNOLOJİLERİ

4.3.1 Genel Durum

Sanayide temiz üretim ve arıtma teknolojileri üzerine oluşturulmuş uluslararası dokümanların yanı sıra ulusal düzeyde yürütülmüş projeler de bulunmaktadır. Ülkemiz şartlarını ortaya koyması açısından yürütülmüş ulusal projelerin önemi büyüktür. Konu ile ilgili önemli ulusal projelere ait genel bilgiler aşağıda sunulmaktadır.

Belirli Sektörlerde Temiz Üretim Uygulamaları (BESTÜ) Projesi Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) tarafından ÇŞİDB için gerçekleştirilmiş bir projedir (BSTB, 2018). BESTÜ Projesi'nde tekstil ve deri işleme sektörlerine ait Mevcut En İyi Teknikler (MET) ortaya konulmuştur (BESTÜ, 2020). Projenin kapsadığı endüstri sektör/alt sektörler:

- (a) Açık Elyaf, İplik Üretimi ve Terbiyesi Sektörü (İplik Üretimi + İplik Boyama)
- (b) Dokunmuş Kumaş Terbiyesi ve Ben-

zerleri Sektörü

(c) Pamuklu Tekstil ve Benzerleri Sektörü

(d) Yün Yıkama, Terbiye, Dokuma vb.

(e) Örgü Kumaş Terbiyesi ve Benzerleri Sektörü

(f) Halı Terbiyesi ve Benzerleri Sektörü

(g) Sentetiklerin Terbiyesi ve Benzerleri Sektörü

(h) Deri İşleme Sektörü

olarak sıralanabilir.

52 işletmeden toplanan veriler ile Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrol Tebliğ Taslakları oluşturulmuş ve sektörel kılavuzlar hazırlanmıştır. Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrol Tebliği'nin uygulamasına yardımcı olacak sektörel kılavuzlarının içeriği MET tanımı, proseslerin teknolojilerinin ve tekniklerinin tanımlanması, MET'ler ve MET'lerin uygulanması ile elde edilebilecek emisyon sınır değerleri (MET-ESD) olarak özetlenebilir (BSTB, 2018).

Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı için TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi (MAM) tarafın-

dan **Sanayide Kaynak Verimliliği Potansiyelinin Belirlenmesi** konulu proje yürütülmüştür. Bu amaçla 2014-2017 yılları arasında, Türkiye imalat sanayinde seçilmiş 5 sektörde hammadde, enerji ve su girdileri için etkin ve sürdürülebilir kullanımları ortaya koyan ve gerçekleştirilebilmesi için gereken ekonomik koşulları tahmin eden çalışmalar yapılmıştır. Çalışmada incelenen 5 sektör;

- (1) Gıda Ürünleri İmalatı,
- (2) Tekstil Ürünleri İmalatı,
- (3) Kimyasallar ve Kimyasal Ürünlerin İmalatı,
- (4) Diğer Metalik Olmayan Mineral Ürünlerin İmalatı ve
- (5) Ana Metal Sanayi'dir.

2018 yılında yayınlanan ve KOBİ'lerde farkındalığın artması adına hazırlanan bu çalışmada seçilen sektörlere özgü el kitapları yayımlanmıştır ((BSTB, 2017; BSTB, 2018).

Türkiye'de sanayide temiz üretim konusunda mevcut durum ve olanakların belirlenmesi kapsamında hazırlanan başka projeler de bu-

lanmaktadır. TÜBİTAK MAM Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı için yürütülen **Sanayide Temiz Üretim Olanaklarının ve Uygulanabilirliğinin Belirlenmesi (SANTEM) Projesi** 2016 yılında tamamlanmıştır. Proje kapsamında Demir-Çelik ve Maya Sektörlerinde mevcut durum değerlendirilmiş ve sektörel ihtiyaçlar belirlenmeye çalışılmıştır. Belirlenen ihtiyaçlar doğrultusunda, temiz üretim adına, eldeki olanaklar değerlendirilip temiz üretime teşvik mekanizmaları ve bu konudaki yasal düzenlemeler incelenmiştir. Hazırlanan çalışma sonucunda, belirlenen olanakların ülkemizde uygulanma ihtimalleri değerlendirilmiştir (SANTEM, 2016).

NACE Kodlarına Göre Endüstriyel Su Kullanım Verimliliği Projesi ise TOB, SYGM için io Çevre Çözümleri tarafından 2023 yılında tamamlanan bir projedir. Projenin amacı yoğun su tüketimi olan sanayi tesislerinde, NACE kodları ele alınarak, su kullanım verimliliğinin iyileştirilmesine yönelik bir yol haritasının oluşturulmasıdır. Endüstrinin farklı alt sektörleri için su kullanım ve atıksu miktarları tesis

ziyaretleri ile saptandıktan sonra, su tüketimi ve atıksu oluşumunun azaltılmasına yönelik Mevcut En İyi Teknikler (MET'ler) ortaya konulmuştur. 2017-2021 arasında TOB SYGM için gerçekleştirilen 3 Pilot Havzada Nehir Havza Yönetim Planı Kapsamında **Ekonomik Analiz ve Su Verimliliği Çalışmaları için Teknik Yardım Projesi** (3 NHYP) ise Akarçay, Batı Akdeniz ve Yeşilirmak havzalarında endüstriyel su kullanım verimliliğini konu almaktadır. Bu 3 NHYP'nin sonuçları da **NACE Kodlarına Göre Endüstriyel Su Kullanım Verimliliği Projesi'**ne derç edilmiştir (NHYP, 2021).

NACE Kodlarına Göre Endüstriyel Su Kullanım Verimliliği Projesi kapsamında sektörlerden temsil edici nitelikte tesisler seçilerek saha ziyaretleri gerçekleştirilmiştir. Tesis bazında 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 ve-



riler toplanarak değerlendirmeler yapılmıştır. Tesislerde tesis yetkilileri, teknik personel ve uzmanlar yardımıyla anketler yapılarak su-atıksu kütle denklilikleri kurulmuş ve verimli su kullanımı için MET listeleri oluşturulmuştur. Bunlardan yola çıkılarak endüstriyel su verimliliği üzerine ülkemiz şartlarında teknik ve ekonomik olarak uygulanabilir Sektörel MET rehber dokümanları hazırlanmıştır. NACE Kodlarına Göre Endüstriyel Su Kullanım Verimliliği Projesinin sonuçları ve hazırlanan rehber dokümanlar, bu proje için de bir çatı oluşturacak niteliktedir (TOB, 2023b).



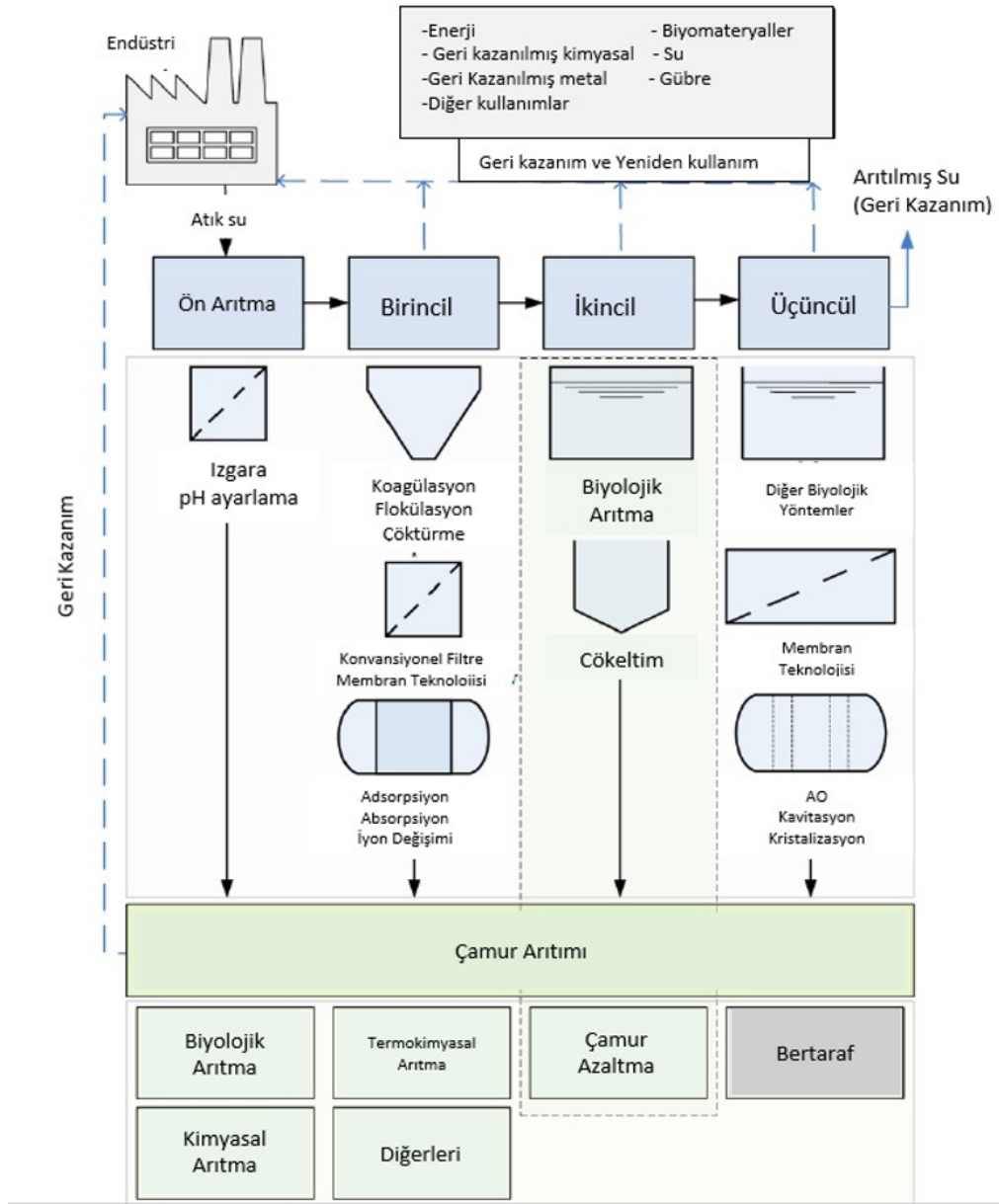
4.3.2 Gerikazanım Amaçlı Endüstriyel Atıksu Arıtma Teknolojileri

Endüstriyel atıksu arıtımında biyolojik prosesler, biyolojik olarak parçalanabilen maddelerin kısmen ve daha sonra neredeyse tamamen stabilizasyonunu sağlamak için kullanılabilir. Aerobik işlemlerle daha ileri işlemlerden önce kısmi stabilizasyon sağlayan birçok anaerobik işlem (ön arıtma) örneği bulunmaktadır. Çok kademeli arıtma proseslerinin kullanılma sebebi birçok endüstriyel atık suyun yüksek organik içeriğe sahip olmasıdır (Karchiyappan, vd., 2022).

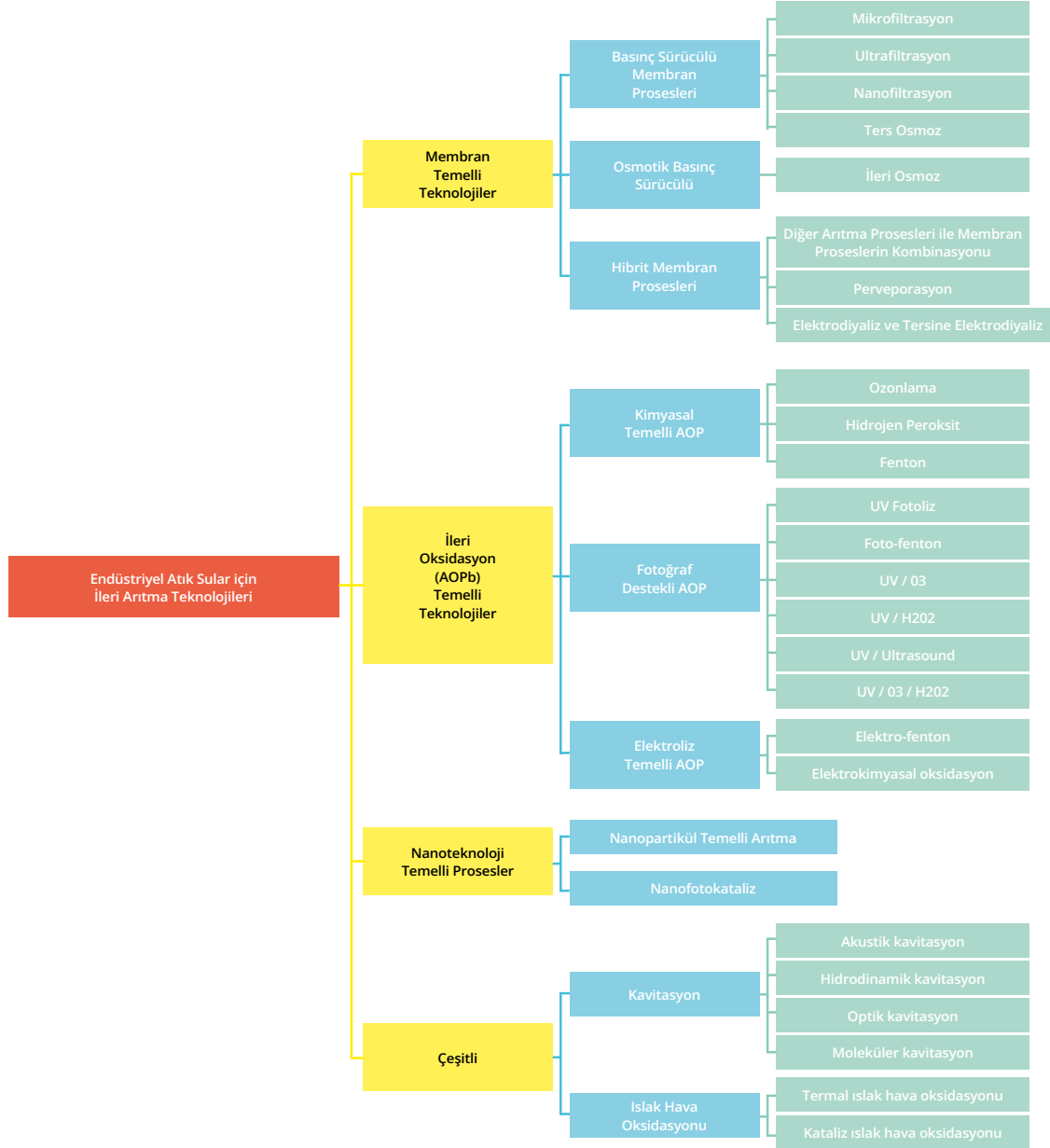
Atıksu arıtma proseslerinin temel amacı, çevreye deşarj için en iyi su kalitesini elde etmektir. En çok tercih edilen atıksu arıtma yöntemleri Şekil 4.16 ile ve bazı ileri arıtma yöntemleri Şekil 4.17 ile verilmiştir.

Şekil 4.16'da büyük ve entegre endüstriler ile OSB merkezi AAT'leri için uygulanabilecek genel iki kademeli (Kimyasal + Biyolojik) arıtma sistemi genel şeması görülmektedir. Bazı durumlarda, Kimyasal Arıtma Kademesi Biyolojik Arıtma'nın sonunda da yer alabilmektedir. Bu genel şemadaki arıtma proseslerinin uygulandığı bir endüstriyel AAT çıkışında genelde KOİ, İletkenlik ve Renk parametreleri hariç tipik kentsel AAT çıkış suyuna yakın özellikte bir su üretilebilmektedir. Sözü edilen nitelikteki arıtılmış endüstriyel atıksular, farklı amaçlarla geri dönüşüm suyu olarak kullanılabilme üzere Şekil 4.17'de belirtilen ileri arıtma proseslerinin uygulanması gerekebilmektedir. Türkiye'deki arıtılmış OSB ve tekil endüstriyel atıksuların geri dönüşüm amaçlı arıtımı ile ilgili muhtemel seçenekler ve bazı uygulama örnekleri Ek-III'te verilmektedir.

Şekil 4.16: Endüstriyel atıksu arıtma sistemleri (Mejía-Marchena vd., 2023)

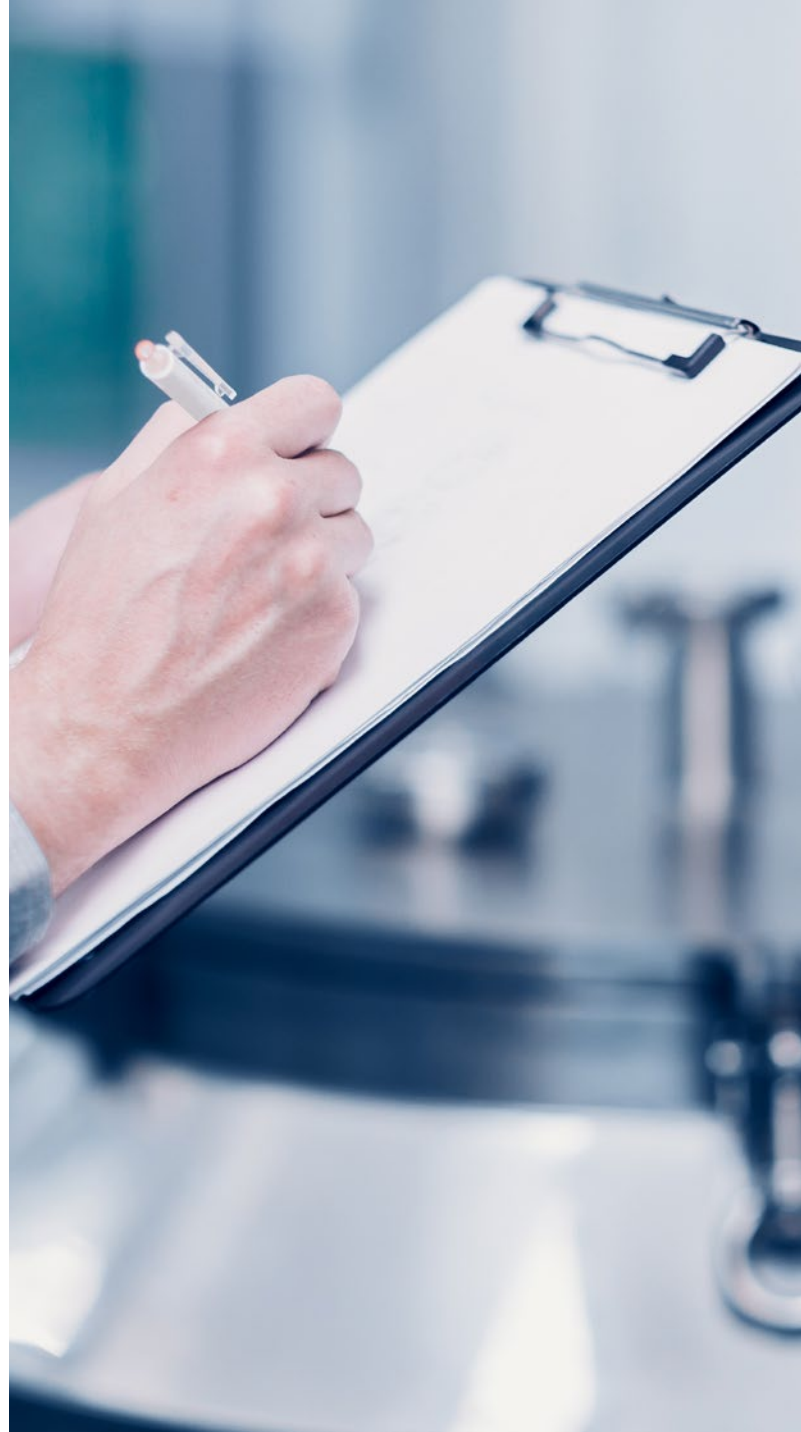


Şekil 4.17: İleri atıksu arıtma teknolojileri (Roy, vd., 2021)



4.3.2.1 Kimya ve Kimyasal Ürünler Endüstrisi Atıksularının Arıtımı

Kimyasal üretiminden kaynaklanan endüstriyel atıksular genellikle biyolojik arıtma tesisine alınmadan ve alıcı ortama deşarj edilmeden önce arıtılması gereken maddeleri içerir (Awaleh & Soubaneh, 2014). Kimyasal ve kimyasal ürünlerin üretimi sonucu açığa çıkan atıksuların inhibitör organik maddeler ve metaller içermesi sebebiyle biyolojik prosesler kullanılarak arıtılmasında zorluklar yaşanmaktadır. Arıtma verimi, atıksuyun biyolojik olarak arıtılabilirliğine, organik ve inorganik maddelerin içeriğine, kirleticilerin konsantrasyonuna ve diğer çevresel faktörlere de bağlıdır. Bunlardan ikisi atık suyun pH'ı ve toplam çözünmüş madde (TÇM) konsantrasyonudur. Hem yüksek hem de düşük pH'larla karşılaşılabılır ve her ikisinin de biyolojik arıtmaya olumsuz etkisi olabilir. Yüksek TÇM konsantrasyonu, mikrobiyal hücrelerin dehidrasyonuna yol açabileceği gibi biyokütlenin reaktör içerisinde çökmesine de sebebiyet verebilir. 3500 mg/L ve üzerindeki TÇM



konsantrasyonlarının proses zorluklarına neden olması söz konusudur (Karchiyappan, vd., 2022).

Her aşamada uygulanabilecek çeşitli atıksu arıtma prosesleri mevcut olup, ekonomik ve ekolojik açıdan en iyi prosesin seçilmesi gerekmektedir. Mikro kirleticileri ve tehlikeli maddeleri gidermek için çözünmüş hava oksidasyonu, kimyasal arıtma prosesleri veya ozon gibi oksidasyon işlemleri sıklıkla uygulanır. Bu yöntemlerin güvenilirliği birçok kez kanıtlanmıştır (Dutta, vd., 2021). Yukarıda bahsedilen uygun arıtma işlemlerinin ardından membran filtrasyonu (NF veya TO) kullanılarak atıksuyun geri kazanımı gerçekleştirilebilir. Konsantrenin alıcı ortam ve kanala deşarjı durumunda ön görülen atıksu geri kazanım oranı %65-70 arasında değişecektir. Geri kazanım için ön görülen maliyet uygulanacak arıtma prosesine bağlı olarak 0,3-0,7 \$/m³ arıtılan atıksu olarak değişim gösterebilir. Maliyet oluşturan ana unsur atıksuyun içeriğindeki TÇM konsantrasyonudur. Sıfır

deşarj hedeflenirse TO sistemi konsantresinin evaporasyonla buharlaştırılması gerekmektedir.

4.3.2.2 Tekstil Endüstrisi

Atıksularının Arıtımı

Tekstil endüstrisi, boyaların ve terbiye maddelerinin uygulanması ve yabancı maddelerin uzaklaştırılması için suyun yoğun olarak kullanıldığı bir sektördür. Tekstil sanayinden kaynaklanan atıksu, birçok kirleticili maddenin bulunduğu ve oldukça değişken bir yapıdadır. Tekstil atıksuyunun kalitesi büyük ölçüde kullanılan boyarmaddelere ve kimyasal girdilerine bağlıdır. Kirleticiler inorganik bileşikler ve elementlerden polimerlere ve organik ürünlere kadar çeşitlilik gösterir. Tekstil endüstrisi için biyolojik arıtma proseslerinin, fizikokimyasal yöntemlere kıyasla tercih edilebilir bir alternatif olduğu rapor edilmiştir (Lin vd., 2012). Özellikle biyolojik olarak parçalanabilir organik madde ve boyar maddelerin giderilmesinde farklı kimyasal yöntemler kullanmak yerine biyolojik arıtma kullanılması daha uygun maliyetlerde işletme

Tablo 4.7: Türkiye’de tekstil atıksuyu geri kazanım örnekleri

Tesis	Kapasite	Geri Kazanım Oranı	Teknoloji
Tesis 1	400 m ³ /gün	%70	MBR + RO
Tesis 2	300 m ³ /gün	%65	MBR + RO
Tesis 3	500 m ³ /gün	%75	MBR + RO + Elektrofenton
Tesis 4	2000 m ³ /gün	%95	MBR + RO + Elektrofenton + Plazma oksijen

sağlamaktadır. Renk giderme verimine odaklanan birçok çalışma mevcuttur; ancak biyolojik olarak renk giderimi %40-60 mertebelerinde kalmaktadır. Biyolojik arıtmada anaerobik bölgeler kullanılarak boyar madde giderim verimi arttırılabilir (Lin vd., 2012). Ancak biyolojik olarak giderilemeyen renk ise membran veya ozon oksidasyonu sistemleri kullanılarak giderilebilmektedir. Enerji geri kazanımı ve daha sonra yeniden kullanıma yönelik endüstriyel atıksu arıtma eğilimi göz önüne alındığında, anaerobik MBR (AnMBR) ve aerobik MBR prosesi, tekstil endüstrisi atık su arıtımı için umut verici teknoloji durumundadır. AnMBR sistemi enerji geri kazanımı, aerobik MBR sistemi ise su geri kazanımı sağlayabilmektedir (Lin vd., 2012).

Membran proseslerle tekstil endüstrisi atıksularından geri kazanımın, su geri kazanımıyla sınırlı olmadığı bilinmektedir. Yapılan çalışmalar atıksu geri kazanımının yanısıra tekstil prosesleri sırasında kullanılan tuz, kostik, boya, haşıl kimyasalları gibi birçok değerli maddenin membran proseslerle ya da membran pro-

seslerin entegre edildiği klasik yöntemlerle geri kazanılabildiğini göstermektedir. Tekstil endüstrisinde suyun tekrar kullanımı için en önemli kriterler; sertlik, tuz konsantrasyonu ve rengin tamamen giderilmesidir. Bu kriterlere, biyolojik arıtma çıkışının nanofiltrasyon veya ters osmoz prosesiyle %60-80 oranında su geri kazanımı yapılan klasik arıtma teknikleri kullanılabilir. Aynı şekilde MBR veya UF uygulanması ile atıksuyun geri kazanımı mümkün olmaktadır (Yurtsever vd., 2019).

Ülkemizde atıksu arıtımı ve geri kazanımı için tekstil endüstrisinde kullanılan uygulama örnekleri Tablo 4.7’de verilmiştir. Arıtma proseslerine bakıldığında ülkemiz uygulamalarında geri kazanım maliyeti MBR+RO sistemi için 0,3-0,39 \$/m³, UF + TO sistemi için 0,45-0,55 \$/m³ su olduğu görülmektedir.

4.3.2.3 Gıda Endüstrisi Atıksularının Arıtımı
Tatlısu ihtiyacının günden güne artması, ciddi su sıkıntıları, kuraklık ve deşarj suyu kalite limit değerlerinin daha da sıkı hale gelmesi,

gıda endüstrisi atıksularının yeniden kullanımını gerekli kılmaktadır. İlave olarak, çevresel ve ekonomik şartlar gıda atıksularının yeniden kullanılmak üzere arıtımını teşvik etmektedir (Casani vd., 2005).

Gıda işleme endüstrisi yüksek miktarda suya ihtiyaç duyar ve global olarak en fazla su tüketen endüstriler arasında üçüncü sırada yer almaktadır (Valta vd., 2016). Genel olarak gıda endüstrilerinin tamamında kullanılan suyun %75'inin içme suyu kalitesinde olduğu kabul edilmektedir.

Gıda endüstrisinin de diğer endüstrilerle birlikte su kullanımında verimliliği artırma yönünde ilerlemesi gerekmektedir. Gıda endüstrisinde atıksu karakterizasyonu; üretimdeki su tüketimi, tesisin kapasitesi, uygulanan prosesler, kullanılan ekipmanlar, vb. farklı faktörlere bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Organik kirliliği fazla olan gıda endüstrisi atıksuları için (anaerobik) biyolojik sistemlerin kullanılması hem verim hem mali-

yet açısından uygunluk göstermektedir (Gurnari & Barbera, 2018). Gıda endüstrisinde tipik atıksular, tesiste yer alan farklı alanlardan gelmekte, zamanla değişime uğrayabilmekte ve atıksu kompozisyonu gıda endüstrisi tipine hatta üretimin hangi aşamasında olduğuna bağlı olarak değişebilmektedir. Bu tip sular toksik bileşikler içermemekte (pestisitlerin suda kirletici olabileceği meyve ve sebzelerin yıkanmasından kaynaklı atıksular hariç), yüksek kimyasal oksijen ihtiyacının (KOİ) yanısıra bazı durumlarda yüksek toplam çözünmüş katı madde miktarı ile karakterize edilmektedir. Bu yüksek içerikler, organik (proteinler, karbonhidratlar, yağlar) ve inorganik (tuzlar, katkı maddeleri, boyalar) bileşenlerden kaynaklanmaktadır.

Gıda sektöründe atıksu geri kazanımı için yapılan bazı çalışmalara aşağıda değinilmiştir.

- Süt endüstrisinde temizleme aşamasında yüksek miktarda asit ve alkali çözeltiler kullanılmaktadır. 1.5 milyon litre süt için gereken kimyasallar 3500 kg NaOH, 1000

Gıda işleme endüstrisi yüksek miktarda suya ihtiyaç duyar ve global olarak en fazla su tüketen endüstriler arasında üçüncü sırada yer almaktadır.

kg HNO₃ ve 1000 kg deterjan olarak listelenebilir (Fernandez vd., 2010). Bunların geri kazanımı için NF teknolojisi, çöktürme, santrifüj ve MF teknolojileri kullanılmaktadır. MF, UF veya NF tekniklerinin uygulanması, yüzey aktif maddenin süzüntü akımında geri kazanımı veya konsantrasyonunda geri kazanımına bağlı olarak değişmektedir. Eğer yüzey aktif maddeler, kritik misel konsantrasyonunun (KMK) altında ise bu tekniklerin hiçbiri ile tutulamaz fakat eğer KMK'nin üstünde ise MF veya UF teknikleri bu bileşenleri tutabilmektedir.

- Seyreltik kostik ve asidik yıkama çözeltileri (8.000-10.000 mg /L arasında KOİ içeren) 150-300 Da arasında molekül ağırlığı ayırma sınırı değerine sahip NF membranları ile geri kazanılabilmektedir. NF, endüstriyel CIP (Clean in Place (Yerinde Temizlik))'lerde de karşılaşılan ve çeşitli varyasyonlarda çözelti kompozisyonları içeren kostik çözeltilerinin geri kazanımında iyi bir performans göstermektedir (Muro vd., 2012).

- Peynir ve balık işletme atıksularında protein ve işlevsel proteinlerin geri kazanımı için membran teknolojilerine ait uygulamalar da literatürde yer almaktadır.

> UF'li membran teknikleri kullanılarak süt işleme atıksularının zenginleştirilmiş laktoz ve zenginleştirilmiş protein akımlarına ayrılması değerlendirilmiştir (Chollangi ve Hossain, 2007). Membranların gözenek boyutuna göre de laktoz geri kazanımı %70'den %100'e kadar çıkmıştır.

> Balık işleme prosesinden açığa çıkan atıksularla ilgili olarak, deşarj suları yüksek miktarda değerli protein potansiyeline sahiptir. Bu proteinler UF ile konsantrasyon edilebilmekte ve balık yemi prosesine geri döndürülebilmektedir. Bu da bu ürünün kalitesini ve ekonomik faydasını arttırmakta, arıtılan atıksu denize deşarj edilebilmekte veya tesiste tekrar kullanılabilir. UF uygulamasının balık yemi atıksularında organik yükü düşürdüğü ve proteinleri içeren değer-



li maddelerin geri kazanımını sağladığı gösterilmiştir. Özetle; membranların biyokimyasal bileşenleri için (proteinler ve lipidler) yüksek tutunum oranına sahip olduğunu belirtmiştir (Afonso vd., 2002).

Gıda endüstrisinde atıksu kaynağına göre geri kazanım amaçlı uygulanabilecek arıtma prosesleri Tablo 4.8'de verilmiştir (AAT Teknik Usuller Tebliği, 2010).

Tablo 4.8: Gıda endüstrisinde geri kazanım amaçlı uygulanabilecek prosesler

Endüstri/Atıksu kaynağı	Entegre membran arıtma prosesi	Su Geri Kazanımı	Kaynak
Süt İşletmesi/Konsantre ve kurutma basamaklarından buhar kondensatları	Kartuş filtre-NF-TO-UV-Oksidasyon	İçme suyu	Chimel vd. (2003)
	İki basamaklı NF sistemi	Buhar kazanında kullanım	Mavrov vd. (2000); Chimel vd. (2000); Cuda vd. (2006); Vourch vd. (2008)
Süt İşletmesi/Flaş soğutucu	Kartuş filtre-NF-UV	Buhar kazanı hazırlama suyu	Koo vd. (2011)
Süt/Şişe makineleri, peynir işleme	UF ve TO	Belirtilmemiş	Rögener vd. (2002); Tay ve Jeyaseelan (1995)
	MF, UF, NF	Belirtilmemiş	Scharnagl vd.(2000); Muro vd. (2012)
İçecek/şişe durulama, mayalama, berrak bira rezervuarı	MBR-NF, TO	Belirtilmemiş	Mavrov ve Belieres (2000); Braeken vd. (2004); Simate vd. (2011); Cornelissen (2002); Blöcher vd. (2002)
Meyve ve sebze prosesi/ Durulama, tahıl prosesi	MF, UF, NF, TO	Durulama	Rajkumar vd. (2010); Muro vd. (2012)

Tablo 4.9: Gıda endüstrisi atıksularının ileri arıtım örnekleri

Tesis	Kapasite (m ³ /gün)	Teknoloji	Ülke
Süt Ürünleri	250	MBR	Türkiye
Dondurma	840	MBR	Türkiye
Tavuk Kesimhanesi	750	MBR	Romanya
Ton Balığı Konserve Fabrikası	1000	MBR	Meksika
Süt	200	MBR	Güney Afrika
Gıda Üretim	250	AMBR	İngiltere
Paketli Atıştırmalık Üretimi	30	MBR	ABD

Membran teknolojisindeki gelişmeler gıda endüstrisinde atıksu arıtımı için birçok fayda sağlamıştır. Membranların uygulanmasıyla, ayrılan bileşenler ve temiz su yeniden kazanılabilmekte ve kolaylıkla yeniden kullanılabilir. Gıda endüstrisinde ülkemizde ve dünyada kullanılan bazı uygulamalar Tablo 4.9'da verilmiştir.

4.3.2.4 Metal Endüstrisi

Atıksularının Arıtımı

Doğada yaygın olarak dağılan ağır metaller, limit değerlerini aştıkları her yerde genellikle insan sağlığına ve ekosisteme zararlı bir madde olarak değerlendirilmektedir. Bu nedenle, su kütleleri gibi doğal kaynakları bu kirleticilerden korumak zorunluluk arz etmektedir.

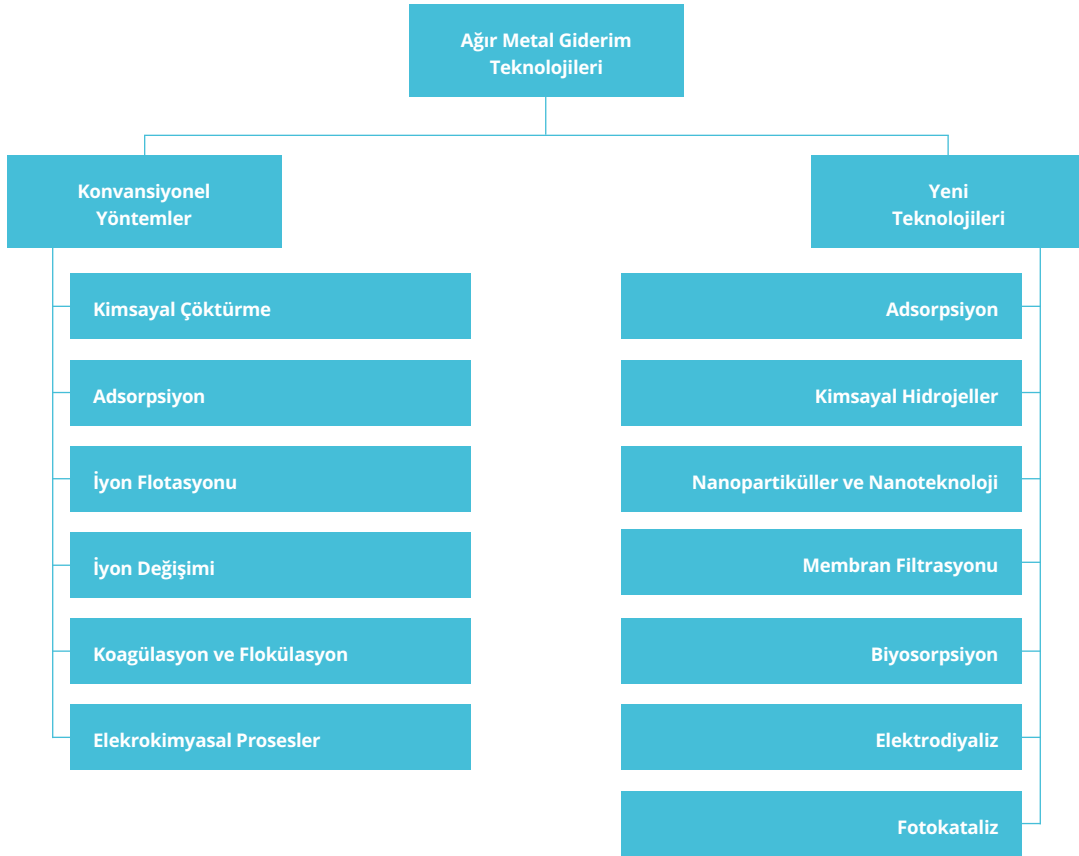
Metal endüstrisinden kaynaklanan atıksuların, deşarj edilmeden önce genel olarak elektrokimyasal ve fizikokimyasal yöntemler kullanılarak arıtılması gerekmektedir. Farklı yöntemler

kullanılarak ağır metaller için %12-100 arasında değişen verimlilikle giderimler elde edilebileceği gözlemlenmiştir. Kimyasal çöktürme, NF, adsorpsiyon, elektroflotasyon ve koagülasyon gibi yöntemlerin kullanılması, ağır metalleri neredeyse (>%99) uzaklaştırabilir. Metal endüstrisinde kullanılan arıtma yöntemlerinin birçoğu kimyasal arıtma odaklıdır (Roy, vd., 2021).

Yeni bir yöntem olan biyoadsorpsiyon, biyolojik bir yöntem olmakla birlikte ağır metallerin atıksulardan uzaklaştırılması için düşük maliyetli ve kimyasal yöntemlere kıyasla daha çevre dostu bir proses olarak değerlendirilmektedir. Ancak optimize edilerek kimyasal arıtma maliyetlerinin düşürülmesi halinde metal içeren atıksular için hala en etkili arıtma yönteminin fiziko-kimyasal arıtma yöntemleri olduğu belirtilmiştir (Guntalake, 2015). Metal endüstrisi atıksularının ağır metal giderimi için kullanılan başlıca arıtma teknolojileri Şekil 4.18'de verilmiştir.

Şekilde, metal endüstrisi atıksularının ağır metal giderimi için kullanılan başlıca arıtma teknolojileri gösterilmektedir.

Şekil 4.18: Metal endüstrisinde kullanılan başlıca arıtma yöntemleri (Shrestha vd., 2021).



5. SANAYİ İÇİN İKLİM DUYARLI YOL HARİTASI

5.1 İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN SANAYİ SEKTÖRÜ VE ALT SEKTÖRLERİNDE YOL AÇMASI BEKLENEN RİSK VE TEHLİKELER

İklim değışikliği kaynaklı riskler sanayi sektörü için iki grupta incelenmektedir. Bunlar *fiziksel riskler* ve *geçiş riskleri* olarak tanımlanmaktadır (Şekil 5.1). Fiziksel riskler kuraklık, sıcak hava dalgası, şiddetli yağış ya da taşkın gibi IPCC tarafından yıllar içinde

oluşma sıklığı ve şiddetinin artacağı belirtilmiş iklim etkileridir. Geçiş riskleri ise düşük karbon ekonomisine geçiş sırasında oluşan risklerdir. Özellikle karbona dayalı sektörler için düşük karbon ekonomisine geçiş sürecinde değer kaybı, üretimde maliyetin artması vb. durumlar oluşabileceği için bu sektörlerin finansal ihtiyaçlarının değışmesi söz konusudur (WB, 2020).

İklim değışikliğine bağlı olarak işletmeler, işgücü, altyapılar, üretim ham- maddeleri ve yardımcı maddeler ile varlıklar için ortaya çıkan riskler fiziksel risklerdir.





Şekil 5.1: İklim değişikliğinin sanayi sektörü ve finansal yapı üzerindeki riskleri ve etkileri (WB, 2020)



Bugüne dek yapılan çalışmalar fiziksel risklerden daha çok düşük karbon ekonomisine geçiş riskleri üzerine yoğunlaşmış durumdadır (UNEP, 2018; EPA, 2023). Oysaki gelecek dönemlerde oluşması beklenen fiziksel risklerin de çalışılıp ve uyum stratejilerinin belirlenmesi uygulamaya geçilmesi açısından önemlidir. Bu bölümde, fiziksel riskler üzerinde durulacaktır.

Fiziksel riskler, iklim değişikliğine bağlı olarak işletmeler, işgücü, altyapılar, üretim hammaddeleri ve yardımcı maddeler ile varlıklar için ortaya çıkan riskleri belirten terimdir. *Akut ve kronik riskler* olarak ikiye ayrılır. Akut fiziksel riskler daha kısa sürede ortaya çıkan, örneğin fırtınalar, taşkın vb. hava olaylarından meydana gelirken, kronik fiziksel riskler

iklimde meydana gelen uzun süreli değişimlerle, örneğin sıcaklık ve yağış rejiminde meydana gelen değişimler, deniz seviyesi yükselmesi vb. gibi ortaya çıkan risklerdir (Moody, 2021a).

İklim değişikliğine bağlı fiziksel risklerle başa çıkmak için işletmelerin hangi iklim tehlikesine maruz kalacağı ve bu maruziyetin zamanla nasıl değişeceği üzerine bilgi sahibi olmak gerekmektedir. Yatırımcılar ve bankalar iklim risklerine genellikle port folyolarında sahip oldukları tüzel kişiler ve varlıklar üzerinden maruz kalırken; şirketler genellikle operasyonlarını yaptıkları bölgeler ve sahip oldukları fabrikalar, depolama alanları vb. varlıklarının iklim tehlikelerinin doğuracağı riske açık olup olmamasıyla maruz kalırlar (Moody, 2021a).

Moody'in fiziksel riskler üzerine yaptığı kapsamlı bir çalışmaya göre elde edilen bazı bulgular aşağıda özetlenmektedir (Moody, 2021b).

- Fiziksel riskler küresel olarak tüm sektörlerin üretim işleyişlerini tehdit etmektedir. Sektörlerin büyük çoğunluğu sıcaklık ve su stresinden büyük ölçüde etkilenmekte ve bu durum insan sağlığı, kaynaklara olan talep ve faaliyetler üzerinde çok yönlü etkilere neden olmaktadır.
- İmalat sektörü, iklim tehlikelerinden en çok etkilenen sektör olarak tespit edilmektedir. En çok etkilenen alt-sektörler; elektronik-elektrik ürünleri üretimi, petrol ve kömür ürünleri üretimi, metal olmayan mineral üretimi, gıda ve kimya sektörleridir.
- Emlak ve inşaat sektörleri akut iklim risklerinden daha çok etkilenebilmektedir. Orman yangınları, taşkın ve fırtınalar bu sektörleri en çok etkileyen tehlikelerdir.
- Kimyasal üretimi yapan şirketler için sıcaklık stresinin yanı sıra, üretim için gerekli temiz suya ulaşım da su stresinden önemli ölçüde etkilenmektedir.

Artan doğal afetler ve yıllar içinde artması beklenen iklim değişikliğine bağlı tehlikeler göz önüne alındığında iklime duyarlı sanayi sektörlerinin, fiziksel riskleri de göz önünde bulundurup, risklerini değerlendirmeleri gerekmektedir. Fiziksel risklerin değerlendirilmesi yapılırken hem zaman içinde yavaş ama sürekli bir şekilde gelişen etkiler (örneğin deniz seviyesi yükselmesi, vb.) hem de aşırı hava olayları (örneğin sıcak hava dalgası, şiddetli yağışlar, vb.) değerlendirmeye katılmalıdır. Yavaş gelişen etkiler sıcaklık ya da yağış rejiminde değişime neden olduğu için ekonomik çıktıyı ve üretimi etkilerken; aşırı hava olayları hasara, işletmede ve üretimde aksaklıklar ile varlıklar üzerinde değişimlere neden olmaktadır. Aşırı hava olayların, oluşma sıklıkları ve şiddetlerinin giderek artması ile daha kolay gözlemlenebilir hale gelmesi dolayısıyla fazla ilgi çekmeye başlamaktadır. Ancak, yavaş gelişen etkiler de doğru planlamaların yapılması için göz ardı edilmemelidir. Bu bağlamda sanayi sektörü ve alt sektörlerine performanslarını doğru-

IPCC'nin Ağustos 2021'de yayınladığı ilk sentez raporuna göre dünyanın ortalama yüzey sıcaklığındaki artışın neredeyse 1,1°C'ye ulaştığı belirtilmektedir.

dan veya dolaylı etkileyebilecek unsurlara karşı önceden önlem almaları ve uygulamaya geçmeleri beklenmektedir. Taşınamaz varlıklara olan etkiler; ürünlerde meydana gelen değişimler, tedarik zincirlerinde bozulmalar, mal ve ürünlere olan talepte değişimler vb. gibi potansiyel etkilerdir (UNEP, 2018).

5.1.1 İklimle Bağlı Risk ve Tehlikeler

Sanayi devrimi ile atmosfere yapılan insan kaynaklı etkiler önemli ölçüde artmış ve yer yüzeyindeki ortalama sıcaklıklarda artış gözlemlenmiştir. IPCC'nin Ağustos 2021'de yayınladığı ilk sentez raporuna göre dünyanın ortalama yüzey sıcaklığındaki artışın neredeyse 1,1°C'ye ulaştığı belirtilmektedir (IPCC, 2021). Dünya yüzeyindeki bu sıcaklık artışı, buharlaşma ve yağış miktarının artmasına neden olmaktadır. Fakat bu yağışlar ekstrem yağışlar olarak meydana gelmekte olup, oluşum sıklığı ve şiddeti artan yağışlar olarak düştüğünden, sel ve taşkın risklerini arttırmaktadırlar. Bu hususlar çalışmanın iklim değişikliğinin su

kaynaklarına etkisi bölümünde detaylı olarak ele alınmaktadır.

Aşırı hava olaylarında görülme sıklığında ya da şiddetindeki değişimi tanımlayabilmek için literatürde ekstrem iklim indisleri kullanılmaktadır. Ekstrem iklim indisleri, tanımlanan bir bölgede, belirli bir eşik değer üzerindeki veya altındaki yağış ve sıcaklık değerlerinin ortalamadan farklı olarak aşırı iklim olaylarını tanımlamaktadırlar. Yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde, genel olarak en çok çalışılan tekil tehlikeler kuraklık ve şiddetli yağış olduğu göze çarpmaktadır. Kuraklık, şiddetli yağış ve sel, sıcak hava dalgası, şiddetli rüzgâr ve orman yangını tehlikelerini iklim indisleri ile incelemek ve değerlendirmek mümkündür.

Ortalama sıcaklık artışı için uzun dönemli sıcaklık değişimi analizleri yapılmaktadır. Heyelan, su stresi ve deniz seviyesi yükselmesi tehlikeleri için güvenilir küresel kaynaklardan bilgi ve veri toplanarak sonuçları analiz edilmektedir.

TOB SYGM tarafından 2016 yılında tamamlanan İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi (TOB, 2016) kapsamında üretilmiş olan, tüm Türkiye için çalışılmış 10 km çözümlükteki bölgesel iklim projeksiyonları iklim tehlikelerinin detaylarına işaret etmektedir. Anılan çalışmadan ortaya çıkan ve ülkemiz açısından önemli olan iklim tehlikeleri Tablo 5.1'de gösterilmektedir. Görüldüğü üzere 9 iklim tehlikesinden 5'i su odaklı olup, diğer 4'ü de sıcaklık ve rüzgâr etkisi ile ortaya çıkmaktadır.



Tablo 5.1: 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

İklim değişikliğine bağlı olarak artan sıcaklık değerleri ve kuraklıkla ilişkili olarak su miktarında azalma ve artan nüfus yoğunluğu ile su stresi giderek artmaktadır.

Ortalama sıcaklık artışı, belirlenen referans dönemi ortalama sıcaklık değerlerinin gelecek dönem periyotlarındaki değişimini ifade etmektedir. Sıcaklık değerleri için gelecekte beklenen değişim sürekli artan yönde olduğu için ortalama sıcaklık artışı olarak tanımlanmıştır.

Meteorolojik kuraklık, toplam yağışın uzun yıllar ortalamasının ya da normalinin altına düşmesi sonucu oluşun su kıtlığı olarak tanımlanabilir. Kuraklık olgusu karakteristik özelliklerine göre meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik kuraklık olmak üzere 3 başlıkta incelenmektedir. Meteorolojik kuraklık, bir bölgeye düşen yağış miktarının normalin altında kalması ile ilişkilendirilmektedir.

Şiddetli rüzgâr, ani veya sürekli meydana gelen güçlü atmosferik düzensizlik olarak tanımlanmaktadır. Şiddetli rüzgâr hadisesi, küçük ölçekte yerel olarak başlayarak bir kıtanın önemli bir bölümünü kapsayacak kadar gelişebilir. Geçmiş verilerden elde edilen bilgiye göre yaşanan şiddetli rüzgâr hadiselerinin gö-

rüldüğü bölge, görülme sıklığı ve rüzgâr hızındaki yıllık değişkenlik sebebiyle sürekli trend yakalamanın kolay olmadığı belirlenmiştir (EEA, 2017). Mekânsal olarak hassasiyeti yüksek olan şiddetli rüzgâr tehlikesinin küresel ve bölgesel iklim modelleriyle belirlenmesi çözünürlük kısıtlaması sebebiyle oldukça zordur. Mekânsal olarak hassasiyeti ele almak üzere eşik bazlı iklim indisi ile şiddetli rüzgâr tehlikesi için analiz yapmak doğru yaklaşım olarak değerlendirilmektedir.

Şiddetli yağış ve sel, bölgesel olarak değişiklik göstermesine karşın, bir bölge üzerinde gözlemlenen ani veya uzun süreli yağışın, o bölgedeki ortalama yağış miktarının üzerinde olduğu hadise olarak tanımlanmaktadır. Şiddetli yağış sebebiyle geçirimsiz yer yüzeyi üzerinde sel riski ve doygun eğimli arazi üzerinde heyelan riski de oluşmaktadır. Ancak şiddetli yağışlar nedeniyle meydana gelen sel ve heyelan afetleri, sadece iklim değişikliği kaynaklı afetler değillerdir. Nüfus yoğunluğu, taşkın yatağı gelişimi ve arazi kullanımı gibi faktörler ve şiddetli yağış sebebi-

le gelişirler. Şiddetli yağışın toplam yağış miktarı ve gerçekleşme süresi, tehlikenin boyutunu tanımlamada en önemli belirleyicilerdir.

Orman yangını insan kaynaklı başlayabildiği gibi atmosferik koşulların uygun olması ile şiddeti değişim göstermektedir. Sıcaklık değerlerinin artışı ile atmosferdeki nem oranının azalması, yer yüzeyinin daha kuru hale gelmesine ve yangına elverişli durumun oluşmasına sebebiyet vermektedir. Özellikle Akdeniz tipi ekosistemlerde yangın oluşumu, özellikle yaz aylarında, hava sıcaklığına, rüzgâr koşullarına ve yanıcılığı arttıran kuraklık koşullarına bağlıdır.

Sıcak hava dalgası, sıcaklık değerinin belirlenen eşik değer üzerinde seyrettiği ardışık en az üç gün olarak belirlenmektedir (Naumann vd., 2020). Atmosfer sıcaklığının artması ile normalden yüksek olduğu ölçülen sıcaklık değerlerinin görüldüğü gün sayısı da artmaktadır. Son yıllarda dünya genelinde özellikle gece sıcaklıklarında ve sıcaklığın ortalamadan

yüksek olduğu günlerin sayısında ciddi bir artış görülmektedir. Sıcak hava dalgalarının görüldüğü gün sayısı tehlikenin belirlenmesinde en önemli parametrelerdendir. Sıcak hava dalgalarındaki artış kuraklık ve orman yangını tehlikelerini de tetiklemektedir.

Heyelan eğim, yağış miktarı vb. faktörlere bağlı olarak kaya, toprak veya moloz kütlelerinin bir yamaçtan aşağıya doğru yerçekimi kuvveti ile hareketi olarak tanımlanmaktadır (Cruden, 1991). Heyelanlar, can ve mal kaybı açısından büyük tehdit oluşturmakla beraber nerede, ne zaman ve nasıl olacağını belirlemek açısından oldukça zorlayıcıdır. Şiddetli yağış olayları heyelanlar için en önemli tetikleyici faktörlerden biri olarak görülmektedir. Bu nedenle sık ve şiddetli yağış alan dağlık arazilerin heyelan tehlikesine karşı duyarlılığı yüksektir. İklim değişikliği etkileri ile artan ve daha da artması beklenen sık ve şiddetli yağışlara bağlı olarak gelecekte de şiddetli yağış kaynaklı heyelan tehlikesinin giderek artacağı öngörülmektedir.

Su stresi, belirli bir süre boyunca mevcut su miktarından fazla su talep edilmesi veya kullanılabilir su miktarının azalması durumunda ortaya çıkmaktadır. Nüfus yoğunluğu ve kullanılabilir su miktarı su stresi için temel bileşenlerdir. Kullanılabilir su miktarının nüfusa oranı ile elde edilen su stresi bilgisi ülkelerin su kaynakları açısından kritik önemdedir. İklim değişikliğine bağlı olarak artan sıcaklık değerleri ve kuraklıkla ilişkili olarak su miktarında azalma ve artan nüfus yoğunluğu ile su stresi giderek artmaktadır.

Deniz seviyesi yükselmesi, artan sıcaklık ile eriyen buzullardan dolayı su bütçesine eklenen su miktarı ve okyanus suyunun termal genişmesi sebebiyle görülen bir tehlikedir. Deniz seviyesindeki yükselme, gelgit taşkınlarının daha fazla görülmesine ve kıyı yerleşimindeki yoğun nüfusunun maddi ve manevi bakımlardan hasar görmesine sebep olmaktadır. Uydular yardımıyla küresel ölçekte elde edilen deniz seviyesi bilgisi ile deniz seviyesi miktarındaki artış trendi belirlenebilmektedir.

5.1.2 Sektörel Duyarlılık

Sektörel duyarlılıklar belirlenirken her bir sektörün kendi özel yapısı göz önüne alınmalıdır. İmalat sektörünü etkileyebilen tehlikeler ile enerji sektörünü etkileyebilen tehlikeler hem her zaman aynı değildir hem de aynı olduğu durumlarda bile etkileri derece olarak farklılık gösterir. Farklı sektörlerde sahip olunan varlıklar, açık alan/kapalı alan oranları, suya ihtiyaçları vb. etkenlerin farklılıkları sektörel duyarlılıkları değiştirmektedir. Örneğin, üretiminde yüksek miktarda suya ihtiyaç duyan kuruluşlar suya ulaşılabilirlik ve kuraklık durumlarında daha yüksek duyarlılıklara sahiptirler. Ya da elektrik kullanımı ve/veya açık alan ihtiyacı fazla olan kuruluşlarda da enerji maliyetlerini arttırdığı ve üretim verimliliğini düşürdüğü için sıcaklıkta meydana gelen artışa olan duyarlılık yüksektir. Tüm iş sektörlerinin ise bir şekilde şiddetli rüzgâr ve taşkınlara duyarlılığı bulunduğu varsayılmaktadır (EBRD-GCECA, 2018).

Üretim sektöründe en büyük sektörel farklılıklar su kullanımı ve ekstrem sıcaklıklar ile ortaya çıkmaktadır. İmalat yapmak için kullanılmak zorunda olan su miktarı, sektörü su stresine karşı duyarlı hale getirmektedir (UNEP, 2020). Ancak yine de üretim sektörünün tüm alt-sektörleri hemen hemen tüm iklim tehlikelerine karşı duyarlıdır (Moody, 2021a).

Üretim sektörünün iklim risklerinden en çok suya bağımlı olanlarından etkileneceği ortaya çıktığına göre, bir örnek çalışma ile ana üretim sektörlerindeki duyarlılık derecelendirilmesi, uzman görüşüne dayalı olarak, yapılabilir. Böyle bir çalışmada sektörlerin suya bağımlılıkları (tekstil, gıda, kimya vb.), iş gücü yoğunluğu (yoğun iş gücü olan inşaat ve tekstil gibi sektörlerde çalışan sağlığı) ve teknolojik özellikleri (termik santrallerde soğutma ihtiyacı artacağı için iç verimliliğin düşecek olması) gibi kriterlerin de göz önünde bulundurulması gerekir.

Sanayi sektörünün (imalat/üretim) duyarlılık derecelendirilmesi açısından suya bağımlılığı 2 şekilde değerlendirilmelidir.

- Suyun ana hammadde olarak kullanıldığı sektörler (gıda sektörü, alkollü ve alkolsüz içecekler gibi)
- Soğutma suyu ihtiyacı (demir-çelik sanayi, cam sanayi gibi)
- Üretimin çeşitli aşamalarında yıkama, durulama gibi işlemlerde su kullanımı (deri, tekstil, kağıt sanayi gibi)

Tablo 5.2'deki örnek çalışmada, özellikle suya bağımlılığın öne çıktığı bir duyarlılık derecelendirilmesi, ilgili seçili kriterler ve ağırlıkları temelinde verilmektedir. Derecelendirme 1-5 arasında değişmekte olup 1 en zayıf etki, 5 ise en yüksek etki olarak değerlendirilmiştir.

Tablo 5.2: Sektörel duyarlılık kriterleri, ağırlıklandırılması ve derecelendirilmesi (örnek çalışma)

Sanayi Sektörü		Üretimde/ Proseste Suya Bağımlılık	Su kalitesi	Suya Teknolojik gereklilik (soğutma suyu gibi, yıkama suyu gibi)	İş gücü yoğunluğu (İnsan sağlığı)	Aşırı hava olayları (Taşkın, kuraklık)	Toplam Duyarlılık değeri	
		%50	%20	%20	%5	%5	%100	
1		Tarım ve tarıma dayalı ürünlerin üretimi (Orman ve orman ürünleri dahil)	5	4	1	5	5	4,00
2		Tekstil ve deri sanayi	5	3	2	4	2	3,60
3		Kâğıt ve karton sanayi	4	2	3	3	2	3,25
4		Metal ve metal işleme sanayi (Otomotiv, metal eşya üretim sanayi vb. dahil)	1	1	3	3	2	1,55
5		Demir-Çelik Sanayi (Cevher hazırlama/ işleme vb. hammadde hazırlık prosesleri dahil)	3	1	3	2	2	2,5
6		Maden Sanayii (Cam, çimento, toprak, mermer vb. çıkarma ve işleme faaliyetleri)	3	1	4	4	4	2,9
7		Kömür Hazırlama ve İşleme Tesisleri	3	1	4	4	4	2,9
8		Termik santraller	5	1	5	3	3	4,0
9a	Gıda	Hayvan Besiciliği ve Kesim Faaliyetleri	5	5	4	1	4	4,55
9b	Gıda	Sebze meyve işleme tesisleri (Bitkisel yağ üretimi dahil)	5	5	4	2	3	4,55
9c	Gıda	Süt ve süt ürünleri imalatı	5	5	4	1	3	4,33
9d	Gıda	Alkollü ve alkolsüz içecek imalatı	5	5	4	1	2	4,36
9e	Gıda	Kuru gıda ürünleri imalatı (Un ve unlu mamuller, şeker, nişasta, baharat, çay, şekerleme, çikolata vb. üretimi dahil)	3	3	2	2	2	2,53
10a	Kimya	Plastik ve Kauçuk Ürünleri İmalatı	2	1	1	3	1	1,56
10b	Kimya	Petrol ürünleri ve petrokimya sanayi (Organik, inorganik kimyasallar, gübre üretimi dahil)	3	2	3	2	2	2,70
10c	Kimya	Kozmetik, sabun, deterjan, yüzey aktif madde vb. imalatı	4	3	2	2	1	3,05
10d	Kimya	Boya, boya hammadde ve yardımcı madde vb. üretimi	3	1	1	2	1	2,05
10e	Kimya	İlaç Sanayi (Farmosotik ürünler, aşı, hayvan ilaçları, pestisitler dahil)	3	5	3	3	1	3,26



5.2 SANAYİ SEKTÖRÜNDE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ ETKİLERİNİN AZALTILMASI VE UYUM SÜRECİ POLİTİKALARI

Massachusetts Institute of Technology (MIT) ve Boston Consulting Group (BCG) tarafından gerçekleştirilen ve ABD’de 2000’e yakın şirket yöneticisinin katıldığı güncel bir anket çalışmasında; iklim değişikliğinin firmaların “sürdürülebilirlik” gündeminde oldukça düşük bir sırada yer aldığı ortaya konmuştur. İşletmelerin %67’si iklim değişikliğinin gerçek olduğuna inanmasına rağmen, bunun çok önemli bir konu olduğunu belirtenlerin oranı sadece %11’dir. Ankete katılan şirketlerin %27’si iklim değişikliğinin kendileri için bir risk olduğunu düşünmekle birlikte, sadece %9’u bu risklere hazırlıklı olduklarını düşünmektedirler (Arat vd., 2003; Gandhi vd., 2006; Hilmioğlu vd., 2015; Davarcioğlu, 2017)

Birleşmiş Milletler’in 2030 Sürdürülebilirlik Ajandası’nda sanayilerin rolü oldukça nettir. “Sanayi, Yenilikçilik ve Altyapı” başlıklı 9. Sürdürülebilir Kalkınma Amacı doğrultusunda

ülkelere sanayilerini kapsayıcı ve dayanıklı olarak planlamaları öğütlenmiştir. Sanayilerin iklime dirençli olarak planlanması, 9. Sürdürülebilir Kalkınma Amacı’nın hemen hemen bütün hedeflerine ve 13. Sürdürülebilir Kalkınma Amacı olan İklim Eylemi’nin de bütününe doğrudan ve dolaylı yollarla katkı sağlayacaktır (SKA, 2019).

İklim değişikliği sorununa karşı azaltım ve uyum faaliyetlerinin sanayici tarafından benimsenmesi büyük önem taşımaktadır. Ülkemizde Su Verimliliği Seferberliği kapsamında endüstriyel faaliyetlerde su kullanım verimliliğinin artırılması ve verimlilik tedbirlerinin yaygınlaştırılmasıyla sanayi sektöründe %50’ye varan oranlarda su kazanımı hedeflenmektedir (Su Verimliliği, 2023). Sanayi sektöründe su kullanım verimliliğinin artırılması ve verimlilik tedbirlerinin yaygınlaştırılması adına Tarım ve Orman Bakanlığı (TOB) Su Yönetimi Genel Müdürlüğü (SYGM) tarafından yürütülmüş Endüstriyel Su Kullanım Verimliliği Projesi kapsamında Sanayi Sicil Bilgi Sisteminde yer alan sektörel su tüketim verile-

Tablo 5.3: Uyum faaliyetlerinin sıralanabildiği ve sektörel analizlerin yürütülebileceği sektör ayrımları

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

ri analiz edilerek NACE Kodu bazında, tekstil, gıda, kimya, ana metal sektörleri başta olmak üzere yüksek su tüketimine sahip 35 ana sektörde 400 adet pilot tesis belirlenerek saha ziyaretleri ve yüz yüze görüşmeler gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen görüşmelerde işletmelerde sektörel su kullanım ve atıksu oluşum bilgileri, ihtiyaç duyulan tedbirler ve potansiyel su tasarruf oranları belirlenerek ülkemizdeki mevcut durum ve su verimliliği olanakları ortaya koyulmuştur. Su Verimliliği Seferberliği Seferberliği çıktılarında olan ve 2023-2033 dönemini kapsayan Su Verimliliği Strateji Belgesi ve Eylem Planı kapsamında endüstriyel su verimliliği eylem planı hazırlanarak sanayi için yol haritası oluşturulmuştur. Bu belgede tüm su kullanan sektörler için önümüzdeki 10 yıllık süreçteki hedefler ve stratejiler ortaya konmuş olup, karşılaşılan darboğazlara ve çözüm yollarına ayrıntılı olarak yer verilmiştir.

Söz konusu edilen uyum süreci politikaları dışında Sanayi Sektöründe su kullanımı odaklı iklim değişikliği etkilerinin azaltılmasına ilişkin planlama önerilerine ayrıca İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesinin Uyum Politikaları bölümünde yer verilmiştir (TOB, 2016). İklim değişikliğinin etkilerinin azaltılması için uygulanacak uyum faaliyetlerinin çeşitli sektörler bazında değerlendirildiği söz konusu raporda, farklı kıta, birlik, eyalet ve ülke örnekleri derlenmiştir. Dolayısıyla ilk aşamada, ülkemizi temsil edebilecek nitelikteki ve özellikle iklim değişikliğinden etkilenebilirlik ihtimali yüksek olan sektörlerin seçimi yapılmalıdır. Bu bağlamda diğer ülkelerde göz önüne alınan sektörlerin kapsamı değerlendirilerek, Türkiye için aşağıda belirlenmiş olan 12 ana sektörün seçilmesinin uygun olduğu düşünülmüştür. Bu sektörler Tablo 5.3'te yer verilmektedir.



Bu sektörlerin seçiminde ülkemizin coğrafi özellikleri, konumu, çevresel sorunları, iklimsel özellikleri, arazi kullanımı, kentleşme düzeyi, teknik ve ekonomik gelişmişlik seviyesinin yanı sıra, sosyo-ekonomik yapısı ile finansal gelişmişlik durumu da dikkate alınmıştır. Analizlere konu olan 9. Sektör Sanayi-Ticaret ve Enerji Sektörü'dür. Bu başlık altında sıralanan iklime uyum önerilerinden su odaklı olanlara aşağıda yer verilmiştir (TOB, 2016):

- Sanayi üretim süreçlerinde su tasarrufu yöntemlerinin etkinleştirilmesi.
- Enerji tesislerinde ve istasyonlarında daha etkili soğutma sistemlerinin kullanılması.
- Yaz aylarındaki kuraklıklara karşı önlem olarak enerji santrallerinin soğutma sistemleri için acil su bağlantılarının kurulması.
- Aşırı yağışlara karşı koruma ve yağmur suyunun daha iyi uzaklaştırılmasını sağlamak amacıyla, üretim tesislerinde yağmursuyu sistemlerinin geliştirilmesi.
- Tesis içi su yönetimi, atıksuyun arıtılarak yeniden kullanılması, kullanılabilir du-



rumda olan çözünmüş elementlerin ayrıştırılması.

- Tesislerin aşırı yağış ve taşkınlara karşı korunmasının sağlanması.
- Farklı iklim değişikliği senaryolarının su kaynaklarına ve hava soğutmalı sistemlere bağlı enerji üretim tesisleri üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi.
- Suyu biriktiren ve atıksu oluşturmayan proseslerin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması. Bu sayede suya daha az bağımlı olan kimya, kâğıt ve tekstil endüstrilerinin geliştirilmesi.

Sözü edilen tüm uyum önerilerinin temel hedefi sanayide suyun verimli kullanılmasının sağlanmasıdır. Böylelikle, *çevresel kazanımların* (temiz üretim teknolojileri tercih edilerek kirliliğin azaltılması) yanı sıra *ekonomik kazanımlar* (hammadde, enerji su tasarrufu; ürün ve proses iyileştirmeleri), *sosyal kazanımlar* (yeni ve gelişmiş teknolojilerin kullanılması ile rekabet gücünün artırılması; işletme/ marka değeri ve tüketici itibarının artması) ile *kurumsal kazanımlar* (işletmede çalışanların motivasyonlarının artması; çevre bilincinin artması; Ar-Ge çalışmalarının değer



kazanması) elde edilmesine yol açacaktır. Bu kazanımlar bağlamında önümüzde yıllarda uygulamaya geçmesi beklenen **Sanayi için İklim Duyarlı Bütüncül Yol Haritası Önerisi** yapılmıştır.

5.3 SANAYİ İÇİN İKLİM DUYARLI BÜTÜNCÜL ANLAYIŞA DAYALI SU-ATIKSU YÖNETİMİ -YOL HARİTASI ÖNERİSİ

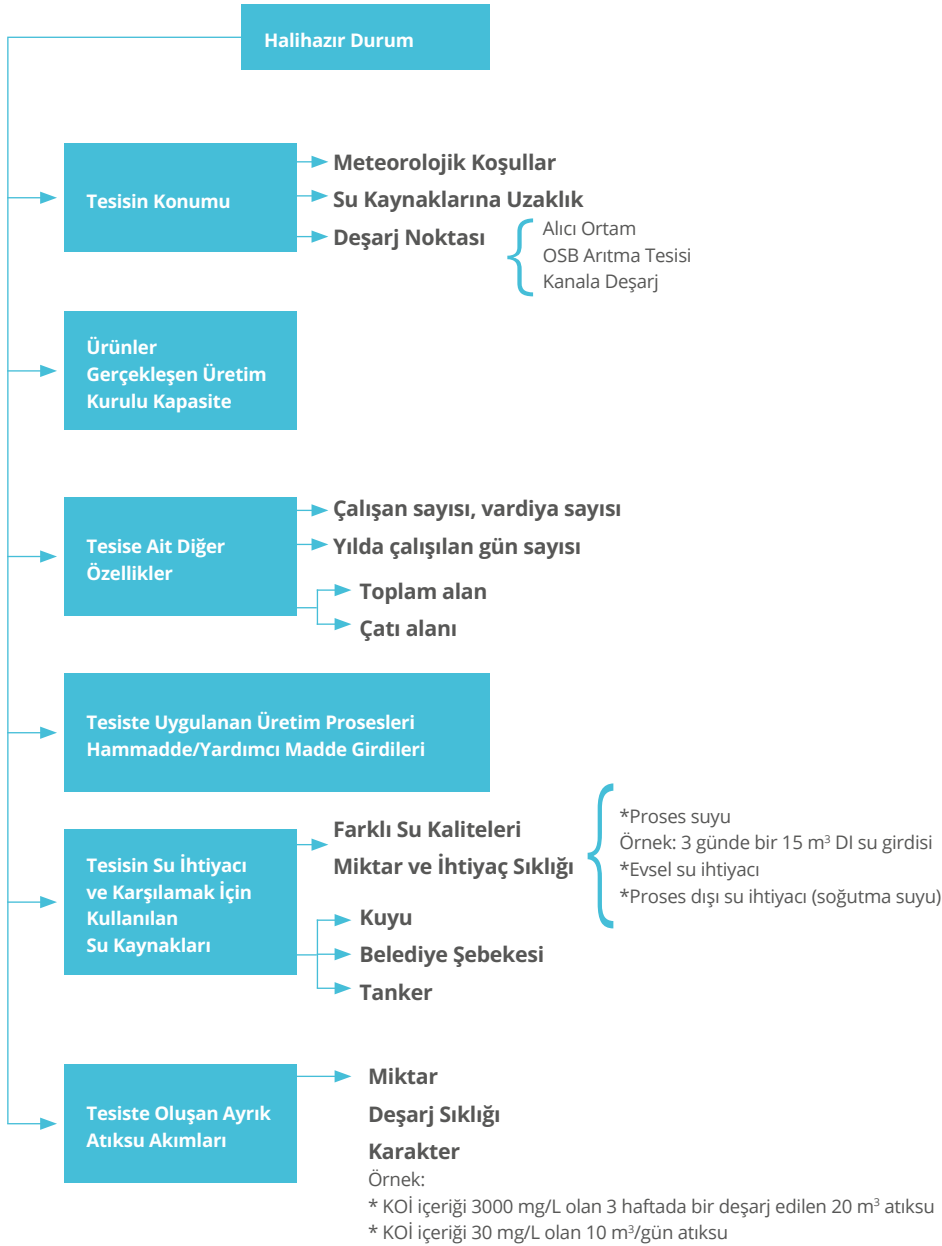
5.3.1 Mevcut Durum Analizi

Uluslararası ve ulusal stratejilere göre su kullanan sanayi sektörleri ve alt-sektörleri için iklime duyarlı yol haritasında ana odak nokta-

sı su verimliliği olup, hedef sanayide su kullanımının %50 azaltılmasıdır. Esas itibarı ile endüstri tesislerinin çeşitli üretim düzeylerine sahip oldukları, aynı sektör içinde bile olsalar birbirlerinden farklı uygulamalar gerçekleştirebildikleri ve farklı konumlara sahip oldukları dikkate alınarak su verimliliği açısından tek tek değerlendirilmeleri gerekmektedir. Sanayi dinamik bir yapıya sahiptir ve tesislerde bir ürünün elde edilmesinde kullanılan üretim prosesi adımları, aynı işlem için eklenen kimyasallar, üretimin gerçekleştirildiği ekipman ve benzeri daha pek çok farklı faktör bulunmaktadır. Bu nedenle aşağıda her bir tesisin su-atıksu yönetimi için uygulanması önerilen yol haritası adımları verilmektedir.

Bir sanayi tesisine sağlıklı bir su-atıksu yönetimi uygulayabilmek için öncelikle tesisin halihazır durumu ortaya koyulmalıdır. Şekil 5.2'de sunulan halihazır durum analiz/anket formu (EK-IV), tesisle ilgili bilgiler toplanarak ve gerekli izleme çalışmaları yürütülerek doldurulmalıdır.

Şekil 5.2: Halihazır durum analizi kapsamında EK-IV'teki anketle toplanacak veriler



Uluslararası ve ulusal stratejilere göre su kullanan sanayi sektörleri ve alt-sektörleri için iklime duyarlı yol haritasında ana odak noktası su verimliliği olup, hedef sanayide su kullanımının %50 azaltılmasıdır.

- Tesisin konumunun saptanması; meteorolojik koşullar (yağmur suyu hasadı, bahçe sulama gibi uygulamalar için), alternatif deşarj noktaları (kanal, alıcı ortam veya OSB arıtma tesisine deşarj gibi), su kaynaklarına olan mesafe (örneğin soğutma suyu ihtiyacı olan bir tesis veya tuzsuzlaştırma ünitesi olarak çeşitli kalitelere su temini için denize uzaklık) gibi açılardan önemlidir.
- Tesiste üretilen ürünler, son dönemde gerçekleştirilen üretim düzeyi (örneğin son 3 yıl için yıllık) ve kurulu kapasite halihazır durumun değerlendirilmesinde kullanılacak bilgiler arasındadır.
- Tesise ait diğer özellikler başlığı altında evsel su ihtiyacını belirlemek için çalışan sayısı, vardiya sayısı, yılda çalışılan gün sayısı, üretim kaynaklı çalışanların fazladan su kullanımı olması durumu (örneğin, ilaç sektöründe serum üreten tesislerde üretim hattına girecek personelin duş alması zorunluluğu gibi), yemek hizmetlerine ilişkin bilgiler (tesis su tüketim miktarı ile atıksu miktar ve kalitesini değiştirecek tesiste yemek yapılması veya yemeğin dışardan temin edilmesi gibi veriler) toplanmalıdır. Yağmur suyu hasadı düşünüldüğünde çatı alanının bilinmesi de önem kazanmaktadır. Tesisin yeterli miktarda çatı alanına sahip olmaması durumunda yağmur suyu hasadı, su verimliliği alternatifleri arasında yer almayacaktır.
- Tesiste uygulanan üretim prosesleri, hammadde ve yardımcı madde girdileri de toplanacak bilgiler arasındadır. Yüksek su ihtiyacı olan üretim prosesleri ve/veya ekipmanı yerine daha az su gerektiren üretim yöntemlerine / ekipmanlarına geçilmesi düşünüldüğünde bu adım önemlidir. Benzer şekilde aynı işlevi yerine getirmek üzere kullanılacak farklı kimyasallar, oluşacak atıksuların kirlilik seviyesini değiştirecek ve belki bu atıksuların geri kazanılıp tekrar kullanımını da etkileyecektir.
- Tesislerde farklı üretim adımlarında, farklı kalitelere su kullanılıyor olabilir. Bu durumda farklı su kalitesine sahip su miktarları ve ihtiyaç sıklığının da belirlenmesi gerek-

lidir. Örneğin bir tesiste 4 günde bir olmak üzere 25 m³ deionize su girdisi ihtiyacı olabilir. Ayrıca tesislerde evsel nitelikli kullanım için su veya soğutma suyu gibi proses dışı su gereksinimleri de bulunabilir. Suyun temin edildiği kuyu suyu, belediye şebekesi, OSB şebekesi, yüzeysel su kaynakları ve / veya tanker gibi kaynaklar da kalite ve miktar olarak kayıt altına alınmalıdır.

- Endüstri tesislerinde, farklı kirletici seviyelerine sahip pek çok ayrık atıksu kaynağı bulunmaktadır. Söz konusu ayrık atıksu akımlarının da miktar, karakterizasyon ve deşarj sıklıkları kayıt altına alınmalıdır. Örneğin bir tesisten kesikli olarak, kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) içeriği 3000 mg/L düzeyinde üç haftada bir deşarj edilen 20 m³ ayrık atıksu ile KOİ seviyesi 30 mg/L olan, 10 m³/gün debide sürekli ayrık atıksu kaynaklanabilir. Bu ayrık atıksulardan, düşük düzeyde kirletici içeren ikincisinin, gerektiğinde arıtılarak geri kazanılıp tekrar kullanılması tesisin su verimliliği için önem taşıyabilir.

Türkiye’de ve özellikle İSO bünyesindeki sanayi kuruluşları, faaliyetlerini 1990’lı yılların ortalarından itibaren ISO 9001 ve ISO 14001 üretim ve çevre standartlarıyla uyumlu yürütme konusundaki gerekli kurumsal, teknolojik ve mali yapılanmalarını, tedarikçileri ile birlikte tamamlamış bulunmaktadır. Bu bağlamda sanayi tesislerinin ulusal mevzuatla uyumlu AAT’lere sahip olma ya da AAT’ye bağlı endüstriyel işletme oranı, arıtmaya bağlı belediye oranının hep önünde seyretmiştir. Sanayimizin en büyük müşterisinin AB ülkeleri olmasının getirdiği uluslararası şartların da zorlamasıyla, Tekil ve OSB’ler bünyesindeki tesislerin endüstriyel atıksu arıtımı alanındaki seviyesi, mevcut haliyle büyük oranda YM ve Döngüsel Ekonomi hedefleriyle de uyum halindedir. Nitekim TOB NACE kodlarına göre Endüstriyel Su Verimliliği Projesi (TOB, 2024) kapsamında Gıda, Tekstil, Kimya ve Metal sektörlerini temsilen örnek olarak seçilen 3’er tesiste, özgül su kullanımları ile ilgili olarak yürütülen kapsamlı incelemeler, bu işletmelerin özgül su kullanımlarının genel itibarıyla, AB Sektörel Temiz Üretim Teknolo-

jileri (MET) normlarında belirtilen Referans/ Rehber (AB, 2023) değerlerin alt limitleri civarı ve altında kaldığını göstermektedir (Tablo 5.4).

Özgül su tüketimleri Temiz Üretim (MET) normları alt limitleri civarındaki bu endüstri-

lerde; iç tesisat revizyonu, tasarrufu/sensörlü musluk ve aparatlar ile gri su geri kazanımı ve yağmur hasadı benzeri veya sektöre özel MET uygulamalarıyla %20-90'lara varan oranlarda ek su tasarrufu imkanının bulunduğu belirtilmektedir (TOB, 2023a; TOB, 2023b).

Tablo 5.4: Ziyaret edilen tesislerde özgül su tüketiminin AB Bref/MET (Temiz Üretim) dokümanları referans değerleri ile mukayesesi (TOB, 2024)

Sektör/Tesis	Tesiste Ortalama Özgül Su Tüketimi	Referans Özgül Su Tüketim Değeri	Potansiyel Su Tasarruf Oranı* (%)
Metal/1	0,08 L/kg	3-5 L/kg	51-65
Metal/2	0,11 L/kg	3-5 L/kg	32-46
Metal/3	7,49 L/kg	3-5 L/kg	36-63
Tekstil/1	3,81 L/kg	50-250 L/kg	57-76
Tekstil/2	162,02 L/kg	50-250 L/kg	58-94
Tekstil/3	24,5 L/kg	50-250 L/kg	22-33
Gıda/1	13,53 L/kg	5-68 L/kg	22-34
Gıda/2	3,86 L/kg	5-68 L/kg	18-37
Gıda/3	6,86 L/L	6-7 L/L	32-53
Kimya/1	1,82 L/kg	30,5-125 L/kg	26-39
Kimya/2	2,07 L/kg	30,5-125 L/kg	44-66
Kimya/3	0,34 L/kg	1-4 L/kg	58-80

(*) Özgül su tüketimi düşük olduğu halde sensörlü musluk, gri su geri kazanımı, yağmur hasadı vb. önlemlerle yapılabilecek su tasarrufu oranı

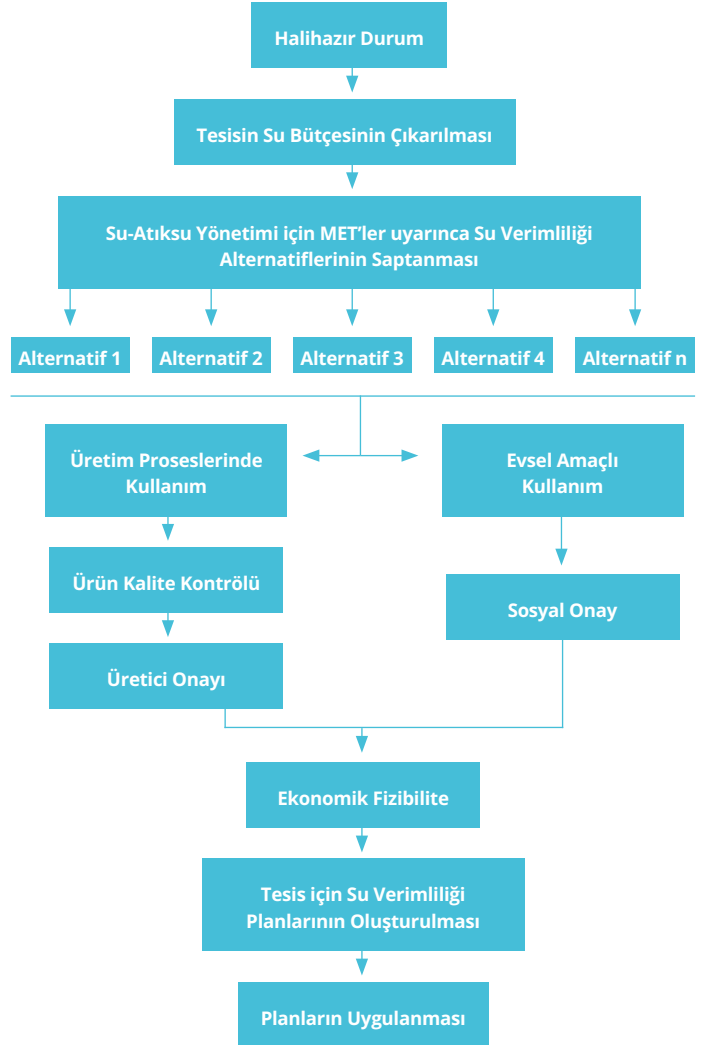
Şekil 5.3: Sanayide su-atıksu yönetimi için önerilen yol haritası

5.3.2 Su-Atıksu Yönetimi için Önerilen Yol Haritası

Sanayide su-atıksu yönetimi için önerilen yol haritası Şekil 5.3'te verilmektedir. Buna göre aşağıda sıralanan noktaların dikkate alınması önerilmektedir.

- Halihazır durum ortaya konulduktan sonra "Tesisin Su Bütçesi (Su Denklığı)" çıkarılmalıdır. Bu adımda tesise ait çeşitli kaynaklardan sağlanan farklı kalite ve miktarlardaki su ihtiyacı ve tesisten kaynaklanan ayrık atıksular, kirletici karakterizasyonları ve debileri ile belirlenmelidir.

- Su - atıksu yönetimi için "NACE Kodlarına Göre Endüstriyel Su Kullanım Verimliliği Projesi" kapsamında hazırlanan ülkemiz şartlarında teknik ve ekonomik olarak uygulanabilir Su Verimliliği Rehber Dokümanları Serisi'nde yer alan sektörel mevcut en iyi teknikler (MET) (TOB, 2023a) ile halihazır durum birlikte değerlendirmeye tabi tutularak tesiste uygulanabilecek su verimliliği seçenekleri saptanmalıdır. Bu aşamada önemli nokta Su Verimliliği Rehber Dokümanları Serisi'nde (TOB, 2023a) yer alan,



ülkemizde benzer üretim yapan tesislerdeki özgül su tüketim değerleri ile incelenen tesisin özgül su tüketim değerinin karşılaştırılması ve bunun sonucunda, incelenen tesisin özgül su tüketim değeri daha düşük seviyede bulunsa bile su verimliliği alternatiflerine bakılmasıdır. Tesis içi kontrol, üretim teknolojilerinin iyileştirilmesi, ileri arıtma tekniklerinin gerekliliği, atıksuların arıtılıp yeniden tesiste geri kullanımı gibi pek çok seçenek; sektöre özgü önlemler, iyi yönetim uygulamaları, genel önlemler ve yardımcı proseslere ilişkin önlemler halinde sınıflandırılabilir.

- Seçeneklerin bazıları üretim prosesleri üzerinde uygulanacak MET'lerden oluşmaktadır. Bunlar doğrudan proseslerle ilgili ya da yardımcı proseslere (örneğin kapalı devre soğutma suları) yönelik olabilirler. Bu nitelikteki MET'lerin uygulanması konusundaki en önemli sınırlama ürün kalitesi üzerinde olumsuz etki meydana getirmemektir. Bu nedenle ürün kalitesi kontrol edilerek üreticiden MET için onay alınmalıdır.

- Seçenekler kimi durumda evsel amaçlı kullanıma yönelik olabilir. Buna örnek olarak arıtılmış bazı atıksuların geri kazanılarak tuvalet sifonlarında yeniden kullanımı verilebilir. Başka bir uygulama ise tesis bahçesinin arıtılmış evsel atıksu ile sulanması şeklinde olabilir. Bu gibi durumlarda, çalışanlardan uygulamalara dair sosyal onay alınması önem taşımaktadır.
- Seçenekler üzerinde tekil olarak ekonomik fizibilite çalışmalarının yürütülmesi daha sonraki adımdır.
- Ekonomik fizibilite çalışmalarının sonuçları alternatiflerin önceliklendirilmesine yansıtılmalı ve böylelikle tesis için su verimliliği planları oluşturulmalıdır.
- Su verimliliği planlarının uygulanması ise yol haritasının son adımıdır.

Önerilen yol haritası iteratif yapıdadır. Herhangi bir seçeneğin uygulanması, halihazır durumu ve onu izleyen adımları etkileyerek değiştirebilecektir. Örneğin bir kimyasal gir-



disi yerine ona eşdeğer işleve sahip daha az kirlletici içeren atıksu oluşumuna neden olabilecek bir başka kimyasalın kullanımı, bu üretim adımından kaynaklanan ayrık atıksu akımının toplanarak çeşitli amaçlar için tekrar kullanımını sağlayabilecektir. Bir başka örnek de farklı ürünlerin aynı tesiste, aynı hatta üretildiği tekstil, kimya, ilaç gibi endüstri sektörleri için iyi yönetim uygulamaları altında yer alan üretimin doğru planlanmasıdır. Üretimi bir ürün için büyük miktarlarda gerçekleştirmek, farklı bir ürüne geçişte gereken temizlik işlemlerini azaltacağından su verimliliğine katkıda bulunacaktır. Benzer şekilde boya endüstrisinde önce açık daha sonra koyu renk boyaların üretimi temizlik işlemlerinden kaynaklanan su tüketimini ve atıksu oluşumunu azaltacaktır.

Yol haritası ile ilgili sözü edilmesi gereken bir başka önemli unsur da su verimliliği çabalarının; ekonomik analiz, rekabetçi politikalar, tedarik zinciri araştırmaları gibi disiplinler arası çalışmalar gerektirdiği gerçeğidir.

Sanayide su verimliliği açısından yürütülen çalışmaların ödüllendirilmesi ve/veya konuya ilişkin teşvik unsurlarının açıklanması da endüstrinin su-atıksu yönetiminde iklim duyarlı yol haritasını benimseyerek uygulamasının önemli itici güçleri arasındadır.

AB YM ve Döngüsel Ekonomi perspektifinde, AB Üyesi ülkelerin 2050 yılında Karbon Nötr olmaları hedeflenmektedir. Türkiye'nin YM Eylem Planı'nda da 2053 yılında Karbon Nötr olunması öngörülmektedir. Dünya genelinde de G20 ülkeleri dahil gelişmiş ekonomilerinin tamamında en geç 2060 yılında Karbon Nötr olunması kararı alınmış durumundadır.

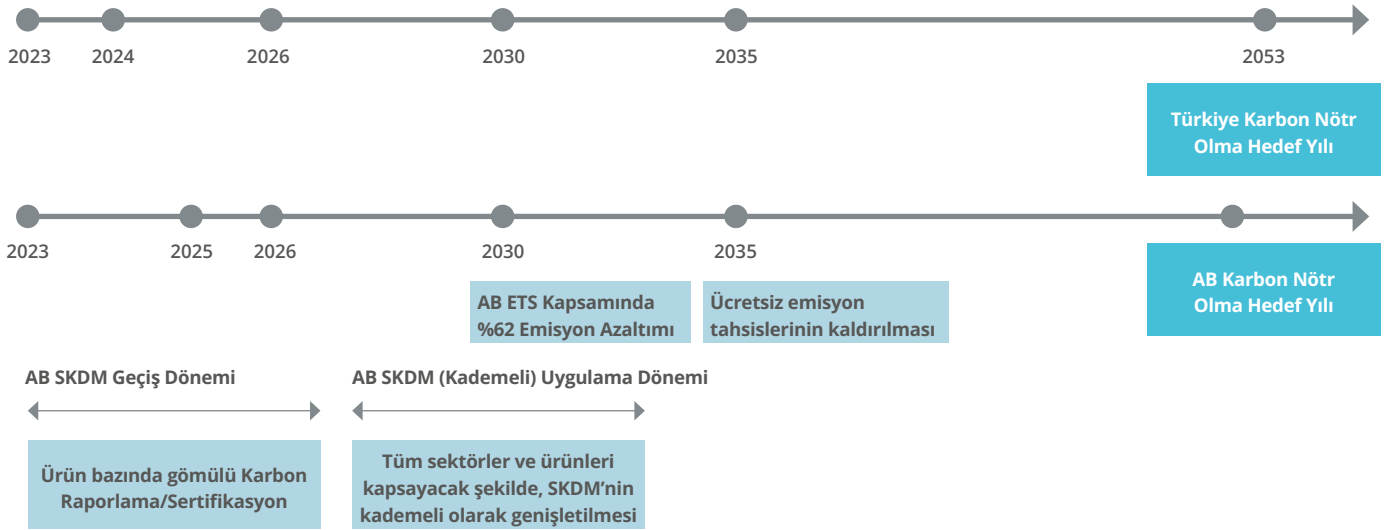
Aritılmış atıksuların geri dönüşümü ile su kullanımının en aza indirilmesi ve Temiz Üretim Protokollerinin (diğer bir deyişle MET'lerin) hayata geçirilmesi, Sanayi Sektörü'nün Karbon Nötr olma hedefini destekleyen en önemli araçları olarak öne çıkmaktadır. Özellikle İSO'ya üye büyük sanayi kuruluşları ve tedarikçilerinin AB'nin Emisyon Ticaret

- Artırılmış atıksuların yeniden kullanımı (%30-60 oranında artırılmış atıksu geri dönüşümü)
- Su ayak izinin en aza indirilmesi (m³ su/ton ürün)
- Temiz Üretim (MET) Protokolleri'ne tam uyumun sağlanması
- Yeşil Finans İmkanlarının Kullanımı

AB SKDM ile uyumlu Ürün Bazlı Gömülü Karbon İçeriği Sertifikasyonu

İhraç ürünlerinde SKDM Gömülü Karbon Rehber/Kılavuz Değerleriyle tam uyum

Şekil 5.4: Önerilen Temiz Üretim ve SKDM'ye Uyum Zaman Çizelgesi



Sistemi (ETS) çerçevesinde, 3 yıllık bir geçiş süresini takiben 2026 yılı başından itibaren uygulamayı planladığı sınırdaki karbon düzenleme mekanizması (SKDM)'na uyum konusunda Ticaret Bakanlığı ile koordineli bir yapılanmaya gitmeleri kritik önemdedir. Bu bağlamda, İSO'ya bağlı sanayi kuruluşları ile mal ve hizmet tedarikçileri için Şekil 5.4'te belirtilen uyum takvimi önerilmektedir.

Önerilen Temiz Üretim ve SKDM'ye uyum zaman çizelgesinde, AB hedefleriyle 5 yılı geçmeyen bir süre zarfında tam uyum öngörülmektedir.

Döngüsel ekonomi ve kurumsal karbon ayak izi azaltımında ulusal ve uluslararası Yeşil Finans imkânlarının kullanım imkânı bulunduğu unutulmamalıdır.

KAYNAKLAR

3 Pilot Havzada Nehir Havza Yönetim Planları Kapsamında Ekonomik Analizler ve Su Verimliliği Çalışmaları için Teknik Destek Projesi (NHYP). (2021). AB Teknik Yardım Projesi, Técnica y Proyectos S.A. (TYPESA) danışmanlığında, T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı ve Su Yönetimi Genel Müdürlüğü Projesi

AA. (2023). <https://www.aa.com.tr/tr/ekonomi/turkiyede-faaliyetteki-270-os-b-planli-sanayi-uretimiyle-ekonomiye-katki-sagliyor/2721986>

AAT Teknik Usuller Tebliği (2010). TC Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Ankara. Resmî Gazete, No: 27527, 20/03/2010.

AB (2023). AB BAT Reference Documents, <https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference> adresinden alınmıştır.

AB Uyum (2021). Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Eyleminin Güçlendirilmesi Projesi, TR2017 ESOP MI A3 04, Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Çalışmaları, Türkiye'de İklim Değişikliğine Uyum Çalışmaları. Ankara, 283 s. https://iklimeuyum.org/dokumanlar/Turkiyede_Iklim_Degisikligine_Uyum_Calismalari.pdf

Abbaspour, K. C., Johnson, C. A., & van Genuchten, M. T. (2004). Estimating Uncertain Flow and Transport Parameters Using a Sequential Uncertainty Fitting Procedure. *Vadose Zone Journal*, 3, 1340 - 1352.

Abbaspour, K., Vaghefi, S., & Srinivasan,

R. (2017). A Guideline for Successful Calibration and Uncertainty Analysis for Soil and Water Assessment: A Review of Papers from the 2016 International SWAT Conference. *Water*, 10(2).

Afonso, M. D., ve Bórquez, R. (2002). Review of the treatment of seafood processing wastewaters and recovery of proteins therein by membrane separation processes—prospects of the ultrafiltration of wastewaters from the fish meal industry. *Desalination*, 142 (1), 29-45.

Akyüz, G. (2018). Su Kullanımı Açısından Turizm Sektörünün Sürdürülebilirliği: Çevresel Girdi Çıktı Modeli Çerçevesinde Bir Analiz (Yüksek Lisans Tezi). Antalya: Akdeniz Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü. <http://dspace.akdeniz.edu.tr/handle/123456789/3849>

Arat, G., Türkeş, M., Saner, E., (2003). Vizyon 2023: Bilim ve Teknoloji Stratejileri Teknoloji Öngörü Projesi-Çevre ve Sürdürülebilir Kalkınma Tematik Paneli-Vizyon ve Öngörü Raporu, TÜBİTAK, Ankara, ss:64.

Arnold, J. G., Srinivasan, R., Muttiah, R. S., & Williams, J. R. (1998). Large area hydrologic modeling and assessment part I: Model development. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 34(1), 73-89.

Awaleh, M. O., & Soubaneh, Y. D. (2014). Waste Water Treatment in Chemical Industries: The Concept and Current. *Hydrology Current Research*, 1-4.

Belirli Sektörlerde Temiz Üretim Uygulamaları (BESTÜ) Projesi. (2020). T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü. Proje Sonuç Raporu, https://webdosya.csb.gov.tr/db/cygm/icerikler/bestu_raporu-20210312115408.pdf.

Casani, S., Rouhany, M., and Knöchel, S. (2005). A discussion paper on challenges and limitations to water reuse and hygiene in the food industry. *Water research*, 39(6), 1134-1146

CDP-Water (2013). Moving beyond business as usual. London. <https://www.cdp.net/CDPResults/CDP-Global-Water-Report-2013.pdf>

Chollangi, A., and Hossain, M. M. (2007). Separation of proteins and lactose from dairy wastewater. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 46 (5), 398-404.

Cruden, D. M. (1991). A simple definition of a landslide. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology* 43(1): 27-29.

Cuceloglu, G., Abbaspour, K., & Ozturk, I. (2017). Assessing the Water-Resources Potential of Istanbul by Using a Soil and Water Assessment Tool (SWAT) Hydrological Model. *Water*, 9(12), 814.

Cüceloğlu, G. (2019). İklim Değişikliği-

nin İstanbul Yüzeysel Su Kaynaklarına Etkisi ve Kuraklık Dirençli Bütünleşik Su Yönetimi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Çevre Bilimleri ve Mühendisliği Programı.

Çakmakçı, M., Özkaya, B., Yetilmezsoy, K., ve Demir, S. (2013). Su arıtma tesislerinin tasarım ve işletme esasları. Su Uygunsuzluğu Yönetimi Eğitim Toplantısı, Antalya, 3(5).

Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (ÇŞİDB) (2018). Sıfır Atık, Çevresel Göstergeler: Su Kullanımı. <https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/su-kullanimi-i-85738>

Davarcioğlu, B. (2017). Adaptation to Climate Change and Eco-Efficiency (Cleaner Production) for More Effective Environmental Management in Industry, *International Journal of Recent Trends in Engineering and Research*, 3(2): 100-112

DEG (2018). Dünya Enerji Görünümü Raporu Yönetici Özeti. <https://dunyaenerji.org.tr/dunya-enerji-gorunumu-2018-yoneticisi-ozeti-uea/>

Dogruel, S., Altun, A., Cokgor, E., Insel, G., Keskinler, B., and Orhon, D. (2021). Anatomy of the organic carbon in an industrial wastewater: implications of particle size distribution, respirometry and process modeling. *Process Safety and Environmental Protection* 146:257-266.

Durmuşlar, S.Ö. (2021). Sanal Su Ticareti ve Türkiye'nin Durumu, İzmir Kalkınma Ajansı. <https://kalkinmaguncesi.izka.org.tr/index.php/2021/08/24/sanal-su-ticareti-ve-turkiyenin-durumu/>

Dutta, D., Arya, S., and Kumar, S. (2021). Industrial wastewater treatment: Current trends, bottlenecks, and best practices. *Chemosphere*.

EBRD-GCECA (2018). Advancing TCFD Guidance on Physical Climate Risks and Opportunities. London, UK: European Bank for Reconstruction and Development. <https://climatecentre.org/downloads/files/EBRD-GCECA%20report.compressed.pdf>

Eckenfelder, W. Wesley, Davis L. Ford, and Andrew J. Englande. (2009). "About the Authors." Chap. in *Industrial Water Quality*. 4th ed. New York: McGraw-Hill. <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780071548663/front-matter/preface1>

EEA (2017). Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016: An indicator-based report. Luxembourg: Publications Office of the European Union. European Environmental Agency. doi:10.2800/534806

Encosand Sürekli Kum Filtresi. (2023). Endemic Fito Farma Biyoteknoloji Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi.

EPA (2023). Climate Risks and Opportunities Defined, EPA Centre for Corporate Clima-

te Leadership, USA Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/climateleadership/climate-risks-and-opportunities-defined>

Eroğlu, V. (2016). Su Tasfiyesi, Orman ve Su İşleri Bakanlığı Yayını (Yayın No: 359)

Fatta-Kassinou, D., Dionysiou, D. D., and Kümmerer, K. (Eds.). (2016). *Advanced treatment technologies for urban wastewater reuse*. Cham: Springer International Publishing.

Fernández, P., Riera, F. A., Álvarez, R., Álvarez, S. (2010). Nanofiltration regeneration of contaminated single-phase detergents used in the dairy industry. *Journal of food engineering*, 97 (3), 319-328.

Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations. (2023). *Industrial Water Withdrawal*. AQUASTAT. <http://data.apps.fao.org/aquastat/?lang=en>

Ford, D. L. (1996). Zero Discharge and Environmental Regulations, *The Toxic Release Inventory and Natural Laws*, *Environmental Engineer*, vol. 32, no. 4, October 1996.

Ford, D. L. (1997). A Case History of Environmental Evolution in a Complex Chemical Plant, DeLange Woodlands Conference, Rice University, Houston, March 3–5, 1997.

Gandhi, N.M.D., Selladurai, V., and Sant'hi, P. (2006). Unsustainable Development to Sustainable Development: A Conceptual Model, *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 17(6): 654-672.

Germirli Babuna, F., İnsel, H.G., Erşahin, M.E., Türken, T., Öztürk, İ., Delibaş, R.C. (2024). Sanayide Temiz Üretim ve İleri Atıksu Arıtma Teknolojileri, Türkiye ve İstanbul Özeninde Su-Atıksu Yönetimi ve Politikaları Projesi, İstanbul Sanayi Odası (İSO) için.

Ghernaout, D. (2017). Water treatment chlorination: An updated mechanistic insight review. *Chemistry Research Journal*, 2, 125-138.

Ghernaout, D., and Ibn-Elkhattab, R. O. (2020). On the treatment trains for municipal wastewater reuse for irrigation. *Open Access Library Journal*, 7(02), 1.

Google Earth (2023). İSU Körfez ve İSKİ Paşaköy AAT.

Gunatilake, S.K. (2015). Methods of Removing Heavy Metals from Industrial Wastewater. *Journal of Multidisciplinary Engineering Science Studies (JMESS)*, 12-18.

Gurnari, G. and Barbera, M. (2018). *Wastewater Treatment and Reuse in the Food Industry*. Switzerland: Springer.

Hilmioğlu, B., Avinal, A., Çakmak, E.G., Doğan, T., Türe, İ., Dinçbaşı, T., Şatır, D.S., ve Konaklı, B. (2015). İklim Değişikliği ve Sanayi, Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Ankara, ss:244.

Hoekstra, A.Y., and Hung, P.Q., (2002). Virtual water trade: A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade, *Value of Water Rese-*

arch Report Series NO. 11.

IMC (1999). İstanbul Su Temini, Atıksu ve Yağmursuyu Tesisleri Master Planı.

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.

İBB (2022). İstanbul Vizyon 2050 Strateji Belgesi, İBB ve İPA, 265 s. <https://vizyon2050.istanbul/>

İklim Değişikliği ve Uyum (2020). T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Taşkın ve Kuraklık Yönetimi Daire Başkanlığı, Ankara, 220 s.

İl Çevre Durum Raporu (İÇDR). (2023). İstanbul İli 2022 yılı Çevre Durum Raporu, T.C. İstanbul Valiliği, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü, 231 s.

İMP-OG (2018). İstanbul Su ihtiyacı Raporu, İstanbul İçmesuyu ve Kanalizasyon Master Plan Hazırlama İş, İstanbul.

İMP-OG (2023). Atıksu Debi ve Yük Tahminleri Ara Raporu, İstanbul İçmesuyu ve Kanalizasyon Master Plan Hazırlama İş, İstanbul.

İnsel G., Karagunduz A., Aksel M., Ubay EU., Toroz I., Keskinler B. (2018). Membrane integrated process for advanced treatment of high strength Opium Alkaloid wastewaters, *Water Science and Technology*, 77(7), 1899-1908.

İSKİ (2018). İSKİ Faaliyet Raporu, <https://iski.istanbul/kurumsal/stratejik-yonetim/faaliyet-raporlari/> adresinden alınmıştır.

İSKİ (2022). İSKİ Faaliyet Raporu, <https://iski.istanbul/kurumsal/stratejik-yonetim/faaliyet-raporlari/> adresinden alınmıştır.

İSKİ MP (2021). Mevcut Atıksu Toplama Sistemi Ara Raporu, Kısım 2.

İSKİ MP (2022a). Master Plan, Organizasyon Yapısı Nihai Raporu, Kısım 5: Kurumsal Yapı.

İSKİ MP (2022b). Endüstriyel Atıksu Arıtma Yönetimi Raporu Ek 5, Kısım 3: Arıtma, Ara Rapor.

İSU (2022). T.C. Çevre, Şehircilik Ve İklim Değişikliği Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Kocaeli Büyükşehir Belediyesi İSU Genel Müdürlüğü Arıtılmış Atıksuların Yeniden Kullanımına İlişkin Fizibilite Raporu, Kocaeli Büyükşehir Belediye Başkanlığı Kocaeli Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü

Judd, S. (2006). The MBR book. Principles and applications of membrane bioreactors in water and wastewater treatment.

Karchiyappan, T., Karri, R. R., and Dehghani, M. H. (2022). Industrial Wastewater Treatment. Switzerland: Springer.

Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği (KAAY) (2006). TC Çevre ve Orman Bakanlığı, Resmî Gazete No: 26047, 08/01/2006.

Kerestecioglu, M., Gorgun, E., Erzi, I., Knudsen J. F., Gronbech Jensen, B., Cakmaci, M., Ekdal, A. Aydin, E., Alpan Atamer, S.,

Germirli Babuna, F., Kinaci, C., Schack, U., Erdogan, A. O., Ozabalı, A., Tokmak, B., Vigso, D., Tokcaer, E., and Yılmaz, S. (2005) Technical Assistance for Environmental Heavy Cost Investment Planning, Turkey, Dilovası Domestic and Industrial Wastewater Management Project Feasibility Report, Ministry of environment and forestry, İstanbul.

Koyuncu, İ. (2018). Membran Teknolojileri ve Uygulamaları. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.

Koyuncu, İ., Öztürk, İ., Aydın, A. F., Alp, K., Arıkan, A. O., İnsel, H. G. ve Karaaslan, O. T. (20132). Atıksu Arıtma Tesisleri Tasarım Rehberi. TC Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü.

Lazarova, V., Asano, T., Bahri, A., and Anderson, J. (2013). Milenstones in Water Reuse, The Best Success Stories, IWA Publishing.

Lin, H., Gao, W., Meng, F., Liao, B.-Q., Leung, K.-T., Zhao, L., . . . Hong, H. (2012). Membrane Bioreactors for Industrial Wastewater. Critical Reviews in Environmental Science and Technology,, 687-697.

Matson, J., Tiffin, D., McLeod, J., and Jordan, B. (1996). Zero Discharge Technology, a Case Study," EPA Region III Waste Minimization Pollution Prevention Conference for Hazardous Waste Generators, Philadelphia, June 3-5, 1996.

MBB (2021). Marmara Bölgesi Mekânsal Gelişme Stratejik Çerçeve Belgesi, Mevcut Durum Analizi ve Analitik Değerlendirmeler Raporu, 1. Bölüm, Marmara Belediyeler Birliği (MBB) Kültür Yayınları, Yayın No: 141, 420 s.

Mejía-Marchena, R., Cordoba, A. M., Gomez-Ceron, D., Quintero-Monroy, C., Arismendy-Montes, L., and Cardenas-Perez, C. (2023). Industrial wastewater treatment technologies for reuse, recycle, and recovery: advantages, disadvantages, and gaps. *Environmental Technology Reviews*.

Mekonnen, M.M., and Hoekstra, A.Y. (2011). National water footprint accounts: The Green, Blue and Grey Water footprint of production and consumption, value of water research report series No. 50

Metcalf and Eddy (2014). *Wastewater engineering: Treatment and Resource Recovery*, McGraw Hill, Newyork.

Moody (2021a). Assessing the Credit Impact of Climate Risk for Corporates Moody' Analytics. https://www.moodyanalytics.com/articles/pa/2022/assessing_the_credit_impact_of%20climate_risk_for_corporates.

Moody (2021b). Critical industries have substantial exposure to physical climate risks, Moody's Climate. [d8SwppG9b7Zu7GgY9uuV0aArcCEALw_wcB&gclid=aw.ds](https://climate.moody.com/?gclid=Cj0KCQiAqsitBhDIARIsAGMR-1RinbG818GclIrlA0UCLBFFIEQY5O1qZYU-</p></div><div data-bbox=)

Muro, C., Riera, F., and Del Carmen Díaz, M. (2012). Membrane separation process in wastewater treatment of food industry. In *Food Industrial Processes-Methods and Equipment*. InTech.

Naumann, G., Russo, S., Formetta, G., Ibarreta, D., Forzieri, G., and Girardello, M. A. (2020). Global warming and human impacts of heat and cold extremes in the EU. Luxembourg: Publications Office of the European Union. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC118540>

On Birinci Kalkınma Planı (2019-2023) (2018). Çevre ve Doğal Kaynakların Sürdürülebilir Yönetimi, Çalışma Grubu Raporu, T.C. Kalkınma Bakanlığı, Ankara.

Ormancılık ve Su Şurası. (2017). *Sulama Çalışma Grubu Raporu*. Ankara: Ormancılık ve Su Şurası.

OSB Uygulama Yönetmeliği (OSB-UY). (2009). Organize Sanayi Bölgeleri Uygulama Yönetmeliği, Resmi Gazete, No: 27327, 22/08/2009.

OSİB (2016a). İklim Değişikliğinin Su Kaynakları Üzerindeki Etkileri Projesi. T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü. Ankara.

OSİB (2016b). İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi, Proje Nihai Raporu

ru Ek 2 – İklim Değişikliği Projeksiyonları, T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü. Ankara.

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.

Ozyildiz G., Bodur M., Dilsizoglu Akyol N., Kilicarpa A., Olmez Hanci T., Cokgor E., Kilinc C., Okutan H.C., and Insel G. (2023). Simulating the impact of ozonation on biodegradation characteristics of industrial wastewater concentrated with membrane filtration, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 11(2), 1-8.

Önol, B., Bozkurt, D., Turuncoglu, U. U., Sen, O. L., and Dalfes, H. N. (2014). Evaluation of the twenty-first century RCM simulations driven by multiple GCMs over the Eastern Mediterranean-Black Sea region. *Climate Dynamics*, 42(7-8).

Öztürk (2019). Su, İklim Değişimi ve Ortak Geleceğimiz, SUEN Yayınları, ISBN: 978-605-7599-23-0.

Öztürk, İ. (2021). Kanal İstanbul'un Marmara ve Boğazlar Sistemi ile İstanbul'un Su Kaynaklarına Etkileri, *Sağlık Düşüncesi ve Tıp Kültürü Dergisi*, 60. Sayı Syf: 74-79.

Öztürk, İ., Cüceloğlu, G., ve Deneri, E.Z. (2023). Yerel Yönetimlerin Su Planlamasında İklim Değişiminin Rolü, İklim Değişimi Çer-

çevesinde Su Kaynaklarının Mevcut Durumu ve Geleceği Kitabı, DOI: 10.53478/TUBA.978-625-8352-56-6.ch09.

Öztürk, İ., Tanık, A., ve Cüceloğlu, G. (2015). Arıtılmış Atıksuların yeniden Kullanımı ve Yağmur Suyu Hasadı Sistemleri (El Kitabı), Türkiye Belediyeler Birliği, Ankara, 139 s.

Öztürk, İ., Tanık, A., ve Cüceloğlu, G. (2015). Arıtılmış Atıksuların yeniden Kullanımı ve Yağmur Suyu Hasadı Sistemleri (El Kitabı), Türkiye Belediyeler Birliği, Ankara, 139.

Öztürk, İ., Tanık, A., ve Cüceloğlu, G. (2016). Arıtılmış Atıksuların yeniden Kullanımı ve Yağmur Suyu Hasadı Sistemleri (Genişletilmiş El Kitabı), Türkiye Belediyeler Birliği, Ankara, 131 s.

Randtke, S. J., and Horsley, M. B. (2012). *Water treatment plant design*. McGraw-Hill.

Roy, S., Garg, S., and Tran, T. A. (2021). *Advanced Industrial Wastewater Treatment and Reclamation of Water*. Springer.

Sanayide Temiz Üretim Olanaklarının ve Uygulanabilirliğinin Belirlenmesi (SANTEM) Projesi. (2016). Proje Sonuç Raporu, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Kurumu Marmara Araştırma Merkezi (TÜBİTAK MAM), Kocaeli.

Sen, O.L. (2013). A holistic view of climate change and its impacts in Turkey. *Merccator-IPC Fellowship Report*. <https://www.researchgate.net/profile/Omer-Sen/publications>

cation/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

Shrestha, R., Ban, S., Devkota, S., Sharma, S., Joshi, R., Tiwari, A. P., . . . Joshi, M. K. (2021). Technological trends in heavy metals removal from industrial wastewater: A review . *Journal of Environmental Chemical Engineering* 9, 4-8.

SKA (2019). Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları Değerlendirme Raporu, T.C. Cumhurbaşkanlığı, Strateji ve Bütçe Başkanlığı, Ankara, 310 s.

SPD (2021). Arıtılmış atıksu potansiyelimiz ve kullanım politikamız, Su Politikaları Derneği (SPD), Rapor No: 41, Ankara, 29 s. <https://supolitikalaridernegiblog.files.wordpress.com/2021/12/spd-raporu-aritilmis-atiksu-potansiyelimiz-.pdf>

Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği (SKKY). (2004). TC Çevre ve Orman Bakanlığı, Resmi Gazete, No: 25687, 31/12/2004.

Su Raporu (2022). Ankara Ticaret Borsası yayını. https://www.ankaratb.org.tr/lib_upload/Su%20raporu.pdf

Su ve Çevre Dergisi (SÇD). (2018). Asım Kibar Organize Sanayi Bölgesi Atıksu Geri Kazanım Tesisi, 18 Temmuz 2018, 120. Sayı, İstanbul.

Su Verimliliği (2023). Değişen İklimle Uyum Çerçevesinde Su Verimliliği Strateji Belgesi ve Eylem Planı (2023-2033), T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Su Verimliliği Seferberliği, Ankara, 80 s.

Şen, Ö.L., Cüceloğlu, G., Öztürk, İ., ve Deneri, E.Z. (2024). İklim Değişikliğinin Türkiye ve İstanbul'un Su Kaynaklarına Etkisi, Türkiye ve İstanbul Özelinde Su-Atıksu Yönetimi ve Politikaları Projesi, İstanbul Sanayi Odası (İSO) için.

T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı (BSTB), Verimlilik Genel Müdürlüğü. (2018). İmalat Sanayii Alt Sektörlerinde Sektörel Kaynak Verimliliği Rehberlerinin Hazırlanması Projesi, Tekstil Ürünlerinin Bitirilmesi Kaynak Verimliliği El Rehberi, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Kurumu Marmara Araştırma Merkezi (TÜBİTAK MAM). https://www.temizuretimmerkezi.org/source/Tekstil%20U%CC%88ru%CC%88nlerinin%20Rehberi%20Tasar%C4%B1m_ekitap.pdf

T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı (BSTB), Verimlilik Genel Müdürlüğü. (2017). Sanayide Kaynak Verimliliği Potansiyelinin Belirlenmesi Projesi, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Kurumu Marmara Araştırma Merkezi Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü (TÜBİTAK MAM ÇTÜE). <chrome-extension://efaidnbmnnnibpajpcglclefindmkaj/https://verimlilikkutuphanesi.sanayi.gov.tr/Library/ShowPDF/378> sitesinden alınmıştır.

T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı (TOB). (2023a). Değişen İklim Uyum Çerçevesinde Su Verimliliği Strateji Belgesi ve Eylem Planı, 2023 – 2033; <https://www.suverimliliği.gov.tr/yayinlar/#endustriyel-su-verimliliği> sitesinden alınmıştır.

T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı (TOB). (2023b). Su Verimliliği Rehber Dökümanları Serisi, Ankara 2023, <https://www.suverimliliği.gov.tr/yayinlar/#endustriyel-su-verimliliği> sitesinden alınmıştır.

TAGEM (2021). Tarımsal Sulama Sektör Politika Belgesi (2021-2025). T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politika Geliştirme Genel Müdürlüğü (TAGEM), Arge İnovasyon, Ankara. 79 s.

Tanık, A., Öztürk, İ., Akca, L., Övez, S.S. (2024). Türkiye ve İstanbul'da Sektörel Su Kullanımı, , Türkiye ve İstanbul Özelinde Su-Atıksu Yönetimi ve Politikaları Projesi, İstanbul Sanayi Odası (İSO) için.

TBMM (2021). Küresel İklim Değişikliğinin etkilerinin en aza indirilmesi, 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.sor-gu_baslangic

TC 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 Subat 2024, Kocaeli Kongre Merkezi.

TOB (2016). İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi, Proje Nihai Raporu, TC Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ankara, Haziran 2016, 424 s. https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/iklim%20de%20C4%9Fi%20C5%9Fikli%20C4%9Finin%20su%20kaynaklar%20C4%B1na%20etkisi/Iklim_NihaiRapor.pdf

Toprak Mahsulleri Ofisi (TMO). (2017). Afyon Alkaloidleri Atıksu Arıtma Tesisi Proses Raporu, Koçak Çevre İnşaat Yapım Yatırım İşletme San. ve Tic. A.Ş., Toprak Mahsulleri Ofisi Afyon Alkaloidleri, Mayıs 2017.

TÜBİTAK (2022). Bilgi Teknolojileri Kullanılarak Marmara Denizi'ne Özgü Kirlilik Takip Sisteminin Altyapısının Oluşturulması, TÜBİTAK 121G142, Müsilaj Araştırmaları Çağrısı, 2021- 2022, Final Raporu.

UN (2019). UN World Water Development Report 2021: Valuing Water. UN-Water. <https://www.unesco.org/reports/wwdr/2021/en/download-report>

UNEP (2018). Navigating a New Climate PART 2: Physical risks and opportunities. UNEP Finance Initiative – Acclimatise,<https://>

www.unepfi.org/wordpress/wp-content/uploads/2018/07/NAVIGATING-A-NEW-CLIMATE.pdf

UNEP (2020). Charting a New Climate. UN Environment Programme. <https://www.unepfi.org/industries/banking/unep-fi-launches-charting-a-new-climate-a-report-on-physical-climate-risks-and-opportunities-from-phase-ii-of-its-tcfd-banking-programme/>

Urban Wastewater Treatment Directive. (UWTD) (1991). European Commission, Official Gaz. L 135, 30/05/1991 P. 0040 0052.

URL-1: <https://www.suverimliligi.gov.tr/>

URL-10: <https://www.gazetekadikoy.com.tr/cevre/suyunuza-bir-sans-daha-verin>

URL-11: <https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Haber/816/Su-Kaynaklarinda-Iklim-Degisikligine-Uyum-Projesi-Basladi>

URL-12: <https://www.suverimliligi.gov.tr/wp-content/uploads/2023/01/YAG-MUR-SUYU-HASADI.pdf>

URL-13: <https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/Su%20Kaynaklar%C4%B1%20C4%B0klim%20Proje/Gri%20Suyun%20Kullan%C4%B1m%C4%B1%20Rehber%20Dok%C3%BCman%C4%B1.pdf>

URL-14: <https://www.nufusu.com/il/istanbul-nufusu>

URL-15: <https://iski.istanbul/kurumsal/hakkimizda/su-kaynaklari/>

URL-16: <https://iski.istanbul/baraj-doluluk/>

URL-17: <https://chinaozonizer.en.made-in-china.com/product/bZQnXmSAJLWp/China-25kg-H-Air-Source-Large-Ozone-Generator-for-Industry-Water-Treatment-Effluent-Purify-Flue-Gas-Denitrification-Oil-Bleaching-Botting-Water-Plant-Disinfection.html>

URL-18: OSBÜK - Organize Sanayi Bölgeleri Üst Kuruluşu (osbuk.org).

URL-19: <https://www.dosab.org.tr/Detay/103/>

URL-2: <https://ticaret.gov.tr/dis-iliskiler/yesil-mutabakat/avrupa-yesil-mutabakati>

URL-3: <https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Sayfalar/Detay.aspx?Sayfald=10>

URL-4: <https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Sayfalar/Detay.aspx?Sayfald=49>

URL-5: <https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Haber/883/6-Havzada-Nehir-Havza-Yonetim-Planlarinin-Hazirlanmasi-Avrupa-Birligi-Teknik-Yardim-Projesinin-Baslangic-Toplantisi-Gerceklestirildi>

URL-6: <https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/covid%20-19%20arde%20duyuru/Rehber%20Dok%C3%BCman.pdf>

URL-7: <https://www.csb.gov.tr/aritilmis-atiksularin-yeniden-kullanim-oraninda-yuzde-4-olan-yil-sonu-hedefi-asildi-bakanlik-faaliyetleri-34168>

URL-8: <https://www.tarimorman.gov.tr/SGB/Belgeler/stratejikplan.pdf>

URL-9: <https://www.marmara.gov.tr/tr/sehirlerde-yagmur-suyu-kullanim-stratejileri-cevrimici-seminerde-ele-alindi>

Uzun, S. (2011). Su kalitesinin iyileştirilmesinde ozon kullanımı ve kimyasal etkileri. *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 68(2), 105-113.

Vaghefi, A. S., Abbaspour, N., Kamali, B., and Abbaspour, K. C. (2017). A toolkit for climate change analysis and pattern recognition for extreme weather conditions – Case study: California-Baja California Peninsula. *Environmental Modelling & Software*, 96, 181-198.

Valta K, Moustakas K, Sotiropoulos A, Malamis D, and Haralambous KJ. (2016). Adaptation measures for the food and beverage industry to the impact of climate change on water availability. *Desalin Water Treat* 57(5):2336–2343. doi:10.1080/19443994.2015.1049407.

WB (2020). Macro-Financial Aspects of Climate Change. *Macroeconomics, Trade and Investment Global Practice & Finance, Competitiveness and Innovation Global Practice*, The World Bank Group. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/223161579009566321/pdf/Macro-Financial-Aspects-of-Climate-Change.pdf>

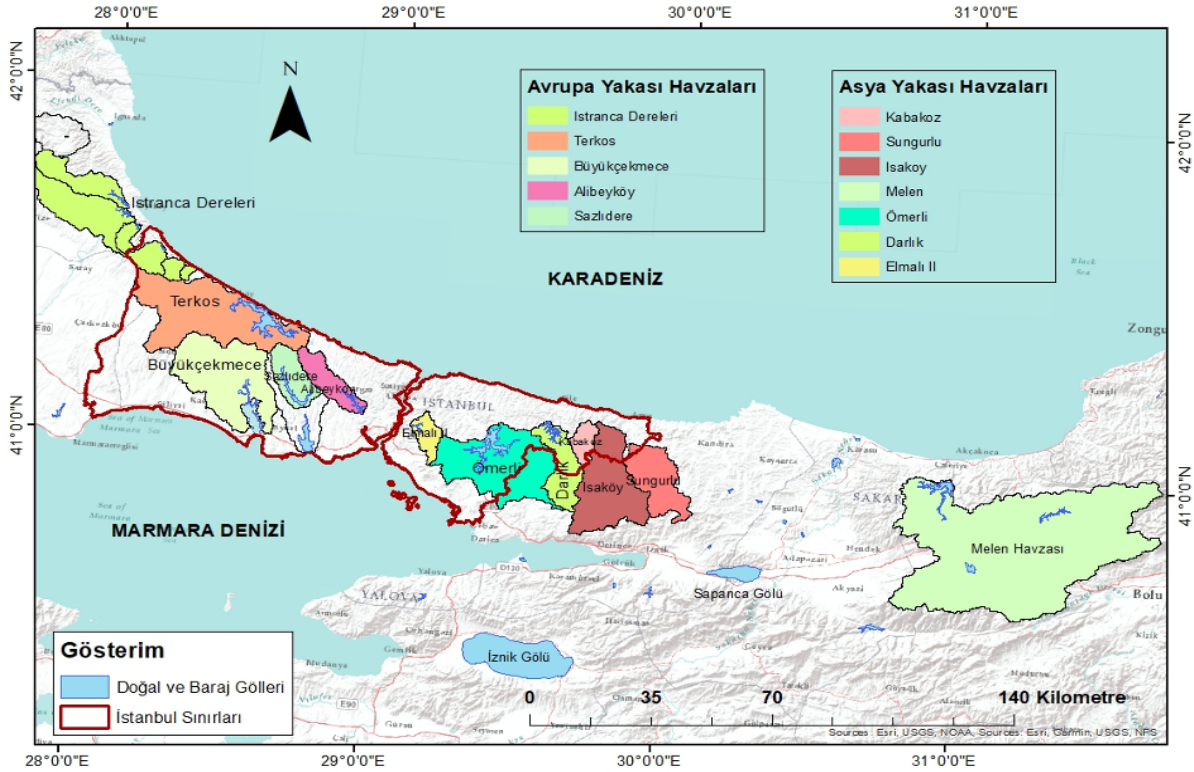
WWF (2014). Türkiye'nin Su Ayak İzi Raporu: Su, Üretim ve Uluslararası Ticaret İlişkisi, World Wide Fund for Nature (WWF).

Yeşil Mutabakat (2021). Yeşil Mutabakat Eylem Planı, T.C. Ticaret Bakanlığı, Ankara, 60 s. <https://ticaret.gov.tr/data/60f-1200013b876eb28421b23/MUTABAKAT%20YE%C5%9E%C4%B0L.pdf>

Yurtsever A., Uçar, D., ve Şahinkaya E., (2019). Biyolojik olarak arıtılmış tekstil endüstrisi atıksularının laboratuvar ölçekli çapraz akış sisteminde ters osmoz membranları kullanılarak geri kazanımı, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 24 (2) 735-750.

EKLER

Şekil Ek-1.1: İstanbul ili sınırları ve su temin edilen havzaları (Cüceloğlu, 2019)



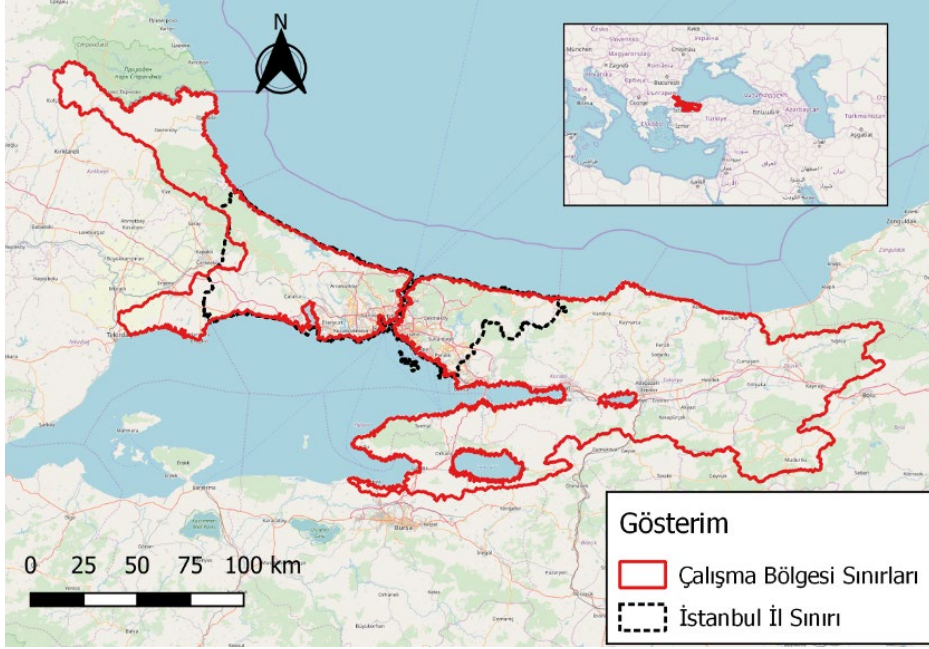
EK-1 İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN İSTANBUL'UN YÜZEYSEL SU KAYNAKLARINA ETKİSİ İLE İLGİLİ MODELLEME ÇALIŞMALARI

1. Hidrolojik Modelin Yapısı ve Özellikleri

Hidrolojik modelleme çalışması ile su toplama havzalarında yüzeysel akış, potansiyel ve gerçek evapotranspirasyon, zemin nemi ve perkolasyon (sızma) gibi su bütçesi bileşenleri belirlenmiştir. Bu amaçla hem referans dönem hem de gelecek yıllardaki su bütçesi ve akarsu debilerin tahmininde hid-

rolojik proses modeli olarak Soil and Water Assessment Tool (SWAT) modeli (Arnold vd., 1998) kullanılmıştır. Modelin kurulurken küresel ve ücretsiz olarak elde edilebilen mekânsal veri setlerinden yararlanılmış toprak, arazi kullanımı ve sayısal yükseklik modeli olarak sırasıyla; Food and Agricultural Organization (FAO), Coordination of Information on the Environment (CORINE) ve Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) veri setleri kullanılmıştır.

Şekil Ek-1.2: SWAT modeli çalışma bölgesi (Cüceloğlu, 2019)



Kurulan model 1977 ve 2013 yılları arasında (referans dönem), NCEP (The National Centers for Environmental Prediction) tarafından paylaşılan CFSR (Climate Forecast System Reanalysis) kamuya açık iklim zaman serileri kullanılarak çalıştırılmıştır. Bu model çıktıları 0.25°'lik grid (kareler) (30km x 30km) çözünürlüğünde tüm dünya için elde edilebilen reanaliz verileridir. CFSR modeli, 42.25 ile 40.25 Kuzey enlemleri ve 26,75 ile 32,25 Doğu boylamları arasında 103 istasyona sahiptir. CFSR veri seti ise günlük zaman ölçeğinde; yağış, minimum sıcaklık, maksimum sıcaklık, rüzgâr ve nem değerlerini içermektedir.

2. Model Kalibrasyonu

SWAT modelinin kalibrasyonu otomatik kalibrasyon ve belirsizlik analiz programı olan SWAT-CUP (Abbaspour vd., 2017) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Model kalibrasyonu ve belirsizlik analizi için program içerisinde yer alan SUFI2 algoritması (Abbaspour vd., 2004; Abbaspour vd., 2017) kullanılmıştır. Model kalibrasyonunda çalışma bölgesi içerisinde yer alan ve DSİ tarafından işletilmiş veya işletilmekte olan 25 farklı akım gözlem istasyonu verileri kullanılmıştır (Cuceloglu vd., 2017).

Tablo Ek-I.1: Hidrolojik modelleme çalışmasında kullanılan küresel iklim modelleri ve senaryoları (Cüceloğlu, 2019)

Küresel İklim Modeli	Geliştirici Kurum	Senaryolar
GFDL-ESM2M	NOAA/Geophysical Fluid Dynamics Laboratory	RCP4.5 ve RCP8.5
HadGEM2-ES	Met Office Hadley Centre	RCP4.5 ve RCP8.5
IPSL-CM5A-LR	L'Institute Pierre-Simon Laplace	RCP4.5 ve RCP8.5
MIROC	AORI, NIES and JAMSTEC	RCP4.5 ve RCP8.5
NoerESM1-M	Norwegian Climate Center	RCP4.5 ve RCP8.5

İklim değişikliğinin çalışma bölgesindeki etkilerinin araştırılmasında küresel iklim modeli (GCM) çıktılarından yararlanılmıştır. Bu kapsamda GFDL-ESM2M, HadGEM2-ES, IPSL-CM5A-LR, MIROC ve NoerESM1-M olmak üzere beş farklı küresel iklim modelinin RCP4.5 ve RCP8.5 senaryo çıktıları değerlendirilmiştir (Tablo Ek-I.1). Küresel iklim modeli çıktıla-

rı (Vaghefi vd., 2017) tarafından geliştirilmiş Climate Change Toolkit yazılımı kullanılarak çalışma bölgesine istatistiksel ölçek küçültme yöntemi ile uyarlanmıştır. Hidrolojik proses modeli elde edilen iklim verileri doğrultusunda 2020 ile 2099 yılları arasında çalıştırılmıştır. Bu raporda modele ilişkin sonuçlar 2025-2050 ve 2075-2099 yılları için sunulmuştur.

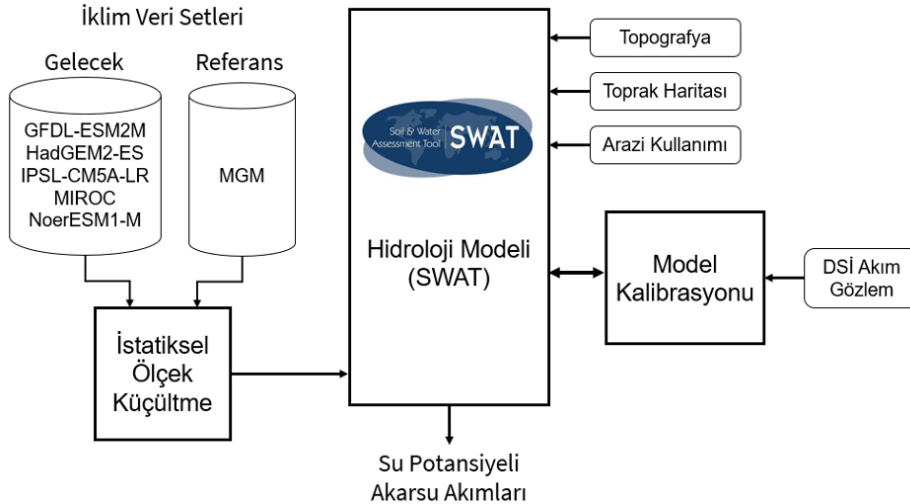
3. Genel Metodoloji

Hidrolojik modelleme çalışmasına ilişkin genel metodoloji Şekil Ek-1.3'te verilmiştir.

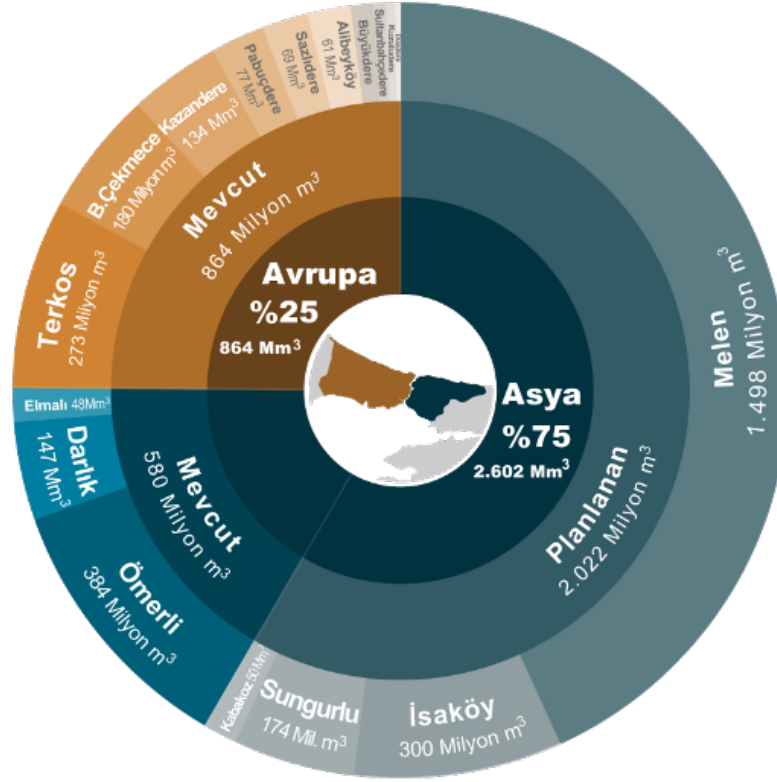
Hidrolojik modelden elde edilen havzaların brüt su potansiyellerinin referans dönem ortalama (1980 - 2013) yıllık değerleri milyon m³ biriminde Şekil Ek-1.4'te gösterilmiştir. Bu şekilde göre İstanbul'un mevcut su potan-

siyelinin büyük çoğunluğu Asya yakasındaki su kaynaklarında bulunmaktadır. Ayrıca Melen Havzası brüt su potansiyeli açısından en zengin havza olarak göze çarpmaktadır. Şekil Ek-1.4 henüz baraj gölü bulunmayan Sungurlu, İsaköy ve Melen Havzalarının su bütçelerinin toplamının İstanbul'un mevcut baraj gölü olan havzalarının toplamından daha fazla olduğunu göstermektedir.

Şekil Ek-1.3: Modelleme metodolojisi (Cüceloğlu, 2019)



Şekil Ek-I.4: İstanbul su kaynaklarının mevcut durum potansiyeli (Cüceloğlu, 2019)



Yüzeysel su kaynaklarının İstanbul'un su temin sisteminin ana unsuru olduğu göz önüne alınarak bu kısımda hidrolojik modelin her bir althavzasından elde edilen su verimi ve akarsulardaki akışları incelenmiştir. SWAT modelinde su verimi, simülasyon sırasında ilgili hidrolojik işlem biriminden (HRU) ana akıma ulaşan su miktarı olarak tanımlanır. Bu amaçla uzun vadeli tarihsel ortalamadan yüzde değişimi gösteren ano-

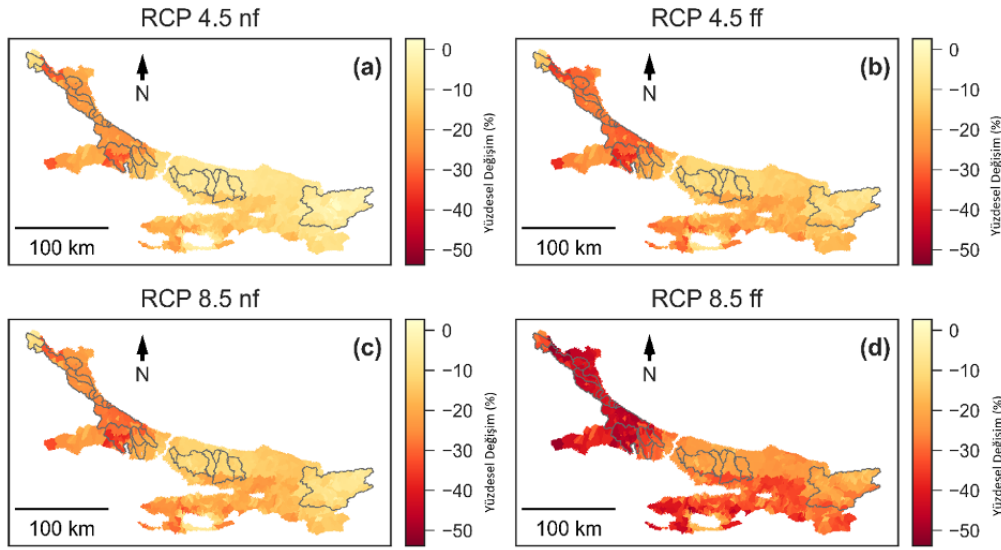
mali haritaları kullanılmıştır. Şekil Ek-I.5'te SWAT modelinin çalışma bölgesinde yüzeysel akış miktarının yüzde değişimine ilişkin sonuçlar verilmektedir. Modelden elde edilen su verimine ilişkin sonuçlar iki farklı iklim senaryosu (RCP4.5 ve RCP8.5) ve iki farklı dönem (2025-2050, 2075-2100) için sunulmuştur. Su verimi değişikliklerini (%) havza sınırlarıyla birlikte HRU düzeyinde gösterilmektedir.

Şekil Ek-I.5'te kullanılan renk diyagramı sarıdan kırmızıya doğru değişmekte olup iklim değişikliğinin şiddetli etkisi kırmızı yakın renklerle gösterilmiştir. Yüzeysel akış miktarındaki yüzde değişim, gelecek yıllara ait simülasyon-

larda elde edilen ortalama yüzeysel akış değerlerinden referans döneme (1980-2013) ait ortalama yüzeysel akış miktarı çıkarıldıktan sonra referans döneme ait değere bölünmesi ile elde edilmiştir.

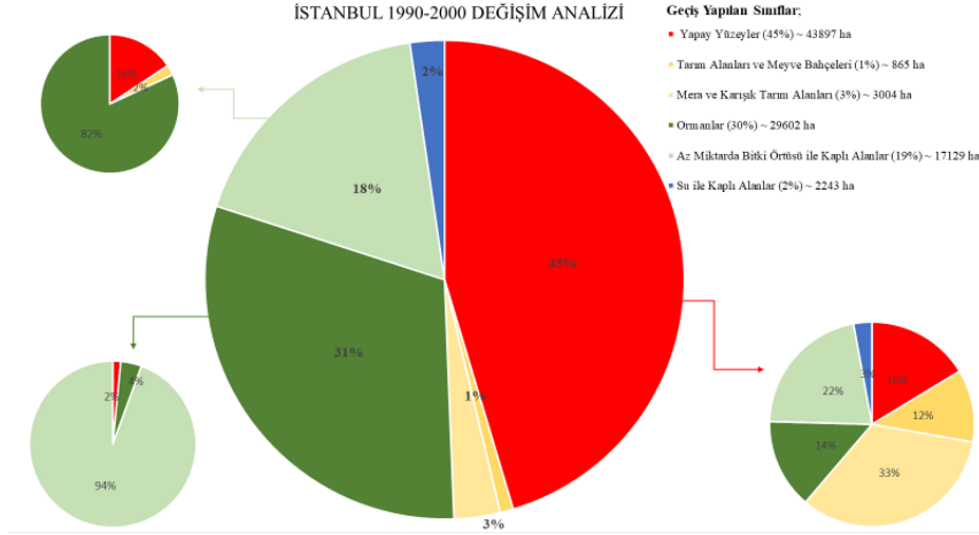
$$\text{Yüzde Değişim} = \frac{\text{Gelecek Yıllar Ortalama Yüzeysel Akış} - \text{Referans Dönem Ortalama Yüzeysel Akış}}{\text{Referans Dönem Ortalama Yüzeysel Akış}} \times 100$$

Şekil Ek-I.5: Yüzeysel akışın farklı iklim senaryolarına göre değişimi (2025-2050) (Cüceloğlu, 2019)

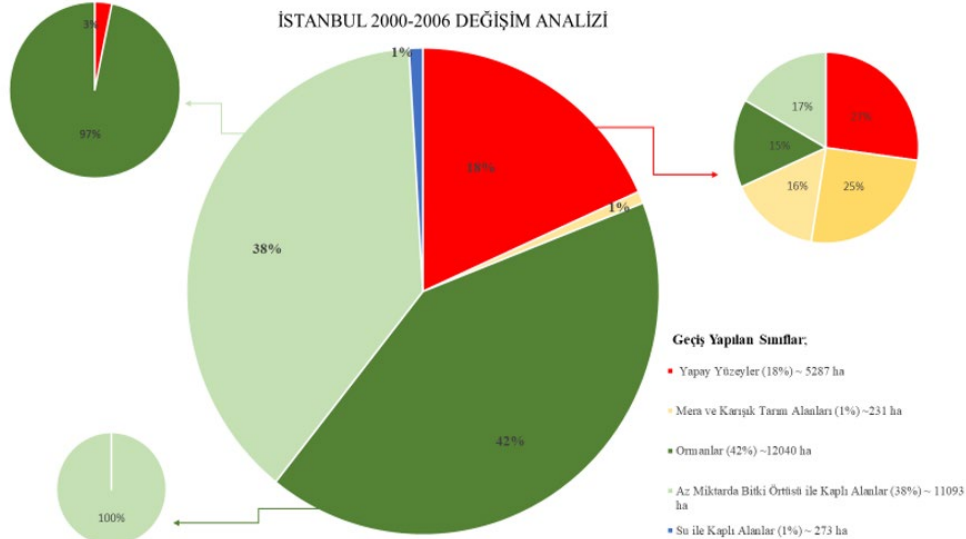


EK-II İSTANBUL İLİ YILLARA GÖRE ARAZİ KULLANIMI DEĞİŞİM ANALİZLERİ

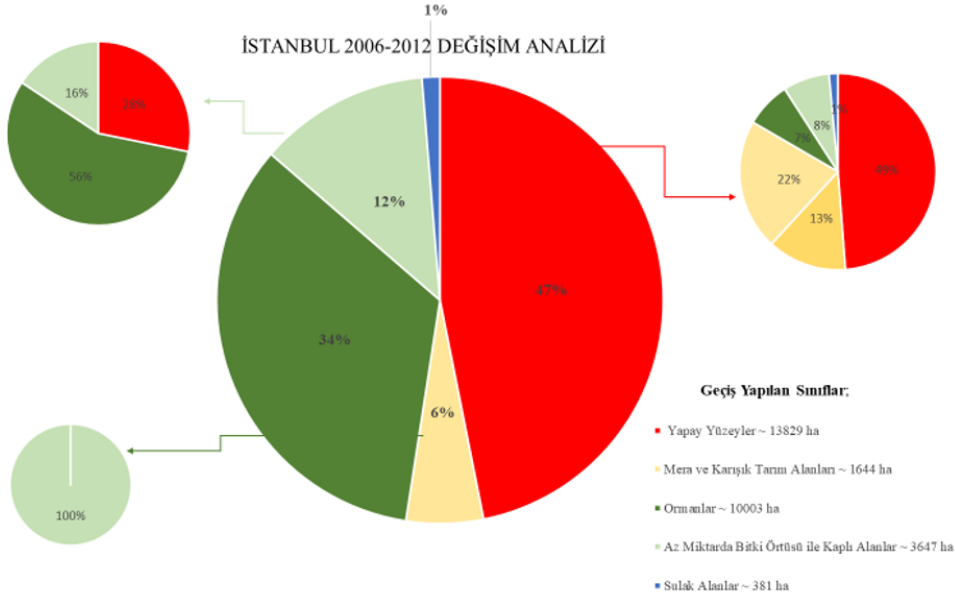
Şekil Ek-II.1: İstanbul ili 1990-2000 yılları arası arazi kullanımının değişimi



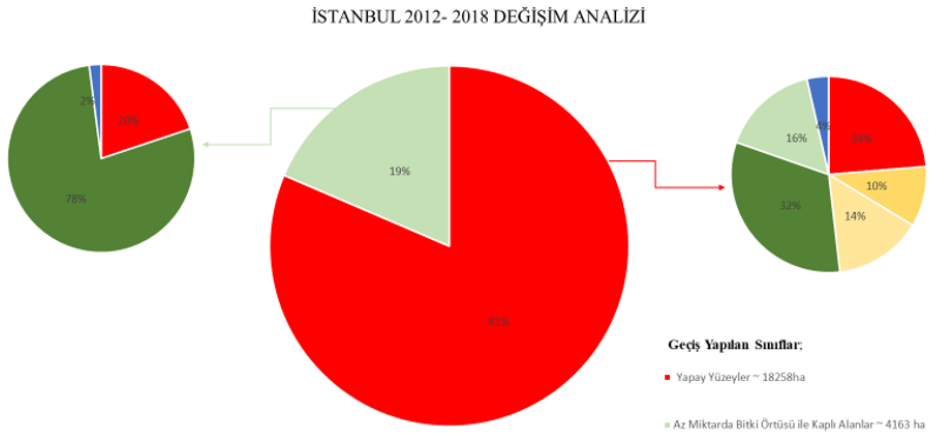
Şekil Ek-II.2: İstanbul ili 2000-2006 yılları arası arazi kullanımının değişimi



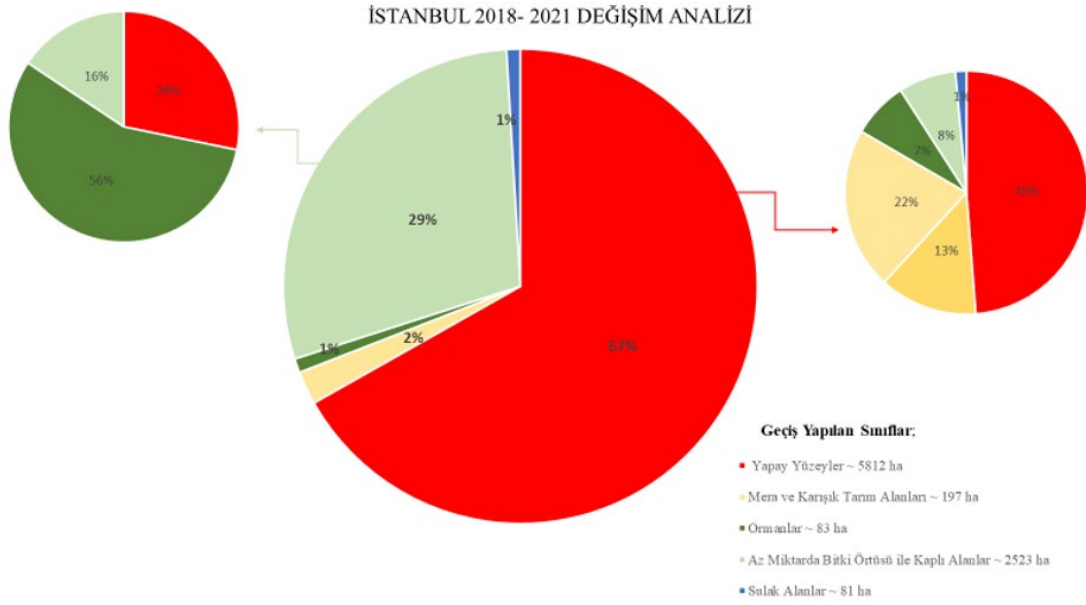
Şekil Ek-II.3: İstanbul ili 2006-2012 yılları arası arazi kullanımının değişimi



Şekil Ek-II.4: İstanbul ili 2012-2018 yılları arası arazi kullanımının değişimi



Şekil Ek-II.5: İstanbul ili 2018-2021 yılları arası arazi kullanımının değişimi



EK-III ATIK AZALTIMI VE SU GERİ DÖNÜŞÜMÜ/GERİ KAZANIMI

1. Giriş / Genel

Endüstriyel atık / atıksu, yeniden kullanımı ve sıfır deşarj konsepti son 50 yıllık dönemde çeşitli seviyelerde değerlendirilip başarıyla uygulanan bir yaklaşımdır. Tekil ve entegre endüstri tesislerini, atık azaltımı ve muhtemel sıfır deşarj uygulamalarına özendiren (teşvik eden)/sevk eden başlıca hususlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Mevzuat zorlamaları; Giderek sıkılaştırılan deşarj standartları; KOİ, TN, TP, İletkenlik, Renk vb. parametrelerle ilgili çok düşük deşarj limitlerinin artırılmış atıksuların yeniden kullanımını fizibil bir seçenek haline getirmesi.
2. Su temini ve atıksu deşarj maliyetinin çok yüksek oluşu dolayısıyla atık azaltımı ve su geri dönüşümünün zorunlu hale gelmesi.
3. Bütüncül ekonomik analizlerin (Fayda/

Maliyet analizi), atık ve atıksuların atılıp uzaklaştırılmasının geri dönüşüm/geri kazanım ve yeniden kullanıma göre daha pahalı hale gelmediğini açıkça ortaya koyması.

4. Aşırı sera gazı salımının tetiklediği Küresel İklim Değişikliği'nin, başta su olmak üzere doğal kaynaklar üzerindeki insan faaliyetlerine bağlı baskıların azaltılmasını zorunlu kılması dolayısıyla; kurumsal ve bireysel ölçekte su, enerji ve karbon ayak izlerinin en aza indirilmesi hususunda ortak bir mutabakatın oluşması (Dünya genelinde 2050~2060'a kadar Yeşil Mutabakat gereği, Karbon Nötr olma hedefi).
5. Giderek artan iklim ve çevre duyarlılığı bilinci dolayısıyla, tüketilen hemen her türden ürün ve hizmette, gömülü su ve karbon miktarlarının da sorgulanır hale gelmekte olduğu tüketici davranışlarındaki hızlı değişim trendi.

2. Su Geri Dönüşümü ve Yeniden Kullanımı

Tanımı gereği; su yeniden kullanımı (water reuse), suyun daha önce kullanıldığından farklı maksatlar için kullanılması iken su geri dönüşümü (water recycling), aynı suyun aynı maksatlar için bir veya daha fazla kez kullanılması olarak ifade edilmektedir. Endüstriyel su/atıksuların tesis içinde yeniden kullanımı ve geri dönüşümü, azami ölçüde kararlılıkla uygulanması gereken bir su tasarruf yaklaşımıdır.

Örneğin R = 2 olması, geri dönüşüm/geri kazanım uygulamaları sonrası tesisteki (taze) su kullanımının yarıya düştüğü anlamındadır. Geri dönüşüm/geri kazanım oranları; proses konfigürasyonu, arıtma derecesi/seviyesi ve kullanıcı birimlerce istenilen arıtılmış su kalitesi gibi faktörlere bağlı olarak, endüstri ana ve alt kategorileri için değişim göstermektedir.

Su geri dönüşümünün boyutu/derecesi, tanımı gereği, geri dönüşüm oranı ile ifade edilir:

$$\text{Geri dönüşüm/Geri Kazanım Oranı (R)} = \frac{\text{Geri dönüşüm öncesi dönemdeki taze su kullanımı}}{\text{Geri dönüşüm dönemindeki taze su kullanımı}}$$

3. Su Yeniden Kullanımının Sınırları

Yeniden kullanımın artması, kullanıldığı proses birimlerinde ve dolayısıyla burardan çıkan (deşarj edilen) atıksulardaki TDS, Tuzluluk vb. korunan madde konsantrasyonlarının da yükselmesine yol açar. Bu tür korunan maddelerin geri dönüşüm suyunda birikerek konsantrasyonlarının yükselmesi ancak atıksu arıtma sistemine membran sistemlerin (MF, UF, NF ve/veya TO) entegre edilmesiyle; sertlik ve tuzluluğa yol açan unsurların membran konsantre akımları yoluyla sudan ayrılması suretiyle sağlanabilir. Ayrıca, Türkiye’de olduğu gibi, endüstriyel atıksudeşarj limitlerinin yük üzerinden değil konsantrasyon esaslı tanımlandığı durumlarda, geri dönüşüm sonrası yükselen korunan madde seviyeleri dolayısıyla atıksudeşarjlarında sorun yaşanabilir.

4. AAT Çıkış Sularının Yeniden Kullanımı

Evsel, kentsel ve endüstriyel atıksu arıtma tesisi çıkış sularının yeniden kullanımı çok önceden beri bilinen bir uygulamadır.

Klasik ikinci kademe biyolojik ve besi maddesi giderimli (ileri) biyolojik arıtma uygulanmış Kentsel AAT çıkış suları, özellikle düşük tuz (TDS) içeriği dolayısıyla, zirai ve endüstriyel amaçlı yeniden kullanıma çok uygundur. Membran teknolojilerin de desteği ile, endüstriyel atıksuların da çok geniş bir perspektifte yeniden kullanımı mümkündür. Arıtılmış atıksuların çeşitli maksatlarla kullanım seçenekleri, tamamlayıcı arıtma teknolojileri ile birlikte, Şekil Ek-III.1’de görülmektedir.

5. Karar Verme Süreci

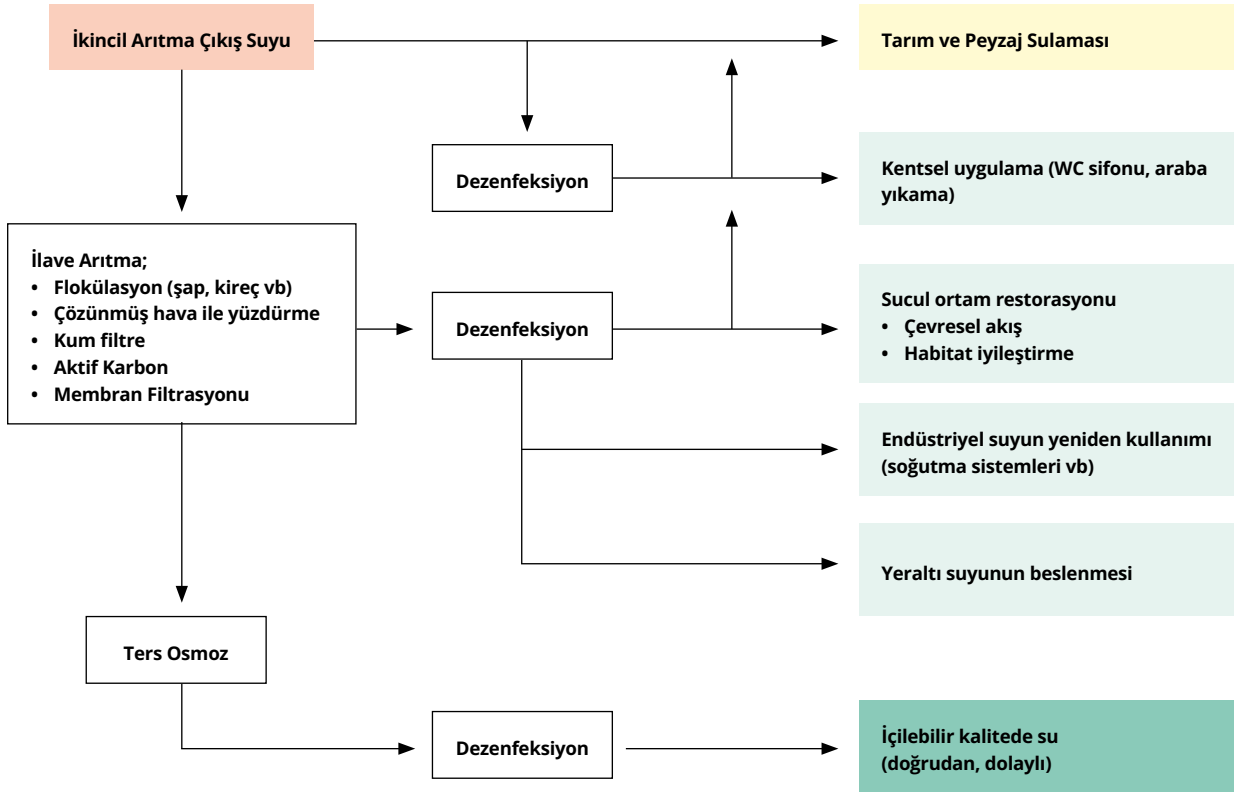
Endüstriyel su/atıksu geri dönüşüm/yeniden kullanım projelerindeki karar sürecini etkileyen en önemli iki kriter;

- Çevresel fayda ve
- Ekonomik fizibilite

olarak ifade edilebilir.

Endüstriyel tesislerde yürütülecek kapsamlı bir su/atıksu geri dönüşüm/geri kazanım ve azaltım çalışmasında öncelikle yapılması gereken en mantıklı iş, tesis bütünü için “su bütçesi/denkliği” kurulmasıdır. Çalışmanın

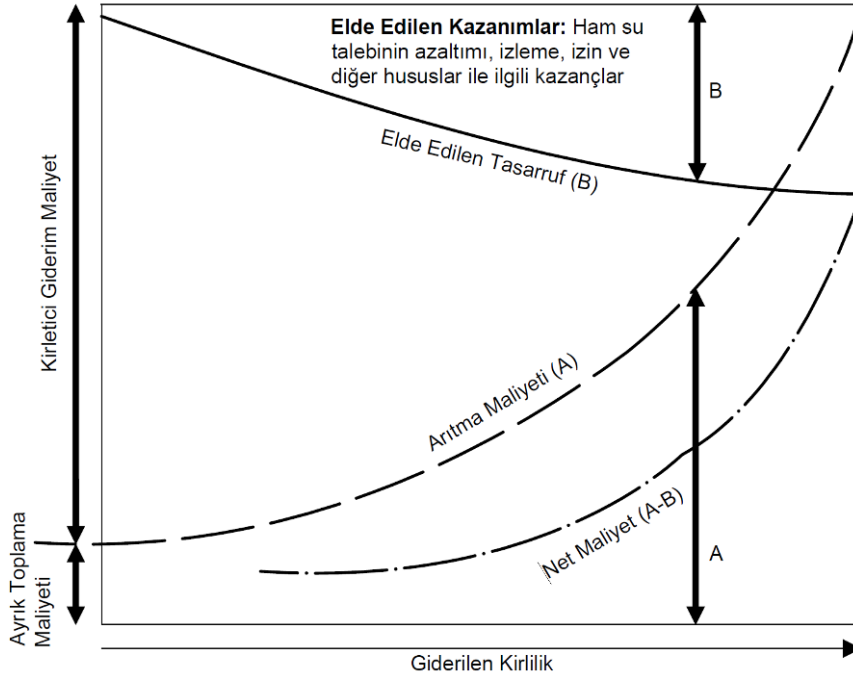
Şekil Ek-III.1: AAT Çıkış Sularının Yeniden Kullanımı (Eckenfelder, vd., 2009)



ekonomik fizibilite ile ilgili ikinci aşaması mevcut atıksu toplama ve uzaklaştırma sistemindeki atıksu akımlarının (organik/inorganik, yağlı/yağsız, yüksek/düşük iletkenlikli, ağır metal içeren/içermeyen, tehlikeli/tehlikesiz vb.), akım ayrımı ile ayrı toplanmasının mümkün ve faydalı olup olmadığının araştırılmasıdır. Akım ayrımı için gerekli atıksu toplama sistemleri; ayrılmış atıksu akımlarının geri dönüşüm/ yeniden kullanımı için

lüzumlu ilave ünite ve prosesler; tesisin ham su ihtiyacında sağlanacak azaltım ile ilave ölçme, izleme ve kontrol sistemi dahil ek yatırım/işletme maliyetlerinin belirlenmesi, fizibilite çalışması kapsamında detaylı olarak ortaya konması gereken hususlardır. Söz konusu su/atıksu minimizasyonu ve atıksu akımları ayrımını içeren Fizibilite Araştırması aşamaları Şekil Ek-III.2'deki grafik eki gibi görselleştirilebilir (Eckenfelder vd., 2009).

Şekil Ek-III.2: Geri dönüşüm/yeniden kullanım fizibilite karar verme mekanizması (Eckenfelder vd., 2009)



Artırılabilirlik çalışmaları, proses mühendisliği, ekipman seçimi ve maddesel kütle dengesi çalışmaları ışığında gerekli revizyonlarla son hali verilen yeni proses akım şeması için (A), (B) ve (A-B) maliyet bileşenleri hesaplanır. Yeni (revize) Proses dolayısıyla gerekli (toplam/yıllık) yatırım ve işletme/bakım maliyetleri belirlenerek geri dönüşüm/yeniden kullanım sularının m³ başına maliyetleri ortaya konur. Geri dönüştürülen/yeniden kullanılabilen suların birim maliyeti tesiste kullanılan suyun birim tedarik ve deşarj maliyeti ile (idari, çevresel ve sosyal etkenler de gözetilerek) kıyaslanıp

ilave yeni yatırımların geri ödeme sürelerine göre nihai karara varılabilir.

Su/atıksu azaltımı ile geri dönüşüm/geri kazanım projelerinin çevresel faydası, gelecekte mevcut mevzuatla ilgili sıkılaştırma beklentileri, küresel iklim değişikliğinin su kaynakları üzerindeki baskı ve etkileri dolayısıyla üretimin su, enerji ve karbon ayak izlerinin azaltılmasına ilişkin Karbon Nötr Ekonomi hedefleri ile gideren artan çevreci/yeşil tüketim duyarlılığı vb. kriterlerin eklenik etkisiyle ifade edilebilir.

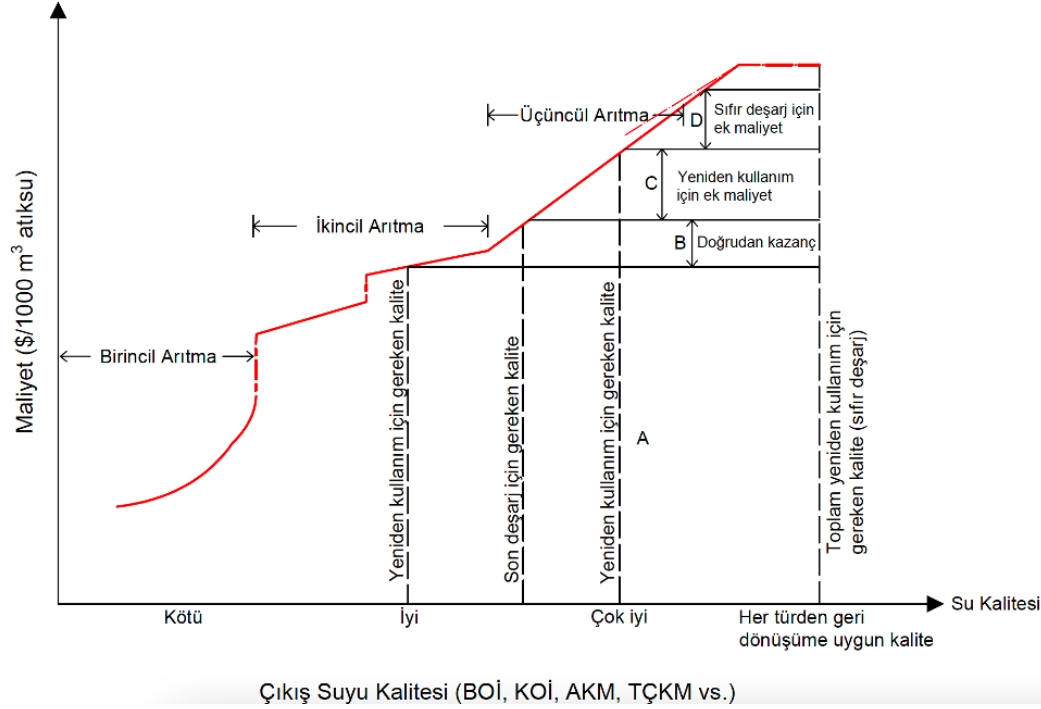
6. Sıfır Deşarj ve Sosyo-Ekonomik Boyutu

Termodinamiğin ikinci kanunu gereği hiçbir madde için sıfır deşarj (yok olma) söz konusu değildir. Buna rağmen “sıfır atıksu deşarjı” teknik olarak mümkündür. Sıfır atıksu deşarjı, azami geri dönüşüm/yeniden kullanım/atık minimizasyonu yoluyla endüstriyel atıkların ve kalıntıların (bakiyelerin) çevreye salınmasını azaltılmayı esas alan, geleneksel atık/atıksu yönetimi yaklaşımının ötesinde bir duruma karşı gelmektedir.

Sıfır atık yaklaşımı, Şekil Ek-III.3'teki gibi grafiksel bir kavramsallaştırma ile açıklanabilir. Teknolojik olarak uygulanabilir arıtma prosesleri ile toplam birim maliyeti (\$/1000 m³ atıksu) ile elde edilen çıkış suyu kalitesi arasında doğrudan bir ilişki kurulabilir. Örneğin, kentsel atıksuların, ÇŞİDB Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği (KAAY, 2006) deşarj limitlerini sağlamak üzere “İkinci kademe biyolojik arıtma (C, N, P giderimli Aktif Çamur Prosesi) + Kum Filtrasyonu” kademelerini içeren, çok iyi kaliteli geri dönüşüm/yeniden kullanım

suyu elde etmek amacıyla arıtımının A gibi bir toplam maliyeti vardır. Çok iyi kaliteli A birim maliyetli yeniden kullanıma uygun kalitede suyun varlığı, iyi kalite arıtılmış atık suyu daha farklı maksatlarla yeniden kullanmak üzere GAK filtrasyonu gibi B birim maliyetli ek yatırımdan kaçınma imkanı sağlar. İyi kalite arıtılmış suyun, çok daha geniş seçenekleri içeren maksatlarla da kullanımını sağlamak gerektiğinde B'ye ilave C birim maliyetli yatırım (üçüncü kademe arıtma) gerekmektedir. Dolayısıyla eldeki A birim maliyetli çok iyi kalitede arıtılmış atıksunun varlığı, toplam B+C tutarında ek birim maliyetli yatırım yapılmasına engel olmaktadır. Çok iyi kalitede arıtılmış atıksuyun, her türlü maksatla yeniden kullanımını sağlamak üzere A birim maliyetli yatırıma ilave D birim maliyetli ek yatırıma ihtiyaç vardır. D ve C birim maliyetleri kıyaslanarak “sıfır deşarj”a karar verilebilir. Sıfır deşarj halinde, mevzuat, çevre ve kamuoyu baskısının ortadan kalkarak kurum/ürün imajının çok olumlu düzeyde etkilenebileceği gibi hususlar da gözetilerek nihai karara ulaşılabilir. Sıfır

Şekil Ek-III.3: Maliyet/atık su kalitesi ilişkisi (Ford, 1996 ve 1997, Matson vd., 1996)



deşarj seçeneği, mevzuat zorlamaları ve ekonomik baskılar olmaktan ziyade algının iyileştirilmesini sağlayan bir yaklaşım sunabilir.

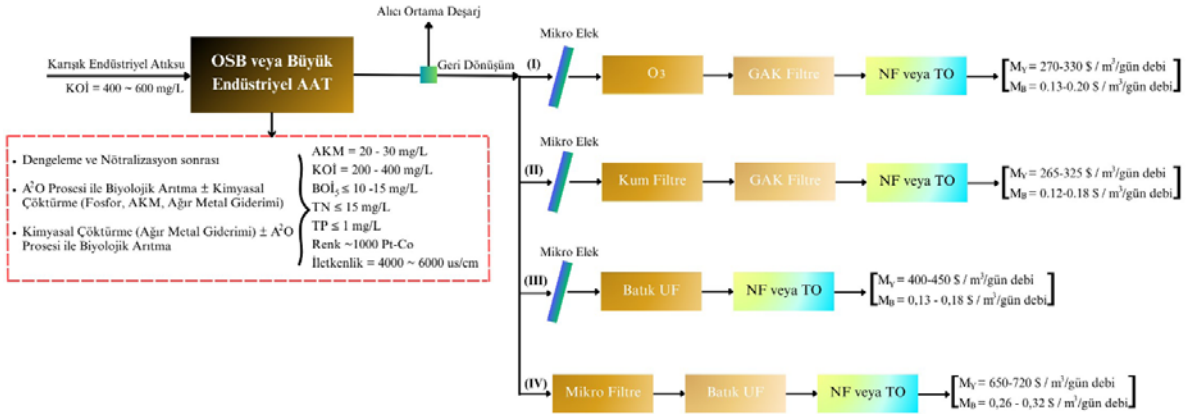
7. Arıtılmış OSB veya Tekil Endüstriyel AAT Çıkış Sularının Geri Dönüşüm Amaçlı Arıtımı

İyi işletilen OSB AAT'leri ile Şekil Ek-III.4'te belirtilen kalitede çıkış suyu elde edilebilmektedir. Tekstil ağırlıklı büyük OSB'ler için tipik olan bu kalitedeki atıksular; farklı kullanım amaçlarına göre şekildeki ilave (geri

dönüşüm/geri kazanım öncelikli) arıtma proseslerinden geçirilerek yeniden kullanılabilir. Bu şemalardaki NF ± TO birimleri, sertlik, iletkenlik ve renk gideriminin gerekmesi durumunda kullanılır. NF ve TO konsantrilerinin kentsel atıksu şebekesine verilerek veya derin deşarj yoluyla uzaklaştırılması en uygun seçeneklerdir.

Örneğin 50.000 m³/gün arıtılmış OSB çıkış suyu geri dönüşüm amaçlı olarak (II) no'lu ilave arıtma seçeneği ile arıtıldığında takriben;

Şekil Ek-III.4: Arıtılmış OSB Atıksularının Geri Dönüşüm/Geri Kazanımı için 3. Kademe Arıtma Seçenekleri ve Yaklaşık Yatırım (M_y) ve İşletme – Bakım Maliyetleri (M_B)



İlk Yatırım Maliyeti:

$$M_y = 50.000 \times 265 \text{ $/(m}^3\text{/gün)} \approx 13 \times 106 \text{ $}$$

İşletme ve Bakım Maliyeti:

$$M_{IB} = 50.000 \times 0,26 \text{ $/m}^3 = 13.000 \text{ $/gün}$$

mertebesinde (± 25 sapma ile) olması beklenir. Böyle bir tesisle ~ 30.000 m³/gün kazan suyu kalitesinde çok düşük iletkenlikle su geri kazanılabilir.

Şehir içinde faaliyet gösteren ve Biyolojik Arıtma Tesisi'nden 500 m³/gün atıksu deşarj edilen bir tekstil fabrikasına, geri dönüşüm mak-

satlı Batık UF (Mevcut Çökeltim Havuzu içine) + NF \pm TO birimlerini içeren (III) no'lu arıtma seçeneği uygulandığında takriben;

$$M_y = 500 \times 400 \text{ $/(m}^3\text{/gün)} = 200.000 \text{ $}$$

$$M_{IB} = 500 \times 0,15 \text{ $/m}^3 = 75 \text{ $/gün}$$

mertebesinde yatırım ve işletme giderine ihtiyaç duyulması beklenir.

Proses suyunu şehir şebekesinden temin eden bir Endüstri Tesisi için yukarıdaki yatırım ve işletme maliyetinin, şebeke su ve atıksu tarifesine bağlı olarak, 1~3 yıllık bir periyotta geri ödenmesi mümkündür.

EK-IV SANAYİ TESİSLERİ İÇİN HALİHAZIR DURUM ANKETİ ÖRNEĞİ

(Tesis/Firma adı :.....) Anketin
yapıldığı tarih...../...../2024

Bölüm A: Üretim Tesisine İlişkin Genel Bilgiler

Lütfen Anketle Başlamadan Önce Aşağıdaki İstenen Bilgileri Doldurunuz

Şirketin Adı

Katılımcının Adı

Görevi

Telefon No

Tel No: ___/___-___-___ Cep Tel : ___/___-___-___

Faks : ___/___-___-___

E-Posta

.....@.....

Tarih

___/___/___

Anketör Bilgileri

A.1.Tesis Adı / Unvanı:

Şehir:

A.2.Tesisiniz aşağıdaki endüstriyel organizasyonlardan birinde bulunuyor mu?

- Organize Sanayi Bölgesi
 İş Kümesi
 Teknoloji Geliştirme Bölgesi (TeknoPark)
 Serbest Bölge
 Münferit/Tekil
 Diğer

A.3.Tesisiniz bir şirketler grubuna (holding) bağlı mıdır?

- Evet Hayır

Lütfen belirtiniz

A.4.Tesisinizin kuruluş yılı

A.5.Tesisinizin toplam çalışan sayısı

..... kişi
NACE ---

A.6.Tesisinizin faaliyette bulunduğu sektör kodunu belirtiniz

Bölüm B: Üretilen Ürünler ve Miktarları

B.1.Tesisinizin NACE kodlarına göre (kapasite raporundan) üretim kapasitelerini yazınız.

NACE Kodu	Üretilen Ürünler	Üretim kapasitesi (2021) (ton – m ³ - m ² – adet) /yıl)	Üretim kapasitesi (2022) (ton – m ³ - m ² – adet) /yıl)	Üretim kapasitesi (2023) (ton – m ³ - m ² – adet) /yıl)	Ortalama üretim kapasitesi (ton – m ³ - m ² – adet) /yıl)

B.2.Lütfen tesisinize ait son kapasite raporunuzu paylaşınız (Örneğin 2022 ya da 2023 yılı kapasite raporu)

Mevcut Mevcut değil

Bölüm C: Su Kaynakları ve Temini

C.1.Tesisinizde ihtiyaç duyulan suyu hangi su kaynaklarından temin etmektesiniz? Su kaynağı birden fazla ise lütfen belirtiniz.

Tesise ait kuyulardan OSB tarafından Belediye içme suyu şebekesinden Tesise tahsis edilen yüzeysel su kaynaklarından (baraj, göl, nehir, dere) Tesise tahsis edilen diğer su kaynakları



Lütfen belirtiniz

C.2.Tesisinizin birden fazla su kaynağı varsa ortalama olarak (örneğin son iki yıllık ortalama) yüzde dağılımlarını belirtiniz.

Tesise ait kuyulardan	OSB'den edilen su	temin	Belediye içmesuyu şebekesinden	Tesise tahsis edilen yüzeysel su kaynaklarından (baraj, göl, nehir, dere)	Tesise tahsis edilen diğer su kaynakları
Oran (%):.....	Oran (%):.....	Oran (%):.....	Oran (%):.....	Oran (%):.....	Oran (%):.....

C.3.Tesisinize su temininde bulunduğunuz kaynak yeraltı su kaynağı ise toplam kuyu adedi nedir?
Kuyu sayısı

C.4.Tesisinize kuyularından su temininde bulunuyorsanız mevcut kullanılmakta olan kuyu adedi nedir?
Kullanılan kuyu sayısı

C.5. Tesisinize temin edilen toplam su miktarı belirtiniz. Lütfen aşağıdaki tabloyu doldurunuz.

Su kaynağı/kaynakları	Yıllık su temini miktarı (2021) (m ³ /yıl)	Yıllık su temini miktarı (2022) (m ³ /yıl)	Yıllık su temini miktarı (2023) (m ³ /yıl)	Yıllık ortalama su temini miktarı (m ³ /yıl)
-----------------------	--	--	--	--

Tesise ait kuyulardan

OSB'den temin edilen su

Belediye içmesuyu şebekesinden

Tesise tahsis edilen yüzeysel su kaynaklarından (baraj, göl, nehir, dere)

Tesise tahsis edilen diğer su kaynakları

Deniz suyu (örneğin soğutma suyu)

Diğer (.....)

**Eğer son üç yıllık su miktarlarına ait veriler bulunmuyor ise son sütunda bulunan "yıllık ortalama su temini miktarlarını" tipik değerler vererek belirtiniz.*

C.6.Tesisinize temin edilen hamsu kaynağının/kaynaklarının kalitesini periyodik olarak izliyor musunuz?

Tesise ait kuyulardan

Evet

Hayır

OSB'den temin edilen su

Evet

Hayır

Belediye içmesuyu şebekesinden

Evet

Hayır

Tesise tahsis edilen yüzeysel su kaynaklarından (baraj, göl, nehir, dere)

Evet

Hayır

Tesise tahsis edilen diğer su kaynakları

Evet

Hayır

Deniz suyu (örneğin soğutma suyu)

Evet

Hayır

Diğer (.....)

Evet

Hayır

Cevabınız "evet" ise hangi sıklıkta hamsu kalitesi izlemesi yapılıyor? Belirtiniz.

C.7.Tesisinize temin edilen hamsu debileri ölçülüyor mu? Birden fazla kaynaktan su temininde bulunuluyor ise lütfen belirtiniz.

Tesise ait kuyulardan	<input type="checkbox"/> Evet <input type="checkbox"/> Hayır
OSB'den temin edilen su	<input type="checkbox"/> Evet <input type="checkbox"/> Hayır
Belediye içmesuyu şebekesinden	<input type="checkbox"/> Evet <input type="checkbox"/> Hayır
Tesise tahsis edilen yüzeysel su kaynaklarından (baraj, göl, nehir, dere)	<input type="checkbox"/> Evet <input type="checkbox"/> Hayır
Tesise tahsis edilen diğer su kaynakları	<input type="checkbox"/> Evet <input type="checkbox"/> Hayır
Deniz suyu (örneğin soğutma suyu)	<input type="checkbox"/> Evet <input type="checkbox"/> Hayır
Diğer (.....)	<input type="checkbox"/> Evet <input type="checkbox"/> Hayır

Cevabınız "evet" ise hangi sıklıkta ölçüm yapıldığını lütfen belirtiniz.

C.8.Tesisinize temin edilen hamsuyun/suların kalitesi ürün kalitesini doğrudan etkiliyor mu?

Evet Hayır

Hangi parametreler ürün kalitesini etkiliyor ve bu parametreler hangi seviyelerde olması gerekir lütfen belirtiniz.

C.9. Tesisinize temin edilen hamsuyun/suların kalitesi genel üretim prosesleri için ne seviyede önemlidir?

Çok önemli Önemli Orta seviyede önemli Önemli değil

Lütfen belirtiniz

C.10. Tesisinizdeki her bir su kullanım noktası için gerekli hamsu kalitesi/standartları bulunuyor mu?

Evet Hayır

Lütfen belirtiniz

C.II.Tesisinize temin edilen suyu hangi alanlarda kullanıyorsunuz?

Kullanım alanı	Tesise ait kuyulardan	OSB'den temin edilen su	Belediye içmesuyu şebekesinden	Tesise tahsis yüzeyel kaynaklarından (göl, nehir, dere)	edilen su (baraj,	Tesise tahsis edilen diğer su kaynakları (Deniz, yağmur suyu toplama belirtiniz)
Proses suyu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Kimyasal besleme sistemi	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sanitasyon	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ekipman, makine veya ürün soğutma suları						
Soğutma kulesi tamamlama suyu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Kazan tamamlama, şartlandırma suyu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Kapalı devre tamamlama suyu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Pompa salmastra suyu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Tesis ve ekipman temizliği	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Proses yıkama ve durulama suyu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Atıksu arıtma tesisi servis suyu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Araç yıkama suyu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Tesis içi yeşil alan sulama veya hammadde stok alanlarında toz giderimi	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Yangın hidrantları	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Su yumuşatmada/proses suyu hazırlamada kullanım (örneğin, filtre geri yıkama suları, rejenerasyon suyu hazırlama, membran modülleri için kimyasal temizlik solüsyonu hazırlama)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Evel kullanım	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Diğer	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

*Tabloda sıralanan alanlar dışında kullanım alanları mevcutsa lütfen yeni satır ekleyerek belirtiniz.

Bölüm D: Uygulanan Su Tarifeleri

D.1.Tesisinizde su tarifi uygulanmasında sayaç değerleri esas alınıyor ise sayaç okuma sıklığını belirtiniz.

Anlık Günlük Aylık Yıllık Diğer

Lütfen belirtiniz

D.2.Tesisinizde su tarifi uygulamasının türünü belirtiniz.

Kullanım miktarına göre kademeli fiyatlandırma (sabit birim fiyat) Kullanım miktarına göre kademeli fiyatlandırma Diğer

Lütfen belirtiniz

D.3.Tesisinizin temin ettiği hamsu bedellerini lütfen belirtiniz.

Kademeli fiyatlandırma			
Su kaynağı	Minimum miktar	Maksimum miktar	Birim fiyat
Kaynak 1			
Kaynak 2			
	m ³ te n		m ³ e kadar TL/m ₃
Kaynak 3			
Kaynak 4			

ya da kademeli fiyatlandırma

Su kaynağı	Fiyat
Kaynak 1	
Kaynak 2	Birim hamsu fiyatı TL/m ₃
Kaynak 3	
Kaynak 4	

D.4.Atıksu arıtma ve kanalizasyona katılım hizmetleri için ne tür tarife/fiyatlandırma uygulanmaktadır?

Lütfen belirtiniz

Bölüm E: Proses Suyu Hazırlama/Arıtma/Şartlandırma Sistemi Bilgileri

E.1. Üretim proseslerinizde su kalitesi gereksinimlerinizi karşılamak üzere su arıtma/yumuşatma/şartlandırma sistemi kullanıyor musunuz?

Evet

Hayır

Diğer



Lütfen belirtiniz

E.2. Tesisinizde kullandığınız su arıtma/yumuşatma/şartlandırma sistemi türü nedir?

İyon değiştirici reçine

Membran sistemi (örneğin nanofiltrasyon, ters ozmos)

Diğer



Lütfen kullanılan tüm arıtma proseslerini yazınız

E.3. Tesisinizde kullandığınız su arıtma/yumuşatma/şartlandırma sistemleri için aşağıda belirtilen debileri yazınız.

Birinci üniteye giren hamsu debisi

(.....)

m³/yıl

İkinci üniteye giren su debisi

(.....)

m³/yıl

Üçüncü üniteye giren su debisi

(.....)

m³/yıl

E.4. Tesisinizde kullanılan su arıtma/yumuşatma/şartlandırma sisteminizde katyonik iyon değiştirici reçineler kullanılıyor ise rejenerasyon sıklıkları nasıl belirlenmektedir?

Yumuşatılmış su

Reçine

Yumuşatma

Offline/manuel

çıkışında on-line

tedarikçisinin

sistemine giren

olarak

↓

sertlik sensörleri

önerdiği sıklıklarda

ve/veya çıkan su

yumuşatılmış suda

Diğer

kullanılarak

olarak

bağlı

sertlik ölçümleriyle

Lütfen belirtiniz

E.5. Tesisinizde kullanılan su arıtma/yumuşatma/şartlandırma sisteminizde iyon değiştirici reçineler kullanılıyor ise rejenerasyon sıklığı nedir?

Rejenerasyon sıklığı

(örneğin her 18 saatte bir kez gibi)

(örneğin her X m³ hamsu arıtımında bir kez)

Diğer uygulamalarınız var ise belirtiniz

Rejenerasyon optimizasyonu yaptınız mı? Lütfen belirtiniz.

E.6.Tesisinizde kullanılan su arıtma/yumuşatma/şartlandırma sisteminizle ilgili aşağıdaki soruları yanıtlayınız.

Rejenerasyon öncesi ve/veya sonrası durulamalarınız mevcut mu?

Mevcut ise sürelerini belirtiniz.

Durulama suyu kaynaklarını yazınız.

Rejenerasyon çözümü hazırlamakta hangi su kaynaklarını kullanıyorsunuz?

E.7.Tesisinizde kullanılan su arıtma/yumuşatma/şartlandırma sisteminizde iyon değiştirici reçineler kullanılıyor ise rejenerasyon süresini belirtiniz.

Rejenerasyon süresi

dakika

Lütfen belirtiniz

E.8. Tesisinizde kullanılan su arıtma/yumuşatma/şartlandırma sisteminizde iyon değiştirici reçineler kullanılıyor ise her bir rejenerasyonda kullanılan ortalama su miktarını belirtiniz.

Rejenerasyon suyu miktarı

m³/gün
veya
m³/her bir
rejenerasyon

Durulama suyu miktarı

E.9.Tesisinizde ihtiyaç duyulan arıtılmış/yumuşatılmış/şartlandırılmış su miktarı belirtiniz.

Yumuşatılmış proses suyu miktarı

m³/yıl

**Son bir veya iki yıllık veriler olabilir*

E.10.Tesisinizde oluşan rejenerasyon ve durulama atıksularının nihai bertaraf noktasını belirtiniz.

E.11. Tesisinizde oluşan varsa diğer atıksuların nihai bertaraf noktalarını belirtiniz. (Örneğin membran konsantreleri, filtre geri yıkama suları, membran kimyasal temizlik atıksuları vb.).

Atıksu kaynakları

Bertaraf noktaları

E.12. Tesisinizde kullanılan su arıtma/yumuşatma/şartlandırma sisteminizin/sistemlerinizin birim arıtma maliyetleri ile ilgili aşağıdaki soruları lütfen cevaplayınız.

Maliyet bileşenleri	Birinci arıtma sistemi	İkinci arıtma sistemi	Birim
Personel maliyetleri			
Kimyasal maliyetleri			
Enerji maliyetleri			TL/m ³
Diğer maliyetler (.....)			
Toplam işletme ve bakım maliyetleri			

Bölüm F: Üretim Proseslerinde Su Kullanımı

F.1. Tesisinizde proses bazlı su kullanım ve atıksu oluşum noktalarını aşağıda belirtiniz.		
Proses	Su kullanımı	Atıksu oluşumu
P1:	<input type="checkbox"/> Evet <input type="checkbox"/> Hayır	<input type="checkbox"/> Evet <input type="checkbox"/> Hayır
P2:	<input type="checkbox"/> Evet <input type="checkbox"/> Hayır	<input type="checkbox"/> Evet <input type="checkbox"/> Hayır
P3:	<input type="checkbox"/> Evet <input type="checkbox"/> Hayır	<input type="checkbox"/> Evet <input type="checkbox"/> Hayır
P4:	<input type="checkbox"/> Evet <input type="checkbox"/> Hayır	<input type="checkbox"/> Evet <input type="checkbox"/> Hayır
P5:	<input type="checkbox"/> Evet <input type="checkbox"/> Hayır	<input type="checkbox"/> Evet <input type="checkbox"/> Hayır
P6:	<input type="checkbox"/> Evet <input type="checkbox"/> Hayır	<input type="checkbox"/> Evet <input type="checkbox"/> Hayır

Lütfen üretim prosesi akım şeması üzerinde su kullanım, suyun geri kazanımı ve atıksu oluşan noktaları gösteren bir akım şeması çiziniz.

F.2. Üretim akım şemasında su kullanımı gerçekleşen prosesler ile ilgili aşağıda istenen bilgileri doldurunuz.						
Su kullanılan üretim prosesleri	Hamsu/proses suyu (H/P/Diğer)	Ortalama oransal dağılım ¹ (%)	Toplam su tüketimi (2019) (m ³ /yıl)	Toplam su tüketimi (2020) (m ³ /yıl)	Toplam su tüketimi (2021) (m ³ /yıl)	Ortalama su tüketimi ² (m ³ /yıl)

*Satır eklemeniz gerektiği durumlarda listeye satır ekleyebilirsiniz.
¹Ortalama oransal dağılım; eğer son üç yıla ait veriler bulunmuyor ise temsil edici olmak kaydıyla toplam su tüketiminin prosesler bazında ortalama yüzdece dağılımları verilebilir.
²Eğer son üç yıllık su miktarlarına ait veriler bulunmuyor ise son sütunda bulunan "yıllık ortalama su tüketimi miktarlarını" tipik değerler vererek belirtiniz.

F.3. Üretim prosesleri dışındaki yardımcı proseslerde (su yumuşatma sistemi, membran modül temizliği, buhar kazanı, soğutma, iklimlendirme vb.) su tüketimi miktarlarını belirtiniz.						
Su kullanılan yardımcı prosesler	Hamsu/proses suyu (H/P/Diğer)	Ortalama oransal dağılım ¹ (%)	Toplam su tüketimi (2021) (m ³ /yıl)	Toplam su tüketimi (2022) (m ³ /yıl)	Toplam su tüketimi (2023) (m ³ /yıl)	Ortalama su tüketimi ² (m ³ /yıl)

*Satır eklemeniz gerektiği durumlarda listeye satır ekleyebilirsiniz.
¹Ortalama oransal dağılım; eğer son üç yıla ait veriler bulunmuyor ise temsil edici olmak kaydıyla toplam su tüketiminin prosesler bazında ortalama yüzdece dağılımları verilebilir.
²Eğer son üç yıllık su miktarlarına ait veriler bulunmuyor ise son sütunda bulunan "yıllık ortalama su tüketimi miktarlarını" tipik değerler vererek belirtiniz.

F.4. Üretim prosesleri ve yardımcı prosesler dışındaki alanlarda (tesis ve ekipman temizliği, tesis içi yeşil alan sulama, evsel kullanım, kazan tamamlama suyu vb.) su tüketimi miktarlarını belirtiniz.

Su kullanılan proses ve yardımcı proses dış alanlar	Hamsu/proses suyu (H/P/Diğer)	Ortalama oransal dağılım ¹ (%)	Toplam su tüketimi (2021) (m ³ /yıl)	Toplam su tüketimi (2022) (m ³ /yıl)	Toplam su tüketimi (2023) (m ³ /yıl)	Ortalama su tüketimi ² (m ³ /yıl)
---	-------------------------------	---	---	---	---	---

^{*}Satır eklemeniz gerektiği durumlarda listeye satır ekleyebilirsiniz.

¹Ortalama oransal dağılım; eğer son üç yıla ait veriler bulunmuyor ise temsil edici olmak kaydıyla toplam su tüketiminin prosesler bazında ortalama yüzdece dağılımları verilebilir.

²Eğer son üç yıllık su miktarlarına ait veriler bulunmuyor ise son sütünde bulunan "yıllık ortalama su tüketimi miktarlarını" tipik değerler vererek belirtiniz.

F.5. Tesisinizin toplam ve prosesler bazında yıllık üretim miktarlarını belirtiniz.

Üretim prosesleri	Üretim miktarı (2021) (ton - m ³ - m ² - adet) /yıl	Üretim miktarı (2022) (ton - m ³ - m ² - adet) /yıl	Üretim miktarı (2023) (ton - m ³ - m ² - adet) /yıl	Ortalama üretim miktarı ¹ (ton - m ³ - m ² - adet) /yıl
-------------------	---	---	---	--

^{*}Satır eklemeniz gerektiği durumlarda listeye satır ekleyebilirsiniz.

¹Son üç yıllık veriler ayrı ayrı mevcut değil ise son yıllardaki ortalama tipik üretim miktarlarını belirtiniz.

F.6. Tesiste kullanılan hamsu ve proses sularına ait temsil edici analiz sonuçlarını (örneğin son bir yıllık ortalama değerler) aşağıdaki tabloda belirtiniz.

Parametre	Birim	Hamsu	Proses suyu
pH	-		
İletkenlik	µS/cm		
Toplam Çözülmüş Katılar (TÇK)	mg/L		
Toplam Sertlik	mg CaCO ₃ /L		
Toplam AKM	mg/l		
Demir	mg/L		
Mangan	mg/L		
Toplam azot	mg/L		
Toplam fosfor	mg/L		
Toplam Organik Karbon (TOK)	mg/L		
Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ)	mg/L		
Fekal koliform	kob/100 ml		
Toplam koliform	kob/100 ml		

*Gerek duyulması halinde lütfen listeye satır ekleyiniz.

F.7. Tesisinizde üretim prosesleri bazında su tüketimlerini periyodik olarak izliyor musunuz? (Örneğin sayaç, debimetre vb. ile)

Evet

Hayır

Kısmen



Eğer cevabınız evet ise su tüketimlerinin izlendiği prosesleri belirtiniz

F.8. Tesisinizde su tüketiminin izlenmesinde herhangi bir veri saklama/SCADA sistemi kullanıyor musunuz?

Evet

Hayır

Diğer



Lütfen belirtiniz

F.9. Tesisinizde su tüketiminin kontrolü için kontrol ekipmanları (otomatik kapatma vanaları,PLC gibi) kullanıyor musunuz?

Evet

Hayır

Kısmen



Lütfen belirtiniz

F.10. Tesisinizde prosesler bazında su tüketimi verilerini de içeren yıllık değerlendirme raporları hazırlıyor musunuz?

Evet

Hayır

Diğer



Lütfen belirtiniz

F.11. Tesisinizde su kayıp-kaçaklarını izliyor musunuz?

Evet

Hayır

Diğer



Lütfen belirtiniz

F.12. Tesisinizde daha önceden su verimliliğine yönelik bir etüt/analiz çalışması gerçekleştirildi mi?

Evet

Hayır

Diğer



Lütfen belirtiniz

F.13. Üretim prosesleri bazında (özellikle yoğun su tüketilen proseslerde) su tüketimi optimizasyon çalışmaları gerçekleştirildi mi?

Evet

Hayır

Diğer



Lütfen belirtiniz

F.14. Üretim prosesleri bazında (özellikle su tüketiminin yoğun olduğu proseslerde) su tüketiminin azaltılmasına yönelik önlemler aldınız mı? (proses modifikasyonu, makine modifikasyonu veya değişimi, atıksu geri kullanımı vb.)

Evet

Hayır

Diğer



Lütfen belirtiniz

F.15. Su kullanımının olduğu her bir proses adımında gerekli su kalitesinin belirlenmesine yönelik bir analiz/etüt çalışmanız oldu mu?

Evet

Hayır

Diğer



Lütfen belirtiniz

Bölüm G: Atıksu Geri Kazanımı ve Geri Kullanımı Uygulamaları

G.1. Tesisinizde her bir atıksu oluşum noktasında karakterizasyon çalışması gerçekleştirildi mi?

Evet

Hayır

Diğer



Lütfen belirtiniz

G.2. Eğer gerçekleştirildi ise tesisinizde her bir atıksu oluşunu noktasına ait temsil edici analiz sonuçlarını (örneğin son bir yıllık ortalama değerler) aşağıdaki tabloda belirtiniz.

Parametre	Birim	Proses 1	Proses 2	Proses 3	Proses 4	Rejenerasyon atıksuyu	Membran konsantrisi
pH	-						
İletkenlik	$\mu\text{S}/\text{cm}$						
Toplam Çözünmüş Katılar (TÇK)	mg/L						
Asılda Katt Maddeler (AKM)	mg/L						
Biyolojik Oksijen İhtiyacı (BOİs)	mg/L						
Toplam azot	mg/L						
Toplam fosfor	mg/L						
Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ)	mg/L						
Fekal koliform	kob/100 ml						
Toplam koliform	kob/100 ml						
Diğer (örneğin metaller)	mg/L						

**Gerek duyulması halinde lütfen listeye satır ekleyiniz.*

G.3. Tesisinizde üretim proseslerinden kaynaklanan her bir atıksu akımının veya kompozit atıksuyun arıtılarak geri kullanım olanakları değerlendiriliyor mu?

Evet

Hayır

Diğer



Lütfen belirtiniz

G.4. Bir önceki soruya cevabınız evet ise, arıtılarak geri kazanılan suya ait aşağıdaki soruları cevaplayınız.

Atıksu kaynağı

Geri kullanıldığı proses/alan

Arıtma prosesleri/teknolojisi

Geri kazanılan su miktarı

m³/yıl

Ekonomik tasarruf miktarı

TL/yıl

İlk yatırım maliyeti

TL

Geri kazanılmış su maliyeti

TL/m³

Geri ödeme süresi

ay

**“TL/yıl ve m³/yıl” değerleri son iki veya son üç yılın ortalama değerlerini ifade etmektedir. Birden fazla yılın verisi olmaması durumunda sadece mevcut yılın verisi sunulabilir.*

G.5. Tesisinizde üretim proseslerinde uygun atıksu akımlarının arıtılmadan geri kullanımı olanakları değerlendiriliyor mu?

Evet

Hayır

Diğer



Lütfen belirtiniz

G.6. Bir önceki soruya cevabınız evet ise, arıtılmadan geri kullanılan suya ait aşağıdaki soruları cevaplayınız.

Atıksu kaynağı

Geri kullanıldığı proses/alan

Geri kazanılan su miktarı **m³/yıl**

Ekonomik tasarruf miktarı **TL/yıl**

İlk yatırım maliyeti **TL**

Geri kazanılmış su maliyeti **TL/m³**

Geri ödeme süresi **ay**

**“TL/yıl ve m³/yıl” değerleri son iki veya son üç yılın ortalama değerlerini ifade etmektedir. Birden fazla yılın verisi olmaması durumunda sadece mevcut yılın verisi sunulabilir.*

G.7. Tesisinizde geri kullanılan su/atıksu miktarını belirtiniz.

Arıtıldıktan sonra geri kazanılan toplam su miktarı **m³/yıl**

Arıtılmadan geri kullanılan toplam su miktarı **m³/yıl**

Toplam miktar **m³/yıl**

**“m³/yıl” değerleri son iki veya son üç yılın ortalama değerlerini ifade etmektedir. Birden fazla yılın verisi olmaması durumunda sadece mevcut yılın verisi sunulabilir.*

G.8. Tesisinizde atıksu geri kazanımı ve geri kullanımına yönelik önerileriniz nelerdir belirtiniz.

Öneri 1:

Öneri 2:

Öneri 3:

Öneri 4:

Öneri 5:

H.2. Tesisinizde üretim prosesleri dışında oluşan atıksu kaynakları ve miktarlarını belirtiniz.				
Atıksu kaynakları	Atıksu miktarı (2021) (m³/yıl)	Atıksu miktarı (2022) (m³/yıl)	Atıksu miktarı (2023) (m³/yıl)	Ortalama atıksu miktarı¹ (m³/yıl)
Proses yıkama ve durulama suyu				
Tesis ve ekipman temizlik atıksuları				
Kazan blöf suları				
Filtre geri yıkama atıksuları				
Membran konsantreleri				
Membran kimyasal temizlik atıksuları				
Sanitasyon atıksuları				
Araç yıkama atıksuları				
Rejenerasyon atıksuları				
Evsel atıksular				
Diğer (Belirtiniz....)				
Toplam				

¹Eğer son üç yıllık su miktarlarına ait veriler bulunmuyor ise son sütunda bulunan "yıllık ortalama atıksu miktarlarını" tipik değerler vererek belirtiniz.

H.3. Tesisinizde evsel ve endüstriyel atıksu akımlarının birleşik veya ayrıklı toplama hususunu belirtiniz. Bu akımların nihai deşarj noktalarını belirtiniz.

Lütfen belirtiniz

H.4. Tesisinize ait atıksu arıtma tesisi bulunuyor mu?

Evet

Hayır



Eğer cevabınız hayır ise atıksularınızı nereye verdiğinizi belirtiniz

H.5. Bir önceki soruya cevabınız evet ise, atıksu arıtma tesisinize ait aşağıdaki soruları cevaplandırınız.

Arıtma tesisi tasarım kapasitesi

m³/gün

Atıksu arıtma tesisi giriş işletme debisi (Son üç yılın, mevcut değil ise son bir yılın ortalama işletme debisi)

H.6. Tesisinizde oluşan tüm atıksular atıksu arıtma tesisinizde arıtılmakta mıdır? Cevabınız hayır ise arıtılmayan atıksuyun ortalama debisini belirtiniz.

m³/gün

Lütfen belirtiniz

**"m³/gün" değerleri son iki veya son üç yılın ortalama değerlerini ifade etmektedir. Birden fazla yılın verisi olmaması durumunda sadece mevcut yılın verisi sunulabilir.*

H.7. Atıksu arıtma tesisi türünü belirtiniz?

Fiziksel arıtma/Birincil arıtma

Biyolojik arıtma/İkincil arıtma

İleri arıtma



Lütfen belirtiniz

H.8. Tesisinizin atıksu arıtma tesisine almadığınız diğer atıksu kaynaklarının deşarj noktalarını belirtiniz. (Örneğın; ön arıtma sonrası derin deniz deşarjı veya OSB atıksu arıtma tesisine deşarj veya belediyenin kanalizasyon sistemine deşarj)

Lütfen belirtiniz

H.9. Tesisinizin atıksu arıtma tesisinin çıkış sularının deşarj edildiğı alıcı ortamı belirtiniz.

Yüzeysel su

Diğer

Göl/gölet

Nehir/dere/çay

Kuru dere

Deniz
deşarjı

Derin
deniz deşarjı



Lütfen belirtiniz

H.10. Atıksu arıtma tesisinizdeki giriş ve çıkış su kalitesi parametrelerinin verilerini aşağıdaki tabloya yazınız.

Parametre	Birim	Atıksu arıtma girişı	Atıksu arıtma çıkışı
pH	-		
İletkenlik	$\mu\text{S/cm}$		
Toplam Çözünmüş Katılar (TÇK)	mg/L		
Askıda Katı Maddeler (AKM)	mg/L		
Biyolojik Oksijen İhtiyacı (BOİ ₅)	mg/L		
Toplam azot	mg/L		
Toplam fosfor	mg/L		
Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ)	mg/L		
Fekal koliform	kob/100 ml		
Toplam koliform	kob/100 ml		
Diğer (örneğin metaller)	mg/L		

*Son üç yılın ortalama değerleri sunulabilir. Çok sayıda veri mevcut değil ise eldeki verilerin ortalaması sunulabilir.

H.11. Atıksu arıtma tesisinin işletme toplam birim maliyetini belirtiniz.		
Maliyet bileşenleri	Maliyet değerleri	Birim
Personel maliyetleri		
Kimyasal maliyetleri		
Enerji maliyetleri		TL/m³
Çamur bertaraf maliyetleri		
Diğer maliyetler (.....)		
Toplam birim işletme maliyeti		
<i>*"TL/m³" değerleri son iki veya son üç yılın ortalama değerlerini ifade etmektedir. Birden fazla yılın verisi olmaması durumunda sadece mevcut yılın verisi sunulabilir.</i>		
H.12. Tesisinize ait atıksu arıtma tesisi bulunmuyor ise atıksu bertaraf maliyetlerinizi aşağıda belirtiniz. (Örneğin; kanalizasyona katılım bedeli, sayaç okumaları ve diğerleri)		

Belirtiniz





İSTANBUL
SANAYİ ODASI



İSTANBUL SANAYİ ODASI

ODAKULE (MERKEZ)

Meşrutiyet Cad. No:63, 34430 Beyoğlu/İSTANBUL

+90 212 252 29 00 (Pbx) | +90 212 249 50 84 | 90 212 293 43 98

www.iso.org.tr | info@iso.org.tr