

**SU, ATIKSU ARITIMI
VE
YENİDEN KULLANIMI**

WATER, WASTEWATER TREATMENT AND REUSE

İsmail KOYUNCU
Mehmet Emin PAŞAOĞLU
Türker TÜRKEN
Ayşe YÜKSEKDAĞ

SU, ATIKSU ARITIMI VE YENİDEN KULLANIMI

İsmail KOYUNCU
İstanbul Teknik Üniversitesi

Mehmet Emin PAŞAOĞLU
İstanbul Teknik Üniversitesi

Türker TÜRKEN
İstanbul Teknik Üniversitesi

Ayşe YÜKSEKDAĞ
İstanbul Teknik Üniversitesi

Özet

Dünya çapında hızlı nüfus artışı ve beraberinde getirmiş olduğu çevresel etkiler incelendiğinde su kaynaklarının korunmasının en kritik konuların başında geldiği görülmektedir. Yeryüzündeki suların %97,5'i okyanuslarda, denizlerde ve göllerde bulunur. Tatlı sular bu miktarın sadece %2,5'ini oluştururken bu suyun da üçte ikisi buzullardır. Dünya yüzeyini kapsayan suların sadece %0,3'ü içilebilir sudur. Nüfusun, endüstriyel ve tarımsal su kullanımının artmasıyla, limitli temiz su rezervleri üzerindeki stres de ciddileşmektedir. Arz ve talebin birbirini karşılamamasına “su kıtlığı” denmekte ve günümüzde küresel bir sorun olarak görülmektedir. Su kıtlığı; su stresi, su sıkıntısı veya noksanlığı ve su krizini kapsamaktadır. Mevcut su kaynaklarının kullanımın her geçen gün arttığı göz önüne alındığında alternatif su kaynaklarının oluşturulmasına ihtiyaç duyulduğu ve alternatif su temin yöntemlerinden en yaygın kullanılan ve potansiyeli en yüksek olan proseslerin membran içerenler olduğu görülmektedir. Özellikle atıksuların geri kazanımında kullanılan membran biyoreaktör (MBR)'ler ve deniz suyundan içme ve kullanma suyunda kullanılan ters osmoz prosesleri alternatif su kaynağı oluşturmada dünyada ve ülkemizde gelecek vaat eden prosesler olarak yerini almakta ve kullanımları yaygınlaşmaktadır. Çok yakın gelecekte önemi daha da hissedilecek olan membranların kullanıldığı alternatif su temin yöntemlerinin yerli ve milli olarak üretilmesi de üzerinde durulması gereken bir diğer önemli husustur.

Anahtar Kelimeler

Su kıtlığı, Su ve atıksu artımı, Su geri kazanımı, Membran biyoreaktörler

WATER, WASTEWATER TREATMENT AND REUSE

İsmail KOYUNCU

Istanbul Technical University

Mehmet Emin PAŞAOĞLU

Istanbul Technical University

Türker TÜRKEN

Istanbul Technical University

Ayşe YÜKSEKDAĞ

Istanbul Technical University

Abstract

When the rapid population growth and the environmental effects it brings with it are examined, it is seen that the protection of water resources is one of the most critical issues. 97.5% of the water on earth is found in oceans, seas, and lakes. While fresh water makes up only 2.5% of this amount, 2/3 of this water is glaciers. Only 0.3% of the water covering the earth's surface is potable water. As population and agricultural and industrial water use increase, the pressure on limited water resources is deepening. Imbalances between supply and demand create a global problem called water scarcity. Water scarcity includes water stress, water shortage or lack, and water crisis. Given that the demand for existing water resources is growing with time, it is obvious that alternative water resources must be supplied. Among these alternative water supply methods, membrane-containing processes are the most popular and have the greatest potential. Especially, membrane bioreactors (MBRs) used in the reuse of wastewater and reverse osmosis processes used in drinking and utility water from sea water take their place as promising processes in worldwide and in our country in creating an alternative water source and their use is becoming widespread. Local and national production of alternative water supply methods using membranes, the importance of which will be felt much more in the near future, is another significant issue that needs to be focused.

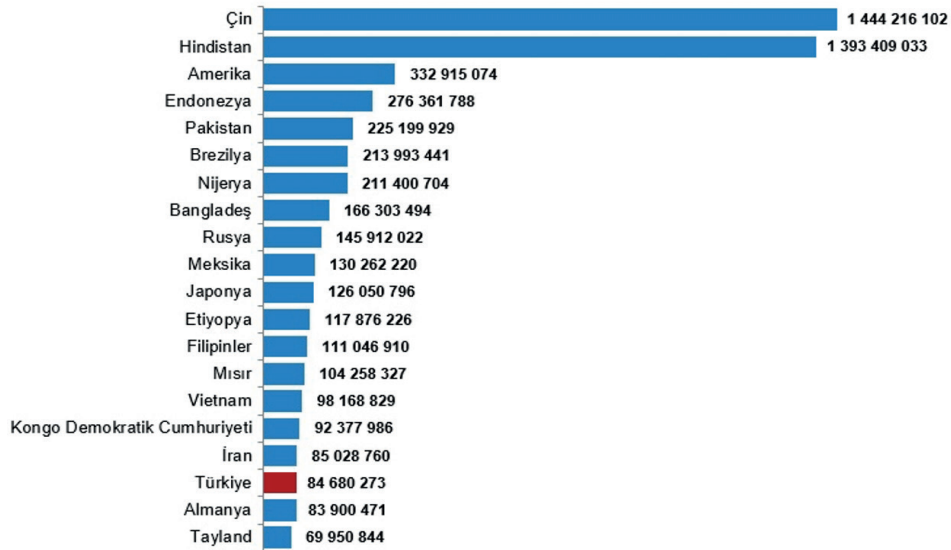
Keywords

Water scarcity, Water and wastewater treatment, Water recovery, Membrane bioreactors

1. Giriş

Dünya Bankası istatistiklerine göre Dünya nüfusu 2000’li yılların başında 6,1 milyar iken, 2020 yılı itibariyle 7,8 milyara yaklaşmıştır (TÜİK, 2022). Nüfustaki hızlı artış neticesinde su, gıda ve enerji talebinin karşılanmasıyla ilgili sorunlar meydana gelmiştir. Nüfus tahminlerine göre Çin yaklaşık 1 milyar 444 milyon kişi ile en yüksek nüfusa sahip ülke olarak birinci sırada yer alırken, 1 milyar 393 milyon kişi ile Hindistan ikinci ve yaklaşık 333 milyon kişi ile Amerika üçüncü sırada yer almaktadır (Şekil 1). Bu üç ülke, dünya toplam nüfusunun %40,3’ünü oluşturmaktadır. Türkiye, 195 ülke arasından 84 milyon kişi ile nüfus büyüklüğüne göre 18. sırada yer alırken, dünya nüfusunun toplamda %1,1’ini oluşturmaktadır (TÜİK, 2022).

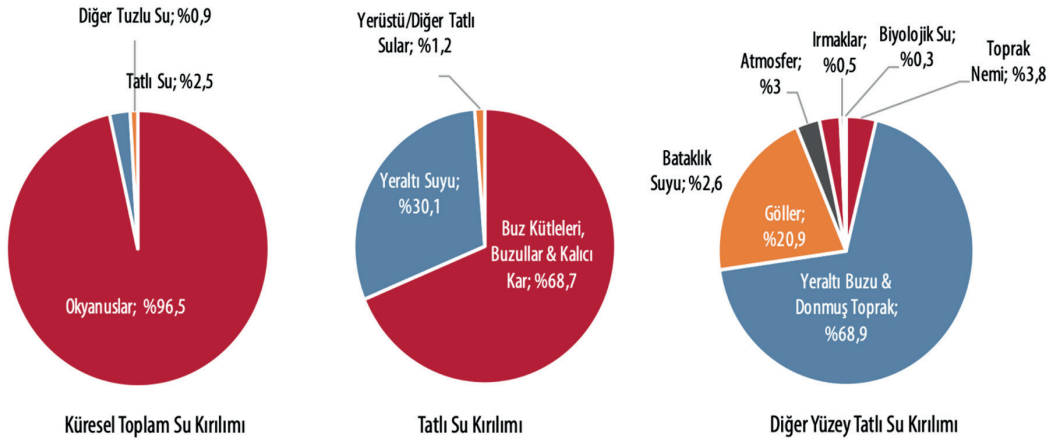
21. yüzyıldaki nüfus artışı ve beraberindeki sorunlara iklim değişikliğinin meydana getirdiği çevresel etkiler de eklendiğinde, su konusu pek çok boyutuyla ön plana çıkmaktadır. Günümüzde dünya ölçeğinde su ve suyla ilgili ortaya çıkan sorunlar en kritik öneme haiz konuların başını çekmektedir (Tzanakakis vd., 2020). Su sadece yerküremizde hayatın devamlılığını sağlayan temel madde olmayıp, bunun yanında insan kullanımında da birincil maddedir. Her geçen gün artan su talebinin karşılanması, su azlığı/kıtlığı, güvenliği ve yönetimi gibi temel konular; tekil ya da bütünleşik olarak özellikle arazi örtüsü ve iklim değişikliği, kentleşme ve göç konularıyla birlikte incelenen en önemli araştırma konuları içerisinde (Sarış, 2021). Şüphesiz suyu önemli hale getiren diğer unsurlar da suyun kalkınmaya etkisidir. Artan dünya nüfusu ile her alanda üretimin artması suyun önemini daha da arttırmıştır. Uygun kalitede su temini de buna paralel olarak artmıştır. Su temini için gerekli enerji, dünya genelindeki enerji tüketiminin toplamda %10’una karşılık gelmektedir (Koyuncu, 2016).



Şekil 1. Dünyadaki en kalabalık nüfusa sahip ilk 20 ülke (TÜİK, 2022).

2. Dünya’da Suyun Dağılımı ve Su Kıtlığı Durumu

Yeryüzündeki suların %97,5’i okyanuslarda, denizlerde ve göllerde bulunur. Tatsız sular bu miktarın sadece %2,5’ini oluştururken, bu suyun da 2/3’ü buzullardadır. Dünya yüzeyini kapsayan suların sadece %0,3’ü içilebilir sudur. Dünyada tatlı su kaynakları 108.000 km³ iken, içilebilir su kaynakları sadece 47.000 km³’tür. Ekosistemlerin devamlılığı açısından dünyadaki kullanılabilir tatlı sular önem arz etmektedir. Tuzlu deniz suyunun insanların temiz su ihtiyacını karşılaması mümkün olmadığı gibi, karalardaki suyun yalnızca %10’luk miktarı tatlı su olarak sınıflandırılmaktadır. Bu miktar da 5.500 km³’e tekabül etmektedir. Bu miktarın gelecekte su ihtiyacı açısından sorunlara sebep olacağı aşikardır (Şekil 2).



Şekil 2. Yeryüzündeki su kaynakları dağılımı (TSKB, 2019).

Yeryüzündeki su genellikle tarımsal sulamada, enerji üretiminde, sanayide ve evsel kullanım amaçlı tüketilmektedir. Dünya üzerindeki su kaynaklarının ~%69’u tarımsal sulama amaçlı tüketilmektedir. Bu oranı %19 ile sanayi kullanımı (ticari, enerji ve endüstriyel sektörler) ve %12 ile evsel kullanım takip etmektedir (Aquastat, 2018). Birleşmiş Milletler verileri incelendiğinde, küresel ölçekte su tüketiminin son 100 yılda yaklaşık altı katına çıktığı görülmektedir (Wada vd., 2016). Nüfus artışına paralel olarak meydana gelen ekonomik gelişmeler, sürekli değişkenlik gösteren tüketici yapısı ve diğer bazı faktörler nedeniyle su tüketiminin artmaya devam edeceği beklenmektedir (TSKB, 2019).

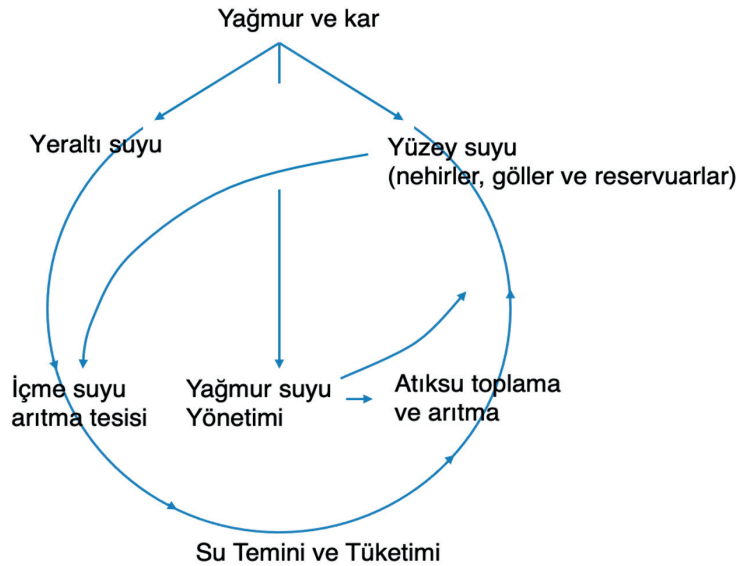
Suyun milli zenginliğimize destek oluşturan tarım ürün ve hizmetlerinin devamı için temel esaslardan birini oluşturduğu çok açıktır. Suyu en çok tüketen sektörler incelendiğinde küresel bazda tarım sektörünün ilk sırada yer aldığı görülmektedir.

Buna ek olarak, tarımda kullanılan suyun verimi de çok düşüktür. Tarımda suyun en çok kullanıldığı durumların sulama, mahsul soğutma ve don kontrolü, böcek ilacı hazırlanması ve gübre uygulamaları olduğu bilinmektedir.

Dünya Bankası verileri göz önüne alındığında, dünyada birçok bölgede tatlı suyu kaynaklarının %70'ten fazlasının tarımsal sulama için kullanıldığı görülmekle birlikte, bu oranın ülkeler arasında büyük ölçüde değişiklik gösterdiği sonucu ortaya çıkmaktadır. Bilhassa gelişmekte olan ülkeler de dahil olmak üzere birçok ülke için, Gayrisafi Yurtiçi Hasıla (GSYH)'ya etkisi minimum olan tarım sektörü, su tüketimiyle birinci sırada yer almaktadır (TSKB, 2019).

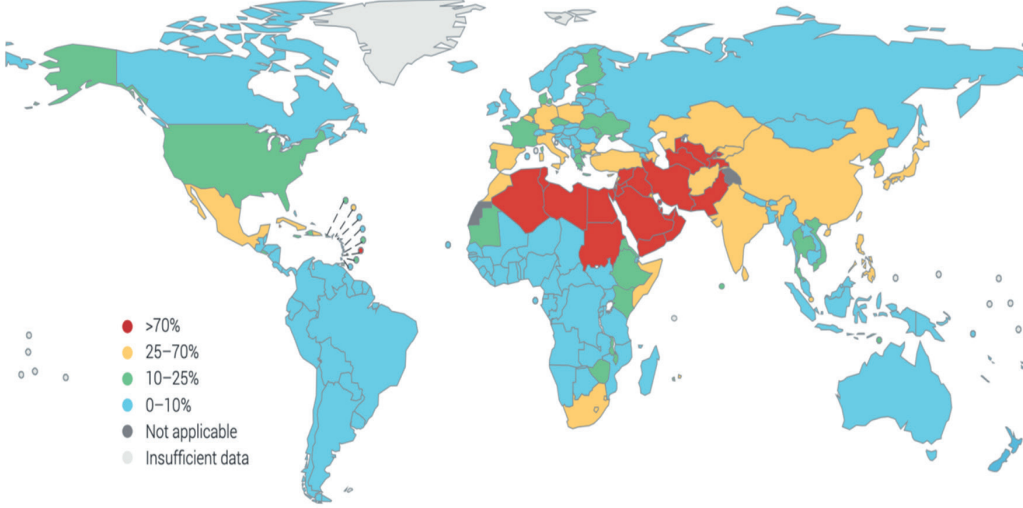
Öte yandan ticari ve endüstriyel sektörler yeryüzündeki en fazla su tüketen sektörler arasında ikinci sıradadır. Ticari ve endüstriyel faaliyetler küresel çapta su tüketiminin yaklaşık %20'sini oluşturmaktadır. Yine tarım sektöründe olduğu gibi ticari ve endüstriyel sektörlerde de su kullanımı ülkeler arasında değişiklik göstermektedir. Örneğin, gelişmiş ülkelerde ticari ve sanayi sektörlerindeki su kullanım oranı %50 seviyelerindeyken, tarım sektöründeki su kullanımı nispeten daha azdır (TSKB, 2019).

Suyun doğadaki çevrimi (ya da su döngüsü), suyun bulunduğu halden buhar hale geçerek atmosfere yükselmesi ve tekrar yoğunlaşarak yeryüzüne düşmesi sırasında takip ettiği değişimlerdir (Şekil 3). Karaya düşen suyun yaklaşık %65-70'i zeminden ve su yüzeylerinden buharlaşırken (evaporasyon), bitki yüzeylerinden terleme (evapotranspirasyon) ile de atmosfere su buharı gönderilir. Düşen yağmurun diğer bir kısmı da süzülerek yeraltı sularına karışır. Süzülen suyun bir bölümü ise yeraltı su tablasına kadar (doymun bölge yüzeyi) sızar. Buna perkolasyon denmektedir. Sızan su doymun bölgede yatay olarak hareket ederek yeraltı suyu akışı veya taban akışı adını alır. Yeraltı suyu aracılığıyla da yüzeysel sulara karışarak denize ulaşır ve deniz yüzeyinden tekrar atmosfere buharlaşır. Su çevrimi, canlı hayatı için kritik bir önem taşır.



Şekil 3. Klasik Su Çevrimi

Su kaynakları üzerindeki baskı nüfus, endüstriyel ve tarımsal su kullanımı arttıkça daha da artmaktadır. Su kıtlığını tetikleyen ve küresel bir sorun haline getiren husus ise arz ve talep arasındaki dengesizliklerdir. Su kıtlığı uluslararası literatürde “tüm su kullanıcılarının, yürürlükteki kurumsal düzenlemeler çerçevesinde, suyun tedarikine veya kalitesine yönelik taleplerinin tam olarak karşılanamayacağı nokta” şeklinde tanımlanmakta olup; su stresi, su sıkıntısı ya da noksanlığı ile su krizi ifadelerini de kapsamaktadır.



Şekil 4. Fiziksel su stresi seviyesi (WWAP, 2019)

Su kıtlığı kavramı temel olarak iki ana başlıkta incelenebilir: ekonomik su kıtlığı ve fiziksel su kıtlığı. “Ekonomik su kıtlığı” mevcut ve yeterli su rezervlerinin iyi yönetilememesi sonucu meydana gelirken “fiziksel su kıtlığı” belirli bir bölgedeki talebin karşılanmasında doğal su kaynaklarının yetersiz olması durumudur. Su kıtlığını genellikle az yağış alan bölgelerde meydana gelen insani faaliyetler örneğin: nüfus yoğunluğu, turist girişi vb., ile ortaya çıkmakta ve buna ek olarak yoğun tarım ve yüksek miktarda su talep eden sektörlerin varlığı ile sorun derinleşmektedir (Şekil 4).

Bu bağlamda dünya geneline bakıldığında 2 milyardan fazla insanın yüksek su stresi yaşayan ülkelerde yaşadığı görülmektedir. Küresel çapta ortalama su stresi sadece %11 olmakla birlikte, 31 ülke %25 (asgari su stresi eşiği olarak tanımlanır) ile %70 arasında su stresi yaşamakta ve 22 ülke %70’in üzerindedir ve bu nedenle ciddi su stresi altındadır (United Nations, 2018). Dünya genelinde artan su stresi potansiyel kaynaklar üzerinde sürdürülebilirliği tehdit etmekte ve kullanıcılar arasında çatışmalar çıkabilmesine neden olabileceğini işaret etmektedir.

Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü’nün (OECD) “2050 Çevresel Görünüm: Eylemsizliğin Sonuçları” raporuna göre, dünya çapında su talebinin 2000 ile 2050 yılları arasında %55 oranında artması ve evsel kullanım, imalat, elektrik üretimi ve diğer ekonomi sektörlerinin

tarım ve ekosistemlerle kaynaklara erişim için rekabet etmesi nedeniyle gerilimlerin artması beklendiği belirtilmektedir. Ayrıca OECD 2050 yılına kadar, küresel nüfusun %40'ından fazlasının şiddetli su stresi altında nehir havzalarında yaşamasının muhtemel olduğunu bildirmektedir.

Küresel su ihtiyacının 2000 yılında 3500 km³ iken 2050 yılında 5500 km³'e ulaşması öngörülmektedir. Bu %55'lik artış daha çok enerji üretimi ve evsel kullanım amaçlı su tüketimine bağlanmaktadır. Bu bakımdan mevcut su kaynaklarının şimdiden verimli kullanılması ve kullanılmış suların yeniden kullanımı daha da önem arz edecektir. Su geri kazanım teknolojilerine yapılan yatırımların artırılması, ileride yaşanacak bu su kıtlığını en aza indirebilecektir. Atıksuların yeniden kullanımı ve desalinasyon teknolojileri, alınabilecek üretim bazı önlemlerdendir (Koyuncu, 2016).

Her geçen gün dünyada daha da önemli bir gündem haline gelen su kıtlığının yaygınlaşarak daha büyük oranda bir nüfusu etkilemesi beklenmektedir. Bu etkilerin minimize edilmesi amacıyla geçtiğimiz yıllarda hem kamu hem de özel sektörde su kıtlığı ile ilgili yürütülen araştırmalar artırılmıştır. Bu bağlamda su kıtlığının dünyadaki mevcut durumunu gösteren farklı göstergeler oluşturulmuştur. Bu göstergeler aşağıda açıklanmıştır.

2.1 Falkenmark Göstergesi

Su stresinin ölçümünde en yaygın olarak kullanılan göstergelerden bir tanesi 1989 yılında İsveçli su uzmanı Malin Falkenmark tarafından geliştirilmiştir. Falkenmark Göstergesi, yıllık bazda su kullanılabilirliğinin ülke/bölgedeki kişi başına düşen miktarı ölçümüne dayanmaktadır. Falkenmark Göstergesi ilgili ülke ya da bölgenin hali hazırdaki su kaynaklarının o ülke ya da bölgede yaşayan kişi sayısına olan oran ile hesaplanır (Falkenmark vd., 1989). Tablo 1 incelendiğinde su stresi ve kıtlığı durumları için belirlenen sınıflandırmalar görülmektedir.

Tablo 1. Falkenmark Su Kıtlığı Göstergesi (Falkenmark vd., 1989).

Falkenmark Su Kıtlığı Göstergesi (m ³ /kişi/yıl)	Sınıf
> 1700	Stressiz
1000-1700	Su Stresi
500-1000	Kıtlık
< 500	Kesin Kıtlık

2.2. Kullanım-Mevcudiyet Oranı (KMO)

Su kıtlığının boyutlarını belirlemede uygulanan bir diğer yöntem de kullanım-mevcudiyet oranıdır (KMO) (Damkjaer ve Taylor, 2017). KMO değeri, belirli bir bölgeye ait yıllık toplam kullanımın, yıllık toplam su mevcudiyetine oranı şeklinde tanımlanmaktadır. Bölgesel ölçekler incelendiğinde, KMO'su %20-%40 arasında bulunan bölge "Orta Riskli", %40'ın üzerinde olması durumunda ise o bölge "Yüksek Riskli" olarak tanımlanmıştır (Tablo 2).

Tablo 2. Kullanım-Mevcudiyet Oranı (KMO) Sınıfları (Damkjaer ve Taylor, 2017).

Endeks (%)	Sınıf
< %10	Minimum Risk
%10 – %20	Düşük Risk
%20 – %40	Orta Risk
> %40	Yüksek Risk

Falkenmark Göstergesi nüfus ile ters orantıya sahip olsa da hem Falkenmark Göstergesi hem de nüfusu yüksek ülkeler de bulunmaktadır. Falkenmark Göstergesi'nde bulunan değer ne kadar yüksek ise risk durumu o kadar iyidir. Tablo 3 incelendiğinde, Brezilya, ABD ve Rusya gibi kalabalık nüfusa sahip ülkelerin Falkenmark Göstergesi'nin yüksek olduğu ve bu ülkelerin su stresi çekmediği görülmektedir. Yüksek oranda orman muhteviyatı bulunan Kanada ise nispeten düşük nüfusundan dolayı en yüksek Falkenmark Göstergesi'ne sahip ülkedir.

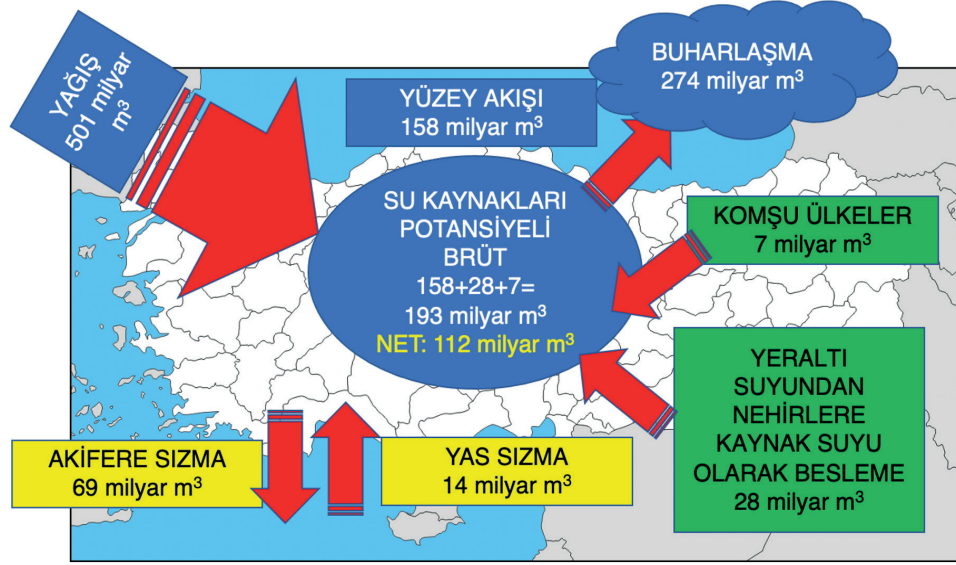
Tablo 3. Seçilmiş Ülkelerin Falkenmark Göstergeleri (TSKB, 2015).

Ülke	Yenilenebilir Tatlı Su Kaynağı (milyon m ³)	Nüfus	Falkenmark Göstergesi (2015)
Kanada	2.902.000	35.832.513	80.988
Brezilya	8.233.000	205.962.108	39.973
Rusya Federasyonu	4.525.000	144.096.870	31.402
Amerika Birleşik Devletleri	3.069.000	321.039.839	9.560
İsviçre	51.173	8.327.666	6.212
Almanya	132.000	81.197.537	1.626
Türkiye	111.990	78.741.053	1.422
İsrail	1.800	8.380.100	215

3. Ülkemiz Su Potansiyeli ve Mevcut Durum

Dünya genelinde su kaynakları %70 oranında en fazla tarımda kullanılmakla birlikte, bu kullanımı elektrik üretimi ile buhar bazlı elektrik tüketiminde kullanılan soğutma suları takip etmektedir (Koyuncu, 2016). Kara ekosistemlerini besleyen en büyük su kaynağı yağışlardır. Yeryüzüne düşen yıllık toplam yağış miktarı 119.000 km³ iken, 42.600 km³ yüzeysel akışla denizlere, nehirlere ve göllere ulaşır ve 2.200 km³ su ise yeraltı sularına karışmaktadır (TÜSİAD, 2008). Türkiye'de ise yıllık yağış miktarının 501 milyar m³ olduğu ifade edilmektedir (Şekil 5). Bu yağışla düşen suyun 158 milyar m³'ü yüzeysel sulara karışırken, 69 milyar m³'lük kısmı da yeraltı sularına karışmakta ve ~274 milyar m³'lük kısmı atmosfere geri dönmektedir (DSİ, 2006; Günay, 2011). Bir bölgenin su potansiyeli o bölgenin enlem, boylam, bitki örtüsü, topoğrafik yapı vs. gibi etkenlerden etkilenmektedir. Ülkemizde de bu faktörler bölgelere göre farklılık

gösterdiğinden su potansiyeli de asimetrik bir dağılım göstermektedir. Ülkemizde kullanılabilir yıllık su miktarı 2000 yılında kişi başı $\sim 1650 \text{ m}^3$, 2009 yılında $\sim 1540 \text{ m}^3$, 2020 yılında ise $\sim 1350 \text{ m}^3$ olarak kayıtlara geçmiştir. Türkiye, nüfus başına düşen kullanılabilir su miktarına göre, su stresi yaşayan ülkeler kategorisinde bulunmaktadır (DSİ, 2010).



Şekil 5. Türkiye'nin su potansiyeli (DSİ, 2015).

3.1. Ülkemizde Yakın Gelecekte Beklenen İklimsel Değişiklikler

Yapılan gözlemler, küresel ölçekte bir iklim değişikliğine işaret etmektedir. Küresel ortalama sıcaklıkların yaklaşık $1 \text{ }^\circ\text{C}$ artması ve buzulların erimesi, deniz seviyesinin yaklaşık 17 cm yükselmesi, iklim değişikliğini gösteren değişimlerdir. Türkiye Akdeniz Havzası'nda bulunmaktadır. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) değerlendirme raporunda Akdeniz havzasının iklim değişikliğine karşı en savunmasız bölgelerden biri olduğu rapor edilmiştir. Bu bölgede 21. yüzyılın son dönemleri için hazırlanan iklim değişikliği senaryolarına göre, sıcak hava dalgaları ve şiddetli yağışların gözlemleneceği, kuraklığın artacağı, Akdeniz havzasında yağışlar azalırken, Karadeniz'de artış göstereceği beklenmektedir (Usta, 2016).

4. Suyun Ekonomik ve Politik Açından Durumu

Ülke ekonomileri açısından doğal kaynakların kullanımı önem arz etmektedir. Su da bir doğal kaynak olarak ekonomi açısından tarım başta olmak üzere, endüstri, içme ve kullanma, halk sağlığı, ulaşım, rekreasyon, turizm, enerji üretimi vs. alanlarında öneme sahiptir (Taşdemir ve Koyuncu, 2021). Özellikle son dönemde endüstrileşmenin artması ile su kaynaklarının kullanımı ve önemi daha da artmıştır. Henüz suyun yerine geçebilecek maliyet açısından eşdeğer veya daha az maliyetli başka bir kaynak bulunamamıştır (Yılmaz ve Peker, 2013). Diğer bir deyişle su, ekonomik açıdan vazgeçilmez bir kaynaktır.

Suyun politik önemi incelendiğinde ise tarih boyunca ülkeler doğal kaynakların paylaşımı için birbirleriyle sürekli mücadele ve etkileşim halinde olmak durumunda kaldığı görülmektedir. Su kaynaklarının azalması ülkeler arasındaki ilişkiyi olumsuz yönde etkileyecek niteliktedir. Günümüzde petrol için yapılan mücadelelerin ve savaşların gelecekte su için yapılacağı öngörülmektedir (Mbonile, 2005). Tarıma dayalı ekonomi özellikle Türkiye'nin de dahil olduğu Ortadoğu bölgesinde çok büyük öneme sahiptir.

Bu bölgede doğacak bir su kıtlığı tüm dünyayı ekonomik açıdan olumsuz etkileyecektir. Ayrıca, suya sahip olan ülkeler beynelmil gücü de elinde bulunduracağından su yoksunu ülkeler ile arasında barışın sağlanması da güçleşecek, dünyada bir 'su gücü' eşitsizliği doğacaktır (Özsoy, 2009). Bu açıdan su kaynaklarının etkin kullanımı ile su ve atıksu geri kazanım teknolojilerinin en verimli şekilde kullanılması, gelecekte güçlü ülkeler arasında yer almak için hayati öneme sahip bir konular olacaktır.

Türkiye, hidrolojik açıdan 25 farklı akarsu havzasına ayrılmıştır (Şekil 6). Bu havzalardan 5 tanesi (Çoruh, Meriç-Ergene, Dicle-Fırat, Asi ve Aras Havzaları) sınıraşan su havzası özelliği göstermektedir. Yıllık havza ortalaması bazında, Dicle-Fırat 52,94 milyar m³, Çoruh 6,3 milyar m³, Aras 4,63 milyar m³ ve Asi 1,17 milyar m³ olmak üzere toplamda 66,37 milyar m³ su iletmektedirler (DSİ, 2010). Türkiye'deki toplam 25 havzanın ortalama yıllık akış değeri 186,86 milyar m³ olup, toplam su miktarının %35,5'ini oluşturmaktadır. Verilen değerlerden de anlaşılacağı üzere yıllık akım miktarları göz önüne alındığında Türkiye'de sınıraşan sular oldukça önem taşımaktadır.



Şekil 6. Türkiye akarsu havza haritası (Yılmaz, 2015).

Sınır aşan akarsulardan Fırat, Dicle, Aras ve Çoruh nehirlerinde Türkiye, yukarı kıyıdaş yani memba ülke konumunda iken Meriç Nehri'nde aşağı kıyıdaş yani mansap ülke durumundadır. Bulgaristan'da Rodop Dağları'ndan doğan Meriç Nehri'ne, Bulgaristan'dan doğan Tunca ve Arda Nehirleri ile Türkiye'den doğan Ergene Nehri dökülmektedir. Edirne'nin batısından Türkiye'ye ulaşan Meriç Nehri, Yunanistan ile sınırı çizerek Enez'den Ege Denizi'ne ulaşmaktadır. Diğer yandan Türkiye, Ası Nehri ile büyük oranda aşağı kıyıdaş /mansap ülke konumunda bulunmaktadır (Şekil 7).



Şekil 7. Ortadoğu'da sınır aşan suları gösteren su haritası (International Monetary Fund, 2001)

5. Su Temin Yöntemleri

Yüzeysel suyu ve yeraltı suyu, su temini ihtiyaçları için önemli kaynaklardır. Yeraltı suyu, müstakil evler ve küçük kasabalar için ortak bir kaynak olup, nehirler ve göller büyük şehirler için olağan kaynaklardır. Tatlı suyun yaklaşık %98'i yeraltı suyu olarak mevcut olmasına rağmen, çoğu çok derinlerde bulunmaktadır. Bu durum pompalamayı çok pahalı hale getirir ve tüm yeraltı suyu kaynaklarının tam olarak gelişmesini ve kullanılmasını engeller.

5.1. Yüzey Su Kaynakları

Bir nehir veya göle yüzey akışına katkıda bulunan toplam arazi alanına havza, drenaj havzası veya toplama alanı denir. Belediye arzı için mevcut su hacmi, çoğunlukla yağış miktarına bağlıdır. Aynı zamanda havzanın büyüklüğüne, zeminin eğimine, toprak ve bitki örtüsü tipine ve arazi kullanım tipine de bağlıdır.

Bir nehrin akış hızı veya deşarjı zamana göre değişiklik gösterir. Daha yüksek akış hızları tipik olarak ilkbaharda meydana gelirken kış aylarında daha düşük akış hızları meydana gelir. Ancak muson sistemleri olan bölgelerde genellikle durum böyle değildir. Bir nehrin ortalama deşarjı güvenilir bir su temini için yeterli olmadığında, bir koruma rezervuarı inşa edilebilir. Su akışı bir baraj tarafından engellenerek yapay bir gölün oluşmasına izin verilir. Koruma rezervuarları, kuraklık ve düşük akarsu akışı zamanlarında kullanılmak üzere yağışlı hava dönemlerinden gelen suyu depolar. Rezervuar içinde, çeşitli derinliklerde giriş delikleri ve vanaları olan bir su alma yapısı inşa edilmiştir. Bir rezervuardaki suyun kalitesi mevsimsel olarak derinliğe göre değişiklik gösterdiğinden, çok seviyeli bir giriş, en iyi kalitede suyun çekilmesini mümkün kılar. Bazen ekonomik nedenlerle çok amaçlı bir rezervuar sağlanması tavsiye edilir.

Çok amaçlı bir rezervuar, topluluk su ihtiyaçlarının bir kombinasyonunu karşılamak için tasarlanmıştır. İçme suyuna ek olarak, rezervuar taşkın kontrolü, hidroelektrik güç ve rekreasyon da sağlayabilir (Nathanson, 2020).

5.2. Yeraltı Su Kaynakları

Yeraltı suyu kaynağı olarak bir akiferin değeri, oluşturduğu jeolojik tabakanın veya katmanın gözenekliliğinin bir fonksiyonudur. Su, bir kuyudan veya sızma galerisinden pompalanarak akiferden çekilir. Bir sızma galerisi tipik olarak geniş çaplı bir dikey shaftın altından dışarıya doğru yayılan birkaç yatay delikli boru içerir. Kuyular, akiferin derinliğine ve doğasına bağlı olarak çeşitli şekillerde inşa edilir. Genel su temini için kullanılan, genellikle 30 metreden (100 fit) daha derin ve 10 ila 30 cm (4 ila 12 inç) çapındaki kuyular, güvenilir kaliteli su temini sağlayabilen büyük akiferlere nüfuz etmelidir.

Darbeli veya döner teknikler kullanılarak delinirler ve kirlenmeyi önlemek için genellikle metal bir boru veya kasa ile kaplanırlar. Muhafazanın üst kısmının dışındaki halka şeklindeki boşluk, çimento harcı ile doldurulur ve daha fazla koruma sağlamak için üste özel bir sıhhi conta takılır. Muhafazanın alt kısmında, silt ve kumu yeraltı suyundan uzaklaştırmak için oluklu bir elek takılıdır. Suyu yüzeye çıkarmak için bir elektrik motoru tarafından tahrik edilen bir dalğaç pompa kullanılabilir. Bazen derin bir kuyu, sınırlı bir artezyen akiferine nüfuz edebilir, bu durumda doğal hidrostatik basınç suyu yüzeye çıkarabilir (Nathanson, 2020).

5.3. Alternatif Su Temin Yöntemleri

Küresel ölçekte su kıtlığının artmasına bağlı olarak alternatif su temini yöntemleri de önem kazanmaktadır. Su kıtlığı, esasında sosyo-ekonomik, teknolojik ve çevresel etkenlere bağlıdır. Sosyo-ekonomik faktörlere nüfus artışı örnek verilebilirken, teknolojik etkiler güvenilir teknolojilerin uygulanmasını belirlemekte ve maliyet belirlenerek teknoloji seçimi yapmayı belirtmektedir. Günümüzdeki su kıtlığının başlıca sebeplerinden birisi yanlış teknolojilerin uygulanmasıdır. Bu sebeple su temininde günümüzde alternatif teknoloji arayışına girilmiştir. Alternatif su temini yöntemlerinin başında yağmur suyu hasadı, su geri kazanımı ve desalinasyon teknikleri gelmektedir (Köseoğlu-İmer vd., 2018). Küresel ısınmaya ve insan etkisine bağlı olarak temiz su kaynaklarının azalması günümüzde su çevrimine ek olarak arıtma teknolojileriyle suyun yeniden kullanımını zorunlu hale getirmiştir (Şekil 8).



Şekil 8. Alternatif yöntemlerin su çevriminde uygulanması

Su geri kazanımı ile kaynakların sürdürülebilir olması sağlanarak enerji ve kaynakların daha verimli kullanımı sağlanabilmektedir. Atıksu geri kazanımı, yeterli su temini yapılamayan bölgelerde atıksuyun arıtılarak geri kazanılmasını içermektedir. Bu noktada atıksu önemli bir su kaynağı haline gelmiştir. Özellikle tarım ve endüstride kullanılan geri kazanılmış su miktarı önemli ölçüde artmıştır. Tarımda atıksuyun kullanılması 5.000 yıl öncesine dayanmaktadır. Daha yakın zamanlarda, 19. yüzyılda, yüzey sularına deşarj için büyük ölçekli atıksu taşıma sistemlerinin icat edilmesiyle, kanalizasyon ve diğer atıkların uygun olmayan bir şekilde içme suyu temininde dolaylı kullanımına yol açmıştır.

Bu planlanmamış yeniden kullanım yöntemi yetersiz içme suyu ve atıksu arıtma teknolojileri ile birleşince, 1840 ve 1850'li yıllarda ortaya kolera ve tifüs gibi suya bağlı hastalıklar ortaya çıkmıştır. Bu tür hastalıkların sudan kaynaklandığı kesinleşince, atıksu arıtımı ve su temini teknolojilerine mühendislik yaklaşımıyla bakılmaya başlanmıştır. Örneğin; alternatif su kaynaklarına yönelinmiş, bu bağlamda rezervuar ve su kemeri sistemleri kullanılmıştır. En önemli atımlardan birisi de 1850 ve 1860'lı yıllarda su arıtımında filtrasyonun kullanılmaya başlanmasıdır (Asano vd., 1996). 1900'lü yıllara gelindiğinde ise su/atıksu geri kullanımı Amerika Birleşik Devletleri'nde birçok eyalette teşvik edilmiş, Avrupa Birliği'nde ise "Avrupa Toplulukları Komisyonu Yönergesi" olarak hayata geçirilmiştir.

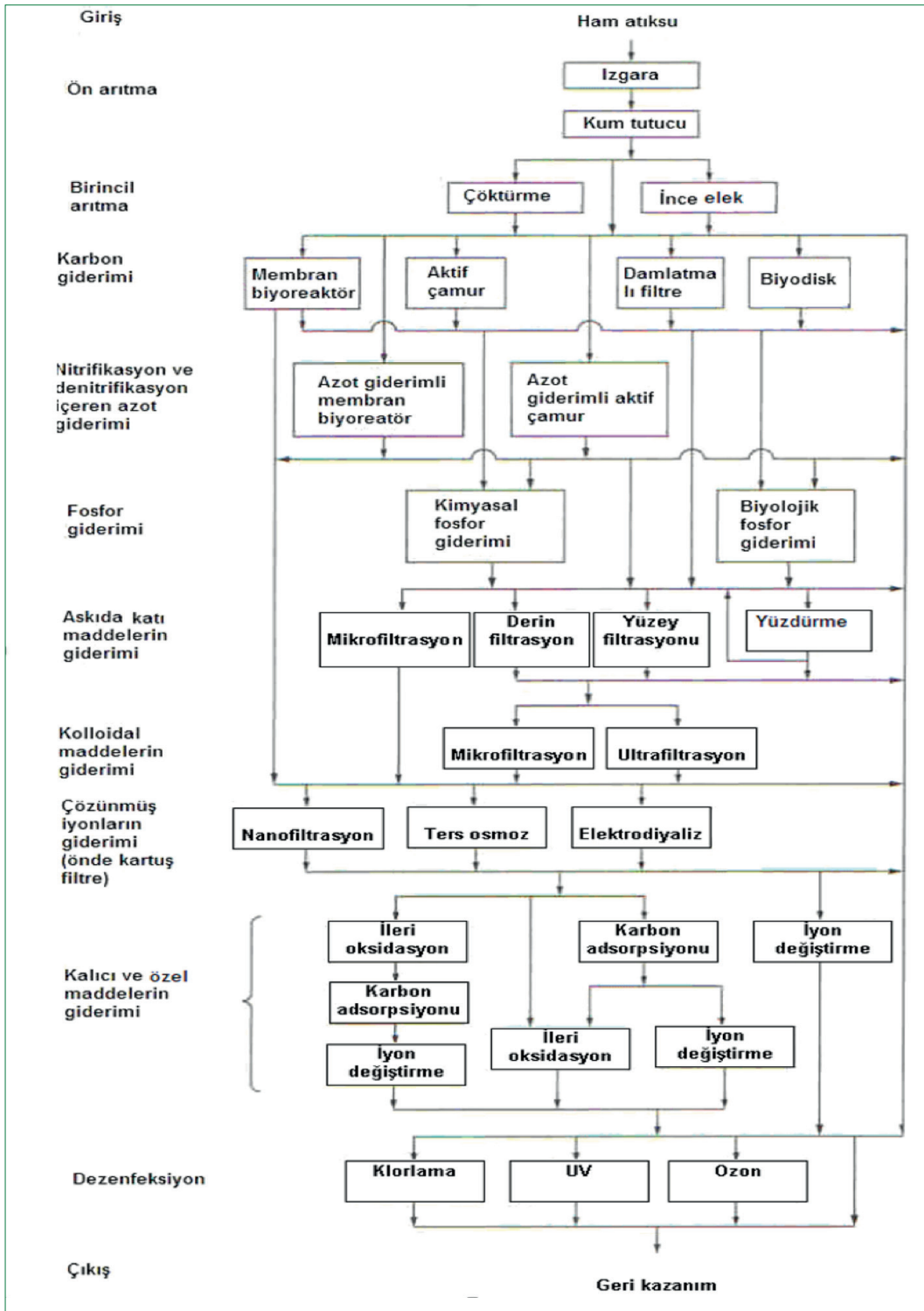
5.4. Su/Atıksu Geri Kazanım Yöntemleri

Su geri kazanımı, özellikle kurak ortamlarda çeşitli amaçlar için dünya genelinde giderek artan bir şekilde uygulanmaktadır. Bu nedenle, atıksu arıtma ve geri kazanım metodolojilerinin geleceğini değerlendirmeye yönelik girişimlerde bulunulmuştur (Gupta ve Ali, 2013). İklim değişikliği ile ilgili son zamanlardaki endişeler ve doğal kaynakların sınırlı mevcudiyeti ile atıksudan daha fazla su ve enerji geri kazanımına yönelik güçlü ihtiyaçlar nedeniyle, daha sürdürülebilir atıksu arıtma çözümleri aranmaktadır. Şekil 9 'da atıksu arıtımında en yaygın kullanılan teknolojiler gösterilmiştir. Enerji fiyatlarındaki belirsizlik ve ulusal düzeydeki itici güçler, atıksu arıtma tesislerinin düşük enerji alternatiflerine doğru değiştirilmesini gerektirmektedir.

5.5. Atıksu Geri Kazanımında Membran Teknolojileri

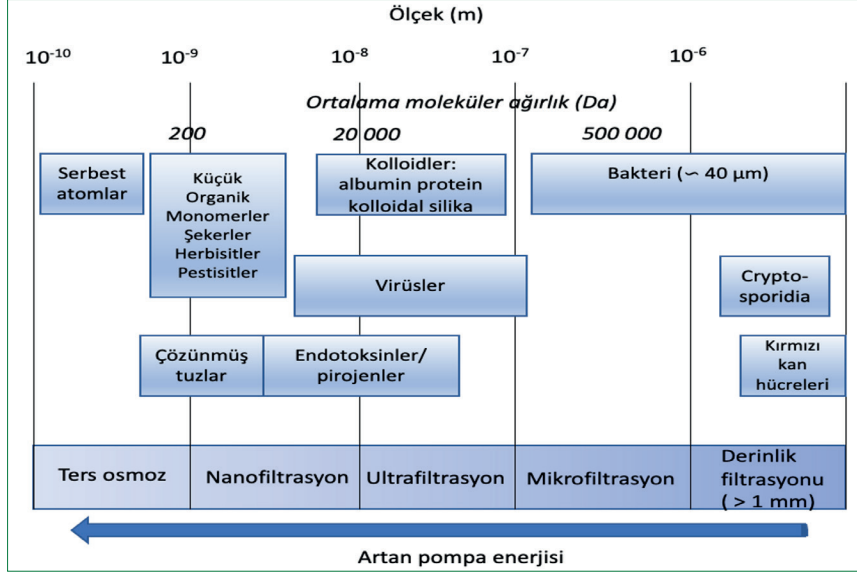
Atıksulardan su geri kazanımı evsel ve endüstriyel atıksularda farklı teknolojiler ile yapılabilmektedir. Bu noktada evsel atıksulardan su geri kazanımında patojen mikroorganizmalar ile mikrokirleticilerin sudan uzaklaştırılması önem arz ederken endüstriyel atıksuların geri kazanımında kanserojen organik maddeler ile ağır metallerin giderimi büyük öneme sahiptir. Son yıllarda arıtılması gereken su ve atıksu miktarlarının artması nedeniyle çok daha az yer ihtiyacı olan, farklı niteliklerdeki atıksulara uygulanabilen, düşük maliyetli ve yüksek verimli arıtma teknolojileri üzerine çalışmalar ve uygulamalar artırılmıştır. Atıksu arıtımında ve geri kazanımında kullanılacak teknolojinin seçiminde öncelikli etken geri kazanılacak suyun hangi amaçla ve hangi kalitede olacağıdır. Artımın hangi seviyede yapılacağına ve buna bağlı olarak kullanılacak olan teknolojiye, kimyasallara, tüketilecek enerji ve personel ihtiyacına karar verirken bu faktör göz önüne alınmaktadır. Nihai karar verilen teknolojiyi atıksuyun kalitesi ve miktarı, eser elementlerin var olup olmadığı ve zamanla değişimi etkilemektedir (MEMTEK Bülteni, 2016).

Alternatif su temininde membran teknolojiler son yıllarda hayli önemli hale gelmiş, özellikle tarım ve endüstride kullanılmak üzere su temininde membran uygulamalarının sayısı hızla artış göstermiştir. Atıksu arıtımında ve desalinasyonda kullanılan membran çeşitlerine, ters osmoz (TO), nanofiltrasyon (NF), ultrafiltrasyon (UF), mikrofiltrasyon (MF) ve membran biyoreaktör



Şekil 9. Atıksu geri kazanımında kullanılan proses akım şemaları (Metcalf ve Eddy, 2006)

(MBR) örnek verilebilir (Taşdemir ve Koyuncu, 2021). Membranların kullanım alanlarından bazıları içme suyu arıtımı, evsel ve endüstriyel atıksu arıtımı, gaz ayırımı, deniz suyundan içme suyu eldesi, biyogaz üretimi ve bakteri/virüs ayırımıdır. Membran ayırma proseslerinin gözenek boyutlarına göre ayırım şablonu Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 10. Membran ayırma proseslerine genel bakış (Judd ve Jefferson, 2003)

Membranlar iki faz arasındaki seçici geçirgen bariyerlerdir. Membranlar özellikle çıkış suyu kalitesinden, az yer kaplamalarından, otomasyon ile işletilebilmelerinden ve kimyasal ihtiyacı düşürmelerinden dolayı daha çevreci özellikleriyle de diğer yöntemlere göre üstünlük sağlamaktadırlar. Ancak membranların tıkanma problemlerinden dolayı performansları olumsuz etkilenebilmektedir. Su ve atıksu arıtımının her geçen gün daha da önemli hale gelmesiyle membranların performans kısıtlayıcı özelliklerinin iyileştirilerek daha yüksek giderim ve geri kazanım verimi elde edilmesi gerekmektedir.

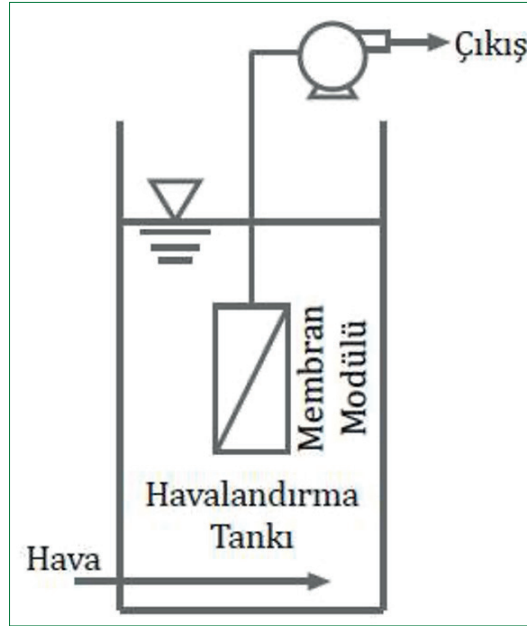
Membran teknolojileri atıksu geri kazanımında kullanılan en üstün teknolojiler arasındadır. MF, UF, NF ve TO sistemleri mevcut arıtım teknolojilerine ilave olarak uygulanan teknolojilerdir. MF ve UF membranları ile işletilebilen MBR prosesi ise biyolojik atıksu arıtımı ve geri kazanımında uygulanabilen sistemlerdir. Atıksu geri kazanımında doğrudan veya dolaylı olmak üzere iki farklı metot uygulanmaktadır.

Doğrudan geri kazanımda su direkt olarak endüstriyel ya da ziraai amaç için kullanılabilir. Endüstriyel ya da ziraai amaçla yapılacak geri kazanım uygulamalarında atıksu arıtma prosesi, arıtılan atıksuyun kullanım amacına göre seçilmektedir. Dolaylı geri kazanımda ise arıtılmış atıksular yüzeysel sularda ya da yeraltı suyu rezervuarlarında depolanarak ve mevcut su kaynaklarına karıştırılarak kullanılmaktadır.

MBR sistemleri, “batık” ve “harici” sistem olarak iki farklı grupta sınıflandırılmaktadırlar. Bu iki grup arasındaki farklılıklar işletme koşullarından ve tasarım adımlarından ileri gelmektedir.

5.6. Batık MBR Sistemleri

İşletme ve yatırım maliyetlerini azaltabilmek için aktif çamur tankı içerisine daldırılan membranların uygulama şekline batık membran filtrasyonu adı verilmektedir. Süzüntü, membranlardan vakum pompası yardımıyla çekilerek alınmaktadır. Düşük basınçlı işletim yüzeydeki kek tabakasının oluşumunu minimize etmekte ve TMP adı verilen “Membran Geçiş Basıncı” 50-300 mbar arasında tutularak kontrol edilmektedir. Membrandaki süzüntü (permeat) akısı genellikle 10-50 L/m².sa arasında değişmektedir. Membranların tıkanmasını engellemek ve sabit performansla işletebilmek amacıyla hava ile sıyırma işlemi uygulanmaktadır. Batık membran filtrasyonunda havalandırma için gerekli enerji harici sistemler ile kıyaslandığında artıran birim su hacmi başına 1/10’u seviyelerindedir (Koyuncu vd., 2018). (Şekil 11)

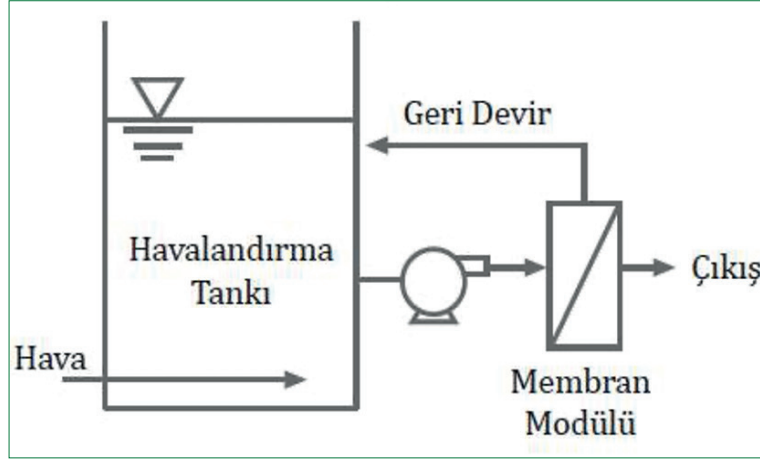


Şekil 11. Batık MBR sisteminin şematik gösterimi (Koyuncu vd., 2018)

5.7. Harici MBR Sistemleri

Harici membran sistemleri genellikle düz plaka ve tübüler olarak batık membran sistemleri ticarileşene kadar biyolojik tank dışında kullanılacak şekilde tasarlanmışlardır. Membran modülleri havalandırma tankının (aktif çamur tankı) dışında bulunmakta ve pompa yardımı ile basınç kullanılarak filtrasyon işlemi sağlanmaktadır. Harici MBR sistemleri batık MBR sistemlerine göre işletimi daha kolay olup ayrıca daha yüksek akılar elde edilebilmektedir (Şekil

12). Öte yandan, batık MBR sistemlerine göre nispeten daha yüksek (3-6 bar) işletim basınç değerlerinden dolayı ihtiyaç duyulan basınç kapları ve membranları, üretim maliyetlerini çok yükseltmektedir. Ayrıca, konsantré akımının tekrar sistemin başına geri devrettirilmesi ile atıksu arıtımında ilave organik yük ve bunun sonucunda daha yüksek maliyet ortaya çıkarmaktadır. Bunun nedeni, arıtılacak suyun %5'i membrandan geçebilirken %95'lik kalan kısmın geri devredilmesidir. Sonuç olarak suyun tamamını arıtmak için 20 kat daha fazla geri devir yapmak gerekmektedir (Koyuncu vd., 2018).



Şekil 12. Harici MBR sistemlerinin şematik gösterimi (Koyuncu vd., 2018)

Özellikle son yıllarda atıksu arıtımında göstermiş olduğu avantajlardan dolayı MBR tesislerinin kurulumu dünya çapında artış göstermiştir. Tablo 4'te Dünyada kurulu en büyük MBR tesislerinden örnekler verilmiştir.

Tablo 4. Dünyada Kurulu En Büyük MBR Tesisleri (The MBR Site, 2018)

Proje Adı	Yer	İnşa Tarihi	Kapasite (1000 m ³ /gün)	Notlar
Tuas Water Reclamation Plant	Singapur	2025	800	-
Himmerfjärdsverket	Stockholm, İsveç	2024/2025	158	8 °C tasarım sıcaklığı/ 312 MLD debiyi destekleme seçeneği ortaya çıkmaktadır.
Big Creek WRF	Fulton Country, GA, ABD	2024	120	-
WWTP in Fujian Province	Fujian, Çin	2020	80	-
Beihu WWTP	Hubei, Çin	2019	800	-
Changi Train 5	Changi, Singapur	2019	108	-

Tablo 4(devamı). Dünyada Kurulu En Büyük MBR Tesisleri (The MBR Site, 2018)

Proje Adı	Yer	İnşa Tarihi	Kapasite (1000 m ³ /gün)	Notlar
Shek Wui He	Hong Kong	2019	40	Devreye alınmaktadır.
Henriksdal	İsveç	1. Kademe 2019 2. Kademe 2021 3. Kademe 2023 4. Kademe 2026	536	-
Euclid	Ohio, ABD	2018	83	-
Cleveland Bay	Townsville, QLD, Avustralya	2018	32	Tesis büyütülmüş ve teknoloji değiştirilmiştir.
Al Ansab	Muscat, Umman	2018	96	-
Jilin WWTP (Phase 2)	Jilin, Çin	2017	180	-
Brussels Sud	Brussels, Belçika	2017	86	-
Huaifang Water Recycling Project	Beijing, Çin	2016	600	Evsel/Kentsel Atıksu
Chengdu Xingrong Project (Plant 4)	Chengdu, Çin	2016	150	Evsel/Kentsel Atıksu
Hwaseong-Dongtan STP	Hwaseong City, Gyeonggi, Güney Kore	2016	122	-
Shunyi	Beijing, Çin	2016	180	-
Water Affairs Integrative Project	Xingyi, Guizhou, Çin	2016-2017	307	-
Seine Aval	Achere, Fransa	2016	224	-
Jiaxin Project	Jiaxin, Çin	2016	150	Evsel/Kentsel Atıksu
Canton WWTP	Ohio, ABD	2015-2017	159	-
9th & 10th WWTP	Kunming, Yunnan, Çin	2013	250	-
Gaoyang Textile Ind. Park WWTP Phase 1&2&3	Gaoyang, Çin	2016	260	Tekstil/Boya/Pigment/ Boyama
Wuhan Sanjintan WWTP	Hubei, Çin	2015	200	-
Chengdu Xingrong Project (Plant 8)	Chengdu, Çin	2016	200	Evsel/Kentsel Atıksu
Weibei Ind. Park Wanzi WWTP	Xi'an, Çin	2016	200	-
Nanyang High-tech Zone Optoelectronics Ind. Park WWTP	Henan, Çin	2016	140	-

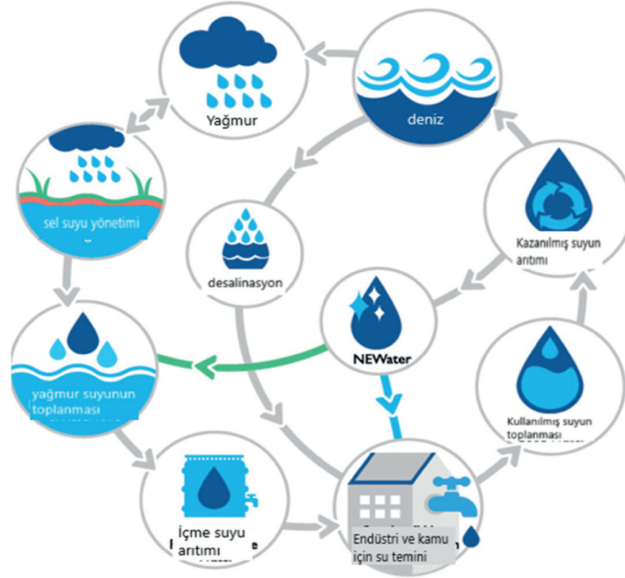
Tablo 4 (devamı). *Dünyada Kurulu En Büyük MBR Tesisleri (The MBR Site, 2018)*

Proje Adı	Yer	İnşa Tarihi	Kapasite (1000 m ³ /gün)	Notlar
Zhangzhou dongdun WWTP Phase 1	Fujian, Çin	2016	130	-
Huhehaote Zhanggaiying WWTP	İç Moğolistan, Çin	2016	120	-
ZhuHai Qianshan WWTP	Guangdong, Çin	2016	100	-
Assago	Milan, İtalya			
Chengdu Xingrong Project (Plant 3)	Chengdu, Çin	2016	200	Evsel/Kentsel Atıksu
Chengdu Xingrong Project (Plant 5)	Chengdu, Çin	2016	200	Evsel/Kentsel Atıksu
Wuhan Sanjintan WWTP	Hubei, Çin	2015	200	-
Xianlin WWTP PPP Project	Nanjing, Jiangsu, Çin	2015	100	-
Jinyang WWTP (Phase 1)	Shanxi, Çin	2015	120	-
Jilin WWTP (Phase 1, Yenileme)	Jilin, Çin	2015	200	-
Santa Guistina	Rimini, İtalya	2015	76	Gerçek tasarım akışı: 54.8-76 MLD
Caotan WWTP PPP Project	Xi'an, Shanxi, Çin	2015-2017	200	-
Cox Creek WRF	Maryland, ABD	2015	58	-
Songsan Green City	Kore	2015	84	-
Liaoyang City Centre WWTP Phase 2	Liaoyang, Çin	2014	200	Evsel/Kentsel Atıksu
Nanjing East WWTP (Phase 3)	Jiangsu, Çin	2014	150	-
Riverside	California, ABD	2014	124	-
Changsa 2nd WWTP	Hunan, Çin	2014	140	-
Visalia	California, ABD	2014	85	-
Yantai TaoziWan WWTP (Phase 2)	Shandong, Çin	2014	150	-
Hebei Zhengding WWTP	Hebei, Çin	2014	100	-

Proje Adı	Yer	İnşa Tarihi	Kapasite (1000 m ³ /gün)	Notlar
Ballanger McKinney ENR WWTP	Maryland, ABD	2013	58	-
Aquaviva	Cannes, Fransa	2013	60	-
Beijiao WWTP renovation project	Ordos, İç Moğolistan	2013	100	-
Daxing Huangcun WRP	Beijing, Çin	2012	120	-
Busan City	Korea	2012	102	-
Qinghe WRP (Phase 2)	Beijing, Çin	2011	150	-
Brightwater	Washington, ABD	2011	122	-
Yellow River	Georgia, ABD	2011	71	-
North Las Vegas	Nevada, ABD	2011	97	-
Awaza/Polimeks	Türkmenistan	2011	71	-
Guangzhou Jingxi Underground MBR Project	Guangzhou, Çin	2010	130	Evsel/Kentsel Atıksu
Wenyuhe River Water Treatment (Phase 2)	Beijing, Çin	2010	100	-
Guangzhou	Çin	2010	100	-
Sambo (aka Sanpou) STP	Sakai, Japonya	2010	59,7	-
Shiyan Shendinghe	Çin	2009	110	-
Changi	Singapur	2009	61	-

5.8. Su Geri Kazanımının Sektörel Uygulamaları

Membran teknolojileri esaslı atıksu geri kazanımı uygulamaları Avustralya, Kuveyt, Singapur, Amerika Birleşik Devletleri, Çin, Japonya, Belçika vb. ülkelerde uygulanmaktadır. Singapur örneği ele alındığında km^2 başına düşen kişi sayısının çok yoğun olduğu ve sınırlı su kaynakları nedeniyle günlük $1,82$ milyon m^3 lük suyunun Malezya'dan karşıladığı görülmektedir. Singapur suyu iki farklı yöntemle yeniden kullanılmaktadır. Geri kazanılmış suyun bir kısmı endüstriyel proseslerde tekrar kullanılırken diğer kısmı ise daha ileri arıtma teknikleri kullanılarak içme suyu olarak sağlanmaktadır. 2003 yılında tamamlanan 72.000 $\text{m}^3/\text{gün}$ kapasiteye sahip NeWater projesi sayesinde çıkış suyu kalitesi EPA ve WHO standartlarını sağlayacak şekilde atıksu arıtımı yapılabilmektedir (Taşdemir ve Koyuncu, 2021) (Şekil 13).

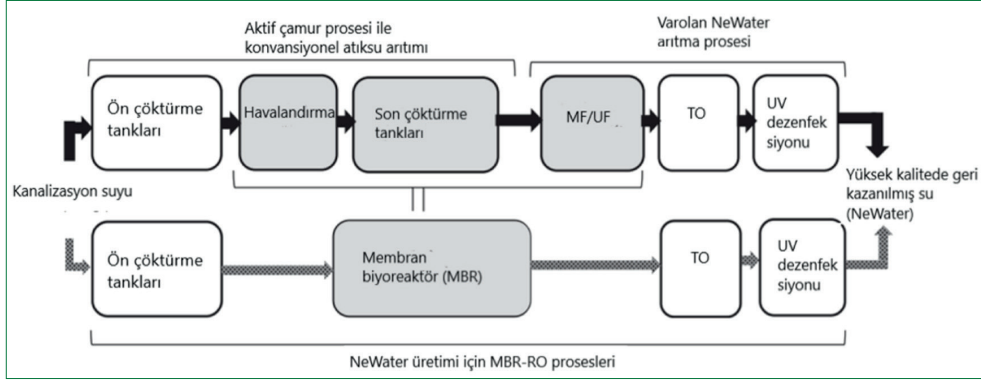


Şekil 13. Singapur su çevrimi (PUB 2, 2017)

Geri kazanılan su, doğrudan ve dolaylı olarak farklı endüstrilerinde kullanım alanı bulmaktadır. Dolaylı kullanıma örnek olarak silikon plaka üretimi, enerji, petrokimya tesislerinde ve soğutma kulelerinde proses suyu verilebilirken, doğrudan kullanımda arıtılan atıksular yağmur suyu kanallarıyla içme suyu tesislerine alınabilmekte ya da rezervuarda depolanabilmektedir.

NeWater prosesinde kullanılan arıtma sistemi genel olarak iki ayrı akım üzerinden işletilmektedir (Şekil 14). İlk akımın 1. aşamasında atıksular konvansiyonel tekniklerle arıtıldıktan sonra askıda katı maddeler (AKM), koloidal partiküller ve patojenlerin giderimi için MF/UF membranlarından geçirilmektedir. Daha sonra suda bulunan bakteri-virüs-protozoalar, sülfat, nitrat, ağır metaller ve organik bileşiklerin uzaklaştırılması için TO membranlarına gönderilmektedir. TO ile arıtılan suyun içme suyu olarak kullanılabilmesi için ultraviyole (UV) dezenfeksiyon kullanılmaktadır. İkinci akımda ise konvansiyonel aktif çamur prosesi

yerine MBR teknolojisi kullanılmaktadır. Arıtılan atıksu ilk akımda olduğu gibi sırasıyla TO ve UV dezenfeksiyon proseslerine gönderilmektedir. 2016 yılı itibarıyla, NeWater arıtma tesisi Singapur'un su talebinin %40'ını karşılamakta olup, önümüzdeki on yıl içerisinde su arzının %50'ye artması hedeflenmektedir (PUB, 2017; Köseoğlu-İmer vd., 2018; Taşdemir ve Koyuncu, 2021).

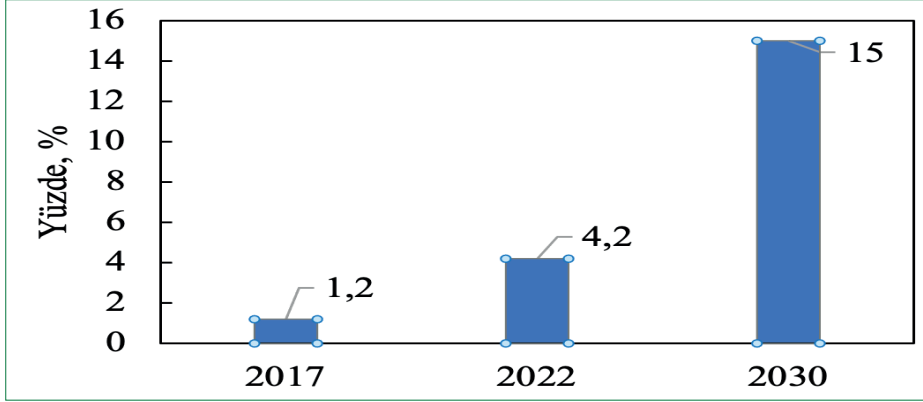


Şekil 14. NeWater arıtma teknolojileri (Lee ve Tan, 2016)

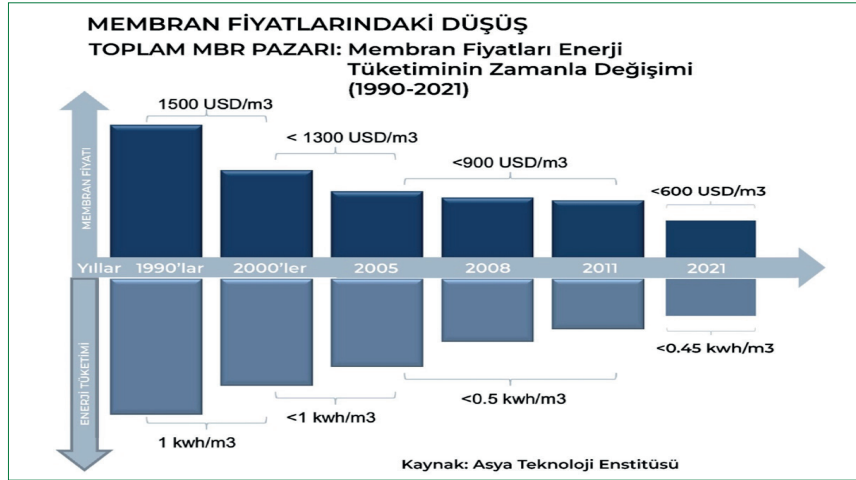
Türkiye için, atıksu arıtma tesislerinin hiçbirinin başlangıçta yeniden kullanım için inşa edilmediği açıktır. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Türkiye, 2008 – 2012 yılı için önceden hazırlanmış bir eylem planına dayalı olarak 2015 – 2023 yıllarını hedef alan bir atıksu arıtma Eylem Planı hazırlamıştır. Türkiye nehir havzalarındaki su kalitesi ve miktarının değerlendirilmesi için, eylem planında modelleme teknikleri ile kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), toplam fosfor (TP), amonyum azotu ($\text{NH}_4\text{-N}$), nitrat azotu ($\text{NO}_3\text{-N}$), organik ve inorganik kirletici düzeyi gibi bazı önemli parametreler üzerinde durulmuştur.

1990'lı yıllarda konvansiyonel aktif çamur prosesi yaygın iken, 2000'li yıllara gelindiğinde nütrient (azot ve fosfor) arıtımı için ileri biyolojik atıksu arıtma tesisleri yaygınlaşmaya başlamıştır. Ülkemizde yaygın bir şekilde uygulaması bulunan atıksu arıtma prosesleri, ön arıtma, mekanik (birincil) arıtma, biyolojik (ikincil) ve kaba ızgara, pompa istasyonları, ince elek, kum ve yağ giderme, ön çökeltim tankları, havalandırma tankları ve son çökeltim tankları (aktif çamur sistemi) dahil olmak üzere ileri arıtmadır. Kentsel atıksuların toplanması ve ardından arıtılmış olarak (uygulanan standartlara göre) uygun bertaraf yöntemleri ile alıcı ortama deşarj edilmesi, belediyelerin yükümlülüğündedir. Ancak, son yıllarda Muğla, Antalya Gazipaşa, Konacık belediyesi AAT ve İSKİ Ağva AAT'inde olduğu gibi bazı durumlarda konvansiyonel arıtma prosesleri yerine membran prosesleri (MBR) ve dezenfeksiyon ünitesi kullanımı da değerlendirilmektedir (Maryam ve Büyükgüngör, 2019).

Şekil 15'te Türkiye'deki mevcut su geri kazanım oranı verilmiştir. Buna göre 2022 yılı itibarı ile atıksuların %4,2'si geri kullanılmaktadır. 2030 yılında bu değer %15'e çıkması beklenmektedir. Membran fiyatlarında ve işletme maliyetlerindeki azalma devam etmektedir. Şekil 16'da bu azalmanın değişimi gösterilmiştir. Membran maliyetlerinin azalması ile birlikte, su geri kazanımı projeleri daha da önem kazanmakta ve uygulama sayıları artmaktadır.



Şekil 15. Türkiye’de su geri kazanım oranı ve 2030 yılı tahmini değeri (Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2022)

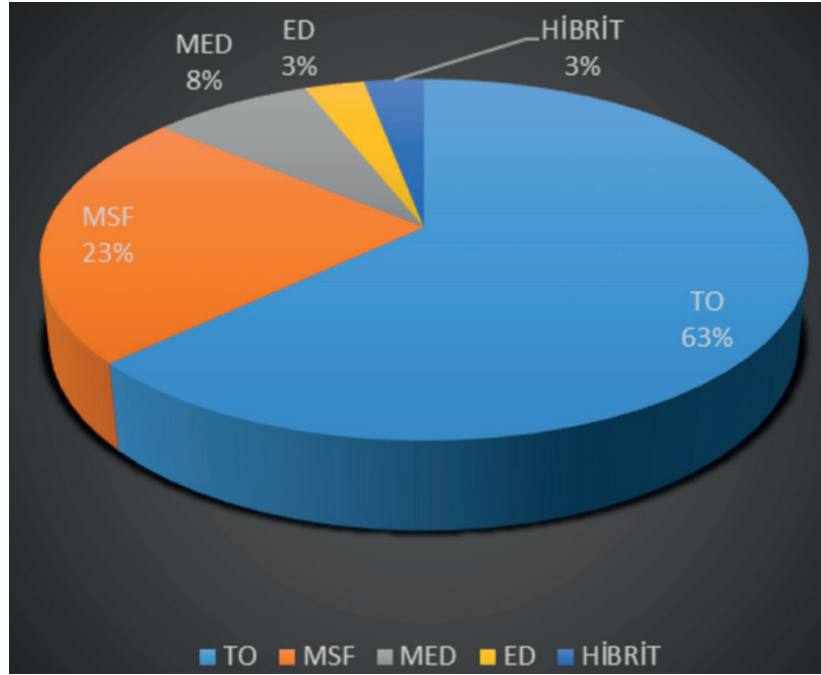


Şekil 16. Membran fiyatlarında ve işletme maliyetlerinde yıllara göre azalma (Frost & Sullivan, 2022)

5.9. Desalinasyon

Termal ve membran prosesler, en yaygın şekilde kullanılan tuzlu su arıtma teknolojileridir. Deniz suyundan temiz suyun buharlaştırılarak arındırılması için evaporatör ve kondenser sistemi termal proseslere dahil edilirken, deniz suyundan çözünmüş tuzların arıtılması ve membran proseslerle içme suyu elde edilmesi için mekanik veya kimyasal/elektriksel yöntemler kullanılabilir. Solar distilasyon (SD), çok aşamalı distilasyon (MVC) ve çok etkili buharlaştırma/distilasyon (MED), termal tuzdan arındırma işlemleridir. Elektrodiyaliz ve ters osmoz işlemleri, deniz suyu tuzdan arındırma (desalinasyon) teknolojilerine örnektir. Ayrıca son zamanlarda termal prosesleri membran prosesler ile birleştiren hibrit sistemler kullanılmaktadır. Daha yaygın uygulama alanları, “membran distilasyonu (MD) ve TO” ile “MED ve destekli MSF” işlemlerini içerir (Gude 2016; MEM-TEK Bülteni, 2017).

Yıllar içerisinde desalinasyon teknolojilerinde kullanılan yöntemler farklılık göstermiştir. 2000 yılından sonra inşa edilen desalinasyon tesislerinin ~%70'ini membran desalinasyon teknolojileri oluşturmaktadır. Örneğin, 2005 yılında bu tesislerin %60'ı termal yöntemleri, %40'ı ise membran teknolojileri kullanılmakta iken, günümüzde mevcut tesislerin %60'ı membran teknolojileri ve diğer termal ve hibrit teknolojileri kullanmaktadır. Şekil 17 incelendiğinde son yıllarda desalinasyon endüstrisinde kullanılan teknolojilerin %63'ünün TO, %23'ünün MSF ve %8'inin MED prosesinden oluştuğu ve kalan kısmın ise elektrodiyaliz ve diğer hibrit prosesleri içerdiği görülmektedir (Gude, 2016; MEM-TEK Bülteni, 2017). Tablo 5'te membran teknolojisi kullanan dünyanın en büyük desalinasyon tesisleri verilmiştir.



Şekil 17. Desalinasyon teknolojileri (MEMTEK Bülteni, 2017).

6. Sonuç ve Öneriler

İçilebilir su kaynaklarının her geçen gün azaldığı yeryüzünde mevcut su kaynaklarının muhafaza edilmesi, alternatif ve yeni su kaynaklarının temin edilebilmesi amacıyla membran proseslerin kullanımının önemi her geçen gün artmaktadır. Bu çalışmada, küresel iklim değişikliğinin oluşturmuş olduğu ve yakın gelecekte çok daha derin bir şekilde hissedilecek olan su kıtlığı durumunda, alternatif su temini için desalinasyon ve su geri kazanımı amacıyla kullanılan membran teknolojileri ele alınmıştır. Membran maliyetlerinin azalması ile birlikte, hem membran proseslerine dayanan su geri kazanımı projeleri hem de desalinasyon projeleri daha da önem kazanmakta ve uygulama sayıları artmaktadır. Bu bağlamda membran teknolojilerin yerli olarak üretimi ve kullanımının yaygınlaştırılması ülkemizin su kaynaklarının korunması açısından büyük önem arz etmektedir.

Tablo 5. *Dünya çapında membran teknolojisi kullanılan en büyük desalinasyon tesisleri*

Tesis	Kapasite (m ³ /gün)	Ülke	Teknoloji	Devreye Alınma Tarihi	Kaynak
Ashkelon	396.000	İsrail	Ters Osmoz	2005	(MEMTEK Bülteni, 2017)
Tampa Bay	114.000	ABD	Ters Osmoz	2008	(MEMTEK Bülteni, 2017)
Palmachim	274.000	İsrail	Ters Osmoz	2008	(GES, t.y.)
Hadera	525.000	İsrail	Ters Osmoz	2009	
Beckton	150.000	İngiltere	Ters Osmoz	2010	
Fujairah 2	591.000	BAE	Ters Osmoz +Distilasyon	2010	
Beni Saf	200.000	Cezayir	Ters Osmoz	2010	(MEMTEK Bülteni, 2017)
Chennai	100.000	Hindistan	Ters Osmoz	2010	
Torre Vieja	240.000	İspanya	Ters Osmoz	2011	
Adelaide	300.000	Avustralya	Ters Osmoz	2012	
Victoria Desalination	450.000	Avustralya	Ters Osmoz	2012	
Limassol	40.000	Güney Kıbrıs	Ters Osmoz	2010	(Republic of Cyprus Ministry of Agriculture, Rural Development and Environment, 2017)
Sorek	624.000	İsrail	Ters Osmoz	2013	
Point Lisas	110.000	Trinidad	Ters Osmoz	2013	
Az Zour	136.000	Kuveyt	Suudi Arabistan	2014	(MEMTEK Bülteni, 2017)
Ras al-Khair	1.036.000	Suudi Arabistan	Ters Osmoz +Distilasyon	2015	
Tenes	200.000	Cezayir	Ters Osmoz	2015	(Smart Water Magazine, 2015)
Claude "Bud" Lewis Carlsbad	190.000	ABD	Ters Osmoz	2015	(MEMTEK Bülteni, 2017)
Melbourne	450.000	Avustralya	Ters Osmoz	2015	(de Albornoz Portes, 2017)
Tua Spring	318.500	Singapur	Ters Osmoz	2015	
Jebel Ali	637.000	BAE	Ters Osmoz	2018	(MEMTEK Bülteni, 2017)
Ras Abu Fontas a3	164.000	Katar	Ters Osmoz	2018	
Shuqaiq 3	450.000	Suudi Arabistan	Ters Osmoz	2018	(Almar Water Solutions, 2020)
Rabigh 3	600.000	Suudi Arabistan	Ters Osmoz	2021	(Acwa Power (a), 2023)
Taweelah	909.000	BAE	Ters Osmoz	2023	(Acwa Power (b) 2023)

7. Kaynaklar / References

- Acwa Power (a), (2023), Son Erişim Tarihi: 04.04.2023 <https://acwapower.com/en/projects/rabigh-3-iwp/>
- Acwa Power (b), (2023), Son Erişim Tarihi: 04.04.2023 <https://acwapower.com/en/projects/al-taweelah-iwp/>
- Almar Water Solutions, (2020), Son Erişim Tarihi: 04.04.2023: <https://almarwater.com/pf/shuqaiq-3/>
- Aquastat, (2018), WWAP (United Nations World Water Assessment Programme), The United Nations World Water Development Report 2018, Son Erişim Tarihi: 04.04.2023 <http://www.unwater.org/publications/world-water-development-report-2018/>
- Asano, T., Levine, A.D. (1996). Wastewater reclamation, recycling and reuse: past, present ve future. *Water Science and Technology*, 33, (10-11), 1-14.
- Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, *Atık Su Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği Revizyonu (2022)*, 25.10.2022, <https://csb.gov.tr/cevre-sehircilik-ve-iklim-degisikligi-bakanligi-atik-su-aritma-tesisleri-teknik-usuller-tebliği-revizyonu-bakanlik-faaliyetleri-36271>.
- Damkjaer, S., Taylor, R. (2017). The measurement of water scarcity: Defining a meaningful indicator. *Ambio*, 46(5), 513–531. <https://doi.org/10.1007/s13280-017-0912-z>.
- de Albornoz Portes, F. J. C. (2017). Alliances: An Innovative Management Model for Public and Private Investments. In B. L. Moya, M. o. S. de Gracia, & L. F. Mazadiego (Eds.), *Case Study of Innovative Projects- Successful Real Cases*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.68228>.
- DSİ, (2015), Son Erişim Tarihi: 04.04.2023 <https://docplayer.biz.tr/10353333-Turkiye-nin-su-potansiyelinin-belirlenmesi-calismalari.html>
- DSİ, (2010), Su kaynakları, Son Erişim Tarihi: 04.04.2023, <https://www.dsi.gov.tr/Sayfa/Detay/754>
- DSİ, (2006), Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü 2006 Yılı Faaliyet Raporu.
- Falkenmark M., Lundqvist J., Widstrand C. (1989). Macro-scale water scarcity requires micro-scale approaches: aspects of vulnerability in semi-arid development. *Nat. Resour. Forum*, 13 (4), 258-267, 10.1111/j.1477-8947.1989.tb00348.x.
- Frost & Sullivan (2022), Global Membrane Bioreactor (MBR) Market – Soaring Demand in Developing Markets Fuels Growth Momentum.
- GES, (t.y.), Son Erişim Tarihi: 04.04.2023, <https://ges.co.il/project/palmachim-swro/>
- Gude V.G. (2016). Desalination and Sustainability – An Appraisal and Current Perspective, *Water Research*, 89, 87-106.
- Gupta V.K., Ali, I. (2013) *Environmental Water: Advances in Treatment, Remediation and Recycling*, Elsevier, UK.
- Günay, G. (2011). Türkiye'nin yüzey suları ve yeraltı suları potansiyeli. *Bilim Aklın Aydınlığında Eğitim*, 132, 56-60.

- International Monetary Fund, (2001), Son Erişim Tarihi: 04.04.2023: <https://www.imf.org/external/pubs/ft/fandd/2001/09/fisher.htm>
- Judd S. & Jefferson B. (2003) Membranes for Industrial Wastewater Recovery and Re-use, UK.
- Koyuncu İ. (2016). Su ve Güç: Türkiye'nin Su Potansiyeli, Sultangazi Belediyesi.
- Koyuncu İ., Türken T., Köseoğlu-İmer D. (2018). Bölüm 9. Aerobik Membran Biyoreaktör. Su Atıksu Arıtılması ve Geri Kazanılmasında Membran Teknolojileri ve Uygulamaları, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Cilt 2.
- Köseoğlu-İmer D., Güçlü S., Koyuncu İ. (2018). Bölüm 14. Eysel Atıksuların Membran Teknolojileri ile Geri Kazanımı. Su Atıksu Arıtılması ve Geri Kazanılmasında Membran Teknolojileri ve Uygulamaları, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Cilt 2.
- Lee H., Tan. TP. (2016). Singapore's experience with reclaimed water: NEWater, International Journal of Water Resources Development, 32 (4), 611-621, DOI: 10.1080/07900627.2015.1120188.
- Maryam, B., Büyükgüngör, H. (2019) Wastewater reclamation and reuse trends in Türkiye: Opportunities and challenges. Journal of Water Process Engineering 30, 100501.
- Mbonile, M. J. (2005). Migration and intensification of water conflicts in the Pangani Basin, Tanzania. Habitat international, 29(1), 41-67.
- MEMTEK Bülteni, (2016). Atıksu Geri Kazanımı, 1 (2), ISSN: 2564-6176.
- MEMTEK Bülteni, (2017). Desalinasyon, 2 (3), ISSN: 2564-6176.
- Metcalf & Eddy, (2006). Water Reuse: Issues, Technologies and Applications, McGraw Hill, New York.
- Nathanson, J. A., (2020), Water supply system. Encyclopedia Britannica, Son Erişim Tarihi: 04.04.2023, <https://www.britannica.com/technology/water-supply-system>
- Özsoy, S. (2009). Su ve Yaşam: Suyun Toplumsal Önemi. Yüksek Lisans Tezi, T.C. Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Çalışma Ekonomisi ve Endüstri İlişkileri Anabilim Dalı, Ankara.
- PUB 2 (2017) (Son Erişim Tarihi: 5.11.2022). https://www.pub.gov.sg/PublishingImages/PUB_Waterloop.png
- Republic of Cyprus Ministry of Agriculture, Rural Development and Environment, 2017, Son Erişim Tarihi: 04.04.2023 http://www.moa.gov.cy/moa/wdd/wdd.nsf/page23_en/page23_en?opendocument
- Sarış, F. (2021). Türkiye'de Eysel Su Tedarik ve Tüketim İstatistiklerinin Değerlendirilmesi, Coğrafi Bilimler Dergisi 19(1), 195-216.
- Smart Water Magazine, (2015), Son Erişim Tarihi: 04.04.2023: <https://smartwatermagazine.com/news/abengoa/algerias-tenes-desalination-plant-built-abengoa-produces-200-million-m3-drinking-water>
- Taşdemir, R. Ş., ve Koyuncu, İ. (2021) Membran Teknolojileri ile Alternatif Su Temini: Desalinasyon ve Atıksu Geri Kazanımı. Sürdürülebilir Çevre Dergisi, 1(1), 18-30.

- The MBR Site, (2018), Son Erişim Tarihi: 04.04.2023, <https://www.thembrsite.com/largest-mbr-plants/largest-membrane-bioreactor-plants-worldwide/>
- TSKB, (2019), Türkiye Sınai Kalkınma Bankası A.Ş., TSKN Tematik Bakış Su: Yeni Elmas.
- TÜİK, (2022). Dünya Nüfus Günü, 06.07.2022, Sayı 45552.
- TÜSİAD, (2008). Türkiye Sanayi ve İşadamları Derneği, Türkiye’de Su Yönetimi: Sorunlar ve Öneriler, Eylül, TÜSİAD Yayın No: T/2008-09/469, İstanbul.
- Tzanakakis, V.A., Paranychianakis, N., Angelakis, A. (2020). Water supply and water scarcity. *Water*, 12 (2347), 1-16. doi:10.3390/w12092347
- United Nations (2018) Sustainable Development Goal 6: Synthesis Report 2018 on Water and Sanitation. New York, Son Erişim Tarihi: 04.04.2023 www.unwater.org/app/uploads/2018/07/SDG6_SR2018_web_v5.pdf.
- Usta, A. (2016). Türkiye’nin Su Potansiyelinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma, *Küresel Mühendislik Çalışmaları Dergisi* 3(2), 1-9.
- Wada, Y., Flörke, M., Hanasaki, N., Eisner, S., Fischer, G., Tramberend, S., Satoh, Y., van Vliet, M. T. H., Yillia, P., Ringler, C., Burek, P., and Wiberg, D. (2016). Modeling global water use for the 21st century: the Water Futures and Solutions (WFaS) initiative and its approaches, *Geosci. Model Dev.*, 9, 175–222, <https://doi.org/10.5194/gmd-9-175-2016>.
- WWAP (UNESCO World Water Assessment Programme) (2019).,The United Nations World Water Development Report 2019: Paris, France. Leaving No One Behind. Paris, UNESCO
- Yılmaz, M. (2015). “Orta Doğu’da Su Sorunu Kapsamında Türkiye’nin Sınraşan Sularının Jeopolitik Önemi”, http://tucaum.ankara.edu.tr/wp-content/uploads/sites/280/2015/08/ semp6_36.pdf, erişim:22.05.2019.
- Yılmaz, M. L. & Peker, H. S. (2013). Su Kaynaklarının Türkiye Açısından Ekono-Politik Önemi Ekseninde Olası Bir Tehlike: Su Savaşları. *Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 3 (1), 57-74 .

Yazarlar Hakkında / About Authors

**Prof. Dr. İsmail KOYUNCU | TÜBA Asli Üyesi | İstanbul Teknik Üniversitesi |
koyuncu[at]itu.edu.tr | ORCID: 0000-0001-8354-1889**

1974 yılında doğdu ve 1990 yılında Antalya lisesinden mezun oldu. İstanbul Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde lisans (1995), yüksek lisans (1997) ve doktora (2001) eğitimlerini tamamladı. Doktora sonrası araştırmalarda bulunmak üzere 2002 yılında bir yıl süre ABD'de Rice University Civil and Environmental Engineering Department'da, 2003 yılında iki ay süre Belçika'da University of Leuven ve tekrar, 2004 yılında ABD'de Rice University'de bir yıl süre ile misafir profesör olarak bilimsel araştırma ve incelemelerde bulundu ve birçok projede görev aldı. 1996 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak başladığı akademik hayatını, 2009 yılından beri Profesör olarak aynı bölümde devam ettirmektedir. 2012-2018 yılları arasında İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü, İTÜ Yönetim Kurulu ve Senatosu üyesi olarak görev yapmıştır. Şu anda, İstanbul Teknik Üniversitesi Rektörü ve Ulusal Membran Teknolojileri (MEMTEK) Araştırma Merkezi Müdürü olarak görev yapmaktadır. Türkiye Bilimler Akademisi (TÜBA) Asil üyesidir. 2008 yılında TÜBİTAK teşvik ödülü ve 2009 yılında ise Çevre alanında ECO ödülü almıştır. Birçok dergide yayın kurulu üyesidir. Ulusal ve uluslararası birçok konferans düzenlemiş ve bilim kurulunda bulunmuştur. Araştırma konuları, su ve atıksu arıtımı ve geri kazanımı, ileri su arıtım teknolojileri, deniz suyu arıtım teknolojileri, membran teknolojileri, membrana dayanan su filtresi geliştirilmesi, çevre nanoteknolojisi, altyapı planlama ve tasarım esasları ve arıtma tesislerinin hidrolojidir. 150'nin üzerinde uluslararası dergilerde makale ve 200'den fazla uluslararası sempozyumlarda sunumu bulunmaktadır. Evli ve 3 çocuk babasıdır.

**Prof. Dr. İsmail KOYUNCU | TÜBA Full Member | Istanbul Technical University |
koyuncu[at]itu.edu.tr | ORCID: 0000-0001-8354-1889**

He was born in 1974 and graduated from Antalya high school in 1990. He had a B.Sc., M.S. and Ph.D degrees in Environmental Engineering Environmental Engineering Department of Istanbul Technical University, in 1995, 1997 and 2002, respectively. He has completed a-year-post doctorate studies at Rice University, USA in 2003 and 2-months-post doctorate studies in Belgium. He also worked as a visiting professor at Rice University for one year in 2004. He worked as a Research Assistant in Istanbul Technical University between 1996-2004 and is currently working as a Professor in Environmental Engineering Department of Istanbul Technical University. He worked as a Dean of graduate school, Senate and Board Member of Istanbul Technical University between 2012-2018. Now, he is the president of Istanbul Technical University and Director of National Research Center on Membrane Technologies. He is also member of Turkish Academy of Sciences since 2012. He was awarded with The Scientific and Technological Research Council of Türkiye (TUBITAK) Young Scientist Award (2008) and Economic Cooperation Organization (ECO) International Award 2009 (in the field of Environment). Research areas are water and wastewater treatment and reuse, advanced water treatment technologies, membrane technologies, environmental nanotechnology, environmental effects of nanoparticles, hydraulics of water and wastewater treatment plants. He has more than 150 journal papers and 200 conference presentations. He is married with 3 children.

**Dr. Mehmet Emin PAŞAOĞLU | İstanbul Teknik Üniversitesi |
mpasaoglu[at]itu.edu.tr | ORCID: 0000-0003-1152-8823**

1989 yılında Ereğli/Zonguldak'ta doğdu. Selçuk Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimini 2011 yılında tamamladıktan sonra Ulusal Membran Teknolojileri UYG-AR Merkezi (MEMTEK) araştırmacı olarak kariyerine başladı. Yüksek Lisans ve Doktora programını İstanbul Teknik Üniversitesi Çevre Bilimleri ve Mühendisliği Programında tamamladı. Atıksu arıtımı, membran filtre üretimi, ileri osmoz ve basınç geciktirmeli osmoz, ters osmoz sistemleri üzerine uzmanlaştı. Birçok ulusal ve uluslararası araştırma projesinde araştırmacı olarak bulundu ve çok sayıda uluslararası makalesi mevcuttur. Yürütücülüğünü yaptığı TÜBİTAK 1001 projesini 2022 yılı içerisinde başlamış olup, başarıyla devam etmektedir. Yüksek Lisans ve doktora döneminde İTÜ Çevre Mühendisliği bölümünde Araştırma Görevlisi olarak akademik çalışmalarını sürdürdü. Hali hazırda Dr. Öğr. Üyesi ünvanı ile İTÜ Çevre Mühendisliği Bölümünde çalışmalarını sürdürmektedir. Evli ve 1 çocuk babasıdır.

**Dr. Mehmet Emin PAŞAOĞLU | Istanbul Technical University |
mpasaoglu[at]itu.edu.tr | ORCID: 0000-0003-1152-8823**

He was born in 1989 in Ereğli/Zonguldak. After completing his undergraduate education at Selçuk University, Department of Environmental Engineering in 2011, he started his career as a researcher at the National Membrane Technologies UYG-AR Center (MEMTEK). He completed his Master's and Doctorate programs at Istanbul Technical University Environmental Sciences and Engineering Program. Specialized in wastewater treatment, membrane filter production, advanced osmosis and pressure retarded osmosis, reverse osmosis systems. He has been a researcher in many national and international research projects and has many international articles. The TÜBİTAK 1001 project, which he directed, started in 2022 and continues successfully. He continued his academic studies as a Research Assistant in the Department of Environmental Engineering at ITU during his master's and doctorate periods. Currently Dr. Instructor As a member, he continues his studies at ITU Environmental Engineering Department. He is married with 1 child.

**Dr. Türker TÜRKEN | İstanbul Teknik Üniversitesi |
turken[at]itu.edu.tr | ORCID: 0000-0003-0550-5975**

1987 yılında Elazığ'da doğdu. Fırat Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimini 2009 yılında tamamladıktan sonra Ulusal Membran Teknolojileri UYG-AR Merkezi (MEMTEK) kurulumunda araştırmacı olarak kariyerine başladı. Yüksek Lisans ve Doktora programını İstanbul Teknik Üniversitesi Çevre Bilimleri ve Mühendisliği Programında tamamladı. Atıksu arıtımı, membran filtre üretimi, membran biyorektör sistemlerinin tasarımı, ters osmoz sistemleri üzerine uzmanlaştı. Birçok ulusal ve uluslararası araştırma projesinde araştırmacı olarak bulundu. Yürütücülüğünü yaptığı TÜBİTAK 1001 projesini 2022 yılı içerisinde başarıyla tamamladı. Yüksek Lisans ve doktora döneminde İTÜ Çevre Mühendisliği bölümünde Araştırma Görevlisi olarak akademik çalışmalarını sürdürdü. Hali hazırda Dr. Öğr. Üyesi ünvanı ile İTÜ Çevre Mühendisliği Bölümünde çalışmalarını sürdürmektedir. Evli ve 2 çocuk babasıdır.

**Dr. Türker TÜRKEN | Istanbul Technical University |
turken[at]itu.edu.tr | ORCID: 0000-0003-0550-5975**

He was born in 1987 in Elazığ. After completing his undergraduate education at Fırat University Environmental Engineering Department in 2009, he started his career as a researcher at the establishment of the National Membrane Technologies UYG-AR Center (MEMTEK). He completed his Master's and Doctorate programs at Istanbul Technical University Environmental Sciences and Engineering Program. He specialized in wastewater treatment, membrane filter production, membrane bioreactor systems design, reverse osmosis systems. She has been a researcher in many national and international research projects. He successfully completed the TÜBİTAK 1001 project, which he directed, in 2022. He continued his academic studies as a Research Assistant in the Department of Environmental Engineering at ITU during his master's and doctorate periods. He is currently working as an Assistant Professor at ITU Environmental Engineering Department. He is married with 2 children.

**Dr. Ayşe YÜKSEKDAĞ | İstanbul Teknik Üniversitesi |
yuksekdaga[at]itu.edu.tr | ORCID: 0000-0002-7751-7556**

1987 yılında İstanbul'da doğdu. Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimini 2011 yılında tamamladıktan sonra 2014 yılında Ulusal Membran Teknolojileri UYG-AR Merkezi (MEMTEK) kurulumunda araştırmacı olarak kariyerine başladı. Yüksek Lisans programını Gebze Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği, Doktora programını ise İstanbul Teknik Üniversitesi Çevre Bilimleri ve Mühendisliği Programında tamamladı. Atık ve atıksulardan ürün geri kazanımı, atıksu arıtımı, membran filtre üretimi, ileri osmoz, ters osmoz, membran solvent ekstraksiyonu sistemleri üzerine uzmanlaştı. Birçok ulusal araştırma projesinde araştırmacı olarak bulundu. Yüksek Lisans ve doktora döneminde İTÜ Çevre Mühendisliği bölümünde Araştırma Görevlisi olarak akademik çalışmalarını sürdürdü. Hali hazırda Dr. Öğr. Üyesi ünvanı ile İTÜ Çevre Mühendisliği Bölümünde çalışmalarını sürdürmektedir

**Dr. Ayse YÜKSEKDAĞ | Istanbul Technical University
yuksekdaga[at]itu.edu.tr | ORCID: 0000-0002-7751-7556**

She was born in 1987 in İstanbul. After completing his undergraduate education at Yıldız Technical University Environmental Engineering Department in 2011, she started his career as a researcher at the establishment of the National Membrane Technologies UYG-AR Center (MEMTEK) in 2014. She completed her Master's program in Gebze Technical University Environmental Engineering and Doctorate program at İstanbul Technical University Environmental Sciences and Engineering. She specialized in product recovery from waste and wastewater, wastewater treatment, membrane filter production, forward osmosis, reverse osmosis and membrane solvent extraction systems. She has been a researcher in many national research projects. She continued her academic studies as a Research Assistant in the Department of Environmental Engineering at ITU during her master's and doctorate periods. She is currently working as an Assistant Professor at ITU Environmental Engineering Department.

