

İLLER BANKASI ANONİM ŞİRKETİ

**TERS OSMOZ YÖNTEMİ İLE DENİZ SUYUNDAN İÇME-KULLANMA
SUYU TEMİNİNİN TEKNİK VE EKONOMİK OLARAK
DEĞERLENDİRİLMESİ AVŞA (BALIKESİR) ÖRNEĞİ**

Yunus Emre BIYIKLI

UZMANLIK TEZİ

NİSAN 2017



İL BANK
TÜRKİYE'NİN YAPICI GÜCÜ

İLLER BANKASI ANONİM ŞİRKETİ

**TERS OSMOZ YÖNTEMİ İLE DENİZ SUYUNDAN İÇME-KULLANMA
SUYU TEMİNİNİN TEKNİK VE EKONOMİK OLARAK
DEĞERLENDİRİLMESİ AVŞA (BALIKESİR) ÖRNEĞİ**

Yunus Emre BIYIKLI

UZMANLIK TEZİ

Tez Danışmanı (Kurum)

Ferdağ ORUÇ BABUÇCU

Tez Danışmanı (Üniversite)

Doç. Dr. Beril SALMAN AKIN

ETİK BEYAN

“İLLER BANKASI ANONİM ŞİRKETİ Uzmanlık Tezi Yazım Kuralları”na uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Yunus Emre BIYIKLI
04 Nisan 2017

Ters Osmoz Yöntemi ile Deniz Suyundan İçme-Kullanma Suyu Temininin Teknik ve Ekonomik Olarak Değerlendirilmesi Avşa (Balıkesir) Örneği

(Uzmanlık Tezi)

Yunus Emre BIYIKLI

İLBANK A.Ş.

Nisan 2017

ÖZET

Hızla artan nüfus ve şehirleşme, küresel ısınma, sanayileşme ve değişen tüketim alışkanlıkları nedenleriyle dünya kaynaklarının sınırları zorlanmaktadır. Yaşamın temeli olan su kaynakları, dünya dengesini bozan olumsuz şartlardan en çok etkilenenlerin başında gelmektedir. Dünyada içme ve kullanma amaçlı kullanılan su kaynakları gittikçe azalmaktadır. Önümüzdeki yıllarda Dünya’da ve Türkiye’de su kıtlığının artarak devam edeceği tahmin edilmektedir. Su kaynaklarında yaşanan olumsuzluklar, sürekli artan su ihtiyacı, içme ve kullanma suyu temini için alternatif su üretme yöntemlerini zorunlu kılmıştır. Günümüzde denize kıyısı olan, aşırı kurak ve su kaynakları az olan yerleşimlerde su temini deniz suyu arıtımı ile karşılanabilmektedir. Dünyada son yıllarda, özellikle ters osmoz arıtma teknolojisindeki gelişmeler sayesinde, deniz suyundan içme ve kullanma suyu üretiminde ciddi artışlar olmaktadır. Bu tez çalışmasında, deniz suyundan içme ve kullanma suyu temini için ters osmoz yöntemi ile deniz suyundan içme ve kullanma suyu temini incelenmiştir. Ayrıca İller Bankası A.Ş. tarafından 2010 yılında yapılan, Türkiye’deki büyük ölçekli ilk ve tek deniz suyundan içme-kullanma suyu temini sağlayan Avşa (Balıkesir) ters osmoz arıtma tesisi incelenmiş ve değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Ters osmoz, membran, deniz suyundan içme ve kullanma suyu temini

Sayfa Adedi : 72

Tez Danışmanı : Ferdağ ORUÇ BABUÇCU (Kurum)
Doç. Dr. Beril SALMAN AKIN (Üniversite)

Technical and Economical Evaluation of Drinking Water Supplement by The Treatment of
Sea Water with Reverse Osmosis Method Avsa (Balikesir) Example

(Expertise Thesis)

Yunus Emre BIYIKLI

İL BANK A.Ş.

April 2017

ABSTRACT

The resources limits of the world are negatively effected by rapidly increasing population and urbanization, global warming, industrialization and changing consumption habits. The adverse conditions which disrupt the balance of the world most effect the water resources which is the essence of life. Water sources used for drinking increasingly reduced in the world. According to prediction, the water shortages in Turkey and in the world will continue to increase in the coming years. Negativities in water resources, increasing water demand cause development of alternative water generation methods. Water supply in the sea coast, extremely drought and less water resources regions, usually provide by treatment of sea water. Drinking water supplement by the treatment of sea water has increased especially thanks to advances in technology reverse osmosis treatment technologies around the world in recent years. Drinking water supplement by the treatment of sea water with reverse osmosis method was investigated in this study. In addition, Avsa (BALIKESIR) sea water reverse osmosis treatment plant which is the first and only large capacity desalination plant in Turkey, is built by İller Bankası A.Ş. in 2010 was looked out and evaluated.

Key Words : Reverse osmosis, membrane, suplliment of drinking water from sea water.
Page Number : 72
Supervisor : Ferdağ ORUÇ BABUÇCU,(Corporate),
Assoc. Prof. Beril SALMAN AKIN (University)

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasında desteğini ve yardımlarını benden esirgemeyen “İller Bankası A.Ş. Proje Dairesi Başkanlığı” personeli kurum danışmanım Sayın Ferdağ ORUÇ BABUÇCU’ya ve “Gazi Üniversitesi” personeli akademik danışmanım Sayın Doçent Doktor Beril SALMAN AKIN’a teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca bilgilerini, tecrübelerini ve manevi desteklerini esirgemeyen Makine Mühendisi Yusuf Yılmaz TOKYAY’ a ve Ahmet ÇEVİK’e teşekkür ederim.

Mesleki tecrübelerini tez çalışmalarımda kullanılmak üzere paylaşan “İller Bankası A.Ş. Proje Dairesi Başkanlığı” İçmesuyu Projeleri Müdürü Sayın Sevtap ÇAĞLAR’a teşekkür ederim.

Çalışmalarımda bana katkı sağlayan ve tecrübelerini bana aktaran, Avşa (Balıkesir) ters osmoz tesisi teknik incelemesi için her türlü kolaylığı sağlayan “BASKİ Arıtma Tesisleri Daire Başkanı” Sayın Sadık OKUTUCU’ya teşekkür ederim.

Hayatımın her anında yanımda olan ve bugünlere gelmemi sağlayan annem Nazire BIYIKLI’ya sonsuz sevgi, saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamda özellikle Türkçe kelimeler kullanmaya özen gösterilmiştir.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	viii
RESİMLERİN LİSTESİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	x
GİRİŞ	1
1. DÜNYA'DA VE TÜRKİYE'DE SUYUN DURUMU	3
1.1. Dünya'da Su	3
1.2. Gelecekteki Su Sorunları ve Öngörülleri	5
1.3. İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi	6
1.4. Türkiye'deki Suyun Durumu	7
1.4.1. Türkiye'de su kullanımının sektörel analizi	10
1.4.2. Türkiye'de kişi başına düşen su miktarı	10
1.4.3. Türkiye'de yakın gelecekteki su sorunu	11
2. DENİZ SUYUNDAN İÇME VE KULLANMA SUYU TEMİNİ	13
2.1. Dünya'da Deniz Suyundan İçme Suyu Temini	13
2.2. Deniz Suyunun Genel Özellikleri	15
2.2.1. Denizlerde tuzluluk.....	15
2.3. Deniz Suyundan İçme ve Kullanma Suyu Elde Etme Yöntemleri.....	17
2.3.1. Damıtma yöntemi	17
2.3.2. Elektrodializ (electrodialysis-ED) yöntemi	18
2.3.3. Membran prosesler yöntemi	19
3. TERS OSMOZ YÖNTEMİ İLE DENİZ SUYUNDAN İÇME VE KULLANMA SUYU ELDESİ	21
3.1. Tesis Yerinin Belirlenmesi.....	21
3.2. Su Alma Yapıları Tasarımı	22
3.2.1. Ham suyun doğrudan denizden çekimi	22
3.2.2. Ham suyun dolaylı olarak denizden çekimi	23
3.3. Ön Arıtma.....	24
3.4. Ters Osmoz Membran Sistemi	27
3.4.1. Membran malzemesi seçimi	27
3.4.2. Membran şekilleri.....	29
3.4.3. Membran temizleme sistemi.....	31
3.4.4. Membranlardan enerji elde edilmesi	32
3.5. Bor Giderimi	34
3.6. Remineralizasyon	34
3.6.1. Tatlı su kaynaklarıyla paçallama	35
3.6.2. Kimyasal ilavesi	35

3.6.3. Mineral filtrasyonunun yapılması.....	35
3.7. Dezenfeksiyon.....	36
3.8. Ters Osmoz Tesislerinde Taşkın, Tahliye ve Konsantre Sularının Deşarjı	37
4. AVŞA (BALIKESİR) TERS OSMOZ YÖNTEMİYLE DENİZDEN	
İÇME KULLANMA SUYU TEMİN ETME TESİSİ	39
4.1. İçmesuyu Temini.....	39
4.2. Tesisin Tanıtımı.....	40
4.3. Ham Su Alma Yapısı.....	44
4.4. Ön Çöktürme Haznesi	45
4.5. Kaba ve İnce Izgaralar.....	46
4.5.1. Kaba ızgara	47
4.5.2. İnce ızgara.....	47
4.6. Ham Su Deposu.....	50
4.6.1. Ham su besleme pompaları.....	50
4.7. Basınçlı Kum Filtreleri.....	50
4.8. Kartuş Filtre.....	52
4.9. Ters Osmoz Üniteleri	53
4.9.1. Membran sistemi ve membran kılıfları.....	54
4.10. Dolomit Filtreleme ile Remineralizasyon	56
4.11. Dezenfeksiyon	57
4.12. Temiz Su Deposu	58
4.13. Ters Osmoz Tesisinde Kullanılan Diğer Kimyasallar.....	58
4.14. Geri Yıkama, Tahliye ve Konsantre Suların Deşarj Hatları.....	59
4.15. Avşa (Balıkesir) Maliyet Hesapları.....	59
4.16. Avşa (Balıkesir) Ters Osmoz Tesisi Teknik ve Ekonomik Değerlendirmesi ...	59
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	63
KAYNAKLAR	67
ÖZGEÇMİŞ	72

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 1. 1. Ülkelere göre tatlı su çekimi ve kullanımı.....	4
Çizelge 1. 2. Türkiye yıllık su kaynakları kapasitesi	8
Çizelge 1. 3. Türkiye toplam su tüketimi ve dağılımı.....	10
Çizelge 2. 1. Anyon ve katyonların tuzluluğa katkı oranları	16
Çizelge 2. 2. Dünya ve Türkiye'deki farklı deniz sularının başlıca kimyasal özellikleri	16
Çizelge 3. 1. SDI değerinin ters osmoz ön arıtma yöntemine etkisi.....	25
Çizelge 3. 2. Membran besleme suyunun olması gereken özellikleri.....	25
Çizelge 3. 3. Membran öncesi ön arıtmada yapılacak işlemler	26
Çizelge 3. 4. Ters osmoz arıtma tesisi deşarj standartları.....	37
Çizelge 4. 1. Tesisin genel bilgileri	41
Çizelge 4. 2. Tasarlama debileri	41
Çizelge 4. 3. Deniz suyu ham su değerleri.....	43
Çizelge 4. 4. Ters osmoz tesisi beklenen çıkış su değerleri.....	44
Çizelge 4. 5. Kaba ızgara teknik bilgileri	47
Çizelge 4. 6. İnce ızgara teknik bilgileri	48
Çizelge 4. 7. Ham su besleme pompaları teknik bilgileri	50
Çizelge 4. 8. Basınçlı kum filtreleri teknik bilgileri	51
Çizelge 4. 9. Kartuş filtre teknik bilgileri	52
Çizelge 4. 10. Yüksek basınçlı pompalar teknik bilgileri	53
Çizelge 4. 11. Ters osmoz membranlarının teknik özellikleri.....	54
Çizelge 4. 12. Membranların özellikleri	54
Çizelge 4. 13. Membran kılıfları teknik özellikleri.....	55
Çizelge 4. 14. Yıllık beklenen membran verimleri.....	56
Çizelge 4. 15. Dolomit filtrasyon sistemi bilgileri.....	57

Çizelge**Sayfa**

Çizelge 4. 16. İçme suyu satış fiyatı üzerinden maliyet analizi..... 61

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1. 1. Dünya’da su kaynaklarının dağılımı.....	3
Şekil 1. 2. Ülkelerin gelişmişlik düzeylerine göre sektörel su kullanımı	4
Şekil 1. 3. Dünya fiziksel ve ekonomik su kıtlığı gösterimi.....	6
Şekil 1. 4. Falkenmark Türkiye Su Endeksi	9
Şekil 2. 1. Elektrodializ tesisinin basit bileşenleri	18
Şekil 3. 1. Osmoz ve ters osmoz gösterimi.....	27
Şekil 3. 2. Membran şeması.....	27
Şekil 3. 3. Spiral sargılı model.....	30
Şekil 3. 4. Hollow fiber modül.....	31
Şekil 3. 5. Penton çarkı geri kazanım sistemi	33
Şekil 3. 6. İzobarik basınç değıştiricili enerji geri kazanım.....	33
Şekil 3. 7. Turbocharger enerji geri kazanımı sistemi	334
Şekil 4. 1. Avşsa ters osmoz tesisi akış şeması	43

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3. 1. Abu Dubai ters osmoz tesisi görüntüsü	21
Resim 4. 1. Avşa ters osmoz tesisi.....	39
Resim 4. 2. Avşa (Balıkesir) ters osmoz tesisi teknik inceleme ekibi	42
Resim 4. 3. Avşa (Balıkesir) ters osmoz tesisi.....	42
Resim 4. 4. Su alma yapısı.....	45
Resim 4. 5. Ön çöktürme haznesi	46
Resim 4. 6. Kaba ve ince ızgara genel görünümü.....	49
Resim 4. 7. Kaba ve ince ızgara.....	49
Resim 4. 8. Tesis besleme pompaları ve kum filtreleri geri yıkama pompaları	50
Resim 4. 9. Kum ve dolomit filtreleri	52
Resim 4. 10. Kartuş filtreler.....	53
Resim 4. 11. Yüksek basınçlı pompalar ve enerji geri kazanım sistemi.....	54
Resim 4. 12. Ters Osmoz membranları üniteleri	55
Resim 4. 13. Ters osmoz membranları genel görünümü	55
Resim 4. 14. Eski ve yeni membranlar	56
Resim 4. 15. Dolomit filtreler ve dolomit minerali	56
Resim 4. 16. Kimyasal depolama alanı.....	59

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış olan kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

A	Izgara çubukları arasındaki net açık alan, m ²
g	Yerçekimi ivmesi
H	Yükseklik, m, cm, mm
Q	Debi, m ³ /sn, lt/sn,
V	Hız, m/sn

Açıklamalar

Kısaltmalar

AKM	Askıda Katı Madde
A.Ş.	Anonim Şirketi
BASKİ	Balıkesir Su ve Kanalizasyon İdaresi
CTA	Selüloz tri asetat
DSİ	Devlet Su İşleri
ED	Elektrodiyaliz
FRP	Fiberglas Takviyeli Polipropilen
HDPE	Yüksek Yoğunluklu Polietilen Boru
GWI	Global Water Intelligence
IPCC	Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli
NF	Nanofiltrasyon
PA	Poliamid
PX	Enerji Geri Kazanım Sistemi
SDI	Silt Yoğunluk İndeksi-Tıkanma Endeksi
SKKY	Su Kirliliği ve Kontrolü Yönetmeliği
TÇK	Toplam Çözünmüş Katı
TDS	Toplam Çözünmüş Katı Madde Miktarı
TFC	İnce film kompozit
TO	Ters Osmoz
TUİK	Türkiye İstatistik Kurumu
UV	Ultraviyole
WHO	Dünya Sağlık Örgütü

Açıklamalar

GİRİŞ

Dünya, mevcut kaynaklarının sürdürülebilirliği tehlikeye girmektedir. Hızla artan dünya nüfusu, şehirleşme, sanayileşme, küresel ısınma ve değişen tüketim alışkanlıkları, mevcut kaynakların sınırlarını zorlamaktadır. Bütün olumsuz etkenler sonucunda, doğal kaynaklar gün geçtikçe azalıyor. İnsanoğlunun ve çevrenin devamının temeli olan su kaynakları, dünyada yaşanan olumsuz gelişmelerden en fazla etkilenmektedir. Dünyada kişi başına düşen hijyenik su miktarı gün geçtikçe düşmektedir. Ayrıca, Dünyada içme ve kullanma amaçlı kullanılan tatlı su kaynakları da gittikçe azalmaktadır.

Dünya'nın dörtte üçü su olmasına rağmen, içme ve kullanıma uygun tatlı su kaynakları oldukça kısıtlıdır. Dünya'nın toplam tatlı su kapasitesi yaklaşık 35 milyon km³ (Dünya'nın toplam su kapasitesinin %2,5'i) olup bunun sadece %0,3'ü (105.000 km³) doğal çevre ve insan kullanım ihtiyaçlarına elverişli tatlı su kaynaklarıdır. Diğer tatlı su kaynakları ise kutuplarda ve yer altında kullanımı çok kısıtlıdır. Mevcut kullanılabilir tatlı su kaynakları (%0,3); kuraklık, iklim değişikliği, sanayileşme, artan nüfus yoğunluğu, plansız şehirleşme gibi nedenlerle gün geçtikçe azalmaktadır. Su kaynaklarındaki yetersizlikler, sürekli artan su ihtiyacı, içme ve kullanma suyu temini için alternatif su üretme yöntemlerinin uygulanmasına neden olmuştur. Çalışmamızda, alternatif su temini yöntemlerinden biri olan deniz suyundan içme ve kullanma suyu temini incelenmiştir.

Günümüzde denize kıyısı olan, aşırı kurak ve su kaynakları az olan yerleşimlerde su temini, deniz suyu arıtılması ile yapılmaktadır. Dünyada son yıllarda, özellikle ters osmoz arıtma ve membran teknolojilerindeki gelişmelerle birlikte, deniz suyundan içme ve kullanma suyu temini yapılan tesis sayılarında artış görülmektedir.

Türkiye yapılan çalışmalara göre tatlı su kaynakları sınırlı ve gelecek için yapılan tahminlere göre su kıtlığı tehlikesi ile karşılaşması beklenmektedir. Türkiye'de yıllık ortalama yağış miktarı 643 mm olarak hesaplanmakta olup, bu miktar dünya ortalamasının (800 mm) aşağısında olduğu görülmektedir. Türkiye'nin toplam tüketilen su miktarı her yıl artmaktadır ve önümüzdeki yıllarda artışın devam edeceği tahmin edilmektedir. 2023 yılı Türkiye tatlı su tüketimi tahminlerine göre, mevcut tatlı su kapasitesinin tamamını kullanması beklenmektedir. Ayrıca Türkiye'nin 25 havzasında birçok nedenlerden dolayı su kıtlığı sınırına yaklaşılmıştır. Türkiye'nin mevcut su durumu ve tahminlere göre, su

temininde ciddi sorunlar oluştuğu ve alternatif su temin yöntemlerini uygulama çalışmalarına başlamıştır. Özellikle su kıtlığı yaşanan, denize kıyısı olan bölgelerde deniz suyundan içme ve kullanma suyu temin edilebilir durumdadır.

Günümüzde, Türkiye’de bazı turistik yöreler, ada belediyeleri ve denize kıyısı olan büyük şehirlerde (İstanbul, Balıkesir, Kocaeli vs.) yaşanan içme ve kullanma suyu amaçlı su kaynaklarındaki yetersizlikler nedeniyle deniz suyundan içme-kullanma suyu elde edilmektedir.

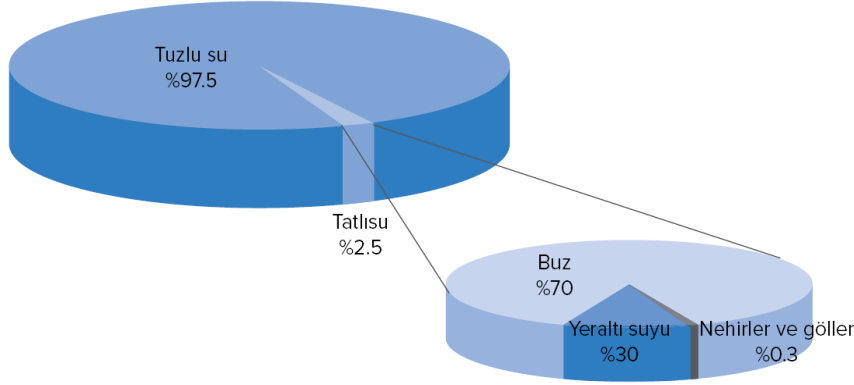
Bu tez çalışmasında, ters osmoz yöntemi ile deniz suyundan içme ve kullanma suyu temini incelenmiştir. Ayrıca İller Bankası A.ř. tarafından 2010 yılında yapılan, Türkiye’deki büyük ölçekli ilk ve tek deniz suyundan içme-kullanma suyu temini sağlayan Avşa (BALIKESİR) ters osmoz arıtma tesisi incelenmiş ve değerlendirilmiştir.

1. DÜNYA'DA VE TÜRKİYE'DE SUYUN DURUMU

Bu bölümde, Dünya ve Türkiye'de mevcut su kaynaklarının durumu, kullanım alanları ve gelecekte yaşanacak su kaynaklarındaki yetersizlikler değerlendirilmiştir.

1.1. Dünya'da Su

Dünya'nın 3/4'ü sudur fakat bu oranın insan ve doğal çevrenin kullanımına uygun tatlı su miktarı azdır. Dünya'nın ortalama toplam tatlı su miktarı 35 milyon km³ (Dünya'daki toplam suyun %2,5'i) olup sadece %0,3'ü (105 000 km³) insanların ve diğer canlıların yaşamının devamı için elverişlidir. Diğer tatlı su kaynakları (%2,2) ise kutuplarda ve yer altında kullanımı çok kısıtlıdır. [1].



Şekil 1. 1. Dünya'da su kaynaklarının dağılımı [1]

Dünya'da su; genel olarak gıda ve tarım, enerji, sanayi, yerleşim alanları, ekosistemlerin su ihtiyaçları gibi 5 farklı alanlarda kullanılır [1].

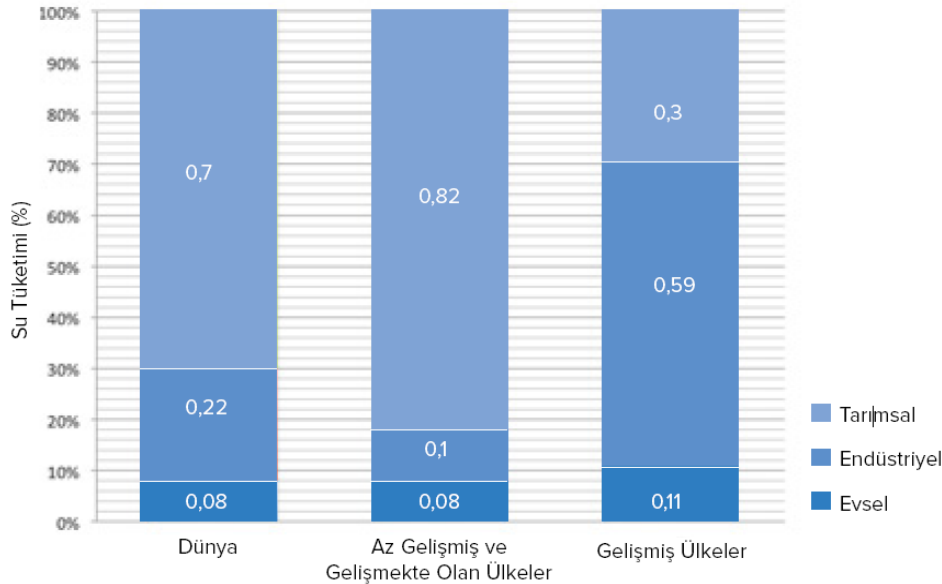
Su kullanım alanlarını etkileyen birçok faktör vardır. Bunların başında bilimsel gelişmeler, modern şehirleşmeler, yaşam ve beslenme değişimleri gelmektedir. Tüm bu faktörler dikkate alınarak, gelecekteki su ihtiyacı ve kullanım alanları değişmektedir. Fakat her bir kullanım alanı için su kullanımı sürekli artmaktadır [2].

“Dünya su kaynaklarının yaklaşık %70'i tarım amaçlı kullanılmaktadır. Bunu %19 ve %11 ile sanayi ve evsel kullanım izlemektedir” [2]. Dünya tatlı su kaynaklarının en önemli kısmını tarım sektörünün kullandığı anlaşılmaktadır.

Çizelge 1. 1. Ülkelere göre tatlı su çekimi ve kullanımı [3]

Ülke	Toplam tatlısu çekimi (km ³ /yıl)	Kişi başı tatlısu çekimi (m ³ /kişi/yıl)	Evsel kullanım (%)	Sanayii kullanım (%)	Tarımsal kullanım (%)	2010 nüfusu (milyon)
Angola	0,4	18	23	17	60	19
Mısır	68,3	809	8	6	86	84
Somali	3,3	352	0	0	99	9
Kanada	45,1	1.330	20	69	12	34
ABD	482,2	1.518	13	46	41	318
Brezilya	58,1	297	28	17	55	195
Çin	578,9	425	12	23	63	1.362
Hindistan	761,0	627	7	2	90	1.214
İsrail	2,0	268	36	6	58	7
Japonya	88,4	696	20	18	62	127
Türkiye	40,1	530	15	11	74	76
Fransa	33,2	529	16	74	10	63
Rusya	76,7	546	19	63	18	140
İngiltere	11,8	190	22	75	3	62
Avustralya	59,8	2.782	15	10	75	22

“Ülkelere göre sektörel su kullanımları gelişmişlik düzeyini göstermektedir. Az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde tarımsal su tüketimi ortalaması yaklaşık %82 iken, gelişmiş olan ülkelerde bu oran %30’lardadır” [4]. “Gelir düzeyi yüksek ülkelerde tarımsal su kullanımının yerini sanayi sektörü almaktadır” [5]. Bu durumda, su tüketim alanları çeşitli durumlara göre değiştiği görülmektedir.



Şekil 1. 2. Ülkelerin gelişmişlik düzeylerine göre sektörel su kullanımı [5]

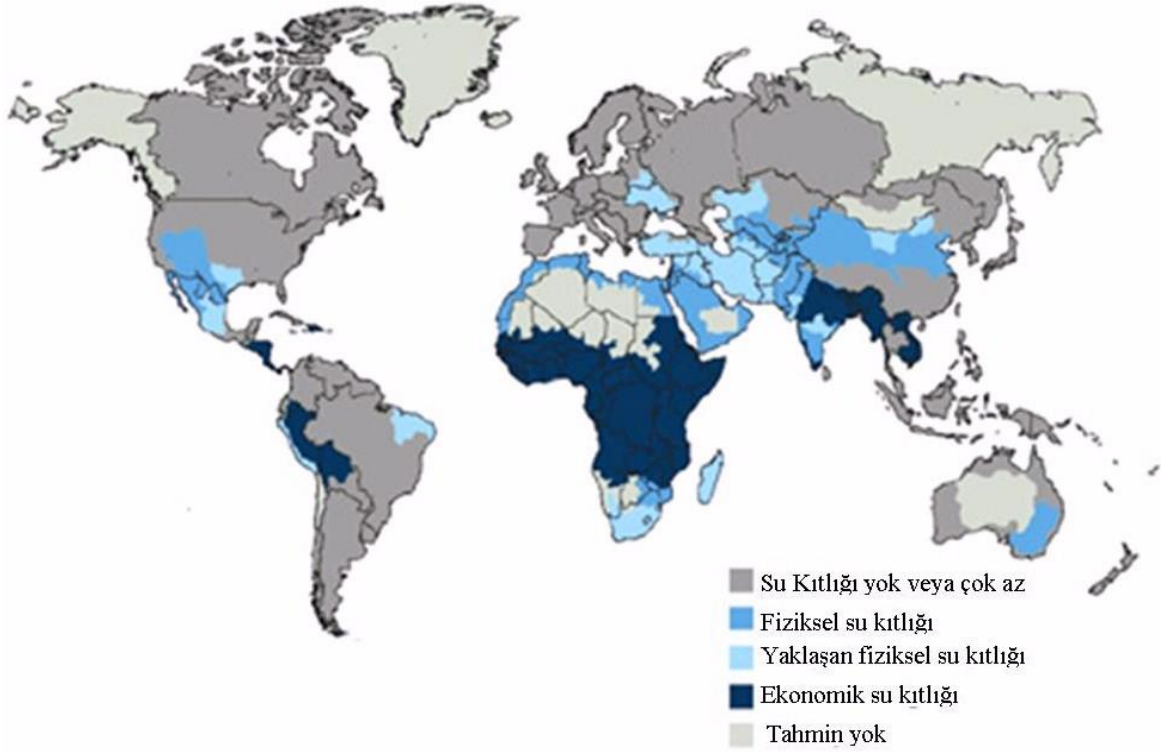
1.2. Gelecekteki Su Sorunları ve Öngörülleri

Su kıtlığı özellikle içme ve kullanma suyu temininde gelecekte en önemli problemlerden biri olacaktır. Dünya su tüketimi ve kullanımı üzerine yapılan 50 yıllık su tüketim miktarları incelendiğinde, su kaynaklarının miktarı aynı kalmasına rağmen, su kullanımı (yeraltından çekilerek kullanılan) üç katına çıkmıştır. Dünyadaki su kaynakları üzerindeki olumsuzlar nedeniyle içme ve kullanma suyu temini için alternatif yöntemlere ve mevcut kaynakları koruma planlarına gidilmektedir [6].

Dünya’da sadece ortalama gelişmeler baz alınarak 2030 yılı için yapılan tahmine göre günümüzde 4 500 km³ olan su ihtiyacının 6 900 km³ olması beklenmektedir. Tahmin edilen miktar mevcut kullanılabilir su potansiyelinin yüzde 40 fazla olduğu görülmektedir. Su kaynaklarını etkileyen diğer faktörler de dikkate alındığında 2030 yılına kadar gerekli önlemler alınmazsa içme ve kullanma suyu kaynakları yeterli olmayacaktır [1].

Dünya 2012 yılı nüfusu 7,1 milyar olarak açıklanmıştır. 2030 yılı Dünya nüfusu 8,3 milyar kişi olacağı tahmin edilmektedir. Artan nüfusun yaklaşık %60’ının kentlerde yaşayacağı tahmin edilmektedir. Bu durum mevcut tatlı su kaynaklarının miktarını ve kalitesini ve sağlıklı temin edilmesini zorlaştıracaktır [1].

Gıda, su ve enerji ihtiyaçları nüfus ve tüketimin artışlarının etkisiyle 2030 yılına kadar %50 artması beklenmektedir. İklim değişikliği sonucu oluşacak olumsuz durumlar bu kaynakların mevcut potansiyellerini daha da azaltacaktır. İklim değişikliği tahminlerinde genel olarak, hava değişimlerinin keskin olacağı, yağışların ve kuraklıkların artacağı beklenilmektedir. Kuraklıkların beklendiği yerlerde, Ortadoğu, Kuzey Afrika ve Güney Avrupa başta gelmektedir. Bu durumlar su kıtlığının daha da artacağını habercisidir. Özellikle Ortadoğu, Kuzey Afrika ve Güney Avrupa çevrelerinde alternatif su kaynakları üzerinde ciddi ve pahalı çalışmalar yapılmaktadır [1].



Şekil 1. 3. Dünya fiziksel ve ekonomik su kıtlığı gösterimi [6]

Belirtilen tüm etkenler dikkate alındığında ilerleyen yıllarda içme ve kullanma suyu temini için alternatif yöntemlere ve mevcut kaynakları koruma planlarına gidilmesi gerektiği görülmektedir.

1.3. İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi

İklim değişikliğinin Dünya üzerinde göstereceği ana göstergesi sudur. Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) raporuna göre iklim değişikliği nedeniyle su kaynakları ve su kalitesi azalacak olup, sürekli iklim değişikliğinin çevresel zararlarını azaltmak için önlem almaktadır. Alınan ve alınacak önlem genellikle mevcut su kaynaklarını korumaya yönelik eylem planlarından oluşmaktadır [7].

İklim değişikliği direk olarak su kaynaklarının durumunu ve su kaynaklarının dönemsel değişimlerini olumsuz olarak etkileyecektir. İlerleyen zamanlarda başlayacak içme ve kullanma suyu temini üzerindeki olumsuzluklar artarak devam etmektedir. Ayrıca iklim değişikliği, suyun geleceğini daha da belirsiz yapmaktadır. İklim değişikliği doğrudan veya dolaylı etkenlerle (yağış miktarı, zamanı ve tipi, zamanlaması, buharlaşma)

havza bazındaki su miktarını etkiler. Bu durum, suya odaklı dolaylı veya doğrudan diğer alanları etkileyecektir [8].

İklim değişikliğinin su kaynaklarına olumsuz sonuçları görülmüş ve görülmeye devam edeceği hemen hemen tüm bilimsel makamlarca dile getirilmektedir. Hidrolojik döngü iklim değişikliğinden olumsuz etkilenecek bu nedenle su kaynaklarının planlamasının değişmesi beklenmektedir. Nehirlerdeki su miktarlarındaki azalmalar veya aşırı artmalar, rezervuarlardaki (baraj, göl, kanal) su miktarındaki azalmalar, enerji üretiminin azalması ve yer altı sularının seviyesini azalması gibi olumsuz sonuçlar oluşacaktır [1].

Su ile ilgili yaşanan ve yaşanacak olumsuzluklar gıda, sağlık ve enerji başta olmak üzere ve dolaylı etkilerle görülmektedir. Bugün özellikle gelişmekte olan ülkelerde ve başta Türkiye’de su kaynaklarının mevcut durumunda ve kalitesinde ciddi sorunlar yaşanmaktadır. Özellikle gelişmekte olan ülkeler (Türkiye) mevcut ve sürdürülebilir su kaynakları için koruma ve alternatif su temini yöntemleri üzerinde çalışmalar yapmaktadır [1].

Dünya üzerindeki su kaynaklarına olumsuz etki yapan sera gazlarını azaltmak için en verimli önlemler alınsa bile, iklim değişikliğinin olumsuz etkileri olacaktır. Su kaynakları iklim değişikliğinden olumsuz yönde etkilenecektir. Bu sebeple su kaynaklarının korunması için acil önlem planları ve alternatif su temini yöntemleri uygulanmaktadır [1].

1.4. Türkiye’deki Suyun Durumu

“Türkiye, toplam yüz ölçümü 783 562 km² ‘dir ve üç tarafı denizler ile çevrili bir ülkedir. Türkiye, su kaynakları açısından zengin bir ülke değildir. Türkiye ılıman, yarı-kurak ve sıcaklıklarda aşırılıkların olduğu bir iklim kuşağındadır. Türkiye genelinde yıllık ortalama yağış miktarı yaklaşık 643 mm olmaktadır ve bu yağış miktarı dünya ortalamasının (800 mm) altındadır. Bu miktar, yılda ortalama 501 km³ suya denk düşmekte olup, bu suyun 274 km³’ü toprak ve su yüzeyi ile bitkilerden olan buharlaşmalar yoluyla atmosfere geri dönmekte, 69 km³’lük kısmı yeraltı sularını beslemekte, 158 km³ ’lük kısmı ise akışa geçerek çeşitli büyüklükteki akarsular vasıtasıyla denizlere ve kapalı havzalardaki göllere gitmektedir. Yer altı suyunu besleyen 69 km³ ’lük suyun 28 km³’ü pınarlar vasıtasıyla yerüstü suyuna tekrar katılmaktadır. Ayrıca komşu ülkelerden gelen yılda ortalama 7 km³ su bulunmaktadır, toplamda Türkiye’nin yer üstü suyu potansiyeli 193 km³ olmaktadır. Ancak günümüz teknik ve ekonomik şartları çerçevesinde tüketilebilecek yer üstü suyu potansiyeli yurt içindeki akarsulardan 95 km³, komşu ülkelerden gelen akarsulardan 3 km³ olmak üzere, yılda ortalama toplam 98 km³’tür. 14 km³ olarak belirlenen yeraltı suyu potansiyeli ile birlikte Türkiye’nin tüketilebilir yerüstü ve yeraltı su potansiyeli yılda ortalama toplam 112 km³’dür. Türkiye 2023 yılına kadar toplam kullanılabilir su potansiyelinin (112 km³) tamamını

kullanacağını planlamaktadır. 2023 yılından sonra alternatif su temin yöntemlerine ve mevcut su kaynaklarının korunmasına fiili olarak etkin şekilde başlaması gerekmektedir” [9].

Çizelge 1. 2. Türkiye yıllık su kaynakları kapasitesi [9]

Yıllık ortalama yağış	643 mm/yıl
Yıllık yağış miktarı	501 km ³
Buharlaşıma	274 km ³
Yeraltına sızma	41 km ³
Kullanılmayan su	88 km ³
Kullanılabilir yüzeysel su	98 km ³
Çekilebilir yeraltı suyu	14 km ³
Toplam Kullanılabilir Su (Net)	112 km³

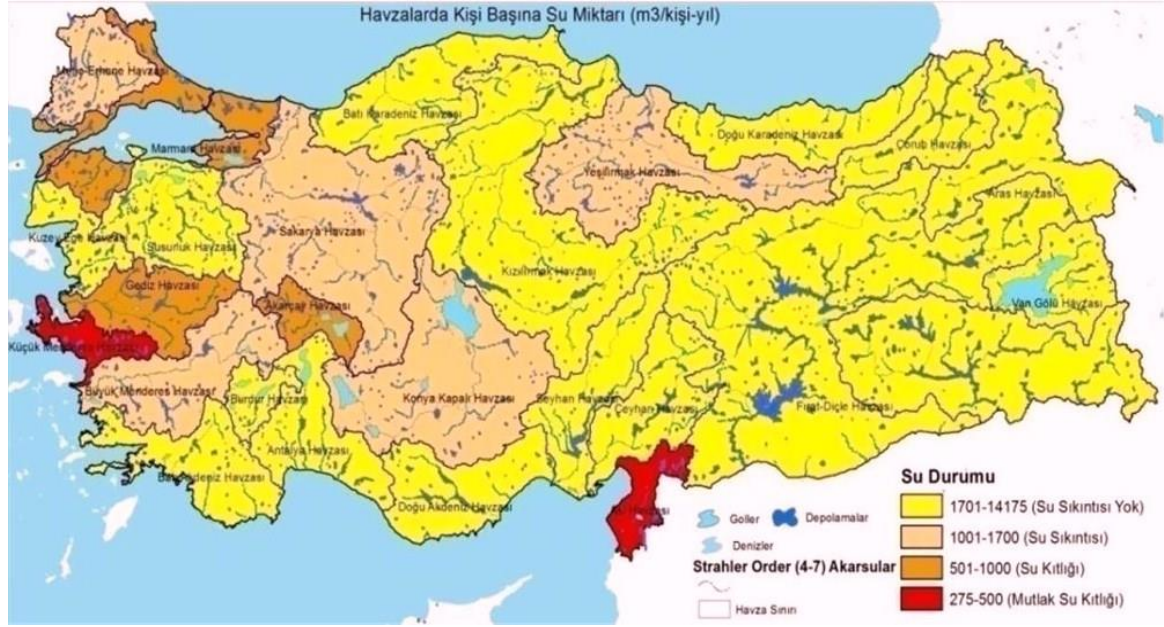
Çizelge 1.2.’de görülen kullanılabilir suyun önemli bir miktarı (%74’ü) tarım alanında kullanılmaktadır. Türkiye 2009 yılı için DSİ tarafından yapılan çalışmaya göre mevcut kullanılabilir suyun yüzde 11’i sanayi, yüzde 15’i evsel ve yüzde 74’ü ise tarım alanlarındadır. 2008 yılı DSİ verilerine göre tarım alanı için yılda 34 milyar m³, içme ve kullanım için 7 milyar m³ ve sanayi için 5 milyar m³ su harcanmıştır. Kullanılan toplam 46 milyar m³ su miktarı, Türkiye’nin toplam su kapasitesinin yüzde 41,1’ini oluşturmaktadır [9].

“Ülkemizde kişi başına düşen ortalama brüt içme ve kullanma suyu miktarı 1980’li yıllarda 98 lt/gün, 1990’lı yıllarda 192 lt/gün iken 2012 yılında (tahmini) 213 lt/gün olarak açıklanmıştır” [9].

Türkiye’deki veriler incelendiğinde kişi başına düşen su tüketim değerlerinin sürekli artış gösterdiği görülmektedir. Gelişmekte olan ülkelerde günlük su tüketimi arttığı görülmekte olup Türkiye’de su tüketimi açısından bu sınıfa uymaktadır. Avrupa Birliği ülkelerinde kişi başına düşen ortalama brüt içme ve kullanma suyu miktarı 150 L/kişi/gün olarak tahmin edilmektedir. Avrupa ülkelerinde su kaçaklarının önlenmesi, havzaların korunması ve su tasarrufları konusunda bilgilendirmelerin artması ile kişi başı günlük su tüketiminde azalmalar görülmektedir [1].

Türkiye’de su potansiyeli dikkate alınarak hesaplanan kişi başına düşen yıllık su miktarı 1519 m³’tür [9]. Bu miktara esas olarak su kıtlığı, su stresi ve su zengini sınıfları oluşturulmaktadır. Dünyada yıllık kişi başına düşen suya göre, su kıtlığı veya stresi olup olmadığını belirtmek için Falkenmark endeksine bakılır. Söz konusu “Falkenmark endeksi; kişi başına düşen yıllık su miktarı 1.700 m³’ten fazla olması durumunda su sorunu

olmayan, 1.700-1.000 m³ arasında su sıkıntısı olan, 1.000-500 m³ arasında su kıtlığı olan, 500 m³'ten az olması durumunda ise mutlak su kıtlığı olan ülkelere göre sınıflandırmalar yapmıştır" [10].



Şekil 1. 4. Falkenmark Türkiye Su Endeksi [1]

Falkenmark endeksine göre Türkiye su kıtlığı olan veya su sıkıntısı olan ülkeler sınıfına alınmaktadır. Bu sınıflandırmaya göre Türkiye günümüzde su sıkıntısı olan bir ülke olarak görülüyor ve yakın gelecekte su kıtlığı olacak bir ülke sınıfında olma tehlikesi görülmektedir.

Şekil 1. 4. incelendiğinde Türkiye’de havzalara göre değişiklikler olduğu anlaşılmaktadır. Çoruh, Batı Akdeniz ve Antalya havzaları su zengini olarak tanımlanmaktadır. Marmara, Küçük Menderes ve Asi havzaları su fakiri olarak tanımlanmıştır. Öte yandan Meriç-Ergene Havzası’nda su kıtlığı görülmektedir.

“Türkiye’nin de içinde bulunduğu Akdeniz Havzası iklim değişikliğinin etkilerinin en şiddetli hissedileceği yerlerin başında gelmektedir. Yakın gelecekte Akdeniz’deki pek çok nehir havzası su kıtlığı ile karşı karşıya kalacaktır. Türkiye’de 2030 yılında, iç ve batı bölgelerinde %40’ı aşan oranda su sorunları yaşanacağı öngörülmektedir. Güneydoğu ve doğu bölgelerinde ise bu oran %20-40 arasındadır” [9].

1.4.1. Türkiye’de su kullanımının sektörel analizi

Türkiye’nin 2008 yılında toplam su tüketimi 43 km³’tür. 2008 yılı su tüketiminin %11’i sanayi, %15’i evsel kullanım amaçlı kullanılmıştır. Türkiye su kaynaklarının en çok kullanılan alanı tarımsal uygulamalardadır (%75’lik yüzeysel su ve %66’lık yeraltı suyu) [11].

Çizelge 1. 3. Türkiye toplam su tüketimi ve dağılımı [11]

Yıl	Su Tüketimi		Sektörler					
	Milyar m ³	%	Tarım		Evsel		Sanayi	
			Milyar m ³	%	Milyar m ³	%	Milyar m ³	%
1999	30,6	28	22	72	5,1	17	3,4	11
2004	40,1	36	29,6	74	6,2	15	4,3	11
2008	43	38	32	74	6	15	5	11
2023	112	100	72	64	18	16	22	20

Çizelge 1.3.’te görüldüğü gibi Türkiye’de 1990–2008 yıllarında kullanılan toplam su miktarında %40,5 artış olmuştur. Su kullanımı hem geçmişteki çalışmalar hem de gelecekteki tahminlere göre sürekli artacağı görülmektedir. Türkiye’nin büyüyen su ihtiyacını karşılamak için mevcut kaynakları acilen koruma altına alması ve alternatif su temini üzerine çalışmalar yapması gerekmektedir bu nedenle Türkiye gereken önlemleri daha hızlı ve doğru şekilde alması gerekmektedir [11].

1.4.2. Türkiye’de kişi başına düşen su miktarı

Türkiye’de kişi başına düşen yıllık su 1 519 m³ civarında olduğu belirtilmektedir. Türkiye nüfusu, 2030 yılı tahminlerine göre 100 milyona ulaşacağı tahmin edilmektedir. 100 milyon nüfus esas alınarak yapılan hesaplamalara göre 2030 yılında kişi başına düşen yıllık su miktarı 1 120 m³ civarında olacağı tahmin edilmektedir [9].

Evsel su kullanımı Türkiye’de bölgesel olarak değişiklikler görülmektedir. Evsel su kullanımında en yüksek Marmara Bölgesi, Kuzeydoğu ve Doğu Anadolu bölgelerinde düşük seviyelerdedir. 2010 yılı kişi başı kullanılan ortalama günlük su miktarı 216 litre olarak hesaplanmıştır [1]. Bu veriler brüt olup, Türkiye’de su şebekelerinden kayıp miktarları %40 ile %60 arasında değişmektedir. Bu rakam gelişmiş ülkelerde %20 civarındadır. Bu nedenle hesaplanan tüketim miktarları daha yüksek çıkması beklenmelidir [11].

Türkiye'nin 2023 hedefinde mevcut kullanılabilir potansiyeli olan 112 km³ su ve potansiyel sulu tarım alanlarının geliştirilerek kullanılması vardır. Ayrıca, su kullanımı alanları planlamasını tarımda %64, sanayide %20 ve evsel kullanımda %16 olacak şekilde yapılmıştır. Tarım alanında yeni modern metotlara uyularak 72 km³ su kapasitesinin kullanılacağı tahmin edilmektedir. 2008 yılında 6 km³ olan evsel su kapasitesi, 2023 yılında 18 km³ olarak tahmin edilmektedir. Sanayi alanına ise 2023 yılında 22 km³ su kullanımı ön görülmektedir [11].

1.4.3. Türkiye'de yakın gelecekteki su sorunu

Türkiye'de tarım, enerji ve endüstriyel faaliyetlerin yoğunlaştığı bölgelerde ve kentsel yerleşim alanlarında (Marmara, Ege ve Akdeniz Bölgelerinde) bütün tatlı su kaynakları iklim değişikliği etkisi ile büyük risk altındadır. Türkiye'de iklim değişikliği olumsuz etkileri sonucu oluşacak şartlar (hızlı hava sıcaklığı değişimleri, aşırı sıcaklar, soğuklar, fırtına ve seller) su kaynaklarını kısıtlamaktadır. Ayrıca su kaynaklarına dolaylı ve direk bağlı tüm şartların üzerinde ciddi maddi ve çevresel zararları olmaktadır [1].

İklim değişikliğinin etkileri üzerine yapılan tahminlere göre Akdeniz Havzasında (Türkiye dâhil) kuraklık ve yağış azlığı sorunlarıyla olumsuz etki yapacağı açıklanmıştır. İklim değişikliği sonucu oluşacak kuraklıkların ciddi zararlar vermesi neticesinde su ve gıda kıtlıklarının artmasına neden olacağı beklenmektedir. 2008 yılındaki kuraklığın sadece tarımsal boyuttaki zararı 1,5-2 milyar € olduğu açıklanmıştır. Sadece bu ekonomik zarar bile durumun ne kadar büyük bir sorun olduğunu ortaya koymaktadır [12].

Son yıllarda özellikle denize kıyısı olan büyükşehirler ve ada yerleşimlerinde iklim değişikliği, kentleşme, kirlenmeler, plansız su tüketimleri nedeniyle yaşanan su kıtlığını gidermek için içme ve kullanma suyu kullanımlarında deniz suyundan içme ve kullanma suyu elde edilmesini ön plana çıkarmaktadır. Özellikle Türkiye'de denize kıyısı olan büyük şehirlerde (İstanbul, Kocaeli, İzmir, Mersin vs.) ve ada belediyeleri olan şehirlerde (Balıkesir) içme ve kullanma suyu temininde ciddi problemler yaşamakta olup, ilerleyen yıllarda yapılan tahminlerde, su kıtlığı ile karşı karşıya kalacak olması nedeniyle içme ve kullanma suyu temininin bir kısmı için deniz suyundan içme suyu elde edilmesiyle karşılanması planlanmaktadır.

2. DENİZ SUYUNDAN İÇME VE KULLANMA SUYU TEMİNİ

Bu bölümde deniz suyunun genel özellikleri, deniz suyundan içme ve kullanma suyu elde etmek için uygulanan arıtma yöntemleri ve tarihi gelişmeleri değerlendirilmiştir.

2.1. Dünya’da Deniz Suyundan İçme Suyu Temini

Dünya’da deniz suyundan içme suyu, ilk olarak ticari gemilerde 17. ve 19. yüzyıllar arasında yapılmıştır. Söz konusu yıllarda deniz suyu ısı ile buharlaştırılıp distile edilerek içme ve kullanma suyu temin edilmiştir. Dünya’da deniz suyundan içme ve kullanma suyu temini tesis olarak, 1928 yılında Hollanda Krallığına bağlı Curaçao Adası’nda yapılmıştır. Tesislerin devamı olarak 1930 yılında Mısır’da ve 1938 yılında Suudi Arabistan’da yapılmıştır. İlk yapılan bu arıtma tesisleri buharlaşmayı veya basit ayırma sistemlerini esas alınarak yapılmıştır [13].

Petrole olan talebin artmasıyla damıtma endüstrisindeki gelişmeler sayesinde 1929’dan 1937’ye kadar distilasyon teknolojisinde artış yaşanmış, 1960 yıllarında geçmişteki kapasiteye göre yüzde 17’lik artış yaşanmıştır [14].

17.yüzyılda basit bir buharlaştırma işlemiyle başlayarak günümüze kadar yapılan çalışmalar, tuzsuzlaştırmada membranların kullanılması, 1950’li yılların başında selüloz asetat membranların uygulaması ile olmuştur. Fakat selüloz asetat membranların verimi düşük seviyelerde olması nedeniyle uygulanabilir görülmemiştir. 1960 yılında selüloz membranların geliştirilmesiyle membranların deniz suyundan içme ve kullanma suyu elde edilebileceği ve uygulanabileceği anlaşılmıştır [15].

Tesislerde selüloz asetat spiral sargılı membranlar 1960’lı yıllarda kullanılmaya başlanmıştır. 1960’ların ilk yıllarında tuzsuzlaştırmada elektrodializ (ED) prosesleri kullanılmaya başlanmıştır. 1960’lı yıllarda Amerika’da kıyılara yakın yerleşim yerleri ve Adalar başta olmak üzere tuzlu suların tuzsuzlaştırılmasında ED kullanılmıştır. Amerika’da 1970’lerde özellikle ters osmoz (TO) sistemleri ve Elektrodializ (ED) sistemleri kullanılmaya başlanmıştır. 1973 yılında doğrudan deniz suyunu arıtan, ısıya dayanıklı, uzun ömürlü ve güçlü yapıya sahip aramid fiber membranlar geliştirilip uygulanmıştır. 1970’lerin ortasında boşluklu selüloz fiber membranlar ve spiral sargılı poliamid ince film komposit membranlar geliştirilip uygulamaya geçilmiştir. 1980’li yıllarda membranların

geliştirilmesi amacıyla çeşitli çalışmalar yapılmıştır ve önemli işletme tecrübeleri elde edilmiştir. Membran teknolojileriyle deniz suyundan içme ve kullanma suyu temini, 1990'lı yıllarda belediyelerin arıtma tesislerinde ve su kıtlığı çekilen kıyı (kıyı ve ada) yerleşimlerinde yaygınlaşmıştır. Ayrıca 1990'lı yıllardan itibaren hem teknolojik olarak hem de maliyet açısından uygulanabilirlik avantajları artmıştır [16].

2006 yılında Dünya'da tuzlu sulardan ve atık sulardan günde 44,1 milyon m³ içme ve kullanma suyu üretilirken 2011 yılında 66,5 milyon m³ olarak büyük artış göstermiştir [17].

2015 yılında yapılan araştırmada; Dünyadaki kurulu tuzsuzlaştırma sistemleri kapasitesinde yıllık olarak %12 lik bir artış olduğu tespit edilmiştir. GWI tarafından 2013 yılında yapılan çalışmada Dünya genelinde günlük 80,9 milyon m³ deniz suyundan içme kullanma suyu üretilmiş olup, bu miktar ile 300 milyondan fazla insanın su ihtiyacı karşılanmakta olduğu görülmüştür. [18].

Dünyada deniz suyundan içme ve kullanma suyu temini farklı yöntemler ile elde edilmektedir. Bu yöntemlerin %51'i ters osmoz (TO) yöntemi, %45'i termal distilasyon yöntemleri ve % 4'ü ise nanofiltrasyon (NF) ve elektrodializ (ED) yöntemlerinden oluşmaktadır. Deniz suyundan içme ve kullanma suyu eldesi termal distilasyon prosesleri özellikle Ortadoğu ülkelerinde tercih edilmektedir. Ortadoğu'da termal distilasyon yöntemi ile günlük 1,6 milyon m³ su üretilmektedir. Ortadoğu ülkelerinin dışındaki yerlerde yaygın olarak ters osmoz yöntemi kullanılmaktadır [19].

TO sistemlerinin %59'u küçük ölçekli (<1000 m³/gün) olup küçük ölçekli tesislerden üretilen suyun %5' ini oluşturmaktadır. Ters osmoz tesis sayısının %2'sini 42 tane büyük kapasiteli TO tesisleri toplam tuzlu sudan üretilen debinin %45'ini oluşturmaktadır [19].

Dünya'da 2011 yılında 15.988 tuz giderme tesisi vardır. "150 ülkede 300 milyon insanın su ihtiyacı bu tuzsuzlaştırma tesislerinden karşılanmaktadır". Bu tesislerin %49'u Ortadoğu ülkelerinde olup ağırlıklı olarak körfez ülkelerinde, %17'lik kısım Amerika kıtasında, %14'ü Asya-Pasifik bölgesinde, %14'ü Avrupa'da ve % 6'sı ise Afrika kıtasında yer almaktadır [13].

Dünya’da özellikle Suudi Arabistan, İsrail, ABD, Çin, İspanya, Yunanistan, Avustralya ülkeleri deniz suyundan içme ve kullanma suyu elde etmektedir. “Suudi Arabistan, Dünya’nın en fazla deniz suyundan içme ve kullanma suyu üreten ülkesidir. Deniz suyundan içme ve kullanma suyu günlük olarak 3 300 000 m³ elde edilmekte olup Dünya üretiminin %18’ine tekabül etmektedir. Yöntem olarak %14 TO ve %86 termal distilasyon yöntemleri kullanılmaktadır” [20].

2.2. Deniz Suyunun Genel Özellikleri

Deniz suyu, Dünya’daki suların %97 oranında olup fiziksel özellikleri sıcaklığa, tuzluluğa ve atmosferik basınca bağlıdır. Deniz suyu karakteristiğini etkileyen basınç, derinliğe bağlıdır. Sıcaklık deniz suyu çözünürlüğüne doğrudan etki ederek minerallerin ve diğer elementlerin deniz suyunda yüzdeleri bulunma oranlarını (çözünme oranı) ve miktarlarını etkiler. Tuzluluk, su içerisinde çözülmüş belirli minerallerin (tuzların) konsantrasyon değeridir. Deniz suyunda tuzluluk; 1000 gram deniz suyunun içinde çözülmüş tuzların gram miktarıdır. Deniz suyunda tuzluluk; tuz mineralleri miktarına, deniz suyu sıcaklığına, buharlaşma ve yağış oranlarına göre değişmektedir [21].

“Deniz suyu içeriğinde doğada bulunan tüm elementler bulunmaktadır. Doğada olan 92 elementin 81 tanesi deniz suyunda vardır” [22].

2.2.1. Denizlerde tuzluluk

Deniz suyunda tuzluluk, dünya yüzeyindeki kayalardaki sıcaklık farkları ve diğer fiziksel ve kimyasal etkilerle minerallerin çözünmesi ile oluşur. Açık denizlerde tuzluluk genellikle %3,3 ile %3,7 arasındadır, derinlikler, iklimsel ve bölgesel şartlar dikkate alındığında %2,8 ile %4,0 arasında tuzluluk değerleri görülmektedir. Ortalama olarak denizlerde tuzluluk %3,5 kabul edilebilir [22].

Deniz suyunda tuzluluğa özellikle 11 çözülmüş tuz mineralleri (Klorür, Cl⁻), (Sülfat, SO₄) (Bikarbonat, HCO₃⁻) (Bromür, Br⁻) (Borat, H₂BO₃⁻), (Florür, F⁻), (Sodyum, Na⁺), (Magnezyum, Mg⁺²), (Kalsiyum, Ca⁺²), (Potasyum, K⁺²), (Strontiyum, Sr⁺²) sebep olmaktadır. Çizelge 2.1.’de verilen verilerde hangi mineral tuzunun deniz su tuzluluğuna ne kadar oranda etki yaptığı belirtilmiştir [22].

Çizelge 2. 1. Anyon ve katyonların tuzluluğa katkı oranları [23]

Katyonlar (g/kg)		Tuzluluğa Katkısı (%)
Na ⁺	10,770	30,61
Mg ⁺²	1,294	3,69
Ca ⁺²	0,413	1,16
K ⁺	0,384	1,10
Toplam	1,864	
Anyonlar (g/kg)		Tuzluluğa Katkısı (%)
Cl ⁻	19,353	55,04
SO ₄ ⁻²	2,712	7,68
HCO ₃ ⁻	0,142	0,41
Br ⁻	0,067	0,19
I ⁻	0,060	Çok az
Toplam	22,334	-
Genel Toplam	198 g/kg	99,88

Deniz suyunda başlıca bakılan kimyasal parametreler şunlardır: Toplam Çözünmüş Karbon (TÇK), pH (genellikle 7,8-8,2 arasında), Bikarbonat HCO₃⁻, Sülfat SO₄²⁻, Klorür Cl⁻, Sodyum Na⁺, Kalsiyum Ca²⁺, Magnezyum Mg²⁺, Potasyum K⁺. Dünya çevresindeki farklı deniz sularının ve Türkiye'nin denizlerinin temel olarak kimyasal tuzluluk karakteristikleri Çizelge 2.2.'de verilmiştir [23].

Çizelge 2. 2. Dünya ve Türkiye'deki farklı deniz sularının başlıca kimyasal özellikleri [19]

Yeri	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
TÇK	40679	36049	33300	35137	43700	39151	31985	37100	24400	19100
PH	8,1	8,5	7,7	8,0	8,1	8,3	7,5	8,3	8,3	8,2
HCO ₃ ⁻	162	146	175	141	122	159	750	146	187	157
SO ₄ ²⁻	3186	2769	2280	2709	3200	3010	1620	2790	1860	1490
Cl ⁻	22599	19841	26000	19370	23922	21573	17172	20500	13200	10420
Na ⁺	12200	11035	10700	10779	12950	11998	9552	11544	7700	5930
Ca ²⁺	481	418	432	421	440	455	1611	1302	282	226
Mg ²⁺	1557	1330	1290	1293	1580	1446	1280	415	853	646
K ⁺	481	397	381	386	-	432	-	388	276	220

Not: Değerler ppm (mg/L) cinsinden yazılmıştır.

1: Batı Akdeniz, 2: Caribbean Sea, 3: Merkez Pasifik, 4: Güney Atlantik, 5: Arap Körfezi, 6: Indian Ocean, 7: Ajmam, Shallow Sahil çekimi
8: Doğu Akdeniz, 9: Marmara, 10: Karadeniz

2.3. Deniz Suyundan İçme ve Kullanma Suyu Elde Etme Yöntemleri

Deniz suyu tuzsuzlaştırma sistemleri tatlı su kaynaklarının kısıtlı olduğu, denize kıyısı olan kurak yerlerde özellikle Orta Doğu bölgelerinde uygulanmaktadır. İçme ve kullanım amaçlı su sağlamak amacıyla yapılan tesisler gün geçtikçe dünya çapında artmaktadır. Bu tesislerde Dünya’da üretilen toplam su miktarı 1994 yılında 17,3 milyon m³/gün, olurken 2009 yılında 68 milyon m³/gün miktarlarına ulaşmıştır. Ayrıca 2016 yılı sonunda ise 130 milyon m³/gün olması beklenmektedir [24]. Deniz suyundan içme ve kullanma suyu teminiyle ilgili başlıca problemler yatırım ve işletme maliyetlerinin çok pahalı olmasıdır. Uygulanmaya başladığından beri deniz suyundan tuzu ayırmak için birçok yöntem geliştirilmesine rağmen esas olarak 3 yöntem kullanılmıştır ve bu yöntemlerin çoğunluğu membran teknolojisinin gelişmesi sayesinde son 50 yıl içinde geliştirilmiştir [25]. Günümüzde genellikle temel ve uygulanabilir olarak deniz suyundan tuzu ayırmak için damıtma, membran prosesleri olmak üzere iki temel yöntem kullanılmaktadır [26]. Ayrıca, tuzluluğu az, düşük debili sistemlerde Elektrodializ yöntemi kullanılabilir [33].

2.3.1. Damıtma yöntemi

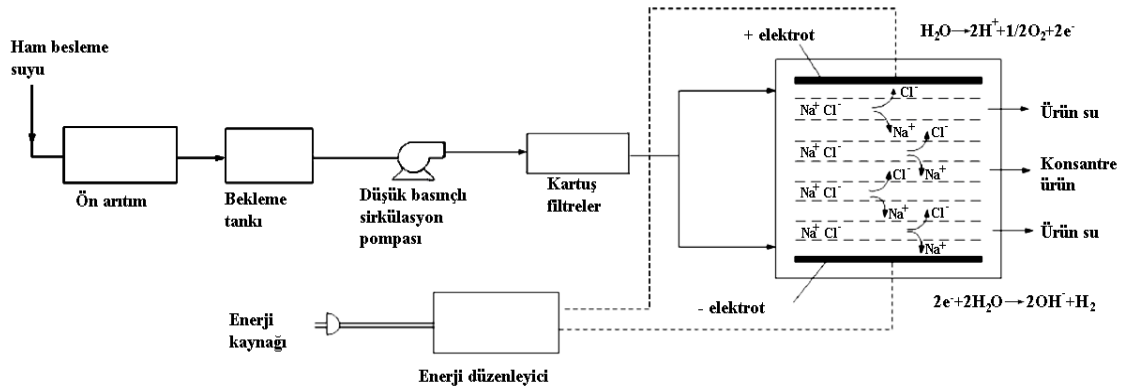
Deniz suyuna ısı enerjisi verilmesiyle suyun fazlarına (katı, sıvı, gaz) ayrılmasıyla su temini yapılan yöntemdir. Amaç, deniz suyunun buharlaştırarak tuzdan ayırmak ardından yoğunlaştırma ve soğutma işlemleri ile tekrar sıvı forma dönüştürmektir. Deniz suyunun buharlaştırılarak tuzdan ayırma işlemi için termal ve güneş enerji sistemleri kullanılmaktadır [26]. “Eski yıllarda (80’lerden önce) damıtma tuzsuzlaştırması deniz suyu arıtımı için en çok kullanılan yöntem olmuştur. Kullanılan ilk deniz suyu arıtma prosesleri olmasına ek olarak dünyada deniz suyu arıtım proseslerinin %65’lik kısmını halen bu sistem kullanılarak yapılmaktadır” [27] . Termal kısmına ek olarak damıtma prosesleri sık sık daha düşük sıcaklıklarda da buharlaştırmayı arttırmak için vakum uygulamasıyla birleştirilmiştir. Damıtma prosesleri; çok işlemlili damıtma, çok kademeli şok damıtma, mekanik buhar sıkıştırma, güneşle damıtma olmak üzere 4 yöntemle yapılır [28].

Damıtma ile elde edilen su, saf su özelliklerine yakındır bu nedenle mineral ilavesinin miktarı artmaktadır. İşletme maliyetleri enerji ve ekipman açısından oldukça

yüksektir, bu nedenle gelir seviyesi yüksek olan ülkelerde kullanılmaktadır. Ayrıca aşırı enerji harcaması ve yüksek ısısal işlemler nedeniyle çevre kirliliğine neden olur. Enerji için yapılan ilave sistemler emisyon kirliliğine yol açar. Tesisten çıkan konsantre su (aşırı tuzlu su) yüksek sıcaklığı olması nedeniyle tesis içi ekipmanlarda yüksek konsantrasyonlarda kirleticilere (bakır, nikel, kobalt vb.) rastlanılabilir [28].

2.3.2. Elektrodializ (electrodialysis-ED) yöntemi

Dünya’da kurulu tuzsuzlaştırma tesis kapasitesinin %5’lik kısmını oluşturmaktadır. Elektrodializ çözülmüş katı madde oranı düşük ve inorganik kirletici içeren sulara kullanılabilir. “Bir elektriksel alan altında iyon değiştirebilen membranlar boyunca iyonların seçici geçirgenliğini içeren ED prosesleri deniz suyundan içme ve kullanma suyu temin etmek için kullanılır” [32].



Şekil 2. 1. Elektrodializ tesisinin basit bileşenleri [23]

Elektrodializ 5 000 mg/l altındaki toplam çözülmüş katı düzeylerindeki tuzlu sulara ve düşük debili sistemlerde ekonomik bir proses olabilir. Ortalama değerlerde olan deniz suyunda hem işletme sürekliliği hem de maliyeti açısından uygun değildir. Bu yöntemin büyük kapasiteli tesislerde uygulanabilirliği makul görülmemektedir. Elektrodializ yöntemi az debili düşük ve orta seviyelerde tuzluluğa sahip suların arıtılmasında kullanılabilir. Büyük kapasiteli ve yüksek tuzluluğa sahip deniz suları için uygun bir yöntem olarak görülmemektedir [23, 27, 33].

2.3.3. Membran prosesler yöntemi

Membran prosesler, fiziksel olarak sudaki bileşenlerin ayrılmasında membranların kullanıldığı yöntemdir. Ters osmoz yönteminde, deniz suyu yüksek basınca tabi tutularak büyük çaplı çözünmeyen bileşikler ayrılarak sadece çok küçük molekül çapına sahip bileşiklerin membranlardan geçmesiyle uygulanan fiziksel arıtma işlemi olarak tanımlanır. Kısaca, deniz suyunun yüksek basınçla birlikte membranlar vasıtasıyla fiziksel arıtılmasıdır. [26, 29, 30].

1980 yılından itibaren membran teknolojisindeki gelişmeler sayesinde membran sistemlerinin kullanımı artmıştır. Günümüzde membranların kullanımı dünya tuzsuzlaştırma tesislerinin %40'ını oluşturmaktadır. Teknolojik ilerlemeler ile mevcut durumda deniz suyundan içme ve kullanma suyu temini için ters osmoz yöntemi uygulanmaktadır. Bu çalışma özellikle ters osmoz yöntemi üzerinden yapılmıştır.

En çok kullanılan metodlarla yapılan tuzsuzlaştırma tesislerinin yatırım ve işletme maliyetleri ayrı ayrı hesaplanarak yapılan çalışmada:

Ekonomik analizi için söz konusu tesislerle ilgili teknik verilerin ve kimyasal malzemelerinin tespiti yapılmış, tesisin boyutları ve gerekli kimyasal maddelerin hesaplanması için arıtma tesisi giriş ve çıkış suyu özellikleri (sertlik derecesi, kimyasal içeriği, pH değeri) değerlendirilmiş, ardından en iyi yöntemi belirlemek için statik ve dinamik yatırım hesabı metotları uygulanmış ve ters ozmos yöntemi ile deniz suyundan içme ve kullanma suyu temin edilmesinin daha ekonomik olduğu anlaşılmıştır [31].

3. TERS OSMOZ YÖNTEMİ İLE DENİZ SUYUNDAN İÇME VE KULLANMA SUYU ELDESİ

1980’li yıllardan itibaren ters ozmos tesislerinin kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır ve dünyadaki mevcut tuzsuzlaştırma tesislerinin %40’ını oluşturmaktadır [31].

Dünyadaki mevcut durumda deniz suyundan içme ve kullanma suyu temini için yaygın olarak ters osmoz yöntemi kullanılmaktadır. Bu bölümde ters osmoz yöntemi ile deniz suyundan içme ve kullanma suyu temini yapan tesisler teknik açıdan ele alınmıştır.

Ters osmoz sistemi tasarımında ham su özelliklerine (sıcaklık, iletkenlik vs.) bağlı olarak su alma yapısı, ön arıtma, ters osmoz membran, dezenfeksiyon sistemleri dikkate alınarak tasarlanır.



Resim 3. 1. Abu Dubai ters osmoz tesisi görüntüsü [35]

3.1. Tesis Yerinin Belirlenmesi

Tesis yeri, tasarım, çevresel ve ekonomik şartlar esas alınarak belirlenir. Ters osmoz tesisi yapılacak alana yakın yerleşimler ile uyumlu olması ve çevresel boyutları

durumları irdelenerek yapılmalıdır. Bu şartlar dikkate alınarak tesis yerleri belirlenir. Ayrıca, tesis yeri belirlenmesi, ters osmoz yöntemi ile deniz suyundan içme ve kullanma suyu temin edilmesi alanında uzman mühendisler (çevre, makine, elektrik, inşaat, jeoloji, mimar) ile yerel yöneticiler tarafından yapılmalıdır [36].

Ters osmoz tesisi yerinin belirlenmesi yardımcı olabilecek esaslar aşağıda belirtilmiştir:

- Yerleşim yerlerine oldukça uzak yerler seçilmelidir aksi takdirde tesis kaynaklı gürültü ve çevresel kirlilik gibi sorunlar ile karşılaşılır.
- Tesis yanındaki veya tesise yakın yerlere ait beşeri ve çevresel faktörler dikkate alınmalıdır.
- Ters osmoz tesisleri yüksek enerji ihtiyacı olması nedeniyle enerji kaynaklarına yakın yerlerde kurulmalıdır. Aksi takdirde enerji temini için ciddi yatırım maliyetleri olur.
- Tesis deniz kıyısına oldukça yakın olmalıdır böylece tesisin su temini ve yüksek yoğunluklu konsantre çıkış suyunun bertarafı kolaylaşır. Denize yakın yerde olmayan tesislerde, tesis içi su kaçakları ve deşarjı durumlarında yerleşimlere ve diğer alanlara ciddi zararlar verir. Ayrıca su temini için uygun mesafenin tespiti için uygun deniz kıyı batimetresi olan kıyı seçimine dikkat edilmelidir. Aksi takdirde batimetresi sığ olan bir kıyıda su alma mesafesi uzağından yapılacak yatırım maliyetlerinin yükselmesine neden olur [25, 41].

3.2. Su Alma Yapıları Tasarımı

Denizden su alma yapıları, deniz suyunun arıtma işlemine tabi tutulmadan önce en iyi kalitede suyu tesise alabilmek için denizden doğrudan ve dolaylı (sahile açılan deniz suyu filtrasyon kuyuları) olmak üzere iki farklı yöntemle alınır.

3.2.1. Ham suyun doğrudan denizden çekimi

Deniz seviyesinin en az 10-15 metre ve maksimum 35 metre derinlikten doğrudan deniz suyunun alınması yöntemidir. Derinlere gidildikçe güneş ışığının etkisi azalacak, dolayısıyla alg ve nutrient miktarlarında azalmalar olur, böylece arıtma işlemine tabi

tutulacak ham sudaki kirletici yükü azalır, arıtma maliyetleri düşer. Deniz suyunun derinden temin edilmesiyle dalgaların etkisi azalır böylece ham su kalitesinde iyi olur. Ham suyun denizin derinliklerinden temin edilmesinin diğer avantajlı tarafı da ani kazalarda (gemi kazası, seller vb.) su kalitesinin fazla etkilenmemesidir [37].

Deniz suyunun doğrudan denizden alınmasının olumsuz tarafları ise; ham suyun doğal filtrasyona uğramadan temin edilmesi, denizden direk çekilen noktalarda deniz doğal hayatına bazı zararlar verebilecek olması ve su alma yapılarında ve boru hattında bakteriyolojik kirlenmelerin olabilir [38].

Su alma yapısı tasarımında dikkat edilecek hususlar ise denizden su temin etme hızı, deniz suyundaki partiküllerin (kum, çöp vs.) alınacak suya karışmamasını sağlayacak şekilde ve deniz canlılarını (balıklar vb.) oluşturduğu akım ile su alma yapısına çekmemesi durumları dikkate alınarak 1 m/sn yi geçmeyecek şekilde (optimum 0,5 lt/sn) tasarlanabilir. Yüksek geçiş hızlı su alma sistemlerin tasarlanması durumunda, denizde bulunan büyük çaplı partikül ve sedimental maddeler tesis giriş suyuna karışır bu nedenle arıtma maliyetleri ve bakteriyolojik kirlilikler artar. Su alma yapıları ve hatlarında bakteriyolojik kirlenmenin olmaması için su alma yapısı girişine klor vb. dezenfektanlar kullanılır böylece sistemlerde karşılanması muhtemel bakteriyolojik kirlilik önlenmiş olur [38].

3.2.2. Ham suyun dolaylı olarak denizden çekimi

Deniz kenarında açılan kuyuların, deniz suyunun doğal filtrasyona uğraması sonucu elde edilen ham su temin sistemidir. Ön arıtmanın önemli bir kısmı doğal filtrasyon ile sağlanarak ön arıtma maliyetleri azaltır. Doğal filtrasyon sistemi uygulanan küçük kapasiteli sistemlerde, ön arıtma işlemi yapılmadan ham suya sadece anti skalant ilavesi yapılarak membran sistemine verilerek içme ve kullanma suyu temini yapılabilir [39].

Deniz suyunun dolaylı olarak kuyular vasıtasıyla denizden alınmasının olumsuz tarafları; zamanla sahil kumunun çamurlaşması sonucunda sistemde tıkanmaların olması ile kuyulardan çekilen su miktarında azalmalar meydana gelir dolayısıyla uzun ömürlü olmazlar, yüksek debili tesisler için sayı olarak fazla kuyu açılması gerekmesinden dolayı sahillerde estetik görüntüyü bozular [38-39]. Ayrıca, kuyulardan çekilen ham sularda demir (Fe) ve mangan (Mn) değerlerinin fazla olması nedeniyle, demir ve mangan giderimi için ayrı sistemlerin kurulması gerekmektedir. Bu durum tesis yatırım ve işletme

maliyetlerini arttırmaktadır. Ters osmoz tesisi ömrü 25-30 yıl arasındadır fakat doğal filtrasyon kuyularının ömrü 10-20 arasında değişmektedir. Ayrıca, kuyularda uzun süreli kullanımlarda çamurlaşma sorunları yaşanmaktadır [39].

3.3. Ön Arıtma

Ters osmoz membran proseslerinde ön arıtma, tesisin verimli çalışması ve uzun ömürlü olması için büyük önem taşımaktadır. Ön arıtma tasarımı yapılmayan veya verimli şekilde işletimi yapılmayan tesislerin membranlarında tıkanma ve çökelti oluşumu sorunları yaşanır. Membranlarda ön arıtmadaki problemler nedeniyle olan tıkanma ve çökelti geri yıkama ile önlenmeye çalışılır fakat ön arıtmasız veya ön arıtması yetersiz tesislerde membran tıkanmaları ve çökelmeleri membran ömrünü hızla tüketir, bazı durumlarda membran kullanılamaz duruma gelir. Bu nedenle, ön arıtma sorunu bulunan membran sistemlerinde ciddi ekonomik ve verimli işletme zorluklarıyla karşılaşılır. Bu nedenlerle uzun ömürlü verimli işletilmek istenen ters osmoz tesislerinde ham su analizleri sonucuna göre uygun ön arıtma sistemi seçilmelidir [40].

Ham suyun doğrudan denizden çekiminde, çekilen ham suda kum, tortu, yosun, taş, çöp gibi çözünmemiş halde katı maddelerin giderilmesi için ön çöktürme, kaba ve ince ızgara yapılır. Ön çöktürme için, yüzey yükü ortalama debide, $30-50 \text{ m}^3 / \text{m}^2$ gün ve maksimum debide ise $80-125 \text{ m}^3 / \text{m}^2$ gün aralığında alınarak ön çöktürme yapılabilir. Kaba ızgaraların 6-150 mm aralığında, ızgaralar arasından geçiş hızı 0.75-1.25 m/sn aralığında, ızgara yerleştirme açısı 60-80 derece olacak şekilde, ızgaraya giriş-çıkış kanalındaki hız maksimum debide 1 m/sn'den büyük ve minimum debide 0,3 m/sn değerinden küçük olmayacak şekilde tasarlanmalıdır. İnce ızgaraların 2-6 mm aralığında, ızgaralar arasından geçiş hızı 0.75-1.25 m/sn aralığında, ızgara yerleştirme açısı otomatik temizlenenler için yatayla 60-80 derece, elle temizlenenler için 35-45 derece, ızgara kanalı genişliği en az 60 cm olacak şekilde, ızgaraya giriş-çıkış kanalındaki hız en fazla debide 1 m/sn'den büyük ve en az debide 0,3 m/sn değerinden küçük olmayacak şekilde tasarlanmalıdır [41]. Bu tasarım kriterleri atıksu fiziksel arıtma için verilmiş olup deniz suyuna uygulanacak ön çöktürme ve ızgara sistemleri en verimli olacak sınır değerler alınmalıdır.

Ön arıtma yapılmasına karar vermek için SDI (Silt Yoğunluk İndeksi) (Tıkanma Endeksi) değerine bakılır. SDI, 0.45 μm çaplı membrandan 2 bar basınç uygulanarak 5,10

15 dakikalık sürelerde ham suya uygulanan süzme işlemi ile belirlenir. Çizelge 3. 1.'de belirtilen SDI değerlerine göre ön arıtmada uygulanacak yöntemler belirlenir [42].

Çizelge 3. 1. SDI değerinin ters osmoz ön arıtma yöntemine etkisi [16, 43]

SDI	Hamsu Kalitesi	Ters Osmoz için Ön Arıtma Durumu
<1	İyi	Kolloidal Tıkanma olmadan bir kaç yıl işletme
1-3	Orta	Birkaç ayda temizleme
3-5	Düşük	Tıkanmalar olur ayda bir temizleme
>5	Çok Düşük	Hamsuya ön arıtma yapılmalıdır
5-10	Kötü	Filtrasyonlu ön arıtma yapılmalıdır
>10	-	Koagülant çöktürme ilaveli iki kademeli filtrasyonlu ön arıtma yapılmalıdır.

SDI (Tıkanma Endeksi) membran besleme suyu kalitesinin uygunluğunun belirlenmesindeki en önemli kriterdir. SDI, ham sudaki askıda katı madde miktarının membranı etkileme durumunun esas belirleyici kriteri olarak alınır. Tesislerde kullanılacak membranın türü, karakteristiği ve boyutları, üretici membran firmaları tarafından SDI değeri sonuçlarına göre belirlenir. Membran üreticileri besleme suyu SDI değerinin 5'den küçük olmasını ister. Membran üreticilerine göre besleme suyunda olması gereken başlıca özellikler Çizelge 3. 2.'de verilmiştir [44].

Çizelge 3. 2. Membran besleme suyunun olması gereken özellikler [42]

Parametreler	Değerler
SDI	<5
Bulanıklık	< 1
Demir	< 0,05 mg/l
Mangan	<0,5 mg/l
Hidrojen Sülfid	<0,1 mg/l
Organikler	<10 mg TOK/l

Çizelge 3. 1. ve Çizelge 3. 2.'ye göre SDI>5 olması durumunda koagülasyon/flokülasyon prosesleri, ön arıtma amacıyla kullanılması önerilmektedir. Koagülasyon/flokülasyon ön arıtma proseslerinden sonra daha küçük partikülleri gidermek için filtrasyon işlemleri kullanılabilir. Bu proseslerde tekli veya çok ortamlı; çakıl, kum, pomza, aktif karbon ve antrasit malzemeler kullanılır. Söz konusu proseslerde koagülasyon için demir3 klorür, alüminyum sülfat vb. koagülantlar ve flokülasyon için polimer vb. kimyasallar kullanılır. Filtre malzemesi dane çapı 0,5-3 mm, yatak genişliği 1-3 m, filtrasyon hızı 10-20 m/saat aralıklarında alınması uygundur [20].

Koagülasyon/flokülasyon ve filtrasyon işleminden sonra membran sistemine girmeden önce çok küçük partikül maddelerin giderimi amacıyla kartuş filtreler kullanılır. Kartuş filtre optimum gözenek çapı 5 µm seçilmesi, membranların uzun ömürlü olması ve verimli çalışması için önemlidir. Kartuş filtreler genellikle polypropilen ve benzeri malzemelerden üretilir. Ayrıca söz konusu ön arıtma sistemlerinde ve membran sisteminde bakteriyolojik oluşumu önlemek için klor vb. dezenfektanlar ile dezenfeksiyon işlemi yapılmalıdır [20].

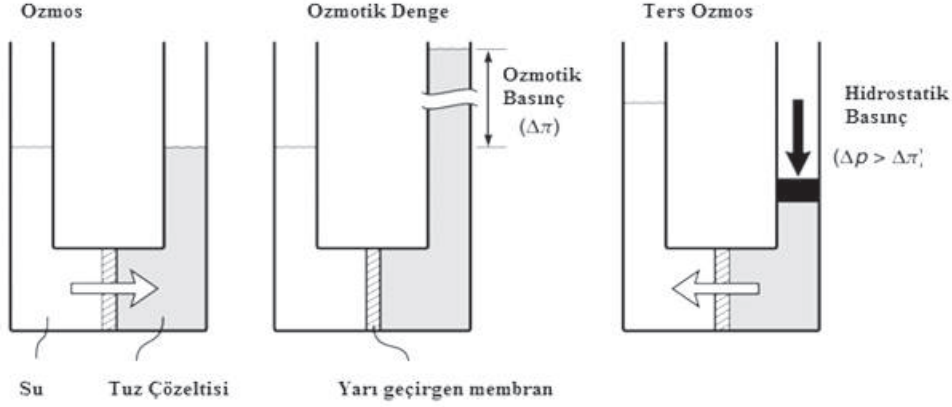
Ters osmoz membranlarında tıkanıklık, verimsizleştirme, bakteriyolojik kirlilik ve benzeri olumsuzlukların yaşanmaması için membranları besleyecek ham suyun ön arıtmasında, askıda katı maddelerin (AKM), CaCO₃, CaSO₄, kum, organik madde, mikrobiyolojik, serbest klor giderimleri yapılmalıdır. Bu giderimlerin yapılması için gerekli sistemler Çizelge 3. 3.'te verilmiştir [42].

Çizelge 3. 3. Membran öncesi ön arıtmada yapılacak işlemler [42]

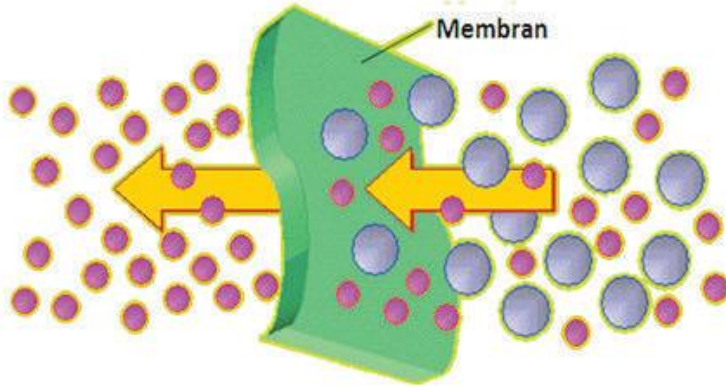
Kirletici	Zararı	Önlemi
Askıda katı madde (AKM) Silt-Kum	Memranlarda Tıkanma- Bozunma- Bakteriyolojik kirlilik	Koagülasyon,Flokülasyon, Filtrasyon, Kartuş Filtreleme
Kalsiyum Karbonat (CaCO ₃), Kalsiyum Sülfat (CaSO ₄)	Memranlarda kireçleme- Tıkanma-Bozunma- Bakteriyolojik kirlilik	Besleme suyuna Antiskalant kullanımı
Silika	Memranlarda kireçleme- Tıkanma-Bozunma- Bakteriyolojik kirlilik	Besleme suyuna Kireç ve Antiskalant kullanımı
Organik madde – Yağ ve Gres	Memranlarda tıkanma- Tıkanma-Bozunma- Bakteriyolojik kirlilik	Koagülasyon,Flokülasyon, Difüzör Havalandırma, Aktif Karbon Filtrasyon, Kartuş Filtreleme
Mikrop Oluşumu	Memranlarda - Tıkanma- Bozunma- Bakteriyolojik kirlilik	Klor, Ozon vb. Dezenfeksiyon
Serbest Klor	Membran üzerinde oksidasyon	Besleme suyuna sodyum biosülfid kullanımı

3.4. Ters Osmoz Membran Sistemi

“Osmoz'da, yoğunluğu az olan sıvı yarı geçirgen bir membrandan, yoğunluğu fazla olan tarafa geçerek, yoğunluğu fazla olanı sulandırır ve bu işlem osmotik basınçta dengelenene kadar devam eder. Ters osmozda ise, yoğunluğu fazla olan sıvı tarafında osmotik basınçtan daha büyük bir basınç uygulanarak sağlanacak ters akışla yoğunluğu fazla olan sıvı içerisinde bulunan mineraller, tuzlar, ve organik maddeler membranın bir tarafında bırakılarak, diğer tarafa yoğunluğu daha az, tuzlar ve minerallerden arındırılmış bir sıvı olarak geçirilir. Şekil 3.1.'de osmoz ve ters osmoz proseslerinin gösterimi verilmiştir” [45].



Şekil 3. 1. Osmoz ve ters osmoz gösterimi [45]



Şekil 3. 2. Membran şeması [35]

3.4.1. Membran malzemesi seçimi

Ters osmoz membranları kullanılarak çözünmüş organikler, dezenfeksiyon yan ürünü öncüleri (bor ve türevi elementleri), sertliğe sebep olan mineraller, tuzluluğa sebep olan çözünmüşler (sodyum klorür %99), çözünmüş iyonlar veya çözünmüş katıları giderebilmektedir [42].

Ters osmozda kullanılacak membranların seçiminde; ham suyun özellikleri, homojenliği ve miktarı, ön arıtma yapılmasına, ön arıtma yöntemine, arıtılacak su debisine, ön arıtmada ve membran öncesi kullanılan kimyasallara, arıtma sonrasında oluşacak atık miktarı, ilk yatırım, işletme ve bakım maliyetleri dikkate alınır [42]. Ayrıca, besleme suyunun asidite, sertlik, pH, sıcaklık, askıda katı madde, çözünmüş toplam madde ve bakiye klor değerleri dikkate alınarak membran malzemesi seçimi yapılmalıdır [44].

“Ters osmoz sistemleri pompalama işlemi ve işletimi için gerekli ortalama enerji 2,4 ila 4,5 kWh/m³ ve besleme suyu akış hızı 1.2-76.2 cm/sn. arasında alınır” [44].

Ters osmoz sistemleri sayesinde iyonik yapıda (katyon ve anyon halinde) bulunan ve boyutları 0,0001-0,001 µm aralığında, suda çözünür halde bulunan maddelerin giderimi sağlanır [44].

Ters osmoz için membran seçimi besleme suyunun asiditesi, sertliği, pH’ı, sıcaklığı, askıda katı madde miktarı, çözünmüş toplam madde ve klor miktarına göre yapılır [44].

Piyasada arıtma sistemlerinde genellikle selüloz tri asetat (CTA), poliamid (PA), İnce film kompozit (TFC) membranlar kullanılmaktadır. CTA membranlar, genellikle 5 µm büyüklüğünde partiküller içeren atık sularda ön filtrasyon amaçlı kullanılır. PA membranlar deniz suyunun osmotik basınçtan dolayı verilen yüksek basınç nedeniyle ve diğer işletme sorunları nedeniyle denizsuyu arıtımında kullanımı tercih edilmez. Deniz suyu için genellikle ince film kompozit (TFC) membranlar kullanılır [44].

Ters osmoz membranları gözenek çapları 0,1 nm-1,5 nm aralıklarında üretilmektedir. Membran gözenekleri aralıkları nano büyüklükte olması nedeniyle membranlardan su, bazı bileşikler ve virüsler gibi çok küçük bileşenler geçebilir. Diğer büyük moleküler yapıları organik ve inorganik bileşenler membranlardan geçişine izin verilmemesi ile arıtma işlemi gerçekleşmiş olur. Böylece suda istenmeyen parametreler membranlarda tutularak giderilmiş olur [35].

Deniz suyundan içme ve kullanma suyu temininde ince film kompozit (TFC) membranların kullanılması uygun bulunmaktadır. Bu membranlar 4 - 11 pH gibi geniş aralıkta ve 45 °C’ ye kadar hidrolize uğramadan çalışabilir. TFC membranlar pahalı

olmalarına rağmen verimli ve çok dayanıklıdırlar. Yüksek konsantrasyonlu çözünmüş madde (1500- 2000 mg/l) içeren tuzlu suları %99 gibi yüksek giderim özellikleri vardır. İnce film kompozit (TFC) membranlar, kloru veya diğer oksidantlara maruz kaldıklarında bozunurlar bu nedenle gerekli kimyasal ilavesiyle oksidantlara karşı önlemler alınmalıdır. TFC membranlar mikrobiyolojik etkiye karşı dayanıklıdır. Yüksek pH'larda (9'dan daha büyük değerlerde) bile verimli ve dayanıklı şekilde kullanılabilir. TFC membranlar, klorlu sularda hızlı bir şekilde bozulur bu nedenle TFC membranların kullanıldığı sistemlerde mn klorlamaya çok dikkat edilmelidir. Yüksek kapasiteli tesislerde TFC membranların kullanılması tavsiye edilir. TFC membranlar, genel olarak CTA membranlardan daha uzun ömürlü ve verimlidirler [44].

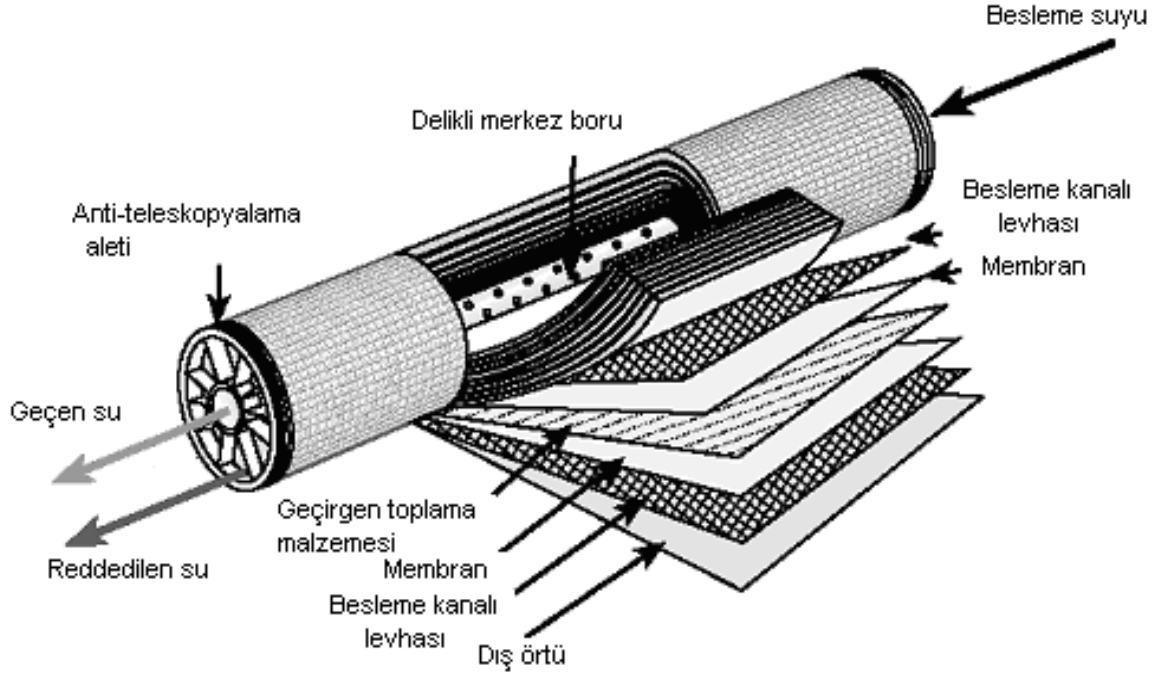
“Membran yüzeyine karşı uygulanacak basınç, 30-100 bar gibi yüksek değerlerdir. Bunun amacı membran yüzeyi ile süzüntü akısı arasındaki moleküler sürtünmeyi aşmaktır. Böylece yüksek basınç uygulanarak nano boyutlu gözeneklerden sadece su ve membran gözeneklerinden daha küçük boyutlu bileşenler geçebilir. Diğer bileşenler membran yüzeyinden alıkonur. TO membranları bütün çözünmüş organik ve inorganik türleri ayırabilir. Yeni gelişen teknolojik gelişmeler sayesinde, TO için uygulan basınç 10 bar'lara kadar düşürülebilmektedir” [35].

3.4.2. Membran şekilleri

Ters osmoz sistemi ile deniz suyu arıtımında genellikle spiral sargılı (spiral wound) ve içi boş (hollow fiber) membran modülleri kullanılmaktadır. Ayrıca ters osmoz membranları seçiminde uygulanan yüksek basınç nedeniyle membranların içerisinde bulunduğu kılavuz kılıfları dayanıklı ve güçlü olmalıdır. İçinde membran olan kılavuz kılıf borular maliyeti ciddi oranda etkiler [16, 46].

“Spiral sargılı membranlar; basınçlı kabın içinde seri olarak 4 ila 6 spiral şekilde sarılmış membran modülüdür. Besleme çözeltisi, membran yüzeyi boyunca geçer ve membran levhaların arasında bir kısmı süzülür. Bir toplama tüpü aracılığıyla çıkar ve merkeze doğru hareket eder. Altı modül içeren tipik bir 20 cm çaplı tüp 100-200 m² membran alanına sahiptir. Spiral sargılı modül 20 cm çap ve 102 cm uzunluğundadır” [35].

“Bir zarf oluşturulmak üzere üç tarafı sızdırmaz yapılarak kapatılmış gözenekli destek levha ile ayrılmış iki düz tabaka membrandan ibarettir. En uç tarafı ise arıtılmış suyu toplamak üzere gözenekli plastik boruya yapışık olarak bağlanmıştır. Bu membran zarfların iki veya daha fazlası, arıtılmış suyu toplayan gözenekli tüpe yapıştırılır ve spiral şekilde yuvarlanır. Spiral wound model, jölemsi bir ruloya benzer. Spiral modüllerin çoğu, genel olarak fiber glas kaptaki seri olarak bağlanır. Destek tabakaları, basınç düşüşünü minimize etmek ve daha yüksek paketleme yoğunluğu elde etmek için dizayn edilir. Yüksek basınç kararlılığındadır. Çapı 40 cm.'e kadar olanlar vardır. Spiral wound modellerin yoğunluğu 300-1000 m²/m³ arasında değişir” [44].

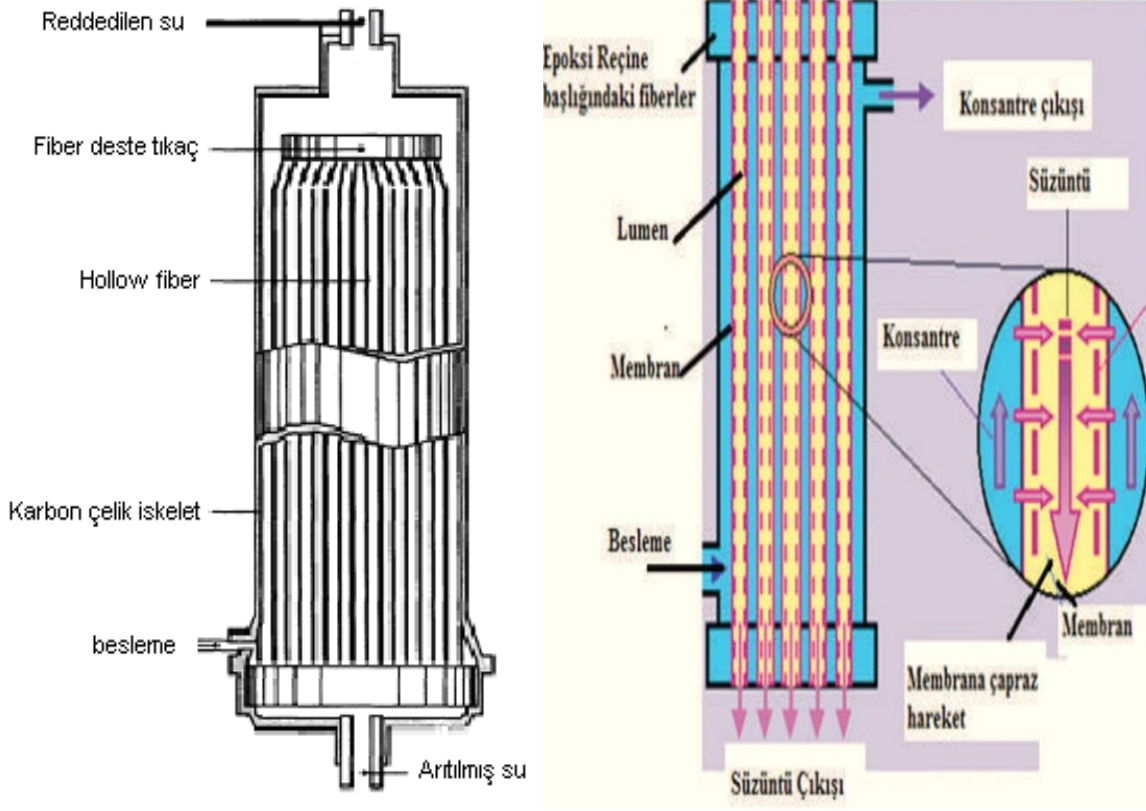


Şekil 3. 3. Spiral sargılı model [44]

Hollow fiber membran modülünün açıklaması şu şekildedir:

“Hollow (içi boş) fiber modüllerin karakteristik çapı 10-20 cm ve uzunluğu 1.0-1.6 m’dir. Modül çapları, iç çapı 50µm, dış çapı ise 100-200 µm olan liflerin bir demet halinde bir araya getirilmesiyle oluşturulur. Bunların çapı 50 µm den 3000µm ye kadar geniş bir aralıkta değişmektedir.” [35].

“Hollow fiber modüller, silindirik sert basınçlı kapların içine boğçalanmış küçük çaplı çok sayıda membranlardan ibarettir. Bir modül üzerinde fiberler dış taraftan bastırılır. Su beslemesi genellikle fiberin iç tarafından aşağı doğru yapılır. Deste içine her bir saç gibi olan fiberler U şeklinde yerleştirilir ve her iki ucu, epoksi reçine destek tıkaçla tutulmaktadır. Hollow fiber modüllerde kapiller özellikli olanlar 600-1200 m²/m³, fiber olanların ise 30.000 m²/m³ kadar yüksek paketleme yoğunluğuna sahiptir. Hollow fiber modeller model hacmi başına diğerlerine göre daha yüksek membran yüzey alanına ve kapasiteye sahiptir. Belli performans kapasitesi için boyutları ve hacmi diğer modüllerden çok daha küçüktür. Hollow fiber modeller diğer modellere nazaran düşük işletme maliyetine sahiptir” [44].



Şekil 3. 4. Hollow fiber modül [35,44]

Hollow fiber tipindeki membran modülü, spiral sargılı membran modülünden daha yüksek giderim özelliğine sahiptir, fakat hollow fiber modüller spiral sargılı modüllerden daha pahalıdır. Ters osmoz membranları, tuz yoğunluğuna bağlı olarak 50-80 bar basınç aralıklarında çalıştırılmaktadır [46].

Hollow fiber modüllerin en büyük avantajı, tek bir modül halinde çok büyük bir membran alanı oluşturma yeteneğidir. Böylece alandan büyük kazanç elde edilebilir. Örneğin, bir 20 cm çapında, 102 cm uzunluğunda spiral (spiral) sargılı modülü, yaklaşık 20-40 m² membran alana sahipken, eşdeğer hollow fiber modülü 100 mm çaplı fiberlerle doldurularak yaklaşık 600 m² membran alanı elde edilebilir. Ayrıca diğer membran modüllerine göre daha düşük işletme maliyetine sahiptir. Genellikle büyük kapasiteli deniz suyundan içme ve kullanma suyu temin edilen tesislerde kullanılır [35].

3.4.3. Membran temizleme sistemi

Membran yüzeyinde biriken organik ve inorganik maddelerin, mikroorganizmaların, minerallerin ve metal bileşiklerin birikmesi nedeniyle membran

ömrü ve verimi düşer bu nedenle membranlar temizleme işlemine tabi tutulmalıdır. Membranlarda temizleme işlemi temiz su çıkışında %10-15 azalma, temiz su içeriğinde %10-15 oranında tuz konsantrasyonu yükselmesi, membran kılıfları içindeki basınçta %15-20 düşüş vb. olduğunda temizleme işlemi yapılmalıdır [44].

Membranın türüne, modülüne ve besleme suyu özelliğine göre 3-12 ay arasında temizleme işlemi yapılmaktadır. Temizleme işlemi 4-8 saat sürmektedir. Kostik veya bazı bazik temizleme kimyasalları ilavesi ile pH 11-12 aralığına getirilerek organik maddeler parçalanır ve silt oluşumu giderilir. Membranlar temiz su ile temizlendikten sonra, asit ilavesi (hidroklorik asit (HCl) veya sülfürik asit (H₂SO₄) asidi temizleme çözeltileri) ile pH 2-3 aralığında; metal oksitlerin ve birikiminin giderilmesi kimyasal ilaveleriyle gerçekleştirilir. Membran temizliğinde deterjanlar (dodecylsulfate, dodecylbenzene sulfonate) ve osidantlar (sodium perborate, sodium hypochlorite) kullanılır. Bu işlemden sonra membran yüzeyleri dezenfekte edilir. Bu dezenfeksiyon aktif klor vb dezenfektanlar ile yapılabilir. Bu işlem gerçekleştirildikten sonra membranlar temiz klorlanmış su ile yıkanır [44].

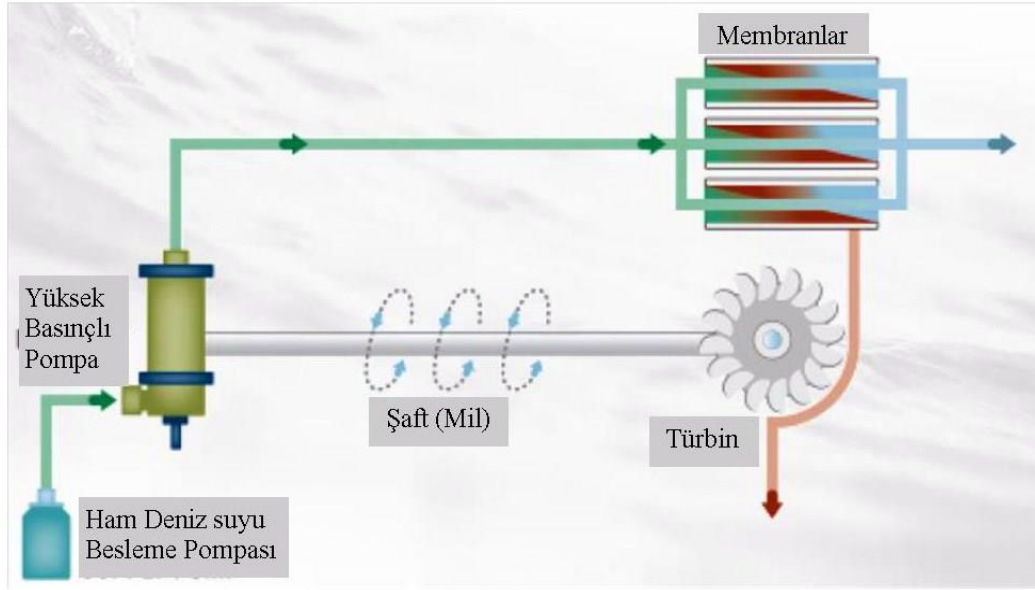
Membran temizliğini daha verimli hale getirmek için hem fiziksel hem de kimyasal ilavesi yapılır. Fiziksel olarak basınç ters yönde olacak şekilde temiz su, hava verilir. Membranların temizliği tesisin hem verimliliğini hem de membran ömrünü direkt etkilemektedir [35].

Her membran tipi için hangi pH aralığında çalışılacağına dair bir sınırlama getirilmiştir. Bu limitler temizleme çözeltilisinin sıcaklığına bağlı olarak da değişir. Üretici firmalardan bunlarla ilgili bilgi alınmalıdır [44].

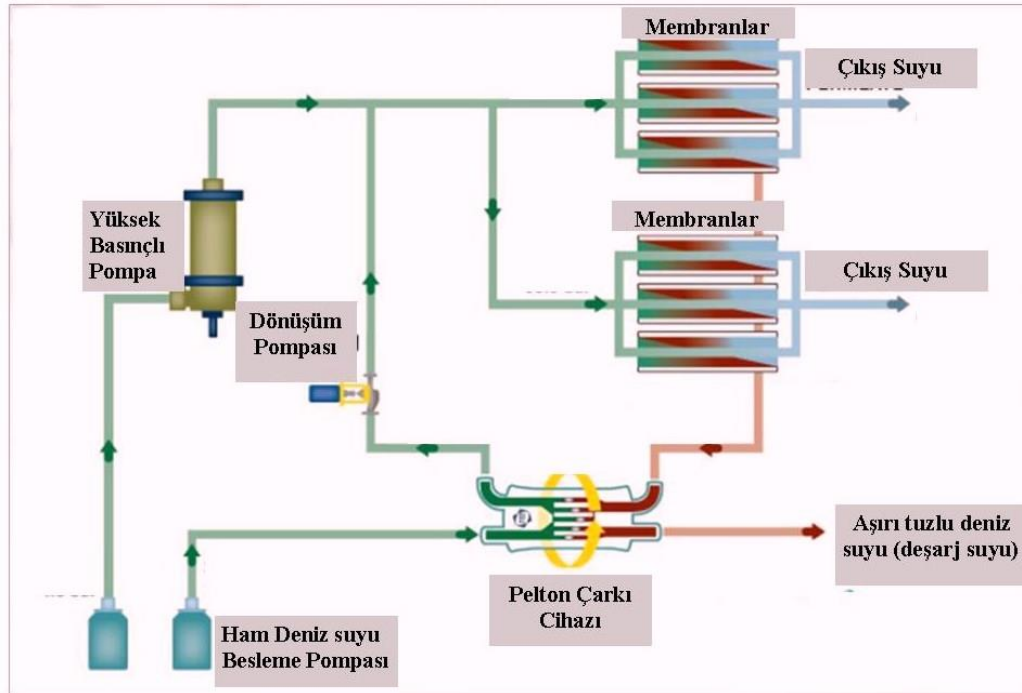
3.4.4. Membranlardan enerji elde edilmesi

Ters osmoz tesislerindeki su üretim maliyetinin yüksek olmasının başlıca nedeni, ilk yatırım maliyetinin ve enerji tüketiminin yüksek olmasıdır. Ters osmoz tesisleri 30-100 bar aralığında yüksek basınçlarda çalışması nedeniyle yüksek basınçla çıkış yapan membran konsantrasi basıncından enerji üretilebilir. Membrandan geçemeyen yüksek tuzluluk konsantrasyonuna sahip yüksek basınçlı su (sisteme geri gönderilecek ham su) kartuş filtrelerden gelen besleme suyunun membranlara terfi edilme aşamasında hatların basıncı aktarılmasıyla enerji geri kazanımı sağlanır. Ters osmoz membran ünitesinde %55-

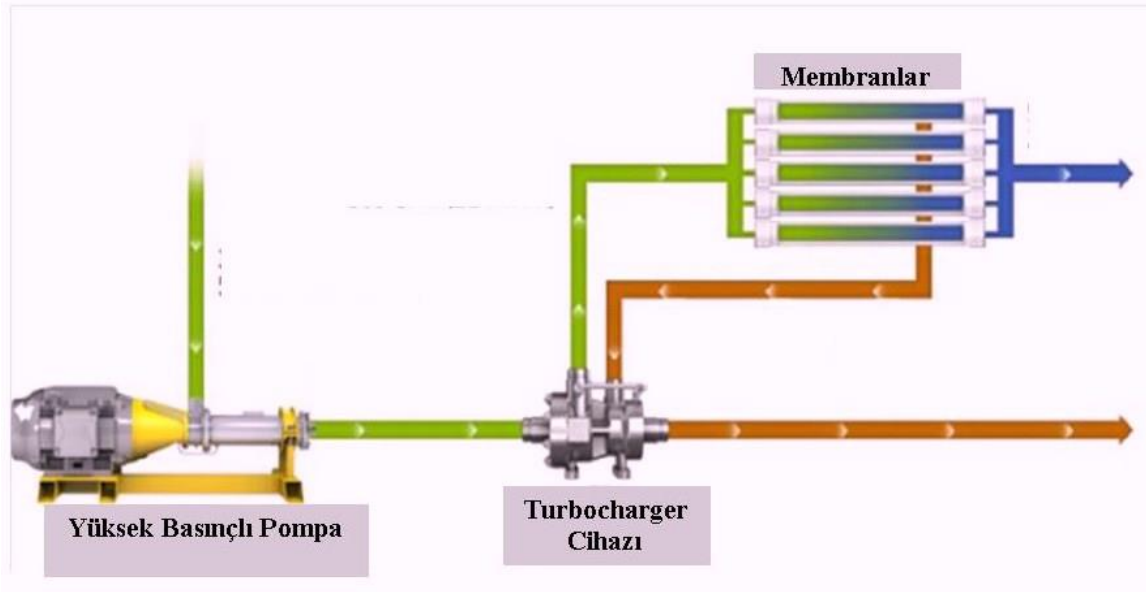
65 oranında, tesis genelinde (bütün enerji maliyetleri dahil) %35-45 aralarında enerji geri kazanımı sağlanabilmektedir. Enerji kazanımı Pelton çarklar (% 66 – 88), Turbacher (verim %83) ve İzobarik Basınç Değiştirici (verim % 95-98) gibi enerji geri kazanım yöntemleriyle kazanılabilir. Büyük kapasiteli tesislerde verimi sabit ve yüksek olan izobarik basınç değiştirici sistemler kullanılır [47].



Şekil 3. 5. Pelton çarkı geri kazanım sistemi [47]



Şekil 3. 6. İzobarik basınç değıştiricili enerji geri kazanım [47]



Şekil 3. 7. Turbocharger enerji geri kazanımı sistemi [47]

3.5. Bor Giderimi

Bor Dünya Sağlık Örgütü'ne içme ve kullanma suyu amaçlı kullanılan sularda maksimum 0,5 mg/L'dir. Deniz suyunda bor deniz suyu vasıtasıyla kayaların parçalanmasıyla deniz suyu yapısına girer. Fazla miktarda bor içeren sular, çevreye ve gıdalara toksik etki yapar. Ayrıca canlılar üzerinde doğum kusurlarına neden olur. Ortalama tuzluluk değerine sahip deniz sularında ortalama 4-6 mg/L arasındadır, tuzluluğu yüksek deniz sularında ise 6-7 mg/L'ye aralığında olabilir. Deniz suyundaki 7,7-8,3 arası pH değerlerinde bor iyonik olmayan borik asit (H_3BO_3), pH 9-11 aralığında iyonik formu olan borata [$B(OH)_4^-$] halinde bulunur. Bor ve türevi bileşikleri kostik ilavesi yapılarak pH artırılır böylece iyonik formda getirilen bor iyon değiştirici sistemler ile giderimi yapılır. Ters osmoz sistemiyle iyonik halde olmayan bor % 45-50 oranında giderimi sağlanabilir. Bu nedenle bor değerlerine göre ters osmoz yönteminde bor giderim sistemleri kullanılabilir [48]. TS 266 ve İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmeliğe göre bor limiti 1 mg/L'dir.

3.6. Remineralizasyon

Ters osmozdan çıkan su sağlığa yararlı elementler mineraller açısından çok yetersizdir. Ters osmoz çıkış suyunda minerallerin yetersiz olması nedeniyle diş, kas, kemik, beyin, mide, bağırsak ve diğer insan vücudu fonksiyonları üzerinde olumsuz

etkileri vardır. Ters osmoz çıkış suyunda genellikler tat ve koku problemleri ile karşılaşmaktadır. Ayrıca ters osmoz membranı çıkış suyu pH'ı 4,5-6,0 değerleri arasındadır. Bu pH değeri hem Dünya Sağlık Örgütü standartlarına uymamaktadır hem de tesis içindeki ekipmanlarda ve diğer yapılarda korozif etki göstermektedir. İnsan sağlığına yararlı minerallerin yeniden membran çıkışı suyuna kazandırılması, minerallerin suya temin edilmesi ve pH değerinin normal koşullara getirilmesi için diğer tatlı sularla paçallama, kimyasal ilave yapılması ve remineralizasyon yöntemleri kullanılmalıdır [49].

3.6.1. Tatlı su kaynaklarıyla paçallama

Dünya'da deniz suyundan içme-kullanma suyu temin edilen tesislerde genellikle paçallama yöntemi kullanılır. Yapılan yeraltı suyu paçallama yapılma oranı %1-10 yapılabilir [49]. Tatlı su kaynakları ile paçallama yapılarak; membran sayısını azaltır, yatırım ve işletme maliyetleri düşer, pH ve mineral seviyeleri içme ve kullanma suyu limitlerine uyar, enerji ve kimyasal ihtiyacını azaltır. Paçallama işlemi sonunda içme ve kullanma suyu limitlerine uymalıdır aksi takdirde remineralizasyon yöntemi ile ilgili limitler sağlanmalıdır [42].

3.6.2. Kimyasal ilavesi

Kimyasal ilavesi işlemi; sertliği artırmak için $MgSO_4$ veya $MgCl_2$ eklenmesi, florür eklenmesi, karbondioksit (CO_2) veya sülfirik asit ile birlikte Kalsiyum Hidroksit (Kireç) eklenmesi gibi yöntemlerle remineralizasyon işlemi yapılır, toz kireç eklenmesi, suda bulanıklığa sebep olması nedeniyle kireç taşının çoğunlukla kullanılması tercih edilir [50].

3.6.3. Mineral filtrasyonunun yapılması

Kireç Taşı(Kalsit) ve Dolomit gibi doğal mineralli taslardan oluşan filtreden geçirilerek mineral kazandırılır.

Kireç Taşı (Kalsit); doğada bulunur ve doğrudan filtre malzemesi olarak kullanılır. Mineralli filtrasyon işlemine tabi tutulacak su, kireç taşı (kalsit) yataklı filtrelerden önce karbondioksit (CO_2) veya sülfirik asit eklenir. Mineralleme işlemi hızlı ve daha verimli geçmesi için sülfirik asit tercih edilmelidir [44].

Dolomit; Türkiye’de hemen hemen her bölgesinde kolaylıkla bulunmaktadır. Doğal bir mineral olan $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ dolomit yüksek kalsiyum ve magnezyum içermektedir. Dolomit filtre girişi öncesi giriş suyuna karbondioksit (CO_2) veya sülfirik asit eklenir. Su filtre içerisinde süzülürken dolomit minerali eriyerek suya kalsiyum, karbonat, magnezyum gibi mineraller kazandırır. Azalan dolomit minerali üzerine ihtiyaca göre yeni mineral eklenebilir. [51].

3.7. Dezenfeksiyon

Suların dezenfeksiyonu klorlama (gaz, sıvı), ozonlama, ultraviyole (UV) dezenfeksiyon yöntemleri kullanılarak yapılır. İçme ve kullanma amaçlı kullanılacak sularda dezenfeksiyon işleminden sonra depolarda ve şebeke hatlarında mikrobik kirlenmeye karşı suda bakiye dezenfektan kalması gerekmektedir. Bakiye dezenfektan sağlayan tek dezenfeksiyon sistemi klorlamadır. Ozon ve UV çok etkili dezenfektan olmasına rağmen dezenfeksiyon işlemi anlık olup, bakiye dezenfektan özellikleri olmadığı için özellikle içme ve kullanma amaçlı suların dezenfeksiyonu için kullanılması pek tavsiye edilmemektedir [36].

İller Bankası arıtma tesisleri ve şebeke tesislerinden alınan işletme verilerine ve İller Bankası 2013 yılı İçmesuyu arıtma tesisi projesi proses şartnamesine göre son klorlama ile dezenfeksiyon sistemi tasarımında klor dozajı 2 mg/lit ve ön klorlama için 5 mg/lit olacak şekilde projelendirilmesi uygun görülmektedir. Ayrıca, klorlama için kullanılan ekipmanlar yedekli olarak planlanmaktadır. Sistemde ön klorlama ve ani klorlama (süper klorlama) gereksiniminde yedek sistemle birlikte çalıştırılmasıyla yapılabilmektedir. Şok klorlama, ters osmoz sistemlerinde tesis içi, tesis öncesi su alma yapıları ve ön arıtma sistemlerinde dezenfeksiyon ve oksidasyon amaçlı kullanılır. Ayrıca şok klorlama için dozlama miktarı 5 mg/lit olacak şekilde tasarlanabilir. Klorlama işleminin sıvı veya gaz olarak tasarlanması durumu; tesisin kapasitesine, klor temin edilme mesafesine, ilk yatırım maliyetlerine, işletme kolaylıklarına göre seçilmelidir. Klor temas süresi yapılacak testlerle belirlenmesi gerekmekte olup, genellikle 15-90 dakika arasında (30 dakika alınması önerilir) alınması uygun görülmektedir [52]. İller Bankası son klorlama tankı tasarlanması aşamasında klor temas süresi en az 30 dakika olacak şekilde hesaplanmaktadır [36].

“Klorlama işleme içme suyu şebekesinin en uç noktasında en az 0.2-0.5 mg/L en fazla 1.0 mg/L serbest klor olacak şekilde yapılmalıdır ve klorlama sistemi kapasitesi kurulmalıdır” [53].

3.8. Ters Osmoz Tesislerinde Taşkın, Tahliye ve Konsantre Sularının Deşarjı

Türkiye’de Ters Osmoz tesislerinden kaynaklanan Taşkın, Tahliye ve Konsantre Su Deşarjı, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY) Tablo 20. 7’ye göre tasarlanmalıdır. Tablo 20. 7’ye göre TO tesisleri “Su Yumuşatma, Demineralizasyon ve Rejenerasyon, Aktif Karbon Yıkama ve Rejenerasyon Tesisleri” kapsamında değerlendirilerek ilgili deşarj standartlarına uyulacak şekilde projelendirme yapılmalıdır.

Çizelge 3. 4. Ters osmoz arıtma tesisi deşarj standartları (SKKY, Tablo20.7.) [54]

Parametre	Birim	Kompozit numune 2 saatlik	Kompozit numune 24 saatlik
Klorür (Cl ⁻)	(mg/L)	2000	1500
Sülfat (SO ₄ ⁻²)	(mg/L)	3000	2500
Demir (Fe)	(mg/L)	10	-
Balık biyodeneyi (ZSF)	-	10	-
pH	-	6-9	6-9

4. AVŞA (BALIKESİR) TERS OSMOZ YÖNTEMİYLE DENİZDEN İÇME KULLANMA SUYU TEMİN ETME TESİSİ

Avşa (Balıkesir) Marmara Bölgesinde, turizm açısından potansiyele sahip önemli bir turizm merkezidir. Marmara Bölgesi içinde, Marmara denizinin güneybatısında yer alan Avşa'nın yüzölçümü 20,62 km² dir. Avşa Adası'nın Erdek'ten olan uzaklığı 18 deniz mili, Marmara Adasına olan uzaklığı ise 4 deniz milidir [61].



Resim 4. 1. Avşa ters osmoz tesisi

4.1. İçmesuyu Temini

Yerleşim yerinin ada olması ve içme suyu kaynaklarının çok kısıtlı olması, turizm bölgesi olması nedeniyle 2 500 nüfusa sahip adaya yazın gelen turist sayısındaki artış ile nüfusun 30 bine kadar artması, ayrıca yaz aylarında dere ve kaynakların kuruması nedenleriyle içme ve kullanma suyu temininde ciddi sorunlar yaşanmakta idi [61].

Avşa Adası'ndaki tatlı suyu kaynakları, içmesuyu ihtiyacına yetmemektedir ancak cüzi ihtiyaçları karşılayabilecek düzeydedir. Mevcut bazı kuyularda tuzlanma problemleri yaşanmaktadır. Avşa içmesuyu ihtiyacı 2009 yılına kadar Türkeli'de mevcut

kaynaklarından Gavur Deresi drenajından 4 lt/sn, Miçopınar drenajından 2 lt/sn olmak üzere toplam 6 lt/sn ve tankerler ile taşınan sular ile karşılanmaya çalışılıyordu [61].

İçme suyu sorununu çözülmesi amacıyla Avşa Belediyesinin talebi doğrultusunda İller Bankası tarafından çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Çalışmalar kapsamında su temini için farklı yöntemler irdelenerek fizibilite çalışması yapılmıştır. Söz konusu fizibilite çalışmasında, 3 farklı içme ve kullanma suyu temini seçenekleri üzerinde durulmuştur [60].

1. Tankerlerle sürekli adaya su taşınması,
2. Denizden askıda isale hattı geçişi yapılarak Biga Ovası - Avşa Adası arası ve Gönen Çayı - Avşa Adası arası su temini sağlanması,
3. Ters osmoz yöntemi ile deniz suyundan içme ve kullanma suyu eldesi.

1. Alternatif: Avşa liman iskelesinin fırtınalara açık olması sebebiyle olumsuz hava şartlarında su tankerinin iskeleye yanaşmasının mümkün olamayacağı nedeniyle taşınmalı suyun temin edilmesinden Belediyesinin talebiyle vazgeçilmiştir.

2. Alternatif: Deniz geçişi için gerekli olan bilgi ve dokümanlar temin edilerek ve ilgili hesaplamalar yapılarak 3. alternatifin maliyetleri ile karşılaştırılmış ve deniz suyundan içme ve kullanma suyunun temin edilmesi, ekonomiklik ve süreklilik anlamında daha uygun bulunmuştur [60].

3. Alternatif: Yapılan maliyet analizinde Ters Osmoz arıtma tesisinden içme ve kullanma suyu temin edilmesinin, Biga ovası ve Gönen çayından alınan suyun arıtılıp döşenecek hatla denizden askıda geçişlerinin yapılmasından daha ekonomik olduğu belirlenmiştir [60].

4.2. Tesisin Tanıtımı

Tesisin ham deniz suyu girişi tuzluluk değeri 30 000 mg/l ve arıtılan suda ise en fazla 500 mg/l tuzluluk olması kriterlerine göre tasarlanmıştır. Tesis 2 000 m² alana kurulmuştur. Tesis ilk aşamada 46 lt/sn arıtılmış su sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Ters

osmoz membranlarından beklenen minimum % 50 verime göre ham su debisi 92 lt/sn olarak tasarlanmıştır [61].

Ters osmoz arıtma tesisi inşaatı 2010 yılında tamamlanarak devreye alınmış ve mevcut şebeke hatlarının tamamen yenilenmiştir. Avşa Adasının eski şebeke hattı tamamen değiştirilmiş olup 150 km'lik yeni bir şebeke hattı yapılmıştır. Böylece şebeke olası kayıp kaçak ihtimali en aza indirilmiştir.

Arıtma ünitesi ekipmanları, ters osmoz sisteminin kullanılacak olması, turizm bölgesi olması düşünülerek; su alma yapısı ve ızgaralar müstakbel nüfusun su ihtiyacına (122 lt/sn) göre, ön arıtma üniteleri, ters osmoz sistemi ve son arıtma üniteleri 2013 yılı su ihtiyacına (46 lt/sn) göre 1. kademe olarak tasarlanmış olup, Avşa adasının 2033 hedef yılı ihtiyacını karşılayacak şekilde 4 000 m³/gün kapasiteli tasarlanmıştır. İller Bankası tarafından proje ve inşaat işleri 2008 yılında ihale edilmiş ve 2010 yılında inşaatı tamamlanıp tesis devreye alınmıştır. Tesis proje ve inşaat maliyeti 4 400 000,00 USD+kdv olarak gerçekleşmiştir. Proje ve inşaat maliyetlerinin %75'i hibe olarak İller Bankası tarafından ve % 25'i Avşa Belediyesi tarafından karşılanmıştır. Tesis Türkiye'de ilk kez büyük ölçekli deniz suyundan içme ve kullanma suyu elde edilen tesistir [61].

Çizelge 4. 1. Tesisin genel bilgileri [61]

Proje ve Ters Osmoz Tesisi Genel Bilgileri	
Proje yapım yılı Nüfusu (2008 yılı)	2 661
Müstakbel Nüfus(2043 yılı)	61 065 (53 597 kişi turist)
Nüfus (2013 yılı)	32 674 (29 589 kişi turist)
İçme Suyu İhtiyacı (2013 yılı)	46 lt/sn
Nüfus (2033 yılı)	49 539 (43 968 kişi turist)
İçme Suyu İhtiyacı (2033 yılı)	92 lt/sn
İçme Suyu İhtiyacı (2043 yılı)	122 lt/sn

Çizelge 4. 2. Tasarlama debileri [61]

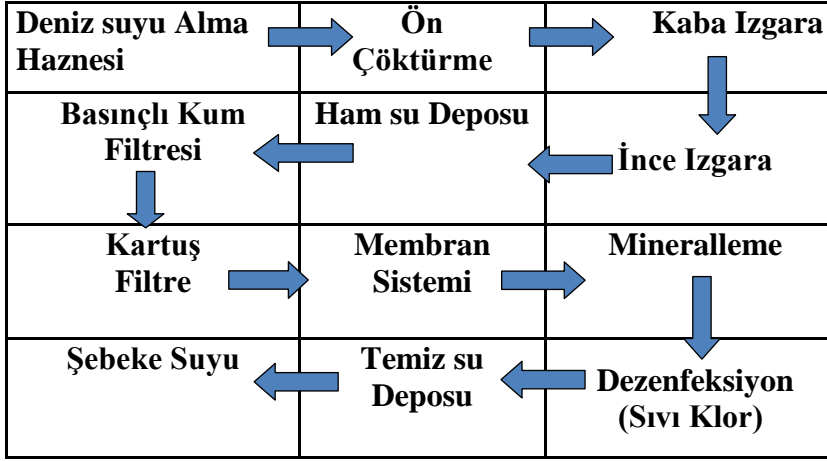
Proses Ünitesi	1.kademe Tasarım debisi	2. kademe Tasarım debisi	3. kademe Tasarım debisi
Izgaralar	125 lt/sn	250 lt/sn	
Ön arıtma üniteleri	92 lt/sn	92 lt/sn	60 lt/sn
Ters osmoz üniteleri	92 lt/sn	92 lt/sn	60 lt/sn
Son arıtma üniteleri	46 lt/sn	46 lt/sn	30 lt/sn



Resim 4. 2. Avşa (Balıkesir) ters osmoz tesisi teknik inceleme ekibi



Resim 4. 3. Avşa (Balıkesir) ters osmoz tesisi



Şekil 4. 1. Avşa ters osmoz tesisi akış şeması

Çizelge 4. 3. Deniz suyu ham su değerleri [61]

Ham Su	Birim	Deniz Suyu	Deniz Suyu (-6,0 mt)	Deniz Suyu (-12,0mt)
			Tarih: 13.01.2009	Tarih: 13.01.2009
pH		8,19	-	8,7
Toplam Çözülmüş Madde	mg/L	28 000	27 400	28 500
İletkenlik (EC)	µS/cm	46.667	-	-
Askıda Katı Madde	mg/L	< 10	4	6,1
SDI ₁₅	-	5	5,4	4,2
Toplam Organik Karbon	mg/L	5,5	7,3	6,6
Biyolojik Oksijen İhtiyacı	mg/L	< 5	2,2	2,1
Fenol	mg/L	< 0,1	< 0,1	<0,1
Bulanıklık	NTU	1	0,3	0,2
Renk	Pt/Co	< 5	0,2	0,2
Sıcaklık	°C	15	-	-
Toplam Sertlik	mg/lt CaCO ₃	5 363	7 500	7 620
Toplam Alkalinite	mg/lt CaCO ₃	163	163,2	156,6
Bikarbonat Alkalinitesi	mg/lt CaCO ₃	163	132,8	109,4
Karbonat Alkalinitesi	mg/lt CaCO ₃	0	30,4	47,2
Sülfat (SO ₄ -2)	mg/L	3 200	2 153	1 936
Klorür (Cl-)	mg/L	14 500	17 900	16 100
Florür (F-)	mg/L	1	1	1

Çizelge 4. 3. (devam) Deniz suyu ham su değerleri [61]

Toplam Fosfor (PO ₄)	mg/L	< 0,05	0,2	0,2
Amonyum Azotu (NH ₄ -N)	mg/L	< 0,05	0,05	0,06
Amonyak	mg/L	< 0,05	0,05	0,06
Nitrat (NO ₃)	mg/L	10	0,1	0,2
Sülfür	mg/L	< 0,1	-	-
Silika (SiO ₂)	mg/L	< 2,5	0,137	0,41
Baryum (Ba)	mg/L	0,36	0,009	0,008
Stronsiyum (Sr)	mg/L	5,8	6,6	6,4
Alüminyum (Al)	mg/L	< 0,1	0,082	0,095
Bakır (Cu)	mg/L	0,2	< 0,007	< 0,007
Kadmiyum (Cd)	mg/L	< 0,1	< 0,012	< 0,012
Krom (Cr)	mg/L	< 0,1	< 0,008	< 0,008
Kurşun (Pb)	mg/L	< 0,1	< 0,008	< 0,008
Nikel (Ni)	mg/L	< 0,1	< 0,01	< 0,01
Çinko (Zn)	mg/L	< 0,1	< 0,035	< 0,035
Civa (Hg)	mg/L	< 0,02	0,0001	0,0001

Çizelge 4. 4. Ters osmoz tesisi beklenen çıkış su değerleri [61]

Parametre	1. Yılın Sonunda	2. Yılın Sonunda	3. Yılın Sonunda
Ham Su Sıcaklığı (°C)	15	15	15
TDS (mg/lt)	< 290	< 315	< 340
Klorür (mg/lt)	< 215	< 230	< 245
Sülfat (mg/lt)	< 21	< 23	< 25
Sodyum (mg/lt)	< 160	< 175	< 190
Nitrat (mg/lt)	< 2,5	< 2,7	< 3
Bor (mg/lt)	< 0,9	< 0,95	< 1
Sertlik (Fr.)	< 4	< 4,2	< 4,5
pH	6,5 – 9,5	6,5 – 9,5	6,5 – 9,5

4.3. Ham Su Alma Yapısı

Deniz suyu, kule tipi su alma yapısı sahilde inşa edilip 465 metre uzaklıkta denize taşınarak yerleştirilmiş olup tesise ham su girişi sağlanmaktadır. Su alma haznesine 20 mm aralıklarla paslanmaz çelik ızgaralardan geçirilerek ham su alınmıştır. Kule tipi su alma yapısı haznesine alınan deniz suyu 465 m uzunluğunda Ø 560 mm PN10 HDPE boru hat ile ön çöktürme haznesine iletilmektedir [61].

Söz konusu su alma yapısı yılda bir kez BASKİ çalışanı dalgıçların su alma yapısına inip su alma yapısındaki ızgaralarda olan yosun, midye ve diğer kirleticiler temizlenmektedir [56].



Resim 4. 4. Su alma yapısı (sahilde inşa edilip denize transfer edilmiştir) [61]

4.4. Ön Çöktürme Haznesi

Denizden kule tipi su alma yapısından Ø560 mm PN10 HDPE boru hattıyla alınan ham deniz suyu DN600 vana ile kontrol edilerek ön çöktürme haznesinde toplanmaktadır. Bu haznede ham su içerisinde denizden gelebilecek olan kum gibi hızlı çökebilir partikül malzemelerin çökeltilerek ham deniz suyundan ayrılması planlanmıştır.

Ön çöktürme haznesinde suyun giriş yönünden çıkış yönüne doğru eğimlidir ve bu eğim sonunda depo tabanında 0,6x0,6 mt ebatlarında kum birikmesi için eğimli olacak şekilde tasarlanmıştır. Ön çöktürme deposunun taban kotu -3,1 mt olacak şekilde genişlik 2,00 mt, uzunluk 7,5 mt şeklinde boyutlandırılmıştır. Oda içersine ulaşım için bir adet adam giriş kapağı ve gemici merdiveni bulunmaktadır. Ayrıca ön çöktürme haznesi deniz

suyu kaynaklı korozyonun etkilenmemesi için özel izolasyon malzemesi ile kaplanmıştır. Yapılan kontrollerde havuzda korozyonun kaynaklı olumsuz etkilere rastlanılmamıştır.

Hedef yılı maksimum kapasitesi (debi) = $900 \text{ m}^3/\text{h} / 3600 = 0,25 \text{ m}^3/\text{sn}$.

Hazne içerisindeki maksimum su hızı = $\text{debi (m}^3/\text{sn)} / \text{m}^2 = 0,25 \text{ m}^3/\text{sn} / 2,0 \text{ m}^2 = 0,11 \text{ m/sn}$

Bu hız (0,11 m/sn) gravite tip doğrusal çöktürme hızı 0,3 m/sn den küçük olması gerektiği için su ile gelebilecek kumların ve diğer maddelerin çökmesi için yeterlidir.



Resim 4. 5. Ön çöktürme haznesi

4.5. Kaba ve İnce Izgaralar

Ön çöktürme ünitesinden kanal vasıtasıyla alınan ham su, ızgara aralığı 10 mm olan kaba ve ızgara aralığı 1 mm ince ızgaradan geçirilmektedir. Izgara hazneleri toplam debiyi (900 m³/saat) karşılayacak şekilde, 2 ünite olmak üzere ızgara başına dizayn debisi olarak

450 m³/saat değeri baz alınarak 2 ayrı kanal kısımları yapılmıştır. Izgaralardan geçen deniz suyu ham su deposuna alınmaktadır.

4.5.1. Kaba ızgara

Izgara kanalı genişliği: 900 mm, Izgara net genişliği: 750 mm, Izgara aralığı: 10 mm

Lama kalınlığı: 8 mm, Su yüksekliliği: 1 m (min) - 3,1 m(max)

Debi (min - max): 350 - 450 m³/h

Minimum debi için Hsu =3,1 m

Net açık alan (A) = 0,75 x 3,1 x 10/18 x 0,8 = 1,02 m²

% 50 Tıkanma durumu = 0,51 m²

Debi (Q) = 350 m³/saat = 0,097 m³/sn

Izgara lamaları arasından geçiş hızı (V) = 0,097 m³/sn / 0,51 m² = 0,2 m/s

Çizelge 4. 5. Kaba ızgara teknik bilgileri [61]

Tasarım	ok Tırmıklı Izgara (1 Adet)
Kanal Boyutları	
Genişlik	900 mm
Derinlik	4600 mm
Su yüksekliliği	1000 mm
Dizayn Kriterleri	
Tırmık hızı	6 m/dk
Tırmık yükü	1000 N / m
Boyutsal ve Yapısal Bilgiler	
Izgara genişliği	848 mm
Toplam ykseklilik	7240 mm
Bar yüksekliliği	3300 mm
Montaj açısı	75 derece
Izgara açıklığı	10 mm
Temizleme mekanizması	Tırmık

4.5.2. İnce ızgara

Izgara kanalı genişliği: 1200 mm, Izgara net genişliği: 1000 mm, Izgara aralığı: 1 mm

Yüzey doluluğu : %60, Su yüksekliliği: 1 m

Debi (en az – en çok) : 350 - 450 m³/saat

Minimum debi için Hsu =3,1 m

Net açık alan (A) = 1 x 3,1 x 10/18 x 0,8 = 0,93 m², % 50 tıkanıklık durumu = 0,465 m²

$$\text{Debi (Q)} = 350 \text{ m}^3/\text{h} = 0,097 \text{ m}^3 / \text{h}$$

$$\text{Izgara delikleri arasından geçiş hızı (V)} = 0,097 \text{ m}^3/\text{sn} / 0,465 \text{ m}^2 = 0,21 \text{ m/s}$$

Maksimum debi için Hsu = 1 m

$$\text{Net açık alan (A)} = 1 \times 1 \times 0,4 \times 0,75 = 0,3 \text{ m}^2$$

$$\% 50 \text{ tıkanıklık durumu} = 0,15 \text{ m}^2$$

$$\text{Debi (Q)} = 450 \text{ m}^3/\text{saat} = 0,125 \text{ m}^3 / \text{saat}$$

$$\text{Izgara lamaları arasından geçiş hızı (V)} = 0,125 \text{ m}^3/\text{sn} / 0,15 \text{ m}^2 = 0,83 \text{ m/s}$$

0.83 m/sn ızgaralardan geçiş hızı tasarım şartı geçiş hızı 0.75-1.25 aralığını sağlamaktadır.

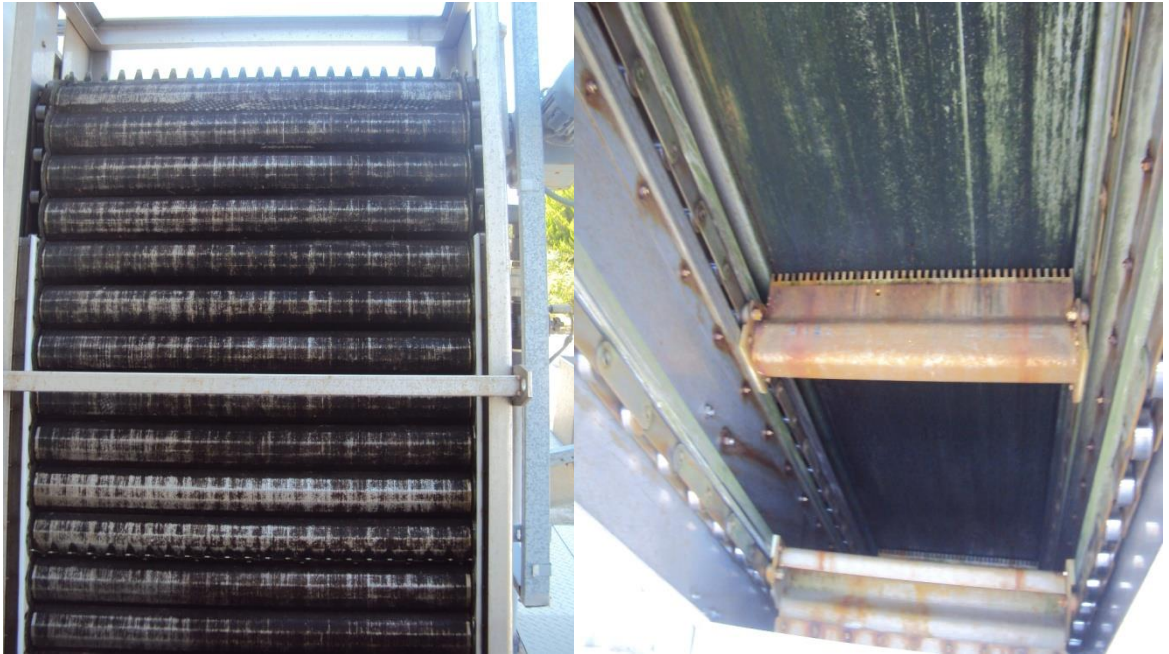
Çizelge 4. 6. İnce ızgara teknik bilgileri [61]

Izgara Kanalları Boyutları	
Genişlik	1200 mm
Derinlik	4600 mm
Su yüksekliği	1000 mm
Tasarım Kriterleri	
Tasarım	1 Adet Bant Izgara
Tırmık hızı	6 m/dk
Yük	40N/m
Boyutsal ve Yapısal Bilgiler	
Izgara genişliği	1140 mm
Toplam yükseklik	7149 mm
Maksimum su yüksekliği	3100 mm
Deşarj Yüksekliği	1200 mm
Segment sayısı	110 adet
Montaj açısı	75 derece
Izgara açıklığı	1 mm
Izgara yüzeyi	Perfore
Temizleme mekanizması	Sprey nozul sistemi ile
Elektrik beslemesi	380 V /50 Hz
Güç	0,55 KW

Izgara aralıklarından ham su geçiş hızı minimum debide 0,3 m/sn' den düşük olması ızgara önlerinde katı partikül maddelerin çökmesine ve ızgaraların erken tıkanmasına yol açar, olası problemle karşılaşılması durumunda kaba ve ince ızgara aralıkları azaltılmalıdır. Avşa (Balıkesir) ters osmoz tesisinde yapılan incelemelerde giriş ham suyunda katı madde oranının çok az olduğu tespit edildiğinden ızgara aralıkları ile ilgili herhangi bir sorun ile karşılaşılmamıştır.



Resim 4. 6. Kaba ve ince ızgara genel görünümü



Resim 4. 7. Kaba ve ince ızgara

4.6. Ham Su Deposu

Ham su deposu, membranlar öncesi ön arıtma amaçlı yapılan kum filtrelerine verilecek ham suyun toplanması amacıyla $V=220 \text{ m}^3$ hacminde betonarme olarak yapılmıştır. Ham su filtre besleme deposu deniz suyunun korozyon etkilerinden korunması için ham su deposu içeriden ve dışarıdan aşınmaya dayanıklı izolasyon malzemesi ile kaplanmıştır.

4.6.1. Ham su besleme pompaları

Ham su deposundan alınacak su, ham su besleme pompaları ($111,25 \text{ m}^3/\text{saat}$ kapasiteli, 3 asil+ 1 yedek) vasıtasıyla basınçlı kum filtrelerine terfi edilmektedir. Pompa ve ekipmanların deniz suyu kaynaklı korozyona dayanıklı malzemeden seçildiği görülmüştür.

Çizelge 4. 7. Ham su besleme pompaları teknik bilgileri

Marka-Malzeme	Grundfos- Dupleks Paslanmaz Çelik
Adet	4 (3 Servis / 1 Yedek)
Kapasite / Adet	$111,25 \text{ m}^3/\text{saat}$ adet- 4,8 bar
Pompa Tipi	Yatay Santrifüj Tip
Motor Gücü	22 kW



Resim 4. 8. Tesis besleme pompaları ve kum filtreleri geri yıkama pompaları

4.7. Basınçlı Kum Filtreleri

Basınçlı kum filtreleri; ham suda bulunan $20 \mu\text{m}$ 'den daha büyük kirleticileri ve bulanıklığı gidermektedir. Filtre öncesinde gerektiğinde sudaki askıdaki katı madde ve

kolloidal maddelerin flokleştirilerek filtrede tutulabilir hale getirilmesi için koagülant olarak demir üç klorür ($FeCl_3$) kullanılmıştır. Filtreler basınç farklarına basınca bağlı otomatik olarak geri yıkanmaktadır. Deniz suyunun genellikle korozif özellikte olması sebebiyle filtre kılıfı ve iç haznelerinin malzemeleri korozyona karşı yüksek dirençli FRP malzemeden imal edilmiştir. Tesiste 7 ünite ayrı ayrı çalıştırılabilecek şekilde basınçlı kum filtresi kullanılmıştır [61].

Filtre çapı = 210 cm \pm 5, Filtre yüzey alanı = $r^2 * \pi = (2,1 / 2)^2 * 3,14 = 3,46 \text{ m}^2$

Kullanılan filtre sayısı = 7 adet, Filtre başına düşen debi = $333,3 / 7 = 47,6 \text{ m}^3/\text{h}$

Filtrasyon servis hızı = $47,6 \text{ m}^3/\text{h} / 3,46 \text{ m}^2 = 13,75 \text{ m/h}$

Hedef yılı filtre besleme ihtiyaç debisi, $878,4 \text{ m}^3/\text{h}$ dir. Yerleşim planında bu debiyi karşılamak için $7+5=12$ adet daha kum filtresi yeri bırakılmıştır. Hedef yılı sonunda 1. aşama filtreler ile birlikte toplam filtre sayısı $7 + 7 + 5 = 19$ adet olacak şekilde tasarlanmıştır.

Hedef yılı ihtiyaç debisi: 122 lt/sn.

Hedef yılı hamsu ihtiyaç debisi: $244 \text{ lt/sn} = 878,4 \text{ m}^3/\text{h}$

Kullanılacak filtre sayısı = 19 adet

Filtre başına düşen debi = $878,4 / 19 = 46,2 \text{ m}^3/\text{h}$

$V = 46,2 \text{ m}^3/\text{h} / 3,46 \text{ m}^2 = 13,4 \text{ m/h} < 14,0 \text{ m/h}$ bu nedenle filtre sayısı uygundur.

Çizelge 4. 8. Basınçlı kum filtreleri teknik bilgileri [61]

Adet	7 (7 Servis)
Kapasite / Toplam	$333,3 \text{ m}^3/\text{h}$
Kapasite / Adet	$47,6 \text{ m}^3/\text{saat}$
Filtrasyon Hızı	$13,75 \text{ m/h}$
Ters Yıkama Hızı	$27,5 \text{ m/h}$
Ters Yıkama Debisi	$95 \text{ m}^3/\text{h}$
Ters Yıkama Süresi	15-20 dk.
Tank Bilgileri	
Tank Boyutları/Malzemesi	Çap= 210 cm h=329 cm / FRP (Fiberglas Takviyeli Polipropilen)
Kesit Alanı	$3,46 \text{ m}^2$
Çalışma Basıncı	2-8 bar
Basınç Kaybı	En fazla 1 bar
Kaba Çakıl (5,0-8,0mm)	7x575 kg
Orta Çakıl (3,0-5,0mm)	7x575 kg
İnce Çakıl (1,5-2,5mm)	7x575 kg
İnce Kum (0,4-0,8mm)	7x980 kg

Çizelge 4. 8. (devam) Basınçlı kum filtreleri teknik bilgileri [61]

Antrasit (0,8-1,6mm)	7x950 kg
Toplam medya	7x3655 kg
Tank Yüzey Borulama	HDPE100
Hava sıyırma kesit hızı	80 -90 m/saat
Blower Kapasitesi	282 m ³ /h @ 350 milibar
Blower adedi	1 servis + 1 yedek
Kontrol Elemanları	
Manometre	Her filtre servis giriş ve çıkışında
Basınç Sensörü	Filtre ana servis giriş ve ana servis çıkış



Resim 4. 9. Kum ve dolomit filtreleri

4.8. Kartuş Filtre

Membran ünitelerini, membran yapısını, membran hatlarını korumak amacıyla 5 mikron (5 µm) filtrasyon özelliğine sahip 3 ünite kartuş filtre kullanılmıştır.

Çizelge 4. 9. Kartuş filtre teknik bilgileri

Kartuş Adet - Tipi	3 Ünite - Polipropilen sarım
Kartuş Modeli	20'' - 5 mikron
Kartuş Gövde Boyutları	
Çap	760 mm
Toplam Yükseklik	1 800 – 2 000 mm

Kartuş filtreler basınçlı kum filtrelerinin verimsiz kullanılması sebebiyle 3 günde bir değiştirilmektedir [56].

Kartuş filtre ömürleri en az 6 ay olarak tasarlanmış olup, tesiste basınçlı kum filtrasyon sisteminde ön arıtmanın verimli şekilde yapılması gerekmektedir.



Resim 4. 10. Kartuş filtreler (faaliyet halinde, kullanılmamış filtre, kullanılmış filtre)

4.9. Ters Osmoz Üniteleri

Ters osmoz sistemi tasarımında ham su giriş TDS değeri için 28 000 ppm (mg/l) ve 2,55 ppm (mg/l) bor değerleri dikkate alınarak tasarlanmıştır. Kartuş filtrelerden çıkan su, yüksek basınç pompaları (3 adet, 56 m³/saat kapasiteli) ile 3 ayrı ünite olarak paralel çalışan ters osmoz membranlarını beslemektedir. Ayrıca, ters osmoz membran ünitesinin konsantre hattından çıkan yüksek basınçlı suyun basıncının enerjisini sisteme geri kazandırmak ve enerji tasarrufu sağlamak amacıyla enerji verimi yüksek izobarik basınç değiştiricili enerji geri kazanım ünitesi kullanılmıştır [61].

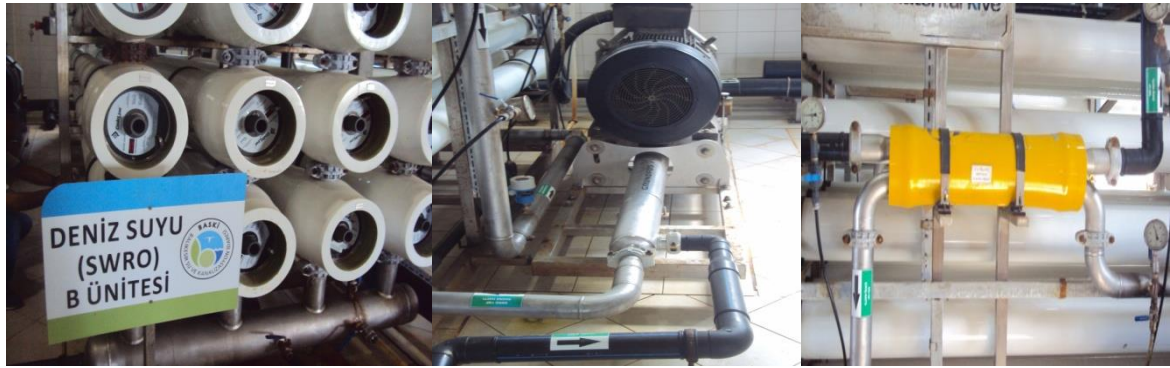
Çizelge 4. 10. Yüksek basınçlı pompalar teknik bilgileri [61]

Adet	3 (3 Servis)
Kapasite / Adet	56 m ³ /saat @ 48,7 bar (15 °C için)
Pompa Malzemesi	904 veya Dupleks Paslanmaz Çelik
Motor Devir Sayısı	5905 d/dk
Motor Gücü	110 kW

Tesis 3 ünite ters osmoz olacak şekilde tasarlanmıştır. Her bir ünite 1 335 m³/gün kapasiteye sahiptir. Her ünite 120 adet membran (8" çap ve 40" uzunluk, polyamid, Hydranautics SWC5), 20 adet membran kılıfı bulunmaktadır. Sistemin akı değeri 12,5 L/m² saat tasarlama kriteri esas alınarak hesaplamaların yapıldığı görülmüştür [61].

Çizelge 4. 11. Ters osmoz membranlarının teknik özellikleri [61]

Toplam Membran Adedi	8 x 120 (8" Çap, 40" Uzunluk)
Her Bir Hattta Kullanılacak Membran Adedi	120 Adet
Toplam Membran Alanı	$8 \times 120 \times 400 \text{ ft}^2 = 8 \times 120 \times 37,16 \text{ m}^2 = 35 673,6 \text{ m}^2$
Hedef Yılı Toplam Ürün Debisi	$440 \text{ m}^3/\text{h} = 440 000 \text{ lt/h}$
Hedef Yılı Flux Değeri	$440.000 \text{ lt/h} / 35 673,6 \text{ m}^2 = 12,334 \text{ lt/saat/m}^2$



Resim 4. 11. Yüksek basınçlı pompalar ve enerji geri kazanım sistemi

4.9.1. Membran sistemi ve membran kılıfları

Membranların ömrü minimum 3 yıl olarak tasarlanmıştır.

Çizelge 4. 12. Membranların özellikleri [61]

Membran Markası-Modeli	Hydranautics- Düşük Enerji (Hydranautics SWC5)
Membran Tipi	TFC (Thin Film Composite), Polyamid
Membran Adedi	3 x 120 (8" Çap, 40" Uzunluk)
Maksimum Çalışma Sıcaklığı	40 °C
NaCl Giderimi	%99,8
Çalışma pH Aralığı	4,0 – 11,0
Kısa Süreli pH Aralığı	2,5 – 11,0
Aktif Klor Toleransı	1000 ppm-saat
Maksimum Çalışma Basıncı	1200 psi

Çizelge 4. 13. Membran kılıfları teknik özellikleri [61]

Markası - Adedi	3 x 20 - Codeline
Tipi	8'' çap
Malzeme	FRP
Maksimum çalışma basıncı	1000 psi



Resim 4. 12. Ters Osmoz membranları üniteleri (3 ünite)



Resim 4. 13. Ters osmoz membranları genel görünümü

Çizelge 4. 14. Yıllık beklenen membran verimleri [61]

Yıllar	Geri Kazanım Oranı
1. Yılın Sonunda	52%
2. Yılın Sonunda	51%
3. Yılın Sonunda	50%

Membran ömürleri proje aşamasında en az 3 yıl olarak tasarlanmıştır. Membranlar Haziran 2016 tarihinde değiştirilmiş olup yaklaşık 6 yıl kullanılmıştır. Yeni değiştirilen membranlarda verimlilik % 50 oranında gerçekleşmektedir [56].



Resim 4. 14. Eski ve yeni membranlar

4.10. Dolomit Filtreleme ile Remineralizasyon

Memranlardan geçen suyun sertlik, alkalinite, pH ve diğer mineral değeri yükseltmek için remineralizasyon amacıyla içerisinde (Dolomit) bulunan filtreler kullanılmıştır [61].



Resim 4. 15. Dolomit filtreler ve dolomit minerali

Çizelge 4. 15. Dolomit filtrasyon sistemi bilgileri [61]

Genel Bilgiler	
Filtre Modeli - Adet	DOL 240 A S- 2 Adet
Debi / Toplam	167 m ³ /saat
Debi / Adet	83,5 m ³ /saat
Filtrasyon Kesit Hızı	18,47 m/saat
Tank Bilgileri	
Tank Adedi	1 adet
Tank Boyutları	240 cm (Çap) x 150 cm (Silindirik yük.)
Tank Kesit Alanı	4,52 m ²
Çalışma Basıncı	2 bar
Test Basıncı	4 bar
Basınç Kaybı	0,50 bar
Gövde Saç Kalınlığı	10 mm
Bombe Saç Kalınlığı	12 mm
Tank Malzemesi	
İç ve Dış Yüzey Hazırlama	ST- 37 Karbon Çelik
İç ve Dış Yüzey Boyama	Kumlama
İç ve Dış Yüzey Boyama	RAL 5015 epoksi son kat boyalı
Nozul Sistemi	Taban plakasına bağlı ince yarıklı mantar nozullar
Medya Bilgileri	
Filtre Medya Boyut ve Miktarları	5,0-8,0 mm Kaba Çakıl, 2 x 350 kg 3,0-5,0 mm Orta Çakıl, 2 x 350 kg 1,5-2,5 mm İnce Çakıl, 2 x 350 kg Dolomit, 2 x 8075 kg
Toplam Filtre Medyası / Tank	2 x 9125 kg
Filtre Medyası Markası	Dolomit - İthal Çakıl markası – Yerli

Dolomit mineral malzemesi dolomit filtrelere yılda bir ilave yapılmaktadır [56].

4.11. Dezenfeksiyon

Arıtılmış su, dolomit filtre ile remineralizasyon ünitesi çıkışında sıvı klor ile dezenfeksiyon işlemi yapılmaktadır. 2 mg/lt dozlamaya göre 1 aylık sıvı klor ihtiyacı depolanacak şekilde 5000 lt lik PE tank koyulmuştur. Klorlanan su temiz su deposuna gelmektedir [61].

4.12. Temiz Su Deposu

Dolomit filtrelerden geçirilip, dezenfekte edilen su, temiz su deposunda (250 m³) toplanmaktadır. Buradan alınan su, 1 asıl+1 yedek terfi pompaları ile şebeke deposuna terfi edilmektedir [61].

4.13. Ters Osmoz Tesisinde Kullanılan Diğer Kimyasallar

Ham deniz suyunda bulunabilecek demir ve mangan bileşiklerini oksitlemek ve olası mikroorganizmalara (algler, biyolojik atıklar) karşı dezenfeksiyonu sağlamak için ham su deposu öncesinde (su alma yapısı girişinde) 2 mg/l dozajında ön klorlama sistemi tasarlanmıştır.

Izgaralardan geçen ham suda bulunan askıda katı madde ve organik madde giderimi için tasarlanan kum filtreleri öncesinde koagülant olarak en fazla 2 mg/l dozajında demir üç klorür (FeCl₃) verilecek şekilde tasarlama yapıldığı görülmüştür. Fakat tesis teknik incelemesinde gerekli koagülantın kullanılmadığı tespit edilmiş olup kum filtresi ünitesi verimli çalıştırılmadığı görülmüştür.

Membran sistemi öncesinde kartuş filtrelerden geçirilmiş suya, membranlarda iyonların etkileşiminden kaynaklanabilecek kireçlenmeyi, kabuklaşmayı ve tıkanmayı önlemek amacıyla antiskalant (Nalco - Permatreat 191) kullanılmaktadır.

Suda bulunan bakiye klorun, membranlara zarar vermesini önlemek için, bakiye klor ile hızla reaksiyona girerek indirgeyen sodyum metabisülfid (NaHSO₃) kullanılmaktadır.

Ters osmoz sisteminin girişinde ham suyun pH değeri düşürülerek membranlarda kireç oluşumunu en aza indirmek için sülfürik asit (H₂SO₄) kullanılmaktadır [61].



Resim 4. 16. Kimyasal depolama alanı

4.14. Geri Yıkama, Tahliye ve Konsantre Suların Deşarj Hatları

Filtre geri yıkama suları, ters osmoz ünitesinden gelen konsantre aşırı tuzlu sular ve ünitelerin taşkın-tahliye suları ortak Ø 400 mm HDPE PN10 275 m boru hattı ile denize verilmektedir. Denize verilen konsantre suyun deniz suyu akıntıları ile çevresel kirliliğe yol açmayarak seyrelmesi için difüzörler vasıtasıyla deşarj hatlarına hava verilmektedir [61].

4.15. Avşa (Balıkesir) Maliyet Hesapları

Avşa Adası içme ve kullanma suyu temini için fizibilite çalışması, projesi ve inşaatı İller Bankası tarafından yapılmıştır. Avşa ters osmoz tesisi, Türkiye’de içme-kullanma suyu ihtiyaç açığını karşılamak için yapılan büyük ölçekli ilk ve tek tesistir. Tesisin 1. kademe inşaat ve proje yapım maliyeti 4 400 000 USD+KDV olup 2010 yılında yapımı tamamlanmış ve devreye alınmıştır. Tesisin enerji tüketimi **3,01 kwh/m³**, tüm maliyetler hesaba katılarak yapılan hesaplamalara göre işletme maliyeti ise **0,40 \$/m³** olarak tasarlanmıştır [61].

4.16. Avşa (Balıkesir) Ters Osmoz Tesisi Teknik ve Ekonomik Değerlendirmesi

Avşa (BALIKESİR) ters osmoz arıtma tesisi için yapılan hesaplamalar ve tesis mahalinde yapılan teknik incelemeler sonucunda yapılan değerlendirmeler aşağıda belirtilmiştir;

- Avşa Belediyesi için hazırlanan fizibilite raporundan anlaşıldığı gibi alternatif ham su kaynaklarına ait teknik-ekonomik değerlendirmeler yapılmış ve deniz suyundan ters

osmoz yöntemi ile içme-kullanma suyu temin edilmesinin en uygun yöntem olduğu anlaşılmıştır.

- Ters osmoz tesislerinde en önemli kısmı oluşturan ön arıtma sistemi çalıştırılmadığından verimsiz olmaktadır. Ön arıtması yapılmayan ham su kartuş filtreleri 3 gün (kartuş filtre ortalama kullanım ömrü 6 ay) gibi kısa zamanda tıkanıdığı görülmüştür. Tesisin uzun ömürlü işletilmesi için ön arıtma özellikle basınçlı kum filtreleri faal olarak çalıştırılmalıdır.
- Tesisde ham su giriş ve arıtılmış su çıkış analizleri yapılmadığından tesis giderim verimleri değerlendirilememiştir. Su numuneleri, tesis girişi, çıkışı ve tesis ara ünitelerinden düzenli alınmalı ve analizleri yapılarak tesis verimliliğinin izlenmesi gerektiği anlaşılmıştır.
- Kaba ve ince ızgara su geçiş hızı 0,3 m/sn den az olan kısımlarda katı madde çökmesi, bakteriyel oluşum, hızlı tıkanma gibi sorunlarının yaşanması durumunda ızgara aralıkları azaltılabilir.
- Tesis içi ekipmanlarda özellikle bağlantı noktalarında deniz suyuna dayanıklı malzeme seçilmesine rağmen korozyon nedeniyle paslanmalar ve bozulmalar meydana geldiği gözlemlenmiştir. Deniz suyu arıtımı yapılan sistemlerde kullanılan ekipmanların aşınmaya (korozyon) dayanıklı ekipmanlar ve bağlantı malzemeleri seçilmeli ve düzenli olarak bakım ve onarımları yapılmalıdır.
- Avşa ters osmoz tesisi deşarjın Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY) Tablo 20.7’de belirtilen deşarj standartlarına uyup uymadığı sürekli izlenerek kontrol edilmelidir. Standartlara uymaması durumunda gerekli önlemler alınmalıdır.
- Maliyet olarak değerlendirilmesi 30 000-35 000 nüfuslu denize kıyısı olan (Karadeniz, Marmara, Ege, Akdeniz) ve tuzsuzlaştırma tesisi (kuyu suyu) olan belediyelerden temin edilen bilgiler ışığında karşılaştırmalar yapılmıştır.

Çizelge 4. 16. İçme suyu satış fiyatı üzerinden maliyet analizi

No	Belediye	Nüfus (2016 yılı)	Su Temin Yöntemi	İçmesuyu Bedeli (Kar ve KDV Dahil)
1	Avşa (Balıkesir) [56].	330 000 (turist sayısı dahil)	Deniz suyundan ters osmoz yöntemi	4 TL
2	Çiftliköy (Yalova) [55].	34 094	Konvansiyonel arıtma	3,15-TL
3	Yomra (Trabzon) [57].	34 629	Kuyu suyu	2,49- TL
4	Çeşme (İzmir) [58].	39 243	Konvansiyonel arıtma	2,34- TL
5	Bozyazı (Mersin) [59].	26 501	Kaynak suyu	2,73- TL

Bu değerler ilgili Belediyelerin internet sitesinden temin edilerek, Türkiye’de ters osmoz sisteminin uygulanan Avşa ters osmoz tesisinin fiyat karşılaştırması yapılmıştır. Ancak, ters osmoz yöntemi ile deniz suyundan içme ve kullanma suyu temininin maliyeti ile diğer tatlı su kaynaklarının direk olarak kullanılması veya arıtılarak su temin edilmesinin maliyetlerinin karşılaştırılması teknik olarak uygun değildir.

İsrail’de ön arıtmalı ters osmoz yöntemi ile temin edilen suyun satış fiyatı KDV hariç 3,5 \$/m³’dir [62]. Avşa ters osmoz tesisinden üretilen suyun satış bedeli yurt dışındaki fiyatlara göre çok düşük satıldığı görülmektedir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında, Dünya’da ve Türkiye’de mevcut durumda yaşanan ve ilerleyen yıllarda çeşitli nedenlerle yaşanacak tatlı su kaynaklarındaki kıtlıklar ve içme ve kullanma suyu ihtiyacının deniz suyunun arıtılarak sağlanması durumu teknik olarak incelenmiştir. Su kıtlığı nedeniyle özellikle denize yakın yerleşimlerde ters osmoz yöntemi ile deniz suyunun içme suyu olarak kullanılması durumu araştırılmış ve ters osmoz yöntemi ile içme ve kullanma suyu temin edilmesinin teknik özellikleri anlatılmıştır. Ayrıca, İller Bankası A.Ş. tarafından 2010 yılında yapılan, Türkiye’deki büyük ölçekli ilk ve tek deniz suyundan içme-kullanma suyu temini sağlayan Avşa (Balıkesir) ters osmoz arıtma tesisi teknik ve ekonomik olarak incelenmiş ve değerlendirilmiştir. Bu çalışmalar sonucu derlenen bilgiler ışığında aşağıdaki sonuçlar ve öneriler sunulmuştur.

1. Deniz suyundan içme ve kullanma suyu eldesi diğer tatlı suların arıtılması ve doğrudan kaynak, kuyudan temin edilen sudan daha pahalı olması nedeniyle tesis yapımına öncelikle karar verilmelidir. Alternatif tüm seçenekler değerlendirilmelidir. Alternatif seçeneklerden tatlı su kaynaklarından isale edilmesi, araçlar ile taşıma yolu vb. seçenekler değerlendirilmelidir.
2. Yapılması planlanan deniz suyundan içme ve kullanma suyu temin edilen tesisler için tüm alternatiflerin değerlendirilerek teknik ve ekonomik yönden en uygun su temini yöntemi belirlenmesi gerektiği anlaşılmıştır. Tüm alternatif su temin yöntemlerinin değerlendirilmek üzere fizibilite çalışmaları yapılmalıdır.
3. Tesis yeri seçiminde suyun alınacağı yer, gürültü, kirlilik, ulaşım vb. çevresel ve beşeri durumlar değerlendirilerek karar verilmesi gerektiği anlaşılmıştır.
4. Ters osmoz sistemi tasarımında membran sisteminden önce ön arıtma yapılmalıdır aksi takdirde ciddi arıtma ve membran bozunması sorunları yaşanabileceği anlaşılmıştır.
5. Ön arıtma, ters osmoz ve son arıtma üniteleri, yapılacak olan detaylı ham deniz suyu analizlerine göre tasarlanmalıdır. Yapılacak detaylı ve uzun süreli ölçümler neticesinde kirletici olan parametrelere göre uygun arıtma metodları uygulanması gerektiği anlaşılmıştır.

6. Türkiye’de ters osmoz tesislerinde konsantrasyonun oluştuğu suyun Su Kirliliği ve Kontrolü Yönetmeliğine (SKKY) uygun olarak deşarj edilmelidir. Ancak bu deşarj kriterlerine göre konsantrasyonun işlem görmesi gerekir bu durum dolayısıyla ters osmoz tesisleri yatırım ve işletme maliyetlerini arttıracaktır.
7. Ters osmoz ile temin edilen içme ve kullanma suyunun diğere tatlı su kaynaklarından elde edilen yöntemlere göre pahalı olduğu görülmüştür. Ancak, son yıllardaki teknolojik gelişmeler ile membran ve ters osmoz tesislerinde tüketilen enerji maliyetleri daha makul seviyelere ulaşmaktadır. Özellikle ters osmoz membran üretimine Çin ülkesinde ağırlık verilmesiyle membran fiyatlarında azalmalar görülmektedir. Çin’de üretilen membranların Dünya pazarına girerek sektörde yer edinmesi beklentisiyle ters osmoz tesislerinde önemli maliyeti düşmeleri beklenebilir.
8. Ters osmoz tesislerinde yaşanan yüksek işletme maliyetlerinin sebebi, membran maliyeti ve verimi dışında yüksek enerji tüketimidir. Ters osmoz tesislerinde enerji tüketimini en aza indirmek için öncelikle tesis işletmesi uygun teknik personeller (Çevre Mühendisleri) kontrolünde titizlikle yapılmalıdır. Ayrıca enerji geri kazanımı olan sistemler kullanılarak enerji tasarrufu sağlanmalıdır. Ters osmoz tesisi tasarımında enerji geri kazanımı sistemleri kesinlikle düşünölmelidir. Aksi takdirde birim su üretim maliyetleri ciddi oranda artar.
9. Tesis enerji temini aşamasında yerinde enerji üretim alternatifleri dahi her türlü maliyeti düşürebilecek alternatifler değerlendirilmelidir.
10. Ters osmoz tesisi hamsu giriş ve çıkış değerleri, enerji ve kimyasal tüketim değerleri günlük olarak kayıt altına alınarak aylık işletme verileri sürekli kontrol edilmelidir. Kayıt altına alınan veriler doğrultusunda tesis işletmesi için gerekli önlemler alınması gerektiği görülmüştür.
11. Ters osmoz sistemleri sürekli olarak teknolojik gelişmeler göstermektedir. Özellikle membran teknolojilerindeki gelişmeler ve maliyetindeki azalmalar sürekli takip edilerek ters osmoz tesisi işletme maliyetleri ve dolayısıyla içme ve kullanma suyu temini maliyeti ciddi miktarda azalmalar gerçekleşir.

12.Ters osmoz tesisinden elde edilen içme ve kullanma suyunun maliyeti yüksek olması nedeniyle şehir şebekesinde ve depolarda olabilecek kaçak ve kayıpların en aza indirilmesi gerekmektedir.

13.İller Bankası A.Ş. tarafından yapılan Avşa (Balıkesir) ters osmoz tesisinin sağlıklı ve verimli işletilmesinde önemli problemler yaşandığı görülmüştür. İller Bankası A.Ş. tarafından yapılan Avşa ters osmoz tesisi ve diğer tesisler, yüksek maliyetli yatırımlar olması nedeniyle, kalite ve yatırımların sürekliliği için büyük önem taşımaktadır. Yüksek maliyetli tesislerin işletmeleri, İller Bankası A.Ş. tarafından sürekli takip edilmesi veya tesislerin işletme görevini üstlenmesi seçenekleri değerlendirilmelidir.

KAYNAKLAR

1. Muluk, Ç., Kurt, B., Turak, A., Türker, A., Çalışkan, Mehmet A., Balkız, Ö., Gümrükçü, S., Sarıgül, G. ve Zeydanlı, U. (2016). Türkiye’de Suyun Durumu ve Su Yönetiminde Yeni Yaklaşımlar. *Çevresel Perspektif*, 8,9, 10-34, 25.
2. Food and Agriculture Organisation (FAO) and UNESCO-WWAP (2003). *Agriculture, Food and Water: A contribution to the World Water Development Report*, 9-16.
3. Gleick, P., Cooley, H., Cohen, M.J., Morikawa, M., Morrison, J. ve Palaniappan, M. (2011). *The World’s Water Vol.7: The Biennial Report on Freshwater Resources*, Pacific Institute Washington DC, ABD: Island Press, 11-15.
4. WWAP (World Water Assessment Programme). (2003). *United Nations World Water Development Report 3: Water for people, water for life*, Paris/London, 23.
5. Aküzüm, T., Çakmak, B. ve Gökalp, Z. (2010). Türkiye’de Su Kaynakları Yönetiminin Değerlendirilmesi. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 3(1), 67-74.
6. WWAP (World Water Assessment Programme), (2012). *Managing Water under Uncertainty and Risk. The United Nations World Water Development Report 4*, Paris, 26-32.
7. Bates, B.C., Kundzewicz, Z.W., Wu, S. ve Palutikof, J. P. (EDS). (2008). *Climate Change and Water; Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. Geneva, 7-21.
8. Stern, N. (2007). How climate change will affect people around the world, *The Economics of Climate Change, The Stern Review*. Cambridge, UK, Cambridge University Press, 65–103.
9. İnternet: Devlet Su İşleri (DSİ). Turkey Water Report 2009. Ankara. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww2.dsi.gov.tr%2Fenglis h%2Fpdf_files%2FTurkeyWaterReport.pdf+&date=2016-11-19, Son Erişim Tarihi: 19.11.2016.
10. Falkenmark, M. ve Lindh, G. (1976). *How can we cope with the water resources situation by the year 2015?* 3, 114–22.
11. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2011). Türkiye Çevre Durum Raporu. Ankara: ÇŞB.
12. Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü. (2011). *Türkiye Ulusal Havza Yönetim Stratejisi: Politika Seçenekleri*. Ankara: ÇEMGM.
13. Lattemann S., Kennedy M. D., Schippers J.C and Amy G. (2010). *Global Desalination Situation*, Sustainability Science and Engineering, Volume 2, Elsevier B.V., 7-38.
14. Bremere, I., Kennedy, M., Stikker, A., Schippers, J. (2001). *How water scarcity will effect the growth in the desalination market in the coming 25 years*, Desalination 138, 12.

15. Williams, M. E. (2003) *A Brief Review of Reverse Osmosis Membrane Technology*, EET Corporation and Williams Engineering Services Company, Inc. 11-13.
16. El-Desseuky H.T., and Ettouney H.M. (2002). *Fundamentals of Salt Water Desalination* (1st edition), Elsevier Science (e-book isbn no: 9780080532127), 19-48.
17. Global Water Intelligence. (2011). *GWI/IDA Worldwide Desalting Plant Inventor* (24th), 18-25.
18. İnternet: IDA, desalination capacity. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.desalination.biz%2Fnews%2Fnews_story.asp%3Fid%3D7276&date=2016-11-19, Son Erişim Tarihi: 19.11.2016.
19. Başaran, Y. (2015). *Türkiye’de Deniz Suyundan İçme Suyu Üretiminin Maliyet Değerlendirmesi*, Uzmanlık Tezi, Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Ankara, 6, 16.
20. Ouda, O.K.M. (2014). *Water demand versus supply in Saudi Arabia: current and future challenges*, International Journal of Water Resources Development, 335–344.
21. Tsiourti N.X. (2001). *Desalination and The Environment*, *Desalination*, Elsevier, 223-236.
22. Brown, E., Colling, A., Park, D., Phillips, J., Rothery, D. and Wright, J. (2004). *Seawater: Its Composition, Properties And Behaviour*, The Open University, 41-61.
23. Aydın F. ve Ardalı Y. (2012). *Deniz Suyu Arıtım Teknolojileri*, Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, Sigma 30, 156-178.
24. Dror, D., Yosef, Z., Noga, S. and Nurit, K. (2011). *Quality and Microbial Communities at a Desalination Plant Marine Outfall. A Field Study at the Israeli Mediterranean Coast*, *Water Research*, 5449-5462.
25. Vishwanathappa M. D. (2005). *Desalination of Seawater Using a High-Efficiency Jet Ejector*, Master of Science, Chemical Engineering, Texas A&M University, 3.
26. Lin Z., Lin X., Chong-Jie G. and Huan-Lin C. (2005). *Progres and Prospects of Desalination in China*, *Desalination*, 13-18.
27. Mostafa H. S., John H. L. and Syed M. Z., (2011). *On Exergy Calculations of Seawater with Applications in Desalination Systems*, *International Journal of Thermal Sciences*, 187-196.
28. Muhammad Tauha A., Hassan E.S.F. and Peter R. A. (2011). *A Comprehensive Techno-Economical Review of Indirect Solar Desalination, Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 4187-4199.
29. Lacoursiere, S. (1994). *Water Purification by Membrane Distillation*, Master of Science, Department of Chemical Engineering, McGill Univerity, Monbtreal, Canada, 3-4.

30. Sulaiman, Al-O., Efrem, C., Francesca, M., Gianluca, D.P., Hilal Al., H. and Enrico, D. (2008). *Potential of Membrane Distillation in Seawater Desalination: Thermal Efficiency, Sensitivity Study and Cost Estimation*, Journal of Membran Science, 85-98.
31. Can, Muhiddin., Etemoğlu, A. B. ve Avcı, A. (2002). *Deniz suyundan tatlı su eldesinin teknik ve ekonomik analizi*, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 7, Sayı 1, 156-160.
32. Laura J.B., Thomas W.K. and Andrea I.S. (2007). *Desalination using electro dialysis as a function of voltage and salt concentration*, desalination, 38-46.
33. Vishwanathappa M. D. (2005). *Desalination of Seawater Using a High-Efficiency Jet Ejector*, Master of Science, Chemical Engineering, Texas A&M University, 18-20.
34. Vettera T.A., Perdueb E.M., Ingallb E. and Koprivnjakb J.F. (2007). *Combining Reverse Osmosis and Electrodialysis for More Complete Recovery of Dissolved Organic Matter From Seawater*, Separation and Purification Technology, 383-387.
35. Aslan, M.(2016). *Membran Teknolojileri*, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 92.
36. Çağlar, S., Özcan, Ş., Oruc Babuccu, F. ve Tokyay Y.Y. (2016, 15 Haziran). *Ters Osmoz Arıtma Tesisi Projelendirilmesi konusunda teknik toplantısı*. İLBANK A.Ş. Proje Dairesi Başkanlığı 720 nolu Oda, Ankara.
37. Cartier G. and Corsin P. (2007). *Description of different water intakes for SWRO plants*, IDA World Congress-Maspalomas, Gran Canaria – Spain October 21-26.
38. Pita E. and Sierra I. (2011) *Seawater Intake Structures*, International Symposium on Outfall Systems, May 15-18, Mar del Plata, Argentina,
39. Voutchkov N. (2005). *SWRO desalination process: on the beach – seawater intakes Filtration & Separation*, 24–27.
40. Akgül D. (2006). *Türkiye’de Ters Osmoz ve Nanofiltrasyon Sistemleri İle İçme Ve Kullanma Suyu Üretiminin Maliyet Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 26.
41. Koyuncu İ., Öztürk İ., Aydın A. F., Alp K., Arıkan O. A., İnel G. H. Y., Altınbaş M., ve Özüdoğru A. (2006). *Atıksu arıtma tesisleri tasarım rehberi*, T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, 98-110.
42. Çakmakçı M., Özkaya B., Yetilmezsoy K., ve Demir S., (2013). *Su Arıtma Tesislerinin Tasarım Ve İşletme Esasları*, Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 341-345.
43. İnternet: Water Treatment Guide. Silt Density Index (SDI) Measurement & Testing. URL:http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.watertreatmentguide.com%2Fsilt_density_index.htm&date=2016-11-19, Son Erişim Tarihi: 19.11.2016.
44. Öztürk M. (2007). *Ters osmoz sistemleri ile tuzlu/atık suların arıtımı*, Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara.

45. Arı P. H., (2009). *Türkiye’de İçme Suyu Amaçlı Büyük Kapasiteli Membran Sistemlerinin Maliyet Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,
46. Khawajia A. D., Kutubkhanaha I. K., and Wieb J. M., (2008). *Advances in seawater desalination Technologies*, Elsevier-Desalination 47–69.
47. Li N., Fane A.G., Winston Ho W. S., and Matsuura T., (2011). *Book of Advanced Membrane Technology and Applications*, John Wiley & Sons Publishment,
48. Bick A., and Oron G., (2005). *Post-treatment design of seawater reverse osmosis plants boron removal technology selection for potable water production and environmental control*, Elsevier-Desalination, 233-246.
49. World Healty Organization, (2011). *Publication of Safe Drinking-water from Desalination*, 9-26-27-28.
50. Winter, A. (2004). Options for recarbonation, remineralisation and disinfection for desalination plants. 12-17.
51. İnternet: Öz doğa Su Arıtma. Dolomit Filtre Sistemleri. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.ozdogasuaritma.com.tr%2Furunler%2Fdolomit-filtre-sistemleri%2F&date=2016-11-19>, Son Erişim Tarihi: 19.11.2016.
52. İLBANK A.Ş. *İçmesuyu arıtma tesisi projesi proses şartnamesi (2013)*, 28.
53. İnternet: Devlet Sağlık Bakanlığı (Türkiye Halk Sağlığı Kurumu). İnsani tüketim amaçlı sular hakkında yönetmelik. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.resmigazete.gov.tr%2Feskiler%2F2013%2F03%2F20130307-7.htm&date=2016-11-19>, Son Erişim Tarihi: 19.11.2016.
54. İnternet: Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Tablo 20.7. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.mevzuat.gov.tr%2FMetin.Asp%3FMevzuatKod%3D7.5.7221%26sourceXmlSearch%3D%26MevzuatIlski%3D0&date=2016-11-19>, Son Erişim Tarihi: 19.11.2016.
55. Bulut, Ö. (2016, 22 Haziran). *İçmesuyu Ücreti Üzerine Görüşme*, Çiftlikköy Fen İşleri Memuru ile Ankara’da görüşüldü.
56. Ekdi, Murat., Pehlivan, Y., ve Türkeli, Kadir. (2016, 15 Haziran). *Avşa Ters Osmoz Arıtma Tesisi Teknik İncelemesi*. Avşa (BALIKESİR) Ters Osmoz Arıtma Tesisi, Balıkesir.
57. İnternet: TİSKİ. Su Fiyat Tarifesi. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.tiski.gov.tr%2Fdosya%2Fsite%2FTiski%2FHaberler%2F2016%2Fsu_fiyat_tarifesi.pdf&date=2016-11-19, Son Erişim Tarihi: 19.11.2016.

58. İnternet: İZSU. Su ve Atıksu Tarifesi. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.izsu.gov.tr%2FPages%2FstandartPage.aspx%3Fid%3D65&date=2016-11-19>, Son Erişim Tarihi: 19.11.2016.

59. İnternet: MESKİ. Ücret Tarifeleri. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.meski.gov.tr%2FUcret-Tarifeleri.html&date=2016-11-19>, Son Erişim Tarihi: 19.11.2016.

60. İller Bankası A.Ş. Proje Dairesi Başkanlığı. (2007). *Avşa (BALIKESİR) Belediyesine içme-kullanma suyu temini amaçlı yapılan Fizibilite Raporu.*

61. İller Bankası A.Ş. Proje Dairesi Başkanlığı. (2009). *Avşa (BALIKESİR) Belediyesine içme-kullanma suyu temini amaçlı denizsuyundan ters ozmoz yöntemi ile arıtma tesisi projelendirilmesi, yapımı ve bir yıl süre ile arıtma tesisinin işletilmesi projesi, Proje Final Raporu.*

62. Spiritos, E., and Lipchin, C. (2013). *Desalination in Israel, Water Policy in Israel: Context, Issues and Options*, Global Issues in Water Policy, Springer Science+Business Media Dordrecht, 121-124.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : BIYIKLI, Yunus Emre
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 05.04.1989 TRABZON
Medeni hali : Bekâr
Telefon : 312 303 37 61
Faks : 312 303 37 99
e-mail : ebiyikli@ilbank.gov.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Marmara Üniversitesi – Çevre Müh.(İNG)	2011
Lise	Akçaabat Süper Lisesi (Y.D.A.)	2006
İlköğretim	Akçaabat Darıca İlköğretim Okulu	2002

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2013-devam ediyor	İller Bankası A.Ş. Proje Dairesi Başkanlığı	Tek. Uzm. Yrd.
2013-2013	Artemis Arıtım A.Ş.	Saha Mühendisi
2011-2013	BVT İNŞAAT ve Ticaret Ltd. Şti	Saha Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce, Almanca

Hobiler

Turistik Gezi, Kitap Okumak, Tarih, Spor



İL BANK
TÜRKİYE'NİN YAPICI GÜCÜ