T.C.
ÇEVRE VE ŞEHİRCİLİK
BAKANLIĞI

İSTANBUL MEDENİYET
ÜNİVERSİTESİ

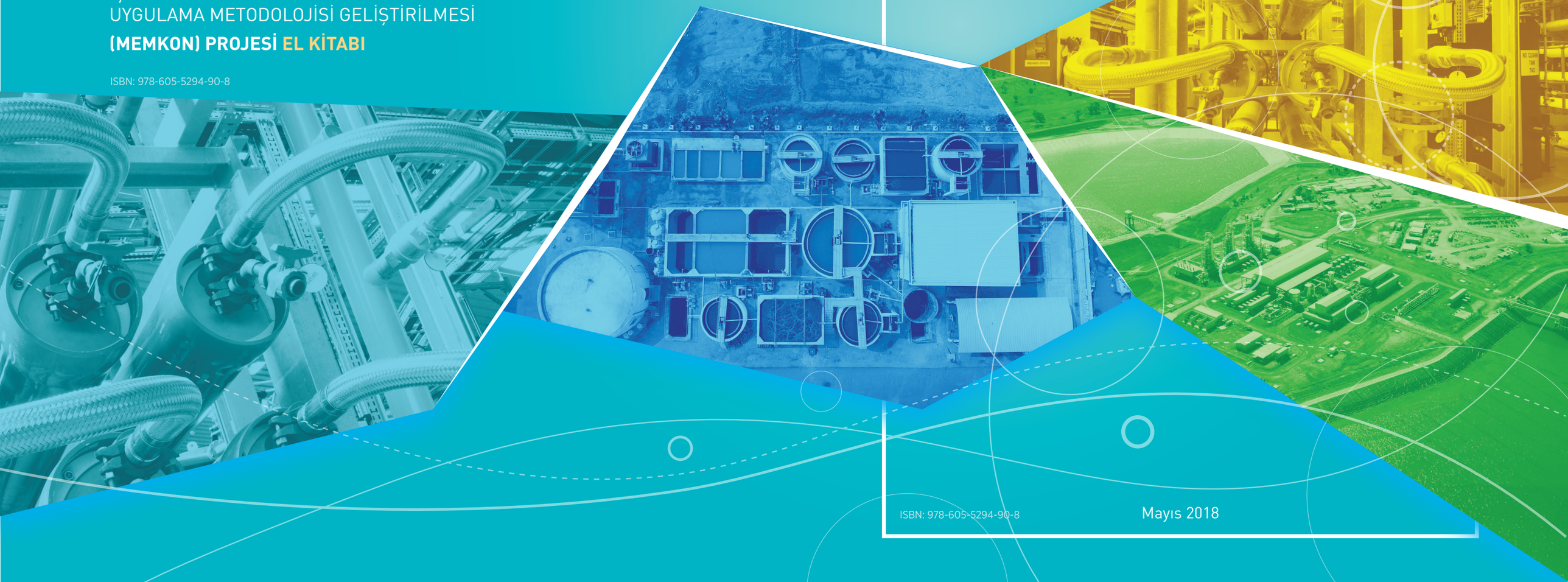
GEBZE
TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
S.Demirel
1992

ATIKSU GERİ KAZANIMINDA MEMBRAN UYGULAMALARI İÇİN KONSANTRE AKIM YÖNETİM MODELİ ve MEVZUAT UYGULAMA METODOLOJİSİ GELİŞTİRİLMESİ

(MEMKON) PROJESİ EL KİTABI

ISBN: 978-605-5294-90-8



T.C.
ÇEVRE VE ŞEHİRCİLİK
BAKANLIĞI

İSTANBUL MEDENİYET
ÜNİVERSİTESİ

GEBZE
TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
S.Demirel
1992

ATIKSU GERİ KAZANIMINDA MEMBRAN UYGULAMALARI İÇİN KONSANTRE AKIM YÖNETİM MODELİ ve MEVZUAT UYGULAMA METODOLOJİSİ GELİŞTİRİLMESİ

(MEMKON) PROJESİ EL KİTABI

ISBN: 978-605-5294-90-8

Mayıs 2018

ISBN: 978-605-5294-90-8

T.C.
ÇEVRE VE ŞEHİRCİLİK
BAKANLIĞI

İSTANBUL MEDENİYET
ÜNİVERSİTESİ

GEBZE
TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
S. Demirel
1992

ATIKSU GERİ KAZANIMINDA MEMBRAN UYGULAMALARI İÇİN KONSANTRE AKIM YÖNETİM MODELİ ve MEVZUAT UYGULAMA METODOLOJİSİ GELİŞTİRİLMESİ

(MEMKON) PROJESİ EL KİTABI

YAZARLAR

Prof. Dr. Bülent KESKİNLER
Prof. Dr. Mehmet KİTİŞ
Prof. Dr. Ahmet KARAGÜNDÜZ
Prof. Dr. Erkan ŞAHİNKAYA
Prof. Dr. Gökhan CİVELEKOĞLU
Doç. Dr. Nevzat Özgü YİĞİT
Doç. Dr. Salim ÖNCEL
Doç. Dr. Bilgehan İlker HARMAN
Doç. Dr. Hasan KÖSEOĞLU
Doç. Dr. Ş. Şule KAPLAN BEKAROĞLU
Öğr. Gör. Ahmet DEMİRELLİ
Arş. Gör. Çiğdem BALÇIK CANPOLAT

KATKI VERENLER

T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı
Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü

Recep AKDENİZ — Genel Müdür Yrd.
Ercan GÜLAY — Daire Başkanı
Elif ÖZCAN — Şube Müdür V.
Engin AYAR — Çevre Yüksek Mühendisi
Selçuk BOZKURT — Çevre Mühendisi
Muharrem Barış PEKCAN — Çevre Mühendisi
Lütfiye DUMLU YILDIRIM — Çevre ve Şehircilik Uzmanı
Çiğdem BUDAK — Çevre ve Şehircilik Uzmanı

Bu El Kitabı'nın herhangi bir kısmı, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın yazılı izni olmadıkça kaynak gösterilmeden yayınlanamaz, bilgi saklama sistemine alınamaz veya elektronik, mekanik, fotokopi, kayıt veya başka sistemlerle çoğaltılamaz.

Mayıs 2018

Grafik Tasarım ve Uygulama : Yasemin DURAN / Serdar DURAN

ÖNSÖZ

Hızlı nüfus artışı, yoğun sanayileşme, artan kuraklık ve aşırı tüketim ile birlikte tatlı su kaynakları global ölçekte hızla tükenmektedir. Artan talebe karşılık tatlı su kaynaklarını yenileyip miktarını artırmak teknik ve ekonomik açıdan sınırlayıcı olduğu için sürdürülebilir kalkınmayı sağlayabilecek değişik pratik çözümlere ihtiyaç vardır. Bu bağlamda 'temiz su kaynaklarını korumanın ilk yolu atıksuları geri kazanma ile başlar' düşüncesi ile arıtılmış atıksuların geri kazanımı ve birçok farklı amaçlı geri kullanımı için son yıllarda uygulamalar artmaktadır. Atıksuların geri kullanımı ile hem tatlı su kaynaklarının tüketimi azaltılmakta hem de arıtılmış atıksular deşarj edilmeyerek olumsuz çevresel etkiler en aza indirilmektedir.

Membran prosesleri son yıllarda içme ve kullanma suyu temini ile atıksu geri kazanımı amacıyla sıklıkla kullanılmaktadır. Bu proseslerinin işletilmesi sırasında membranların tıkanma kontrolü ve oluşan konsantrelerin yönetimi ve bertarafı büyük önem taşımaktadır. Genel olarak, membran konsantrelerinin bertarafı üzerine şablon, her tesise uygulanabilecek anahtar bir çözüm olmamakla birlikte, hali hazırda başarıyla uygulanan farklı bertaraf yöntemleri/teknikleri bulunmaktadır. Benzer şekilde, membran konsantrelerinin deşarj limitleri/standartları için de global olarak kabul görmüş ortak bir mevzuat mevcut değildir. Sabit deşarj limitleri yerine çoğu ülkede alıcı ortam kalitesine göre, proje bazlı spesifik deşarj izinlerinin verildiği bilinmektedir. Deşarjın içeriği ve debisi, alıcı ortam kalitesi, özümleme kapasitesi ve alıcı ortamdaki olası ve gözlenen çevresel etkilere göre, proje bazlı deşarj izinlerinin belirli süreler için verilmesi ve uygun görülmesi durumunda izinlerin uzatılması yaklaşımı daha çevresel bir yaklaşım olarak görülmektedir.

"Atıksu Geri Kazanımında Membran Uygulamaları için Konsantre Akım Yönetim Modeli ve Mevzuat Uygulama Metodolojisi Geliştirilmesi Projesi (MEMKON)", Gebze Teknik Üniversitesi, Süleyman Demirel Üniversitesi ve İstanbul Medeniyet Üniversitesi ortaklığında Mart-Aralık 2017 döneminde yürütülmüştür. Projenin sahibi ve finansmanını sağlayan kurum Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'dır. MEMKON projesinde, atıksu geri kazanımında yaygın olarak kullanılmaya başlanan membran teknolojilerinden kaynaklanan

MEMKON

Atıksu Geri Kazanımında Membran Uygulamaları için Konsantre Akım Yönetim Modeli ve Mevzuat Uygulama Metodolojisi Geliştirilmesi Projesi



konsantre akımlarının ekonomik bir biçimde bertarafı/arıtımı ve yönetimine ilişkin ülkemize özgü uygulanabilir bir model oluşturulması, ulusal mevzuatın ve kurumsal kapasitenin bu doğrultuda geliştirilmesi hedeflenmiştir. Ülkemizde membran teknolojileri uygulamalarındaki artışa rağmen konsantre akımların yönetimi konusunda önemli bir boşluk bulunmaktadır.

MEMKON projesinin iş kapsamı ve proje çıktıları Proje Sonuç Raporunda sunulmuştur. Projenin iş paketlerinden bir tanesi de membran konsantre yönetimi ve bertarafı üzerine El Kitabı hazırlanmasıdır. MEMKON projesi El Kitabında akademik tabanlı bilgilerin yanı sıra, atıksu geri kazanımındaki temel sorunlar ve ihtiyaçlar, konsantre bertarafı, yönetimi ve minimizasyonu, global pilot ve gerçek tesis uygulamaları, uluslararası mevzuatlar, proje kapsamında yapılan pilot tesis çalışmalarından özetler, ülkemize özgü geliştirilen 'mevzuat uygulama ve konsantre yönetim modeli' yazılımı, düzenleyici etki analizi konularında özet bilgiler/veriler sunulmuştur. Bu bağlamda hazırlanan El Kitabı ülkemizdeki ilk referans kaynak özelliğindedir. Yukarıda bahsedilen farklı hususları birlikte içermesinden dolayı bu El Kitabı aynı zamanda global olarak da bir ilktir. Hazırlanan El Kitabının, membran teknolojileri konusunda çalışan geniş yelpazedeki kamu ve özel sektör ve akademik paydaşlara faydalı olacağı kanaatini taşımaktayız.

MEMKON projesini başlatan ve destekleyen, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü'ne sonsuz teşekkür ederiz. Projede pilot tesis olarak yer almayı kabul eden ve proje ekibi ile ortak saha çalışmaları yapıp, desteklerini esirgemeyen firmalara şükranlarımızı sunarız.

Saygılarımızla.

Proje Ekibi

İÇİNDEKİLER

BİRİNCİ BÖLÜM

1. ATIKSU GERİ KAZANIMINDA İHTİYAÇLAR ve İHTİYACA GÖRE TEKNOLOJİ SEÇİMİ 8

1.1. Su Geri Kazanımına Duyulan İhtiyaç 10

1.2. Atıksu Geri Kazanımını Etkileyen Faktörler ve Engeller 14

1.3. Ülkemizde Geri Kazanım Uygulamaları İçin Önceliklendirmeye Yönelik Yol Haritası 18

1.4. Ülkemizde Endüstriyel Sektörlerde Su Tüketimleri ve Atıksu Geri Kazanım Önceliklendirilmesi 24

İKİNCİ BÖLÜM

2. ÜLKEMİZDE ATIKSU GERİ KAZANIMININ ÖNÜNDEKİ PROBLEMLER VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ 28

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

3. KONSANTRE AKIMLARIN YÖNETİMİNE İLİŞKİN ULUSLARARASI MEVZUAT 32

3.1. Uluslararası Yasal Mevzuat Özeti 34

3.2. Genel Değerlendirme ve Çözüm Önerileri 35

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

4. ATIKSU GERİ KAZANIM UYGULAMALARINDA MEMBRAN KONSANTRE ARITIMI, HACİM AZALTIMI VE BERTARAF YÖNTEMLERİ 36

4.1. TERS OSMOZ PROSESİNDE ÖN ARITIM ALTERNATİFLERİ 38

4.1.1. Biyotıkanma Kontrolü ve Deklorinasyon 38

4.1.2. Asit Uygulaması 38

4.1.3. Koagülasyon/Flokülasyon 39

4.1.4. Antiskalantlar 39

4.1.5. Filtrasyon 39

4.1.6. Membran Ön Arıtımı 39

4.1.7. Ters Osmoz Membranlarının Yıkanması Sırasında Oluşan Atıksu 39

4.2. TERS OSMOZ KONSANTRE HACMİNİN AZALTILMASI VE SU GERİ KAZANIMI 40
4.2.1. Basınç Tahrikli Membran Tabanlı Teknolojiler 40
4.2.1.1. Yüksek performanslı RO (HERO®) 41
4.2.1.2. İleri konsantre su geri kazanımı (ARROW®) 41
4.2.2. Elektrik Tahrikli Membran Tabanlı Teknolojiler 41
4.2.2.1. Elektrodializ (ED) ve Ters Elektrodializ (EDR) 41
4.2.2.2. Elektrodiyaliz Metatez (EDM) 42
4.2.3. Kimyasal Tabanlı Teknolojiler 42
4.2.3.1. Ara kimyasal yumuşatma 42
4.2.3.2. Pelet reaktörler 43
4.2.3.3. Aşılanmış çöktürme ve geri kazanım 43
4.2.4. Termal Tabanlı Prosesler 44
4.2.4.1. Buharlaştırma havuzları 44
4.2.4.2. Çok kademeli distilasyon (MED) ve mekanik/termal buhar sıkıştırma 44
4.2.4.3. Tuzlu Su konsantratörü ve kristalizatör 45
4.2.4.4. Rüzgar destekli yoğunlaştırılmış evaporasyon 45
4.2.4.5. Püskürtmeli kurutucular 46
4.2.5. Mevcut Diğer Teknolojiler 47
4.2.5.1. Elektrokoagülasyon 47
4.2.5.2. Ara biyolojik indirgeme 47
4.2.5.3. Oksidasyon bazlı teknolojiler 47
4.3. TERS OSMOZ KONSANTRELERİNİN ARITIMINDA YENİ TEKNOLOJİLER 47
4.3.1. Membran Distilasyon (MD) Prosesi 47
4.3.2. İleri Osmoz (FO) Prosesi 48
4.3.3. Termo-İyonik Proses 49
4.3.4. Ötektik Dondurma Kristalleşmesi 49
4.4. SIFIR SIVI ATIK (ZLD) SİSTEMLERİ 49
4.5. ORGANİK KİRLİLİK İÇEREN RO KONSANTRELERİ: ARITMA ALTERNATİFLERİ 51
4.5.1. Ozonlama 51
4.5.2. Fenton prosesi 51
4.5.3. Fotokataliz ve fotooksidasyon 51
4.5.4. Sonoliz 51

İÇİNDEKİLER

4.6. TEKNOLOJİ ÖNCELİKLENDİRMESİ 51
4.6.1. Basınç Tahrikli Membran Tabanlı Teknolojiler 52
4.6.2. Elektrik Tahrikli Membran Tabanlı Teknolojiler 53
4.6.3. Kimyasal Tabanlı Teknolojiler 53
4.6.4. Termal Tabanlı Prosesler 53
4.6.5. Mevcut Diğer Teknolojiler 54
4.6.6. Yenilikçi Teknolojiler 55
4.6.7. Organik Madde İçeriği Yüksek Konsantre Akımların Arıtılması 55
4.6.8. Karar Ağacı 55

BEŞİNCİ BÖLÜM

5. KONSANTRE ARITIMI VE BERTARAF YÖNTEMLERİ AÇISINDAN ULUSLARARASI UYGULAMALAR 58

5.1. GİRİŞ 60
5.2. KONSANTRE ARITIMI ve BERTARAFI UYGULAMA ÖRNEKLERİ 64
5.2.1. Pellet yumuşatma tesisi (Riverside, Kaliforniya) 64
5.2.2. HMEL (HPCL-Mittal Energy Ltd) Rafinerisi, Hindistan 65
5.2.3. Sıfır Sıvı Deşarjı Pilot ve Gerçek Ölçekli Tesisler (ZLD) 65
5.2.3.1. Alüminyum kromat profil prosesi arıtma tesisi, Finlandiya (kapalı su döngüsü konsepti) 65
5.2.3.2. Arvind Santej tekstil boyama tesisi, Hindistan (kapalı su döngüsü konsepti) 66
5.2.4. Western Corridor Su Geri Kazanım Projesi (Avusturalya, Brisbane) 67
5.2.5. Chino II RO Konsantre Arıtım Ve Geri Kazanım Projesi 68
5.2.6. Barselona desalinasyon tesisi (İspanya) 69
5.2.7. Fukuoka desalinasyon tesisi (Japonya) 70
5.2.8. TAMPA Körfezi deniz suyu desalinasyon tesisi 71
5.2.9. Torreele su geri kazanım tesisi 72
5.2.10. Thames Gateway desalinasyon tesisi 73
5.2.11. Perfection plating 75
5.2.12. Gippsland su arıtma tesisi 75
5.2.13. Adelaide desalinasyon tesisi (ADP) 76
5.3. GENEL DEĞERLENDİRME 85

ALTINCI BÖLÜM

6. MEMBRAN KONSANTRE ARITIMI VE BERTARAF YÖNTEMLERİ AÇISINDAN ULUSAL UYGULAMALAR 88

6.1. Organize Sanayi Bölgesi Su üretim Tesisinde Su Geri Kazanımı ve Konsantre Yönetimi 90

6.2. Kağıt Üretim Tesisinde Atıksu Geri Kazanımı ve Konsantre Yönetimi 91

6.3. Tekstil Üretim Tesisinde Atıksu Geri Kazanımı ve Konsantre Yönetimi 92

6.4. Petrol Rafinerisinde Atıksu Geri Kazanımı ve Konsantre Yönetimi 93

YEDİNCİ BÖLÜM

7. MEMBRAN KONSANTRE AKIMLARININ YÖNETİMİ 96

7.1. Konsantre Akımların Yönetim Modeli Ve Yazılım Geliştirilmesi 98

SEKİZİNCİ BÖLÜM

8. DÜZENLEYİCİ ETKİ ANALİZİ 106

KAYNAKLAR 112

BİRİNCİ BÖLÜM

ATIKSU GERİ KAZANIMINDA İHTİYAÇLAR VE İHTİYACA GÖRE TEKNOLOJİ SEÇİMİ



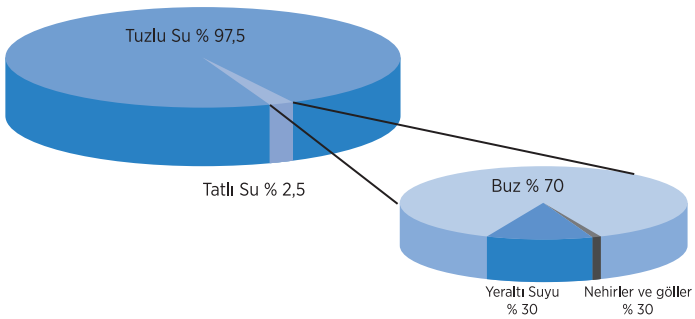


1. ATIKSU GERİ KAZANIMINDA İHTİYAÇLAR ve İHTİYACA GÖRE TEKNOLOJİ SEÇİMİ

1.1. Su Geri Kazanımına Duyulan İhtiyaç

Dünya yüzeyinin ¾'ünün sularla kaplı olmasına rağmen insani kullanıma uygun tatlı su miktarı oldukça sınırlıdır. Dünya'daki tatlı su miktarı yaklaşık 35 milyon km^3'tür (tüm suyun %2,5'i) ve sadece %0,3'ü ekosistem ve insan kullanımına elverişli tatlı su olup, geri kalan su kutuplarda, yüksek dağlardaki buzullarda ve yeraltı suyu rezervlerinde bulunmaktadır (Şekil 1.1) (Mulluk vd., 2013).

Ülkemizde kişi başına düşen yıllık kullanılabilir su miktarı 1586 m^3'tür ve bu miktar su zengini ülkelerdeki kişi başı rezervin yaklaşık beşte birine denk gelmektedir. Dolayısıyla, ülkemiz su azlığı çeken bir konumdadır. 2030 yılı için nüfus artışıyla birlikte mevcut kaynakların tahrip edilmeden aktarılacağı düşünülürse kişi başına düşen kullanılabilir su miktarı 1120 m^3/yıl olacağı tahmin edilmekte bu da, su fakiri bir ülke olacağımızı göstermektedir (EK 6 * Su Alanı Ulusal Ar -Ge ve Yenilik Stratejisi Hazırlanmasına İlişkin Bilgi Notu, 2010). Ülkemizdeki yıllık su tüketimi 2016 yılından 2030 yılına



Şekil 1.1. Dünyadaki su kaynaklarının dağılımı (Mulluk vd., 2013)

Çizelge 1.1. Türkiye'de farklı sektörler tarafından kullanılan su miktarı

Yıl	Toplam Su Tüketimi		Sektörler					
			Sulama		İçme-Kullanma		Sanayi	
	km^3	%	km^3	%	km^3	%	km^3	%
1990	31	28	22	72	5	17	3	11
2004	40	36	30	74	6	15	4	11
2016	60	54	43	71	6	10	11	19
2030	112	100	72	64	18	16	22	20

kadar 2 kat artacağı tahmin edilmektedir. Ülkemizde teknik ve ekonomik olarak kullanılabilir su miktarı 112 km³ olup, bunun 98 km³'ü yer üstü, 14 km³'ü ise yeraltı suyudur. Çizelge 1.1'de görüldüğü gibi tarımsal sulama su tüketiminde en yüksek paya sahiptir.

Ülkemiz su sıkıntısı olan bir ülke sınıfında olup, su yönetimine gereken önemin verilmesi ve atıksuların uygun arıtma proseslerinden geçirilerek yeniden kullanımı gerekmektedir. Ülkemizin su kaynakları potansiyeli ayrıca Şekil 1.2'de sunulmuştur.

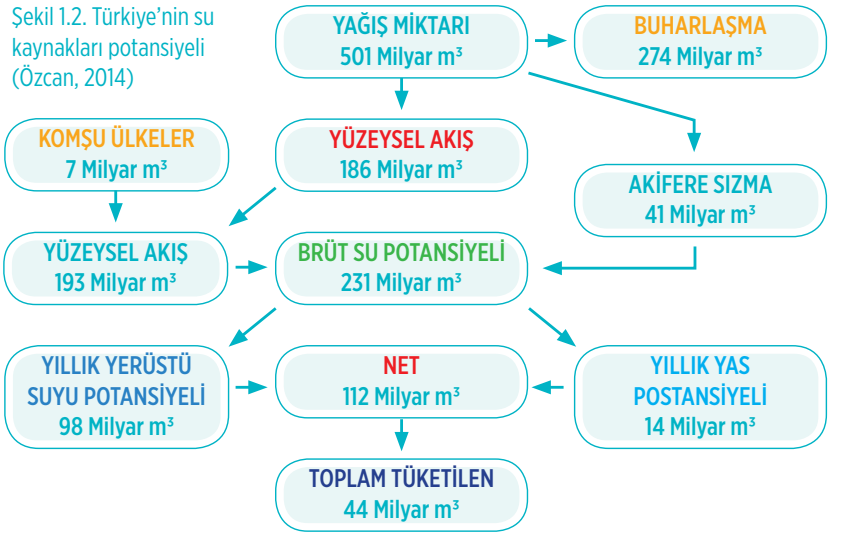
Nüfus artışı, iklim değişikliği, kirlilik ve arazi kullanımındaki değişiklikler su miktarını ve kalitesini etkilediğinden tüm dünyadaki su kaynakları üzerinde artan bir baskı vardır. Mevcut ve öngörülen su sıkıntısını gidermek için, birçok ülke su tasarrufunu arttırmak için çalışmaktadır ve alternatif su kaynakları aramaktadır. İçme, sulama veya endüstriyel kullanımlar gibi yararlı amaçlar için arıtılmış atıksuyun tekrar kullanılması su kaynaklarının korunması için tercih edilen bir seçenektir (National Research Council, 2012).

Amerika Birleşik Devletleri'nde atıksuyun yeniden kullanımı hacimsel olarak en fazla iken, Katar ve İsrail ise kişi başına en yüksek oranda yeniden kullanma miktarına sahiptir (Angelakis ve Gikas, 2014). İsrail arıtılmış atıksuyun %70'ini farklı alanlarda tekrar kullanmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri'nde %7-8, Suudi Arabistan'da %16, Avusturalya'da %8 oranında arıtılmış atıksu yeniden kullanılmaktadır (USEPA, 2012). Geri kazanım sularının tarımsal sulamada kullanılması gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerdeki en yaygın kullanım şeklidir. Fakat geri kazanım her geçen gün kentsel ve endüstriyel uygulamaları da kapsayacak şekilde genişlemektedir.

Çizelge 1.2'de iklim koşulları birbirine yakın olan bazı Akdeniz ülkelerinin su geri kazanım oranları ve geri kazanılan atıksuların kullanım alanları sunulmuştur (Kellis vd., 2013). Çizelge 1.2'den görüldüğü gibi ülkemizde su geri kazanım oranı oldukça düşüktür. Dolayısıyla, su geri kazanımına duyulan ilginin de arttırılması gerekmektedir. Ülkemizde özellikle tatlı su kaynaklarımızın %70'ten fazlasının tarımda kullanıldığı düşünüldüğünde, geri kazanım sularının bu alanda kullanılması su tasarrufu bakımından önem taşımaktadır.

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre 2008 yılında çekilen su miktarı 11,6 milyar m³'dür. 2016 yılında ise toplam 17,3 milyar m³ su doğrudan su kaynaklarından çekilmiştir (TÜİK, 2017). Su kullanımın artması ile birlikte oluşan atıksu miktarı da artmaktadır. Belediyeler, imalat sanayi işyerleri, termik santraller, organize sanayi bölgelerinden ve maden işletmeleri tarafından 2008 yılında doğrudan alıcı ortamlara 8,7 milyar m³ atıksu deşarj edilmiştir. 2016 yılında ise doğrudan alıcı ortamlara 15,3 milyar m³ atıksu deşarj edilmiştir. Alıcı ortamlara deşarj edilen atıksuyun

Şekil 1.2. Türkiye'nin su kaynakları potansiyeli (Özcan, 2014)



Çizelge 1.2. Akdeniz ülkelerinde su geri kazanım verileri

Ülke	Toplam Nüfus (x1000), 2006 verilerine göre	Geri kazanılan atıksu miktarı (m³/gün)	Kişi başına atıksu geri kazanım miktarı (L/(gün.kişi)	Geri kazanılan atıksuların kullanım alanları
İspanya	43.887	1.117.808	25,4	Tarımsal sulama, yeraltı suyu besleme, çevresel iyileştirme
İtalya	28.779	123.288	2,1	Tarımsal sulama, yeraltı suyu besleme, endüstriyel kullanım
Yunanistan	11.123	28.000	2,5	Tarımsal sulama, endüstriyel kullanım
Kıbrıs	846	68.493	80,96	Tarımsal, belediyelerde, çevresel iyileştirme
İsrail	6.810	1.014.000	149	Tarımsal sulama, yeraltı suyu besleme,
Türkiye	73.922	136.986	1,9	Tarımsal, belediyelerde, çevresel iyileştirme

%77,7'si denize, %18,4'ü akarsuya, %3,9'u diğer alıcı ortamlara deşarj edilmiştir. TÜİK verilerine göre yıllık yaklaşık 2 milyar m³ arıtılmış su denizlere deşarj edilmektedir. Uygun ters osmoz prosesleriyle tuzluluk seviyesi ve kirlilik seviyesi kolaylıkla azaltılarak geri kazanılabilecek iken, denizlere deşarjı ülkemiz gibi su stresi yaşayan bir ülke için iyi bir uygulama değildir. Hâlbuki bu kadar yüksek hacimde arıtılmış su tarımsal sulamada rahatlıkla kullanılabilir. Ülkemizde atıksuların uygun arıtmalarla yeniden kullanımının yetersiz olduğu rahatlıkla söylenebilir. Her ne kadar su kullanımını azaltıcı tedbirler alsak da sürdürülebilir su yönetimi için suyun bir defadan daha fazla kullanımının gerektiği açıktır. Singapur, İsrail ve Kaliforniya'daki büyük atıksu geri kazanım projeleri birer yol gösterici olabilir.

Geri kazanılan suyun evsel ve endüstriyel uygulamalar için uygulanabilirliği atıksu arıtım derecesine bağlıdır. Türkiye'de yerleşim yerlerine hizmet veren evsel-kentsel atıksu arıtma tesislerinde en yaygın atıksu arıtma yöntemi ikincil arıtmadır. Ancak insan temasını içeren çoğu atıksu tekrar kullanım uygulamaları için üçüncül arıtma gereklidir. Arıtma tesislerinde su geri kazanım uygulamaları planlanmış ise geri kazanımında istenen su kalitesinin sağlanması amacıyla membran teknolojilerinin kullanımı kaçınılmazdır. Membran prosesi sadece su geri kazanımı için değil, aynı zamanda kimyasal geri kazanımı için de kullanılmaktadır. Tam ölçek membran tesisleri ile evsel ve endüstriyel atıksu geri kazanım uygulama örnekleri mevcuttur ve bu tesisler başarılı bir şekilde işletilmektedir.

Atıksuların geri kullanımını teşvik eden faktörler şehirleşme, nüfus artışı ve kuraklıktır. Geri kazanım teknolojilerindeki gelişmeler ile atıksuların tekrar kullanılması hem çevresel ve hem de kaynakların ekonomik kullanımını cazip hale getirmektedir. Gerek dünyada gerek ülkemizde atıksuların arıtıldıktan sonra güvenilir bir şekilde geri kazanılması ve yeniden kullanılması su kaynaklarının sürdürülebilir tüketimi açısından büyük önem taşımaktadır. Ayrıca, atıksudan enerji, besin maddeleri ve diğer değerli materyallerin geri kazanım potansiyeli de mevcuttur. Atıksuların geri kazanılmasının birçok faydası bulunmaktadır. Aşağıda bu faydalardan önemli olanlar sunulmuştur.

- Ham su kaynaklarının (tatlı ve tuzlu sular) nitelik ve nicelik olarak korunması ve sürdürülebilirliğinin sağlanması.

- Arıtılmış atıksu deşarjlarının azaltılmasıyla çevresel ortamlarda etkin nütriyent yönetimi sağlanması.

- Arıtılmış atıksu deşarjlarının azaltılmasıyla hassas sucul ortamlara ve organizmalara olan olası etkilerin azaltılması.

- İçme ve kullanma suları için kaynaktan ham su temini, iletimi, arıtımı ve dağıtımının ön yatırım ve işletme maliyetleri bulunmaktadır. Arıtılmış atıksuların geri kullanımıyla bu maliyetler azaltılmaktadır.

- Global olarak ham su kaynaklarındaki nitelik ve nicelik daralmaları neticesinde içme ve kullanma suları için alternatif su kaynakları bulunması zorunluluğu hasıl olmaktadır. Atıksuların geri kullanılmasıyla alternatif su kaynakları ve arıtımı için ek ön yatırım ve işletme maliyetleri de ortadan kalkmış olmaktadır.

- Su ihtiyacının, kesintisiz su talebinin ve su fiyatının en yüksek olduğu yerler genellikle büyük yerleşim birimleri ve büyük şehirlerdir. Arıtılmış atıksular da genellikle yüksek debilerde büyük şehirlerde bulunmaktadır (atıksu arıtma tesisinde). Dolayısıyla, bu iki husus birbirini tamamlamaktadır.

- Zirai sulamada kullanılabile-

cek arıtılmış atıksulardaki kalıntı nütriyentler bir avantaj olup, zirai faaliyetlerdeki sentetik gübre kullanımını azaltmaktadır. Sentetik gübre üretiminde; gübre hammaddelerinin madencilik ile doğadan temininin, zenginleştirilmesinin, gübre üretimi sırasında endüstriyel faaliyetlerin olumsuz çevresel etkileri olabilmektedir. Atıksulardaki nütriyentler hem sentetik gübre üretimini hem de tüketimini azaltabilir. Böylece, azot ve fosfor içerikli doğal cevherler korunmuş olur.

- Atıksuların geri kullanımı ile alıcı ortama deşarjlar ve dolayısıyla kirlilik yükleri azaltılmaktadır. Alıcı ortamların su kalitesinin korunmasıyla turizm, balıkçılık, tarım, kentsel yerleşim, sanayi vb. faaliyetler de olumsuz etkilenmemektedir.

Doğal su kaynaklarına güvenilir bir alternatif olarak atıksuyun yeniden kullanımı ve atıksu yönetiminin 'bertaraf etme/deşarj' yerine 'geri kazanım ve yeniden kullanım' odaklı olması günümüzde kabul gören bir yaklaşımdır (WWAP, 2017). Arıtılmış atıksuların geri kullanım alanları ana hatlarıyla aşağıdaki gibi sıralanabilir:

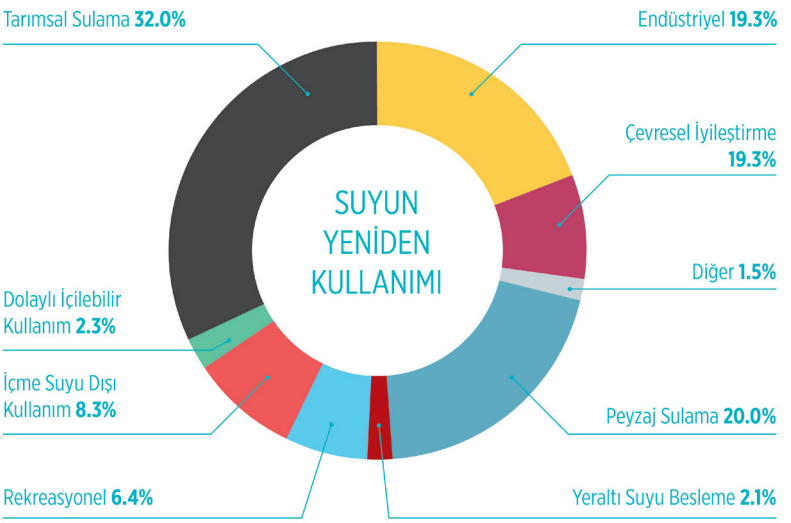
i) Kentsel kullanım (Parklar, rekreasyon alanları, spor tesisleri, otoyol kenarları, Uydu kentlerde yeşil sahalar, Ticari ve endüstriyel gelişme alanları, Golf merkezleri, Yangın söndürme, İnşaat projelerinde toz kontrol ve beton üretimi)

ii) Endüstriyel kullanım (Soğutma suyu, Proses suları, Kazan besleme, Tesis yeşil alan sulaması, Yangın söndürme)

iii) Zirai sulama

iv) Habitat, yüzeysel suların, rekreasyon alanların beslenmesi

v) Yeraltı suyu beslenmesi/enjeksiyonu (Sahil bölgelerinde tuzlu suyun yeraltı tatlı su kaynaklarına girişiminin engellenmesi; Toprak-yeraltı suyu

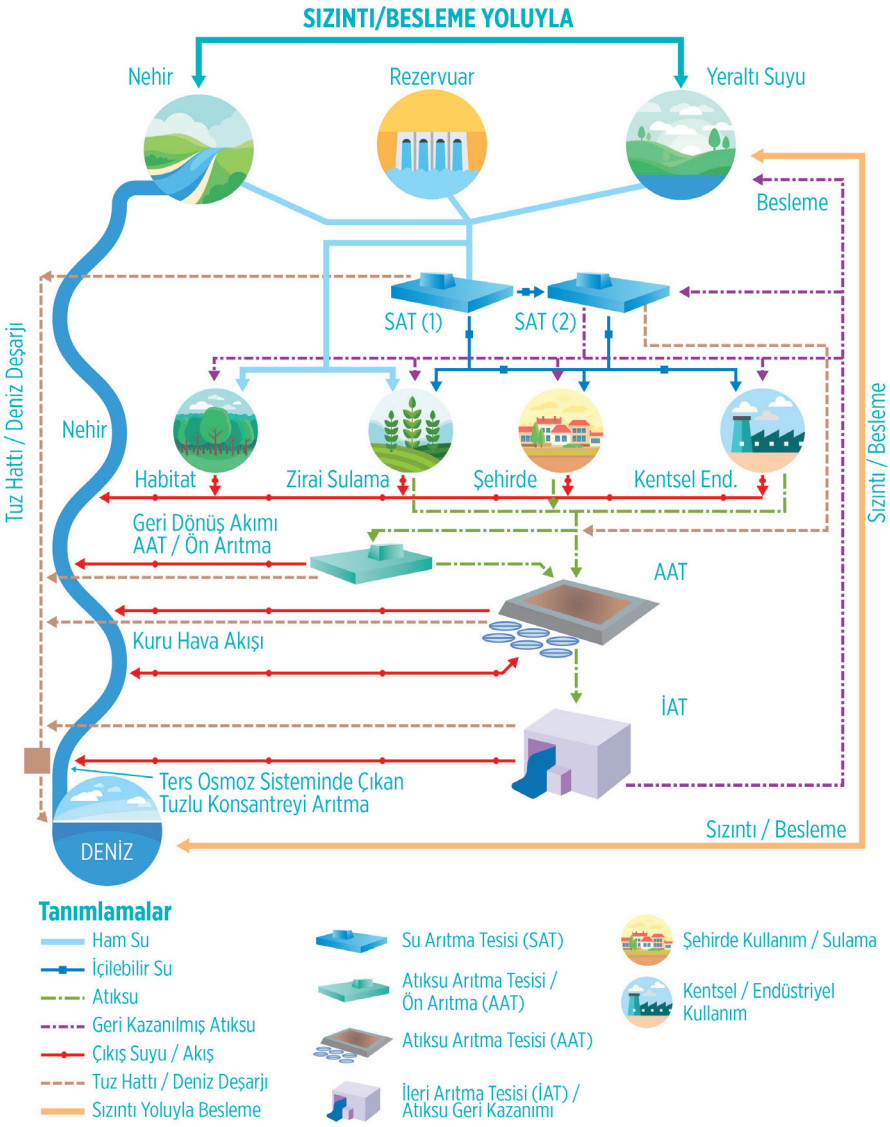


Şekil 1.3. İleri arıtma sonrası atıksuların yeniden kullanım alanları (WWAP, 2017)

sisteminde daha ileri arıtım, İçme suyu veya kullanma suyu kalitesindeki akiferlerin beslenmesi, Geri kazanılmış atıksuyun depolanması, Aşırı yeraltı suyu pompalanması sonucu oluşabilecek göçüklerin engellenmesi)

Şekil 1.3. dünya çapında ileri arıtma sonrası atıksuların yeniden kullanım alanlarını göstermektedir (WWAP, 2017).

Değişik geri kullanım alanları ve akış diyagramları Şekil 1.4'de şematik olarak gösterilmiştir. Son yıllarda atıksuların geri kullanımı artık küçük ölçekli projelerden, çok kullanıcılı büyük ölçekli projelere dönüşmektedir. İçme suyunun ve geri kazanılmış arıtılmış atıksuyun kentlere ayrık şebekelerle dağıtım projelerinin global olarak artmasıyla da tatlı su kaynakları daha da korunur hale gelmektedir. Ciddi ihtiyaca rağmen ülkemizde atıksuların geri kullanımı konusunda uygulamalar sınırlıdır. Artan su talebi, yükselen alternatif su kaynakları fiyatları ve gelişen geri kazanım teknolojileri atıksuların tekrar kullanımını hem çevresel hem de kaynakların ekonomik kullanımı bakımından zorunlu hale getirmektedir. Ülkemizde evsel ve endüstriyel atıksuların yeniden kullanımının arttırılması, su kaynaklarının korunması ve sürdürülebilir su temini için uygun teknolojilerin geliştirilmesi gereklidir. Geri kazanılan suların kullanım potansiyellerinin araştırılması, atıksuların yeniden kullanımı için mevcut atıksu arıtma tesislerinin modifiye edilmesi, gri su toplanmasına izin veren yapısal dönüşümlerin sağlanması ve farklı endüstriler için farklı su geri kazanım hibrit teknolojilerinin geliştirilmesi gerekmektedir.

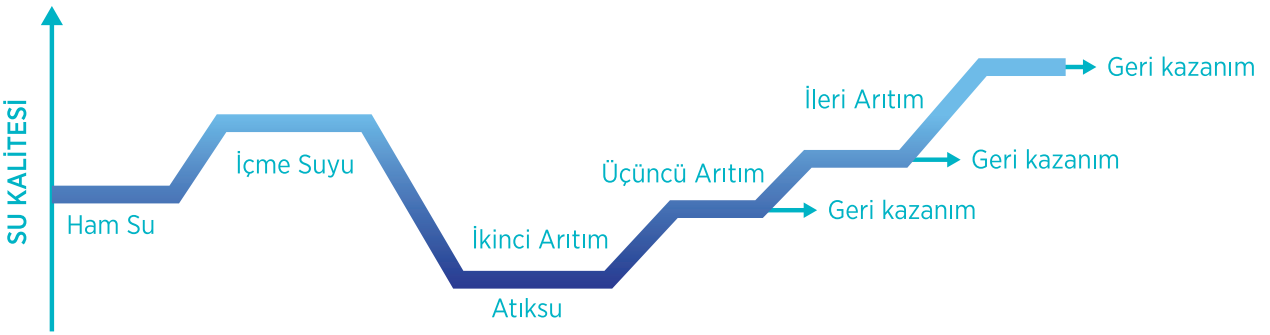


Şekil 1.4. Atıksu geri kullanım alanları ve akış diyagramları (USBR, 2003)

1.2. Atıksu Geri Kazanımını Etkileyen Faktörler ve Engeller

Genel olarak, su geri kazanımı kültür, algı, din, mevcut teknoloji ve politikalara bağlı bir olgudur. Günümüzde atıksuların geri kazanımı ve kullanımı projelerinin karşılaştığı en önemli problemler estetik, insan sağlığı ve güvenliği açılarından toplumun tedirginliği, su kalitesi ve arıtma maliyetleri olarak gösterilebilir. Su geri kazanımına yönelik talepleri arttırmak için politikalar, tecrübeler, teknolojiler ve riskler hep beraber değerlendirilmelidir. Su geri kazanımı önündeki bariyerler dört kategori altında değerlendirilebilir. Bunlar; teknik, finansal, politik ve sosyal bariyerlerdir.

Teknik Engeller: Şekil 1.5'de farklı atıksu kaynakları ile farklı arıtım seviyelerindeki su kaliteleri kıyaslanmıştır. Ayrıca, hangi noktalarda su geri kazanımının yapılabileceği de belirtilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi su geri kazanımı, suyun kullanım yerine bağlı olarak içme suyu kalite-



Şekil 1.5. Geri kazanım ihtiyaçlarına göre atıksu arıtım seviyeleri

sinin dahi üzerinde su kalitesi gerektirebilirken, bazı durumlarda sadece ikincil arıtmadan geçmiş suların dahi geri kazanımı mümkün olmaktadır. Şartlara bağlı olarak bazen üçüncül arıtım sonrası suların geri kazanımı mümkün olmaktadır. Gerek, tarımsal sulama ve gerekse endüstriyel proseslerde yeniden kullanım için şartlara göre farklı kalitede sular gerekebilir. Su geri kazanımı uygun proseslerin seçilerek kurulumunu sağlayacak teknik bilgi ve alt yapı gerektirmektedir. Dolayısıyla, geri kazanımın yapılacağı ülke koşulları, istenen su kalitesi, coğrafi durum, mevcut su alternatiflerinin maliyeti su geri kazanımını etkileyen/sınırlandıran unsurlardır.

Çizelge 1.3'de her bir geri kazanım alternatifi için potansiyel global sorunlar ve çözüm önerileri genel olarak sunulmuştur.

Çizelge 1.3. Atıksuların çeşitli kullanım alanlarında karşılaşılan problemler ve çözüm önerileri (USBR), 2003)

Kullanım Alanı	Spesifik Kullanım	Potansiyel Problemler	Çözümler/Arıtma Opsiyonları
Zirai Sulama	Ekin/çeşitli ürünlerin sulanması	Karbonat ve bikarbonat miktarına göre toprak geçirimliliğinin azalması	İleri arıtma yöntemleriyle karbonat ve bikarbonat giderimi
		Suda bulunan bileşiklerin ürün işlenmesini etkilemesi	Spesifik olarak giderimi istenen bileşiğe göre optimize edilmiş ileri arıtma
		Klorür, boron, sodyum gibi iyonların toprakta birikmesi nedeniyle mahsul azalması	İleri arıtma ile yumuşatma (membran prosesleri); toprağa şartlandırıcılar eklemek ve periyodik olarak aşırı mineralleri topraktan sızdırmak; arıtma öncesi tuzluluk kontrolü
		Çiçek türü bazı ürünlerin nütriyentlere karşı hassasiyet göstermesi	Biyolojik nütriyent giderim prosesleri (nitrifikasyon/ denitrifikasyon ve fosfor giderimi)
		Kadmiyum, kurşun ve civa gibi ağır metallerin ürünlere zarar vermesi	İleri arıtma sistemleri (membran, adsorpsiyon prosesleri)
		Sulama sistemleri ve püskürtücülerin tıkanması	Kullanım sahasında ön-filtrelerin kurulması
		Yüksek azot veya nitrat muhtevasından dolayı yeraltı sularının kirlenmesi, istenmeyen vejetasyonun oluşup ürün kalitesini bozması	Biyolojik nütriyent giderim prosesleri (nitrifikasyon/ denitrifikasyon)
Yeraltı Suyu	Besleme/ İnfiltrasyon	Toplumun geri kazanılmış atıksuyun yeraltı suyu kalitesini değiştireceği kaygısı	Toplumu bilgilendirme programlarının hazırlanması
Kentsel Sulama	Bahçe/ Golf Sahası vb. Sulaması	Düşük demir içeriği nedeniyle ferrik klorisis oluşumu	Demir sülfat ya da demir şelatlarla uygulamalar
		Tuzluluğa bağlı olarak toprak geçirimliliğinin azalması	İleri arıtma ile yumuşatma (membran prosesleri); toprağa şartlandırıcılar eklemek ve periyodik olarak aşırı mineralleri topraktan sızdırmak.
		Sulama sırasında istenmeyen koku oluşumu	Hidrojen sülfür oluşum potansiyelinin azaltılması; klor dozlamalarının optimizasyonu, arıtma öncesi tuzluluk kontrolü
		Yazın yapılan sulamalarda biriken fazla azot nedeniyle sonbaharda mantar enfeksiyonlarının oluşabilmesi	Fungusitlerin uygulanması
	Su Tesisatı ve Çeşmeler	Su içeriğinden dolayı koku ve diğer istenmeyen parametrelerin oluşumu. Fazla nütriyentden dolayı alg patlamaları.	Yeterli sistem dizaynı ve işletimi
	Yüzeysel Su Beslenmesi	Toplumun eksik bilgilendirilmesinden dolayı turizme ve emlak değerlerine negatif etki	Toplumu bilgilendirme programları
		Fazla nütriyentden dolayı alg patlamaları ve ötrofikasyon	Biyolojik nütriyent giderim prosesleri (nitrifikasyon/ denitrifikasyon ve fosfor giderimi)
Tuvalet Pisuarları	Tuvalet Pisuarları	Yetersiz depolamadan dolayı mevsimsel veya günlük kesintiler	Yeterli dengeleme hazneleri
	Şebeke temizliği	İşçilerin sağlığına potansiyel riskler	Sağlık ve güvenlik için gerekli donanım. Üçüncül arıtma gerekebilir.

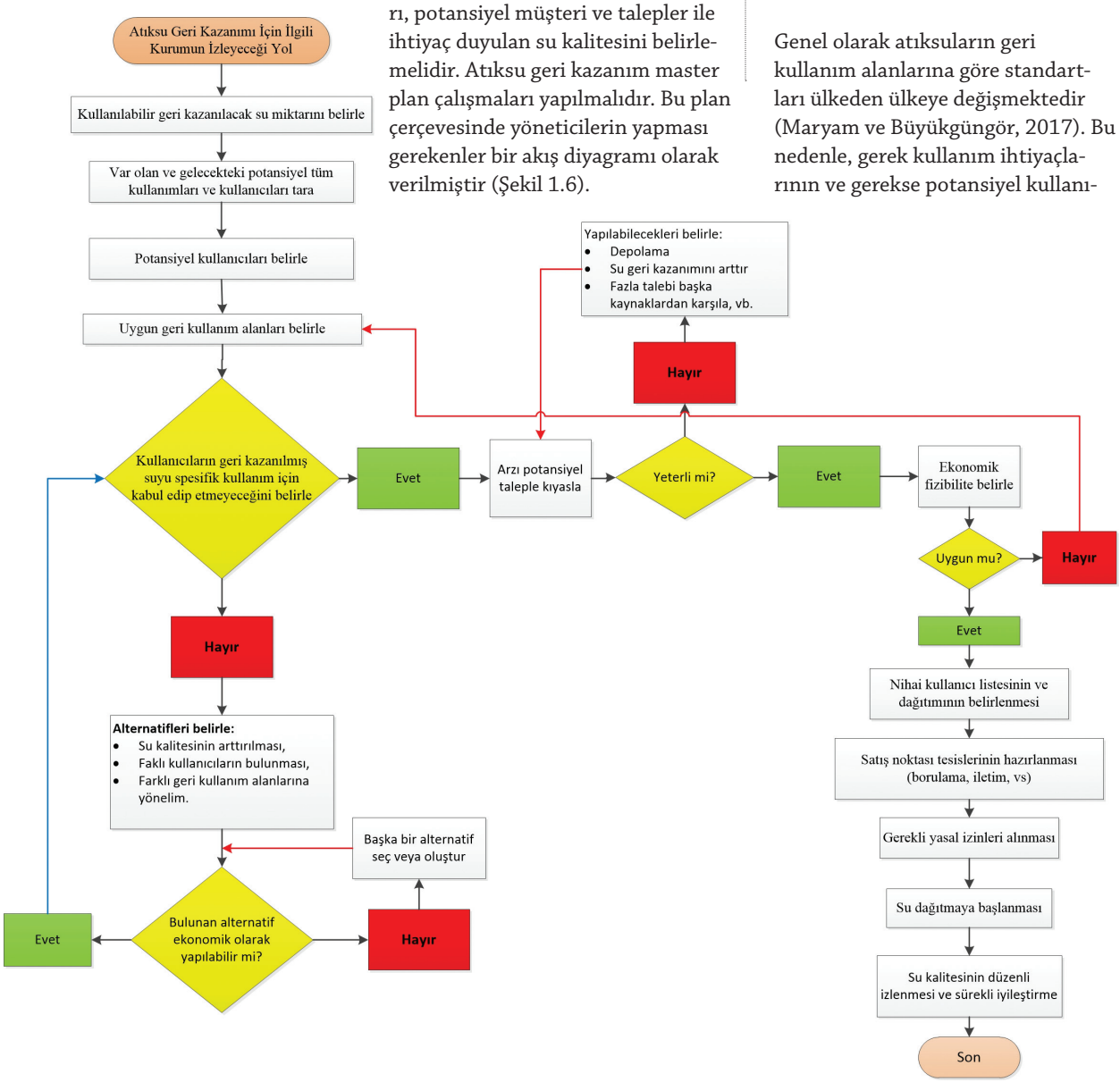
Kullanım Alanı	Spesifik Kullanım	Potansiyel Problemler	Çözümler/Arıtma Opsiyonları
Habitat	Sulak Alanlar	Toplumun doğal sulak alanların su kalitesinin değişeceği kaygısı	Toplumu bilgilendirme programları
		Koku oluşumu	Yeterli sistem dizaynı ve işletimi
		Alg patlamaları/ötrofikasyon oluşumu	Yeterli sistem dizaynı ve işletimi
		Sentetik organiklerin ve ağır metallerin yüksek konsantrasyonda olabilmesinden dolayı habitatın olumsuz etkilenmesi	İleri arıtma sistemleri (membran, adsorpsiyon prosesleri). Kanalizasyona endüstriyel atıksu deşarjları için daha fazla ön arıtma ve kontrol.
Endüstriyel/ Ticari	Tekstil, Halı vb. Boyama	Boyama prosesinin etkilenebilme ihtimali ve koku oluşumu	Su kalitesi gereksiniminin değerlendirilmesi, pilot testler yapılması
	Kazan Besleme Suyu	Fazla tortu ve korozyon oluşumu	Demineralizasyon
	Ticari Araç Yıkama	Araç üzerinde fazla miktarda lekelerin oluşması	Yıkama suyunu yumuşatmak ve nihai durulama suyunu demineralize etmek
	Toz Kontrolü	Tanker taşıyıcılarının kirlenmesi	İçme suyu ile geri kazanılmış atıksu taşıyan tankerlerin ayrılması veya taşınımlar arası uygun dezenfeksiyon
	Enerji Santralleri Soğutma Suyu	Yüksek karbonat içeriği nedeniyle minerallerin soğutma kulelerinde birikmesi	Karbonatı uzaklaştırmak için yeterli filtrasyonun yapılması
		Amonyak ve azot miktarının soğutma prosesini etkilemesi	Nitrifikasyon/Denitrifikasyon
		Amonyağa bağlı olarak metallerin korozyona uğraması	Amonyak giderimi
		Aşırı tortu oluşması	Döngülerin azaltılması veya demineralizasyon
	Kimya Endüstrisi	Kimyasal proseslerde sudaki bileşiklerin istenmeyen etkileri	Membran filtrasyonu
		Yüksek miktarda demir ve çinko olabilmesi nedeniyle boyamada problem	Demir ve çinko giderimi
	Tekstil Endüstrisi	Yüksek metal konsantrasyonu olabilmesi nedeniyle boyama prosesinin etkilenmesi	İleri arıtma sistemleri (membran, adsorpsiyon prosesleri)
		Yüksek demir ve mangan konsantrasyonunun suya renk verip boyama prosesini etkilemesi	Demir ve mangan giderimi
	Petrol ve Kömür Ürünleri	Kimyasal proseslerde sudaki istenmeyen bileşikler	Membran filtrasyonu
Çeşitli İşlemler	Yangın Önleme	Yetersiz depolamadan dolayı mevsimsel veya günlük kesintiler	Yeterli dengeleme haznelerinin inşaası
		İtfaiye araçlarına geri kazanılmış atıksu kabul edilmeyebilir	Ayrı bir dahili su pompalama sistemini itfaiyeye temin etmek

1.3. Ülkemizde Geri Kazanım Uygulamaları İçin Önceliklendirmeye Yönelik Yol Haritası

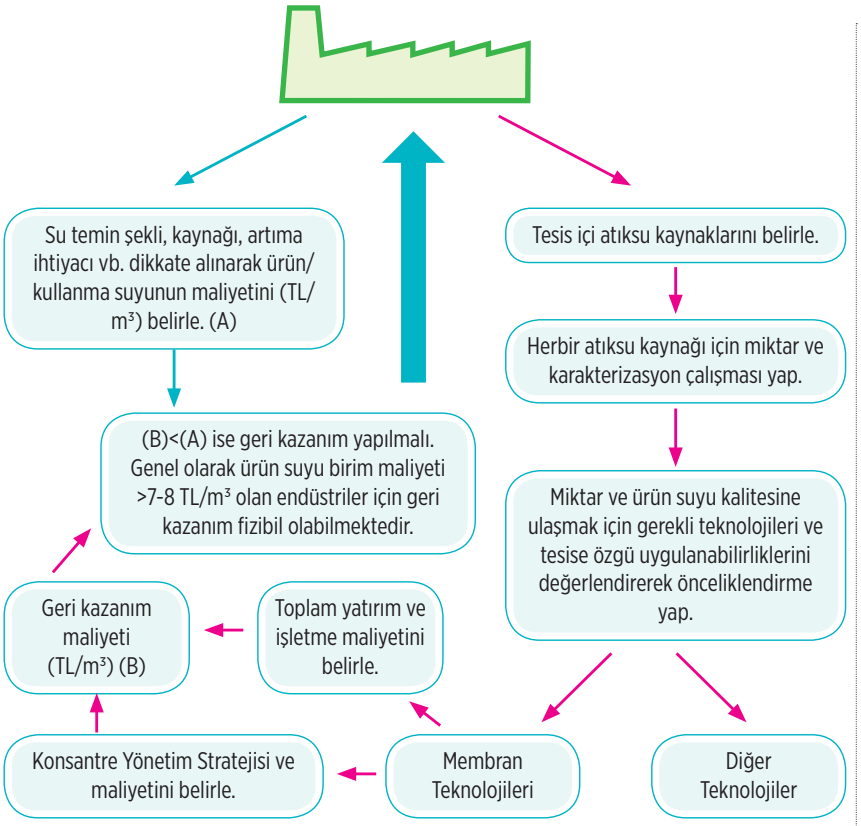
Atıksu geri kazanımının planlanmasını yaparken en önemli kriterlerden biri hangi kalitede geri kazanılmış su üretileceği ve üretilen bu suyun hangi amaçla kullanılacağına karar verilmesidir. Planlama; entegre planlama prosesinde belirtilen genel su kaynakları yönetimi amaçlarıyla uyumlu olmalıdır. Entegre su kaynakları planının bir parçası olarak, su geri kazanım master planı; geri kazanılan suyun kullanılacağı alanları, potansiyel müşteri ve talepler ile ihtiyaç duyulan su kalitesini belirlemelidir. Atıksu geri kazanım master plan çalışmaları yapılmalıdır. Bu plan çerçevesinde yöneticilerin yapması gerekenler bir akış diyagramı olarak verilmiştir (Şekil 1.6).

Şekil 1.7'de ise endüstriyel sektörlerde atıksu geri kazanımı için izlenebilecek yol haritası verilmiştir. Endüstrilerde atıksu geri kazanımına karar verilmesinde maliyet önemli bir faktördür. Ürün/kullanma suyunun ve geri kazanım maliyetlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Endüstriyel sektörler için maliyet açısından değerlendirmenin yapıldığı atıksu geri kazanım karar algoritmasında Şekil 1.7'de verilmiştir.

Genel olarak atıksuların geri kullanım alanlarına göre standartları ülkeden ülkeye değişmektedir (Maryam ve Büyükgüngör, 2017). Bu nedenle, gerek kullanım ihtiyaçlarının ve gerekse potansiyel kullanı-



Şekil 1.6. Atıksu geri kazanımında Belediyeler ve Organize Sanayi Bölgeleri tarafından izlenebilecek genel yol haritası



Şekil 1.7. Endüstriyel sektörlerde atıksu geri kazanımı için izlenebilecek yol haritası

cıların tam olarak belirlenmesi için arıtılmış atıksuların kullanımına dair yasal düzenlemelerin tam olarak bilinmesi ve hangi kullanımlara izin verileceğinin belirlenmesi gerekmektedir. AB normlarına uyum süreçlerinin de bir sonucu olarak ülkemizde havza bazlı çalışmalar başlamış olup, havzadaki su potansiyeli ve havza esaslı sektörel su tahsislerine yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Sektörel Su Tahsis Planları'nın asıl amacı ise; su kaynaklarının havza ve sektörel alt havza ölçeğinde paylaşımının sağlanması, geleceğe yönelik planlanması ve her sektörün ihtiyacı olan suyun adil bir şekilde karşılanmasının planlanmasıdır. Atıksuyun geri kullanım alternatiflerini belirlenmesinde Sektörel Su Tahsis Planları'da dikkate alınmalıdır.

Atıksuyun geri kullanım alternatiflerini belirlemede dikkate alınması gereken en önemli kriterler:

- Atıksuların geri kazanılacağı bölgede su ihtiyacı: Çoğu zaman ülkenin genel olarak su ihtiyacı değerlendirilmekle birlikte, herhangi bir atıksu kaynağından suyun geri kazanımında lokal durum daha önemlidir. Dolayısıyla, atıksu kaynağının bulunduğu bölgenin su ihtiyacının net olarak tespit edilmesi çok daha önemlidir.

- Yasaların izin verdiği atıksu geri kazanım alternatifleri ve istenen su kalitesi: Bu en önemli kriterdir. Yasaların izin vermediği bir geri kazanım alternatifi üzerinde çalışmak veya yatırım yapmak tabiiki olanaksızdır. Bununla birlikte izin verilen su geri kazanım alternatifleri için gerekli su kalitesi de oldukça önemlidir. Basit arıtım gerektiren uygulamalar mali bakımdan uygulanabilir olacağından yatırımın yapılması daha kolay olacaktır.

- İlgili bölgede su kullanımlarının değerlendirilmesi ve alternatif geri kazanım uygulamalarına karar verilmesi: Arıtılmış atıksuların geri kazandırılmasında önceliklendirme yapılırken, doğal olarak en az arıtım gerektiren ve insan sağlığına en az zarar veren uygulamadan başlanması gerekmektedir. Bununla birlikte en çok su kullanılan alana yönelmek de oldukça makuldür. En çok su kullanılan alanlarda suyun geri kazanılmasıyla birlikte içme suyu üzerindeki baskılar azalacak, yapılan yatırımlar daha hızlı geri dönecek ve kullanılan su için kullanıcı aranması sorunu kalmayacaktır.

- Mevcut su kaynaklarına artan ve rekabetçi talepler: Nüfus artışı, sanayileşme ve artan zirai sulama suyu talepleriyle birlikte mevcut su kaynaklarına olan baskı ve talepler artmaktadır. Bu kapsamda bir önceliklendirme yapılırken baskı altında olan su kaynakları belirlenmeli ve bu baskıları kaldıracak atıksu geri kazanım yöntemleri önceliklendirilmelidir.

- Halkın ilgisi ve kabullenmesi: Tatlı su kaynaklarının aşırı kullanımı ve tükenmesi hususlarında artık toplumlar bilinçlenmeye başlamıştır. Bununla birlikte su ihtiyaçları ve geri kazanım alternatifleri değerlendirilirken halkın kabul edebileceği kullanımlara öncelik verilmesi önemlidir. Örnek olarak, atıksuların direk veya dolaylı olarak içme suyu amacıyla kullanımına halk büyük oranda karşı çıkacakken, yenilmeyen bitki ve ağaçların sulanması amacıyla atıksuların geri kazanımına halk çoğunlukla destek verecektir.

- Kullanım noktasına yakınlık: Arıtılmış atıksular genellikle yüksek debilerde büyük şehirlerin atıksu arıtma tesislerinde bulunmaktadır. Kentsel geri kullanımda iletim açısından bu durum avantajdır. Fakat atıksuların geri kazanılmasında bilinen ve uygulanan en eski yöntem ise sulama amaçlı kullanımdır. Bunun en önemli nedenleri ise; su talebinin fazla olması, sulanacak bitkiye bağlı olarak insanların daha az temas ettiği bir geri kullanım olması, insan sağlığını olumsuz etkileme olasılığının sulama çeşidi ve sulanacak bitkiye bağlı ola-

rak en düşük seviyelere çekilebilmesi ve insanların birincil ihtiyacını karşılamaya olan katkısıdır. Fakat bazı durumlarda atıksuyun oluştuğu nokta ile sulanacak alan arasındaki mesafe bu kullanımı olumsuz etkileyebilmektedir. Bu nedenle sulama amaçlı kullanım akla gelen ilk alternatif olsa da, lokal olarak suya duyulan ihtiyaçlara göre diğer geri kullanım alanları da ön plana çıkabilmektedir.

- Mali ve bürokratik sorumluluklar: Su kaynaklarının korunması gerekliliğine, sürdürülebilir su yönetimine ve suyun tükenebilir bir kaynak olduğuna dair bilinç düzeyi her geçen gün artmaktadır. Artık kişiler dahi kendilerini bu konuda sorumlu hissetmekte olup, birçok medya aracılığıyla da bu bilinç düzeyinin arttırılmasına çalışılmaktadır. Hal böyle olunca, su kaynaklarının yönetiminden sorumlu idarelere de oldukça fazla iş düşmekte ve sorumlulukları da artmaktadır. Atıksuların geri kullanımı konusunda su ve atıksu idareleri artık tekno-ekonomik ve çevresel faydaları da fark etmiş durumdadır. Geçmiş yıllarda gözlenen geri kullanıma karşı dirençler hafiflemeye başlamıştır. Dolayısıyla, mevcut idarecilerin ve yöneticilerin bakış açıları da su geri kazanım önceliklendirilmesini etkileyebilecek bir husustur. Bununla birlikte, su geri kazanımına yapılacak yatırımlar için yeterli mali kaynağın olup olmaması da oldukça önemlidir. Mali kaynağın yeterli olmaması durumunda en az arıtım gerektiren alternatif önceliklendirmede ön plana çıkabilmektedir.

- Başarılı ve ispatlanmış geri kullanım referans uygulamaları: Birçok farklı ülkede farklı ve başarılı geri kullanım uygulamaları hızlı bir şekilde artmaktadır. Referans projelerin artması potansiyel projelerin uygulamaya geçmesini tetiklemektedir. Özellikle belirli spesifik alanlarda uygulanmış özel geri kazanım uygulamaları ve/veya özel arıtma yöntemleri/prosesleri test edilip başarıları kanıtlanmış ise, bu tür uygulamalara öncelik verilmesi uygun olabilir.

- Su maliyetlerinin etkisi: Bazı bölgelerde özellikle sanayi için su maliyeti yüksek olabilmektedir. Yerel yönetimler sulama suyu, kentsel kullanım ve sanayi için ayrı su tarifesi belirleyebilir. Bu durumda da özellikle su fiyatının yüksek olduğu alanlarda su geri kazanımının yapılması veya planlanması yapılan yatırımların hızlı bir şekilde geri dönüşüne neden olabilir. Haliyle geri kazanım alanlarının önceliklendirilmesini de etkileyebilir.

- Bazı özel su kaynaklarının korunması: Bazı su kaynakları sanayi, sulama ve içme suyu amacıyla kullanılabilir ve çok yoğun bir su baskısı altında kalabilir. Ayrıca medya, halkın baskısı neticesinde de yerel yönetimler bu su kaynağına baskıyı ve su çekimini azaltmak için özel geri kazanım alternatifleri belirleyerek önceliklendirme yapabilir.

- Sıkılaşan su kalite standartları: Atıksu arıtma tesislerinin alıcı ortamlara deşarjında su kalite standartları ve ilgili parametreler daha da çeşitlenmekte ve sıkılaşmaktadır. Arıtma tesisleri standartları sağlayabilmek için revize edilmekte ve ilave yatırımlar yapılmaktadır. Kısaca, alıcı ortama deşarjların mali yükü geri kullanımın mali yükü ile örtüşmeye başlamaktadır. Ayrıca, hassas bölgelere veya bazı özel alanlara deşarjların sınırlandırılması durumunda da su geri kazanımı bir zorunluluk halini alabilir. Bu durumda da en uygun su geri kazanım uygulaması belirlenerek önceliklendirme yapılabilir.

- Fırsatlar ve gereklilikler: Kuraklık, su kesintileri, suyun yeterli olmamasından dolayı endüstrilerin sekteye uğrayabilmesi, deniz suyu girişimleri, deşarj standartlarının sıkılaşması gibi hususlar geri kullanımı motive etmektedir. Ayrıca, ekonomik, politik ve teknik şartlar da geri kullanım uygulamalarını destekleyebilmektedir. Bu hususlar proje bazlı olarak de-

gişebilmektedir. Haliyle hangi etki/husus ilgili lokal bölge için önemliyse, o bölgeye özel su geri kazanım önceliklendirilmesi yapılabilir.

Sayılan bu faktörlere ilave olarak, ilgili alanın iklimi, su kullanımına yönelik yasal düzenlemelerin ve en yaygın endüstriler gibi değişkenler potansiyel en iyi su kullanıcıları belirlemede kullanılacak veriler olup, geri kazanım önceliklendirilmesinde verilecek kararı etkileyebilmektedir. Su geri kazanımında önceliklendirme yapılırken güvenilir kullanıcıların, suya gerçekten ve her zaman ihtiyacı olan kullanıcıların belirlenmesi önemlidir. Bu kapsamda en güvenilir kullanıcılar; suyu her gün ve mevsimden bağımsız olarak sürekli kullanacaklardır, örnek olarak kazan ve soğutma suyuna ihtiyaç duyan kullanıcılar ile geri kazanılmış suyu üretimde kullanacaklar verilebilir.

Su geri kazanımında önceliklendirmede yukarıdaki parametreler önemli olmakla birlikte, ülkemiz için genel bir değerlendirme yapıldığında, ilk etapta dikkate alınması gerekli parametreler ve bu parametreler için önceliklendirmede kullanılacak ölçekler aşağıda verilmiştir. Doğal olarak bu kriterlerin sayısı arttırılabileceği gibi, lokal geri kazanım uygulamalarında özel kriterler de belirlenebilir. Bununla birlikte her bir kriterin etkisi ve önemi de farklıdır. Örnek olarak halk sağlığı ödün verilemeyecek ve mali kaygılardan daha önemli bir kriterdir. Bu kapsamda Çizelge 1.4'te belirtilen kriterler için ağırlık faktörleri aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

- İlgili kullanım için gerekli su talebi: Ağırlık faktörü 5
- İlgili kullanım için gerekli arıtım düzeyi ve arıtma maliyeti: Ağırlık faktörü 3
- Halk sağlığına potansiyel etkisi: Ağırlık faktörü 4
- Halk tarafından kabul edilebilirlik: Ağırlık faktörü 3
- Su iletim maliyeti: Ağırlık faktörü 5

Bu kriterler ve ağırlık faktörleri dikkate alınarak farklı atıksu geri kazanım alternatifleri önceliklendirilebilir. Çizelge 1.5'te ise bu parametrelerin her bir geri kazanım alternatifi açısından puanlaması örnek olarak sunulmuştur.

Çizelge 1.4. Alternatif geri kullanım alanlarının önceliklendirilmesinde önemli parametreler ve değerlendirme kriterleri

Parametre	İlgili parametrenin değerlendirilmesi			
	Çok iyi (5 veya 4)	İyi (3)	Kabul edilebilir (2)	Düşük kabul edilebilirlik (1)
İlgili kullanım için gerekli su talebi	Su talebinin çok yüksek olması durumu	Su talebinin yüksek olması durumu	Su talebinin az olması durumu	Su talebinin çok az olması
İlgili kullanım için gerekli arıtım düzeyi ve arıtma maliyeti	Arıtımın az gereksinimi (sadece biyolojik arıtma, filtrasyon ve basit dezenfeksiyon)	Biyolojik arıtma sonrasında filtrasyon, ileri dezenfeksiyon ve yumaklaştırma vs. gibi ilave arıtımın gerekmesi durumları	Daha ileri arıtımın gerekmesi durumu (nanofiltrasyon, ters osmoz vb)	Mevcut şartlarda mali olarak karşılanması zor yüksek arıtma gereksinimi (NF+RO üstü gibi)
Halk sağlığına potansiyel etkisi	Halk ile teması olmayan kullanımlar	Halkın temasının sınırlı olduğu ve kolay alınabilecek önlemlerin yeterli olduğu kullanımlar	Halkın sağlığını etkileyebilecek kullanımlar olmakla birlikte mali açıdan karşılanabilir önlemlerin yeterli olduğu kullanımlar.	Halk sağlığını doğrudan etkileyen ve ciddi önlemlerin almanın gerektiği kullanımlar
Halk tarafından kabul edilebilirlik	Halk tarafından sorun olmadan kabul edilebilir geri kazanım alternatifi	Halk tarafından genel olarak kabul edilebilecek az da olsa çekincelerinin olduğu kullanımlar	Halkın yarısından fazlasının kabul etmesiyle birlikte, çekincelerinin yüksek olduğu kullanımlar	Halk tarafından kabul edilmeyecek veya halkın zor ikna edilebileceği yaklaşımlar
Su İletim Maliyeti	Suyun yüksek debide kullanılarak tek bir boru/kanal hattı ile daha az noktaya iletiminin yeterli olduğu, arıtma tesisine yakın olabilecek, pompajın olmadığı veya düşük pompaj maliyeti gerektiren kullanımlar.	Suyun iletiminde tanker vs. gerekmeden, yüksek debide suyun boru veya kanal ile taşınabileceği, nispeten atıksu arıtma tesisine yakın ve düşük pompaj gerektiren kullanımlar.	Su kullanıcılarının çok fazla sayıda olup, az su tükettikleri, suyun daha çok tankerlerle taşınması veya çoklu boru hatlarıyla taşındığı, artıma tesisinden muhtemelen uzak ve yüksek pompaj maliyeti gerektirebilecek kullanımlar.	Suyun iletiminde çok fazla borulama veya çok fazla tanker kullanımı ve çok yüksek maliyette pompaj gerektiren kullanımlar.

Çizelge 1.5. Alternatif geri kullanım alanlarının belirlenen kriterlere göre değerlendirilmesi ve önceliklendirilmesi

	İlgili kullanım için gerekli su talebi (Ağırlık Faktörü: 5)		İlgili kullanım için gerekli arıtım düzeyi ve arıtma maliyeti (Ağırlık Faktörü: 5)		Halk sağlığına potansiyel etkisi (Ağırlık Faktörü: 4)		Halk tarafından kabul edilebilirlik (Ağırlık Faktörü:3)		Su iletim Maliyeti (Ağırlık Faktörü:5)		Genel Puan
	Puan (A) (1-5)	Toplam Puan (AF*A)	Puan (A) (1-5)	Toplam Puan (AF*A)	Puan (A) (1-5)	Toplam Puan (AF*A)	Puan (A) (1-5)	Toplam Puan (AF*A)	Puan (A) (1-5)	Toplam Puan (AF*A)	
1) Kentsel geri kullanım											
Kentsel alanlarda sulama amacıyla kullanım											
Golf sahalarının sulanması	4	20	4	12	2	8	2	6	4	20	66
Okul bahçelerinin sulanması	3	15	2	6	2	8	2	6	2	10	45
Otoban teraslama alanlarının, refüjlerin sulanması	3	15	5	15	5	20	5	15	2	10	75
Mezarlıklarda sulama suyu olarak kullanım	3	15	4	12	4	16	4	12	3	15	70
Spor tesislerinde sulama suyu olarak kullanım	2	10	2	6	2	8	2	6	2	10	40
Ticari ve endüstriyel yerlerde sulama amacıyla kullanım	2	10	2	6	4	16	4	12	3	15	59
Park ve bahçelerde sulama suyu olarak kullanım	3	15	2	6	3	12	3	9	3	15	57
Diğer peyzaj amaçlı sulama suyu olarak kullanım	3	15	2	6	3	12	3	9	3	15	57
Konutlarda, işyerlerinde, sosyal/spor tesislerinde arıtılmış atıksuların içme suyu dışındaki diğer noktalarda geri kullanımı (çamaşır, bulaşık yıkanması, tuvalet pisuvarı bağlantısı, bahçe sulanması vb.) (konutların veya diğer binaların iki farklı şebeke ile beslenmesi: içme suyu hattı ve arıtılmış atıksu hattı)	2	10	1	3	2	8	2	6	3	15	42
Yangın söndürme suyu amaçlı kullanım	2	10	3	9	4	16	4	12	1	5	52
Klima sistemlerinde kullanım	1	5	1	3	2	8	2	6	1	5	27
Cadde yıkamada kullanım	3	15	3	9	3	12	3	9	2	10	55
Kar yapımında kullanım	1	5	1	3	2	8	2	6	1	5	27
Parklarda ve diğer ortak kullanım alanlarında tuvalet yıkama suyu olarak kullanım	2	10	3	9	3	12	3	9	3	15	55
İnşaatlarda ve çeşitli endüstriyel sektörlerde toz kontrolünde kullanım	2	10	4	12	3	12	3	9	1	5	48
Araç yıkama amacıyla kullanım	2	10	3	9	3	12	3	9	2	10	50
Diğer yeni gelişmekte/uygulanmakta olan spesifik kentsel kullanımlar	2	10	3	9	3	12	3	9	2	10	50
2) Zirai amaçlı geri kullanım											
Direk olarak yenilebilir/tüketilebilir ürünleri olan bitkilerin sulanması (su ile direk temas eden ürünler)	5	25	1	3	1	4	1	3	4	20	55
Su ile direk temas etmeyen yenilebilir ürünleri olan bitkilerin sulanması	5	25	3	9	2	8	2	6	4	20	68
İşlendikten sonra yenilebilecek ürün sağlayan bitkilerin sulanması	5	25	2	6	2	8	1	3	4	20	62
Yenilebilecek ürünü olmayan bitkilerin/ağaçların sulanması	5	25	5	15	5	20	4	12	4	20	92
Hayvan yemi olarak kullanılacak bitkilerin sulanması	5	25	3	9	3	12	3	9	4	20	75
Enerji bitkilerinin sulanmasında kullanım	4	20	5	15	5	20	5	15	4	20	90
Hayvanlar için içme suyu amacıyla kullanım	4	20	3	9	3	12	3	9	2	10	60
Barajlar, rezervuarlar veya göletler yapılarak, arıtılmış atıksuların depolanması ve dönemsel/mevsimsel taleplere göre farklı zirai amaçlar için kullanılması	5	25	4	12	1	4	4	12	5	25	78

	İlgili kullanım için gerekli su talebi (Ağırlık Faktörü: 5)		İlgili kullanım için gerekli artırım düzeyi ve artırma maliyeti (Ağırlık Faktörü: 3)		Halk sağlığına potansiyel etkisi (Ağırlık Faktörü: 4)		Halk tarafından kabul edilebilirlik (Ağırlık Faktörü:3)		Su İletim Maliyeti (Ağırlık Faktörü:5)		Genel Puan
	Puan (A) (1-5)	Toplam Puan (AF*A)	Puan (A) (1-5)	Toplam Puan (AF*A)	Puan (A) (1-5)	Toplam Puan (AF*A)	Puan (A) (1-5)	Toplam Puan (AF*A)	Puan (A) (1-5)	Toplam Puan (AF*A)	
Diğer spesifik zirai amaçlı kullanımlar	4	20	3	9	2	8	2	6	3	15	58
3) Çevresel/ekolojik amaçlı geri kullanım											
Sucul ekosistemlerin beslenmesi ve restorasyonu/ rekreasyonu	4	20	4	12	3	12	3	9	4	20	73
Sulak alanların beslenmesi (çevresel iyileştirme)	4	20	3	9	3	12	3	9	4	20	70
Akarsu, dere ve çaylarda su debisinin arttırılması amacıyla kullanım	5	25	3	9	3	12	3	9	5	25	80
Rekreasyonel ve peyzaj amaçlı havuz ve göllerin beslenmesi	4	20	3	9	3	12	3	9	5	25	75
Bataklıkların kontrolü	3	15	4	12	4	16	5	15	3	15	73
Balık yetiştirme havuzlarında kullanım	2	10	2	6	1	4	1	3	2	10	33
Diğer spesifik çevresel kullanımlar	2	10	2	6	2	8	2	6	3	15	45
4) Endüstriyel geri kullanım											
Soğutma suyu olarak kullanım	5	25	2	6	5	20	5	15	5	25	91
Kazan besleme suyu olarak kullanım	5	25	2	6	5	20	5	15	5	25	91
Proses suları olarak farklı üretim aşamalarında kullanım	5	25	2	6	4	16	4	12	4	20	79
Endüstride proses suyu dışındaki diğer kullanımlar (yıkama suyu olarak kullanım gibi)	4	20	3	9	4	16	4	12	4	20	77
Hazır gıda üretiminde kullanım	2	10	1	3	1	4	1	3	2	10	30
Beton üretiminde ve inşaatlarda beton hazırlamada kullanım	3	15	4	12	5	20	5	15	3	15	77
Farklı endüstrilerde, imalathanelerde diğer spesifik kullanımlar	2	10	2	6	3	12	3	9	3	15	52
5) İçme suyu amacı dışında yeraltı suyu beslemesi											
Tuz girişimini kontrol için enjeksiyon kuyuları vasıtasıyla akifere besleme	5	25	2	6	2	8	2	6	4	20	65
Sulama suyu amacıyla kullanılmak üzere suyun yeraltında depolanması	5	25	2	6	2	8	2	6	4	20	65
Toprak-akifer sistemini kullanarak suyun ilave arıtımı	5	25	2	6	2	8	2	6	4	20	65
Endüstriyel kullanım için suyun yeraltı suyuna beslenmesi	5	25	2	6	2	8	2	6	4	20	65
Atıksuların yeraltı suyuna enjeksiyonu ile aşırı yeraltı suyu pompalanması sonucu oluşabilecek göçüklerin engellenmesi	4	20	2	6	3	12	3	9	4	20	67
Diğer farklı kullanımlar için yeraltı suyu potansiyelinin arttırılması	5	25	2	6	2	8	2	6	4	20	65
Diğer spesifik amaçlı yeraltı suyu beslemeleri	5	25	2	6	2	8	2	6	3	15	60

	İlgili kullanım için gerekli su talebi (Ağırlık Faktörü: 5)		İlgili kullanım için gerekli arıtım düzeyi ve arıtma maliyeti (Ağırlık Faktörü: 3)		Halk sağlığına potansiyel etkisi (Ağırlık Faktörü: 4)		Halk tarafından kabul edilebilirlik (Ağırlık Faktörü:3)		Su iletim Maliyeti (Ağırlık Faktörü:5)		Genel Puan
	Puan (A) (1-5)	Toplam Puan (AF*A)	Puan (A) (1-5)	Toplam Puan (AF*A)	Puan (A) (1-5)	Toplam Puan (AF*A)	Puan (A) (1-5)	Toplam Puan (AF*A)	Puan (A) (1-5)	Toplam Puan (AF*A)	
6) İçme suyu amacıyla geri kullanım											
Planlı olarak dolaylı içme suyu amacıyla geri kullanım (arıtılmış atıksuların içme suyu kaynağı olarak kullanılan doğal/yapay büyük bir su kaynağına, örneğin baraja, akifere, göle, vb, verilmesi ve bu kaynakda suyun doğal karışımı/tamponlaması)											
Arıtılmış atıksuların içme suyu temin edilen yeraltı sularına direk pompalanması	4	20	1	3	1	4	1	3	4	20	50
Sızdırma yöntemi ile, arıtılmış atıksuların içme suyu temin edilen yeraltı sularına beslenmesi	4	20	1	3	1	4	1	3	4	20	50
Arıtılmış atıksuların içme suyu amacıyla kullanılan yüzeysel su kaynaklarına (barajlar, göller, rezervuarlar, vd.) beslenmesi	4	20	1	3	1	4	1	3	5	25	55
Direk içme suyu olarak kullanım (Arıtılmış atıksuların içme suyu arıtma tesisi girişine veya direk olarak içme suyu şebekesine verilmesi. Arıtılmış atıksular mühendislik yapımı küçük bir depoda biriktirilip (doğal olmayan tamponlama), içme suyu arıtma tesisi girişine verilse bile direk içme suyu amaçlı kullanım olarak sayılmaktadır.)	4	20	1	3	1	4	1	3	1	5	35
7) Plansız/düzensiz (defakto) dolaylı geri kullanım	5	25	2	6	1	4	1	3	5	25	63

1.4. Ülkemizde Endüstriyel Sektörlerde Su Tüketimleri ve Atıksu Geri Kazanım Önceliklendirilmesi

Ülkemizde tipik olarak spesifik su tüketimleri (tüketilen su miktarı/birim kütle nihai ürün) fazla olan endüstriler ana hatlarıyla aşağıda sıralanmıştır.

- Gıda sektörü
- Tekstil sektörü (özellikle boyama yapan tesisler)
- Kimyasal madde sektörü
- Metal sanayi sektörü
- Kağıt sektörü
- Demir çelik sektörü
- Soğutma suyu kullanan enerji santralleri, demir çelik fabrikaları, vb.

Avrupa Birliği Endüstriyel Emisyonlar Direktifi (EED) ve IPPC (Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrol) BREF dokumanlarında birçok farklı endüstriyel sektör için önerilen spesifik su tüketimleri belirtilmiştir. BREF dokumanlarında belirtilen spesifik su tüketimleriyle ve/veya global diğer benzer tesislerin su tüketimleriyle tesisin kendi spesifik su tüketimi karşılaştırılmalı ve tesisin 'su tüketim performansı' belirlenmelidir. İzleme ve tespitlere ve EED/IPPC BREF dokumanlarına göre su verimliliğinin artırılması, spesifik su

tüketimlerinin azaltılması ve temiz üretim amaçlı olarak tesis özelinde ve BREF dokumanlarını baz alarak Mevcut En İyi Teknikler (MET) belirlenmeli ve fizibilite sonucu uygun bulunan MET'ler uygulamaya konulmalıdır.

Ülkemizde endüstriyel tesislerde genel anlamda spesifik su tüketimleri maalesef detaylı olarak izlenmemekte, kontrol edilmemekte ve neticesinde su kullanım/tüketim verimliliği genelde düşük seviyelerde kalmaktadır. Bunun temel nedenleri aşağıda listelenmiştir.

1. Su temini, proses suyu hazırlama, atıksu arıtma ve deşarjla ilgili tüm su maliyetlerinin toplamı, genelde üretim maliyetlerinin çok küçük bir kısmını oluşturmaktadır (%1-10 arası). Toplam birim işletme su maliyetinin >10 TL/m³ seviyelerine çıktığı bazı spesifik bölge ve tesislerde bile bu oran ancak %20-30 bandında olmaktadır. Bunun temel nedeni, ülkemizde kuyu suyu ve ham su satış ücretlerinin düşük olmasıdır. Kaçak su kullanımları da önemli boyutlarda olabilmektedir. Dolayısıyla, tesisler daha çok enerji, kimyasal ve hammadde kullanım verimliliğine ve proses iyileştirme çalışmalarına odaklanmaktadır. Endüstrilerde 'su hususu' hem ekonomik hem de teknik anlamda genelde ikinci planda kalmaktadır.

2. Su tüketimlerinin online izlenmesi ve otomasyonlu kontrolü ülkemizde nadir uygulanmaktadır.

3. Su tüketim noktalarındaki gerekli su kalitesi gereksinimleri (üretim ve ürün kalitesi açısından) yeterli olarak belirlenmemektedir. Dolayısıyla, bazı tesislerde gereksiz yere daha düşük su kalitesi gerektiren kullanım noktalarında yumuşatılmış hatta tuzsuzlaştırılmış (örneğin RO prosesleriyle) proses suları kullanılmaktadır. Bu husus üretim maliyetlerini de artırmaktadır. Her bir tesis hangi noktada, hangi miktarlarda, hangi kalitede su kullanması gerektiğini üretim ve ürün testleri de yaparak optimize etmelidir.

4. Su tüketimlerini en aza indirecek proses iyileştirmeleri yapılmalı veya yeni teknolojiler seçilmelidir. Örneğin, tekstil sektöründe son durulamaların geri kullanılması, kimyasal dozaj otomasyonları, seviye ayarlı boyamalar, vb. gibi.

5. Farklı atıksu kaynaklarındaki debiler ve su kalitesi belirlenmediği ve atıksu kaynakları ayrık olarak değerlendirilmediği için, bazı durumlarda direk olarak hatta arıtmasız olarak geri kullanılabilecek atıksu kaynakları gereksiz yere kompozit atıksularla birleştirilmektedir. Gereksiz yere su tüketimi olmakta ve mevcut atıksu arıtma tesisine daha çok debi gelmektedir.

6. Endüstrilerin çoğunda su tüketimleri ve atıksu oluşumları için kütle denklik hesapları yapılmamaktadır. Kaçak/verimsizlik tesbiti ve kontrolleri seyrek yapılmaktadır.

7. Endüstrilerin çoğu 'su tüketim performanslarını' belirlememekte ve izlememektedir. Dolayısıyla da, BREF dokumanlarını ve global rakip firmaların spesifik su tüketimlerini baz alarak karşılaştırma yapmamaktadır.

8. Ülkemizde temiz üretim çalışmaları ve çevresel performans analizi çalışmaları yapıp, MET'leri belirleyip, MET'leri uygulamaya geçiren çok az sayıda firma vardır. Bunların çoğu tekstil, maya ve demir çelik sektöründedir.

9. Ülkemizde ham su maliyetleri genelde düşük olduğu için atıksu geri kazanımı ikinci planda kalmaktadır.

10. Konvansiyonel atıksu arıtma tesislerinin işletiminde zorlanabilen özellikle küçük tesisler ileri atıksu arıtma ve geri kazanım tesislerine ön yatırım ve işletme maliyetleri ve olası işletme zorlukları açısından sıcak bakmamaktadır. Bu tesisler mevcut işletme ve geri kazanım durumundaki su işletme maliyetlerini detaylı hesaplamalı ve maliyetleri ve geri ödeme sürelerini daha uzun vadede değerlendirmelidir. Maalesef, endüstrilerimiz geri ödeme süresini en fazla 2 yıl olarak öngörmektedir. Gelişmiş ülkelerde ise bu süreler 10 yıla kadar fizibil olarak kabul edilmektedir.

11. İleri arıtma prosesleri hakkında bilgi, tecrübe ve know-how sanayimizde yeterli olmadığı için ve referans olabilecek tam ölçekli geri kazanım tesisi az sayıda olduğu için, sanayicimiz genelde atıksu geri kazanımına şüphe ile bakmaktadır. Referans uygulamalar ülkemizde artarsa diğer uygulamaları tetikleyeceği bir gerçektir.

12. Geri kazanılan atıksuyun ürün kalitesine olası etkileri konusunda özellikle tekstil sektöründe ciddi oranda kaygılar mevcuttur. Bu kaygılar geri kazanılmış atıksularla üretilmiş ürünlerde ürün kalitesi testleri yaparak değerlendirilmelidir.

13. Geri kazanılan atıksuların tesiste çevre ve personel sağlığı açısından olası riskleri konusunda endişeler mevcuttur. Bu konuda yeterli eğitim verilmeli ve yönlendirme sanayimize yapılmalıdır.

Ülkemizdeki endüstrilerin su tüketimlerini kontrol ve optimize etmeleri ve atıksu geri kazanımını önceliklendirmeleri için kullanabilecekleri bir yönlendirme rehberi, akım şeması olarak Çizelge 1.6'da sunulmuştur.

Çizelge 1.6. Endüstrilerde su tüketimini kontrol/optimize etmek ve su geri kazanımını önceliklendirmek için izlenecek genel yaklaşım

Proses suyu olarak kullanılacak ham su kaynağı/ kaynaklarında su miktarı ve su kalitesi sık olarak izlenmelidir. İzlenecek su kalitesi parametrelerinin seçimi üretim prosesine ve ürüne olası etkiler dikkate alınarak yapılmalıdır.

Proses suyu hazırlamada kullanılan sertlik giderimi amaçlı iyon değiştirme proseslerinde dikkat edilecek hususlar:

1) Reçine kolonu çıkışlarında sertlik parametresi online veya sık bir şekilde offline olarak takip edilerek, reçine rejenerasyon sıklığı ve süresi optimize edilmelidir. Optimize edilmeyen kolonlarda gereksiz tuz/kimyasal ve su tüketimi olmaktadır.

2) Reçine rejenerant solüsyonu hazırlama prosedürü ve gerekli konsantrasyonlar izlenmeli ve teyit edilmelidir.

3) Rejenerasyon atıksuları karakterize edilmelidir. Bu karakterizasyon sonucuna göre, bu atıksuların üretim proseslerinde herhangi bir noktada geri kullanım imkanı varmıdır? Örneğin, iyi su kalitesi gerektirmeyen yıkamalar, rejenerasyon atıksuları asidik/bazik karakterde ise nötralizasyon amaçlı geri kullanım, vb.

4) Rejenerasyon atıksuları tesisdeki atıksu toplama hattına veriliyorsa, kompozit atıksudaki su karakterine olumsuz etkileri nelerdir? Örneğin, kompozit atıksuyun aşırı tuzlanması ve bu tuzluluğun biyolojik arıtmaya olası olumsuz etkileri. Olumsuz etkiler varsa, rejenerasyon atıksuları ayrık toplanıp, atıksu hattına verilmeden geri kullanılabilir mi?

5) Reçinelerle iyon değiştirme prosesine alternatif olarak diğer teknolojilerin (örneğin, nanofiltrasyon, NF) tesisde uygulanması değerlendirildi mi?

Proses suyu hazırlamada kullanılan membran proseslerinde (NF, ters osmoz: RO gibi) dikkat edilecek hususlar:

1) Ham su olarak yeraltısuları kullanılıyorsa ve bu yeraltı sularında tipik TOK 1 mg/L, iletkenlik 300-900 mikroS/cm ise, NF veya RO konsantreleri genellikle geri kullanıma çok elverişli temiz sular olmaktadır. Bu konsantrelerin tesislerdeki farklı üretim proseslerindeki su ihtiyaçlarına ve gerekli su kalitesine göre geri kullanılması tavsiye edilmektedir. Bazı tesisler ham suları önce reçinelerle yumuşatmakta sonra RO'dan geçirmektedir (kazan besleme, buhar üretimi vb. amaçlı). Bu durumlarda RO konsantreleri sertlik açısından da sorunsuz olmakta ve geri kullanım şansı artmaktadır (örneğin, belirli oranlarda ham sularla paçallayarak ham su tankına geri basılması gibi). Ülkemizde bu tür yüzlerce tesis olup, gereksiz yere RO konsantreleri atıksu hattına verilmekte ve su kayıpları olmaktadır.

2) NF, RO konsantrelerindeki su kalitesi detaylı olarak analiz edilip, farklı üretim proseslerindeki gerekli su kalitesine göre geri kullanılabilir.

3) NF, RO proseslerinde uygulanan tıkanma kontrol stratejileri işletmede optimize edilmelidir (antiskalan tür ve dozaj optimizasyonu, LSI, doygunluk indeksleri izlemeleri gibi). Geri yıkamaların, kimyasal yıkamaların sıklık ve süreleri işletme bazında kimyasal ve su tasarrufu için optimize edilmelidir.

4) Geri yıkamalar, kimyasal yıkama atıksuları karakterize edilmeli ve ayrık toplama/geri kullanım opsiyonları değerlendirilmelidir. Membran konsantreleri ile karıştırma, müteakip arıtma, deşarj veya arıtma tesisi girişine geri devir seçenekleri su kalitesi ve su tasarrufu açılarından değerlendirilmelidir.

5) Diğer demineralizasyon proseslerindeki tüm atıksular karakterize edilmeli ve ayrık toplama/geri kazanım veya kompozit atıksu hattına verilmesi hususları değerlendirilmelidir.

Yukarıda bahsedilmeyen diğer proses suyu hazırlama süreçlerinden kaynaklanan tüm atıksu kaynakları irdelenmeli, karakterize edilmeli ve ayrık toplama/geri kullanım veya diğer atıksularla birleşik toplama hususları değerlendirilmelidir.

- Üretim proseslerindeki her bir su kullanım noktası tek tek tespit edilmelidir. Her bir kullanım noktasındaki gerekli spesifik su miktarı (L/kg ürün gibi) ve su kalitesi ürün kalitesi de dikkate alınarak belirlenmelidir. Kısaca, su kullanımı ve tüketim noktaları konusunda tesisde bir tür röntgen çekilmelidir.
- Bazı tesislerde kaliteli proses suyu gereksiz yere daha düşük kalitede su gerektiren noktalarda kullanılmaktadır. Bu ve benzeri sorunlar giderilmelidir.

• Her bir su kullanım noktasında ve toplam üretim için tespit edilen spesifik su tüketimleri, Avrupa Birliği Endüstriyel Emisyonlar Direktifi (EED) ve IPPC (Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrol) BREF dokumanlarında belirtilen spesifik tüketimlerle ve/veya global diğer tesislerin tüketimleriyle karşılaştırılmalı ve tesisin 'su tüketim performansı' belirlenmelidir.

• Üretim dışında diğer su kullanım noktaları da incelenmelidir.

• Tesis genelinde ham su çekimi, proses suyu hazırlama, tüm su tüketimleri ve atıksu oluşumları dikkate alınarak 'su ve atıksu kütle denklikleri' oluşturulmalıdır. Kütle denklikleri baz alınarak kayıp ve kaçaklar belirlenmelidir.

• Mümkün olduğunca online su sayaçları, otomasyona bağlı vanalar ve debimetreler ile su tüketimleri ve atıksu oluşumları SCADA ile izlenmeli ve kontrol edilmelidir. Benzer izlemeler ve kontroller enerji, hammadde ve kimyasal tüketimlerinde de yapılabilir.

• İzleme ve tespitlere ve EED/IPPC BREF dokumanlarına göre su verimliliğinin artırılması ve temiz üretim amaçlı olarak tesis özelinde ve BREF dokumanlarını baz alarak Mevcut En İyi Teknikler (MET) belirlenmeli ve fizibilite sonucu uygun bulunan MET'ler uygulamaya konulmalıdır.

• Tesisdeki her bir üretim prosesi kaynaklı ve proses dışı (evsel atıksular, yıkamalar, dreanjlar, vs.) atıksu oluşum noktaları belirlenmelidir. Bu noktalardaki atıksu miktarları/debileri günlük ortalama bazda belirlenmelidir.

• Her bir atıksu noktasındaki atıksu kalitesi günlük, aylık veya mevsimsel üretim trendlerindeki değişimleri yakalamak için detaylı olarak analiz edilmeli ve belirlenmelidir. Kısaca, atıksu oluşum noktalarındaki debiler ve su kalitesinin röntgeni çekilmelidir.

• Her bir atıksu kaynağındaki su debisi ve kalitesine göre, üretim proseslerindeki su kalite gereksinimlerini de dikkate alarak, atıksular ayrık toplanabilir ve direk olarak geri kullanılabilir mi? Hangi atıksu kaynakları direk geri kullanılabilir, hangileri spesifik arıtma proseslerinden sonra geri kullanılabilir? Hangi atıksu kaynakları hiçbir şekilde geri kullanılamaz?

• Çok yüksek kirlilik yükü olan atıksu kaynakları kompozit atıksu hattına verilmeden ayrık toplanabilir mi?

• Yapılacak bu atıksu analizleri sonucunda ayrık toplama mı, kısmı ayrık toplama mı yoksa tüm atıksuların kompozit olarak birleşik toplanması mı uygundur?

• İleri atıksu arıtma ve geri kazanım tesisi ayrık atıksu noktaları için mi yoksa kompozit atıksular için mi tasarlanmalıdır?

• Geri kazanılacak atıksu kalitesi, üretim proseslerindeki gerekli su kalitesi ile uyumlumudur? Geri kullanım noktaları nerelerdir?

• Üretim prosesleri dışındaki atıksu kaynaklarının yönetimi belirlenmelidir. Endüstriyel atıksularla birleşik toplanma, ayrık toplanma gibi.

• Toplam birim su maliyetleri (ham su temini, pompaj, proses suyu hazırlama, atıksu toplama ve arıtma, deşarj, kanalizasyona katılım, vb. tüm su maliyetleri) dikkate alınarak, bölgedeki su tahsisleri, havza su bütçesi ve olası kuraklık riskleri irdelenerek, kesintisiz üretim için, atıksu geri kazanımı, kısmı geri kazanımı veya arıtma sonrası deşarj opsiyonları entegre olarak değerlendirilmelidir.

İKİNCİ BÖLÜM

ÜLKEMİZDE ATIKSU GERİ KAZANIMININ ÖNÜNDEKİ PROBLEMLER VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ



2. ÜLKEMİZDE ATIKSU GERİ KAZANIMININ ÖNÜNDEKİ PROBLEMLER VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

Ülkemiz özelinde gözlenebilen su geri kazanımının önündeki spesifik problemler ve çözüm önerileri aşağıda sunulmuştur:

Problem No.1: Hangi atıksuların geri kazanılması gerekir?

Çözüm Önerisi No.1: Atıksu geri kazanımının özendirilmesi gerekmekle birlikte, ekonomik olarak geri kazanımının yapılması gereken sular önceliklendirilebilir. Atıksular arıtıldıktan sonra geri kullanım yerine bağlı olarak farklı arıtma seviyeleri gerektirebilmektedir. Atıksu geri kazanımında öncelik verilebilecek kaynaklar aşağıdaki gibi sıralanabilir;

i) İletkenlik <2.000 µS/m ve KOİ <500-1.000 mg/L: Evsel atıksular bu sınıfta olup, uygun biyolojik arıtım ve dezenfeksiyonla sulama için kullanılabilirken, bazı iletkenlik giderim prosesleri (RO, ED, EDR vb.) ile tuzluluğu giderilmiş su endüstriyel kullanım ve diğer kullanımlar için düşünülebilir.

ii) İletkenlik değeri 2.000-10.000 µS/cm ve KOİ <2.000 mg/L: Bu tür atıksuların ancak debisi çok yüksek ise geri kazanımı uygulanabilir olabilir. Örnek olarak tekstil atıksuları bu sınıftadır. Çok genel olarak bu tür endüstrilerde geri kazanılan suların proses içinde kullanılabilmesi için iletkenlik <1.000 µS/cm istenmekte olup, uygun biyolojik ve kimyasal arıtma işlemlerinden sonra tuzluluk giderimi yapılmalıdır. Arıtılmış sudan kalıntı KOİ, renk ve iletkenlik giderimi için ters osmoz prosesi uygun bir seçenek olabilir. Fakat oluşan konsantrenin bertarafı için de uygun bir çözüm gerekmektedir. Konsantre şehir kanalizasyonuna verilebilir. Çünkü oluşacak konsantrede KOİ <1.000 mg/L ve iletkenlik 5-20 mS/cm arasında olabilir. Bununla birlikte konsantreden KOİ ve renk giderimi yapılarak derin deniz deşarjı da uygun olabilir.

iii) KOİ>5.000 mg/L ve/veya iletkenlik >15 mS/cm: Bu tür atıksuların arıtıldıktan sonra geri kazanımı maliyetli olabilir. Çok gerekmedikçe bu tür atıksular uygun şekilde arıtılarak deşarj edilebilirler.

Problem No.2: Ters osmoz tesislerinde oluşan konsantrenin uygun bertaraf alternatifi bulunamadığından, bazı tesisler su geri kazanım uygulamalarına uzak durmaktadır.

Çözüm Önerisi No.2: Özellikle endüstriyel atıksularda geri kazanım oranı %50-80 arasında olup, konsantrenin iletkenlik ve diğer kirlilik parametreleri ters osmoz girişine göre 2 ile 5 kat daha konsantre olmaktadır. Her ne kadar konsantrenin hacmi 2-5 kat azalmış olsa da aynı oranda kirletici konsantrasyonu artmakta ve teorik olarak da kirlilik yükü değişmeyecektir. Oluşan konsantrenin bertaraf sorunun çözümü, sıfır veya yaklaşık sıfır sıvı atık şeklinde bir prosesin adaptasyonuyla teknik olarak mümkün olsa da ülkemiz koşullarında oldukça pahalıdır ve uygulanması günümüz şartlarında ve ülkemiz koşularında çok zordur. Bu nedenle konsantre bertarafı için alternatiflerin belirlenmesi ve konsantre bertarafı

için de bir önceliklendirme yaparak konsantre bertarafının nasıl yapılacağı ilgili yetkililerce netleştirilmelidir. Konsantre bertarafı ile proje ekibi tarafından önerilen önceliklendirme için el kitabının yedinci bölümü olan 'Membran Konsantre Akımlarının Yönetimi' kısmı incelenmelidir.

Problem No.3: Su geri kazanımında kullanılan ileri arıtma teknolojileri hakkında ülkemizde yeterli bilgi birikimi ve işletme tecrübesinin olmaması.

Çözüm Önerisi No.3: Ülkemizde yeteri kadar su geri kazanım tesisi bulunmamaktadır. Bazı tesislerde de hatalı tasarım ve işletme nedeniyle maalesef kötü sonuçlar alınmakta olup, bu durum yatırım yapmayı planlayan diğer sanayicilerin de geri adım atmasına neden olmaktadır. Bu nedenle özellikle su geri kazanım çalışmalarının hızlandığı ülkemizde doğru çalışan iyi uygulamalara ihtiyaç vardır. Gerek proses seçiminde ve gerekse işletme koşullarının optimizasyonunda pilot ölçekli tesislerin kurulup işletilmesi ülkemizde yaygınlaştırılmalıdır. Böylece seçilen proses ve işletme koşullarının bir ispatı yapılmış olacaktır.

Problem No.4: Ülkemizde proje firmaları atıksu özeline göre, 1-2 yıllık atıksu karakterizasyon verilerini dikkate almadan, kopyala-yapıştır projelerle veya yan komşu çözümlerini dikkate alarak prosesler önermektedir. Doğal olarak atıksu karakterinin değişmesi durumunda önerilen çözümler işe yaramamakta ve istenen verimler alınamamaktadır.

Çözüm Önerisi No.4: Her endüstriyel atıksu içerdiği kirletici türleri bakımından farklılıklar içerebilmektedir. Ayrıca, üretim proseslerine bağlı olarak da zaman zaman atıksu karakterizasyonunda önemli derecede değişimler olabilmektedir. Özellikle atıksu geri kazanımı projelerinde su karakterizasyonun uzun zaman izlenmesi ve bir önceki maddede de değinildiği gibi pilot ölçekli tesislerin kurularak belirli bir süre izlenmesi gerekmektedir. Pilot tesislerin kurulması ile hem atıksu karakterizasyonundan emin olunacak hem de seçilen proses ve/veya işletme koşullarından da emin olunacaktır.

Problem No.5: Konsantre ve permeatda mikrokirletici tür ve konsantrasyonları hakkında yeterli veri ve bilgi olmaması.

Çözüm Önerisi No.5: Mikrokirleticilerin bazıları düşük konsantrasyonlarda dahi (örnek endokrin bozucular) insan sağlığını ciddi biçimde tehdit edebilir. Özellikle geri kazanılan suların tarımsal kullanımı veya içme suyu havzalarına karışması durumları için bu konuda ilave tedbirler gerekebilir. Atıksu geri kazanımının bazı uygulamaları için konsantre ve permeatda mikrokirleticilerin tür ve konsantrasyonlarının belirlenmesine yönelik çalışmalar yapılması gerekebilir.

Problem No.6: Arıtma tesisi operatörlerinin genellikle işletme ve proses bilgileri yeterli değildir.

Çözüm Önerisi No.6: Bu konu da oldukça önemli olup, yatırımı engelleyen hususlardan biridir. Arıtma prosesleri konusunda bilgilendirme için çeşitli kurslar/seminerlere operatörlerin katılması sağlanabilir. Bunun yanı sıra atıksu geri kazanım tesisi işletecek olan personeller için özellikle proses sağlayıcı firmalar tarafından eğitimlerin verilmesi geri kazanım yatırımı yapan firmalar tarafından da talep edilmelidir.

Problem No.7: Ülkemizde membranların pahalı olduğu, sürekli tıkandığı, çalışmayacağı konularında bir algı maalesef mevcuttur. Bu durum da atıksu geri kazanım yatırımları önündeki önemli engellerdendir.

Çözüm Önerisi No.7: Ülkemizdeki iyi uygulamaların sayılarını arttırmak gerekmektedir. Bu da tabii ki doğru prosesin seçilmesi ve optimum işletme koşullarının belirlenmesinden geçmektedir. Bunun için de su karakterizasyonun uzun süre izlenmesi ve pilot çalışmalar yapılarak seçilen prosesin verimliliğinin, permeat kalitesinin ve işletme koşullarının optimize edilmesi gerekmektedir. Tabii ki özellikle farklı yaklaşımlar gerektiren geri kazanım tesisleri için üniversitelerle ortak çalışmalar yaparak, bilgiye en hızlı ve en kolay yoldan ulaşmak da hata yapılma olasılığını azaltacaktır.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

KONSANTRE AKIMLARIN YÖNETİMİNE İLİŞKİN ULUSLARARARASI MEVZUAT


BEL
COMPOSITE INDUSTRIES
Pressure vessels producer

3. KONSANTRE AKIMLARIN YÖNETİMİNE İLİŞKİN ULUSLARARASI MEVZUAT

3.1. Uluslararası Yasal Mevzuat Özeti

Uluslararası düzeyde membran konsantre akımının yönetimi ile ilgili mevzuatlar ülke bazında değişkenlik göstermektedir. Bunun nedeni konsantre akımın verildiği farklı çevresel ortamlarda farklı olumsuz etkilerin gözlenmesidir. Örneğin, dünyadaki desalinasyon tesisleri ve petrol yataklarının üçte ikisini barındıran Orta Doğu Bölgesinde, konsantre akımı bertarafı eksik olup, buna yönelik düzenlemeler oldukça az sayıdadır. Bunun yanında bazı ülkelerde RO konsantresinin denize deşarjı ile ilgili yeterli miktarda çevresel mevzuat ve düzenlemelerin olduğu görülmektedir. Ülkelerin mevcut çevresel mevzuatlarında konsantre akımları ile ilgili olan hususlar Çizelge 3.1'de özetlenmiştir.

Çizelge 3.1. Uluslararası mevzuatlar çerçevesinde konsantre akımlar ile ilgili hususlar

Ülke	Genel Mevzuat Yaklaşımı
ABD	ABD konsantre yönetimi konusunda en çok çaba gösteren ülke konumundadır. Özellikle Kaliforniya eyaleti konsantre atıkların arıtılmasında öne çıkmaktadır. Kuzey Amerika'da kirleticilerin ve toksik kimyasalların deşarjında karışım bölgesi prensibi yaygın olarak kullanılmaktadır. Karışım bölgeleri insan sağlığı, sucul habitat ve su kalitesini korumak amaçlı uygulanmaktadır. Amerika Çevre Koruma Ajansı (US EPA) su kalite standardına (40 CFR 131.13) uygun olması şartıyla eyaletlerin yerel bazda karışım bölgeleri ile ilgili mevzuat geliştirmesine imkan tanımaktadır. Eyaletlerin konu ile ilgili geliştirdiği mevzuatlar, US EPA tarafından incelenerek onaylanmaktadır. Kuzey Amerika'da su ortamına verilen termal deşarjların sıcaklık değişimlerinden ekosistemi korumak amacıyla; federal, eyalet ve şehir bazında genel rehber ve mevzuatlar bulunmaktadır. Örneğin US EPA yılın tüm mevsimlerinde yapay kaynaklardan ileri gelen haftalık ortalama sıcaklık artışını 1°C olarak sınırlamıştır.
AB	Avrupa Birliği (AB) yönergeleri küresel ölçekteki ülke-spesifik regülasyonların oldukça sınırlı olduğunu vurgulamaktadır. Ayrıca, AB direktiflerine bakıldığında doğrudan bir konsantre yönetim planı olmayıp konsantre yönetimine atıf yapan direktifleri bulunmaktadır. İlgili direktifler aşağıda sıralanmıştır: Yenilenebilir Enerji Kaynakları Direktifi (RES) İçme Suyu Direktifi (DWD) (Su Kalite Kriterleri) Su Çerçeve Direktifi (WFD) (Su Alım ve Deşarj) Çevre Etki Değerlendirme Direktifi (EIA) WFD içerisinde konsantre deşarjı ile ilgili limitleri ve kontrol mekanizmalarını içeren net bir mevzuat bulunmamaktadır. WFD içeriğinde, konsantre deşarjının deniz tuzluluğunu çok değiştirmeyeceği ve bu yüzden deniz ekosistemine zararı olmayacağı değerlendirilmektedir. konsantrenin doğrudan akifere deşarjına izin verilmemekte ancak akifere ulaşmadan infiltrasyon yoluyla yeraltına dolaylı olarak deşarjına müsaade edilmektedir.
İspanya	İspanya'da yeni kurulan tüm desalinasyon tesisleri çok portlu difüzörler ile konsantre akımını derinden denize deşarj etmektedir. Ülkede desalinasyon tesislerinin çevresel değerlendirmesi ve konsantre deşarjına ait güvenli metotların geliştirilmesi ile ilgili olan Bakanlık, konsantre deşarjlarının kontrolü için akademik araştırmalar ile ortaya konan kritik eşik değerleri kullanmaktadır.

Avustralya	Avustralya İçme Suyu Mevzuatında (ADWG) tuzsuzlaştırılmış suyun kriterleri dahi bulunmamaktadır. Bu durumun su kalitesi yönetmeliklerine paçal sonrasında tabi olunduğu için kaynaklandığı düşünülmektedir. Avustralya'da deniz kıyısında desalinasyon tesisi kurulması ile ilgili onayı Avustralya Çevre Koruma Ajansı (Australian Environmental Protection Agency-EPA), çevresel aktiviteler ile ilgili mevzuatın 7., 16. ve 19. maddelerine göre vermektedir. Onay öncesinde, yüklenici firma tarafından bölgede çevresel etki değerlendirmesi yapılarak deniz ortamına önemli bir etkinin olmayacağı kanıtlanmalıdır. Ortaya çıkan etkiler konusunda da gerekli önlemlerin alınarak, ileri dönemlerde izleme yapılması da zorunlu kılınmıştır. Avustralya EPA, Barrup Yarımadasında bulunan desalinasyon tesislerine ait konsantre deşarjlarının boru sonundaki sıcaklığının King körfezine girişte, mevcut deniz suyu sıcaklığından en fazla 2°C fazla olabileceği belirtilmektedir. Aynı kuruma göre 0,01 km^2 alana sahip karışım bölgesinin köşe noktalarında sıcaklık artışı en fazla 0,1 °C olmalıdır.
Suudi Arabistan	Suudi Arabistan'da konsantre akım deşarjları, Meteoroloji ve Çevre Başkanlığı tarafından 20 Ağustos 1982'de yürürlüğe giren Çevre Koruma Standartları'na göre dolaylı olarak kontrol edilmektedir. Bu mevzuatın 12 no'lu maddesi rehber niteliğinde olup, içeriğinde alıcı ortama deşarj edilecek birçok kirleticinin karışım bölgesi limitleri tanımlanmıştır. Karışım bölgesinin boyutları sabit olmayıp, ilgili Başkanlık tarafından proje durumuna göre tespit edilmektedir. Karışım bölgesi köşelerinde toplam askıda katı madde parametresinin kabul edilebilir limiti %5 olarak belirlenmiştir.
Umman	Umman Bakanlar Kurulu Kararı no:159/2005'e göre, deşarj lisansı alınmadan deniz ortamına doğrudan ya da dolaylı sıvı atık deşarjının yapılması yasaklanmıştır. Deşarj lisansını almak için desalinasyon tesislerinin boru deşarj limitlerini sağlaması ve deşarj noktasından itibaren 300 m çaplı karışım bölgesindeki tuzluluğun, mevcut deniz tuzluluğundan en fazla 2 ppt daha fazla olmasını garanti etmeleri gerekmektedir. Umman mevzuatlarına göre, deşarj noktasında deniz ortamına verilen konsantre akım sıcaklığının, mevcut deniz sıcaklığından en fazla 10°C yüksek olması şartı getirilmiştir. Ayrıca aynı ülkenin mevzuatlarına göre karışım bölgesi deşarj noktasından itibaren 300 m'lik bir mesafeyi kapsamakta olup, bu bölgedeki sıcaklık değişiminin mevcut deniz suyu sıcaklığının en fazla 1°C üzerinde olabileceği belirtilmektedir.
Çin	Çin Halk Cumhuriyeti'nde deniz ortamının korunması ve geliştirilmesine yönelik olarak Deniz Ortamını Koruma Kanunu 25 Aralık 1999'da yürürlüğe girmiştir. Bu kanunun 29. maddesinde, deniz deşarjı yapacak endüstrilerin eyalet bazında belirlenen standartlara uyması gerektiği belirtilmektedir. Bu standartlar toksik, termal, organik, ağır metal ile evsel ve endüstriyel kirleticiler gibi farklı deşarjların kontrolüne yönelik olup, kirleticilerin derin deniz deşarjı sistemleri yoluyla yapılmasını zorunlu kılmaktadır.
Kanada	Kanada Su Kalitesi Rehberlerinde (Canadian Water Quality Guidelines-CWQG), deniz ekosistemini korumak için, insan kaynaklı aktivitelerin neden olduğu maksimum sıcaklık değişiminin mevcut su sıcaklığının en fazla %1'i kadar olması gerektiği belirtilmektedir.
İsrail	İsrail'de Akdeniz için Çevre Kalite Standartları mevzuatı bulunmaktadır. Bu mevzuat deniz suyu desalinasyon konsantre atıklarına da atıf yapmaktadır. Ancak, çıkış yapıları için BAT (Best Available Technologies) başlığı da olan bu yönetmelikte de deşarj standartları mevcut değildir. İsrail'de Ashkelon deniz suyu desalinasyon tesisinde denize verilen konsantre akım sıcaklığının, deşarj noktasındaki mevcut sıcaklığı en fazla 4°C artırabileceği belirtilmiştir. İsrail İçme Suyu Mevzuatlarında tuzsuzlaştırılmış suyun kriterleri dahi bulunmamaktadır. Bu durumun su kalitesi yönetmeliklerine paçal sonrasında tabi olunduğu için kaynaklandığı düşünülmektedir.
*MENA Bölgesi	Desalinasyon geleneğinin çok eski olduğu Arap Yarımadasında spesifik yönetmeliklerin eksikliği vurgulanarak bu bölgede doğrudan hiçbir yönetmeliğin olmadığı ve deşarjlar için bir arıtım uygulanmadığı bildirilmiştir. Ayrıca Arap Yarımadasında olabilecek bazı lokal mevzuatların erişimine dil engeli nedeniyle ulaşım mümkün olmamaktadır. Buna ek olarak, Arap Yarımadası ve Akdeniz'in bazı bölgelerinde spesifik kıyılarda gerçekleşen buharlaşma oranlarının tuzluluk artışına verdiği katkının yanında desalinasyon konsantrelerinin oluşturduğu tuzluluk artışının önemsiz kaldığı vurgulanmıştır. Bu durum konsantre yönetiminin bu bölgedeki zayıflığının sebeplerinden bir olarak gösterilebilir. Aynı zamanda bu durum deşarj bölgesine ait lokal özelliklerin konsantre arıtımındaki önemine güzel bir örnek teşkil etmektedir. Benzer durum Güney Afrika içinde geçerli olup konsantre yönetimini ele alınan spesifik bir mevzuat bulunmamaktadır.

*: Orta Doğu ve Kuzey Afrika

3.2. Genel Değerlendirme ve Çözüm Önerileri

Genellikle konsantre akımların karakteristikleri ham su, ön arıtımda uygulanan teknikler ve uygulanan desalinasyon prosesine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bu bağlamda, konsantre akımların kendine özgü doğası nedeni ile farklı deşarj içeriklerinin mevzuatlar kapsamında ele alınması kritik önemdedir. Bu noktada uluslararası alanda görülen iki yaklaşım bulunmaktadır. Bir tanesi mevcut yönetmelikler içinde tuzluluk, sıcaklık ve diğer spesifik kirleticilere yönelik parametrelerin konsantre akımlar göz önünde bulundurularak revize edilmesi iken, bir diğeri proje spesifik izinlerin verilmesidir.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

ATIKSU GERİ KAZANIM UYGULAMALARINDA MEMBRAN KONSANTRE ARITIMI, HACİM AZALTIMI VE BERTARAF YÖNTEMLERİ



4. ATIKSU GERİ KAZANIM UYGULAMALARINDA MEMBRAN KONSANTRE ARITIMI, HACİM AZALTIMI VE BERTARAF YÖNTEMLERİ

4.1. TERS OSMOZ PROSESİNDE ÖN ARITIM ALTERNATİFLERİ

Ters osmoz prosesinden önce suya bir ön arıtımın uygulanması gerekmektedir. Bu ön arıtımın kalitesi su geri kazanım oranını ve dolayısıyla konsantrenin de karakterizasyonunu önemli derecede etkilemektedir. Ön arıtım prosesinin temel amacı; askıda katı maddeleri gidermek, mikrobiyal büyümeyi engellemek ve çökme eğiliminde olan inorganik tuzları gidermektir. Tıkanma membranlarda akıyı düşürmekte ve böylece prosesin su geri kazanım oranını düşürmektedir. Aşırı derecede tıkanma membranların değiştirilmesini gerektirerek işletme maliyetinin de artmasına neden olmaktadır. Ön arıtım ayrıca membranların oksidasyonunu ve hidrolizini önlemek ve sudaki metaller ile diğer kirleticilerin giderimi için de gerekmektedir. RO prosesi için tipik ön arıtım yöntemleri aşağıda verilmiştir:

Biyo-tıkanma kontrolü,
Antiskalant ilavesi,
Asit ilavesi,
Kartuş filtrasyon ve
Koagülasyon/flokülasyon,
Deklorinasyon
Medya filtrasyonu,

Çizelge 4.1'de ön arıtım amacıyla kullanılan kimyasallar sunulmuştur. Ters osmoz prosesine verilecek besleme suyunun özelliklerine göre kimyasal ön arıtım seçilebilir.

4.1.1. Biyotıkanma Kontrolü ve Deklorinasyon

Biyo-tıkanma kontrolü; tıkanmaya sebep olan biyofilmin oluşumunu ve mikroorganizmaların gelişimini engellemek için kullanılır. Bu amaçla klor ve ozon gibi oksidantlar kullanılmakla birlikte, klor en yaygın olarak kullanılanıdır. Klor gaz olarak (Cl_2) veya sodyum hipoklorit (NaOCl) olarak ilave edilebilir. Fakat bütün oksitleyicilerin ön arıtım prosesinin son aşamasında giderilmesi gerekir. Çünkü oksitleyiciler polimer membranlara zarar vermektedir. Özellikle klorun ince-film poliamid membranlara zarar verdiği bilinmektedir. Klorun oksidant olarak kullanıldığı durumda, sodyum bisülfit deklorinasyon amacıyla kullanılabilir. Ozonun kullanılması durumunda ise; membranlara zarar vermemesi için hem ozonun giderilmesi gerekir hem de bromür içeren sularda kanserojen bromatın oluşumunu engellemek gerekmektedir. Alternatif olarak ultraviole (UV) uygulaması da kullanılabilir. UV uygulaması, klor ve ozon uygulamasına kıyasla daha az etkilidir, fakat suda giderilmesi gereken bir oksidant bırakmaması önemli bir avantajdır (Ladewig ve Asquith, 2012).

4.1.2. Asit Uygulaması

Kalsiyum karbonatın çözünürlüğünü arttırmak ve çökelmesini engelleyerek membran tıkanmasını azaltmak

için asit ilavesiyle suyun pH değeri düşürülür. Sülfürik asit veya hidroklorik asit kullanılır. Asit ilavesi ayrıca, kolloidlerin koagülasyonunu arttırabileceği gibi silikanın da çözünürlüğünü kısmen arttırır (Ladewig ve Asquith, 2012).

4.1.3. Koagülasyon/ Flokülasyon

Partikül ve kolloidal maddeleri bir araya getirerek membran proseslerinden önce filtrasyonla giderilmeleri için koagülasyon prosesi kullanılır. Koagülant olarak bazı inorganik (demir tuzları) tuzlar veya organik poliektrolitler kullanılabilir. Membran tıkanmasını engellemek için uygun dozaj ve koagülantların etkili bir şekilde giderimi önemlidir. Kullanılan bu kimyasallar, membran geri yıkama sularının konsantre suyla karıştırılması durumunda, konsantrede kalacak ve ilave bir arıtıma uğramayacaktır (Ladewig ve Asquith, 2012).

4.1.4. Antiskalantlar

Ters osmoz prosesinde su geri kazanımı çözünürlüğü az olan tuzların membran üzerine çökerek tıkanma oluşturmaları su geri kazanım oranını sınırlamaktadır. Antiskalantlar ön arıtım aşamasında çözünürlüğü az olan tuzların çözünürlüklerini arttırmak için suya ilave edilir ve böylece proseste daha yüksek su geri kazanım oranlarına ulaşılmasına neden olur. Antiskalant olarak birçok polimerik madde (tipik olarak polifosfatlar, fosfanatlar ve polikarbonik asitler) kullanılabilir ve bu antiskalantlar konsantrede kalırlar (Ladewig ve Asquith, 2012).

4.1.5. Filtrasyon

Hem medya filtre hem de kartuş filtreler ön arıtım prosesinde kullanılabilir. Granül medya filtrasyonla büyük partiküller sudan uzaklaştırılmış olur. Granül medya filtrasyonunda kömür, pomza, kum ve lal taşı medya olarak kullanılabilir. Kartuş filtre ise ters osmoz membranları öncesi son ön arıtım basamağı olup 1 µm kadar küçük partiküllerin giderilmesi için kullanılır (Ladewig ve Asquith, 2012). Filtrasyon sırasında herhangi bir kimyasal kullanılmamakla birlikte, filtre temizleme prosesi filtre geri yıkama suları olarak bilinen atıkların oluşumuna neden olur. Bu geri yıkama sularında partikül madde konsantrasyonu yüksek olup, tuz içeriği giriş suyu ile aynıdır. Suya ilave edilmiş bir koagülantın bulunması durumunda ise geri yıkama suları bu koagülantları da içecektir. Bu geri yıkama sularının konsantre ile birlikte deşarjından önce bir ön arıtımdan geçmesi gerekecektir. Bu sulardan ayrılan partiküller uygun bir şekilde bertaraf edilmelidir (Ladewig ve Asquith, 2012).

4.1.6. Membran Ön Arıtımı

Mikro veya ultafiltrasyon prosesi nanofiltrasyon ve ters osmoz prosesi için bir ön arıtım olarak kullanılabilir. Mikrofiltrasyon prosesi ile 0,1-10 µm çapındaki partiküller ile bakteri, virüs, çökelekler, koagüle edilmiş partiküller ve büyük kolloidal partiküller giderilebilir. Ultra filtrasyon ise 0,02 µm kadar küçük partikülleri dahi giderebilme özelliğine sahiptir ve tipik olarak büyük molekül ağrılığına sahip proteinlerin, büyük organik moleküllerin ve pirojenlerin gideriminde de etkindir. Membran ile ön arıtım oldukça etkili olup, besleme suyu özelliğini önemli ölçüde arttırmakta ve diğer ön arıtım proseslerine kıyasla oldukça etkili bir şekilde partikülleri giderebilme etkinliğine sahiptir. Ayrıca, kendinden sonra gelen ters osmoz membranlarının yıkama sıklığının azalmasına katkısı da olmaktadır. Diğer medya filtrelerde olduğu gibi mikro ve ultrafiltrasyon membran geri yıkama sularının da bir ön arıtım sonrası konsantre ile birlikte bertaraf edilmesi gerekmektedir. Fakat medya filtrasyon öncesinde genellikle koagülantlar ilave edildiği için oluşacak olan geri yıkama sularındaki katı madde içeriği membran filtrasyon proseslerine kıyasla %60-80 daha fazladır. Ters osmoz prosesi ön arıtım basamağı olarak nanofiltrasyon da kullanılabilir. Böylece, bazı durumlarda antiskalant dahi kullanmadan ters osmoza su beslenebilir (Ladewig ve Asquith, 2012).

4.1.7.Ters Osmoz Membranlarının Yıkanması Sırasında Oluşan Atıksu

Membranlar üzerinde biriken ve tıkanmaya neden olan kirleticilerin giderimi için temizleme kimyasalları kullanılır. Tıkanma; tuz çökelmesi, partikül veya kolloidal tıkanma, organik tıkanma ve biyotıkanma şeklinde olabilir. Membran yüzeyinde biriken kirleticilerin giderimi için kirleticinin çeşidine bağlı olarak asit veya alkali kimyasallar kullanılır. Çizelge 4.2'de membran temizlemede kullanılan kimyasallar sunulmuştur. Temizleme kimyasalları genel olarak ilave arıtım gerektirmesi sebebiyle konsantreden ayrı olarak bertaraf edilir. Fakat yıkamada genellikle hem asit hem de baz kullanıldığı için kimyasalların ayrı olarak depolanarak birbirini nötralize etmesi için karıştırılması uygun olabilir. Daha sonra konsantre ile kademeli olarak karıştırılarak seyreltilebilir ve birlikte bertaraf edilebilirler. Oluşacak olan bu atık suyun hacmi hem konsantre hacminden hem de filtre geri yıkama sularından çok daha düşüktür.

Çizelge 4.1. Membran desalinasyon tesislerinde yaygın olarak kullanılan kimyasallar

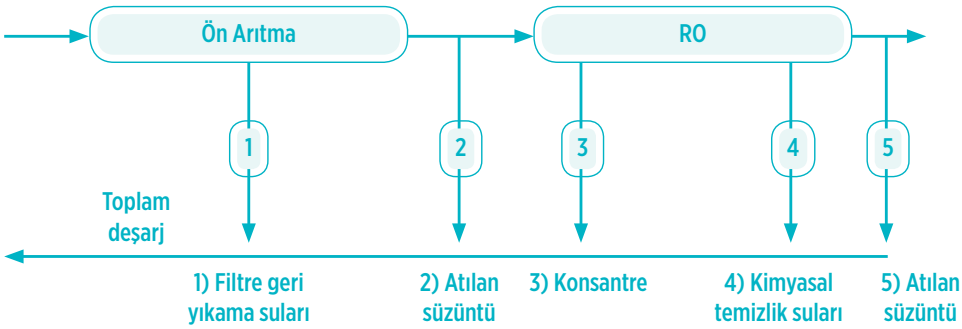
Ön arıtma	Tipik Kimyasallar
Biyolojik kirlilik kontrolü	klor, sodyum hipoklorit, kalsiyum hipoklorit, ozon
Antiskalant	polifosfatlar, fosfonatlar ve polikarbonik asit
Asit	sülfirik asit, hipoklorik asit
Koagülant/çökeltici	demir klorür, demir sülfat, polielektrolit
Deklorinasyon	sodyum bisülfit

Çizelge 4.2. Membran kirleticilerinin giderilmesinde yaygın olarak kullanılan kimyasallar

Kirleticiler	Tipik Temizleme Kimyasalları
Metal oksit	Sitrik asit, Fosforik asit
İnorganik Kolloidler	Sodyumhidroksit, Sodyum dodesil sülfat, Sodyum dodesilbenzensülfonat
Biyofilm	Sodyum diamin tetraasetik asit, Sodium triphosphate, Trisodyum fosfatlar
Organik madde	Sodyumhidroksit, Sodyum dodesil sülfat, Sodyum dodesilbenzensülfonat
Silika	Amonyum bifluorür, sodyumhidroksit, Sodyum dodesilbenzensülfonat

Bazı durularda tesis ilk devreye alınırken ön arıtımdan geçen su veya permeat suyu istenilen kalitede olmayabilir ve deşarj edilmesi gerekebilir. Bu tip sular konsantre ile karıştırılarak ortak bertaraf ve su geri kazanım prosesine iletilebilir (Ladewig ve Asquith, 2012).

Kimyasal temizlik ve filtre geri yıkama suları RO işletiminin önemli akımlarından bir tanesidir. Bu akımların kendine özgü karakteristikleri mevcuttur. Konsantre akımları (3) sürekli karakterde iken filtre geri yıkama suları (1) ve kimyasal temizlik suları (4) kesikli karakterdedir. Filtre geri yıkama suları ve kimyasal temizlik sularının bazıları periyodik olarak birkaç saatte oluşurken bazıları birkaç ayda oluşmaktadırlar. Ayrıca, bu akımlar hem kesikli üretildiklerinden hem de miktarları konsantre akım miktarına göre düşük olduğu için konsantre akımlar ile birlikte bertaraf edilmektedirler. Böylece



Şekil 4.1. RO tesislerinde oluşan akımlar

konsantre akımda bulunmayan farklı kimyasal bileşenler seyrelmektedir. Dünya üzerindeki kabul gören yaklaşım bu akımların konsantre ile beraber bertaraf edilmesidir. Ayrıca bir ilave işlem yapılmamaktadır. Bunlara ek olarak filtre geri yıkaması ve kimyasal temizlik yapıldıktan sonra ilgili adımlarda üretilen su hemen kullanılmamaktadır. Kalıntıların temizlenmesi için üretilen suyun bir kısmı atık hattına verilmektedir (2,5). Bu akımların konsantrenin bir parçası olarak değerlendirilmesi RO diyagramlarında da görülmektedir. Aşağıda verilen basitleştirilmiş bir ters osmoz diyagramı (Şekil 4.1) üzerinde önemli atık üretim aşamaları özetlenmiştir.

4.2. TERS OSMOZ KONSANTRE HACMİNİN AZALTILMASI VE SU GERİ KAZANIMI

Aşağıda membran proseslerde oluşan konsantre hacminin azaltılması ve su geri kazanım oranının arttırılması için kullanılan veya geliştirilme aşamasında olan teknolojiler tanıtılarak uygulamlara dair örnekler sunulmuştur.

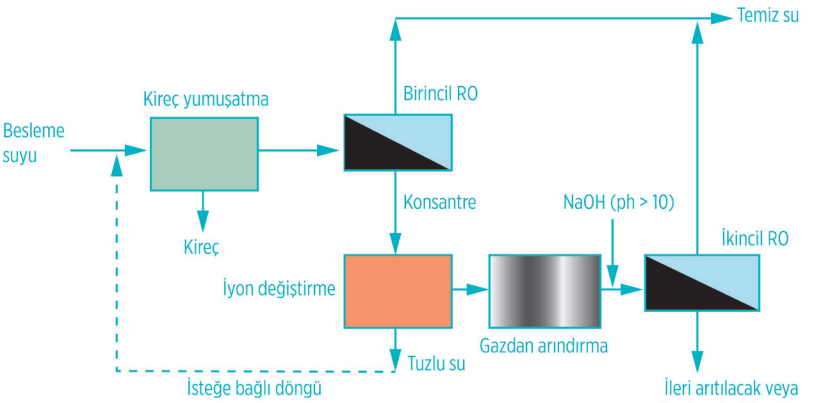
4.2.1. Basınç Tahrikli Membran Tabanlı Teknolojiler

Çözünmüş iyonların RO konsantresinde giderimi için tipik olarak membran-bazlı prosesler kullanılmaktadır. Fakat yukarıda da tartışıldığı gibi bu prosesin kullanılabilmesi için kireçlenme veya tıkanma oluşturacak olan iyonların önceden giderilmeleri gerekmektedir. Membran prosesleri ayırma için kullanılan sürücü kuvvete bağlı olarak (basınç veya elektriksel potansiyel) sınıflandırılabilir. Aşağıda her bir teknoloji, uygun ön arıtım metoduyla birlikte verilmiştir.

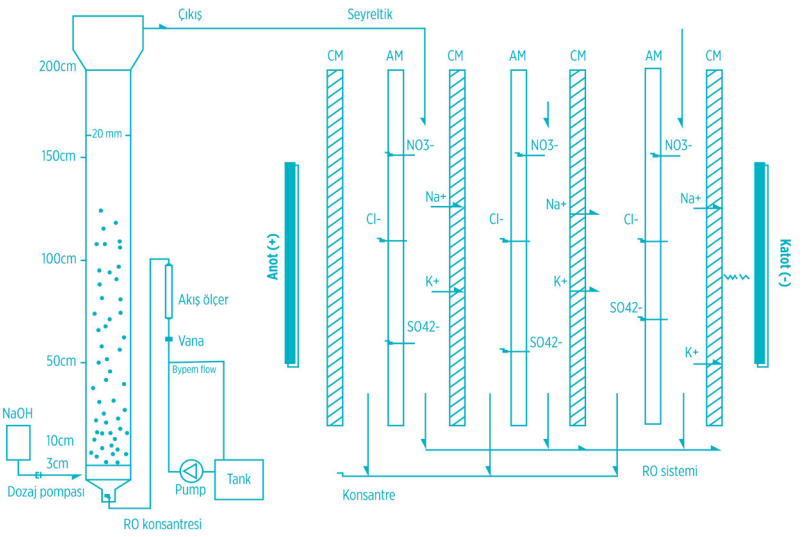
Bu yaklaşımda, kireçlenmeye neden olacak iyonlar (özellikle Ca, Ba ve Si) birinci aşama RO konsantresinden kimyasal arıtımla giderilir ve daha sonra ikinci aşama RO prosesine gönderilir. Bu yaklaşımla toplam giriş suyu geri kazanım oranı %95'den daha yüksek değerlere çıkabilir. Eğer ikinci aşama RO konsantresi termal proseslere gönderilirse ZLD başarılabilir. Kireçlenmeye neden olacak öncü kirleticilerin (precursors) ilk aşama RO prosesi konsantresinden giderilmesi için farklı metotlar kullanılmakta olup, bu metotlar aşağıda ayrıca açıklanmıştır.

4.2.1.1. Yüksek performanslı RO (HERO®)

Bu yaklaşımda; birincil RO konsantresinde iyon değişimi ve degazifikasyon sonrasında ikincil bir RO prosesi uygulanır. Şekil 4.2'de ilgili proses ait akım şeması ayrıca sunulmuştur. HERO® prosesi sertlik ve alkalinite giderim adımlarıyla birlikte oluşan karbon dioksiti gidermek için bir degazifikasyon basamağı ve RO besleme suyunun pH değerini yükseltmek için kostik ilave basamağından oluşmaktadır. İkincil RO sistemi iyon değişim ön arıtımı ve yüksek pH'da operasyon nedeniyle 'yüksek performanslı' olarak işletilir. Birincil RO prosesinde oluşan konsantre zayıf asidik katyonik (WAC: weakly acidic cationic) değiştirici kullanılarak kalsiyum gibi iki değerlikli iyonlar giderilir. Konsantrede bulunan karbondioksit degazifikasyonla giderilir



Şekil 4.2. HERO prosesinin şematik gösterimi (Subramani ve Jacangelo, 2014)



Şekil 4.3. RO konsantre arıtımı amacıyla pelet reaktör ve ED prosesinin kullanımı

ve ikincil RO prosesinin yüksek geri kazanımlarda çalışması için pH 10'a yükseltilir. Böylece, yüksek pH değerlerinde silisyum çözünürlüğü artar ve silika çökelmesi nedeniyle su geri kazanımının düşmesi de engellenmiş olur.

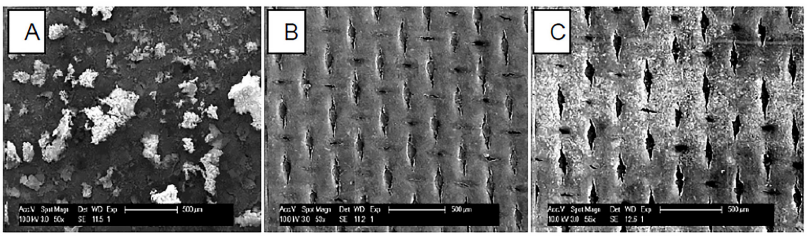
4.2.1.2. İleri konsantre su geri kazanımı (ARROW®)

Bu proseste ise RO prosesi öncesinde veya iki RO prosesi arasında kimyasal çöktürme uygulamak yerine ikincil RO proses konsantresine kimyasal arıtma uygulanır. Böylece kimyasal arıtma uygulanan hacim azalır ve daha az alana ihtiyaç duyulur. Kimyasal arıtım sonrasında suya filtrasyon uygulanır ve süzüntü ikincil RO prosesine gönderilir. Bu yaklaşımla birlikte %95 su geri kazanımına ulaşılabilir. Prosesin en önemli dezavantajı ise kimyasal arıtımda sertliğe sebep olan iyonların etkin giderilememesi durumunda giriş suyunda tuzluluğun artmasıdır (Subramani ve Jacangelo, 2014)

4.2.2. Elektrik Tahrikli Membran Tabanlı Teknolojiler

4.2.2.1. Elektrodializ (ED) ve Ters Elektrodializ (EDR)

ED prosesi; katot ve anot arasında alternatif katyon ve anyon seçici değiştirici membran kümesinden oluşmaktadır. Katyonlar negatif katota doğru çekilirken katyon transfer membranından geçer. Bu arada, anyonlar pozitif anoda doğru çekilir ve anyon transfer membranından geçer. Yüzlerce membran çifti bir ED



Şekil 4.4. RO konsantre arımı amacıyla pelet reaktör ile Ca ve Mg giderimi yapılmadan önce (A) ve yapıldıktan sonra (B,C) ED prosesinin kullanımı durumunda membranlar üzerinde biriken çökeltiye ait SEM fotoğrafları (Tran vd., 2012)

bloğunda bulunabilmektedir (Zhang vd., 2012). ED prosesinin düşük ve orta tuzluluktaki RO konsantresinin arıtımında uygulanabilir ve ekonomik bir alternatif olduğu belirtilmiştir. Zhang vd. (2012) tarafından yapılan çalışmada; iletkenliği 3,9-4,14 mS/cm olan RO konsantresinin desalinasyonu için ED prosesi kullanılmış olup, her bir hücrede 12 L/saat'lik debide 30-50 A/m² akım yoğunluğunda %95,5 giriş suyu geri kazanımına ulaşılmıştır. Pelet reaktör ve ED arıtımı neticesinde, bütün komponentlerin konsantrasyonu RO girişinden daha düşük olarak tespit edilmiştir. Çalışmada kullanılan sistem Şekil 4.3'te sunulmuştur. Sistemin tortu oluşturucu bileşenlerin giderimindeki etkinliği Şekil 4.4'te sunulan SEM fotoğraflarından da görülmektedir.

Ters elektrodializ (EDR: Electrodialysis reversal) ED prosesine çok benzemekle birlikte, kireçlenme probleminin azaltılması amacıyla DC voltajı saatlik olarak 3-4 defa tersine çevrilir. EDR sistemi kullanarak RO konsantre azaltımıyla %97 su geri kazanımına ulaşılabilir (Subramani ve Jacangelo, 2014). Silika konsantrasyonun çökelme oluşturacak sınırları aşması durumunda ED/EDR kullanmanın özel bir avantajı bulunmaktadır. Nötral pH seviyelerinde silika yüksüz olup iyon değiştirici membranlar tarafından itilmez ve çıkış suyunda kalırlar. Böylece ED/EDR membranları üzerinde de herhangi bir çökelti oluşturmaz.

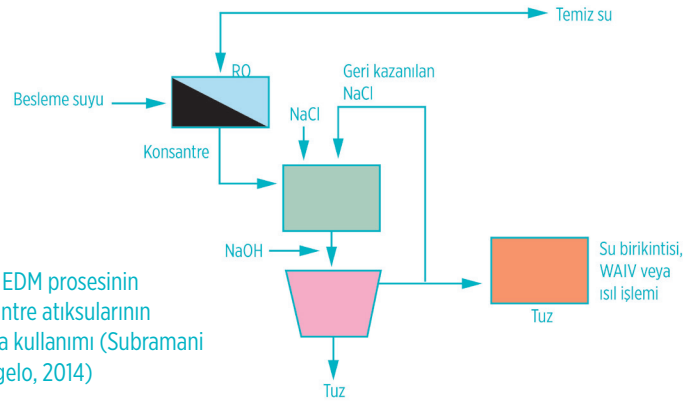
4.2.2.2. Elektrodiyaliz Metatez (EDM)

EDM prosesi ED prosesinin bir modifikasyonudur. Bu proseste birbirini takip eden ünitelerde dört farklı iyon değiştirici membran kullanılır. ED prosesine kıyasla toplam dört farklı çözelti bölmesi ve dört farklı membran bulunur. Prosesin RO geri kazanımı için uygulaması Şekil 4.5'te sunulmuştur (Subramani ve Jacangelo, 2014).

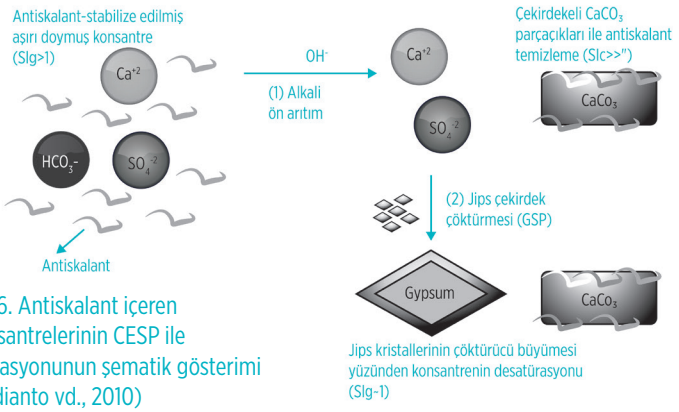
4.2.3. Kimyasal Tabanlı Teknolojiler

4.2.3.1. Ara kimyasal yumuşatma

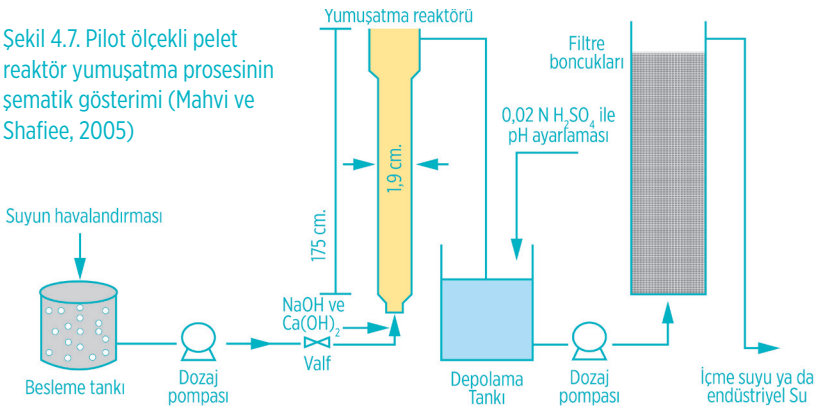
Birincil RO konsantresinin kimyasal olarak yumuşatılması için kireç bazlı yumuşatıcılar, pelet yumuşatıcılar veya akışkan yatak



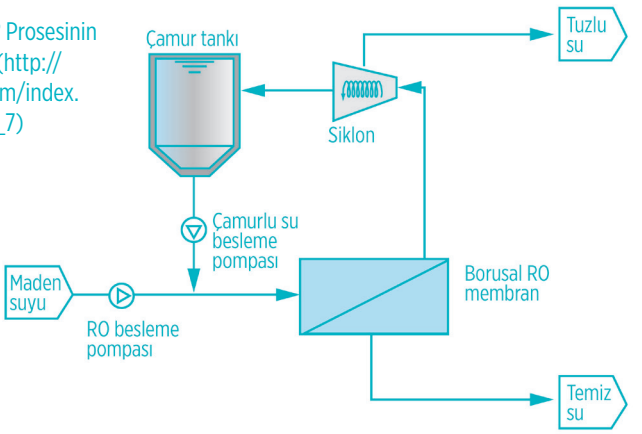
Şekil 4.5. EDM prosesinin RO konsantre atıksularının arıtımında kullanımı (Subramani ve Jacangelo, 2014)



Şekil 4.6. Antiskalant içeren RO konsantrelerinin CESP ile desaturasyonunun şematik gösterimi (Rahardianto vd., 2010)



Şekil 4.7. Pilot ölçekli pelet reaktör yumuşatma prosesinin şematik gösterimi (Mahvi ve Shafiee, 2005)



Şekil 4.8. SPARRO® Prosesinin şematik gösterimi (http://www.gardguide.com/index.php?title=Chapter_7)

kristalizatörler kullanılabilir. Örnek olarak Gabelich vd. (2007) birincil membran konsantre arıtımı için kireç ($Ca(OH)_2$) kullanılmış ve sonrasında ikinci aşama RO sistemi kullanarak toplam su kazanımını %95'e kadar yükseltmiştir. Kalsiyum, $CaCO_3$ olarak giderilmiş, silisyum ise magnezyum hidroksitle birlikte çökeltilerek giderilmiştir.

ASP proses performansının yükseltilmesi amacıyla ayrıca ileri kimyasal çekirdek çöktürme (CESP: chemically-enhanced seeded precipitation) prosesi de kullanılarak RO konsantresinden jips (gypsum, $CaSO_4$) gideriminden önce antiskalant giderilebilir (Rahardianto vd., 2010) (Şekil 4.6)

4.2.3.2. Pelet reaktörler

RO konsantre arıtımında klasik yumuşatma prosesine alternatif olarak pelet reaktörler de kullanılabilir. Pelet reaktörde yumuşatma işleminde $CaCO_3$ çökeleği bir çekirdek görevi gören kum pelet partikülleri üzerinde gelişir. Mahvi ve Shafiee (2005) RO konsantre pH değerini 10'un üzerine çıkarmış ve kum pelet reaktöre besleme yapmıştır. Çalışmada kullanılan pilot sistem Şekil 4.7'de sunulmuştur. Pelet reaktörün en önemli avantajları:

- Daha düşük hacim ihtiyacı,
- Temiz atık oluşumu,
- Daha kısa reaksiyon zamanı (16 kata kadar),
- Oluşan kristallerin kolay işlenmesidir.

Pelet yumuşatma prosesi birçok yerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Örnek olarak 2010 yılında yapılan bir çalışmada van Houwelingen vd. (2010) Suudi Arabistan'da 1980 projede arıtım prosesleri olarak; pelet yumuşatma, hızlı filtrasyon, RO, tuzlu su (brine) konsantratörü ve evaporasyon havuzları kullanılarak sıfır atık deşarjları gerçekleştirildiğini belirtmiştir. Yapılan çalışmalarda pelet yumuşatma prosesiyle sadece kalsiyum ve karbonatın değil aynı zamanda silisyumun da önemli derecede giderildiği belirtilmiştir.

4.2.3.3. Aşılanmış çöktürme ve geri kazanım

Aşılanmış sıvı karışımı ile çöktürme ve geri kazanım (seeded slurry precipitation and recycle, SPARRO®) olarak bilinen prosesinin kullanımıyla madencilik sektöründen oluşan atıksuların RO prosesiyle arıtımında kullanılan çekirdek kristallerle kalsiyum sülfatın RO konsantresinden çöktürülmesiyle birlikte %90'nın üzerinde su geri kazanımına ulaşılabilir (Subramani ve Jacangelo, 2014). Bu yaklaşımda çekirdek kristaller tübüler RO membranına verilerek kireçlenmeye sebep olacak bileşiklerin bu çekirdekler üzerine çökmesi sağlanır. Böylece, $CaSO_4$ çökelekleri membran yüzeyine çökmek yerine çekirdek kristaller üzerine çökmekte ve su geri kazanım oranı artmaktadır (Şekil 4.8). Proseste en önemli endişe ise; çekirdek kristallerle membranın zarar görmesi ve membran kanallarının kristal ve çökeleklerle tıkanma-

sıdır. Bu nedenle de proses sınırlı bir kullanıma sahiptir.

4.2.4. Termal Tabanlı Prosesler

4.2.4.1. Buharlaştırma havuzları

Buharlaşma havuzları tuz üretimi için uzun yıllardır kullanılan bir prosestir. Buharlaştırma havuzları, konsantrenin güneş ile buharlaştırıldığı sığ havuzlardır. Bu yöntem, iç bölgelerdeki desalinasyon tesisleri, arazi fiyatları düşük olan bölgeler ve yüksek güneş yoğunluğu olan kurak bölgeler için uygun bir teknolojidir (Morillo vd., 2014). Avusturalyadaki kurak bölgelerde ve Körfez ülkelerinde (Bahreyn, Kuveyt, Umman, Katar, Suudi Arabistan ve Birleşik Arap Emirlikleri) buharlaştırma havuzu konsantre yönetimi için en çok uygulanan yöntemlerden birisidir (Ladewig ve Asquith, 2012). Yüksek hacimlerde konsantre arıtımında buharlaştırma havuzları için gereken arazi fazladır. Arazi fiyatların yüksek olduğu bölgelerde buharlaştırma havuzların yatırım maliyeti yüksektir ve bu bölgelerde buharlaştırma havuzları sınırlı kullanıma sahiptir. Amerika Bileşik Devletlerinde 1993'ten önce konsantre yönetiminde buharlaştırma havuzlarının kullanım oranı % 6 seviyelerinde iken, 1993'ten sonra bu oranı %2 seviyelerine kadar düşmüştür ve sadece konsantre hacminin az olduğu tesislerde kullanılmaktadır (Giwa vd., 2017). Ülkemiz için buharlaştırma havuzlarının kullanımı uygun bir konsantre bertaraf yöntemi değildir. Buharlaştırma havuzlarının yaygın olarak kullanıldığı coğrafi bölgeler ile karşılaştırıldığı zaman, ülkemizde hem buharlaşma hızı düşüktür hem de yağış miktarı fazladır.

Buharlaştırma havuzunun alanı; bölgedeki buharlaşma hızı ve konsantre hacmine bağlıdır. Havuz alanı aşağıdaki formül ile hesaplanabilir:

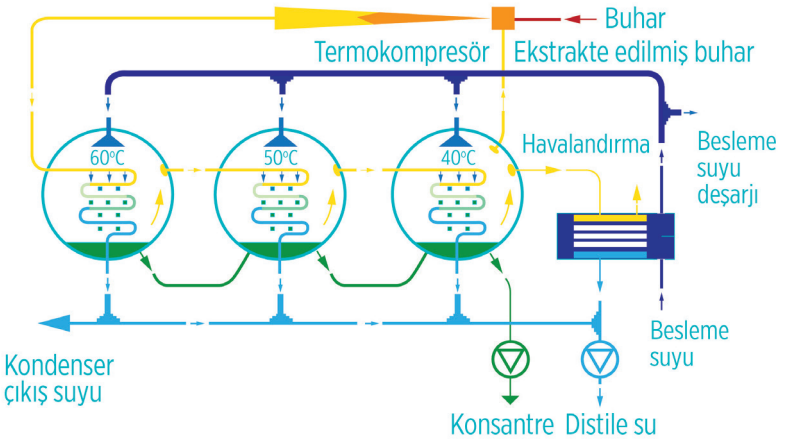
$$A=V/E$$

A: Havuz Yüzey Alanı (m^2)
V: Konsantre Hacmi (m^3/gün)
E: Buharlaşma Hızı (m/gün)

Konsantre hacmi arttıkça gerekli havuz alanı artar. Konsantre hacmi, tesis kapasitesine ve geri kazanım oranına bağlıdır. Konsentre debisinin 20.000 m^3/gün'den yüksek olduğu tesisler için buharlaştırma havuzlarının kullanımı uygun değildir. Konsantre debisinin 4000 m^3/gün'den küçük olduğu tesislerde buharlaştırma havuzlarının tercih edildiği literatürde belirtilmiştir. Buharlaşma hızı arttıkça gerekli havuz alanı azalacaktır. Buharlaşma hızı bölgenin iklim koşullarına bağlıdır. Beklenenden daha düşük buharlaşma hızı olması veya konsantre hacminde beklenmedik artışlar için havuz alanı hesabında güvenlik oranı dikkate alınmalıdır. Yukarıdaki formüle göre hesaplanan havuz yüzey alanının % 20'lik güvenlik oranını sağlayacak şekilde arttırılması literatürde önerilmektedir (Mickley, 2006). Buharlaşma hızının maksimum olduğu optimum havuz derinliği 0,03 ile 0,45 m aralığındadır (Pérez-González vd., 2012a). Ancak 1,02 m derinliğine kadar kabul edilebilir seviyelerde buharlaşma hızları sağlanmıştır (Mickley, 2006). Konsantre hacminde beklenmedik artışlar, tuz birikimi ve yağış miktarı havuz derinlik seçiminde önemlidir. Seçilen su derinliğine ek olarak bir derinlik payı bırakılarak toplam havuz derinliği hesaplanmalıdır. Havuz alanındaki ortalama yağış, buharlaşma hızındaki değişimler ve rüzgâr gibi iklim koşullarına göre değişebilmekle birlikte, bu ek yükseklik için literatürde 0,2 m önerilmektedir.

4.2.4.2. Çok kademeli distilasyon (MED) ve mekanik/ termal buhar sıkıştırma

Termal sistemlerde spesifik enerji tüketimini azaltmak için kullanılan tipik yöntemler çok kademeli distilasyon (MED), termal buhar sıkıştırma (TVC) veya mekanik buhar sıkıştırma (MVC) gibi çoklu kademeli konfigürasyonlarıdır (Subramani ve Jacange-



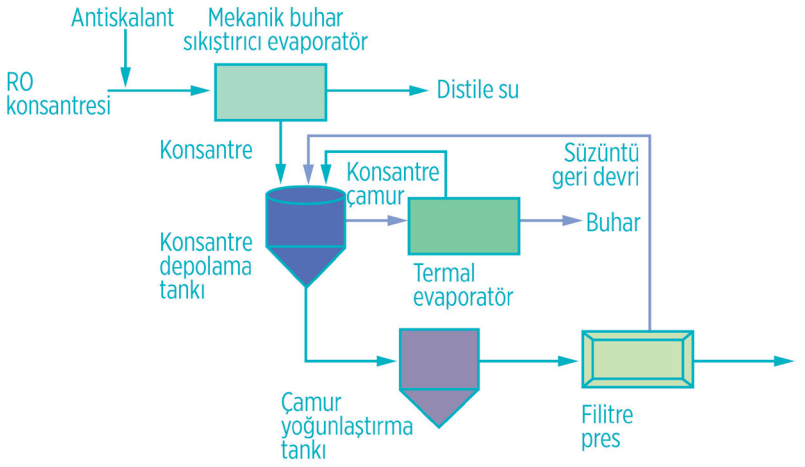
Şekil 4.9. Termal buhar sıkıştırmalı (TVC) Çoklu etkili distilasyon (MED) sistemi (Veolia, 2016)

lo, 2014). Üç yöntem arasında MVC, enerji tüketimi açısından en verimli olanıdır (GEA Wiegand, 2014). MED, deniz suyu tuzsuzlaştırılmasında kullanılan en eski yöntemdir (Şekil 4.9). Birinci aşamada üretilen buhar, konsantrenin bir sonraki aşamada ısıtılması için kullanılır ve bir sonraki aşamada daha düşük sıcaklık veya basınç uygulanır (Van der Bruggen ve Vandecasteele, 2002).

Çok aşamalı ani damıtma (MSF) teknolojisi ile kıyaslandığında, MED teknolojisinde her kademede buharlaşma için ilave ısı gerekmez ve MSF'den daha düşük sıcaklıklarda işletilir (Dolgen ve Sarptas, 2013). Bu sistemler genellikle 600 m³/gün-30.000 m³/gün kapasitelere sahiptir. İlk yatırım maliyetleri MSF teknolojisine göre daha düşük olan MED sistemlerinde enerji maliyetleri genellikle MSF ile aynı düzeylerdedir.

MED - MED TVC prosesinin avantajları.

- Çok Kademeli Flaş (MSF) veya membran prosesleri (RO) gibi prosesler ile karşılaştırıldığında çok düşük elektrik tüketimi (1,5 kWh / m³)
- Düşük sıcaklıkta işletilir (<70 ° C)
- Yüksek saflıkta distile su üretimi mevcuttur.
- Kompleks ön artıma gerekmez.
- Güvenilir ve kullanımı basittir



Şekil 4.10. MVC ve termal buharlaştırma sistemi kullanarak ZLD'yi sağlanan konfigürasyon (http://www.evaporator.com/reverse-osmosis-reject)

MVC sistemi kullanarak ZLD'yi sağlayan tipik bir konfigürasyon Şekil 4.10'da verilmiştir. Bu konfigürasyonda, RO konsantresi MVC ve müteakip termal buharlaştırma ile arıtılmıştır.

4.2.4.3. Tuzlu su konsantratörü ve kristalizatör

Yüksek TDS ve az çözünür tuzlardan kaynaklı çökelme problemleri klasik buharlaştırma sistemlerin geri kazanım oranını sınırlandırmaktadır. Tuzlu su konsantratörü, çekirdek sıvı karışımı ile buharlaştırma (seeded slurry evaporation) olarak adlandırılan özgün bir prosestir (Mackey ve Seacord, 2008). Dikkatli bir termal ve mekanik tasarım ile $CaSO_4$ ve SiO_2, tercihen tüpler yerine resürküle olan çekirdek kristallerinin üzerinde çökelirler (Lozier vd., 2008)

Tuzlu su konsantratörlerin avantajları (Mackey ve Seacord, 2008):

- Daha düşük maliyetli seçeneklerin olmadığı durumlarda kullanımı fizibildir
- %90 – 98 geri kazanım
- İzin alma sürecinin basitleştirilmesi mümkün (izin alma sürecii zor olan prosesleri ile yer değiştirilebilir)
- Az alan ihtiyacı

Tuzlu su konsantratörlerin dezavantajları (Mackey ve Seacord, 2008):

- Çok yüksek maliyet
- Yoğun enerji kullanımı
- Çok yüksek kule (yaklaşıl 90 ft) ve işletim sırasında yüksek gürültü

4.2.4.4. Rüzgar destekli yoğunlaştırılmış evaporasyon

Buharlaşma havuzlarının buharlaşma hızlarının arttırılabilmesi için yeni teknolojiler geliştirilmektedir. Rüzgar Destekli Yoğunlaştırılmış

Evaporasyon (WAIV), konsantre arıtımı için kullanılabilen teknolojilerden biridir (Subramani ve Jacangelo, 2014). Buharlaşmayı arttırmak için rüzgar enerjisi kullanılır ve böylece konsantre arıtımı için gerekli yüzey alanı azaltılır. Bu tip buharlaşma sistemlerinde buharlaştıma havuzlarına kıyasla % 50-90 oranında buharlaşma hızı arttırılabilir (Perez-Gonzalez vd., 2012).

Rüzgar destekli yoğunlaştırılmış evaporasyon avantajları (Mackey ve Seacord, 2008; Masnoon ve Glucina, 2011)

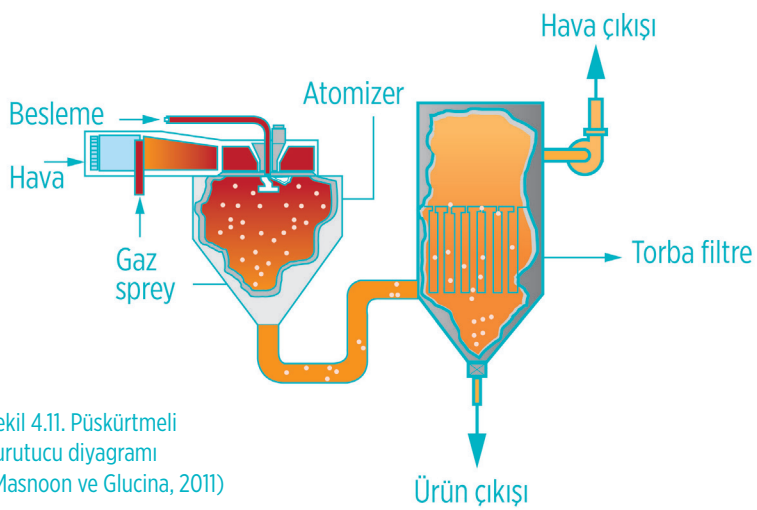
- Buharlaştırma havuzlarının alanı azaltılmış olur,
- Enerji gereksinimi oldukça düşüktür,
- Doğal enerji kaynakları (güneş ve rüzgâr) kullanılmaktadır, dolayısıyla daha düşük işetme ve bakım maliyeti ile sonuçlanmaktadır,
- Termal ve membran bazlı konsantre yönetim seçenekleri ile karşılaştırıldığında daha az karmaşık bir işlemdir,
- Herhangi bir üretim kapasitesi için modüler ve ölçeklenebilir tasarımlar yapılabilir.

Rüzgar destekli yoğunlaştırılmış evaporasyon dezavantajları (Mackey ve Seacord, 2008; Masnoon ve Glucina, 2011):

- Yüksek buharlaştırma oranına sahip iklimler için kullanımı fizibildir,
- Teknoloji hala gelişme aşamasındadır,
- Yüzey malzemesi ve paketleme yoğunluğu optimize edilmelidir,
- Tam ölçekli performans, yatırım ve işletme/bakım maliyet verileri mevcut değil,
- Besleme kanallarında çökeltim kaynaklı tıkanma olabilir,
- Rüzgardan dolayı konsantre akışında dalgalanma olabilir.

4.2.4.5. Püskürtmeli kurutucular

Püskürtmeli kurutma, ara bir işlem olmaksızın konsantreyi kısa bir zamanda kuru bir toza dönüştürmek için kullanılan tek aşamalı bir yöntemdir. Püskürtücü kurutucular, tuzlu suyun katılara konsantre edilmesi için kristalizatörlere alternatiftir. Genellikle desalinasyon tesislerinde tuzlu su konsantratörü evaporatörleri ile birlikte kullanılırlar. Püskürtmeli kurutucular, geniş silindirik



Şekil 4.11. Püskürtmeli kurutucu diyagramı (Masnoon ve Glucina, 2011)

kurutma odasından ve konsantre sıvı karışımın püskürtüldüğü bir santrifüj atomizöründen oluşur (Şekil 4.11) (Mackey ve Seacord, 2008).

Püskürtmeli kurutucunun avantajları: konsantrenin katı atığa konsantre edilmesi, tuz geri kazanım sağlanabilmesidir. Düşük maliyetli seçeneklerin bulunmadığı alanlarda fizibildir ve az alan ihtiyacı vardır. Bu sistemin dezavantajları yüksek yatırım maliyeti ve enerji gereksinimleridir (>50 KWh/m³) (Mackey ve Seacord, 2008).

4.2.5. Mevcut Diğer Teknolojiler

4.2.5.1. Elektrokoagülasyon

Bu proses elektrotlar (alüminyum, demir ya da paslanmaz çelik) içeren elektrolitik bir reaktör ve bir ayırma tankından ibaret olup, koagülasyon/flokülasyon elektrotlardan çözülen metallerle gerçekleşir. Metal anot çözünme ve katotta hidrojen gazı oluşumu eş zamanlı olarak gerçekleşir. Yumakların oluşumu ile askıda katı maddelerin flotasyonuyla kirleticiler giderilir. Prosesin limitasyonları ise; elektrot değişimi, yüksek enerji tüketimi ve tam-ölçekli tesis deneyiminin eksik olmasıyla ilişkili olarak daha yüksek bakım ve işletme maliyetidir.

4.2.5.2. Ara biyolojik indirgeme

Bu yaklaşımda birincil RO konsanratında bulunan sülfat indirgeyen bakteriler kullanılarak indirgenir. Prosesin etkin olması için elektron ve karbon kaynağı olarak düşük moleküler ağırlıklı organik maddeler (asetat ve glikoz gibi) suya ilave edilebilir. Üretilen sülfür ve karbonat asidik pH seviyelerinde uçurulur. Böylece sülfat varlığı nedeniyle çökelti oluşturarak ikincil RO'da su geri kazanımını düşüren $BaSO_4$, $CaSO_4$ ve $SrSO_4$ oluşumu da engellenmiş olur (Subramani ve Jacangelo, 2014).

4.2.5.3. Oksidasyon bazlı teknolojiler

Oksidasyon bazlı prosesler ise esas olarak RO konsantresinde mevcut organiklerin konsantrasyonlarını azaltmak için kullanılmaktadır. Zhou vd. (2012) for the first time, the removal of organic pollutants from a high-salinity reverse osmosis (RO tarafından yapılan çalışmada RO konsantresinin arıtımında ozonlama prosesi UV ve hidrojen peroksit varlığında ve yokluğunda denenmiştir. Sadece ozon kullanımında %22 ÇOK giderimine ulaşılmış olmasına rağmen ozonla beraber UV ve titanyum dioksitin kullanılmasıyla ÇOK giderimi %52'ye kadar yükselmiştir.

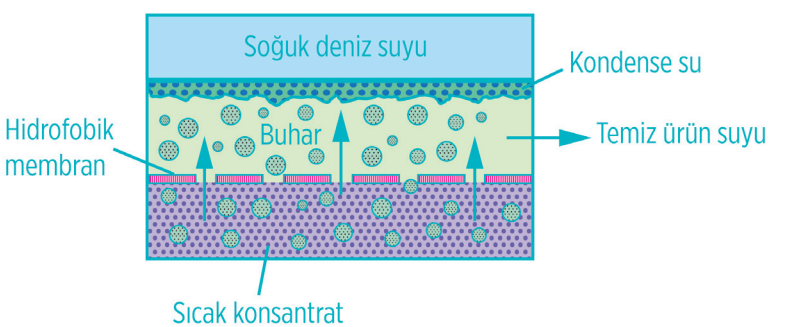
Dialynas vd. (2008) MBR-RO sisteminin konsantresinden çözünmüş organik madde giderimi için fiziksel ve kimyasal arıtma metotlar çalışmış olup, alum ve demir klorürün koagülant olarak kullanılması durumunda, sırasıyla, %42 ve %52 giderim verimleri elde etmiştir. Granül aktif karbon ile adsorpsiyon neticesinde ise %91,3 giderim verimine ulaşılmış olmakla birlikte elektrolitik oksidasyon sınırlı bir giderim verimine ulaşılmıştır. Benzer olarak Perez vd., (2010) tarafından yapılan çalışmada ikincil atıksu arıtma tesisi çıkış RO konsantresinden spesifik kirleticilerin giderimi için boron katkılı elmas elektrot ile elektro-oksidasyon prosesi kullanılmıştır. Sonuçlar ibufen haricindeki kirleticilerin %90-98 oranında giderilebildiğini göstermiştir.

4.3. TERS OSMOZ KONSANTRELERİNİN ARITIMINDA YENİ TEKNOLOJİLER

4.3.1. Membran Distilasyon (MD) Prosesi

Membran distilasyonu (MD) prosesinde membran ve termal prosesler bir araya gelmiştir (Ashoor vd., 2016a). Tahrik sıcaklık farkından kaynaklanmaktadır (Camacho vd., 2013). Sıcak ve soğuk akımlar arasındaki 10-20 °C fark neticesinde süzüntü üretimi mümkün olmaktadır (Adham vd., 2013). MD prosesinde bir sıvı-buhar ara fazı mevcut olup uçucu bileşenler hidrofobik bir membran üzerinden taşınırlar (Şekil 4.12).

MD ünitelerinin birçok konfigürasyonu olmasına rağmen direkt temaslı membran distilasyonu (DCMD), desalinasyon için en uygun konfigürasyondur. Bu proseste, sıcak tuzlu su, gözenekli hidrofobik membranın bir tarafında buharlaşır. Buharlaşan gaz fazındaki moleküller hidrofobik membrandan taşınır. Membranın diğer yüzünde soğuk akımla karşılaşan gaz fazındaki moleküller yoğuşarak sıvı faza geçerler. Böylece distile edilmiş sıvı elde edilir. Bu prosesteki ana avantajlar (1-4) ve dezavantajlar (5-7) aşağıda sıralanmıştır (Adham vd., 2013; Ashoor vd., 2016b; Childress, 2013; Dow vd., 2008; Song, 2009):



Şekil 4.12. Membran distilasyon prosesinin şematik gösterimi (http://www.separationprocesses.com/Distillation/Fig078d.htm)

1. Temel tahrik gücü olan buhar basıncı tuz konsantrasyonundan neredeyse hiç etkilenmez,

2. Organik tıkanma ve biyo-tıkanma düşüktür,

3. Güneş, jeotermal, atık ısı gibi alternatif enerji kaynakları ile çalışabilmesi,

4. İlk yatırım ve işletme maliyetlerinin düşüklüğü,

5. Bazı konvansiyonel desalinasyon proseslerine göre düşük kalan akı değeri,

6. Membran içinde sıkışan hava kütle transfer direnci yaratabilir,

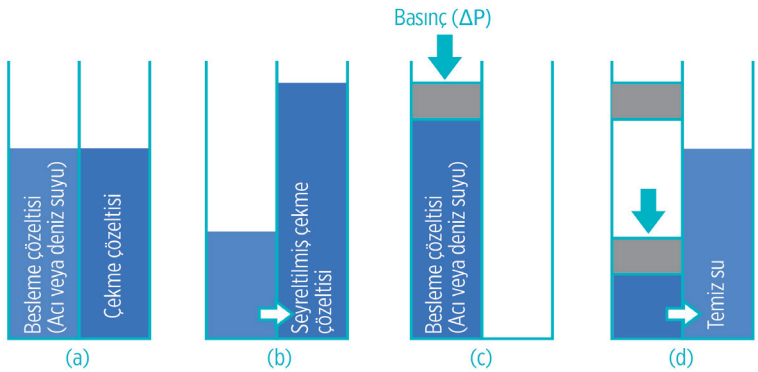
7. Yoğuşma bölgesinde ısı kaybı neticesinde termal verimliliğin düşüklüğü.

Vakumlu membran distilasyonunun (VMD) RO tesisinden çıkan konsantre akımların arıtılmasında uygulandığı bir çalışmada su geri kazanımı değeri ortalama %81 seviyesinde gerçekleşmektedir. Çalışmada tuz konsantrasyonu yükseldikçe FO prosesine karşı VMD prosesinin daha da avantajlı hale geldiği belirtilmiştir.

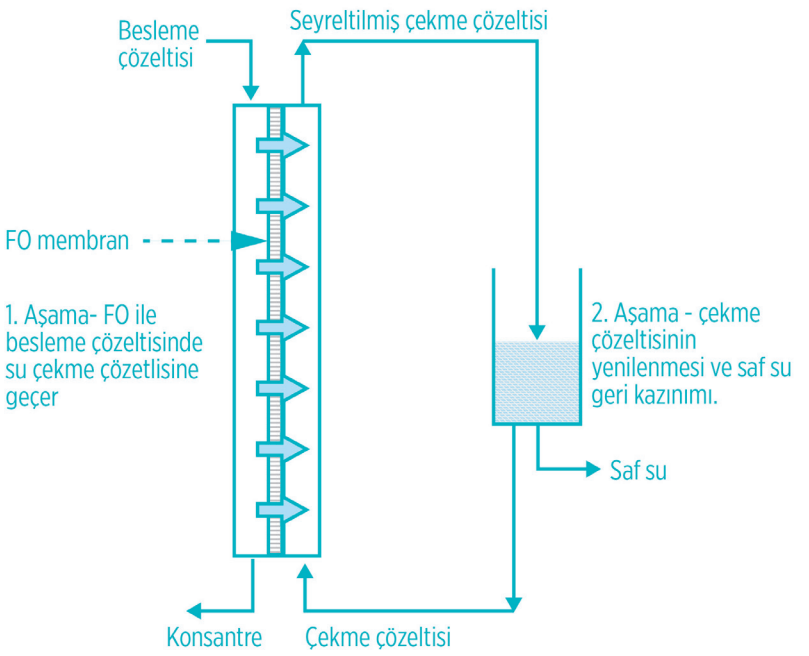
4.3.2. İleri Osmoz (FO) Prosesi

İleri osmoz (forward osmosis; FO), yarı geçirgen bir membran boyunca suyun besleme çözeltisi (düşük ozmotik basınç) tarafından çekme çözeltisi (yüksek ozmotik basınç) tarafına geçişi için ozmotik basınç farkından faydalanan bir membran prosesidir (Zhao vd., 2012). Bu hareketin itici gücü, çözünen konsantrasyonlarındaki farklılıkların neden olduğu ve membran boyunca oluşan ozmotik basınç farkıdır (Cath ve Elimelech, 2006) (Şekil 4.13).

FO prosesi yenilikçi bir membran prosesi olup hem desalinasyonda hem de konsantre akımların arıtılmasında kullanılmaktadır (Abdul-Wahab ve Al-Weshahi, 2009; Akther vd., 2015; Kazner vd., 2014; Martinetti vd., 2009; Morillo vd., 2014; Subramani ve Jacangelo, 2014). FO prosesi boyunca seyrelen çekme çözeltisinin tekrar konsantre hale getirilmesi gerekmektedir. RO'nun tersine, FO su moleküllerini taşımak için membran boyunca doğal ozmotik basınç farkını kullanır. Beslemenin ozmotik basıncını aşmak için hidrolik basıncın uygulanmasını gerektirmez. Bu nedenle sistemde yüksek basınç pompaları kullanılmaz. Bu durum sistemi ilk başta enerji verimliliği çok yüksek bir proses olarak gösterebilmektedir. Ancak sistem temel olarak iki aşamalıdır. Birinci aşama besleme çözeltisinden süzüntünün ayrıldığı kısımdır. Ancak çekme çözeltisi içine hapsedilen süzüntünün geri kazanıldığı bir ikinci aşama mevcuttur (Şekil 3.13). Bu aşama sistemin verimliliğine en çok etki eden parametrelerden bazılarını bünyesinde bulundurmaktadır.



Şekil 4.13. FO (a,b) ve RO (c,d) proseslerinin şematik karşılaştırılması



Şekil 4.14. FO prosesinin iki kademesini gösteren şematik akım diyagramı

RO tesisinden gelen konsantre akımının arıtıldığı bir çalışmada sentetik besleme çözeltisi NaCl, çekme çözeltisi fruktoz içermektedir (Tang ve Ng, 2008). Fruktoz sağladığı yüksek ozmotik basınç sayesinde avantajlı bir maddedir. Sonuçlara bakıldığında CA membranın akısının PA membrana göre daha yüksek olduğu anlaşılmıştır. Bu durumun nedeni olarak CA membranın seçici tabakasının inceliği gösterilmiştir. Maksimum su geri kazanım değeri %76 olarak elde edilmiştir. Tuz giderimi %99,7'dir. Ayrıca kullanılan çekme çözeltisinin biraz daha optimize edilmesiyle çok daha başarılı sonuçlara ulaşılacağı belirtilmiştir (Tang ve Ng, 2008).

Hancock vd., (2013) 70.000 mg/L'lik ortalama TÇK değerine sahip besleme suyunu 225.000 mg/L'ye konsantre edebilmek için FO prosesini kullanmıştır ve ortalama %60 sistem geri kazanım oranı ile 2-4 LMH su akısı elde etmiştir (Hancock vd., 2013). Sistem, metaller ve radyonüklitler, için Birleşik Devletler Çevre Koruma Ajansı'nın (USEPA) birincil ve ikincil arıtılmış su standartlarını sağlamanın yanında zirai amaçlı kullanım hedefi olan <0.05 mg/L bor seviyesini de yakalayabilmektedir (Hancock vd., 2013).

4.3.3. Termo-İyonik Proses

Termo-iyonik proses besleme suyu TÇK aralığı 20.000-80.000 mg/L olan sular ile bile çalışabilmektedir. Termo-iyonik proses, EDR sistemine benzeyen bir sistemle iyon değiştirici membranları kullanmaktadır. Bu sistemin EDR prosesinden farkı harici bir güç kaynağı yerine hiper-tuzlu çözeltide bulunan enerjinin kullanılmasıdır. Hiper-tuzlu çözelti, sıcaklığı ortam sıcaklığından 10 °C daha yüksek olan bir buharlaştırma ünitesinde üretilir (Saltworks, 2012). Sistemin ihtiyaç duyduğu tek harici güç kaynağı sirkülasyon pompaları ve fanların tükettiği elektrik enerjisidir. Termo-iyonik sistem RO konsantrelerinin bertarafında ZLD hedefine ulaşmak için kullanılmıştır.

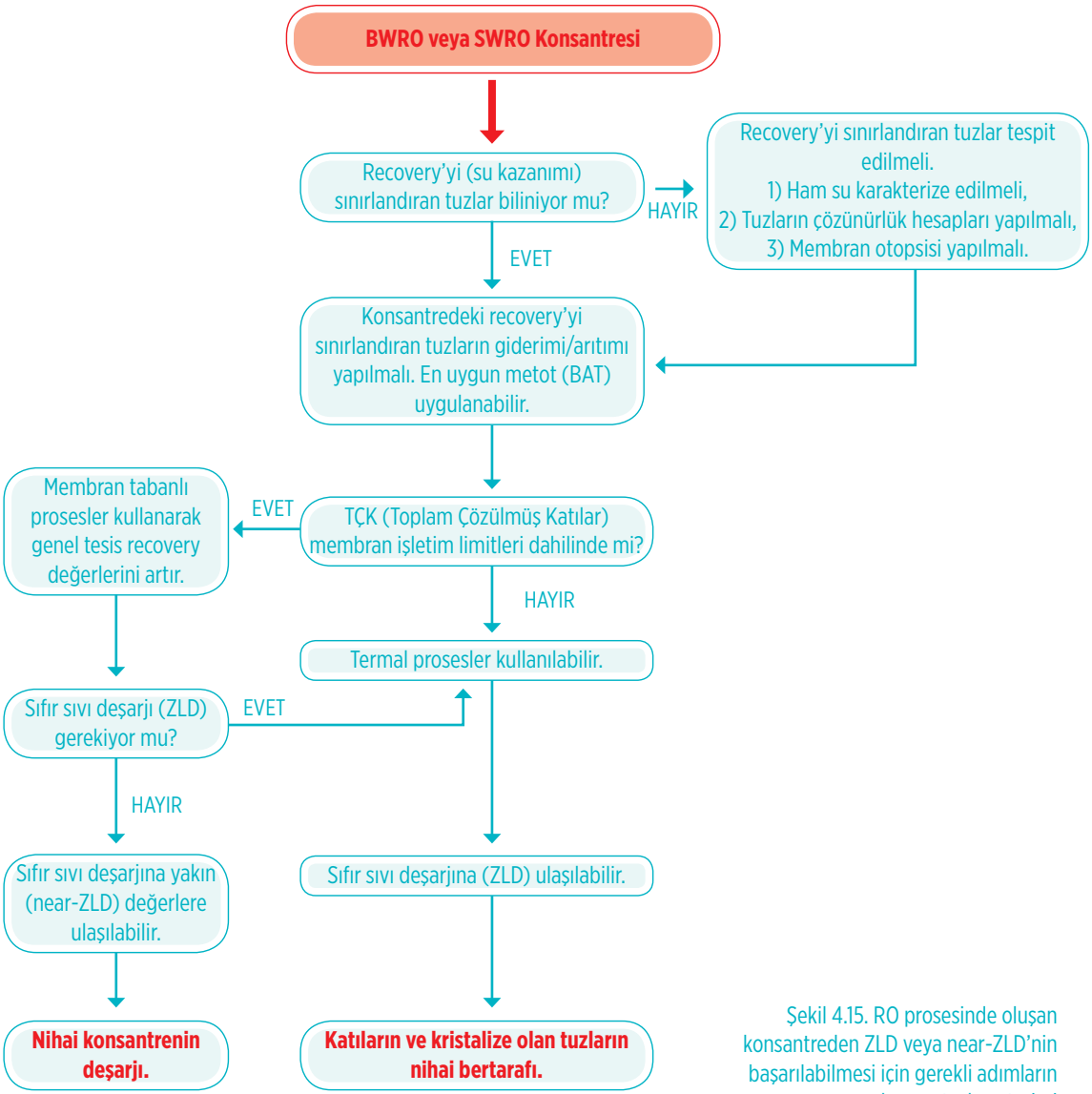
4.3.4. Ötektik Dondurma Kristalleşmesi

Dondurma ile desalinasyon, bir kristalleşme süreci olarak kategorize edilir. Bu işlemde, RO konsantresi, ötektik sıcaklığa ulaşılana kadar sürekli dondurulur (Kim, 2011). Fernández-Torres vd., (2012) yoğun enerji tüketen ve pahalı olan buharlaştırmalı kristalleşmeye (EC) alternatif olarak ötektik dondurma kristalleşmesini (EFC) önermiştir (Fernández-Torres vd., 2012). Ötektik sıcaklığın ötesinde daha fazla ısının uzaklaştırılması hem buz hem de tuz kristalleşmesine neden olmuştur. Oluşan buz kristalleri yıkanmış ve saf su elde etmek için yeniden eritilmiştir.

4.4. SIFIR SIVI ATIK (ZLD) SİSTEMLERİ

Sıfır Sıvı Atık (ZLD), birkaç aşamalı arıtma yoluyla, maksimum su geri kazanımı ve minimum konsantre hacmi elde etmeyi amaçlayan, en yenilikçi araştırma konularından biridir. ZLD sistemlerinde temel kombinasyon RO tandem sistemleri (Birincil RO+İkincil RO) olup, Al-Wazzan vd. (2003) yaptıkları çalışma ile tuzlu su arıtımında ürün suyu geri kazanımını arttırmış ve bunun yanısıra pilot ölçekli sistemde spesifik güç tüketiminde %37 oranında azalma sağlamıştır. Tandem RO sistemleri birçok çalışmada kullanılmış olup, araştırmacılar, geri kazanım oranının arttırılması ve RO membranındaki çökelmeleri önlemek için bu sistemlerde ara bir arıtımın gerekli olduğunu vurgulamışlardır. Bu sistemlerle sıfır atık amacını sağlayamasa da yüksek geri kazanımlar elde edilebilir. Bir membran kristalleştiricisi (MCr) ile WAIV (Wind Aided Intensified eVaporation) teknolojisinin kombinasyonuyla %89 kadar yüksek geri kazanım oranları elde edilmiştir (Perez-Gonzalez vd., 2012). Yapılan bu çalışmalar ışığında, ZLD hedefine dayalı

arıtım planları, RO konsantrelerinin arıtılmasında umut verici bir seçenek olarak gösterilmektedir. Yapılan ilk tahminler ve çalışmalar bu sistemlerin maliyet açısından uygulanabilir olduğunu göstermektedir. Ancak uygulanabilirliğin güvenli bir şekilde değerlendirilmesi için bu sistemlerin gerçek ölçekli tesislerde de denenmesi gerekmektedir. Evaporasyon ve kristalizasyon teknolojilerinin kombinasyonuyla değerli tuzlar geri kazanılabilir. Geri kazanılabilecek potansiyel ürünler ise; magnezyum hidroksit, sodyum klorür, kalsiyum karbonat, sodyum sülfat ve kalsiyum klorür gibi ticari ürünler olabilmektedir. Tahmini olarak, bu ticari ürünlerden elde edilecek olan ekonomik fayda çok yüksek olmasa da bu ticari tuzların geri kazanımı tuzsuzlaştırma proseslerinin maliyet verimliliği açısından oldukça önemli bir opsiyondur. ZLD hedefleri bağlamında bir karar destek ağacı Şekil 4.15'te verilmiştir.



Şekil 4.15. RO prosesinde oluşan konsantreden ZLD veya near-ZLD'nin başarılabilmesi için gerekli adımların konseptsel gösterimi

4.5. ORGANİK KİRLİLİK İÇEREN RO KONSANTRELERİ: ARITMA ALTERNATİFLERİ

Son yıllarda, ters osmoz sistemleri atıksu arıtma tesislerinin çıkışlarının ileri arıtımında veya su geri kazanımında yaygın olarak kullanılmaktadır. Atıksu arıtma tesisi RO konsantresinin tuz içeriği desalinasyon RO konsantrelerinden düşük olsa da, kalıcı mikro kirleticiler de dahil olmak üzere daha yüksek miktarda organik kirlilik içerirler. Bu konsantreler giriş atıksuyuna kıyasla 6-7 kat daha fazla kirlilik içermektedirler. Bu atıksulardaki kirlilik yükünü azaltmak için ileri oksidasyon prosesleri gibi spesifik arıtma metotları çalışılmıştır. Yapılan çalışmalar genelde atıksularda KOİ ve TOK gibi genel kirleticilere odaklanmakta olup, bunların yanısıra diğer kirleticilerin gideriminin de çalışılması gerekmektedir. Örneğin azot, atıksularda ikincil derecede kirletici olarak düşünülse de bu konsantrelerde 120 mg/L'ye kadar ulaşabilmektedir (Perez-Gonzalez vd., 2012).

Farklı çalışmalarda, RO konsantrelerinden çözünmüş organik karbon (ÇOK) giderimi için koagülasyon ve aktif karbon adsorbsiyonu gibi geleneksel arıtma yöntemleri kullanılmış olup, bu çalışmalarda %45-55 oranlarında ÇOK giderimleri elde edilmiştir (Dialynas vd., 2008). Ayrıca atıksu karakterizasyonunun giderim verimini etkilediği ve farklı karakteristiğe sahip atıksuların incelenmesi gerektiği de farklı çalışmalarda vurgulanmıştır. Bununla birlikte yapılan bir çalışmada aktif karbon adsorbsiyonu ile %91 oranında ÇOK giderimi gerçekleştirilmiş ve aktif karbon adsorbsiyonunun koagülasyona kıyasla daha umut vadeden bir proses olduğu rapor edilmiştir (Zhou vd., 2011).

Aşağıda RO konsantrelerinden organik madde giderimi amacıyla kullanılabilecek teknolojiler sunulmuştur.

4.5.1. Ozonlama

RO konsantrelerinden organik madde giderimi için ileri oksidasyon proseslerinin fizibilite testleri uygulanmış olup, ozonlama prosesinde yüksek enerji girdisine rağmen düşük miktarlarda ÇOK giderimi sağlanabilmiştir. Ancak UV ışınlaması veya hidrojen peroksit ilavesiyle daha iyi performanslar gözlenmiştir. Ayrıca yapılan çalışmalarda ÇOK giderim performansı ozonlamayla fotokataliz kombinasyonunda %52'ye kadar çıkarılmıştır. Bununla birlikte bu çalışmalarda atıksuların biyolojik olarak arıtılabilirliği 7-10 kat arttırılmıştır. Bu nedenle ozon ön arıtımı RO konsantrelerinin biyolojik arıtılabilirliğinin arttırılması için kullanılabilir (Perez-Gonzalez vd., 2012).

4.5.2. Fenton prosesi

Fenton prosesi RO konsantrelerinin giderimi için çok fazla çalışılmamış olup, yapılan bir çalışma bu yöntemle %50 oranında ÇOK giderilebileceğini göstermiştir (Westerhoff vd., 2009).

4.5.3. Fotokataliz ve fotooksidasyon

RO konsantrelerinden organik madde giderimine yönelik olarak UV/TiO_2 uygulanmasına yönelik yapılan bir çalışmada ÇOK giderimine yönelik olarak karanlık adsorpsiyon ve UVA ışık deneyleri gerçekleştirilmiş ve karanlık adsorpsiyonda elde edilen %30 ÇOK giderimine karşılık, 1 saatlik UVA ışık deneylerinde iki farklı katalizör dozajında %49 (1 g/L TiO_2) ve %41 (0.5 g/L TiO_2) ÇOK giderim verimleri elde edilmiştir (Dialynas vd., 2008).

4.5.4. Sonoliz

Ultrasonik ses dalgalarının kullanımıyla organik kirleticilerin giderilmesi olarak bilinmekte olup, tek başına kullanıldığında yüksek oranlarda dezenfeksiyon etkisine sahiptir. Bununla birlikte ultrasonik ses dalgalarına ilave olarak UV ışınları ve TiO_2, seramik gibi heterojen katalizlerle birlikte kullanıldığında etkisi arttırılmaktadır. Sonolizin ÇOK giderim verimi diğer İOP'lerden biraz daha düşüktür. Yapılan testlerde, 1 saatlik 67,5 W enerji ile girişte 10,1 mg/L olan ÇOK ancak %29 oranında okside edilmiştir. Enerjinin iki katına çıkarılması durumunda ise (135 W) ÇOK giderim verimi %34'e çıkmıştır (Dialynas vd., 2008).

4.6. TEKNOLOJİ ÖNCELİKLENDİRMESİ

Proje kapsamında Türkiye'de sayıları artmaya başlayan su geri kazanım tesislerinin konsantre akımlarının arıtım ve bertaraf yöntemleri sanayici ve diğer uygulayıcılar için daha anlaşılır hale getirilmek istenmiştir. Bu kapsamda, konsantre üreten tesislerin bu akımların bertaraf ve arıtımını sağlıklı yürütebilmek adına uymaları gereken adımlar mevcuttur. İlk etapta, konsantre akımın detaylı karakterizasyonu gerçekleştirilmelidir. Bu karakterizasyon üretim programındaki değişikliklere ve mevsimsel etkilere bağlı olarak gerçekleşebilecek debi ve kirlilik yükü değişimlerini içerecek şekilde yapılmalıdır. Karakterizasyon verilerinin doğruluğu teknoloji seçiminde ana kıstas olduğu için titizlikle yürütülmelidir. Bu noktada yapılacak hataların veya gözden kaçırılacak hususların telafisinin oldukça maliyetli olacağı öngörülebilir. İkinci etapta tesis yönetimince tekno-ekonomik uygulanabilirlik perspektifinde aşağıda verilen teknolojilerden uygun olanının seçilmesi gerekmektedir. Bu noktada seçilecek teknolojinin sadece ilk yatırım maliyetlerine odaklanılmaması, işletim maliyetlerinin de mutlaka göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Aynı zamanda seçilecek teknolojinin ilave kalifiye personel istihdamına gereksinim duyabileceği hususu da göz ardı edil-

memelidir. Üçüncü etapta, gerçekleştirilen yatırımın istenen faydayı sağlayıp sağlamadığına dair izleme çalışmaları gerçekleştirilmelidir. Ön değerlendirmede veya pilot testlerde tespit edilemeyen birtakım problemlerin ortaya çıkması durumunda düzeltici tedbirler vakit geçirmeden alınmalıdır.

Konsantre akımlar tesislerin spesifik üretim prosedürlerine bağlı olarak, nicel ve nitel özellikleri bağlamında kayda değer değişimler göstermektedir. Bu nedenle seçilecek teknolojiler proje spesifik bazda detay seviyede incelenmelidir. Ancak, sanayicinin yatırım öncesi ilk adımı atarken yaşaması muhtemel karmaşayı en aza indirgemek bu çalışmanın temel hedefini oluşturmaktadır. Bu kapsamda, konsantre akımlar için en kapsayıcı ve arıtma teknolojilerinin seçiminde en belirleyici olan temel parametreler üzerinden bir karar ağacı oluşturularak sanayicinin atacağı ilk adıma karar destek mekanizması oluşturulmaya çalışılmıştır. İlgili teknolojilerin sanayici açısından en önemli özellikleri aşağıda özet biçimde vurgulanmıştır. Karar ağacında yapılan yönlendirmelerin detayları metin içinde verilerek karar ağacının detaylarına hakim olunması amaçlanmıştır.

4.6.1. Basınç Tahrikli Membran Tabanlı Teknolojiler

Basınç tahrikli membran prosesleri konsantre arıtımında dünya genelinde rutin olarak uygulanmaktadır. Membran değişim ve enerji maliyetlerinin karşılanabilmesi durumunda etkin bir çözüm sunabilirler. Ancak TÇK değerinin yüksek olduğu durumlarda tortulaşma ve konsantrasyon polarizasyonundan olumsuz etkilenmekte olup mutlaka bir ön arıtma kademesine (kimyasal yumuşatma vb.) ihtiyaç duymaktadırlar. TÇK değerinin 30.000 mg/L'den daha büyük olduğu durumlarda işletim zorlukları artarken fizibilite azalmaktadır. Bu nedenle yüksek TÇK değerlerinde termal proseslere yönelmekte fayda bulunmaktadır. Ayrıca bazı ticari patentli sistemlerin kompleks yapısı işletimi karmaşıklaştırabilmektedir. Bunun yanında, silisyum problemi mevcut ise (örneğin, konsantrede Si konsantrasyonu >100 mg/L) polimerik membran işletimlerinde ciddi tıkanma sorunları olabilmektedir. Bu teknolojinin Türkiye'de kullanımı proje spesifik şartlar uygun ise önerilebilir. Aşağıda



Şekil 4.16. Konsantre kademelendirmesi (Degremont, 2017)



Şekil 4.17. Elektrodiyaliz ünitesi (Novasep, 2017)

iki örnek sunulmuştur.

- Konsantre kademelendirmesi (RO uygulaması)
- Ticari patentli sistemler

4.6.2. Elektrik Tahrikli Membran Tabanlı Teknolojiler

Bu teknolojiler ile TÇK değeri belirli bir seviyeye (0-5.000 mg/L) kadar olan konsantre akımların arıtılabilmesi mümkündür. TÇK değerinin çok yüksek olduğu durumlarda enerji maliyetleri üstel biçimde artarak proses fizibilitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Membran permeabilitesi ile uygulanan elektriksel akım değeri arasında doğru orantı bulunmaktadır. Ancak arttırılan elektriksel akım değerleri enerji verimliliğine negatif yönde etki etmektedir. Bu nedenle elektrik akımı ve permeabilite değerleri arasında yapılacak optimizasyon membran alanı bağlamında ilk yatırım maliyetine, enerji tüketimi bağlamında ise işletim maliyetlerine etkiyecektir. Bu teknolojinin Türkiye'de kullanımı proje spesifik şartlar uygun ise önerilebilir. Ancak elektrik maliyeti ve TÇK konsantrasyonu hususları maliyette kritik önemdedir. Aşağıda iki örnek sunulmuştur.

- Elektrodiyaliz (ED)
- Ters Elektrodiyaliz (EDR)

4.6.3. Kimyasal Tabanlı Teknolojiler

Kimyasal tabanlı teknolojiler genellikle diğer arıtma kademelerinin yükünün azaltılması amacı ile kullanılabilirler. Özellikle sertlik oluşturan inorganiklerin gideriminde etkindirler. Membran tabanlı konsantre arıtımında genellikle ön arıtma aşamasında yoğun olarak kullanılmaktadırlar. Özellikle sertliğin 40 Fr.'den büyük olduğu durumlarda kullanılmaması gerekmektedir. Doğru kimyasal prosesin seçilmesi aşamasında su karakterizasyonun detaylı ve mevsimsel değişimlerden arındırılmış olarak yapılması önem arz eder. Bu teknolojinin Türkiye'de kullanımı proje spesifik şartlar uygun ise önerilebilir. Aşağıda üç örnek sunulmuştur.

- Kimyasal yumuşatma
- Pelet reaktörler
- Aşılanmış çöktürme ve geri kazanım

4.6.4. Termal Tabanlı Prosesler

Termal tabanlı teknolojiler özellikle yüksek TÇK değerlerine (>30.000 mg/L) sahip konsantre akımların arıtılmasında en etkili çözümlerden bir tanesidir. ZLD hedeflerine ulaşılmasında da halen rakipsiz bir potansiyele sahiptir. Ancak bu proseslerin enerji maliyetleri çok yüksek olup ülkemiz koşullarındaki uygulanabilirliği sınırlı olabilecektir. Dünya genelinde hidrokarbon kaynakları açısından zengin ülkelerce tercih edilmektedirler. Sadece buharlaştırma havuzları arazinin bol ve ucuz olduğu durumlarda, iklim koşulları da uygun ise düşük debili



Şekil 4.18. Pellet reaktör ünitesi (SWS, 2017)



Şekil 4.19. Buharlaştırma havuzu (AEC, 2017)

konsantre akımlar için etkili ve fizibil bir seçenek olabilecektir. Termal teknolojilerin Türkiye'de kullanımı ancak proje spesifik şartlar uygun ise (tesiste atık ısı mevcut) ve/veya ZLD hedefi mevcut ise önerilebilir. Her durumda öncelikli olarak enerji maliyetlerine odaklanılmalıdır. Bu şartların sağlanmadığı durumlarda önerilmez. Aşağıda dört örnek sunulmuştur.

- Buharlaştırma havuzları
- MED, MSF, TVC/MVC
- Tuzlu su konsantratörü
- Rüzgar destekli yoğunlaştırılmış evaporasyon (WAIV)

4.6.5. Mevcut Diğer Teknolojiler

Bu teknolojiler genellikle laboratuvar ya da pilot ölçekli çalışmalar ile sınırlı kalmış olup, membran konsantre arıtımı için gerçek saha koşullarındaki uygulama potansiyelleri marjinal olarak derecelendirilebilir. Bu teknolojiler yoğun işletim bilgisi gerektirmelerinden ve uygulama alanları çok sınırlı olduğundan dolayı Türkiye'deki kullanımları



Şekil 4.20. Elektrokoagülasyon ünitesi (Pollucon, 2017)



Şekil 4.21. Ötektik dondurma kristalleştirmesi ünitesi (Evides, 2017)

proje spesifik şartların uygun olduğu durumlar hariç önerilmez. Bu teknolojiler önerilmediği için karar ağacında sunulmamıştır. Aşağıda iki örnek sunulmuştur.

- Elektrokoagülasyon
- Ara biyolojik indirgeme

4.6.6. Yenilikçi Teknolojiler

Bu teknolojiler henüz ticari olgunluk seviyesinde değildir. Özellikle spesifik bazı avantajları ile ortaya çıkan bu proseslerin emekleme dönemi aşılmadan kullanımının önerilmesinin sağlıklı olmadığı değerlendirilmektedir. Maliyet bağlamında yapılacak değerlendirmeler de bu kapsamda yanıltıcı olabilecektir. Bu teknolojilerin Türkiye'de kullanımı proje spesifik şartların uygun olduğu durumlar haricinde önerilmez. Bu teknolojiler önerilmediği için karar ağacında sunulmamıştır. Aşağıda üç örnek sunulmuştur.

- İleri osmoz (FO) prosesi
- Termo-iyonik proses
- Ötektik dondurma kristalleşmesi



Şekil 4.22. Ozonlama ünitesi (Wedeco, 2017)

4.6.7. Organik Madde İçeriği Yüksek Konsantre Akımların Arıtılması

Atıksu arıtma tesislerinin çıkış sularının veya organik madde içeriği yüksek bazı spesifik endüstrilerden gelen atıksuların geri kazanıldığı ileri arıtma sistemlerinin konsantrelerinin, konvansiyonel desalinasyon tesisi konsantrelerinden ayrı bir doğası vardır. Özellikle KOİ, TOK gibi parametrelerin önem kazandığı bu durumlarda organiklerin etkin giderimi önem arz eder. Organik maddenin gideriminden sonra TÇK değerine göre diğer arıtma kademelerine yönlendirme yapılır. Sonuç olarak, KOİ>1000 mg/L seviyesinde ise aşağıda verilen tekniklerin kullanımı önerilmektedir. Ayrıca, konsantre akımda mikrokirletici problemi olduğu durumlarda da benzer teknikler kullanılabilir. Karar ağacında da görüleceği üzere organik madde giderimi ve/veya mikrokirletici açısından zengin konsantre akımlarda aşağıdaki teknikler bir ön arıtma şeklinde çalışmaktadır. Bu teknolojilerin Türkiye'de kullanımı proje spesifik şartlar uygun ise önerilebilir. Aşağıda dört örnek sunulmuştur.

- Aktif karbon adsorpsiyonu
- Koagülasyon/Kimyasal çöktürme
- Ozonlama
- İleri oksidasyon prosesleri

4.6.8. Endüstriyel Konsantrelerin Arıtımı/ Minimizasyonunda Kritik Parametreler Temelinde Teknoloji Seçimi Karar Ağacı

Konsantre akımlar evsel, endüstriyel ve desalinasyon tesislerinden gelen akımlar olarak ayrıldığında arıtım teknikjlerinde de farklılıklar görülmektedir. Özellikle evsel nitelikli atıksuların arıtıldığı

tesislerin konsantre akımlarında organik kirliliklerin giderimine yönelik teknolojiler önem kazanmakta iken desalinasyon tesislerden gelen konsantre akımlarda ana arıtma parametresi çözünmüş katı içeriğidir. Bu kapsamda, evsel, endüstriyel ve desalinasyon tesislerinden gelen konsantre akımlara uygulanabilecek ana stratejiler Çizelge 4.3'te verilmiştir. Çizelge 4.3 kapsamında genel bir yaklaşım sunulmuştur. Bir takım spesifik tesislerde arıtma önceliklerinin değişebileceğinin altı çizilmelidir.

Ayrıca, konsantre akımlar için en kapsayıcı ve arıtma teknolojilerinin seçiminde en belirleyici olan temel parametreler üzerinden bir karar ağacı oluşturularak (Şekil 4.23) sanayicinin atacağı ilk adıma karar destek mekanizması oluşturulmaya çalışılmıştır. Bu karar ağacı evsel, endüstriyel ve desalinasyon tesislerini kapsayacak şekilde kurgulanmıştır. İlgili teknolojilerin sanayici açısından en önemli özellikleri aşağıda özet biçimde vurgulanmıştır. Karar ağacında yapılan yönlendirmelerin detayları metin içinde verilerek karar ağacının detaylarına hakim olunması amaçlanmıştır.

Çizelge 4.3. Farklı su geri kazanım tesisleri için arıtım öncelikleri

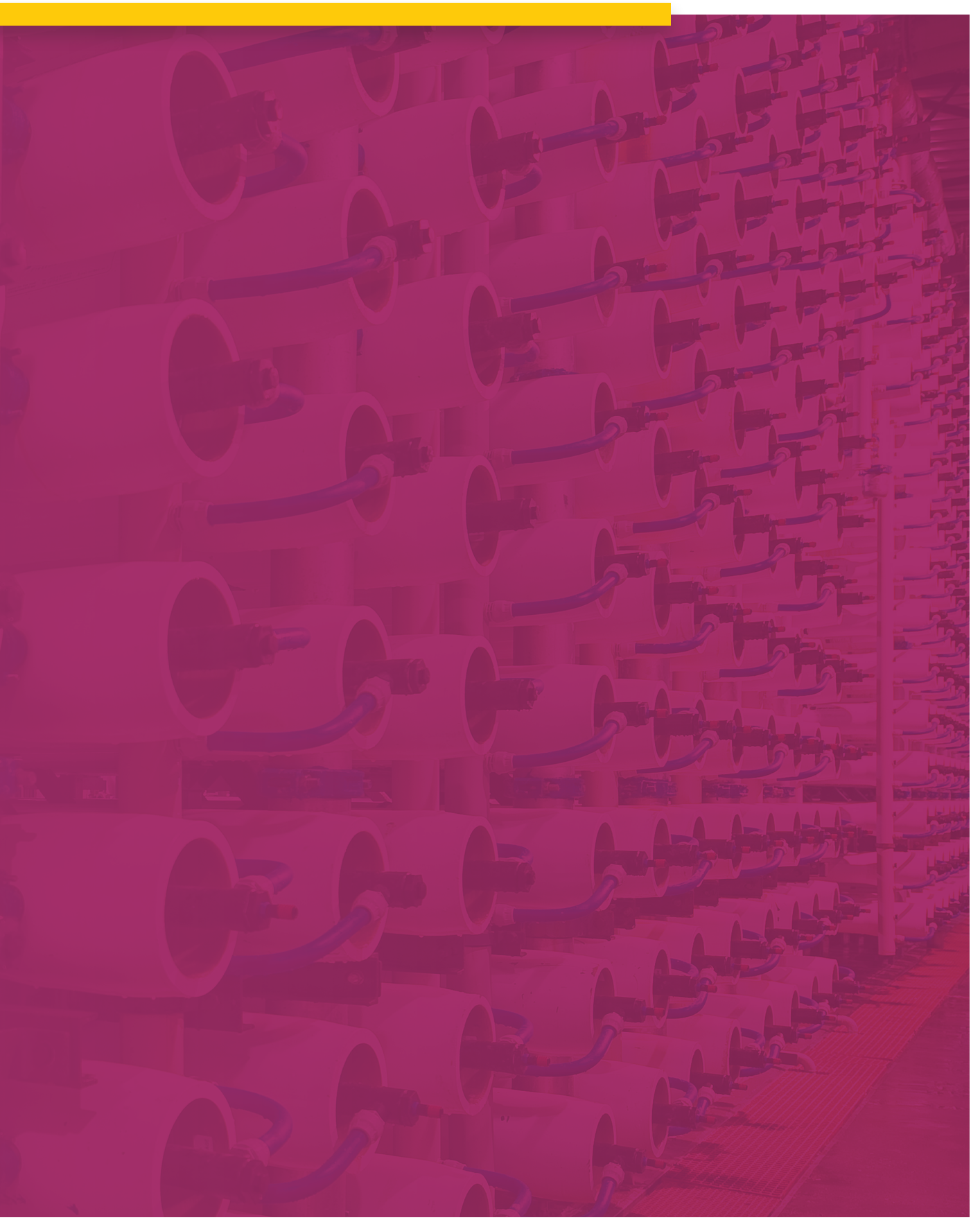
Tesis Tipi	Arıtma Parametresi Önceliği	Uygulanabilecek Teknolojik Yaklaşımı	Arıtma Prosesi
EVSEL	KOİ	Organik Giderim Teknolojileri	Aktif Karbon Adsorpsiyonu Koagülasyon/Kimyasal Çöktürme Ozonlama İleri Oksidasyon Prosesleri
	Mikrokirleticiler		
	TÇK	Basınç Tahrikli Membran Teknolojileri	Konsantre kademelendirmesi (RO uygulaması) Ticari patentli sistemler
		Elektrik Tahrikli Membran Teknolojileri	Elektrodiyaliz (ED) Ters Elektrodiyaliz (EDR)
ENDÜSTRİYEL	TÇK	Basınç Tahrikli Membran Teknolojileri	Konsantre kademelendirmesi (RO uygulaması) Ticari patentli sistemler
	TÇK	Elektrik Tahrikli Membran Teknolojileri	Elektrodiyaliz (ED) Ters Elektrodiyaliz (EDR)
	KOİ	Organik Giderim Teknolojileri	Aktif Karbon Adsorpsiyonu Koagülasyon/Kimyasal Çöktürme Ozonlama İleri Oksidasyon Prosesleri
	Mikrokirleticiler	Organik Giderim Teknolojileri	Aktif Karbon Adsorpsiyonu Koagülasyon/Kimyasal Çöktürme Ozonlama İleri Oksidasyon Prosesleri
DESALİNASYON	TÇK	Membran Teknolojileri	Konsantre kademelendirmesi (RO uygulaması) Ticari patentli sistemler
		Termal Teknolojiler	Buharlaştırma havuzları MED, MSF, TVC/MVC Tuzlu su konsantratörü Rüzgar destekli yoğunlaştırılmış evaporasyon (WAIV)



Şekil 4.23. Endüstriyel konsantrelerin arıtımı/minimizasyonunda kritik parametreler temelinde teknoloji seçimi karar ağacı

BEŞİNCİ BÖLÜM

KONSANTRE ARITIMI VE BERTARAF YÖNTEMLERİ AÇISINDAN ULUSLARARASI UYGULAMALAR

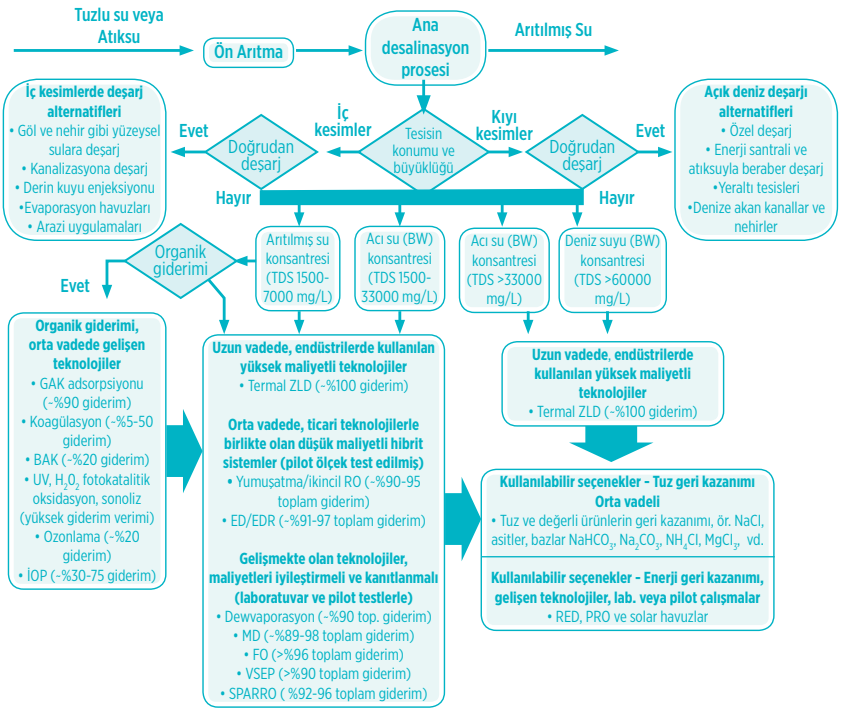


5. KONSANTRE ARITIMI VE BERTARAF YÖNTEMLERİ AÇISINDAN ULUSLARARASI UYGULAMALAR

5.1. GİRİŞ

Konsantre Yönetimi için yaygın olarak kullanılan yöntemler; i) yüzeysel sulara deşarj, ii) kanalizasyona deşarj, iii) derin-kuyu enjeksiyonu, iv) arazi uygulamaları, v) buharlaştırma havuzları ve vi) sıfır sıvı deşarjı (ZLD) için termal proseslerdir. Bu yöntemlerin avantaj ve dezavantajları Çizelge 5.1'de verilmiştir. En çok kullanılan yöntemlerin başında yüzeysel sulara (okyanuslar, ırmaklar, akarsular, göller vb.) deşarj gelmektedir. Bu yöntem hem deniz suyu hem de acı su desalinasyonu tesislerinden kaynaklanan konsantre akımların bertarafı için uygulanabilmektedir. Kanalizasyona deşarj uygulaması konsantre yönetimi için oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak deşarjın yüksek tuz içeriğinden dolayı bu uygulama sadece düşük debili tesisler için uygun olacaktır. Derin-kuyu enjeksiyonu yöntemi ise hem küçük hem de büyük ölçekli tesisler için uygun olan oldukça popüler yöntemlerden biridir. Bugüne kadar uygulanan arazi uygulamaları ve buharlaştırma havuzları yöntemleri ise sadece küçük ölçekli tesislerden kaynaklanan konsantre akımlarının bertarafı için kullanılmıştır (Voutchkov, 2011).

Membran proseslerinin optimizasyonundaki stratejilerinden birisi konsantrenin arıtılması ve miktarının azaltılmasıdır. Konsantre miktarının azaltılması için geliştirilecek stratejilerden birisi de entegre su arıtma sistemlerinin uygulanmasıdır. Bu sistemler içerisinde; MBR/RO, Ozon/UF(/MF)/RO, MF/RO/İOP, ön



Şekil 5.1. Konsantre yönetimi stratejilerine karar verme diyagramı BAK: biyolojik aktif karbon, ED: elektrodiyaliz, EDR: elektrodiyaliz polarizasyonu, FO: ileri osmoz, GAK: granül aktif karbon, İOP: İleri oksidasyon proseleri, MD: membran distilasyonu, PRO: basınç geciktirmeli osmoz, RED: ters elektrodiyaliz, RO: Ters osmoz, SPARRO: çamur koagülasyonu ve geri kazanılan RO, TDS: Toplam çözünmüş katılar, ZLD: sıfır sıvı deşarjı (Xu vd., 2013)

arıtma/UF(/MF)/RO ve ön arıtma(/İOP)/RO gibi hibrit ve ileri oksidasyon prosesleri (İOP) yer almaktadır (Sung Hee Joo ve Tansel 2015). Literatürde yer alan konsantre miktarının azaltılması için uygulanan hibrit arıtma sistemlerinin özellikleri ve avantaj/dezavantajları Çizelge 5.2'de sunulmuştur.

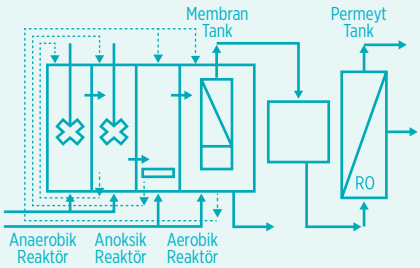
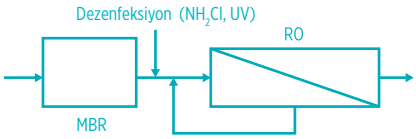
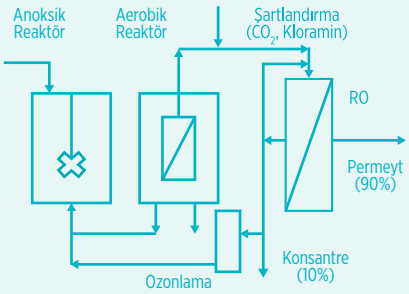
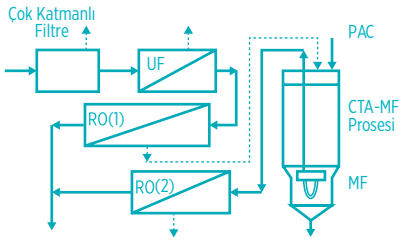
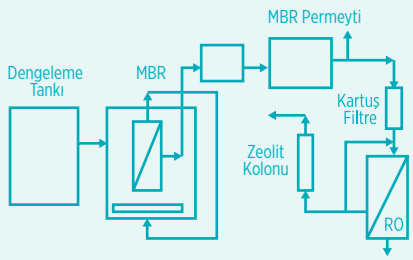
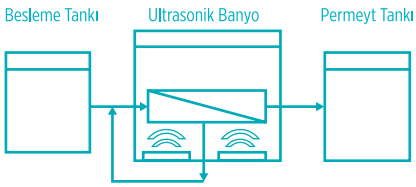
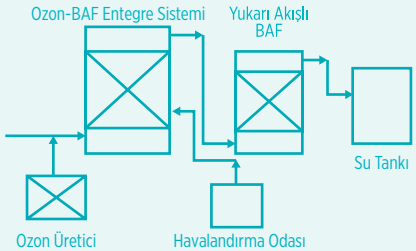
Membran proseslerini uygulayan tesislerinin sayısı arttıkça oluşacak konsantre akımları artmaktadır. Ancak konsantrenin sınırlı bertaraf yöntemlerinin bulunması ve çevresel etkileri nedeniyle konsantre yönetimi konusu büyük önem kazanmıştır. Sıkı deşarj mevzuatlarının bulunması, çevresel etkilerinden dolayı halkın dikkatini çekmesi ve aynı zamanda bertarafının zor olması nedeniyle konsantre miktarının azaltılması gerekmektedir. Bu bağlamda konsantre yönetimi stratejilerinin seçiminde rehber oluşturacak akım diyagramı Şekil 5.1'de gösterilmiştir.

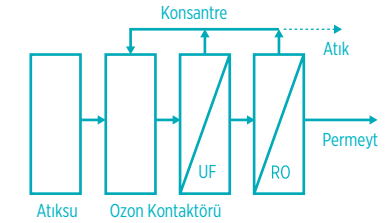
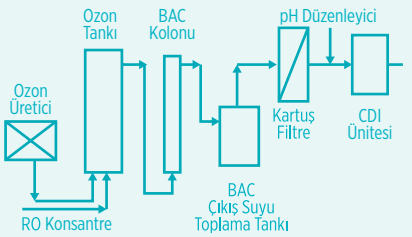
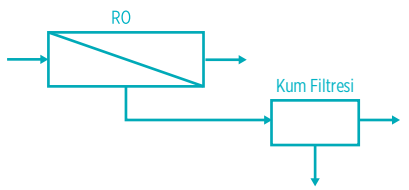
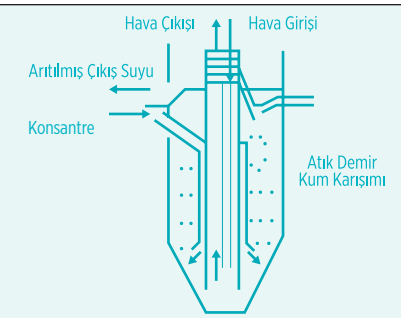
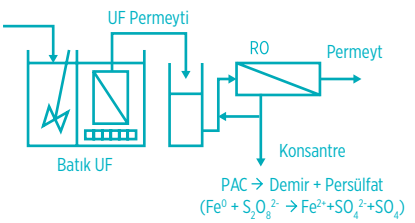
MEMKON Projesi kapsamında hazırlanan el kitabının bu kımında konsantre arıtımı ve bertarafı yöntemlerini uygulayan pilot veya gerçek ölçekli tesisler incelenmiştir. Sonuç raporunda detayları verilen bu tesislerin özet bilgileri aşağıda sunulmuştur. Yapılan literatür araştırmaları, dünyadaki yaygın uygulamalar hakkında genel bir fikir sunmaktadır.

Çizelge 5.1. Konsantre yönetimi seçeneklerinin karşılaştırılması (Xu vd., 2013)

Konsantre yönetim seçenekleri	Avantajları	Karşılaşılan zorluklar ve belirsizlikler
Yüzeysel sulara deşarj	Tüm ölçekteki tesisler için kullanılabilir	Farklı tuzluluk içeriklerinden ve konsantre ile yüzeysel sular arasındaki iyon dengesizliklerinden dolayı sucul canlılara olası ters etkileri
	Uygun maliyetli	Kompleks ve maliyet artışına müsait
Kanalizasyona deşarj	Acı su ve atıksu arıtma tesisleri için yaygın olarak kullanılmaktadır	Sadece küçük ölçekli tesisler için fizibıldır. Atıksu toplama sisteminin hidrolik kapasitesinin yetersizliği ve atıksu arıtma tesisinin arıtma kapasitesinin düşük olması bu seçeneği sınırlamaktadır
	Düşük enerji kullanımı ve düşük maliyetli	Atıksu artıma tesislerinin işletimini ve kullanılmış suların faydalı amaçlar için yeniden kullanımını (konsantrenin yüksek konsantrasyonlarda tuzluluk ve sodyum, klorür, bor gibi spesifik içeriklerinden dolayı) etkileyebilir
Derin-kuyu enjeksiyonu	Denizden uzak iç kısımlardaki tesisler için uygundur	Büyük ölçekli tesisler için sıklıkla uygulanmaktadır ve genellikle pahalı bir uygulamadır
		Uygun jeolojik formasyona ve kapalı tuzlu akiferine ihtiyaç duyulmaktadır (yüksek sismik aktivitesi olan alanlarda veya jeolojik kırıkların yakınlarındaki alanlar için fizibıl değildir)
		Su temin edilen akiferlere sızarak karışabilmesi nedeniyle izinler gün geçtikçe daha da sıkılaştırılmaktadır.
Buharlaştırma havuzları	Hem karadaki hem de kıyıdaki tesisler için uygundur	İklime bağlıdır
	Kolaylıkla uygulanabilir ve düşük bakım gereksinimi vardır	Oldukça fazla alan ihtiyacı vardır
	Eğer arazi pahalı değilse ekonomik yönü bulunmaktadır	İzlinler ile ilgili mevzuatlar karmaşık olabilir
		Erozyon, sızma ve vahşi yaşam yönetiminin kontrol edilmesine ihtiyaç vardır
Arazi uygulamaları	Uygulanması kısmen daha kolay ve düşük maliyetlidir	Tuza toleransı az olan otlar, bitkiler ve ağaçların sulanması için uygun değildir
	Konsantrenin faydalı kullanımı sağlanabilir	Küçük ölçekli tesisler için uygulanabilir
		Mevsimsel sulama ihtiyaçlarına ve iklime bağlıdır
		Yeraltı suyu koruma kanunları sınırlayıcıdır
		Toprak ve yeraltı suyunun kirlenme potensiyeli bulunmaktadır
Termal sıfır sıvı deşarjı	Ayrıntılı ve yorucu izin alma prosesleri bulunmamaktadır	Yatırım ve enerji maliyetleri yüksektir
	Daha az çevresel etkilere sahiptir	En son tuzlu su veya tuzun bertarafı maliyetli olabilir
	Değerli tuzların geri kazanımı potansiyeli bulunmaktadır	Kabon ayak izi büyüktür

Çizelge 5.2. Konsantre miktarının azaltılması için uygulanan entegre arıtma sistemlerinin karşılaştırılması (Sung Hee Joo ve Tansel 2015)

Proses Şeması	Açıklama: faydaları ve kısıtlamaları	Besleme suyu	Ref.
	Entegre MBR+RO prosesi: Mükemmel farmasötik giderimi (>%99), EOC'lere değinilmemiştir.	Kentsel atıksu	(Dolar D., vd., 2012)
	MBR; klor+RO ile birleştirilmiştir: tamamen giderim olmamasından dolayı THM oluşumu gerçekleşmiştir, konsantre RO girişine devirdaim edilmektedir ve geri kazanım oranı artmıştır.	Kentsel atıksu	(Comerton A.M., vd., 2008)
	MBR çıkışının pH'sı CO_2'le düşürülerek RO'a beslenmektedir. RO konsantresi ozonlanarak biyolojik tanka geri döndürülmekte: konsantre miktarı ciddi ölçülerde azalmakta ve ozonlamayla/ozonlamasız yeterli arıtım sağlanmaktadır.	Kentsel atıksu	(Joss A., vd., 2011)
	Karşıt akımlı iki-aşamalı toplamorganik karbon (TOK) adsorpsiyonu ve MF: UF'ten gelen konsantre, PAC+MF, ikincil yüksek geri kazanımlı (%91) RO'yla tasfiye arıtılmakta, böylece petrokimya konsantresindeki çözünmüş organiklerde yüksek giderim.	Kentsel atıksu	(Zhao C., vd., 2013)
	MBR-RO-sabit yataklı kolon sisteminin kombinasyonu: konsantre, sabit yataklı kolonda zeolitle arıtılmaktadır, konsantrede kısmi organik madde gidierimi, Cu, Fe, Ni, Cr ve Pb'nin (RO'dan) tamamen giderimi;> %90 metal giderimi (MBR-RO'dan)	Kentsel atıksu	(Malamis vd., 2012)
	MF, adsorpsiyon ve ultrasonik banyo simültane sistem: >%99 EOC giderimi (seçilmiş farmasötikler), ultrasonik radyasyon frekansının azalması daha yüksek performans sağlamakta.	Endüstriyel atıksu	(Secondes, vd., 2014)
	Ozon-biyolojik havalandırmalı filtreyle (BAF) yukarı akışlı BAF kombinasyonu, UF sonrası RO membran sisteminde ön arıtma olarak kullanılmış: sistemlerin entegrasyonu, sistemlerin tek başına yaptıklarından daha yüksek KOİ ve renk giderimi sağlamış. Konsantre, tekstil endüstrisinin deşarj standartlarını sağlamıştır.	Endüstriyel atıksu (tekstil)	(Qi L., vd., 2011)

Proses Şeması	Açıklama: faydaları ve kısıtlamaları	Besleme suyu	Ref.
	Entegre ozon-UF-RO prosesi: Tekstil atıksularının ön ozonlaması sonrasında UF ve RO, %83 KOI, %81 renk giderimi sağlamış; UF ve RO'dan çıkan konsantre ozon tankına geri çevrillmektedir.	Endüstriyel atıksu (tekstil)	(Chang vd., 2009)
	Ozon-biyolojik aktif karbon (BAK)-kapasitif deiyonizasyon (CDI) sistemi kombinasyonu: CDI prosesi %80'in üzerinde anyon ve katyon giderimi sağlamakta.	Evsel atıksu	(Lee vd., 2009)
	Entegre RO-kum filtrasyonu sistemi: MF-RO-kum/demir-kaplı aktif karbonla doldurulan sabit yataklı kolon sistemi, TOK'u 1 saat içinde tamamen gidermektedir.	Evsel atıksu	(Joo, 2014a)
	MF-RO-atık demirle dolu DynaSand sistemlerinin entegrasyonu: giderim oranları KOİ %40, TP %80 ve TN %20.	Evsel atıksu	(Joo, 2014a)
	RO konsantresi; ardışık PAC adsorpsiyonu ve demir-aktive persülfat oksidasyonu sistemiyle arıtılmaktadır.	Evsel atıksu	(Joo, 2014b)

5.2. KONSANTRE ARITIMI ve BERTARAFI UYGULAMA ÖRNEKLERİ

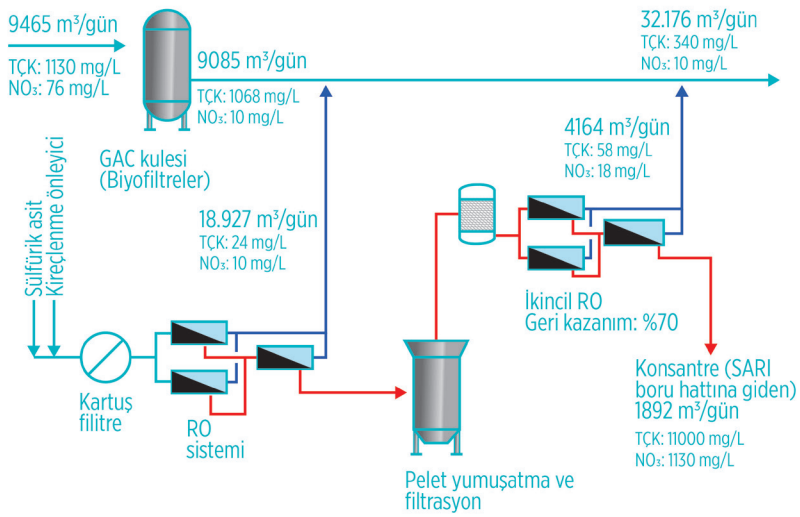
5.2.1. Pellet yumuşatma tesisi (Riverside, Kaliforniya)

- Tesis 22.712 m³/gün deiyonize su üretmek için ters osmoz membranları kullanmaktadır. Sisteme ait akım şeması Şekil 5.2'de, tesise ait fotoğraflar ise Şekil 5.3'de gösterilmiştir.

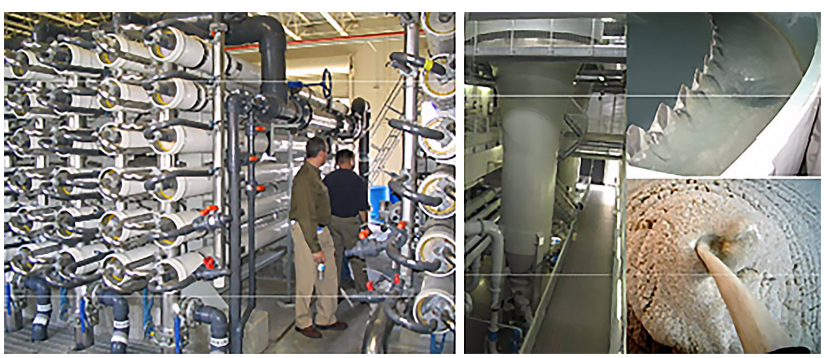
- Birincil RO membran 18.927 m³/gün, ikincil RO 4164 m³/gün iken sistemin konsantre üretimi 1892 m³/gün'dür. Ayrıca sistemin toplam su geri kazanımı %94'dür (Seacord, 2010).

- Konsantre geri kazanımı için yapılan yatırım maliyeti $16,9-mil, işletme maliyeti $698/AF ($2,14/kgal)'dır. Tüm tesisin toplam enerji ihtiyacı 1869kW-hr/AF (5,73 kW-hr/kgal)'dır (Seacord, 2010).

- Konsantre, Kaliforniya'da bulunan 23 mil uzunluktaki Santa Ana River Interceptor (SARI) atıksu boru hattına verilmektedir.



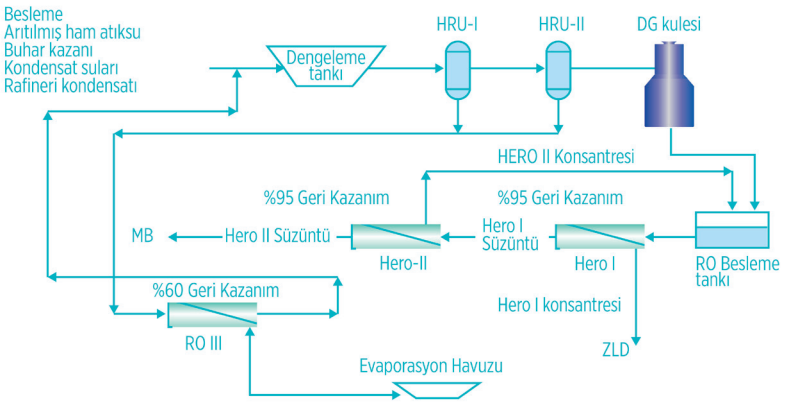
Şekil 5.2. Kaliforniya'da faaliyette olan ve ikincil RO öncesi pellet yumuşatma yapan tesisin akım şeması. SARI (Santa Ana River Interceptor): Kaliforniya'da bulunan 23 mil uzunluktaki atıksu boru hattı (Seacord, 2010)



Şekil 5.3. Tesisin RO membran sistemleri ve pellet reaktöre ait fotoğraflar (Seacord, 2010)



Şekil 5.4. Geri kazanım tesisine ait fotoğraflar



Şekil 5.5. Geri kazanım tesisi akım şeması (Aquatech International Corporation)

5.2.2. HMEL (HPCL-Mittal Energy Ltd) Rafinerisi, Hindistan

• HMEL şirketi Hindistan'da faaliyet gösteren ve Hindistan Petroleum Corporation Limited ve Mittal Energy Investment PTE Ltd ortak iştiraki olan ve Punjab'da petrol ürünleri üreten bir şirkettir.

• Tesisin kurulu olduğu alan gereği hem sınırlı kullanılabilir su erişimi hem de atıksu deşarjına imkan olmaması, atıksudan maksimum su geri kazanımını zorunlu kılmıştır.

• Tasarım kriterleri arasında KOİ, TOK ve özellikle membran proses uygulamalarında büyük bir problem olan yüksek silika konsantrasyonu dikkate alınmıştır.

• Hem organik ve inorganik içeriği yüksek atıksuların uygulanmasına uygun hem yağ gres gibi membran ömrünü kısaltan kirleticilere dirençli hem de yüksek geri kazanım oranlarına sahip HEROTM sistemi tercih edilmiştir (Aquatech International Corporation). Tesise ait fotoğraflar Şekil 5.4'da sisteme ait akım şeması da Şekil 5.5'de verilmiştir.

• HERO 1 ve HERO 2 sistemleriyle arıtılmış ve her geçiş %95 geri kazanım oranında işletilmektedir. Bu durumda suyun yalnızca %5'i ZLD tesisine yollanmaktadır.

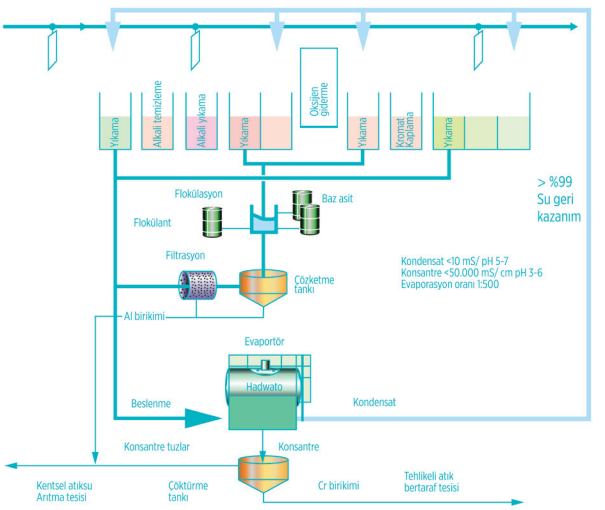
5.2.3. Sıfır Sıvı Deşarjı Pilot ve Gerçek Ölçekli Tesisler (ZLD)

Günümüzde, birçok endüstride artan sayılarda Evaporatör/yoğunlaştırıcı sistemler kullanılmaktadır. Endüstri analistlerine göre, global ölçekte ZLD ekipmanlarının kurulumu için yıllık yapılan yatırım miktarı 100-200 milyon dolar civarındadır. ZLD prosesi sıfır ya da sıfıra çok yakın sıvı deşarjını temsil etmektedir. ZLD'ye ulaşmak için değişen maliyetler ve proseslerle birçok yol mevcuttur.

5.2.3.1. Alüminyum kromat profil prosesi arıtma tesisi, Finlandiya (kapalı su döngüsü konsepti)

• Alüminyum profillerin yüzey temizlemesi ve kromatla kaplanması için kullanılan proseste, yıkama, yüzey temizleme ve kromat kaplama banyoları gibi kademelerden oluşan bir proses bulunmaktadır. Bu proses banyolarının kapalı döngü şeklinde sürdürülebilmesi için sıfır sıvı deşarjına yakın bir proses uygulanmaktadır. Bu prosese ait akım şeması Şekil 5.6'de görülmektedir.

• Yıkama banyolarına uygulanan arıtım sonrası evaporatör sistemi kullanılarak prosesteki suyun %99'u



Şekil 5.6. Alüminyum profil üretim tesisinin ZLD yaklaşımlı arıtma sistemi akım şeması (Ramm-Schmidt, L. 2014)

geri kazanılmakta ve aynı banyolarda yeniden kullanılmaktadır.

- Evaporasyon sonrası oluşan Cr içeren konsantre, tehlikeli atık bertaraf tesisine yollanırken, çöktürme tanklarından gelen konsantre tuzlar evsel atıksu arıtma tesisine gönderilmektedir (Ramm-Schmidt, L. 2014).

5.2.3.2. Arvind Santej tekstil boyama tesisi, Hindistan (kapalı su döngüsü konsepti)

- Tekstil boyama tesisi ağartma, nötralizasyon, yıkama, birincil çöktürme, ikincil çöktürme, flokülatör, sabitleme ve yumuşatma prosedürlerini gerçekleştirmektedir.

- Tesisten gelen atıksu önce askıda katı maddeleri tutmak için kum filtresinden geçirilmektedir. Daha sonra RO membranına beslenen atıksuyun RO membran konsantresi evaporatöre beslenmektedir. Evaporatör konsantresi ise kristalizatöre beslenmektedir.

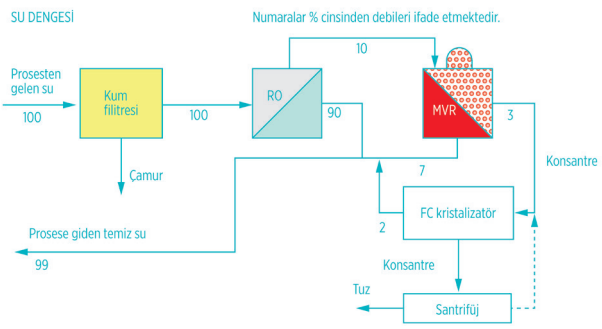
- Kristalizatör konsantresinden ise santrifüj sonrası tuz geri kazanımı yapılmaktadır.

- RO süzüntüsü ile %90, evaporatör prosesi ile de %70 geri kazanım gerçekleştirilmektedir. Tesise ait akım şeması Şekil 5.7'de, kristalizatöre ait fotoğraflar Şekil 5.8'de, tesiste takip edilen parametreler ise Çizelge 5.3'de gösterilmektedir.

- Tesis 2001 yılından beri işletilmekte olup tesis kapasitesi 600 m³/gün'dür (Ramm-Schmidt, L. 2014).

Çizelge 5.3. Tekstil boyama tesisi artıma proses parametreleri (Ramm-Schmidt, L. 2014)

Parametre	Birim	RO besleme	Evaporatör besleme	Kondensat	Konsantre
pH		6-10	6-7	6-7	7-7,5
Sıcaklık	°C	35-45	35-45	45-55	50-55
TÇK	mg/L	3000-4000	30.000-40.000	<150	90.000-120.000
BOİ	mg/L	300-500			
KOİ	mg/L	1000-1500			
Toplam sertlik	mg/L		500		



Şekil 5.7. Tekstil boyama tesisi atıksu geri kazanım prosesi akım şeması (Ramm-Schmidt, L. 2014)



Yoğunlaştırıcı / Kristalizatör



Santrifüj



Tuz

Şekil 5.8. Tesiste kurulu yoğunlaştırıcı/kristalizatör (Ramm-Schmidt, L. 2014)

Çizelge 5.4. Proje kapsamında inşa edilen AWTP'ler için ayrıntılı bilgiler

AWTP	Bundamba Aşama 1A	Bundamba Final	Gibson Island Aşama 1A	Gibson Island Aşama 1A	Luggage Point
Kapasite MilyonL/gün	20	60	50	100	70
Proje Başlangıcı	Eylül 2006	Kasım 2006	Kasım 2006	Ocak 2008	Kasım 2006
Tesis Çalışma Tarihi	Ağustos 2007	Temmuz 2008	Aralık 2008	2009 Başı	Aralık 2008
RO Membran	Koch Memran Sistemleri		Ge Water		Doosan Hydro
MF-UF Önarıtım	Simens Memcor		Simens Memcor		Pall
İş Ortağı	Black&Veatch, Theiss		MWH, Burns&Roe Worley, United Group, Baulderstone		CH2M Hill LaingO'Rouke
Çalışma Ekibi	Veolia Su, Seperations Process Inc (SPI)				

5.2.4. Western Corridor Su Geri Kazanım Projesi (Avusturalya, Brisbane)

• Avustralya genelinde ciddi bir su sıkıntısının yaşanması eyalet hükümetlerinin bölgelerinde su kaynaklarını temin etmek için yeni stratejiler geliştirmelerini sağlamıştır

• Brisbane ve çevresi için içme suyunun yaklaşık %70'i Mt. Crosby Su Arıtma Tesisi'nden (WTP) elde edilmektedir. Mt. Crosby Su Arıtma Tesisi'nin su alım yeri Brisbane nehridir ve nehir Wivenhoe Barajı'ndan çıkan su ile beslenmektedir. Wivenhoe Barajı, tüm zamanların en düşük seviyesi olan %15'e kadar düşmüştür. Havzadaki son yağış, su seviyesinde yaklaşık %25'lik bir artışa neden olmuş ancak bu artış bile geçmişteki su seviyelerinin üstüne çıkmasını başaramamıştır.

• Queensland'ın en önemli projelerinden biri olan Western Corridor Su Geri Kazanım Projesi'nin (WCRWP) temel amacı endüstri kullanıcılarının temiz su taleplerinin azaltılmasıdır.

• Bu amaçla, projede kentsel atıksulardan geri kazanılmış suların yeniden kullanımının sağlanması ve kaynak suyunun beslenmesi amaçlanmıştır. Proje kapsamında geri kazanılan suyun bölgedeki iki enerji santralinde soğutma suyu olarak kullanılması hedeflenmiştir. Böylece soğutma suyu olarak içilebilir temiz suların kullanımı sınırlandırılmış olacaktır. Bu proje kapsamında ayrıca rezervuarın yeniden beslenmesi ve sulama için geri kazanılmış suların kullanımı hedeflenmiştir.

• WCRWP, güney yarımküredeki en büyük ve dünyadaki üçüncü en büyük su geri kazanım projesidir.

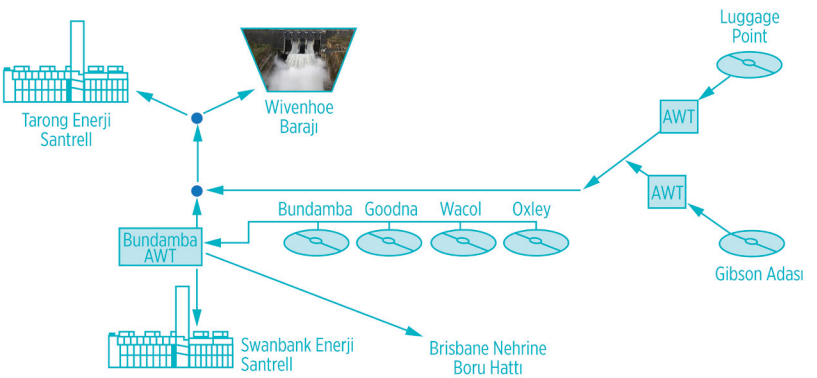
• Proje kapsamında 3 yeni ileri su arıtma tesisi (AWTP) kurulmuştur. Bu AWTP'ler için ayrıntılı bilgi Çizelge 5.4'de verilmektedir.

• Bunların dışında proje kapsamında altı atıksu arıtma tesisinden gelen atıksular geri kazanılmıştır.

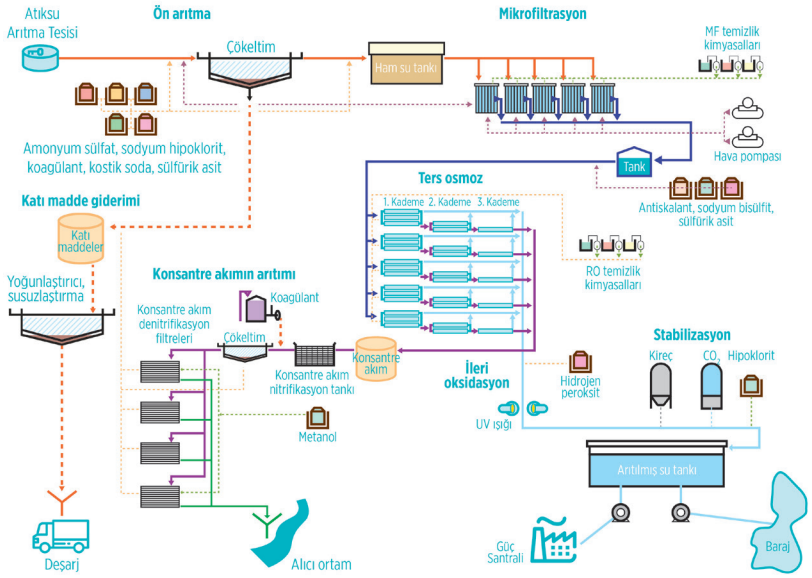
• İleri arıtma tesisi sonunda temiz çıkış suyu 200 km uzunluğunda boru ağıyla kullanıcılara dağıtılmaktadır (Şekil 5.9).

• Projenin başlangıç safhası olan Bundamba-A AWTP, Ağustos 2007'de işletime alınmıştır. Bu tesis, 10 aylık bir periyotta tasarlanmış, inşa edilmiş ve faaliyete geçmiştir. Projenin ikinci aşamasında ise Bundamba-B 2008'in ortalarında işletime alınmıştır.

• Bundamba AWTP, dört atıksu arıtma tesisinden (Bundamba WWTP, Goodna WWTP, Wacol WWTP ve Oxley WWTP) gelen ikincil arıtma çıkış sularını arıtacaktır. Bundamba-A için tanımlanan akım diyagramı Şekil 5.10'de verilmiştir.



Şekil 5.9. Western Corridor Su Geri Dönüşüm Projesi (WCRWP) şeması



Şekil 5.10. Bundamba proses akım şeması

• Bu projede ayrıca RO konsantrelerinin (TOK) arıtılması da hedeflenmiştir. Arıtılmış RO konsantresi Brisbane Nehri'ne deşarj edilecek olup Brisbane Nehri deşarj boru hattı devreye girene kadar Bremer Nehri'ne deşarj edilmesi kararlaştırılmıştır.

• RO konsantre arıtım sistemi, mevcut dört atıksu arıtma tesisinden gelen ve Brisbane Nehri'ne deşarj edilen azot ve fosfor miktarını azaltmak için geliştirilmiştir.

5.2.5. Chino II RO Konsantre Arıtım ve Geri Kazanım Projesi

• Chino II Desalter, Jurupa Vadisi California'da bulunan bir yer altı suyu arıtma tesisidir.

• Bu tesis bir iyon değiştirici (IX) ve günde 77.592 m^3/gün arıtma kapasitesi olan RO prosesinin birleşiminden meydana gelmektedir.

• Tesis, Chino Havzası Desalter Kurumu (CDA) (Şekil 5.11) tarafından yönetilen ve işletilen iki tesisten biridir.

• Hem IX hem de RO arıtım dizileri, yüksek nitrat konsantrasyonlarına sahip sekiz kuyudan alınan tuzlu yeraltı suyunun arıtımında kullanılır. Chino II RO tesisi arıtma kapasitesinde 24.602 m^3/gün'lük bir genişletme yapılmıştır.

• Ancak tuzlu konsantre su bertarafının yüksek maliyetlerinden dolayı CDA, bertaraf maliyetlerini azaltmak ve süzüntü miktarını arttırmak için RO sisteminin verimliliğini arttıracak araçları değerlendirmiştir.

• Chino II RO tesisi geri kazanım oranı yaklaşık %82'dir. Geriye kalan %18, RO konsantresi olarak Inland Empire Tuzlu Konsantre Su Hattına (IEBL) deşarj edilir.

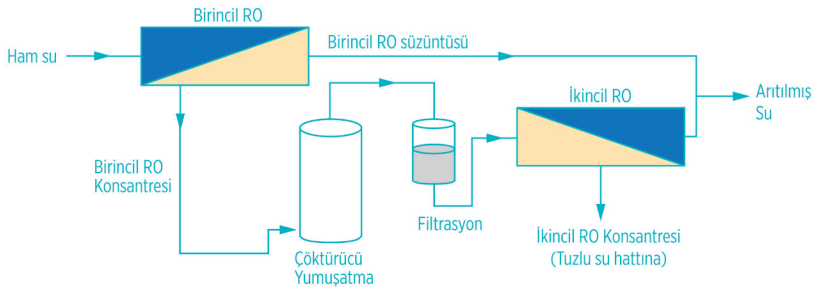
• Konsantre azaltma stratejisi olarak RO konsantresinden gelen kirleticileri (özellikle silika ve kalsiyum) uzaklaştırmak için yumuşatmanın kullanımını kapsar. Ardından yumuşatılmış su ikincil bir RO'dan (SRO) geçirilir ve birincil RO süzüntüsüyle harmanlanır. RO konsantre arıtımı akım şeması Şekil 5.12'de gösterilmektedir.

• SRO konsantresi IEBL'ye deşarj edilir.

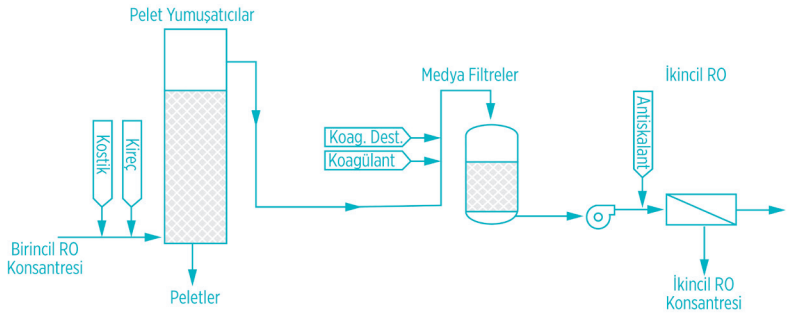
• Bu sistem ile toplam su geri kazanımı %95'e kadar yükselecektir. Böylece süzüntü suyu üretimi artarken IEBL'ye deşarj edilen konsantre hacmi de büyük ölçüde azalacaktır.



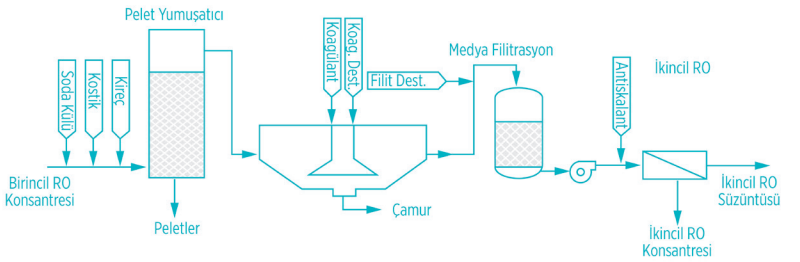
Şekil 5.11. Chino Havzası Desalter Kurumu (Paxton, 2014)



Şekil 5.12. Yumuşatma ve ikincil RO kullanılarak konsantre azaltma stratejisi



Şekil 5.13. 1. Aşama pilot tesis akım şeması



Şekil 5.14. Modifiye Edilmiş Arıtım Dizisinin Akım Diyagramı

- Birincil RO konsantresinin arıtımı için düşünülen yumuşatma teknolojisi, pellet yumuşatma prosesidir.

- Konsantre arıtım ve geri kazanım tesisinin tasarımından önce pilot ölçekli test Mart 2011 ile Mart 2012 arasında Chino II Desalter tesislerinde gerçekleştirilmiştir.

- Pilot çalışma iki aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. 1. Aşamada (Şekil 5.13), başlangıçta planlanan yumuşatma-filtrasyon-SRO arıtım dizisi değerlendirilmiştir. Bu arıtım dizisi, su kalitesi ve operasyonel hedefleri karşılamayı başaramamıştır. 2. aşamada arıtım dizisi, yumuşatma ve filtrasyon işlemleri arasında bir durulama adımı içerecek şekilde değiştirilmiştir (Şekil 5.14). 2. aşama, yumuşatma, tezgahüstü ölçekli durulama ve filtrasyon ile birlikte gerçekleştirilmiştir.

5.2.6. Barselona desalinasyon tesisi (İspanya)

- Barselona desalinasyon tesisi projesinin hedefleri; bölge için güvenilir bir su kaynağı sağlamak, yüzey suyunu korumak ve nehirlerin kirliliğe maruz kalacağı bir alanda su kalitesini iyileştirmektir.

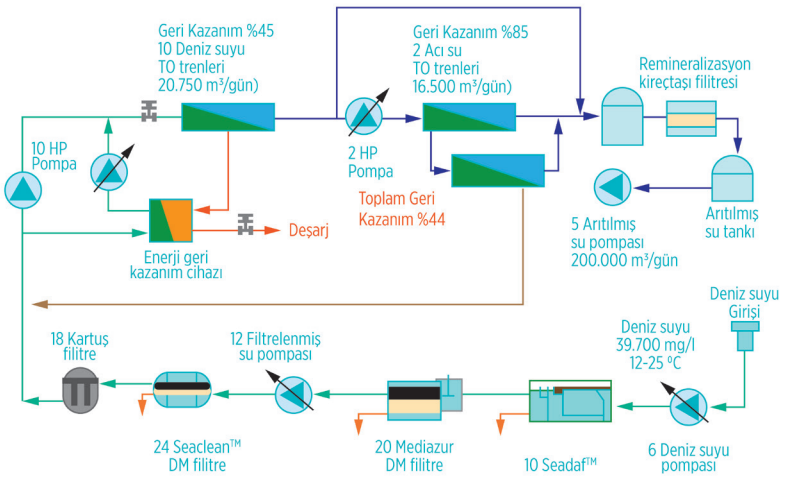
- 20 Temmuz 2009'da faaliyete geçen tesis, Barselona bölgesindeki nüfusun %20'sine içme suyu sağlamaktadır (yaklaşık 1,3 milyon kişiye).

- Bugüne kadar 200.000 m^3/gün içme suyu üretim kapasitesine sahip olan Avrupa'nın en büyük tesisidir (Şekil 5.15 ve Şekil 5.16).

- Bu büyük kapasitede içme suyu üretimi aynı zamanda yüksek hacimlerde konsantre tuzlu su çıkışına neden olmaktadır. Konsantre tuzlu su, halihazırda arıtılmış olan ve mevcut denize uzaklığı 3,5 km olan kentsel atıksu çıkışı ile 1:1 oranında seyreltilir.



Şekil 5.15. Barselona deniz suyu desalinasyon tesisi, İspanya



Şekil 5.16. Barselona deniz suyu desalinasyon tesisi akım diyagramı

• Bu, deşarj noktasındaki çevresel etkiyi en aza düşürmekle kalmaz aynı zamanda özel bir deşarj noktası inşa etme ihtiyacına gerek olmadığı için ekonomik bir fayda sağlar (Marilhet, 2009).

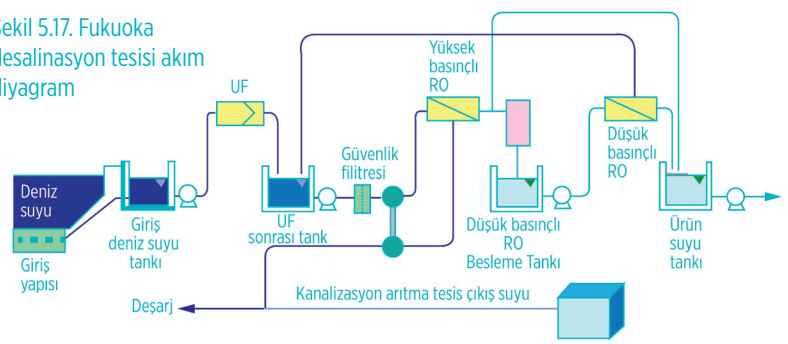
5.2.7. Fukuoka desalinasyon tesisi (Japonya)

• Fukuoka bölgesinin su ihtiyacı 700.000 m³/gün'dür.

• Fukuoka'da kullanılan su elde yöntemi ters osmoz membranları ile desalinasyondur (Şekil 5.17).

• Tesis beş hattan oluşmuş olup her hat 10.000 m³/gün maksimum kapasiteye sahiptir.

Şekil 5.17. Fukuoka desalinasyon tesisi akım diyagram





Şekil 5.18. Fukuoka desalinasyon tesisinin konsantre bertarafı

• İletim borusu da dahil olmak üzere toplam proje maliyeti 40,8 milyar Yen'dir.

• Desalinasyon sırasında üretilen konsantre, arıtılmış atıksu ile birlikte Hakata koyuna deşarj edilir (Şekil 5.18) (Shimokawa, 2009).

5.2.8. TAMPA Körfezi deniz suyu desalinasyon tesisi

• İlk olarak bir güç santraliyle desalinasyon tesisinin bir arada kurulumu Tampa Körfez Desalinasyon tesisi için önerilmiştir. Daha sonra bu iki tesisin bir arada kurulması gerek Amerika'da ve gerekse dünyada farklı yerlerde uygulanmıştır. Tesisin bulunduğu yer Şekil 5.19'da verilmiştir.

• Tesiste deniz suyundan içme suyu üretilmektedir.

• Tesise su alma kapasitesi 166.000 m³/gün olup 94.500 m³/gün temiz su üretilmektedir (%57 geri kazanım).

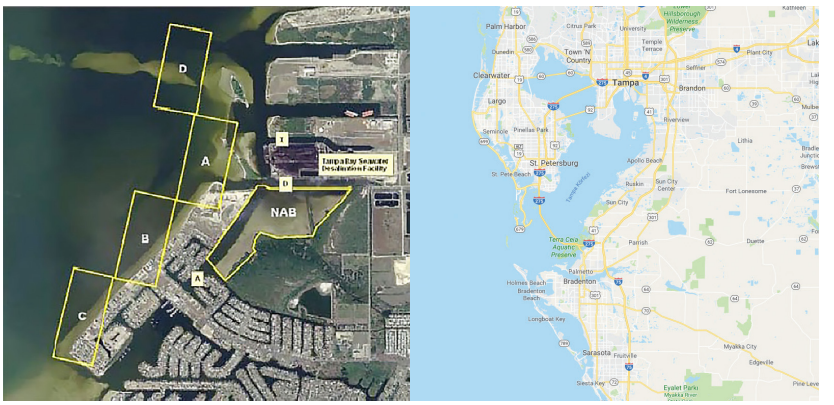
• Tesiste kullanılan proses aşağıda Şekil 5.20'de ayrıca verilmiştir.

• Tesise giriş atıksu ve konsantre suları direk olarak santralin (TECO Enerji Santrali) soğutma suyu çıkış hattına basılmıştır (Şekil 5.21).

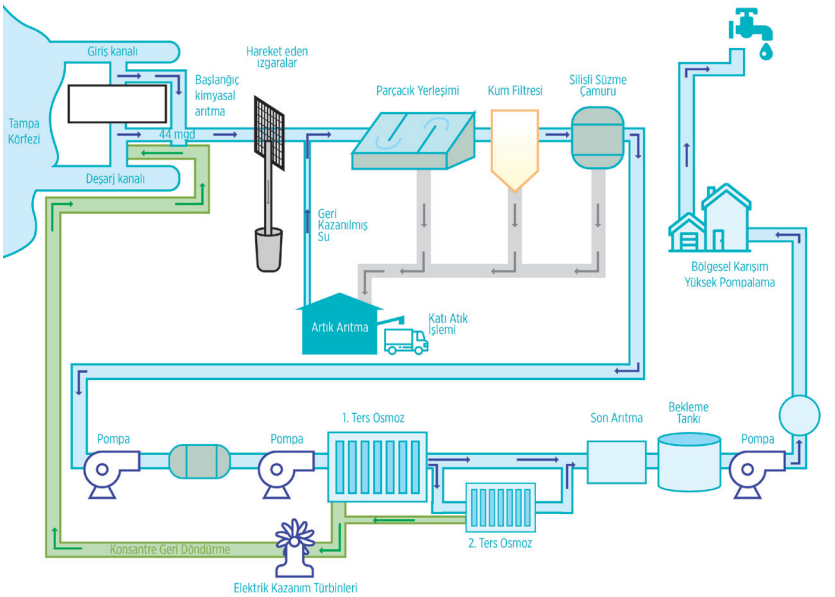
• TECO Santrali günlük 1,4 milyar galon (yaklaşık 5,2 milyon m³/gün) suyu soğutma suyu olarak kullanmakta olup, bu suyun sadece 166.000 m³/gün kısmı desalinasyon tesisine alınarak, 94.500 m³/gün temiz su üretilmekte ve 72.000 m³/gün konsantre ise yine TECO Santrali soğutma suyu deşarj hattından verilmektedir.

• Konsantrenin tuzluluk oranı ‰54-62 arasında değişmekte olup, santralin soğutma sularıyla karıştırılarak deşarj edilmektedir.

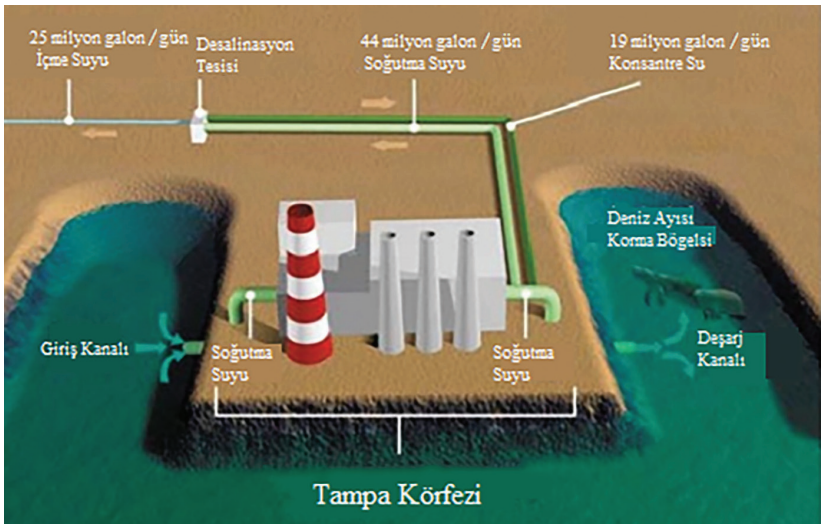
• Santral sularıyla karışma esnasında oldukça yüksek bir oranda seyrelme



Şekil 5.19. TAMPA Körfezi Deniz Suyu Desalinasyon Tesisi'nin Yeri



Şekil 5.20. TAMPA Körfezi Deniz Suyu Desalinasyon Tesisi Proses Akım Şeması



Şekil 5.21. TAMPA Körfezi Deniz Suyu Desalinasyon Tesisi su girişi ve konsantre deşarjı

meydana gelip, mevcut körfez suyuna kıyasla ‰2 oranından daha az bir tuzluluk farkı oluşmaktadır.

- Tampa Körfez Su birimi, tesis işletmecilerinden bağımsız olarak konsantre ile ilgili bir çalışma yürüterek olası çevresel etkileri incelemiştir.

- İzleme programının temel amacı; kontrol alanı ile deşarj alanını kıyaslamak, ayrıca deşarj öncesi, deşarj sırasında ve ara verilen işletme zamanlarındaki durumların belirlenerek kıyaslanmasıdır.

- Yapılan çalışmalarda; maksimum su üretim kapasitesinin kullanıldığı durumda dahi deşarj yakınlarında tuzluluğun ‰2'den daha az değiştiği hidrodinamik modellerle belirlenmiştir.

- Yapılan izleme çalışmaları neticesinde tesis işletiminin Tampa Körfezi su kalitesine, miktarına veya yakınlardaki alanlarda biyolojik çeşitliliğe olumsuz bir etkisinin olmadığı görülmüştür.

5.2.9. Torreele su geri kazanım tesisi

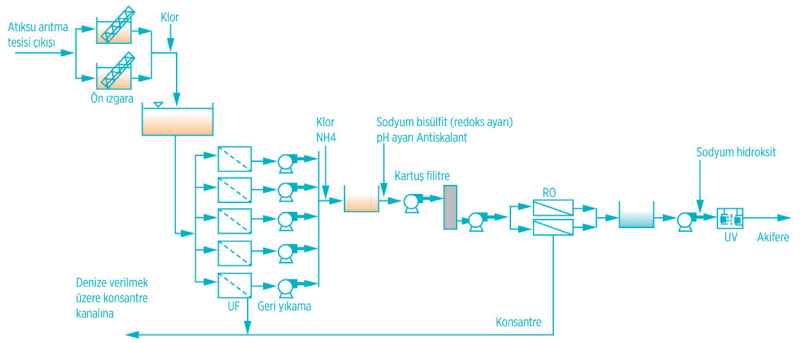
- Tesiste ikincil arıtımdan geçmiş atıksular indirek içme suyu olarak kullanılmak üzere arıtılmaktadır.

- Arıtılmış su, kum bir akifere verilmektedir.

- Tesiste Ultrafiltrasyon ve ters osmoz prosesleri kullanılmaktadır.



Şekil 5.22. Torreele Su Geri Kazanım Tesisi'nin Yeri



Şekil 5.23. Torreele Su Geri Kazanım Tesisi Akım Şeması

Çizelge 5.5. Torreele Su Geri Kazanım Tesisi tanıtımı

Projenin Amacı	Akiferin sürdürülebilir yönetimi için geliştirilmiştir
Projenin Durumu	Temmuz 2002 yılından beri işletmededir
İnfiltrasyon Kapasitesi	2.500.000 m^3/yıl
Su Kaynağı	AAT ikincil çıkış suyu
Recharge Metodu	Açık infiltrasyon havuzu, 18.200 m^2
Ekstraksiyon Metodu	112 adet kuyu, filtre elemanları yüzeyden 8 ve 12 m aşağıdadır
Ekstraksiyon Kapasitesi	3.500.000 m^3/yıl
Dezenfeksiyon	Dağıtımdan önce UV
Membranlar	UF: Zenon (ZW500C), 15.600 m^2, Akı: 36 LMH RO: Dow (BW30 LE-440), 15.744 m^2, Akı: 20 LMH
Geri Kazanım	UF: min %87 RO: min %75

• Ters osmoz membranları olarak acısu düşük-enerjili RO membranları kullanılmaktadır.

• Çıkış suları yeraltı suyunu beslemek amacıyla kumlu akifere verilmektedir. Tesis Temmuz 2002'den itibaren işletimde olup, yeri Şekil 5.22'da sunulmuştur.

• Akifere verilen su için bekleme zamanı 30 gün ile 5 yıl arasında değişmekte olup, verilen suyun %50 si 55 gün içinde tekrar alınmaktadır.

• Bu akifer işletme yönetimi 2002'den itibaren sürdürülmekte olup hem sürdürülebilir akifer yönetimi amaçlanmış hem de yüksek kaliteli su üretilmektedir. Tesisin akım şeması Şekil 5.23'da verilmiştir.

• Wulpen Atıksu Arıtma Tesisi 1987 yılında kurulmuş olup, organik madde ve askıda katı madde giderimi amaçlanmıştır. 1994 yılında tesis genişletilerek nütriyent arıtımı da ilave edilmiştir.

• Tesis çıkış suyu Torreele Tesisi'ne cazibe ile alınmaktadır.

• RO tesisinde ortalama su geri kazanım oranı %77'dir. Aşağıda Çizelge 5.5'de tesisle ilgili bilgiler sunulmuştur.

• UF ve RO prosesinin ikisi de konsantre ürettiği için, önemli bir hacimdeki su deşarj edilmektedir. Oluşan tüm konsantrenin yaklaşık %35'i UF geri yıkama suları, %65'i ise RO konsantresidir.

• Oluşan tüm konsantre yakındaki bir kanala verilmekte ve kanaldan da denize taşınmaktadır.

• Fakat oluşan konsantrenin deşarjı/bertarafı için çeşitli çalışmalar yapılmıştır.

• Bu amaçla yapay sulak alan ve bitki sulama alternatifleri pilot çalışmalarda denenmiştir.

• Pilot ölçekli sazlık sulamada, bitkilerin tuza yeterli toleransı olmadığı belirlendikten sonra söğüt sulamada kullanılmış ve başarılı sonuçlar alınmıştır.

• Sulamadan sonra sudan organik madde, askıda katı madde, azot ve fosfat giderilebileceği belirlenmiştir. Böylece konsantreden üretilen biyokütlenin ısınma ve enerji üretiminde kullanılabileceği belirtilmiştir.

5.2.10. Thames Gateway desalinasyon tesisi

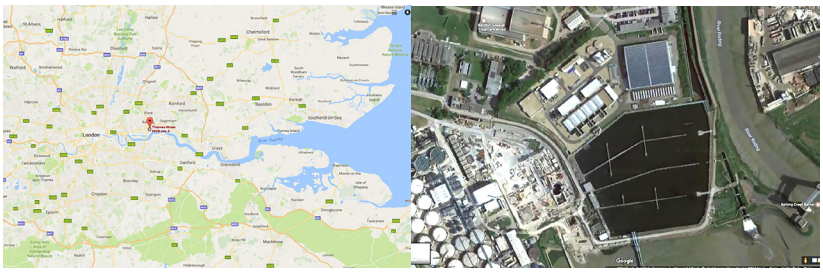
• Desalinasyon tesisi Thames Nehrinden su almakta olup, tesis Becton, Londra'da kurulmuştur (Şekil 5.24).

• Londra'nın nüfusunun artacağı düşünülerek mevcut su kaynaklarının artan ihtiyacını karşılamakta zorlanacağına karar verilmiştir. Bu amaçla Londra'da ilk defa içme suyu üretimi amaçlı bir desalinasyon tesisi kurulmuştur.

• Tesis Thames nehrinden tuzlu suyu alarak ters osmoz prosesiyle tuzsuzlaştırmaktakdır. Bu amaçla tesis 2010 yılında kurulmuştur. Ayrıca Şekil 5.25'de su alma yapısının inşaatı sırasında çekilmiş fotoğraflar da sunulmuştur.

• Londra'nın su ihtiyacının dengelenmesi amacıyla kurulan tesisin kapasitesi 150.000 m^3/gün'dür.

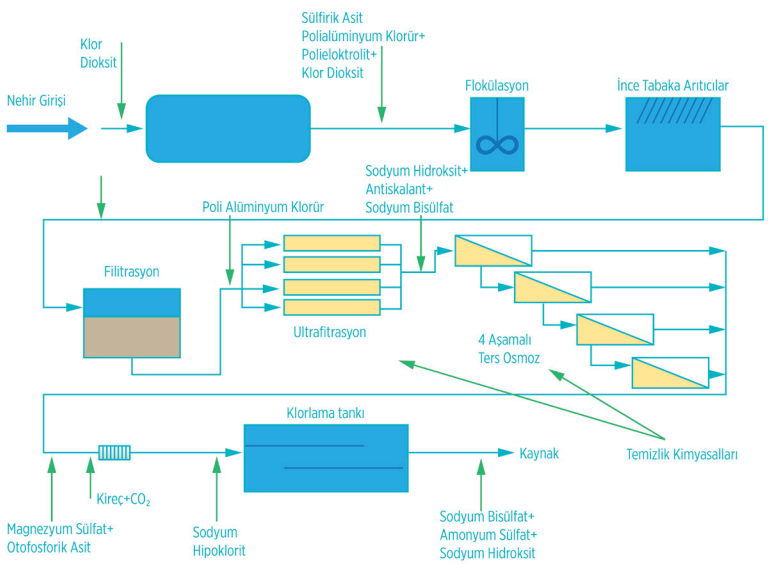
• Yaşanan gel-git olayları ve mevsimsel değişikler nedeniyle, ham suyun sıcaklığı, tuzluluğu, partikül ve çözünmüş madde konsantrasyonu



Şekil 5.24. Thames Gateway Desalinasyon Tesisi'nin Yeri



Şekil 5.25. Thames Gateway Desalinasyon Tesisi Su Alma Yapısının İnşaatından bir Fotoğraf



Şekil 5.26. Thames Gateway Desalinasyon Tesisi Proses Akış Diyagramı

önemli ölçüde değişebilmektedir. Bu amaçla 2003 yılında bir pilot tesis kurularak 18 ay işletilmiş ve en uygun ön arıtmanın belirlenmesine çalışılmıştır.

• Proses; ham atıksu alımında kullanılan ızgara, ham su depolama, karıştırma ve dengeleme, koagülasyon, flokülasyon, lamella çöktürücü, basınçlı kum filtreleri, ultrafiltrasyon ve 4-aşamalı ters-osmoz sistemiyle, dezenfeksiyon ve mineral ilavesini barındıran son arıtım (kireç, CO_2 ve $MgSO_4$ ilave edilmektedir) ünitelerinden oluşmaktadır (Şekil 5.26).

• Tesiste enerji kullanımını azaltmak için birçok inovasyon mevcuttur. Konsantre akımdan enerji geri kazanımı için Pelton türbinleri kullanılmaktadır. Ayrıca, her bir ters osmoz besleme pompası değişen hızda çalışabilen sürücü ile donatılmıştır. Projenin toplam bedeli 270 milyon £ dur.

• Nehir tabanının 3 m üzerinden su alınmakta ve böylece sedimentin su ile gelmesi engellenmektedir. Gel-git olayları nedeniyle su seviyesi 7 m'ye kadar değişebilmektedir.

• Tesiste toplam 10.460 adet ters osmoz membran modülü kullanılmakta olup, toplam alan 387.000 m^2 olarak tahmin edilmiştir. Ortalama akının ise 16 LMH civarında olduğu hesaplanmıştır.

• Deniz suyu arıtımında gerekli enerji ihtiyacı yaklaşık 3 kWh/m^3 olup, tesise giren su Thames Nehri ve deniz suyu karşımı olduğundan gerekli enerji ise yaklaşık 1,67 kWh/m^3'dür.

• Üretilen suyun Kuzey Londra'daki yaklaşık 400.000 haneye su sağlayacağı düşünülmekte olup, tesisin çevresel etkisinin azaltılması amacıyla enerjinin bir kısmı için biyoyakıt kullanılmaktadır.

• Ters osmoz tesisi 3 paralel hat halinde olup, her miri 50 MLD kapasitesindedir. Sistemin toplam geri kazanım oranı %84'dür.

• Ters osmoz proses çıkış suları ana bir kollektörle toplanmaktadır.

• Londra Beckton desalinasyon tesisinin (yaklaşık 150.000 m^3/gün kapasitede) RO konsantreleri, Beckton atıksu arıtma tesisinin ikincil derecede arıtılmış atıksularıyla karıştırılmakta (1:50 oranında) ve Thames nehrine deşarj edilmektedir.

5.2.11. Perfection plating

• Perfection Plating (Illinois, Elk Grove Village, Illinois), nikel içeren atıksu arıtımını sağlamak ve atıksu deşarj sınırlarının altında kalmak için RO sistemini kurmuştur.

• Perfection Plating, otomotiv ve elektronik gibi çeşitli endüstrilere elektrolitik kaplama hizmetleri sunmaktadır.

• Tesis yaklaşık 65.000 m^2'dir ve çeşitli nikel kaplama hatları içerir. Nikel içeren durulama suyu bir arada toplanır ve RO sistemine verilir. RO ünitesinden elde edilen süzüntü son durulama banyosuna, konsantre ise proses banyolarına gönderilir. Şekil 5.27, RO sistem akım şemasını göstermektedir.

• RO sistemi, nikel arıtımını ortadan kaldırarak basitleştirmenin yanı sıra başka çevresel ve ekonomik yararlar da sağlamıştır;

• Konsantreyi proses banyolarına geri döndürerek Perfection Plating, aylık kimyasallarda 1.939 $ tasarruf ederek kimyasal kullanımını yüzde 80 oranında azaltmıştır.

• Nikel hatlarının su kullanımını 200.000 galon'dan ayda sadece 2.000 galona düşürmüştür.

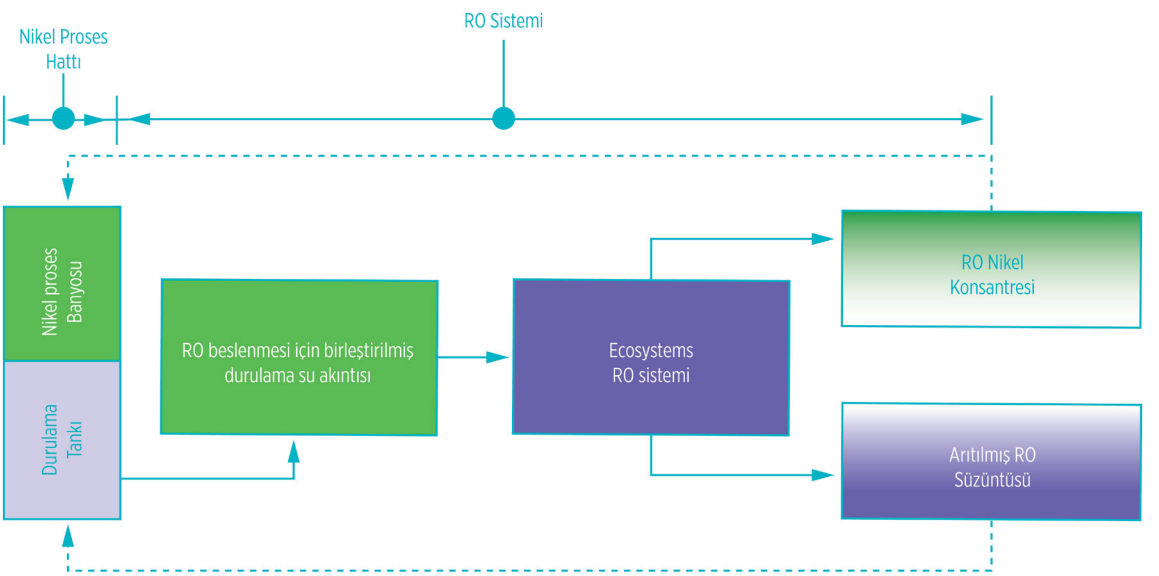
• RO Sistemi, nikel hatlarıyla ilişkili atıksu deşarj ücretlerini ortadan kaldırmıştır (Magnuson, vd., 2002).

5.2.12. Gippsland su arıtma tesisi

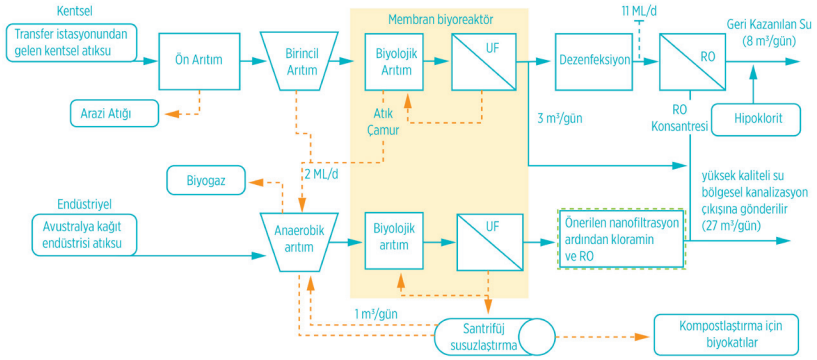
• Avustralya'nın güney doğusundaki Gippsland Water tarafından işletilen Gippsland Su Arıtma Tesisi (GWF), 35.000 m^3/gün'lük kapasiteye sahip bir tesisidir.

• Bu tesis 16.000 m^3/gün evsel atıksu ve 19.000 m^3/gün endüstriyel (kağıt hamuru ve kağıt) atıksuyu membran-biyoreaktör (MBR) dizisi ile arıtmaktadır.

• Daha sonra bölgesel kanalizasyon hattıyla birlikte pasifik okyanusuna deşarj etmektedir.



Şekil 5.27. Perfection Planting'deki RO Sistem Akım Şeması



Şekil 5.28. Gippsland su arıtma tesisi akım diyagramı

• Şekil 5.28'da gösterildiği gibi evsel atıksu arıtımı, ızgara ve kum tutucu, MBR, kloraminasyon ve RO'dan meydana gelmektedir.

• Endüstriyel atıksu arıtımı, anaerobik arıtım ve MBR'den oluşmaktadır.

• RO tesisi, %75 geri kazanım ile ortalama 8000 m^3/gün su üretmek için boyutlandırılmıştır. Ham evsel atıksu için bir dengeleme tankı bulunmaktadır. Böylelikle RO tesisi düşük debi dönemlerinde de çalışmaya devam edebilir niteliktedir.

• RO konsantresi, endüstriyel MBR çıkışı ve ileri arıtıma tabii tutulmayan evsel MBR çıkışı ile birlikte kanalizasyon çıkışına yönlendirilir (Gippsland Water Factory, 2013; Daigger, vd., 2015).

5.2.13. Adelaide desalinasyon tesisi (ADP)

• Lonsdale'deki Adelaide Desalinasyon Tesisi (ADP) 2011 yılından beri içme suyu tedarik etmektedir. Tesisin çevresel etkilerini azaltmak oldukça önemlidir. Tesis, dünyadaki birçok desalinasyon tesisi arasında en küçük karbon ayak izlerinden birine sahiptir. Çevresel etkiyi azaltmak için;

• Yenilenebilir enerji kaynakların kullanımı,

• Tesis içinde kullanılmak üzere yağmur suyu toplama,

• Yerel sulak alanlarda yağmur suyu ve yüzey suyu akışını tutmak. Bu işlem doğal olarak suyun denize gitmeden önce kullanılmasını sağlar.

• Gulf St Vincent körfezi, tesis inşa edilmeden önce 2008'den beri izlenmektedir.

• ADP, tesisinden ileri gelen konsantre bir dizi özel difüzör kullanılarak okyanusa deşarj edilmektedir.

• Difüzörler kıyıdan yaklaşık 1 km uzaklıktadır ve konsantrenin iyi bir şekilde deniz suyuyla karıştırılması için tasarlanmıştır. Difüzörlerin diğer önemli rolü, Vincent Körfez'indeki tuzluluk seviyelerini tutarlı tutmaya yardımcı olmaktır.

• Fotoğraflar 2013 yılında bir deniz biyoloğu tarafından çekilmiştir (Şekil 5.29). Bu fotoğraflarda difüzörlerin çevresini kuşatan balıkları ve deniz yaşamını görmek mümkündür. Konsantre deşarj sistemi, deşarj yakınındaki kıyı resifleri (kayaları) üzerinde en az etkiye sahip olacak şekilde tasarlanmıştır (SA Water, 2017).

MEMKON projesi kapsamında literatürden derlenen pilot ve gerçek ölçekteki konsantre arıtımı ve bertarafı uygulamaları tesisler özet halinde sırasıyla Çizelge 5.6 ve Çizelge 5.7'de sunulmuştur. Membran konsantrelerinden materyal geri kazanımı yapan tesisler ise Çizelge 5.8'de verilmiştir.



Şekil 5.29. Adelaide Desalinasyon Tesisi çıkış yapısı ve su ortamı

Çizelge 5.6. Literatürde yer alan konsantre arıtım uygulamaları (pilot/gerçek ölçekli tesisler)

Referans	Ülke-Tesis	Tesis ölçeği	Arıtım nedeni	Arıtma teknolojisi	Debi	Bertaraf tipi	Açıklama
Seacord, 2010	Arlington Desalter Tesisi, ABD	Gerçek ölçek	-Birincil RO konsantresini arıtıp geri kazanımı arttırıp konsantre hacmini azaltmak -TÇK ve NO3 giderimi	Pelet reaktör + RO	5950 m^3/gün	SARI botu hattı	Tesis toplamda %94 su geri kazanımına ulaşmıştır.
Bond ve Veerapaneni, 2008	-	Pilot ölçek	-Birincil RO konsantresini arıtıp geri kazanımı arttırıp konsantre hacmini azaltmak -Ca ve silika giderimi	Pelet reaktör + RO	-	Evoparasyon havuzu	Geleneksel termal sıfır sıvı deşarj yaklaşımlarına göre maliyetler %50-70, enerji tüketimleri ise %60-75 arasında azaltılabilmiştir
Carollo Company	Arlington Desalter Tesisi, ABD	Pilot ölçek	-Bertaraf kapasitesinin sınırlı e pahalı olduğu bölgede tesis, kapasitesini 22.712 m^3/gün'den 37.854 m^3/gün'e arttırmak için bypass hattında NO3 giderimi	1. iyon değiştirme 2. biyolojik nitrat giderimi 3.dördüncü RO hattı 4. biyolojik nitrat giderimi sonrası ilave RO	-	SARI botu hattı	Çalışma sonunda konsantre yumuşatma ve biyolojik nitrat sonrası RO arıtımı en iyi alternatif olarak belirlenmiştir.
Carollo Company	Kuzey Miami Beach Su Arıtma Tesisi, ABD	Laboratuvar - Pilot ölçek	- Güney Florida Su Araştırma Bölgesi, konsantre arıtımı ve minimizasyonu ile desalinasyon verimini arttırma amacıyla alternatif çözümler geliştirmesi için	Kimyasal yumuşatma+media filtrasyonu+ikincil RO	-	-	Konsantre hacmini %50 azalttığı ve toplam geri kazanımı %75'ten %80'e çıkardığı belirlenmiştir.
Aquatech	Reliance Industry, Hindistan	Gerçek ölçek	Yüksek BOİ, KOİ yağ gres içeriği nedeniyle RO membranın sık sık kirlenmesi, ömrünün kısalması ve süzüntü kalitesinin bozulması -membran konsantresinin arıtılıp geri kazanımın arttırılması	İki kademeli HEROTM	14.400 m^3/gün	-	Birinci HEROTM konsantresi ikinci HEROTM sistemine beslenerek toplam geri kazanım arttırılmaktadır
Aquatech	HMEL (HPCL-Mittal Energy Ltd.) Rafinerisi, Hindistan	Gerçek ölçek	-KOİ, TOK ve silika değeri yüksek atıksu -Tesiste sınırlı kullanılabilir su erişimi -Atıksu deşarjı için sıkıntılı bölge olması	İki kademeli HEROTM	24.480 m^3/gün	Evaporasyon havuzu	HERO 1 ve HERO 2 sistemleriyle arıtılmış ve her geçiş %95 geri kazanım oranında işletilmektedir. Bu durumda suyun yalnızca %5'i ZLD tesisine yollanmaktadır.
Lozier vd., 2006	Big Bear Area Regional Wastewater Agency (BBARWA), ABD	Pilot ölçek	4542 m^3/gün kapasiteli atıksu arıtma tesisinden kaynaklanan RO konsantre hacmini azaltmak	İki kademeli VSEP	-	-	VSEP prosesinin %93 TÇK, %99 sülfat, %83 TN, %91 TOK ve %56 boron giderimi sağladığını göstermiştir.
Johnson vd., 2006	Güney Kaliforniya, ABD	Pilot ölçek	Tesisten kaynakalanan membran konsantrelerinin arıtımı için daha önce denenen UF prosesinin hem akı hem de geri kazanım değerleri oldukça yetersiz bulunmuş ve bu sebeple VSEP prosesi denenmiştir.	VSEP	-	-	Çalışma sonucunda VSEP prosesinin %98,8 geri kazanım değerine ulaştığı görülmüştür.

Referans	Ülke-Tesis	Tesis ölçeği	Arıtım nedeni	Arıtma teknolojisi	Debi	Bertaraf tipi	Açıklama
MWH, 2008	VSEP Pilot Tesisi (Escondido, Kaliforniya)	Pilot ölçek	RO membran konsantresinin arıtılıp toplam geri kazanım oranını arttırmak	VSEP	-	Kanalizasyona deşarj	RO membranın konsantresinin arıtımı için kullanılacak 608 m^3/gün kapasiteli VSEP prosesinin yatırım maliyeti 2.087.000 $ ve yıllık işletme maliyeti 279.000 $'dır. Daha düşük alan kaplaması ve yüksek akılar VSEP prosesinin avantajlarıyken, yüksek yatırım maliyeti ve sık kimyasal yıkama ihtiyacı sistemin dezavantajları olarak belirlenmiştir.
Benjamin vd. 2010	Sunnyslope RO Konsantre Arıtımı VSEP	-	Maksimum su geri kazanımına ulaşmak için tesisten kaynaklanan RO konsantrelerinin arıtımı	3 kademeli VSEP	-	-	RO ve 3 kademeli VSEP sonrası toplam su geri kazanımı %99,6'ya ulaşmıştır.
Reahl, 2006	EDR Pilot Tesisi (Tucson, Arizona, ABD)	Pilot ölçekli	Toplam su geri kazanımının (RO+EDR) yaklaşık %97 değerlerine iyileştirilebilmesi için TÇK konsantrasyonu 8000 mg/L olan RO konsantresinin arıtımı gerçekleştirilme	EDR	468-665 m^3/gün	Evaporasyon havuzu	Sistemin toplam su geri kazanım değerleri yaklaşık %97'ye ulaşmaktadır.
General Electric Company, 2013	AquaSelTM-Asian Coca-Cola plant	Pilot ölçekli	Birincil RO konsantrelerinin arıtımı için	EDR	168 m^3/gün	Çökelme tankına	Toplam su geri kazanım oranı %99'u aşan değerlerine ulaşırken, sistemden çıkan atık kısım besleme suyunun %1'inden daha az olmaktadır
Carollo Company	Eastern Municipal Water District, (Perris, Kaliforniya)	Pilot ölçekli	Yüksek silika değerleri nedeniyle asit ve kireç önleyici ilaveleri gibi kimyasal ön arıtma yapılmasına rağmen yalnızca %70 geri kazanıma ulaşıldığı ve proseste oluşan konsantre (beslemenin %30'u) nispeten yüksek maliyetlerle deşarj edildiği için	Yumuşatma+RO Yumuşatma+EDR	-	SARI botu hattı	Yumuşatma ve RO kombinasyonu kullanılarak yapılan çalışmalarda toplamda %93 geri kazanıma ulaşılmıştır. İkinci konfigürasyon olan yumuşatma ve EDR prosesinde ise %75-80 arası bir geri kazanım elde edilmiştir
Ramm-Schmidt, 2014	Bakır Boru Üretim Endüstrisi, Kanada	Gerçek ölçekli	Sülfürik asitle bakır boruların yüzey temizlemesinin yapıldığı endüstiride su, bakır ve asit geri kazanımı için	Evaporatör	350 m^3/gün	ZLD	Tesiste su geri kazanım oranı %98'dir. Evaporatör öncesi su, bakır ve asit geri kazanımı imkansızken evaporatör ile her üçü de geri kazanılırken herhangi bir fiziksel-kimyasal arıtmaya gerek kalmamıştır.

Referans	Ülke-Tesis	Tesis ölçeği	Arıtım nedeni	Arıtma teknolojisi	Debi	Bertaraf tipi	Açıklama
Ramm-Schmidt, 2014	Kâğıt Geri Dönüşüm Endüstrisi Su Arıtıma Tesisi, Sudi Arabistan	Gerçek ölçekli	Proses atıksuyunun ve yerlatı suyunun karıştırılıp proseste tekrar kullanılması için	Evaporatör	2x600 m^3/gün	Solar kurutma havuzları	Toplam geri kazanım oranı %90 ve m^3 temiz su başına enerji tüketimi 10 kWh'tir
Ramm-Schmidt, 2014	Çöp sızıntı suyu arıtım tesisi, Finlandiya	Gerçek ölçekli	Çöp sızıntı sahasında ZLD yaklaşımını sağlamak için	Kum filtresi+CO2 sıyırma+evaporasyon	120 m^3/gün	ZLD	Evaporasyon çıkışında konsantre depo sahasına geri devrettirilerek ZLD sağlanmaktadır.
Ramm-Schmidt, 2014	Alüminyum Kromat Profil Prosesi Arıtma Tesisi, Finlandiya	Gerçek ölçekli	Yıkama, yüzey temizleme, kromat kaplama gibi proses banyolarının kapalı döngü şeklinde sürdürülebilmesi için sıfır sıvı deşarjına yakın bir proses için	Evaporatör	-	Evaporasyon sonrası Cr içeren konsantre, tehlikeli atık bertaraf tesisine, çöktürme tanklarından gelen konsantre tuzlar evsel atıksu arıtma tesisine gönderilmektedir.	Yıkama banyolarına uygulanan arıtımı sonrası evaporatör sistemi kullanılarak prosesteki suyun %99'u geri kazanılmakta ve aynı banyolarda kullanılmaktadır
Ramm-Schmidt, 2014	Arvind Santej Tekstil Boyama Tesisi, Hindistan	Gerçek ölçekli	Tesiste su geri kazanımı için kullanılan RO membran konsantrelerinin arıtımı ve su geri kazanımını arttırmak için	Evaporatör + Kristalizatör	600 m^3/gün	Evaporatörden çıkan konsantre kristalizatöre beslenmektedir. Kristalizatör konsantresinden ise santrifüj sonrası tuz geri kazanımı yapılmaktadır	RO süzüntüsü ile %90, evaporatör prosesi ile de %70 geri kazanım gerçekleştirilmektedir
Ramm-Schmidt, 2014	Bombay Rayon Tekstil Boyama Tesisi, Hindistan	Gerçek ölçekli	Tesiste kullanılan RO membran konsantrelerinin arıtılması ve toplam su geri kazanımının arttırılması	MVR+ME Evaporatör	1500 m^3/gün	Evaporatör konsantreleri solar havuzlara gönderilmektedir.	RO membran sistemine beslenen atısku ile %85 su geri kazanımı yapılmaktadır. Sistemin evaportaörlerle konsantre arıtımı sonrası proseste tekrar kullanılmak üzere gerçekleştirdiği toplam su geri kazanımı oranı %98'e ulaşmaktadır.
Ramm-Schmidt, 2014	Hindistan Coca Cola Şişe Yıkama Tesisi, Hindistan	Gerçek ölçekli	Tesiste kullanılan RO membran konsantrelerinin arıtılması ve toplam su geri kazanımının arttırılması	MVR evaporatör + kristalizatör	150 m^3/gün	Evaporatörden çıkan konsantre kristalizatöre beslenmektedir. Kristalizatör konsantresinden ise santrifüj sonrası tuz geri kazanımı yapılmaktadır	Evaporatörün geri kazanım oranı %90 iken sistemin toplam su geri kazanım oranı %99'dur

Çizelge 5.7. Literatürde yer alan konsantre bertaraf uygulamaları (pilot/gerçek ölçekli tesisler)

Referans	Ülke-Tesis	Tesis ölçeği	Arıtım nedeni	Arıtma teknolojisi	Debi	Bertaraf tipi	Açıklama
CH2M, 2015	Sterling Şehri	Gerçek Ölçek	-TÇK giderimi	RO	36.336 m^3/gün	Derin Kuyu Enjeksiyonu	-
	Joint Su Arıtma Tesisi	Gerçek Ölçek	-TÇK giderimi	RO	34.065 m^3/gün	Derin Kuyu Enjeksiyonu	RO konsantre bertarafıyla ilgili problem yüksek selenyum içeriğinden kaynaklanmaktadır
	Doğu Cherry Creek Valley	Gerçek Ölçek	-TÇK giderimi	RO	30.280 m^3/gün	Derin Kuyu Enjeksiyonu	-
Kiefer, ve Eric, 2007	Blue Hills Desalinasyon Tesisi	Gerçek ölçekli	-İçme suyu eldesi	RO	45.420 m^3/gün	Derin Kuyu Enjeksiyonu	-
	Sand Desalinasyon Tesisi	Gerçek ölçekli	-İçme suyu eldesi	RO	2.271 m^3/gün	Derin Kuyu Enjeksiyonu	-
Magnuson vd., 2002	Perfection Planting	Gerçek Ölçek	-Nikel Giderimi	RO	-	Konsantre Geri Kazanımı	Konsantreyi proses banyolarına geri döndürerek Perfection Plating, aylık kimyasallarda 1.939 $ tasarruf ederek kimyasal kullanımını % 80 oranında azaltmıştır
von Gottberg vd., 2005	Sasol LTD.	Gerçek Ölçek	-Nehir suyunun maden drenaj suyundan kirlenmesini önlemek	EDR+RO	6.800 m^3/gün (RO) 7.600 m^3/gün (EDR)	Konsantre Geri Kazanımı	-
Locke, vd., 2015	Palm Coast Desalinasyon Tesisi	Gerçek Ölçek	-TÇK giderimi	RO	-	Konsantre Geri kazanımı (kireç/soda kül yumuşatması, pH ayarlama, ultrafiltrasyon ve dezenfeksiyon ile)	Yüzeysel sulara deşarj ortadan kalkmıştır ve 4.500 m^3/gün konsantre su geri kazanılmıştır
	Ula Pandan NeWater Tesisi	Gerçek Ölçek	-Atıksudan kullanım suyu eldesi	RO-MF	148.000 m^3/gün	-	Sanayi ihtiyacı karşılanarak mevcut içme suyu üzerindeki baskı da azaltılmıştır
Ahmed vd., 2000	Orta Doğu Uygulaması	Gerçek Ölçek	-TÇK Giderimi	RO	100-1000 m^3/gün	Buharlaştırma Havuzu	Buharlaşma havuzlarında karşılaşılan problemlerden birisi göletlerdeki kaçaklar ve dolgu malzemesindeki çöküntülerdir
	California Ceza ve Rehabilitasyon Bölümü	Gerçek Ölçek	-TÇK, demir ve mangan giderimi	RO	2.271 m^3/gün	Sıfır Sıvı Deşarjı-Buharlaştırma Havuzu	-
SA Water, 2017	Goodyear/ Buckeye	Gerçek Ölçek	-İçme suyu eldesi	RO	-	Soğutma suyu olarak kullanım ve sıfır sıvı deşarjı uygulamaları	-
CH2M, 2015	Ohio Geneli	Gerçek Ölçek	-TÇK giderimi	RO	-	Kanalizasyona Deşarj (Güney Tesisi)	Ohio'daki bazı kuruluşlar RO prosesini kullanmayı ya düşünmüş ya da geçmişte RO kullanmışlardır. Ancak konsantre bertarafı konusundan dolayı tercih etmemişlerdir.
	Minnesota Geneli	Gerçek Ölçek	-Radyum ve Nitrat giderimi	RO	9.841 m^3/gün 5.299 m^3/gün 45.420 m^3/gün	Kanalizasyona Deşarj veya yüzeysel sulara deşarj	Nitrat sorununa sahip bazı tesisler konsantre bertarafından uzak durmak için RO yerine iyon değişimi prosesini seçmişlerdir
Gippsland Water Factory, 2013	Gippsland Su Arıtma Tesisi	Gerçek Ölçek	-Evsel ve endüstriyel arıtım	MBR	35.000 m^3/gün	Kanalizasyona Deşarj	RO tesisi, %75 geri kazanım ile yıllık ortalama 8000 m^3/gün su üretmektedir

Referans	Ülke-Tesis	Tesis ölçeği	Arıtım nedeni	Arıtma teknolojisi	Debi	Bertaraf tipi	Açıklama
CH2M, 2015	Illinois Geneli	Gerçek Ölçek	-TÇK ve radyum giderimi	RO	0,38 m^3/gün - 3.785 m^3/gün	Kanalizasyona Deşarj	-
SA Water, 2017	Arlington Tesisi	Gerçek Ölçek	Nitrat, TÇK ve Sertlik giderimi	RO	37.850 m^3/gün	Santa Ana Regional Interceptor (SARI) Boru Hattı ile deşarj	Tesis kapasitesi artmıştır.
Chino Basin, 2012	Chino II Desalter	Gerçek Ölçek	Nitrat ve TÇK giderimi	İyon Değişimi +RO	77.592 m^3/gün	RO konsantresi olarak Inland Empire Tuzlu Konsantre Su Hattına (IEBL) deşarj edilmektedir	Bu sistem ile toplam su geri kazanımı %95'e kadar yükselmiştir
Poulson, 2010	Merkez Arizona Uygulaması	-	İçme suyu eldesi	RO	37.850 m^3/gün	Konsantre arıtımı ve yüzeysel sulara deşarj	Yüzeysel deşarj ile oluşan sulak alan, incelenen tüm alternatiflerin en düşük yıllık maliyetine sahip olduğu ve enerji gereksinimleri az olduğu için daha caziptir
Wallis-Lage vd., 2008	Bundamba İleri Arıtma Tesisi	Gerçek Ölçek	Azot ve fosfor giderimi	RO	60.560 m^3/gün	Konsantre arıtımı sonrası yüzeysel sulara deşarj	Bölgedeki endüstriyel bazlı su ihtiyacı karşılanmıştır. Proje, atıksu arıtma tesislerinden temin edilebilen sudan yararlanmak ve içme suyu arzında su taleplerini dengelemek için bütüncül bir yaklaşım benimsemektedir. Uzun vadeli hedefler, arıtılmış suyun Wivenhoe Barajı'na verilmesiyle kaynak suyunun yenilenmesi için olanakları içermektedir
SA Water, 2017	Adelaide Desalinasyon Tesisi	Gerçek Ölçek	İçme suyu eldesi	RO	-	Yüzeysel Sulara Deşarj	Derin deniz deşarjı yapılmakta olan bölge deniz canlılığına zarar vermemektedir
White Paper, 2011	Torreele Su Geri Kazanım Tesisi	Gerçek Ölçek	Atıksudan içme suyu eldesi	UF+RO	7.000 m^3/gün	Yüzeysel Sulara Deşarj	Arıtım sonrasında kuyu enjeksiyonu ile akifer beslenmiştir.
Talavera ve Ruiz, 2001	Maspalomas II Desalinasyon Tesisi	Gerçek Ölçek	TÇK Giderimi	RO	-	Yüzeysel Sulara Deşarj	Maspalomas II desalinasyon tesisinin ilk seyrelme bölgesi neredeyse hiç flora içermeyen kumlu bir yataktır. Bu nedenle desalinasyon tesisinin konsantre deşarjından önemli ölçüde etkilenmez
White Paper, 2011	Gold Coast (Altın Sahil) Des. Tesisi	Gerçek Ölçek	İçme suyu eldesi	RO	170.000 m^3/gün	Yüzeysel Sulara Deşarj	Tesis işletilmeye alınmadan 18 ay önce, bir çalışma yapılarak deniz suyunun mevcut durumu ortaya konularak, mevcut çevresel koşullar, deşarj alanındaki flora ve fauna ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Tesis devreye alındıktan sonra deşarj noktası ve diğer referans noktalarda yapılan çalışmalar deniz habitatı üzerine önemli bir etkinin olmadığını göstermiştir.
	Perth Deniz Suyu Des. Tesisi	Gerçek Ölçek	İçme suyu eldesi	RO	144.000 m^3/gün	Yüzeysel Sulara Deşarj	Tesisin işletilmeye alındığı 2006 yılından itibaren yoğun bir gerçek zamanlı izleme yapılarak deşarjın etkileri incelenmiştir. Yüksek tuzluluğa rağmen, deşarj difüzörlerinin etrafında yoğun bir deniz canlısı yaşamı bulunmaktadır
	Javea	Gerçek Ölçek	TÇK giderimi	RO	21.953 m^3/gün	Yüzeysel Sulara Deşarj	Javea tesisinin konsantre deşarjı, deşarj alanında doğal olarak oluşan oksijen azlığını yok edebilecek yüksek oksijen seviyesine sahiptir. Bağımsız bir genel bakış olarak, iyi tasarlanmış desalinasyon tesisinin çevresel etkileri minimuma indirebileceği ve oksijen içeriğinin yüksek olması nedeniyle çevre için faydalı olabileceği vurgulanmaktadır
	San Pedro del Pinatar	Gerçek Ölçek	TÇK Giderimi	RO	68.130 m^3/gün	Yüzeysel Sulara Deşarj	Üç yıldan fazla süredir kullanılmaktadır. Deşarjlardan dolayı deniz tabanında yaşayan bentik organizmalar etkilenmemiştir.

Referans	Ülke-Tesis	Tesis ölçeği	Arıtım nedeni	Arıtma teknolojisi	Debi	Bertaraf tipi	Açıklama
Tenne, 2010	Palmahim Desalinasyon Tesisi	Gerçek Ölçek	İçme suyu eldesi	RO	110.000 m^3/ gün	Yüzeysel Sulara Deşarj	-
Marilhet, 2009	Barcelona Desalinasyon Tesisi	Gerçek Ölçek	İçme suyu eldesi	RO	200.000 m^3/ gün	AAT çıkışı ile paçallanarak yüzeysel sulara deşarj	Bu deşarj yöntemi, deşarj noktasındaki çevreye etkiyi en aza düşürmekle kalmaz aynı zamanda ekonomik bir fayda sağlar
Abdessemed, ve Nezzal, 2003; Kety vd., 2002	Dunedin Arıtma Tesisi	Gerçek Ölçek	İçme suyu eldesi	RO	3.000 m^3/ gün	AAT çıkışı ile paçallanarak arazi sulama	Golf sahası çimleri ve turunçgil ağaçları, zeytin, badem ve antep fıstığı gibi diğer bitkileri sulama
Shimokawa, 2009	Fukuoka Desalinasyon Tesisi	Gerçek Ölçek	TÇK giderimi	RO	50.000 m^3/ gün	AAT çıkışı ile paçallanarak yüzeysel surlara deşarj	Bölgenin su ihtiyacı karşılanırken bölgedeki kanalizasyon hattı çıkışı ile deşarj edilerek TÇK konsantarsyonu azaltılmıştır
Hobbs ve Jorge, 2015	Ormond Beach Su Arıtma Tesisi	Gerçek Ölçek	TÇK giderimi	RO	45.420 m^3/ gün	AAT çıkışı ile paçallanarak yüzeysel surlara deşarj	Konsantre bertaraf yöntemi Halifax Nehri'nin kalitesini, alandaki bitki örtüsünü veya yüzeysel akiferin kalitesini olumsuz etkilememiştir
White Paper, 2011	Santa Barbara Şehri Des. Tesisi	Gerçek Ölçek	İçme suyu eldesi	RO	10.000 m^3/ gün	AAT çıkışı ile paçallanarak okyanusa deşarj	SCRIPPS Institution of Oceanography tarafından farklı koşullarda konsantre deşarjı modellenmiş olup, mevcut deşarj izin gereksinimlerini sağladığı görülmüştür
	Thames Gateway Des. Tesisi	Gerçek Ölçek	İçme suyu eldesi	RO	150.000 m^3/ gün	AAT çıkışı ile paçallanarak yüzeysel surlara deşarj	-
	Tampa Körfezi Des. Tesisi	Gerçek Ölçek	İçme suyu eldesi	RO	94.500 m^3/ gün	Güç santrali soğutma sularıyla paçallanarak yüzeysel sulara deşarj	Güç santrali çıkış suyunu hattına bertaraf gerçekleştirmekte. Böylece denizden su alma yapısı ve deşarj yapısı olmadığı için maddi kazanç sağlanmakta
Tenne, 2010	Ashkelon Desalinasyon Tesisi	Gerçek Ölçek	İçme suyu eldesi	RO	330.000 m^3/ gün	Güç santrali soğutma suyu deşarj noktasına yakın bir deşarj noktası ile yeterli seyreltme (denizde)	Konsantre deşarjlarına bağlı olarak fitoplankton biyokütlesi, herhangi bir alanda belirgin bir şekilde değişiklik göstermemiştir. Ayrıca deşarj nedeniyle herhangi bir alg patlaması veya toksik yosun çoğalması gözlenmemiştir
	Hadera Desalinasyon Tesisi	Gerçek Ölçek	İçme suyu eldesi	RO	525.000 m^3/ gün	Güç santrali soğutma sularıyla paçallanarak deşarj	

Çizelge 5.8. Membran konsantrelerinden materyal geri kazanımı yapan tesisler

Referans	Ülke-Tesis	Tesis ölçeği	Arıtım nedeni	Arıtma teknolojisi	Debi	Geri Kazanılan materyal	Açıklama
Ramm-Schmidt, 2014	Arvind Santej Tekstil Boyama Tesisi, Hindistan	Gerçek ölçekli	Su geri kazanımı için kullanılan RO membran konsantrelerinin arıtımı ve su geri kazanımını arttırmak	Evaporatör + Kristalizatör + santrifüj	600 m^3/gün	Tuz	
Ramm-Schmidt, 2014	Hindistan Coca Cola Şişe Yıkama Tesisi, Hindistan	Gerçek ölçekli	RO membran konsantrelerinin arıtılması ve toplam su geri kazanımının arttırılması	MVR evaporatör + kristalizatör + santrifüj	150 m^3/gün	Tuz	
Ramm-Schmidt, 2014	Bakır Boru Üretim Endüstrisi, Kanada	Gerçek ölçekli	Sülfürik asitle bakır boruların yüzey temizlemesinin yapıldığı endüstiride su, bakır ve asit geri kazanımı	Evaporatör	350 m^3/gün	Bakır + asit	-Tesiste su geri kazanım oranı %98'dir. Evaporatör öncesi su, bakır ve asit geri kazanımı imkansızken evaporatör ile her üçü de geri kazanılırken herhangi bir fiziksel-kimyasal arıtmaya gerek kalmamıştır.
The Water Reuse Research Foundation, 2014	Deniz suyu ve kuyu suyu arıtımı yapan RO tesisi, Eilat, Israil	Gerçek ölçekli	Deniz suyu ve kuyu suyu arıtımı yapan RO tesisinin RO konsantresinden yüksek kalitede NaCl üretimi yapmak	Solar havuz	-	NaCl	-2007 yılında 150.000 ton sofra ve endüstriyel amaçlı tuz üretilmiştir.
The WateReuse Research Foundation, 2014	Chino II Desalter, Kaliforniya, ABD	Gerçek ölçekli	Maliyetleri düşürmek için ticari amaçlı kalsiyum karbonat üretimi	Akışkan yataklı kristalizasyon	≈19.000 m^3/gün konsantre akımı	$CaCO_3$	-$CaCO_3$ fiyatı 30$/ton kabulü ile elde edilen gelir 130.000 $/yıl
Davis et al., 2006	-	Pilot ölçekli	Geri kazanım oranını arttırmak, bertaraf malyetlerini azaltmak, değerli kimyasalları geri kazanmak	RO + EDM	-	Na_2SO_4 + $CaSO_4$	
He et. al. 2011	-	Pilot ölçekli	Su geri kazanımında kimyasal, enerji ve bertaraf maliyetlerini düşürmek	Pellet kireçle yumuşatma/ ara kimyasal stabilizatör	-	Pellet	Pelletler, tavuk yemi, çimento, metal endüstri ve asfalt yapımında kullanılabilmektedir.
-	Zero Brine Projesi	Pilot Ölçekli	Değerleri mineraller ve tuzları içeren konsantre akımdan, çeşitli teknolojiler kullanarak değerli madde geri kazanım	Çeşitli yöntemler	-	Tekstil atıksularından tuzun geri kazanımı (TÜBİTAK MAM Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü tarafından gerçekleştirilecektir)	Proje, Avrupa Birliği Horizon 2020 çağrıları kapsamında desteklenmekte olup 1 Haziran 2017 tarihinde başlamıştır. Proje ortakları arasında TÜBİTAK MAM Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü de yer almaktadır.
-	Sol-Brine Projesi	Pilot Ölçekli-Gerçek ölçekli	Deniz suyu tuzsuzlaştırması sırasında oluşan konsantrenin minimizasyonu	Çeşitli yöntemler	-	Ticari amaçlı tuz üretimi	Proje, Avrupa Birliği LIFE+ kapsamında desteklenmiş olup 1 Ekim 2010-31 Aralık 2013 tarihleri arasında Kamu, üniversite ve özel sektör tarafından Yunanistan'da gerçekleştirilmiştir.

5.3. GENEL DEĞERLENDİRME

MEMKON projesinin bu iş paketi kapsamında incelenen uluslararası konsantre yönetimi uygulamalarına bakıldığında en çok uygulanan bertaraf yöntemlerinin sırasıyla yüzeysel sulara deşarj, derin kuyu enjeksiyonu, buharlaştırma uygulamaları, kanalizayona deşarj ve sıfır sıvı deşarjı veya konsantre arıtımı olduğu görülmüştür. Çok az sayıdaki tesis ise konsantre yönetiminde yenilikçi bir yaklaşım sayılan konsantrenin soğutma suyu olarak kullanılması uygulamasını ve/veya atıksu arıtma tesislerinin ikincil arıtma çıkışları ile birlikte paçallanarak deşarj edildiği uygulamaları gerçekleştirmektedir. Konsantre arıtımı ile ilgili uygulamaların çoğu ise yeni geliştirilmekte olan sistemler olup çoğunlukla pilot ölçekli çalışmalardır. Konsantre yönetimini uygulayan tesisler daha çok deniz suyu desalinasyonu tesisleridir. Endüstriyel uygulamalara çok az rastlanılmıştır.

Tüm konsantre yönetimi uygulamaları Ülkemiz açısından değerlendirildiğinde;

- Endüstriyel tesislerden oluşan konsantre akımlar için en uygun konsantre yönetimi seçeneği "kanalizasyona deşarj" dır. Kanalizasyona deşarj yönteminde yatırım/işletme ve enerji maliyetleri oldukça düşüktür.

- Ülkemiz için konsantre bertaraf yöntemlerinden biri olan "yüzeysel sulara deşarj" uygulaması daha çok desalinasyon tesisi konsantrelerinin bertarafı için uygun bir seçenek olmakla birlikte endüstriyel konsantreler için de uygun bir yöntem olabilmektedir. Özellikle deniz kıyısına veya tuzlu/acı su niteliği taşıyan yüzeysel sulara yakın tesisler için oldukça avantajlıdır. Ancak konsantrenin tuzluluk ve diğer kirletici içerikleri açısından yoğun olması alıcı ortamda birtakım olumsuzluklara neden olabilmektedir. Alıcı ortama olası etkilerinin tespiti için izleme çalışmalarının yapılması gerekmektedir.

- "Derin kuyu enjeksiyonu" bertaraf yöntemi büyük ölçekli tesisler için oldukça uygundur. Derin kuyu enjeksiyonun yapılabilmesi için tesisin iç kesimlerde yer alması ve bulunduğu bölgenin yeraltı su seviyesinin çok düşük olup enjeksiyondan etkilenmemesi gerekmektedir. Ayrıca oldukça maliyetli bir yöntemdir. Yeraltı suyu karakteristiği izleme kuyuları ile mutlaka izlenmelidir. Bu yöntem yüksek sismik aktivitesi olan alanlarda veya jeolojik kırıkların yakınlarındaki alanlar için fizibıl değildir.

- Diğer bir bertaraf yöntemi olan "buharlaştırma havuzları" doğrudan iklim koşullarına bağlı olduğundan Ülkemizde kullanım alanı sınırlıdır. Uygun iklim koşullarının sağlanmasının yanında oldukça fazla alan ihtiyacı bulunmaktadır. Arazinin değerli olduğu veya tarımın yoğun olarak yapıldığı bölgelerde bu bertaraf seçeneği uygun değildir. Aynı zamanda çok yağış alan ve sıcaklığın düşük olduğu bölgelerde de uygulanamamaktadır.

- Konsantre bertaraf tekniklerinden bir diğeri ise "konsantrelerin başka bir akımla karıştırılıp denize tek bir deşarj hattından deşarj edilmesi" uygulamasıdır.

- Membran konsantrelerinin paçallandığı bir diğer akım türü de soğutma suyu deşarjlarıdır. Bu tür uygulamalarda, enerji santrallerinin (örneğin termik santral) soğutma suyu ihtiyacı için denizden su çekilmekte, santralde kullanılan ısınmış soğutma sularının bir kısmı tesisdeki SWRO tesisine beslenmektedir. Soğutma sularının diğer kısmı ise (çekilen deniz suyunun debi olarak büyük kısmı) denize deşarj edilmektedir. SWRO tesisinde desalinasyon sonrası içme veya kullanma suyu elde edilmektedir. SWRO konsantreleri ise mevcut soğutma suyu deşarj hattına bağlanıp, paçallanıp denize geri basılmaktadır. Dolayısıyla, kullanılmış tuzlu soğutma suları hem SWRO tesisin giriş suyu olmakta hem de SWRO tesisi konsantreleriyle paçallanmaktadır. Bu 'aynı tesisde birlikte kullanım' ('co-location' veya 'collocation') uygulama türünün fizibil olması için, soğutma suyu deşarj debisinin SWRO tesisi giriş kapasitesinden büyük olması gerekmektedir.

- 'RO konsantresi-ikincil arıtma çıkışı (veya soğutma suyu) paçalı ve tek hatdan deniz deşarjı' konsepti ülkemiz için de iyi bir örnektir. Ancak, bu uygulamadan önce her bir proje için fizibilite yapılmalıdır.

- Endüstriyel konsantrelerin azaltımı için en uygun yöntemlerden birisi de ZLD'dir. ZLD ile suyun neredeyse tamamı geri kazanılmakta ve proses içinde yeniden kullanılabilmektedir. Ancak ZLD için kullanılan ekipmanların pahalı ve harcanılan enerjinin yüksek olması nedeniyle oldukça maliyetli bir yöntemdir. Özellikle kanalizasyon sisteminin bulunmadığı, yüzeysel sulara deşarjın mümkün olmadığı ve diğer bertaraf seçeneklerinin de uygulanamadığı durumlarda konsantre akımları mutlaka ZLD ile minimize edilmelidir.

- Endüstriyel tesislerden kaynaklanan konsantrelerin bertarafının mümkün olamadığı veya konsantrelerden madde geri kazanımının uygulandığı durumlarda konsantre akımlarının fiziksel-kimyasal veya biyolojik yöntemlerle arıtılması gerekmektedir. Konsantrelerin arıtımı için geliştirilen yöntemlerin birçoğu pilot ölçektedir. Önümüzdeki yıllarda özellikle konsantrelerden madde geri kazanımın önemli olacağı düşünüldüğünde bu tür arıtım tekniklerinin daha da geliştirileceği öngörülebilir.

Hangi yöntemin en uygun konsantre yönetimi seçeneğinin olduğunu belirleyebilmek için birçok değişken söz konusudur. Bu değişkenlerin başında

ise yatırım ve işletim maliyetleri gelmektedir. Her bir konsantre yönetim seçeneğinin maliyet açısından değerlendirilmesi aşağıda sunulmuştur. Ayrıca Çizelge 5.9 ise bazı bertaraf tekniklerinin hesaplanmış maliyetleri gösterilmiştir.

Yüzeysel sulara deşarj: Konsantrenin yüzeysel sulara deşarjında dikkate alınması gereken maliyet unsurları şu şekildedir;

- Desalinasyon tesisinden çıkan konsantrenin yüzeysel sulara taşınmasıyla oluşan maliyet
- Konsantrenin yüzeysel sulara döküldüğü noktada yapılacak çıkış yapısının inşaat maliyeti ve işletim maliyeti
- Konsantrenin deşarjı ile çevresel değişikliklerin izlenmesi ile ilgili oluşan maliyetler.

Konsantrenin taşınması maliyetinde i) konsantre miktarı ve ii) tesis ile yüzeysel su arasındaki mesafe oldukça önemlidir. Konsantrenin deşarj nokatasındaki inşa maliyeteleri bölgeye özel değişkenlik gösterebilmektedir. Konsantre debisinin fazla ve/veya tuzluluğun yüksek olması difüzör sistem konfigürasyonlarını ve deşarj boru boyunu etkileyeceğinden maliyet de değişkenlik gösterecektir. Bu faktörlerin yanında bölgesel olarak değişkenlik gösteren yüzeysel suların hidrodinamik koşulları da maliyetleri etkileyebilmektedir. Yüzeysel sulara deşarjlarda karşılaşılan başlıca işletim maliyeti ise konsantrenin deşarj öncesi havalandırmanın gerekli olduğu durumlardır veyahut toksik maddeler içeriyor ise konsantrenin arıtılmasıdır. Aynı zamanda bu maliyetler mevcut deşarj hattının bulunup bulunmadığına göre de değişkenlik gösterir. Mevcut deşarj hattının bulunması durumunda maliyetler olumlu anlamda değişkenlik gösterecektir. Bir diğer maliyet unsuru ise izleme çalışmalarından kaynaklanmaktadır. Konsantrenin deşarjı ile meydana gelen çevresel değişikliklerin dönemsel olarak sürekli izlenmesi gerekmektedir. Buradan oluşacak maliyet ancak konsantrenin bir atıksu arıtma tesisi veya endüstriyel tesislerin mevcut deşarj hattına verilmesi ile önlenebilir.

Çizelge 5.9. Seçilen konsantre yönetimi seçeneklerinin yatırım maliyetlerinin karşılaştırılması

Debi (m^3/gün)	Maliyet-$ x 1.000											
	Yağmurlama Şeklinde Sulama				Buharlaştırma Havuzu				Derin Kuyu Enjeksiyonu		Tuzlu Su Konsantratörü	
	Acre (Hektar)	$	Acre (Hektar)	$	Acre (Hektar)	$	Acre (Hektar)	$	762 m ($)	3.048 m ($)	Yatırım Maliyeti ($)	Enerji Maliyeti ($/yıl)
	0,61 m/yıl		6,1 m/yıl		11 m^3/gün/km^2		44 m^3/gün/km^2					
37,85	2.43	200	0,243	40	5,7	1.600	1,62	400	1.750	5.700	1.300	55
378,5	24.3	1.000	2,43	200	56,7	16.000	14,2	4.000	1.750	5.700	2.000	1.230
3.785	243	6.000	24,3	1.200	567	160.000	142	40.000	2.500	8.100	8.750	3.500
7.570			48,6	2.400					2.800	8.500	14.900	6.850
18.925			121,4	6.000					3.600	10.000	38.500	17.200

Kanalizasyona deşarj: Bu yöntem, düşük miktarlı konsantrelerin deşarjı için oldukça uygundur (düşük maliyetlidir). Bu yöntemdeki maliyet kalemleri şu şekildedir; i) konsantrenin taşınım maliyeti (pompa istasyonu ve boru hattı) ve kanalizasyon bağlantı ücretleridir. Konsantre miktarı, taşınım maliyetini doğrudan etkilemektedir. Kanalizasyon bağlantı ücreti, daha çok kanalizasyon sisteminin kapasitesine ve konsantrenin kompozisyonu arıtma tesisini ne kadar etkilediğine bağlıdır.

Arazi uygulamaları (yağmurlama şeklinde sulama): Genellikle bu yöntem, konsantrenin uygun oranlarda tatlı su ile paçallanarak araziye uygulanmasıyla oldukça düşük maliyetli bir yöntemdir. Buradaki maliyeti oluşturan faktöreler; arazi maliyetleri, depolama ve dağıtım sistemi maliyetleri ve sulama sistemlerinin kurulum maliyetleridir.

Derin Kuyu Enjeksiyonu: Bu yöntemde karşılaşılan maliyet kuyu derinliği ve çapı ile doğru orantılı değişmektedir. Diğer faktörler ise i) konsantrenin ön arıtım gerekliliği, ii) pompa büyüklüğü ve basıncı, iii) izleme kuyularının sayısı ve iv) alan hazırlığı, mobilizasyon ve demobilizasyondur. Derin kuyu enjeksiyonu oldukça maliyetlidir. Ancak büyük miktarlarda konsantre üreten tesisler için fizibıl olabilmektedir.

Buharlaştırma Havuzları: Buharlaştırma havuzu sistemlerinin maliyeti; buharlaşma hızına yani iklim koşullarına, konsantre miktarına, arazi maliyetine, sızdırmazlık için kullanılan malzemeye ve konsantrenin tuzluluğuna bağlıdır. Ana maliyet kalemi ise buharlaştırma alanının büyüklüğüdür.

Sıfır Sıvı Deşarjı (ZLD): Tuzlu su konsantratörleri veya diğer metotlar ile gerçekleştirilen sıfır sıvı deşarjı yöntemleri yatırım ve işletim maliyetleri açısından diğer yöntemlere göre oldukça yüksektir. Çünkü ZLD, buharlaştırma, kristalizasyon ve konsantre etme (susuzlaştırma) için yüksek maliyetli mekanik ekipmanlara ihtiyaç duymaktadır. Ayrıca buharlaştırma yönteminde enerji maliyeti de önemli yer tutar. Bu yöntem (ZLD) özellikle endüstrilerde suların yeniden kullanılmasına imkan tanımaktadır.

Diğer Yöntemler: Diğer konsantre yönetimi alternatifleri (atıksu arıtma tesisi çıkış suları ile paçallama veya enerji santrali soğutma suları ile paçallama) konsantreyi seyrelterek çevresel etkilerini azaltabilmektedir.

ALTINCI BÖLÜM

MEMBRAN KONSANTRE ARITIMI VE BERTARAF YÖNTEMLERİ AÇISINDAN ULUSAL UYGULAMALAR





6. MEMBRAN KONSANTRE ARITIMI VE BERTARAF YÖNTEMLERİ AÇISINDAN ULUSAL UYGULAMALAR

Membran uygulamalarının fizibilitesini belirleyen en önemli faktörlerden birisi konsantre yönetimidir. Konsantre yönetimi doğrudan deşarjı, arıtım ve/veya geri kazanımın yapıldığı teknolojileri kapsamaktadır. Bu kapsamda ulusal bazda membran konsantre yönetimini temsil etmek adına, ülkemizde membran konsantre arıtımı ve bertaraf yöntemlerini uygulayan 4 farklı tesis seçilmiştir. Bu tesisler; Organize Sanayi Bölgesi Su Üretim Tesisi, Kağıt Üretim Tesisi, Tekstil Üretim Tesisi ve Petrol Rafinerisidir. Bahsi geçen tesislerde gerçekleştirilen farklı membran konsantre arıtımı ve bertaraf yöntemleri incelenmiş ve aşağıda sunulmuştur.

6.1. Organize Sanayi Bölgesi Su üretim Tesisinde Su Geri Kazanımı ve Konsantre Yönetimi

Organize Sanayi Bölgesi (OSB) bünyesinde yer alan firmalara 2. kalite proses suyu temin edildiği su geri kazanım tesisinin amacı, OSB'de faaliyet gösteren firmaların ihtiyaç duyduğu kalitede düşük maliyetli su temini gerçekleştirmektir. 2. kalite olarak adlandırılan su OSB yakınında akan dereden alındıktan sonra su geri kazanım tesisinde arıtılarak, üretim proseslerinde kullanılmak üzere ana su depolarına terfi edilmekte ve ana depolardan OSB 2. kalite su şebekesine verilmektedir. Su geri kazanım tesisi mekanik/fiziksel, biyolojik arıtma, kimyasal arıtma ve kum filtresi ünitelerini içeren konvansiyonel arıtma ile ultrafiltrasyon (UF) ve ters osmoz (RO) ünitelerini içeren ileri arıtma bölümlerinden oluşmaktadır. Biyolojik arıtma ve kimyasal arıtma ünitelerinin genel görünümü Şekil 6.1'de verilmiştir.

Konvansiyonel arıtma tesisinden gelen arıtılmış su, 7 adet otomatik temizlemeli mekanik filtrelerden ve ardından her hatta 76 adet UF modülü bulunan 7 adet UF hattından geçmektedir. Müteakiben su, yüksek basınç pompaları ile her biri 246 RO modülüne sahip 7 adet RO hattı RO ünitelerine beslenmektedir. RO prosesi geri kazanım oranı yaklaşık olarak %70'dir. Su geri kazanım tesisinde kum filtresinden geçirilen ve UF+RO ünitelerinden geçirilen sular karıştırılarak OSB'ye 2. kalite



A B

Şekil 6.1. Kimyasal arıtma ünitesi (A) ve biyolojik arıtma ünitesi (B) genel görünümü



A B

Şekil 6.2. UF membran ünitesi (A) ve RO membran ünitesi (B) genel görünümü



A B

Şekil 6.3. Anaerobik reaktör (A) ve havalandırma havuzunun (B) genel görünümü

su iletimi yapılmaktadır. UF ve RO membran modüllerinin genel görünümü Şekil 6.2'de sunulmuştur.

Tesiste yapılan incelemeler sonucunda; kum filtresinin optimum verimle çalıştırılması durumunda filtreden geçen arıtılmış suların, OSB'nin proses dışı (çim sulama, yangın söndürme, tuvalet rezervuarlarında, araç yıkama, soğutma suyu vb.) kullanım potansiyelinin mevcut olduğu görülmüştür. Ayrıca konsantre atığının, RO permeyt suları ile uygun oranda birleştirilerek (paçal yapılarak), OSB dahilinde faaliyet gösteren firmaların talep ettiği kalitede kullanım suyu elde edilebileceği tespit edilmiştir. İletkenlik parametresi açısından diğer bir konsantre minimizasyon alternatifi olarak, RO konsantresinin deşarj edilmesi yerine, tesis içinde farklı kullanım noktalarında geri kullanılabileceği; OSB bünyesinde faaliyet gösteren firmaların kullandığı yüksek kaliteli proses sularının su geri kazanım tesisi RO permeyti ile karşılanabileceği ve neticede firmaların temin edeceği içilebilir nitelikteki temiz su kullanımının ve su tüketim maliyetlerinin azalacağı değerlendirmesi yapılmıştır.

6.2. Kağıt Üretim Tesisinde Atıksu Geri Kazanımı ve Konsantre Yönetimi

Hurda kağıttan oluklu mukavva üreten tesiste RO prosesiyle su geri kazanımı yapılarak oluşan konsantre, Su Kirliliği ve Kontrolü Yönetmeliği (SKKY) Tablo 13.2'de belirtilen kriterlere uygun olarak alıcı ortama deşarj edilmektedir. Atıksu; uygun şekilde fiziksel, biyolojik ve kimyasal arıtımdan geçirildikten sonra RO filtrasyon ünitelerine alınmaktadır. Arıtma tesisi genel olarak; ön çökeltim, dengeleme, anaerobik arıtım, aerobik arıtım, son çöktürme, hareketli yataklı biyoreaktör (MBBR) ve çözünmüş hava flotasyonu (DAF) proseslerini içermektedir. Anaerobik ve aerobik arıtım prosesleri Şekil 6.3'de gösterilmiştir.

Biyolojik olarak arıtılmış suyun bir kısmı su geri kazanım tesisine alınmaktadır. Geri kazanım tesisinde arıtılmış su ilk olarak MULTIFLO kimyasal arıtma ünitesine alınarak membran proseslerle süzme öncesinde suda bulunabilecek kolloidal organikler ve bazı inorganik maddeler giderilmektedir. UF prosesi öncesinde mekanik filtreler kullanılmaktadır. Tesiste toplam 4 adet UF kümesi (Şekil 6.4a) mevcut olup, her kümede 35 adet UF (hollow fiber, PVDF materyal) modülü bulunmaktadır ve geri kazanım oranı yaklaşık %87'dir. UF sonrasında, çözünmüş organik maddelerin giderilerek RO prosesinde organik tıkanma ve biyo-tıkanmanın azaltılması için, aktif karbon filtreleri kullanılmaktadır. Aktif karbon filtre çıkış suları RO prosesine beslenmektedir. RO prosesi geri kazanım oranı yaklaşık olarak %70'dir. Tesiste 3 adet RO kümesi bulunmaktadır (Şekil 6.4c). RO prosesi 2 kademeli olarak dizayn edilmiştir.

Kağıt fabrikasına ait atıksu arıtma tesisinin ve akabinde yer alan su geri kazanım tesisinin en önemli özelliği, her iki tesisin çıkış sularının kağıt üretim proseslerinde tekrar kullanılmasıdır. Biyolojik arıtma tesisi çıkış sularının belli bir miktarı (üretim prosesindeki su ihtiyacına göre) gelen hurda kağıtların yıkanmasında



A B C

Şekil 6.4. UF membran ünitesi (A), kartuş filtreler (B) ve RO membran ünitesinin (C) genel görünümü

ve kağıt üretim makinalarında geri kullanılmaktadır. RO tesisi çıkış suları (permeyti) ise kaliteli su ihtiyacının olduğu üretim proseslerinde hali hazırda geri kullanılmaktadır. RO tesisinden oluşan konsantre deşarj edilmektedir. Ancak bu konsantre sularının bile kağıt üretim tesisi içerisinde kullanılma potansiyeli mevcuttur. Firma yetkilileri atıksu arıtma tesisi giriş sularında tuzlanmanın olmaması için RO konsantrelerini geri kullanmamaktadır. Bu sebeple RO konsantresi alıcı ortama deşarj edilmektedir. Tesis özelinde yapılan incelemelerde atıksu arıtma (ikincil arıtma) tesisi çıkış sularının, üretimde geri kullanılmadığı durumlarda RO konsantreleri ile paçal yapılarak deşarj edilebileceği tespit edilmiştir. Böyle paçallı bir deşarj durumunda RO konsantrelerinin kalite değerlerinde iyileşme söz konusu olabilecektir. İkincil arıtma çıkışı ile RO konsantresinin paçallı deşarjının dünyada birçok uygulaması mevcuttur.

6.3. Tekstil Üretim Tesisinde Atıksu Geri Kazanımı ve Konsantre Yönetimi

Tekstil üretim tesisinde oluşan atıksular membran prosesleriyle geri kazanılmaktadır. Tekstil atıksu arıtma tesisinde kimyasal ve biyolojik arıtma yapılmaktadır. Atıksu arıtma tesisi, dengeleme havuzu; hızlı ve yavaş karıştırma, kimyasal çöktürme, aktif çamur havalandırma ve son çökeltim ünitelerinden oluşmaktadır. Tekstil atık su arıtma tesisinin genel görünümü Şekil 6.5'de gösterilmiştir.

Kimyasal ve biyolojik olarak arıtılmış atıksuyun bir kısmı atıksu geri kazanım tesisine alınmaktadır. Atıksu geri kazanım tesisi ön arıtma, UF ve RO ünitelerden oluşmaktadır. Atıksu arıtma tesisi çıkışından alınan su ilk olarak atıksu geri kazanım tesisinde bulunan dengeleme havuzuna gönderilmektedir. Dengeleme havuzu girişinde oksidant ve renk giderici katyonik polimer dozajı yapılmaktadır. Dengeleme havuzu sonrası 200 µm ve 100 µm elek aralığına sahip 2 adet otomatik temizlemeli mekanik filtrelerden geçirilerek atıksuda bulunan partiküler maddeler tutulmaktadır. Mekanik filtrasyondan sonra 2 adet aktif karbon filtresi mevcuttur. Aktif karbon filtrelerde granüler aktif karbon kullanılmaktadır. Aktif Karbon filtrasyonu sonrası atıksu tekrar 20 µm elek aralığında mekanik filtrasyondan geçerek UF ünitelerine gönderilmektedir. Atıksu geri kazanım tesisinde toplam 3 adet UF kümesi mevcut olup, her kümede 48 adet UF (hollow fiber, PVDF materyal) modülü bulunmaktadır (Şekil 6.6a). UF çıkış suyu 5 µm gözenek çaplı kartuş filtrelerden geçerek RO



Şekil 6.5. Tekstil atık su arıtma tesisinin genel görünümü



A B

Şekil 6.6. UF ünitesi (A) ve RO ünitesinin (B) genel görünümü

prosesine gönderilmektedir. RO prosesi geri kazanım oranı yaklaşık olarak %75'dir. Tesiste 3 adet RO kümesi bulunmaktadır (Şekil 6.6b).

Tekstil firmasının yanında bulunan enerji üretim tesisinin soğutma suyu ihtiyacını karşılamak için atıksu geri kazanım tesisi kurulmuştur. Soğutma sistemlerinde kullanılmak amacı ile enerji üretim tesislerinde önemli ölçüde su tüketimi gerçekleşmektedir. Tekstil üretim tesis ve enerji üretim tesisi yan yana konumlanmıştır. Tekstil üretim tesisinden oluşan atıksuyun geri kazanılarak enerji üretim tesisinde kullanılması endüstriyel simbiyoza örnek bir yaklaşımdır. Enerji üretim tesisinin soğutma suyu ihtiyacı doğrudan doğal kaynak kullanımına gidilmeden, tekstil atık su arıtma tesisi çıkış sularının geri kazanılması ile karşılanmaktadır. Atıksu geri kazanım tesisi oluşan konsantre tekstil atık su arıtma tesis girişine gönderilerek alıcı ortama konsantre deşarjı yapılmamaktadır. RO konsantresinin arıtma tesisi başına gönderilmesi yerine, tesis içinde farklı kullanım noktalarında geri kullanımının değerlendirilmesi yapılabilir.

6.4. Petrol Rafinerisinde Atıksu Geri Kazanımı ve Konsantre Yönetimi

Ham petrolün işlendiği rafineriye ait su geri kazanım tesisi, bir atıksu arıtma tesisinden (Şekil 6.7) dereye deşarj edilen arıtılmış atıksuyun ileri arıtımdan geçirilerek demineralize su üretilmesi için kurulmuştur. Bu proje ile rafinerinin su ihtiyacının karşılanması ve çevredeki içme suyu kaynaklarının korunması hedeflenmiştir.

Atıksu arıtma tesisi çıkışına kurulmuş olan pompalar ile deşarj suyu rafineriye gönderilmektedir. Ham su tankına gelen su, besleme pompalarıyla kum filtrelerden (Şekil 6.8a) geçirilerek aktif karbon ünitesine (Şekil 6.8b) gönderilmektedir. Aktif karbon filtrasyon bölümünde, 9 adet paralel çalışan ve kendi içerisinde 2 adet seri bağlı olan toplam 18 adet filtre bulunmaktadır.

Aktif karbon çıkış suyu su deposuna ve buradan da pompalar vasıtasıyla UF ünitesine (Şekil 6.9a) gönderilmektedir. UF sisteminde polietersülfon malzemeden boşluklu elyaf membran modülleri kullanılmaktadır. UF membran modülleri üzerinde biriken katı maddelerin ve mikroorganizmaların uzaklaştırılması ve dezenfeksiyon edilmesi amacıyla su ile ters yıkama ve kimyasal ters yıkama otomatik olarak yapılmaktadır. Su ile ters yıkama, kimyasal ters yıkama ve durulama için UF sisteminin ürün suyu kullanılmaktadır. UF sisteminden sonraki adım RO sistemidir (Şekil 6.9b). Poliamid spiral sargılı 324 adet RO membranın kullanıldığı RO sisteminde tuz giderimi sağlanmaktadır. Elde edilen RO ürün suyu ise tesiste farklı amaçlarda kullanılmak üzere depolanmaktadır.

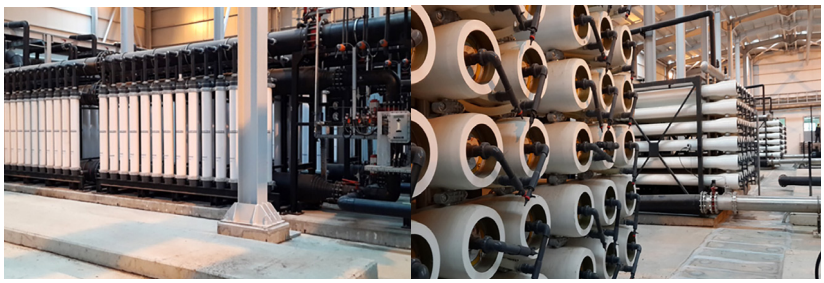


Şekil 6.7. Atıksu arıtma tesisinin genel görünümü



A B

Şekil 6.8. Kum filtresi ünitesi (A) ve aktif karbon filtrasyon ünitesi (B) genel görünümü



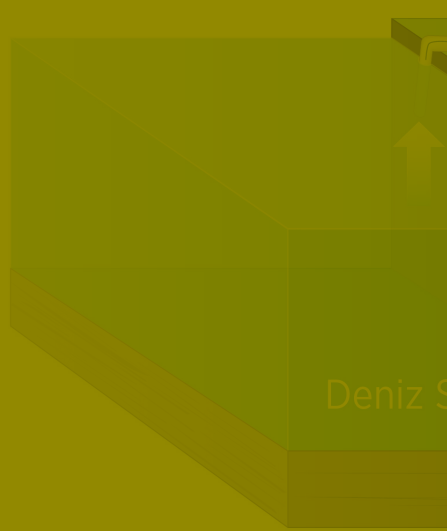
A B

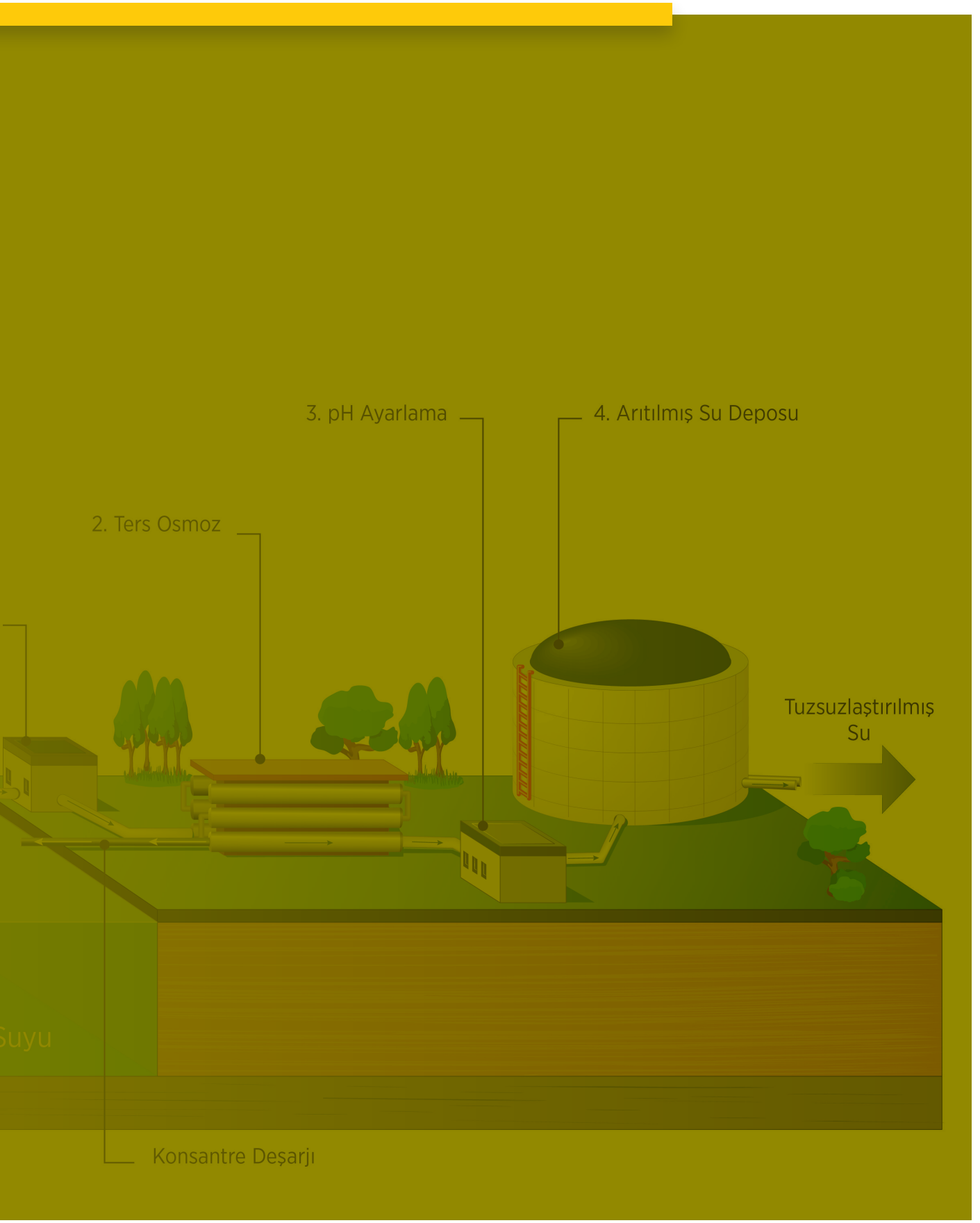
Şekil 6.9. UF membran ünitesi (A) ve RO membran ünitesi (B) genel görünümü

Tesiste mevcut durumda RO süzüntüsü buhar üretimi, servis suyu, yangı suyu ve kullanım suyu olarak kullanılmaktadır. RO konsantre akımı kentsel atıksu arıtma tesisi çıkışına bazen de kentsel atıksu arıtma tesisi girişine geri verilmektedir. Bu bağlamda konsantre akımı alıcı ortama deşarj edilmemektedir. Sistemde kullanılan aktif karbon filtrelerinin optimizasyonu yapılarak işletme maliyetlerinde azaltıma gidilebilir. İletkenlik parametresi açısından konsantre minimizasyon alternatifi olarak, RO konsantresinin deşarj edilmesi yerine, tesis içinde farklı kullanım noktalarında geri kullanımının değerlendirilmesi yapılabilir. Ayrıca, RO konsantre akımı tesis bünyesinde bulunan atıksu arıtma tesisinin çıkış suyu ile paçallanarak denize deşarj edilebilir.

YEDİNCİ BÖLÜM

MEMBRAN KONSANTRE AKIMLARININ YÖNETİMİ




3. pH Ayarlama
4. Arıtılmış Su Deposu
2. Ters Osmoz
Tuzsuzlaştırılmış Su
Konsantre Deşarjı

7. MEMBRAN KONSANTRE AKIMLARININ YÖNETİMİ

7.1. Konsantre Akımların Yönetim Modeli Ve Yazılım Geliştirilmesi

Gelecekte çevre kalite standartlarının (ÇKS) uygulanmaya başlamasını takiben, konsantre akımı deşarj parametrelerinin ve konsantrasyonlarının belirlenmesi, diğer atıksuların deşarjında olacağı gibi projeye özel olacaktır. Ancak, günümüzde uygulanan yasal mevzuatta konsantre akımlarının yönetimi ile ilgili boşluk bulunmaktadır. Bunların deşarjı, arıtılmış atıksularda olduğu gibi ya kanalizasyona sistemine ya da alıcı ortama yapılacaktır. Kanalizasyon ve alıcı ortam seçeneğinin olmadığı durumlarda ise sıfır sıvı deşarjı yaklaşımı uygulanabilir. Sanayi kuruluşlarının su geri kazanım proseslerinde oluşan membran konsantrelerini deşarj edip edemeyeceklerini belirlemek amacıyla izlemeleri gereken adımlar Çizelge 7.1'de aşağıda deşarj ortamına bağlı olarak verilmiştir. Ayrıca kanalizasyona deşarj, alıcı ortama deşarj ve ZLD yaklaşımı için konsantre yönetim akım şemaları sırasıyla Şekil 7.3, Şekil 7.4 ve Şekil 7.5'de sunulmuştur.

Membran konsantresinin alıcı ortam yerine kanalizasyon sistemine deşarjı membran konsantrelerinin yönetimi açısından daha uygun bir seçenektir. Endüstriler, su geri kazanım proseslerinde oluşan membran konsantresinin kanalizasyona deşarjında, atıksu altyapı yönetimi tarafından belirlenen standartlara tabii olup, bunların kanalizasyona deşarjı da yönetimin izni ile mümkündür.

Kanalizasyona deşarjın mümkün olmaması veya tercih edilmemesi durumunda membran konsantresinin alıcı ortama deşarjı mümkün olabilir. Endüstriyel atıksu geri kazanımında ortaya çıkan membran konsantrelerinin alıcı ortama deşarjı için iki temel yaklaşım söz konusudur. Bunlardan birincisi halen teknoloji tabanlı deşarj standartlarının uygulandığı SKKY Sektör tablolarında belirtilen parametreler ve bunların konsantrasyonlarının atıksu arıtımında olduğu gibi, membran konsantre deşarjında da geçerli olmasıdır. Diğer yaklaşım ise su geri kazanım tesisine giren arıtılmış atıksu eğer deşarj standartlarını sağlıyorsa membran konsantresindeki parametrelerin konsantrasyonlarına bakılmadan deşarj edilebilmesidir. Bu yaklaşımdaki gerekçe toplam deşarj yükünün değişmeyeceği gerçeğidir. Ancak, mevcut deşarj limitleri daha çok teknoloji tabanlı olup, alıcı ortam bazlı (çevresel kalite standartları) deşarj limiti mevzuatları henüz ülkemizde uygulanmamaktadır. Özellikle su geri kazanımının yoğun olduğu endüstriyel bölgelerde alıcı ortamın korunması gerekmektedir. Bu nedenle, membran konsantrelerinin deşarjında temel yaklaşım, daha sıkı sınırlar oluşturduğu gerekçesi ile SKKY sektör tablolarındaki limitlerin membran konsantresinin deşarjı için de uygulanmasıdır.

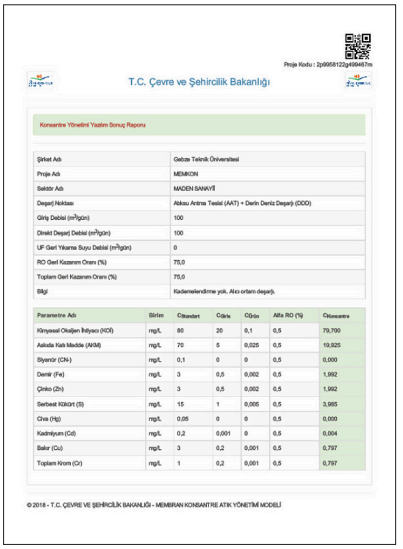
Membran geri kazanım tesisi konsantre deşarjının mümkün olmadığı durumlarda veya deşarjın istenmediği durumlarda kullanıcı sıfır sıvı deşarjı yaklaşımını uygulamalıdır. Termal yöntemler, kristalizasyon, EDR, membran distilasyonu, ileri osmoz ve diğer ileri yöntemler konsantrenin özelliğine göre kullanılabilecek proseslerdir. Sıvı deşarjı söz konusu olmadığından sıvı deşarjı ile ilgili bir izin süreci gerekmemektedir.

Membran konsantresinin deşarj edi-



Şekil 7.1. MEMKON Yazılımı Anasayfa Ekran Görüntüsü

leceği nokta ve deşarj standartlarının belirlenmesini takiben, proses dizaynı gerçekleştirilerek geri kazanım oranları, konsantre debisi ve varsa doğrudan deşarj edilecek arıtılmış atıksu debisi belirlenir. Belirlenen geri kazanım tesisi dizaynına bağlı olarak deşarj standardı olan her bir parametrenin membran konsantresindeki konsantrasyonları kütle denkliklerinden hesaplanır. Membran konsantresinin deşarjının uygun olabilmesi için her bir parametrenin konsantrasyonunun standart değerden düşük olması gerekmektedir. Membran konsantresindeki parametrelerden birisinin bile standart değerlerden yüksek çıkması


T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı

Konsantre Yönetimi Yazılım Sonuç Raporu

Şirket Adı	Gebze Teknik Üniversitesi
Proje Adı	MEMKON
Sektör Adı	MADEN SANAYİ
Deşarj Noktası	Atıksu Arıtma Tesisi (AAT) + Derin Deniz Deşarjı (DDD)
Giriş Debisi (m^3/gün)	100
Direkt Deşarj Debisi (m^3/gün)	100
UF Geri Yıkama Suyu Debisi (m^3/gün)	0
RO Geri Kazanım Oranı (%)	75,0
Toplam Geri Kazanım Oranı (%)	75,0
Bilgi	Kademelendirme yok. Akıcı ortam deşarjı.

Parametre Adı	Birim	$C_{standart}$	$C_{giriş}$	C_{Direkt}	Alfa RO (%)	$C_{konsantre}$
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)	mg/L	80	20	0,1	0,5	79,700
Askıda Katı Madde (AKM)	mg/L	70	5	0,025	0,5	19,925
Siyanür (CN-)	mg/L	0,1	0	0	0,5	0,000
Demir (Fe)	mg/L	3	0,5	0,002	0,5	1,992
Çinko (Zn)	mg/L	3	0,5	0,002	0,5	1,992
Serbest Klor (Cl)	mg/L	15	1	0,005	0,5	3,985
Civa (Hg)	mg/L	0,05	0	0	0,5	0,000
Kadmiyum (Cd)	mg/L	0,2	0,001	0	0,5	0,004
Bakır (Cu)	mg/L	3	0,2	0,001	0,5	0,797
Toplam Krom (Cr)	mg/L	1	0,2	0,001	0,5	0,797

© 2018 - T.C. ÇEVRE VE ŞEHİRCİLİK BAKANLIĞI - MEMBRAN KONSANTRE ATIK YÖNETİMİ MODELİ

Şekil 7.2. MEMKON Yazılımı Örnek Rapor Formatı

durumunda ya geri dönüşüm oranı düşürülmeli, yada varsa paçallama seçeneği düşünülmelidir. Paçallama sadece arıtılmış atıksu ile gerçekleştirilebilir. Bu seçeneklerin uygun bulunmaması durumunda ise sıfır sıvı deşarjı uygulaması yapılmalıdır. Ancak, yıllık maksimum konsantre debisi ortalamasının, deşarj edilecek alıcı ortam yıllık ortalama debisinden küçük olduğu nehir, dere vb. alıcı ortamlara deşarj için Bakanlığın belirlediği çerçeve dahilinde hazırlanacak Membran Konsantresi Deşarj Uygunluk Raporu ile deşarj standardında artış izni talep edilebilir. Benzer bir rapor, derin denzi deşarjı (DDD), deniz deşarjı ve göllere deşarj içinde hazırlatılabilir.

Parametrelerin tümü deşarjı standart değerlerin altında ise veya deşarj uygunluk raporu ile yeniden belirlenmiş standartlarda küçükse, Bakanlığa deşarj izni için başvurulabilir.

Membran konsantresindeki parametrelerin konsantrasyonlarının hesaplanması ve deşarj uygunluğunun farklı alıcı ortam seçenekleri ve farklı koşullarda (ters osmoz ve nanofiltrasyon kademelendirme, paçallama) test edilmesi amacıyla bir yazılım geliştirilmiştir. Yazılım, Microsoft IIS sunucu içerisinde çalışan katmanlı mimariye uygun yazılmış bir MVC uygulamasıdır. Altyapısında WCF, ASP.NET, Entity Framework ve javascript teknolojileri kullanılmıştır. Uygulamanın tüm tablet, cep telefonu ve PC ekranlarında sorunsuz çalışması için görsel tarafında CSS framework olarak bootstrap kullanılmıştır.

Yazılım kullanıcıları adım adım yönlendirmekte ve hesaplamaları kolayca yapıp deşarj izni için kullanılabilecek bir raporlama gerçekleştirmektedir. Yazılımda parametre ekleme çıkarma, deşarj standartlarının sağlanabileceği en yüksek geri dönüşüm oranının hesaplanması, paçallama seçeneğinin değerlendirilmesi ve paçallama ile birlikte en yüksek geri dönüşüm oranlarının hesaplanması gibi birçok seçenek de mevcuttur. Yazılım, kullanıcıyı yönlendirme ve hızlı hesaplama amaçları ile geliştirilmiştir. Yazılımdan elde edilecek deşarj uygunluk raporu Bakanlıktan deşarj izni almak için yeterli olmayacaktır.

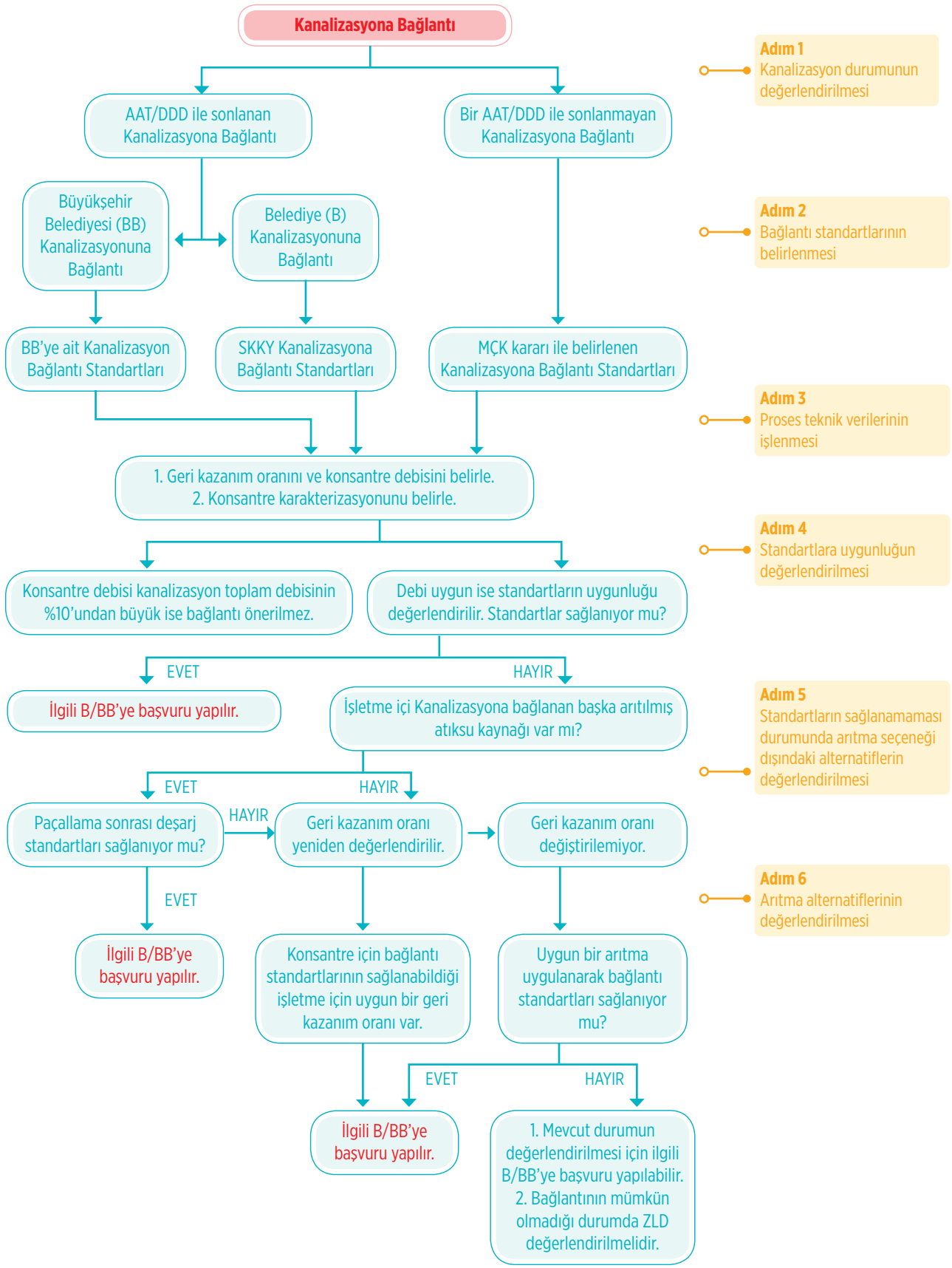
Yazılımın açılış ekranına ait görsel ve yazılım sonucu üretilen rapor görselleri Şekil 7.1 ve 7.2'de sunulmaktadır.

Ülkemiz özelinde membran konsantrelerinin yönetimi için izlenecek adımlar Şekil 7.6'da gösterilmiştir.

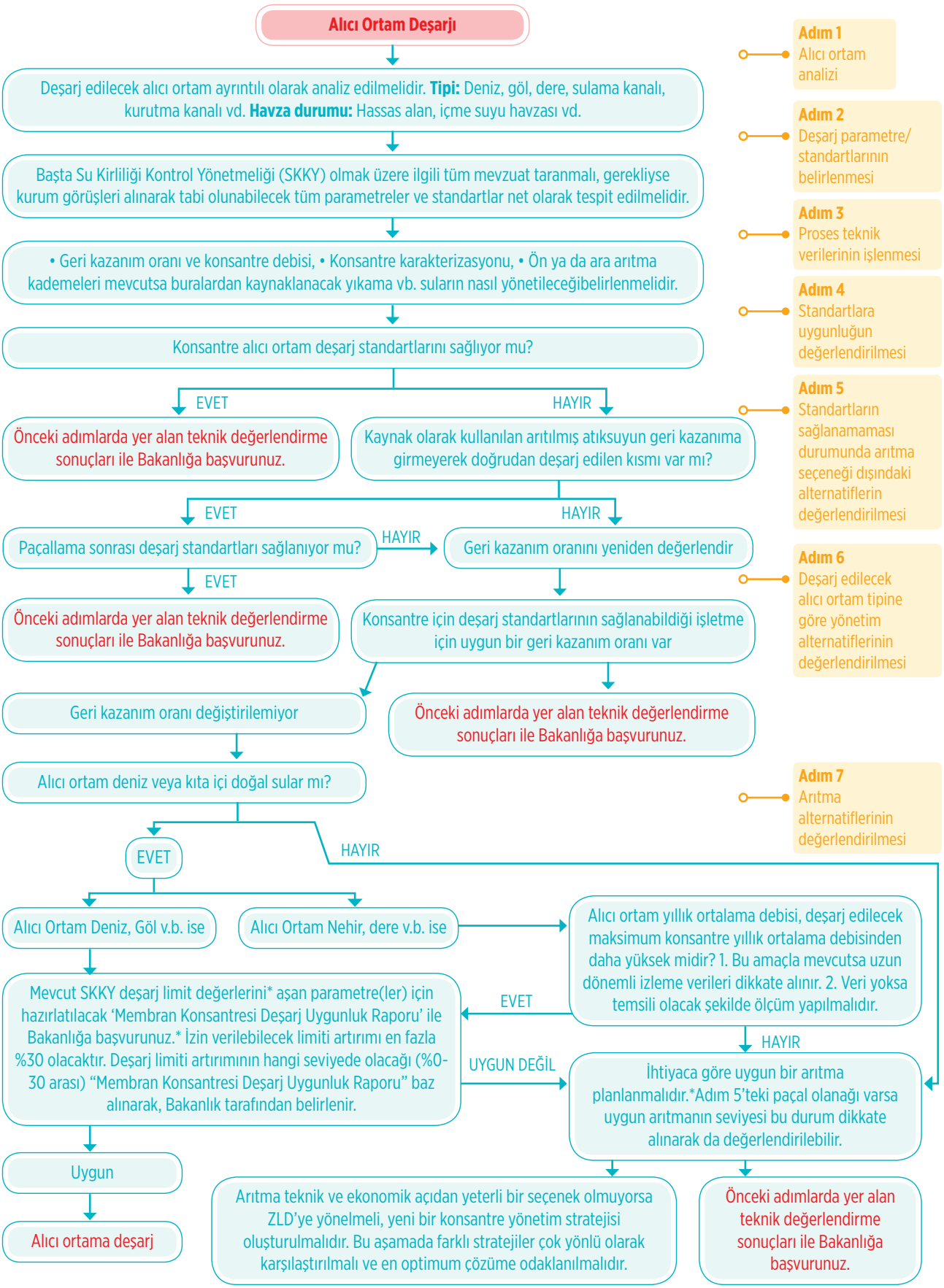
Çizelge 7.1. Membran konsantresi yönetimi için takip edilmesi gereken adımlar

	ADIMLAR	SEÇENEKLER VE GEREKLİ VERİLER	NOTLAR
1	DEŞARJ NOKTASININ SEÇİMİ	**KANALİZASYON** • Atıksu Arıtma Tesisi (AAT) ile sonlanan kanalizasyon • Derin Deniz Deşarjı (DDD) ile sonlanan kanalizasyon • Hem AAT hem de DDD ile sonlanan kanalizasyon • Hiçbir AAT ile sonuçlanmayan kanalizasyon **ALICI ORTAM** • DDD • Deniz • Kıta içi sular (Göller, rezervuar, dere, akarsu, çay vb.,) • Kuru dere • DSİ kurutma kanalı • Sulama kanalı/göleti • İçme suyu havzası • Konsantrenin direk olarak arazide sulamada kullanımı **SIFIR SIVI DEŞARJI (ZLD)**	Öncelik, kanalizasyona deşarj olmalıdır. Mümkün olmadığı durumlarda alıcı ortama deşarj yapılabilir. Her ikisinin de mümkün olmaması durumunda sıfır sıvı deşarjı (ZLD) yaklaşımı benimsenmelidir. Sulama suyu kanalı ve göleti için DSİ'nin görüşü alınmalıdır.
2	STANDARTLARIN BELİRLENMESİ	**KANALİZASYON DEŞARJI** Altyapı tesisini işleten birimler (Büyükşehir Belediyeleri Su ve Kanalizasyon birimleri, Belediyeler vs.) tarafından belirlenen parametreler, Bu birimler tarafından bir parametre belirtilmemişse, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nin (SKKY) ilgili tablosunda yer alan parametreler, Hiçbir AAT ile sonuçlanmayan kanalizasyon için Mahalli Çevre Kurulu'nun belirlediği parametreler. **ALICI ORTAM DEŞARJI** DDD, deniz, kıta içi sular (göller, rezervuar, akarsu, çay vb.), kuru dere ve DSİ kurutma kanalı alıcı ortamlarına deşarj seçenekleri için membran konsantresinin deşarjında, SKKY'nin ilgili sektör tablosunda belirtilen parametreler ve standart değerler baz alınır. Alıcı ortam özelinde Bakanlık gerekli gördüğü hallerde ilave parametre(ler) için de değerlendirme yapılmasını isteyebilir. Hassas alanlara yapılacak deşarjlarda sektör tablosunda yer almıyorsa toplam azot (TN) ve toplam fosfor (TP) parametreleri de sektör tablosuna ilave edilir. İlave parametrelerle ilgili deşarj standardı SKKY hükümleri de dikkate alınarak proje özelinde Bakanlık tarafından belirlenecektir. İçme suyu havzası deşarj seçeneği için; havzaya ait havza koruma planı çalışmalarının olup olmadığı tespit edilmelidir. Havza koruma planı çalışması (özel hükümler) yapılmışsa çalışma kapsamında belirlenen parametreler dikkate alınır. Havza koruma planı çalışması yapılmamışsa yapılacak deşarjlarda sektör tablosunda yer almıyorsa TN ve TP parametreleri de sektör tablosuna ilave edilir. Bakanlık gerekli gördüğü hallerde iletkenlik ve 45 adet Avrupa Birliği (AB) öncelikli kirleticileri parametrelerinin de membran konsantresi deşarjında dikkate alınmasını isteyebilir. DSİ sulama kanalı/göletine deşarj ve doğrudan arazide sulama amaçlı kullanım seçenekleri seçildiğinde; Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği, ilgili tablo parametreleri baz alınır.	Deşarj standartları, SKKY Sektör Tablolarında belirtilen 24 saatlik yoksa 2 saatlik kompozit numune değerleri olarak alınmalıdır. DDD için SKKY'deki ilgili tablo parametreleri de dikkate alınmalıdır.
3	PROSESİN VE DİZAYN PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ	Atıksu geri kazanım tesisine girecek arıtılmış atıksudaki ilgili parametrelerin ortalama konsantrasyonları, Atıksu geri kazanım tesisine girecek arıtılmış atıksu debileri (tasarım, pik debiler, vs.), Atıksu geri kazanım tesisine girmeyecek (varsa) arıtılmış atıksuyun debisi, Atıksu geri kazanım tesisinde ultrafiltrasyon (UF) var ise ve geri yıkama suları konsantre ile deşarj ediliyorsa bunun debisi, Atıksu geri kazanım tesisinde kademelendirme olup olmadığı • Sadece ters osmoz (RO) prosesi • Nanofiltrasyon (NF) ve RO proseslerinin kombinasyonu (NF çıkışı RO'yu besliyor veya NF konsantresi RO'yu besliyor). Membranların ilgili parametreleri ne kadar tuttuğu/giderdiği ile ilgili bilgiler, Geri kazanım oranları.	UF yıkama sularının membran konsantresi ile birleştirilerek deşarj edilmesi durumunda, UF geri yıkama sularının membran konsantresi debisinin %10'unu geçmemesi şartı ile gerçekleştirilebilir. RO membranları herhangi bir kirletici parametreyi %30'dan daha fazla geçiremez (giderim en az %70).

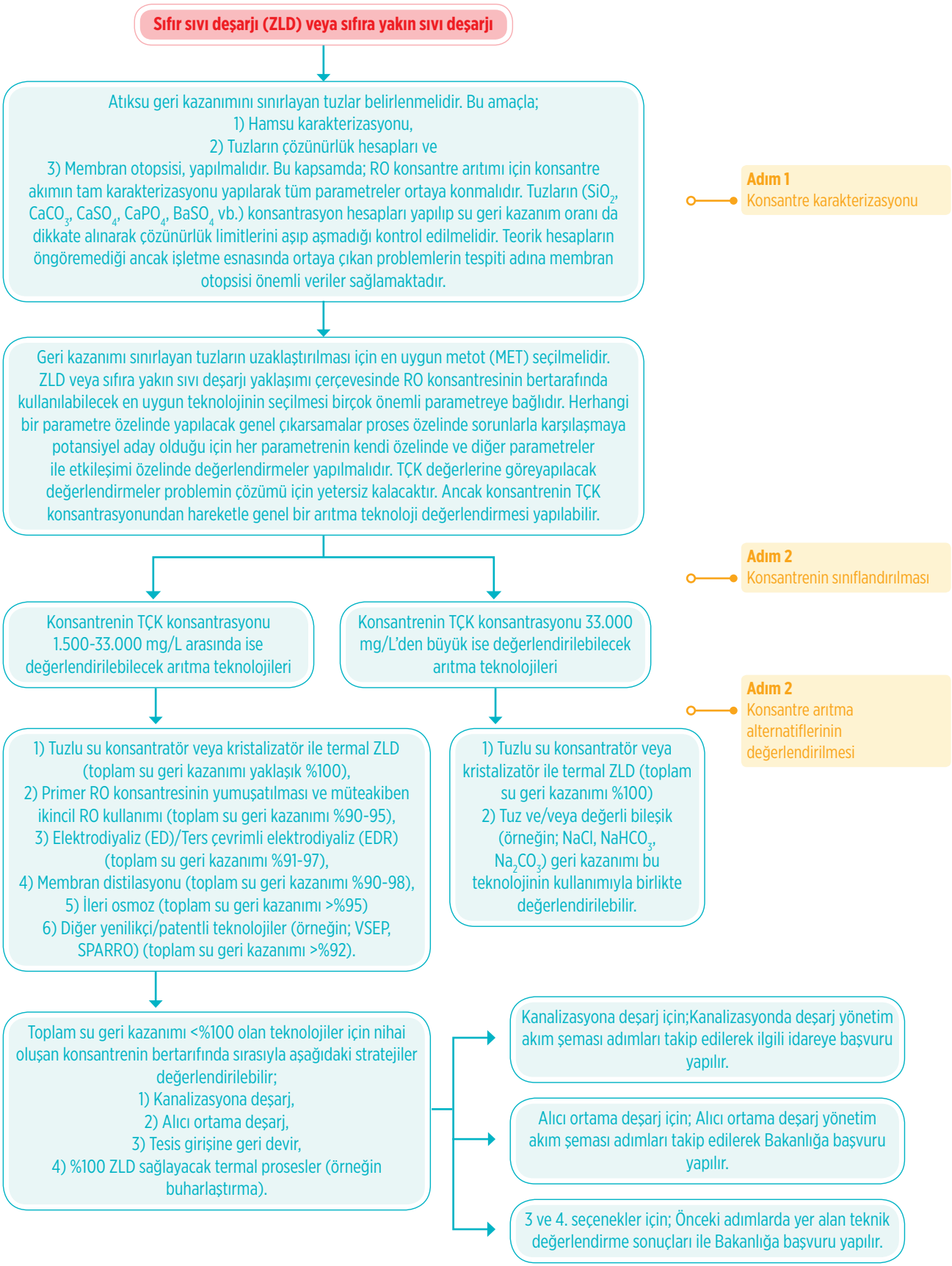
	ADIMLAR	SEÇENEKLER VE GEREKLİ VERİLER	NOTLAR
4	HESAPLAMALARIN YAPILMASI	İlgili her bir parametre için membran konsantresindeki konsantrasyonlar hesaplanmalıdır. Hesaplanan değerlerden herhangi birisinin veya birden fazlasının standart değerin üzerinde çıkması durumunda membran konsantresinin deşarjına izin verilmez. Bu durumda varsa paçallama seçeneği ile deşarjın mümkün olup olmadığı tespit edilir. Paçallamanın mümkün olmaması veya istenmemesi durumunda tüm parametrelerin deşarj standartlarının altında çıkmasını sağlayacak maksimum geri kazanım oranı hesaplanır. Bunun uygun olup olmadığı değerlendirilir.	
5	YENİDEN DEĞERLENDİRME	Deşarj standartlarının sağlanamaması durumunda, **KANALİZASYON DEŞARJI için;** • Kanalizasyona bağlantı öncesi ön arıtım yapılabilir, • Mevcut durumun değerlendirilmesi için ilgili Atıksu Altyapı Yönetimine başvuru yapılabilir, **ALICI ORTAM DEŞARJI için;** Eğer Alıcı Ortam Deniz ve Kıta içi sular ise • Konsantre arıtımı yapılır, • ZLD yaklaşımı uygulanır, • Yıllık maksimum konsantre debisi ortalamasının, deşarj edilecek alıcı ortam yıllık ortalama debisinden büyük olduğu alıcı ortamlar ile alıcı ortamın sulama kanalı/göleti, doğrudan sulama, kuru dere, DSİ kurutma kanalı olduğu durumda SKKY deşarj standartları geçerli olup deşarj standartlarında artışa izin verilmez. Konsantre arıtımı ve ZLD yaklaşımlarından birisi seçilmelidir. • Yıllık maksimum konsantre debisi ortalamasının, deşarj edilecek alıcı ortam yıllık ortalama debisinden küçük olduğu durumda Bakanlığın belirlediği çerçeve dahilinde hazırlanacak 'Membran Konsantresi Deşarj Uygunluk Raporu' ile deşarj standardında artış izni talep edilebilir. Membran konsantrelerinde mevcut SKKY deşarj konsantrasyon limitlerini aşan parametre(ler) için izin verilebilecek deşarj konsantrasyon limiti artırımı en fazla %30 olacaktır.	
6	BAŞVURU	Yukarıda belirtilen adımların tamamlanması sonucu, membran konsantresinin deşarjı standart değerlerin altında olacağı belirlenmişse, deşarjın uygunluğu için T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'na başvurulur. Yukarıda belirtilen debi ve alıcı ortam şartını sağlayan ancak ilgili SKKY tablolarında belirtilen deşarj parametrelerinden en az birinin limit değerinin sağlayamayan tesisler, membran konsantresi deşarjı için 'Membran Konsantresi Deşarj Uygunluk Raporu' hazırlatarak başvuru dosyasına ekler.	Başvuru hazırlıkları sırasında tüm bu uygulama adımlarını içeren MEMKON yazılımı kullanılabilir. Yazılımın kullanılması durumunda yazılımın sonuç raporu (pdf dosyası) başvuru dosyasına eklenmelidir.



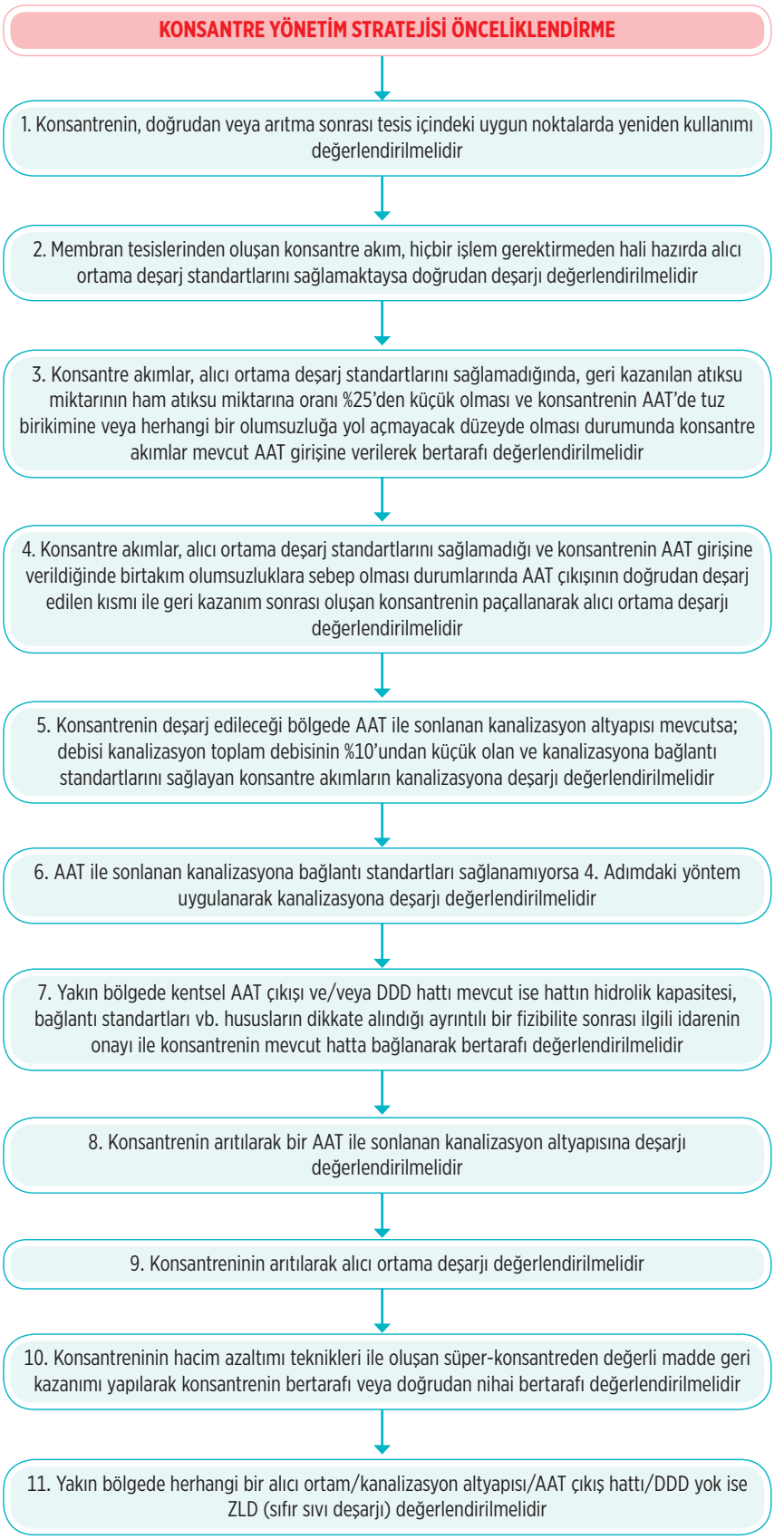
Şekil 7.3 Konsantrenin kanalizasyona deşarjı için yönetim akım şeması.



Şekil 7.4. Konsantrenin alıcı ortama deşarjı için yönetim akım şeması



Şekil 7. 5. Konsantre minimizasyonu için ZLD yönetim akım şeması



Şekil 7.6. Konsantre yönetiminde önceliklendirme akış diyagramı

SEKİZİNCİ BÖLÜM

DÜZENLEYİCİ ETKİ ANALİZİ





8. DÜZENLEYİCİ ETKİ ANALİZİ

Oluşacak ekonomik etkilerin sayısallaştırılması adına uygulanabilecek metotların maliyet değerlendirmeleri aşağıda sunulmuştur. Bu kapsamda, Türkiye'de membran konsantreleri için sabit deşarj standartları geleceği varsayılarak senaryolar hazırlanmıştır. Bu senaryolara göre uygulanabilecek teknolojilerin gerektireceği ilave maliyet değerlendirilmeye çalışılmıştır.

1. Senaryo

TÜİK tarafından 2016 yılı için sağlanan "evsel/kentsel atıksu arıtma tesislerinde arıtılan atıksu miktarı (biyolojik+ileri arıtma)" değeri olan 2.923.338.000 m^3/yıl değeri ile 1. Senaryo oluşturulmuştur. İkincil arıtması (biyolojik) olan evsel/kentsel AAT'lerde arıtılan su miktarı olan bu değerin 2/3'ünün su geri kazanım tesislerine giriş yapacağı varsayılmıştır. Dolayısıyla, bu senaryoya göre 1.948.892.000 m^3/yıl (= 5.340.000 m^3/gün) su geri kazanım tesisi (UF+RO) giriş debisi için ülke genelinde tüm evsel ve kentsel atıksu arıtma tesislerinde geri kazanım yatırımı yapılacağı varsayılmıştır. İlk etapta su geri kazanım tesisi (UF+RO) ilk yatırım ve işletme maliyetleri hesaplanmıştır. Daha sonra ise konsantre akımların arıtımı için uygulanabilecek bertaraf teknolojilerinin maliyetleri hesaplanmıştır. Tesislerin ortalama su geri kazanım değeri tipik bir değer olan %75 olarak alındığında bu tesislerde üretilecek konsantre akım debisi 1.335.000 m^3/gün olarak çıkmaktadır. Bu senaryonun amacı; ülke genelinde 5.340.000 m^3/gün kapasitesinde su geri kazanım tesisleri kurulmuş veya mevcut konvansiyonel tesisler revize edilmiş olsaydı, bu tesislerden çıkacak olan 1.335.000 m^3/gün debideki konsantre akımların arıtılmasının ülkeye toplam maliyeti ne olurdu sorusuna cevap bulunmasıdır.

2. Senaryo

TÜİK tarafından 2016 yılı için sağlanan "evsel/kentsel atıksu arıtma tesislerinde arıtılan atıksu miktarı (fiziksel arıtma)" değeri olan 1.547.946.000 m^3/yıl değeri ile 2. Senaryo oluşturulmuştur. Sadece fiziksel arıtma uygulanan veya arıtılmadan deşarj edilen su miktarı olan bu değerin 2/3'ünün su geri kazanım tesislerine giriş yapacağı varsayılmıştır. Dolayısıyla, bu senaryoya göre 1.031.964.000 m^3/yıl (=2.827.000 m3/gün) su geri kazanım tesisi (biyolojik+UF+RO) giriş debisi için ülke genelinde tüm evsel ve kentsel atıksu arıtma tesislerinde geri kazanım yatırımı yapılacağı varsayılmıştır. İlk etapta su geri kazanım tesisi (biyolojik+UF+RO) ilk yatırım ve işletme maliyetleri hesaplanmıştır. Daha sonra ise konsantre akımların arıtımı için uygulanabilecek bertaraf teknolojilerinin maliyetleri hesaplanmıştır. Tesislerin ortalama su geri kazanım değeri tipik bir değer olan %75 olarak alındığında bu tesislerde üretilecek konsantre akım debisi 706.750 m^3/gün olarak çıkmaktadır. Bu senaryonun amacı; ülke genelinde 2.827.000 m^3/gün kapasitesinde ikincil arıtma ve su geri kazanım tesisleri kurulmuş veya mevcut konvansiyonel tesisler revize edilmiş olsaydı, bu tesislerden çıkacak olan

706.750 m^3/gün debideki konsantre akımların arıtılmasının ülkeye toplam maliyeti ne olurdu sorusuna cevap bulunmasıdır.

3. Senaryo

TÜİK tarafından 2016 yılı için sağlanan "endüstriyel atıksu arıtma tesislerinde arıtılan atıksu miktarı (biyolojik+ileri arıtma)" değeri olan 285.035.000 m^3/yıl değeri ile 3. Senaryo oluşturulmuştur. İkincil arıtması (biyolojik) olan endüstriyel AAT'lerde arıtılan su miktarı olan bu değerin 2/3'ünün su geri kazanım tesislerine giriş yapacağı varsayılmıştır. Dolayısıyla, bu senaryoya göre 190.023.000 m^3/yıl (= 520.600 m^3/gün) su geri kazanım tesisi (UF+RO) giriş debisi için ülke genelinde tüm endüstriyel atıksu arıtma tesislerinde geri kazanım yatırımı yapılacağı varsayılmıştır. İlk etapta su geri kazanım tesisi (UF+RO) ilk yatırım ve işletme maliyetleri hesaplanmıştır. Daha sonra ise konsantre akımların arıtımı için uygulanabilecek bertaraf teknolojilerinin maliyetleri hesaplanmıştır. Tesislerin ortalama su geri kazanım değeri tipik bir değer olan %75 olarak alındığında bu tesislerde üretilecek konsantre akım debisi 130.150 m^3/gün olarak çıkmaktadır. Bu senaryonun amacı; ülke genelinde 520.600 m^3/gün kapasitesinde endüstriyel su geri kazanım tesisleri kurulmuş veya mevcut konvansiyonel endüstriyel tesisler revize edilmiş olsaydı, bu tesislerden çıkacak olan 130.150 m^3/gün debideki konsantre akımların arıtılmasının ülkeye toplam maliyeti ne olurdu sorusuna cevap bulunmasıdır.

4. Senaryo

TÜİK tarafından 2016 yılı için sağlanan "arıtma ihtiyacı olmayıp doğrudan deşarj edilen veya kanalizasyona verilen endüstriyel atıksu miktarı değeri olan 108.029.000 m^3/yıl değeri ile 4. Senaryo oluşturulmuştur. Bu suların tümünün ikincil arıtma ihtiyacı olmayacaktır ancak senaryo gereği tümünün ikincil arıtmadan geçirileceği varsayılmıştır. Bu değerin 2/3'ünün su geri kazanım tesislerine giriş yapacağı varsayılmıştır. Dolayısıyla, bu senaryoya göre 72.019.000 m^3/yıl (=197.300 m^3/gün) su geri kazanım tesisi (biyolojik+UF+RO) giriş debisi için ülke genelinde endüstriyel atıksu arıtma tesislerinde geri kazanım yatırımı yapılacağı varsayılmıştır. Tesislerin ortalama su geri kazanım değeri tipik bir değer olan %75 olarak alındığında bu tesislerde üretilecek konsantre akım debisi 49.325 m^3/gün olarak çıkmaktadır. Bu senaryonun amacı; ülke genelinde 197.300 m^3/gün kapasitesinde ikincil arıtma ve su geri kazanım tesisleri kurulmuş veya mevcut konvansiyonel tesisler revize edilmiş olsaydı, bu tesislerden çıkacak olan 49.325 m^3/gün debideki konsantre akımların arıtılmasının ülkeye toplam maliyeti ne olurdu sorusuna cevap bulunmasıdır.

5. Senaryo

2023 hedefleri kapsamında atıksular için toplam %5 geri kazanım hedefi bulunmaktadır. Bu kapsamda, 4 senaryodan elde edilen toplam değer olan 4.864.348.000 m^3/yıl (13.326.980 m^3/gün) değeri toplam debi değeri olarak alınmıştır. Bu debi değerinin %5'inin su geri kazanım tesislerine giriş yapacağı varsayılmıştır. Dolayısıyla, bu senaryoya göre 666.350 m^3/gün su geri kazanım tesisi (UF+RO) giriş debisi için ülke genelinde endüstriyel ve evsel/kentsel atıksu arıtma tesislerinde geri kazanım yatırımı yapılacağı varsayılmıştır. %5 hedefinin mevcut durumda biyolojik arıtması olan tesisler ile sağlanacağı öngörülmüştür. Bu nedenle su geri kazanım tesisi maliyet hesabında biyolojik arıtmanın getireceği ilave maliyet dahil edilmemiştir. Tesislerin ortalama su geri kazanım değeri tipik bir değer olan %75 olarak alındığında bu tesislerde üretilecek konsantre akım debisi 166.588 m^3/gün olarak çıkmaktadır. Bu senaryonun amacı; ülke genelinde 2023 hedefleri kapsamındaki %5 geri kazanım hedefine ulaşmada gerekli olacak 666.350 m^3/gün kapasitesinde su geri kazanım tesisleri kurulmuş veya mevcut konvansiyonel tesisler revize edilmiş olsaydı, bu tesislerden çıkacak olan 166.588 m^3/gün debideki konsantre akımların arıtılmasının ülkeye toplam maliyeti ne olurdu sorusuna cevap bulunmasıdır.

NOT: Aşağıda verilen maliyet analizlerinde öngörülen tüm değerler ortalama değerleri yansıtmakta olup münferit uygulamalarda değişkenlik görülebilir. Maliyet hesaplarına dezenfeksiyon prosesi dahildir.

Farklı senaryolar için elde edilen tüm ilk yatırım ve işletme maliyetleri Çizelge 8.1'de verilerek özetlenmiştir.

Çizelge 8.1. Farklı senaryolar için maliyetler

Senaryolar	Prosesler	İlk Yatırım Maliyeti (USD)	İşletme Maliyeti (USD/gün)
Senaryo-1 evsel/kentsel - ikincil arıtma var	Su Geri Kazanım Tesisi (UF+RO)	4.539.000.000	2.403.000
	Konsantre Arıtım Teknolojisi		
	Basınç Tahrikli Membran Prosesleri (RO)	1.268.250.000	667.500
	Organik giderim Teknolojileri (Ozon)	33.375.000	867.750
	Elektrik Tahrikli Membran Prosesleri (ED/EDR)	734.250.000	1.668.750
	Termal Prosesler (MSF/MED)	1.401.750.000	1.602.000
	Buharlaştırma Havuzu	15.352.500	89
Senaryo-2 evsel/kentsel - ikincil arıtma yok	Su Geri Kazanım Tesisi (Biyolojik Arıtma+UF+RO)	2.827.000.000	1.554.850
	Konsantre Arıtım Teknolojisi		
	Basınç Tahrikli Membran Prosesleri (RO)	671.412.500	353.375
	Organik giderim Teknolojileri (Ozon)	17.668.750	459.388
	Elektrik Tahrikli Membran Prosesleri (ED/EDR)	388.712.500	883.438
	Termal Prosesler (MSF/MED)	742.087.500	1.060.125
	Buharlaştırma Havuzu	8.127.625	89
Senaryo-3 endüstriyel - ikincil arıtma var	Su Geri Kazanım Tesisi (UF+RO)	442.510.000	234.270
	Konsantre Arıtım Teknolojisi		
	Basınç Tahrikli Membran Prosesleri (RO)	123.642.500	65.075
	Organik giderim Teknolojileri (Ozon)	3.253.750	84.598
	Elektrik Tahrikli Membran Prosesleri (ED/EDR)	71.582.500	162.688
	Termal Prosesler (MSF/MED)	136.657.500	156.180
	Buharlaştırma Havuzu	1.496.725	89
Senaryo-4 endüstriyel - ikincil arıtma yok	Su Geri Kazanım Tesisi (Biyolojik Arıtma+UF+RO)	197.300.000	108.515
	Konsantre Arıtım Teknolojisi		
	Basınç Tahrikli Membran Prosesleri (RO)	46.858.750	24.663
	Organik giderim Teknolojileri (Ozon)	1.233.125	32.061
	Elektrik Tahrikli Membran Prosesleri (ED/EDR)	27.128.750	61.656
	Termal Prosesler (MSF/MED)	51.791.250	59.190
	Buharlaştırma Havuzu	567.238	89
Senaryo-5 2023 hedefi tüm atıksuların %5'i - ikincil arıtma var	Su Geri Kazanım Tesisi (UF+RO)	566.397.500	299.858
	Konsantre Arıtım Teknolojisi		
	Basınç Tahrikli Membran Prosesleri (RO)	158.258.600	83.294
	Organik giderim Teknolojileri (Ozon)	4.164.700	108.282
	Elektrik Tahrikli Membran Prosesleri (ED/EDR)	91.623.400	208.235
	Termal Prosesler (MSF/MED)	174.917.400	199.906
	Buharlaştırma Havuzu	1.915.762	89

Su Geri Kazanım Tesislerinin İşletme/ Yatırım Maliyetlerinin Geri Dönüşü

Türkiye su kullanım maliyetlerinin gelişmiş ülkeler ile kıyaslandığında bir miktar daha düşük olduğu bir ülkedir. Bu nedenle su geri kazanım tesislerinin ilk yatırım ve işletme maliyetleri bazı sektör paydaşları tarafından yüksek görülmektedir. Raporun ilgili bölümünde de belirtildiği üzere bazı sanayi bölgelerinde ham su temini ve arıtma maliyetleri 1-3 TL/m³ (ortalama 0,4-0,5 USD/m³) seviyesindedir. Metropol şehirlerimizde ise bu değerler 15-17 TL/m³ (ortalama 3-3,5 USD/m³) seviyesine kadar çıkabilmektedir. Bu değer maksimum değer olup hesaplamalarda ortalama bir değer olan 10 TL/m³ (2,0 USD/m³) değeri esas alınmıştır. Bu kapsamda, su geri kazanım tesislerinin kurulumunun ve işletiminin metropol şehirlerdeki su maliyetleri ile kıyaslandığında finansman geri dönüşünün hangi sürelerde olacağı yaklaşık olarak hesaplanmıştır. Su geri kazanım tesisi yatırımlarının öncelikli olarak metropol şehirlerde yapılacağı öngörüldüğünde sunulan yaklaşımın sağlıklı olduğu görülmektedir.

a) Biyolojik arıtma tesisi olmayan endüstriyel tesis örneği

Ortalama debisi 1000 m³/gün olan ve biyolojik arıtmaya sahip olmayan bir endüstriyel tesise biyolojik arıtma+UF+RO+dezenfeksiyon proseslerine sahip bir su geri kazanım tesisi inşa edildiği takdirde gerçekleşecek net bugünkü değeri (NBD) aşağıda verilmiştir.

Bu senaryo için NBD: 4.972.452 USD'dir.

Bir başka deyişle yapılacak yatırımın 20 sene içinde tesise sağlayacağı finansal katkıyı bugünkü değer üzerinden ifade edersek 20 senelik süre için 4.972.452 USD'lik bir kazanç söz konusudur.

b) Mevcut biyolojik arıtma tesisi olan endüstriyel tesis örneği

Ortalama debisi 1000 m³/gün olan ve biyolojik arıtmaya sahip olan bir endüstriyel tesise UF+RO+Dezenfeksiyon proseslerine sahip bir su geri kazanım tesisi inşa edildiği takdirde gerçekleşecek net bugünkü değeri (NBD) aşağıda verilmiştir.

Bu senaryo için NBD: 5.672.846 USD'dir.

Bir başka deyişle yapılacak yatırımın 20 sene içinde tesise sağlayacağı finansal katkıyı bugünkü değer üzerinden ifade edersek 20 senelik süre için 5.672.846 USD'lik bir kazanç söz konusudur.

Elde edilen değerler incelendiğinde su maliyetlerinin yüksek olduğu büyükşehirlerimizde su geri kazanım tesislerinin ilk yatırım maliyetlerinin karşılanabildiği durumlarda kendilerini kısa süre içinde amorti edebildikleri görülmektedir. Bunun yanında proje fizibilitesi incelenmesinde sıklıkla kullanılan bir parametre olan NBD değerleri ise mevcut kurgu kapsamında kurulacak tesislerin iyi bir yatırım olduğunu kanıtlamaktadır.

KAYNAKLAR

■ Abdessemed, D., and G. Nezzal. 2003. "Treatment of Primary Effluent by Coagulation-Adsorption-Ultrafiltration for Reuse." Desalination 152(1–3): 367–73.

■ Abdul-Wahab, S.A., Al-Weshahi, M.A., 2009. Brine management: Substituting chlorine with on-site produced sodium hypochlorite for environmentally improved desalination processes. Water Resour. Manag. 23, 2437–2454. doi:10.1007/s11269-008-9389-7

■ Adham, S., Hussain, A., Matar, J.M., Dores, R., Janson, A., 2013. Application of Membrane Distillation for desalting brines from thermal desalination plants. Desalination 314, 101–108. doi:10.1016/j.desal.2013.01.003

■ AEC, 2017. http://www.arabianenviro.com/applications_evaporation.htm

■ Ahmed, Mushtaque et al. 2000. "Use of Evaporation Ponds for Brine Disposal in Desalination Plants." Desalination 130(2): 155–68.

■ Akther, N., Sodiq, A., Giwa, A., Daer, S., Arafat, H.A., Hasan, S.W., 2015. Recent advancements in forward osmosis desalination: A review. Chem. Eng. J. 281, 502–522. doi:10.1016/j.cej.2015.05.080

■ Al-Agha, Mohammad R., and Rafat Sh. Mortaja. 2005. "Desalination in the Gaza Strip: Drinking Water Supply and Environmental Impact." Desalination 173(2): 157–71. http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0011916404007064.

■ Al-Wazzan, Y., Safar, M., Mesri, A., 2003. Reverse osmosis brine staging treatment of subsurface water. Desalination 155, 141–151. doi:10.1016/S0011-9164(03)00291-1

■ Angelakis, A, and Gikas, P. 2014. "Water Reuse: Overview of Current Practices and Trends in the World with Emphasis on EU States." Water Utility Journal, 8: 67–78.

■ Aquatech International Corporation. "Waste Water Recycle System Based On HEROTM Technology for Reliance Industries Project Profile Series 63."

■ Ashoor, B.B. Giwa, A. Hasan, S.W. Mhamdi, A., 2016b. Correlation analysis and response surface methodology for optimizing performance parameters in direct contact membrane distillation, in: 2. International Conference of Desalination and Environment. Doha, Qatar.

■ Ashoor, B.B., Mansour, S., Giwa, A., Dufour, V., Hasan, S.W., 2016a. Principles and applications of direct contact membrane distillation (DCMD): A comprehensive review. Desalination. doi:10.1016/j.desal.2016.07.043

■ Basin, Chino. 2012. RO Concentrate Treatment & Recovery Pilot Study Project Report.

■ Benjamin, M. M., Shi, W., Kwan, P., Chang, Y. 2010. "Evaluation of VSEP to Enhance Water Recovery During Treatment of Brackish Water and RO Concentrate." Water Research Foundation and Arsenic Water Technology Partnership.

■ Bond, Pick, and Srinivas Veerapaneni. 2008. "Zeroing in on ZLD Technologies for Inland Desalination." Journal / American Water Works Association 100(9).

■ Camacho, L.M., Dumée, L., Zhang, J., Li, J. de, Duke, M., Gomez, J., Gray, S., 2013. Advances in membrane distillation for water desalination and purification applications. Water (Switzerland) 5, 94–196. doi:10.3390/w5010094

■ Carollo Company. Concentrate Management, Statement of Qualifications Details Some of Carollo's Capabilities and Experience in the Field of Concentrate Management.

■ Cath, T., Childress, A., Elimelech, M., 2006. Forward osmosis: principles, applications, and recent developments. J. Memb. Sci. 281, 70–87. doi:10.1016/j.memsci.2006.05.048

■ CH2M. 2015. Reverse Osmosis Concentrate Disposal Issues.

■ Chang, In Soung, Sang Soon Lee, and Eun Kyung Choe. 2009. "Digital Textile Printing (DTP) Wastewater Treatment Using Ozone and Membrane Filtration." Desalination 235(1–3): 110–21.

■ Charlie, H., Gross, M., Westerhoff, P.K., Fox, P., Li, K. 2011. "Comparing Conventional and Pelletized Lime Softening Concentrate Chemical Stabilization". Water Research

Foundation, Denver, CO.

■ Chelme-Ayala, P, D W Smith, and M G El-Din. 2009. "Membrane Concentrate Management Options: A Comprehensive Critical Review." Canadian Journal of Civil Engineering 36(6): 1107–19.

■ Childress, A., 2013. Existing and emerging technology innovations: membrane technologies and energy use for desalination.

■ Comerton, Anna M., Robert C. Andrews, David M. Bagley, and Chunyan Hao. 2008. "The Rejection of Endocrine Disrupting and Pharmaceutically Active Compounds by NF and RO Membranes as a Function of Compound and Water Matrix Properties." Journal of Membrane Science 313(1–2): 323–35.

■ Company, General Electric. 2013. GE Pilots New AquaSel Technology at Coca-Cola Plant: Solution for Near Zero Liquid Discharge.

■ Degremont, 2017. http://www.degremont-technologies.com/-Reverse-Osmosis-Skids-

■ Dialynas, E., Mantzavinos, D., Diamadopoulos, E., 2008. Advanced treatment of the reverse osmosis concentrate produced during reclamation of municipal wastewater. Water Res. 42, 4603–4608. doi:10.1016/j.watres.2008.08.008

■ Dolar, D., Grosb, M., Rodriguez-Mozazb, S., Moreno, J., Comas, J., Rodriguez-Roda, I., Barcel_o, D. 2012. "Removal of Emerging Contaminants from Municipal Wastewater with an Integrated Membrane System, MBR–RO." Journal of Hazardous Materials 239–240: 64–69.

■ Dolgen, Deniz; Sarptas, H.A.M.N., 2013. Desalinasyon Tesislerinde Yenilenebilir Enerji Kaynaklarınn Kullanımı.

■ Dow, N., Zhang, J., Duke, M., Li, J., Gray, S.R., Ostarcevic, E., 2008. Membrane Distillation of Brine Wastes.

■ Evides, 2017. https://www.aweimagazine.com/article/eutectic-freeze-crystallization

■ Fernández-Torres, M.J., Randall, D.G., Melamu, R., von Blottnitz, H., 2012. A comparative life cycle assessment of eutectic freeze crystallisation and evaporative crystallisation for the treatment of saline wastewater. Desalination 306, 17–23. doi:10.1016/j.desal.2012.08.022

■ Gabelich, C.J., Williams, M.D., Rahardianto, A., Franklin, J.C., Cohen, Y., 2007. High-recovery reverse osmosis desalination using intermediate chemical demineralization 301, 131–141. doi:10.1016/j.memsci.2007.06.007

■ GEA Wiegand, 2014. Evaporation Technology using Mechanical Vapour Recompression.

■ Gippsland Water Factory. 2013. Technical Consolidation Report. Prepared for Gippsland Water, Traralgon, Australia,.

■ Giwa, A., Dufour, V., Al Marzooqi, F., Al Kaabi, M., Hasan, S.W., 2017. Brine management methods: Recent innovations and current status. Desalination 407, 1–23. doi:10.1016/j.desal.2016.12.008

■ Glazer, A 2011b. "Monitoring of the Marine and Coastal Environment: Rutenberg Power Plant, VID Desalination Plant, and Mekorot Brackish Water Desalination Facilities. Report for 2010. Israel Electric Co. RELP-13-2011 (in Hebrew)."

■ Glazer, A. 2005. "Monitoring of the Marine and Coastal Environment of the Orot Rabin Power Plant Site. Report for 2004. Israel Electric Co. RELP-17-2005 (in Hebrew)."

■ Glazer, A. 2010. "Monitoring of the Marine and Coastal Environment: Rutenberg Power Plant, VID Desalination Plant, and Mekorot Brackish Water Desalination Facilities. Report for 2009. Israel Electric Co. RELP-04-2010 (in Hebrew)."

■ Glazer, A. 2011a. "Monitoring of the Marine and Coastal Environment: Orot Rabin Power Plant, H2ID Desalination Plant. Report for 2010. Israel Electric Co. RELP-16 2011 (in Hebrew)."

Hancock, N.T., Nowosielski-Slepowron, M.S., McGinnis, R.L., 2013. High recovery brine treatment using forward osmosis, in: AMTA/AWWA Membrane Technology Conference and Exposition 2013. pp. 1190–1203.

■ Hobbs, C., Jorge, A. 2015. "Sustainable Low Pressure Reverse Osmosis Concentrate Management – Seven Years and Counting." In 2015 American Water Works Association Water Quality and Technology Conference,.

■ Höpner, Thomas, and Jens Windelberg. 1997. "Elements of Environmental Impact Studies on Coastal Desalination Plants." Desalination 108: 11–18.

■ Johnson, G., Stowell, L., Monroe, M. 2006. "VSEP Treatment of RO Reject from Brackish Well Water A Comparison of Conventional Treatment Methods and VSEP, a Vibrating Membrane Filtration System." In 2006 El Paso Desalination Conference,.

■ Joo, S.H. 2014. "Advanced Treatment of Reverse Osmosis Concentrate by Integrated Activated Carbon and Iron-Activated Persulfate Oxidation." Water Air Soil Pollution 225: 2076.

■ Joo, Sung Hee, and Berrin Tansel. 2015. "Novel Technologies for Reverse Osmosis Concentrate Treatment: A Review." Journal of Environmental Management 150: 322–35.

■ Joo, Sung Hee. 2014. "Combined Adsorbents and Reactive Oxygen Species (TOS) Generators in Soil for Treating Reverse Osmosis Concentrates." Powder Technology 264: 9–21.

■ Joss, A., Baenninger, C., Foa, P., Koepke, S., Krauss, M., McArdell, C.S., Rottermann, K., Wei, Y., Zapata, A., Siegrist, H. 2011. "Water Reuse: >90% Water Yield in MBR/RO through Concentrate Recycling and CO2 Addition as Scaling Control." Water Research 45(18): 6141–51.

■ Kazner, C., Jamil, S., Phuntsho, S., K. Shon, H., Wintgens, T., Vigneswaran, S., 2014. Forward osmosis for the treatment of reverse osmosis concentrate from water reclamation: Process performance and fouling control. Water Sci. Technol. 69, 2431–2437. doi:10.2166/wst.2014.138

■ Kellis, M., Kalavrouziotis, I.K., Gikas, P. 2013. "Review of Wastewater Reuse in the Mediterranean Countries, Focusing on Regulations and Policies for Municipal and Industrial Applications." Global Nest Journal, 15(3): 333–50.

■ Khan, Stuart J., David Murchland, Michelle Rhodes, and T. David Waite. 2009.

"Management of Concentrated Waste Streams from High-Pressure Membrane Water Treatment Systems." Critical Reviews in Environmental Science and Technology 39(5): 367–515.

■ Kiefer, C., Eric, G. 2007. "Startup of the Blue Hills Seawater RO Plant: Charting the Course of Nassau's Water Supply Future." In American Water Works Association Membrane Technology Conference,.

■ Kim, D.H., 2011. A review of desalting process techniques and economic analysis of the recovery of salts from retentates. Desalination 270, 1–8.

■ Kress, N., Galil, B., Shoham-Fridar, E. 2011. "Marine Monitoring at the Brine Disposal Site of the Via Maris Desalination Plant Off Palmahim, Results of the 2010 Monitoring. IOLR Report H25/2011 (in Hebrew)."

■ Ladewig, B., Asquith, B., 2012. Desalination Concentrate Management.

■ Latteman, S. 2010. Development of an Environmental Impact Assessment and Decision Support System for Seawater Desalination Plants.

■ Lattemann, Sabine, and Thomas Höpner. 2008. "Environmental Impact and Impact Assessment of Seawater Desalination." Desalination 220(1–3): 1–15.

■ Lee, Lai Yoke et al. 2009. "Ozone-Biological Activated Carbon as a Pretreatment Process for Reverse Osmosis Brine Treatment and Recovery." Water Research 43(16): 3948–55.

■ Locke, P., Fred G., Ryan P., Nichole C. 2015. "ZLD Process Utilizes Ultrafiltration to Achieve 98.5% RO Recovery." In 2015 American Water Works Association/ American Membrane Technology Association Membrane Technology Conference,.

■ Long, Edward R., Donald D. Macdonald, Sherri L. Smith, and Fred D. Calder. 1995. "Incidence of Adverse Biological Effects within Ranges of Chemical Concentrations in Marine and Estuarine Sediments." Environmental Management 19(1): 81–97.

■ Lozier, J., Erdal, U.G., Lynch, A., Schindler, S., 2008. Evaluating Traditional and Innovative Concentrate Treatment and Disposal Methods for Water Recycling at Big Bear Valley, California. Proc. Water Environ. Fed. CN - 0000 2008, 411–431. doi:10.2175/193864708788803848

■ Mackey, E.D., Seacord, T., 2008. Regional Solutions for Concentrate Management, Membrane Technology. doi:10.1016/S0958-2118(08)70018-1

■ Magnuson, L., Lee, T., Holzer, G. 2002. "Reverse Osmosis Application For Metal Finishing Operations." Merit Partnership Pollution Prevention Project.

■ Mahvi, A.V., Shafiee, K.N., 2005. Feasibility study of crystallization process for water softening in a pellet reactor. Int. J. Environ. Sci. Technol. 1, 301–304.

■ Malamis, Simos et al. 2012. "Assessment of Metal Removal, Biomass Activity and RO Concentrate Treatment in an MBR-RO System." Journal of Hazardous Materials 209–210: 1–8.

■ Marilhet, B. 2009. "Barcelona Desalination Plant , A Case Study on Water Technologies in Spain." : 1–22.

■ Martinetti, C.R., Childress, A.E., Cath, T.Y., 2009. High recovery of concentrated RO brines using forward osmosis and membrane distillation. J. Memb. Sci. 331, 31–39. doi:10.1016/j.memsci.2009.01.003

■ Masnoon, S., Glucina, K., 2011. Desalination : Brine and Residual Management 1–91.

■ MEP. 2008. "Desalination Plants and Marine Discharge – Policy of the Ministry of Environmental Protection. Israel Ministry of Environmental Protection (in Hebrew)."

■ Mickley and Associates. 2006. "Membrane Concentrate Disposal : Practices and Regulation." Desalination and Water Purification Research and Development Program Report No. 123 123(69).

■ Morillo, J., Usero, J., Rosado, D., El Bakouri, H., Riaza, A., Bernaola, F.J., 2014. Comparative study of brine management technologies for desalination plants. Desalination 336, 32–49. doi:10.1016/j.desal.2013.12.038

■ Muluk, Ç., Kurt, B., Turak, A., Türker, A., Çalışkan, M.., Balkız, Ö., Gümrükçü, S., Sarıgül, G., Zeydanlı, U. 2013. "Türkiye'de Suyun Durumu ve Su Yönetiminde Yeni Yaklaşımlar: Çevresel Perspektif." İş Dünyası ve Sürdürülebilir Kalkınma Derneği- Doğa Koruma Merkezi, 104.

■ MWH. 2008. Evaluation of Innovative Technologies for Concentrate Minimization and Disposal of Brackish Groundwater Desalination.

■ National Research Council of the National Academies. 2008. Environmental Protection Desalination: A National Perspective.

■ National Research Council, 2012. "Water Reuse: Potential for Expanding the Nation's Water Supply Through Reuse of Municipal Wastewater. Washington, DC: The National Academies Press"

■ New Logic Research. 2011. Vibratory Shear Enhanced Process.

■ Novasep, 2017. https://www.novasep.com/technologies/industrial-electrodialysis-technology.html

■ Özcan, E. 2014. "Türkiye'de Atıksu Yönetimi." Türkiye Kıyılarında Yüzme Suyu Profillerinin Belirlenmesi ve Turizmde Atıksu Yönetimi Eğitimi/ 24-25 Eylül 2014-Gebze-Kocaeli. "

■ Paxton, Curtis. 2014. "Chino Basin Desalter Authority (CDA)." (April).

■ Perez, G., Fernández-Alba, A.R., Urtiaga, A.M., Ortiz, I., 2010. Electro-oxidation of reverse osmosis concentrates generated in tertiary water treatment. Water Res. 44, 2763–2772. doi:10.1016/j.watres.2010.02.017

■ Perez-Gonzalez, A., Urtiaga, A.M., Ibáñez, R., Ortiz, I., 2012. State of the art and review on the treatment technologies of water reverse osmosis concentrates. Water Res. 46, 267–283. doi:10.1016/j.watres.2011.10.046

■ Pollucon, 2017. http://www.polluconengineering.in/electrocoagulation-system.htm

■ Poulson, Thomas K, Concentrate Management Sub-committee, Central Arizona, and Salinity Study. 2010. "Central Arizona Salinity Study Strategic Alternatives for Brine Management in the Valley of the Sun." Central Arizona Salinity Study, Concentrate Management Sub-Committee, Central Arizona Salinity Study (January).

■ Qi, L., Wang, X., Xu, Q. 2011. "Coupling of Biological Methods with Membrane Filtration Using Ozone as Pre-Treatment for Water Reuse." Desalination 270: 264–68.

■ Rahardianto, A., McCool, B.C., Cohen, Y., 2010. Accelerated desupersaturation of reverse osmosis concentrate by chemically-enhanced seeded precipitation. Desalination 264, 256–267. doi:10.1016/j.desal.2010.06.018

■ Ramm-Schmidt, L. 2014. "International And Indian Case Studıes On ZLD." In Seminar and Training Workshop on Zero Liquid Discharge,.

■ Reahl, E. 2006. Half a Century of Desalination With Electrodialysis.

■ Roberts, David A., Emma L. Johnston, and Nathan A. Knott. 2010. "Impacts of Desalination Plant Discharges on the Marine Environment: A Critical Review of Published Studies." Water Research 44(18): 5117–28.

■ SA Water. 2017. "Adelaide Desalination Plant." https://www.sawater.com.au.

■ Safrai, Iris, and Alon Zask. 2008. "Reverse Osmosis Desalination Plants - Marine Environmentalist Regulator Point of View." Desalination 220(1–3): 72–84.

■ Saltworks, 2012. Thermo Ionic Desalination.

■ Seacord, T.F. 2010. Brackish Desalination: Zero Dsicharge.

■ Secondes, Mona Freda N, Vincenzo Naddeo, Vincenzo Belgiorno, and Florencio Ballesteros. 2014. "Removal of Emerging Contaminants by Simultaneous Application of Membrane Ultrafiltration, Activated Carbon Adsorption, and Ultrasound Irradiation." Journal of Hazardous Materials 264: 342–49.

■ Shimokawa, A. 2009. "Desalination Plant with Unique Methods in Fukuoka." Japan-U.S. Governmental Conference on Drinking Water Quality Management and Wastewater Control: 1–14.

■ Song, K.K.S., 2009. Pilot-Scale Studies for Direct Contact Membrane Desalination Process. Reclamation 1–122.

■ Subramani, A., Jacangelo, J.G., 2014. Treatment technologies for reverse osmosis concentrate volume minimization: A review. Sep. Purif. Technol. 122, 472–489. doi:10.1016/j.seppur.2013.12.004

■ SWS, 2017. http://www.symphonicwaters.com/pellet-reactor

■ Talavera, J.L., Ruiz, J.J. Q. 2001. "Identification of the Mixing Process in Brine Discharges Carried Out in Barranco Del Toro Beach, South Gran Canarias (Canary Island)." Desalination 139: 277–86.

■ Tang, W., Ng, H.Y., 2008. Concentration of brine by forward osmosis: Performance and influence of membrane structure. Desalination 224, 143–153. doi:10.1016/j.desal.2007.04.085

■ Tenne, Abraham. 2010. "Sea Water Desalination in Israel: Planning, Coping with Difficulties, and Economic Aspects of Long-Term Risks." Israel Water authority, Ministry of Infrastructure (October): 1–13.

■ The WateReuse Research Foundation, 2014. "Extraction of Valuable Materials from Reverse Osmosis Concentrate".

■ Torquemada, F.Y. 2009. "Dispersion of Brine Discharge from Seawater Reverse Osmosis Desalination Plants." Journal of Desalination and Water Treatment 5: 137–45.

■ Tran, A.T.K., Zhang, Y., Jullok, N., Meesschaert, B., Pinoy, L., Van der Bruggen, B., 2012. RO concentrate treatment by a hybrid system consisting of a pellet reactor and electrodialysis. Chem. Eng. Sci. 79, 228–238. doi:10.1016/j.ces.2012.06.001

■ TÜİK, 2017. '' TÜİK Raporları: Sektörel Su ve Atıksu İstatistikleri , 2016."

■ U.S. Bureau of Reclamation (USBR), 2003. "Southern California Water Recycling Projects Initiative Phase II, CA. "

■ United States Environmental Protection Agency. 2009. "National Water Quality Inventory: Report to Congress." Water (January): 43.

■ URS Australia. 2002. Detailed Report: Economic and Technical Assessment of Desalination Technologies in Australia, with Particular Reference to National Action Plan Priority Regions.

■ Van der Bruggen, B., Vandecasteele, C., 2002. Distillation vs. membrane filtration: Overview of process evolutions in seawater desalination. Desalination 143, 207–218. doi:10.1016/S0011-9164(02)00259-X

■ van Houwelingen, G., Bond, R., Seacord, T., Fessler, E., 2010. Experiences with pellet reactor softening as pretreatment for inland desalination in the USA. Desalin. Water Treat. 13, 259–266. doi:10.5004/dwt.2010.1097

■ Veolia, 2016. Processes for Sea Water Desalination.

■ von Gottberg, A.J.M., Persechino, J.M., Yessodi, A. 2005. "Integrated Membrane Systems for Water Reuse." Ge Water Process Technologies Technical.

■ Voutchkov, Nikolay. 2011. "Overview of Seawater Concentrate Disposal Alternatives." Desalination 273(1): 205–19.

■ Wallis-Lage, C., Freeman, S., Steichen, M., Bates, J., Peries, I., McEvoy, J. 2008. "Water Is 'GOLD' in Brisbane: Reuse Relieves Water Supply Stress." Water Technology 3(4).

■ Wedeco, 2017. https://www.xylem.com/en-lb/products-services/treatment-products--systems/disinfection-and-oxidation/ozone-systems/z-compact-ozone-system

■ Westerhoff, P., Moon, H., Minakata, D., Crittenden, J., 2009. Oxidation of organics in retentates from reverse osmosis wastewater reuse facilities. Water Res. 43, 3992–3998. doi:10.1016/j.watres.2009.04.010

■ White Paper. 2011. WateReuse Seawater Concentrate Management.

■ WWAP, 2017. "Wastewater: The Untapped Resource. The United Nations World Water Development Report 2017. "

■ Xu, Pei et al. 2013. "Critical Review of Desalination Concentrate Management, Treatment and Beneficial Use." Environmental Engineering Science 30(8): 502–14. http://online.liebertpub.com/doi/abs/10.1089/ees.2012.0348.

■ Zhang, Y., Ghyselbrecht, K., Vanherpe, R., Meesschaert, B., Pinoy, L., Van der Bruggen, B., 2012. RO concentrate minimization by electrodialysis: Techno-economic analysis and environmental concerns. J. Environ. Manage. 107, 28–36. doi:10.1016/j.jenvman.2012.04.020

■ Zhao, C., Gu, P., Zhang, G. 2013. "A Hybrid Process of Powdered Activated Carbon Countercurrent Two-Stage Adsorption and Microfiltration for Petrochemical RO Concentrate Treatment." Desalination 330: 9–15.

■ Zhao, S., Zou, L., Tang, C.Y., Mulcahy, D., 2012. Recent developments in forward osmosis: Opportunities and challenges. J. Memb. Sci. 396, 1–21. doi:10.1016/j.memsci.2011.12.023

■ Zhou, M., Tan, Q., Wang, Q., Jiao, Y., Oturan, N., Oturan, M.A., 2012. Degradation of organics in reverse osmosis concentrate by electro-Fenton process. J. Hazard. Mater. 215–216, 287–293. doi:10.1016/j.jhazmat.2012.02.070

■ Zhou, T., Lim, T.T., Chin, S.S., Fane, A.G., 2011. Treatment of organics in reverse osmosis concentrate from a municipal wastewater reclamation plant: Feasibility test of advanced oxidation processes with/without pretreatment. Chem. Eng. J. 166, 932–939. doi:10.1016/j.cej.2010.11.078