

T.C.
Orman ve Su İşleri
Bakanlığı



T.C
ORMAN VE SU İŞLERİ BAKANLIĞI

**TÜRKİYE'DE DENİZ SUYUNDAN İÇME SUYU ÜRETİMİNİN MALİYET
DEĞERLENDİRMESİ**

-UZMANLIK TEZİ-

HAZIRLAYAN: YUSUF BAŞARAN

ANKARA-2015

T.C
ORMAN VE SU İŞLERİ BAKANLIĞI

TÜRKİYE'DE DENİZ SUYUNDAN İÇME SUYU ÜRETİMİNİN MALİYET
DEĞERLENDİRMESİ

-UZMANLIK TEZİ-

HAZIRLAYAN: YUSUF BAŞARAN

ANKARA-2015

T.C
ORMAN VE SU İŞLERİ BAKANLIĞI

SU YÖNETİMİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

HAZIRLAYAN
YUSUF BAŞARAN

TÜRKİYE'DE DENİZ SUYUNDAN İÇME SUYU ÜRETİMİNİN MALİYET
DEĞERLENDİRMESİ

TEZ DANIŐMANI
Prof.Dr. Mehmet ÇAKMAKCI

TEŞEKKÜR

Tez sürecinde benim ile engin bilgilerini paylaşmaktan imtina etmeyen tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Mehmet Çakmakçı'ya,

Tüm hayatım boyunca desteklerini yanımda hissettiğim ve bugünlere gelmemde emekleri buluan aile bireylerime sonsuz teşekkür ederim.

Tez yazım sürecinde benim yanımda olan, bana desteklerini esirgemeyen eşime- hayat arkadaşım Fatma Betül BAŞARAN'a, ayrıca tez sürecinde bana "destek olmak" amacıyla kucağımdan hiç inmeyen biricik kızım Ayőe'ye sonsuz teşekkür ve minnetlerimi sunarım.

KISALTMALAR

TUİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
SWRO	: Deniz suyundan ters ozmos ile tuz giderme
SYGM	: Su Yönetimi Genel Müdürlüğü
KDD	: Karbonat Denge Derinliği
GWİ	: Global Water Intelligence
RO	: Ters Osmoz
ED	: Elektrodializ
MED	: Multi Effect Distillation
MSF	: Multi Stage Flash
SWCC	: Saline Water Conversion Cooperation
SDİ	: Silt Yoğunluk İndeksi
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü
TÇK	: Toplam Çözünmüş Katı

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	v
KISALTMALAR.....	vi
TABLO LİSTESİ	ix
ŞEKİL LİSTESİ	xi
ÖZET	xiii
ABSTRACT	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. TÜRKİYE'DE SU POTANSİYELİ VE İÇME VE KULLANMA SUYU DURUMU.....	1
2.1. Türkiye' de Su Potansiyeli ve Kullanımı	1
2.2. Türkiye'de İçme ve Kullanma Suyu Temini	5
2.3. Türkiye'de İklim Değişikliği ve Kuraklığın Su Kaynakları üzerine etkileri	9
2.4. İçme ve Kullanma Amaçlı Konvansiyonel Olmayan Su Kaynakları	10
3. DENİZ SUYUNUN ÖZELLİKLERİ.....	13
3.1. Sıcaklık.....	13
3.2. Tuzluluk.....	14
3.3. Yoğunluk	17
3.4. Partikül Maddeler.....	17
3.5. Çözünmüş gazlar.....	17
3.6. pH	19
4. DENİZ SUYUNDAN TATLI SU ELDESİ.....	0
4.1. Deniz Suyu Tuz giderme Prosesleri	0
4.1.1. Buharlaştırma prosesleri	0
4.1.2. Membran prosesler.....	1
4.2. Tarihsel Gelişimi.....	3
4.3. Global Kapasite	5
4.3.1. Suudi Arabistan.....	9
4.3.2. İsrail	11
4.3.3. Çin.....	12
4.3.4. İspanya	14
4.3.5. Yunanistan	16
4.3.6. Avustralya	18
5. DENİZ SUYU TUZSUZLAŞTIRMA TERS OZMOS (SWRO)TESİSLERİ	22
5.1. SWRO Tesisi Yer Seçimi	22
5.2. SWRO Tesisi Proses Yapısı.....	24
5.2.1. Su temini yapısı.....	26
5.2.2. Ön arıtma	30
5.2.3. Membran sistemi yapısı	34
5.2.4. Enerji geri kazanım sistemleri.....	45
5.2.5. Son arıtma	48
5.2.6. Konsantre bertarafı.....	56
5.3. SWRO Tesislerinde Enerji Temini ve Tüketimi	61
5.3.1. Enerji temininde kullanılan kaynaklar	63
5.3.2. Enerji tüketimi	65
5.4. SWRO Tesislerinin Çevresel Etkileri	68
5.4.1. Kullanılan arazi üzerine olan olumsuz etkisi	69
5.4.2. Akiferler üzerine etkileri.....	69
5.4.3. Gürültü etkisi	70
5.4.4. Enerji kullanımından kaynaklı sera ve yanma gazları etkisi	70
5.4.5. Konsantre deşarjının kıyı ekosistemi üzerine etkileri	71
5.4.5.1. Konsantrenin özellikleri	71
5.4.5.2. Kıyı ekosistemi üzerine etkileri	77
5.4.5.3. Deşarj kriterleri ve yaklaşımları	82
6 SWRO TESİSLERİ YATIRIM VE İŞLETME MALİYETLERİ	87
6.1. SWRO Tesisi Yatırım ve Üretim Maliyetleri Tahmini Hesap Yöntemleri	96
6.1.1. Veri Tabanı Yaklaşımı ile Yatırım ve Üretim Tahmini Maliyet Hesabı	97
6.2. Türkiye Denizleri İçin Maliyet Tahmini Üzerine Yapılmış Çalışmalar.....	100
6.3. Üretim Maliyetinin Diğer Su Temin ve Arıtma Yöntemleri ile Karşılaştırması	104

6.4. Türkiye’de Yerleşim Yerleri İçme Suyu Membran Tesisleri.....	105
6.5. Aşa SWRO Tesis.....	106
7. TÜRKİYE’DE DENİZE KIYISI OLAN BÖLGELERDE DENİZ SUYUNDAN İÇME SUYU ELDE EDİLMESİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	114
7.1. Türkiye’nin Denize Kıyısı Olan Bölgeler.....	114
7.2. Deniz Kıyısı Olan Bölgelerde Su Tüketimi Tahmini	117
7.3. Denize Kıyısı Olan Bölgeler İçin SWRO Tesis Uygulaması Senaryosu.....	121
7.4. Tahmini İşletme ve Yatırım Maliyeti Hesaplaması	123
7.5. SWRO Tesisinden Elde Edilen İçme Suyunun Mevcut Su Bedelleri Üzerine Maliyet Etkisinin Değerlendirilmesi	129
7.6. Enerji İhtiyacı Analizi	138
8. DEĞERLENDİRME.....	140
9. ÖNERİLER.....	143
KAYNAKLAR.....	146
ÖZGEÇMİŞ.....	157

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1: Türkiye'nin su kaynakları potansiyeli	1
Tablo 2.2: Türkiye'de toplam su çekimi ve sektörel dağılımı	4
Tablo 2.1 : Deniz suyundaki tuzların ortalama konsantrasyonları.....	15
Tablo 3.2: Dünya çevresindeki ve Türkiye'deki farklı deniz sularının başlıca kimyasal özellikleri	16
Tablo 4.1: Membran Prosesleri Genel Karakterleri	2
Tablo 4.2: Suudi Arabistan'daki Tesisler	10
Tablo 4.3: İsrail'de Bulunan SWRO Tesisleri.....	12
Tablo 4.4: Çin'de büyük ölçekli tuz giderme tesisleri.....	14
Tablo 5.1: Deniz suyu kuyusu analizleri.....	28
Tablo 5.2:SDI değerinin RO üzerindeki etkisi.....	31
Tablo 5.3: Tasarım için gerekli ham su veya besleme suyu özellikleri	38
Tablo 5.4: RO membranları için tipik transmembran basınçları ve geri kazanım oranları ...	43
Tablo 5.5: Akdeniz deniz suyunun tuz gidermesi sonucu elde edilen süzüntü kalitesi	48
Tablo 5.6:İsrail'de paçallama örneği	49
Tablo 5.7: Konsantre bertaraf yöntemlerinin karşılaştırılması; Department of Natural Resources and Mines	58
Tablo 5.8: Enerji kaynaklarına göre elektrik üretim maliyetleri.....	61
Tablo 5.9: Sıcaklık ve tuzluluğa bağlı enerji tüketimleri.....	66
Tablo 5.10: Dünyadaki bazı SWRO tesislerinde enerji tüketimleri.....	68
Tablo 5.11: Tuzsulaştırma tesislerinden kaynaklanan yıllara göre CO ₂ emisyonları	70
Tablo 5.12: Yakıt türüne göre ortaya çıkan CO ₂ emisyonu	71
Tablo 5.13: SWRO tesislerinden kayanıklı kirletici emisyonları yükü.....	71
Tablo 5.14: Bazı türlere ait tuzluluk tolerans limitleri	79
Tablo 5.15: Dünyada bazı bölgelerde dağılım mesafesi izleme çalışmaları	83
Tablo 5.16: İsrail'e ait konsantre deşarj limitleri.....	85
Tablo 5.17: Su Yumuşatma, Demineralizasyon ve Rejenerasyon, Aktif Karbon Yıkama ve Rejenerasyon Tesisleri	86
Tablo 5.18: Dünyada konsantre deşarjı için alıcı ortam ve deşarj standartları	86
Tablo 6.1: Literatürdeki işletme maliyeti değerleri.....	89
Tablo 6.2: Enerji kaynağına göre işletme maliyeti	90
Tablo 6.3: Bazı SWRO tesislerine ait ilk yatırım ve birim yatırım maliyetleri	93
Tablo 6.4: Yatırım maliyeti –kapasite korelasyonu	93
Tablo 6.5: 4 farklı kapasitedeki farklı tuz giderme yöntemleri için yatırım ve üretim maliyeti tahmin tablosu.....	98
Tablo 7.1: Kıyı çizgisine sınırı bulunan yerleşim yerleri nüfusu.....	116
Tablo 7.2: Faydalanıldığı su kaynağı bazında kıyı bölgesi yerleşim yerleri sayısı.....	118
Tablo 7.3: Kent nüfusuna bağlı evsel su ihtiyacı.....	119
Tablo 7.4: Kıyı bölgelerdeki bazı yerleşim yeri merkezleri için tahmini 2013 brüt su tüketimi hesabı	120
Tablo 7.5: Gelecek su ihtiyacı senaryoları.....	122
Tablo 7.6: Senaryolara göre gelecekte ihtiyaç duyulan su miktarları	124

Tablo 7.7: İhtiyaç Duyulan SWRO tesisi kapasitesi, tahmini yatırım ve işletme maliyeti	127
Tablo 7.8: Kasım 2014 tarihi itibariyle Belediyelere ait güncel su bedeli(≤ 10 m ³ /ay tüketim)	130
Tablo 7.9: Kıyı bölgeleri tahmini su bedelleri	133
Tablo 7.10: Su bedeli artış oranları tablosu ve grafiği	134
Tablo 7.11: Senaryolara ait göstergeler tablosu ve ortalama değer grafikleri	137
Tablo 7.12: Senaryolarda belirlenen kapasitelerdeki SWRO tesisleri için gerekli enerji ..	139

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1: Türkiye yüzeysel su kaynakları haritası.....	1
Şekil 2.2: Flenkenmark indeksine göre havza bazlı kişi başına yıllık su miktarı	3
Şekil 2.3: Yıllara göre kentsel nüfus artış grafiği	4
Şekil 2.4: İçme suyu temininde yetki ve sorumluluklar.....	5
Şekil 2.5: Türkiye'de İl merkezlerinin su temini kaynakları	7
Şekil 2.6: Atıksuların Dünya Ölçeğinde Sektörel Bazda Yeniden Kullanımı, 2006-2007 yılları arası	11
Şekil 3.1: Derinlik ile Sıcaklığın Dönemsel Değişimi	14
Şekil 3.2: Denizde ve havada ihtiva eden gaz içeriği.....	18
Şekil 3.3: CO ₂ dönüşüm sistemi	20
Şekil 3.4: İnorganik karbon türlerinin PH a bağlı olarak değişimi	20
Şekil 4.1: Membran proseslerle ayırma işleminin şematik gösterimi	1
Şekil 4.2: Tuzluluğa bağlı değişen membran uygulamaları	3
Şekil 4.3: Kaynak bazında global ölçekte tuz giderme prosesleri kullanım oranları	6
Şekil 4.4: Su kullanımı ve proses bazında tuz giderme potansiyeli dağılımı.....	7
Şekil 4.5: Bölgeler ve ülkeler temelinde tuz gidermez kapasiteleri.....	8
Şekil 4.6: Çin' de yıllara göre deniz suyundan tuz giderme potansiyeli artışı.....	13
Şekil 4.7: İspanya'da su kıtlığı durumu ve büyük ölçekli SWRO tesisleri.....	16
Şekil 4.8: Yunanistan' da Su bölgelerine göre içme suyu durumu	17
Şekil 4.9: Avustralya' daki şehirlerde yıllara göre yağış salımları.....	18
Şekil 4.10: Avustralya'da bulunan çok büyük ölçekli SWRO tesisleri.....	20
Şekil 4.11: Wonthaggi (Melbourne) SWRO tesisi görünüşü.....	20
Şekil 5.1:Dünyadaki bazı SWRO tesisleri	22
Şekil 5.2: SWRO tesisi akış diyagramı	25
Şekil 5.3: Denizden su temini yöntemleri.....	26
Şekil 5.4: Sahil bölgelerindeki kuyulardan su temin tipleri.....	27
Şekil 5.5: Derinden su alma yapısı.....	29
Şekil 5.6: Su alma yapısı hidrodinamik modeli	29
Şekil 5.7: Konvansiyonel SWRO ön arıtma prosesi	31
Şekil 5.8: Osmoz ve ters osmoz olayı	35
Şekil 5.9: Deniz suyu tuzsuzlaştırılmasında kullanılan membran tipleri	36
Şekil 5.10: Membran kılıfı	37
Şekil 5.11: İki kademeli membranla konsantr hacim azaltımı	43
Şekil 5.12 İki kademeli membranla süzüntü kalitesinin artırılması	44
Şekil 5.13: Penton çarkı geri kazanım sistemi	46
Şekil 5.14: Turbacharger enerji geri kazanımı sistemi.....	46
Şekil 5.15: İzobarik basınç değiştiricili enerji geri kazanım.....	47
Şekil 5.16: Atık ısıdan enerji kazanımı	47
Şekil 5.17: Bor giderme prosesi.....	51
Şekil 5.18: Hoover nomogramı	52
Şekil 5.19: Kalsit mineralizasyonu	55
Şekil 5.20: Soğutma suyu ve konsantr deşarjı.....	59
Şekil 5.21: Karışma yöntemi deşarj yerleri.....	60
Şekil 5.22: Ashkelon SWRO tesisinden ön arıtmadan kaynaklı Fe ⁺³ renkliliği.....	60

Şekil 5.23: Konsantre bertarafı difüzyon yöntemi	61
Şekil 5.24: Bazı deniz suyu tuzsulaştırma tesisleri güç santralleri	62
Şekil 5.25: Yenilenebilir enerji ve tuz giderme yöntemleri kombinasyonları	63
Şekil 5.26: Akdeniz ve Kızı deniz Bölgesi'nde SWRO tesisleri solar PV ve fosil yakıt maliyet karşılaştırması	65
Şekil 5.27: Sıcaklığı göre pompalamada değişen enerji tüketimi	67
Şekil 5.28: SWRO tesisindeki proses bazlı enerji tüketimi	67
Şekil 5.29: SWRO Tesisinden kaynaklanan deşarj içeriği	72
Şekil 5.30: Geri kazanım oranına göre oluşan konsantre faktörü	74
Şekil 5.31: Konsantre deşarjı ve ve karışma karakteristiği	75
Şekil 5.32: Konsantre Deşarj yöntemleri seyrelme oranları	76
Şekil 5.33: Difüzörlü çoklu portlu derin deniz deşarjı dizaynı	77
Şekil 5.34: Konsantredeki kalıntı klorün deniz canlılarına etkisi	80
Şekil 5.35: EPA Karışım bölgesi yaklaşımı	84
Şekil 6.1: SWRO yatırım maliyeti giderleri bileşenleri	87
Şekil 6.2: SWRO tesisi tuz giderme maliyet bileşenleri	88
Şekil 6.3: Yıllara göre birim işletme maliyeti değişimi	88
Şekil 6.4: Kapasite bazında üretim maliyetleri	90
Şekil 6.5: Yıllara göre birim ilk yatırım maliyetlerindeki değişim (1980-2005)	92
Şekil 6.6: Yıllara göre birim ilk yatırım maliyetlerindeki değişim (2005-2013)	92
Şekil 6.7: Birim yatırım maliyetine karşı kapasitesi grafiği	94
Şekil 6.8: İşletme maliyetine karşı kapasite grafiği	99
Şekil 6.9: Yatırım maliyetine karşı kapasite grafiği	99
Şekil 6.10: Ekonomik bileşenler	101
Şekil 6.11: Akdeniz, Karadeniz ve Marmara Denizi suyu için maliyet grafikleri	102
Şekil 6.12: Akı bazında Marmara, Karadeniz ve Akdeniz üretim ve ilk yatırım maliyetleri	104
Şekil 6.13: Türkiye'deki içme suyu membran arıtım tesisleri	106
Şekil 6.14: Avşa SWRO tesisi	107
Şekil 6.15: Hamsu İletim Hattı ve Konsantre Su Deşarj Hattı	108
Şekil 6.16: Sualma Yapısı	108
Şekil 6.17: Kaba ve İnce Izgara	109
Şekil 6.18: Hamsu Besleme Pompaları	110
Şekil 6.19: Basınçlı Kum Filtreleri	110
Şekil 6.20: Kartuş Filtreler	111
Şekil 6.21: Avşa SWRO ters ozmos prosesi	112
Şekil 7.1: Kıyı çizgisine idari sınırı olan il ve ilçe merkezleri	115
Şekil 7.2: Türkiye nüfus yoğunluğu haritası	117
Şekil 7.3: Kıyı yerleşim yerlerinin faydalandığı su kaynağı türleri	118
Şekil 7.4: SWRO Tesisleri Yerleri	128
Şekil 7.5: Nihai Su bedeli ve yatırım maliyeti grafikleri	136

ÖZET

Dünyada iklim değişikliği ve kuraklığın etkisiyle konvansiyonel olmayan su kaynaklarından faydalanılmasına yönelik bir eğilim söz konusudur. Konvansiyonel su kaynağı olmayan deniz suyundan, tatlı su üretilebilmektedir. Son yıllarda birçok ülke, deniz suyundan tuz giderme ile tatlı su elde etmektedir. Özellikle aşırı kurak bölgeler içeren Ortadoğu ülkelerinde, deniz suyundan tatlı su üretiminde günümüzde artış olduğu görülmektedir. Son yıllardaki teknolojik gelişmeler ile üretim maliyetlerindeki düşüşler sebebiyle deniz suyu arıtımında ters osmoz membranları tercih edilmektedir. Ters osmoz membran tesisleri, kullanıldıkları kurak bölgelerde tatlı su üretiminin güvencesi olarak görülmektedir. Bu çalışmada; iklim değişikliğinin su kaynakları üzerine etkilerini azaltmak için oluşturulan uyum stratejilerinden olan deniz suyundan içme ve kullanma suyunun üretilmesine yönelik değerlendirme yapılması amaçlanmıştır. Bu değerlendirme kapsamında, Türkiye'nin kıyı bölgelerinde deniz suyu ters osmoz (SWRO) tesisi uygulama senaryo çalışmaları yapılmıştır. Çalışma kapsamında; küresel ölçekteki tuz giderme tesisleri, önemli SWRO tesislerinin kullanıcısı olan ülkelerin içme ve kullanma suyu potansiyelleri, tesislerin proses detayları, çevresel etkileri, yatırım ve üretim maliyetleri, enerji kullanımları ve alternatifleri incelenmiştir. Ayrıca, Türkiye'nin kıyı bölgelerindeki yerleşim yerlerine ait içme ve kullanma suyu ihtiyaçları belirlenmiştir. İçme ve kullanma suyu ihtiyaçlarının temininde deniz suyundan tatlı su üretilmesine ait farklı senaryolar oluşturulmuştur. SWRO tesisleri için literatürde verilen tahmini yatırım ve işletme maliyetleri dikkate alınarak farklı senaryolar için maliyet hesapları yapılmıştır. Ayrıca, çalışma kapsamındaki yerleşim yerlerine ait güncel su bedeli verilerinden faydalanılarak, SWRO tesislerinde üretilen suyun şebeke suyuyla farklı oranlarda paçalanması ile su bedellerindeki artışlar değerlendirilmiştir. Paçalanma sonucu mevcut su satış bedellerinde çok önemli bir farklılık olmaz iken, deniz suyunun arıtımı ve konsantrenin bertarafı konularında önemli çevresel risklerin olduğu düşünülmektedir. SWRO tesislerinin ilk yatırım maliyetlerinin konvansiyonel sistemlere göre fazla olduğu ve bu sebeple gerçekçi veriler elde edilmesi amacıyla detaylı ekonomik analizlerin yapılmasına ihtiyaç olduğu anlaşılmıştır. Deniz suyunda tatlı su üretilmesinde çevreci bir yaklaşım ön görülmesi sebebiyle, enerji tüketiminin azaltılması ile konsantre bertarafı konularında da detaylı araştırmaların yapılması gerekmektedir.

ABSTRACT

There is a tendency to utilizing non-conventional water resources with influence of drought and climate change in the World. Freshwater can be produced from seawater which is non-conventional, recently as well as in many countries. Especially, producing freshwater from seawater has been increased in The Middle East Countries having excessive arid regions. Recently reverse osmosis membranes has been preferred through technological development, production costs increasing. Reverse osmosis membrane facilities is deemed such an insurance of freshwater production for arid regions. In this study, evaluation of freshwater drinking and potable water production from seawater which is one of the climate change adaptation strategies to reduce effect on water resources is aimed. In context of that evaluation, scenario studies for Seawater Reverse Osmosis Plant (SWRO) installation in coast region of Turkey were carried out. Also, seawater desalination plants on global basis, potential of drinking and potable water which countries having prominent SWRO plants utilize, plants process details, environmental effects, investment-production costs, energy consumption and alternatives were investigated. Moreover, the drinking and potable water needs for Turkey's coast region was calculated. In this regard, different scenarios regarding supplying drinking and potable water produced from seawater was formed. The costs calculations carried out for these scenarios by taking literature data including approximative investment and production costs into the consideration. Furthermore, assessment for increase of water tariff fee computed by blending current urban drinking water network and produced water by SWRO are carried out by utilizing current municipal water tariff fee for residential areas. Whilst there is no any notable change in water tariff fee after blending, important environmental risks regarding seawater desalination and concentrate disposal are predominantly contemplated. To make these risk more clarified and understandable, economical analyses studies must be carried out for local scale in larger extend. Researches on issues at decreasing energy consumption and concentrate disposal must be carried out in detail, because of anticipating environmentalist approach for desalination.

1. GİRİŞ

Uluslararası örgütler su teminin sürekliliğini, sağlıklı su üretilmesini ve su güvenliğinin sağlanmasını önemli gündem maddelerinden biri olarak dikkate almaktadır. Su kaynakları üzerindeki baskı ve etkiler, kuraklık ve iklim değişikliği, artan nüfus yoğunluğu gibi faktörler ile su güvenliği üzerindeki riskler gün geçtikçe artmaktadır. Birçok ülke miktar ve kalitesi açısından yeterli su teminini sağlama yönünde gerekli önlemleri almak için ekonomik ve idari açıdan önemli çabalar sarf etmektedir. Yukarıda belirtilen baskı ve etkilerden su teminin etkilenmemesi için, en önemli önlemlerden bir de konvansiyonel olmayan su kaynaklarından ihtiyacının karşılanabilmesidir. Deniz suyu, konvansiyonel olmayan önemli bir su kaynağı olarak görülmektedir ve konvansiyonel kaynaklara göre yüksek konsantrasyonlarda tuz içermektedir. Tuzun ve diğer kirleticilerin giderilmesi ile deniz suyundan içme ve kullanma suyu üretilebilmektedir. Denize kıyısı olan ve su temininde süreklilik ile su güvenliliğinin sağlanması amacıyla birçok ülke, içme ve kullanma suyu temini amacıyla deniz suyundan faydalanmaktadır.

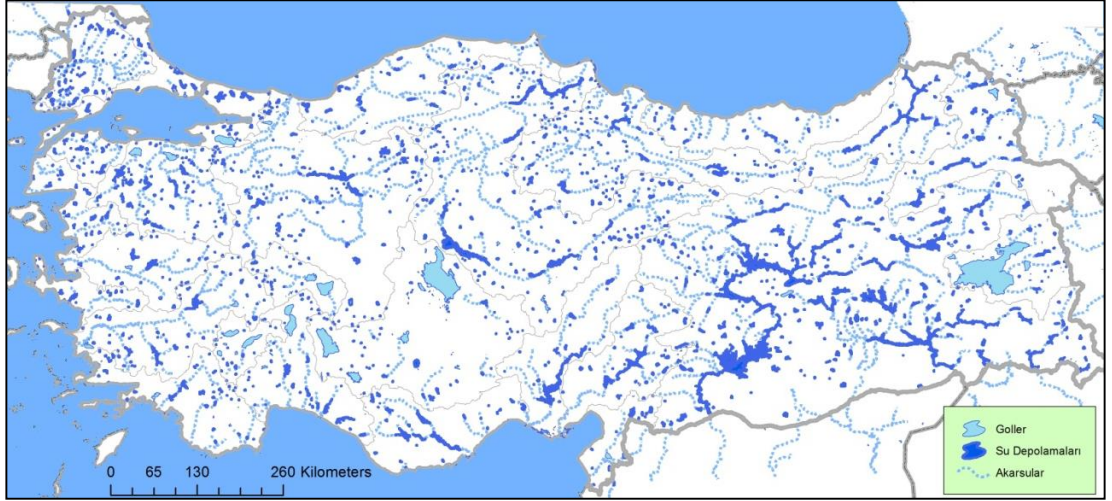
Günümüzde aşırı kurak bölgelerde ve su fakiri olan ülkelerin daha yaygın bir şekilde deniz suyundan içme ve kullanma suyu ürettiği görülmektedir. Son yıllarda, genellikle su stresi altında ve bazı su zengini olan ülkeler de, içme ve kullanma suyu üretim kaynağı olarak deniz suyu kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle; sanayileşme, nüfus artışı, iklim değişikliği ve kuraklıkla birlikte değişen yağış rejimleri ve aşırı su çekimi sebebiyle yer altı sularındaki tuzlulaşmadan dolayı büyük kent merkezlerinde su ihtiyaçlarının arttığı ve mevcut kullanılabilir su kaynaklarının ihtiyacı karşılamada yeterli olmadığı görülmektedir. Ayrıca bazı ülkelerde/şehirlerde turizm faaliyetlerin artması, yerel ölçekte su kıtlığı yaşanmasına sebep olabilmektedir. Denize kıyısı olan ülkeler/şehirler turizm faaliyetlerinden kaynaklanan su ihtiyacındaki artışı genellikle deniz suyu arıtımı ile karşılamaktadır. Son yıllarda dünyada, deniz suyundan içme ve kullanma suyu temininde logaritmik bir artış görülmektedir. Özellikle membran

teknolojisindeki gelişme ile azalan üretim maliyetleri, deniz suyu arıtımında membran proseslerin kullanımını gün geçtikçe daha cazip ve daha yaygın hale getirmektedir. Geçmişte deniz suyundan tatlı su üretim tesislerinin ilk yatırım ve işletme maliyetlerinin konvansiyonel su kaynaklarından (tatlı su kaynaklarından) su teminine göre çok yüksek olması sebebiyle, konvansiyonel olmayan su kaynağının kullanılmasına bazı ülkelerde devletin en üst düzeyindeki karar organları ile karar verilmekteydi. Son yıllardaki teknolojik gelişmeler ile üretim maliyetlerindeki düşüşler sebebiyle deniz suyu arıtımında membran proseslerin kullanımının arttığı görülmektedir. Membran proseslerin deniz suyundan tatlı su üretmedeki verimliliği, devlet politikaları ile oluşturulan deniz suyundan tatlı su üretme programlarının kararlılıkla sürdürülmesine katkı sağlamaktadır. Günümüzde membran proseslerin enerji tüketimlerinin dolaylı olarak sera gazı oluşturmasının azaltılması ve membran prosesler ile içme ve kullanma suyu üretilirken oluşan konsantre atığında çevreye zarar vermeyecek seviyeye kadar bertaraf edilmesi konularında yoğun araştırmalar yapılmaktadır. Membran proseslerde enerji verimliliği ile sera gazı salınımı azaltılabilir ve konsantrenin çevreye zarar vermeyecek şekilde bertaraf edilmesi ile ekosistemin korunması sağlanabilir. Böylece, deniz suyundan membran prosesler ile içme ve kullanma suyu üretilirken çevre üzerinde oluşabilecek olumsuzluklarda en aza indirgenbilir.

2. TÜRKİYE’DE SU POTANSİYELİ VE İÇME VE KULLANMA SUYU DURUMU

2.1. Türkiye’ de Su Potansiyeli ve Kullanımı

Türkiye’de yıllık ortalama yağış miktarı 643 mm’dir. Türkiye için bu yağış miktarı, yılda ortalama 501 milyar m³ suya karşılık gelmektedir. Yağışlarla gelen suyun 158 milyar m³’ü yüzey suyu olarak akarsulara ve göllere katılmaktadır.



Şekil 2.1: Türkiye yüzeysel su kaynakları haritası

Ekonomik ve teknik şartlar dikkate alındığında ise kullanılabilir su miktarı yıllık 112 milyar m³’tür ve Tablo 2.1’de yağış ile kullanılabilir su miktarı arasındaki ilişki verilmiştir.

Tablo 2.1: Türkiye’nin su kaynakları potansiyeli

Yıllık ortalama yağış	643 mm/yıl
Yıllık yağış miktarı	501 km ³
Buharlaşma	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

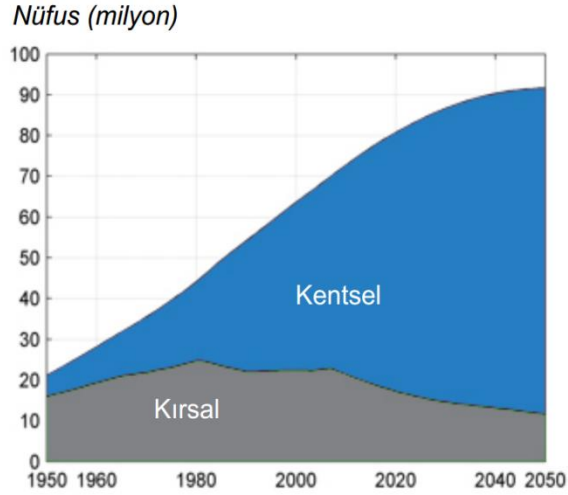
Tablo 2.1’de görülen kullanılabilir suyun önemli bir miktarı tarımsal sulama amacıyla kullanılmaktadır. DSİ verilerine göre Türkiye’de suyun yüzde 11’i sanayi, yüzde 15’i içme ve kullanma ve yüzde 74’ü ise tarımsal sulama amaçlı olarak kullanılmaktadır. 2008 yılı rakamları itibari ile sulama için yılda 34 milyar m³, içme ve kullanım için 7 milyar m³ ve sanayi için 5 milyar m³ su kullanılmıştır. Toplamda 46 milyar m³ olan su tüketimi Türkiye’nin toplam su potansiyelinin yüzde 41,1’ine eşittir (DSİ, 2009).

Ülkemizde kişi başına düşen ortalama brüt içme ve kullanma suyu miktarı 1980’li yıllarda 98 L/gün, 1990’lı yıllarda 192 L/gün iken 2012 yılında 213 L/gün’e ulaşmıştır (TÜİK, 2010). Avrupa Birliği üyesi ülkelerde kişi başına düşen ortalama brüt içme ve kullanma suyu miktarı 150 m³ kişi/gün/L civarındadır ve alınan önlemler ile daha da azalmaktadır (EEA 2009).

Kişi başına su miktarları dikkate alınarak su kıtlığı, su stresi ve su zengini olarak kategoriler belirlenmektedir. Su kıtlığı veya stresi durumunu tanımlamak için kullanılan Falkenmark indeksine göre su kıtlık/stres durumu, ülke veya bölgede kişi başına düşen su miktarına göre aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır (Falkenmark, 1976):

- 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

DSİ’nin verilerine göre Türkiye’de kişi başına yıllık su miktarı 1519 m³’tür. Flenkenmark indeksine göre Türkiye su azlığı yaşayan veya su sıkıntısı olan ülkeler arasına girmektedir. Türkiye’nin her bölgesinde su dağılımının eşit değildir ve havza bazlı olarak kişi başına su miktarlarında farklılıklar görülmektedir. Şekil 2.2’de havza bazlı “Flenkenmark İndeksi”ne göre kişi başına su miktarları verilmiştir.



Şekil 2.3: Yıllara göre kentsel nüfus artış grafiği [Url-16]

Nüfusun önemli bir kısmı şehirlerde yaşamaktadır. Şehir merkezlerinde su ihtiyacı gün geçtikçe artmaktadır. Bu durum, şehir etrafındaki su kaynakları üzerinde büyük bir baskı oluşturmaktadır. Bu baskının özellikle su fakiri olan kıyı bölgelerindeki havzaları daha fazla etkileyeceği düşünülmektedir. İzmir ve İstanbul gibi metropol olan ve sürekli göç olan kıyı illerimizde etkilenme diğer illere göre daha şiddetli olabileceği tahmin edilmektedir.

Tablo 2.2: Türkiye’de toplam su çekimi ve sektörel dağılımı (ÇŞB, 2011)

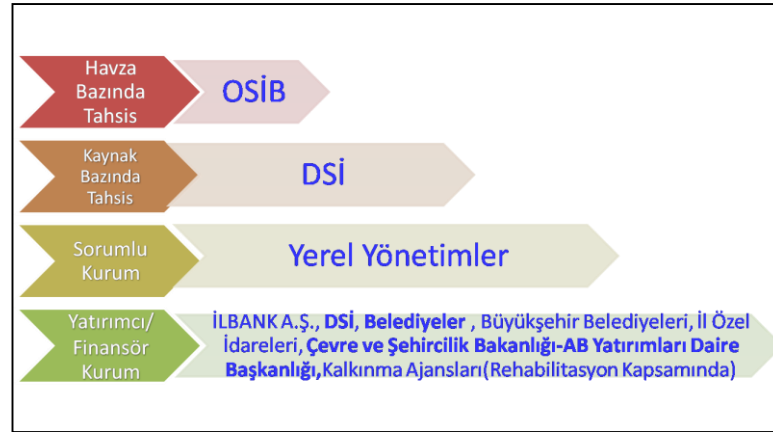
Yıl	Toplam Su Tüketimi		Sektörler					
	Milyar m ³	%	Sulama		Evsel		Sanayi	
			Milyar m ³	%	Milyar m ³	%	Milyar m ³	%
1999	30,6	28	22	72	5,1	17	3,4	11
2004	40,1	36	29,6	74	6,2	15	4,3	11
2008	43	38	32	74	6	15	5	11
2023	112	100	72	64	18	16	22	20

Tablo 2.2’ de görüldüğü üzere Türkiye’de 1990-2008 yılları arasında, su tüketim miktarı %40,5 oranında artmıştır. Nüfus, sanayi ve refah seviyesinin artması il gelecek 25 yıl içinde ihtiyaç duyulan su miktarının üç kat artacağı tahmin edilmektedir. Artan su ihtiyacını karşılamak için kaynaklar üzerindeki baskı da giderek artmaktadır. Türkiye’nin 2023 hedefleri arasında mevcut kullanılabilir potansiyeli 112 milyar m³’tür. Tarımda %64, sanayide %20 ve evsel kullanımda %16 su kullanılması hedeflenmektedir. Tarımda yeni alanların sulamaya açılması yanında modern sulama tekniklerinin kullanılacağıda düşünülerek yılda 72 milyar m³ su kullanacağı

öngörülmektedir. Nüfus artışı, kentleşme ve hızla gelişen turizm sektörü göz önünde bulundurularak 2008 yılında 6 milyar m³ olan evsel su kullanımının 2023 yılında 18 milyar m³e ulaşacağı öngörülmektedir. Sanayi sektöründe de mevcut %4'lük büyüme oranı ile 5 milyar m³lük su tüketiminin 22 milyar m³ olması beklenmektedir (Muluk, 2013).

2.2. Türkiye’de İçme ve Kullanma Suyu Temini

Türkiye’de içme ve kullanma sularının temininde İl Özel İdareler, Belediyeler ve Büyükşehir Belediyeleri yetkilidir. İçme suyu temininde 5 farklı aşama vardır. Bunlar; planlama, tahsis, su temini (baraj, gölet, akarsu, kuyu), arıtma ve nihai kullanıcıya iletim olarak sıralanmaktadır. Bu aşamalarda birçok kurum ve kuruluş görev almaktadır. Kurumlara ait yetki dağılımı Şekil 2.4’de verilmektedir.



Şekil 2.4: İçme suyu temininde yetki ve sorumluluklar

645 Sayılı Kanun Hükmünde Kararname'nin 9. Maddesinin (f) fıkrası ile Nehir Havza Yönetim Planlarına uygun olarak sektörel bazda su tahsisine ilişkin gerekli koordinasyonu yapma görevi Su Yönetimi Genel Müdürlüğü (SYGM)'ne verilmiştir. Havza bazında sektörler arasında tahsis yapılmasında yetkili olan SYGM konu hakkında çalışmalarına devam etmektedir. Uygulamada havza ölçeğinde su tahsisi yapan tek kurum DSİ Genel Müdürlüğüdür. DSİ tarafından hazırlanan Havza Master Plan Raporları'nda yerleşim yerleri için içme suyu tahsis planları yapılmaktadır. DSİ Genel Müdürlüğü tarafından 6200, 1053, 167 sayılı kanunlarda ve 662 sayılı Kanun Hükmünde Kararname'de ilgili hükümler çerçevesinde içme suyu için yerüstü ve yeraltı su kaynaklarının tahsisini ilgili idarelere yapmaktadır.

5393 sayılı Belediye Kanunu, 5226 sayılı Büyükşehir Belediye Kanunu, 2560 sayılı kanun 5302 sayılı İl Özel İdaresi kanunları çerçevesinde yerleşim yerlerine içme suyunun tüketicilere sağlanması için arıtma tesisi ve altyapı yatırımları yapma görevi ve yetkileri yerel yönetimlere verilmiştir.

İçme suyu arıtma tesisi inşaatı ve altyapı yatırımı yapabilmesi yetkileri DSİ'ye de verilmiştir. Türkiye'nin farklı bölgelerinde DSİ tarafından arıtma tesisi ve altyapı projeleri gerçekleştirilerek yerel yönetimlere teslim edilmiştir. DSİ, Türkiye'de içme suyu arıtım tesisleri yatırımı konusunda önemli bir açığı kaptmaktadır.

İlbank A.Ş.'nin, belediyelerin altyapı ve arıtma tesisleri yapım işlerinde hibe veya geri ödemeli finans ve teknik destek sağlama yetkileri vardır. Son yıllarda İlbank A.Ş.'nin sorumluluğunda Belediye İçme Suyu ve Atıksu Destek Programı (**SUKAP**) kapsamında, belediyelerin acil nitelikli olan ancak finansmanında zorluk yaşanan içme suyu ve kanalizasyon projelerine yıllık yaklaşık 400-500 milyon TL BELDES ödeneği ayrılmaktadır.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı AB Yatırımlar Daire Başkanlığı tarafından IPA projeleri kapsamında (2014-2020) 23 adet yerleşim yerine "Entegre Su Yönetimi Projesi" bünyesinde içme suyu temini ve arıtımı için 563 Milyon Avro yatırım yapılması planlanmaktadır. Ayrıca Kalkınma Ajansları tarafından yerel yönetimler arıtma tesislerinde yapacakları yenilikçi revizyonlar için hibe desteği de verilmektedir.

Türkiye'de içme suyu temini ve kullanımına ilişkin olarak 2012 TÜİK verilerine göre (2950 adet belediye sınırları içinde yaşayan 63.743.047 kişi için);

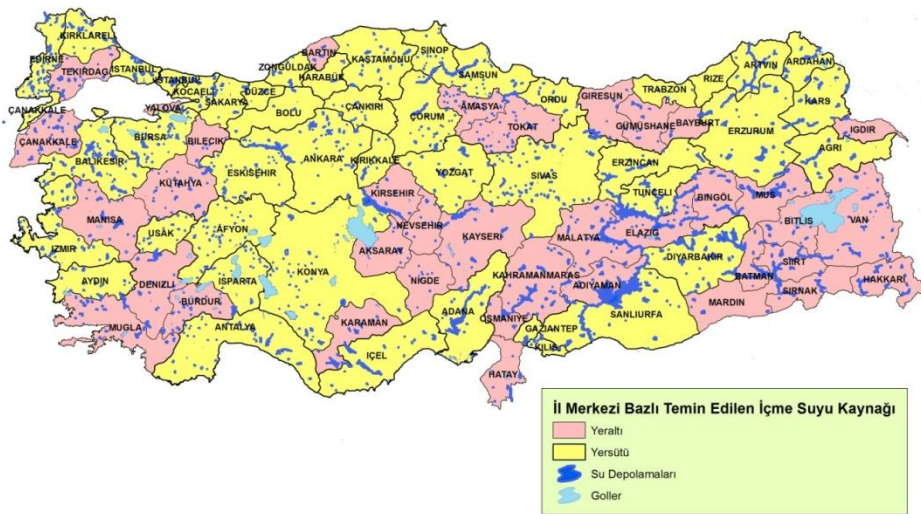
- İçme suyu arıtma tesisleri ile hizmet verilen nüfus oranı %56,
- İçme ve kullanma suyu şebekesi ile hizmet verilen nüfusun oran %98
- Belediyelerde kişi başına çekilen su miktarı 213 m³/yıl
- İçme ve kullanma suyu için çekilen yerüstü suyu miktarı 2.592.253.000 m³/yıl
- İçme ve kullanma suyu için çekilen yeraltı suyu miktarı 2.344.090.000 m³/yıl
- Toplam içme ve kullanma suyu miktarı 4.936.344.000 m³/yıl

- İçme ve kullanma suyu şebekesi ile dağıtılan su miktarı 2.801.939.000 m³/yıl'dır.

Yukarıdaki verilere göre;

- İçme ve kullanma suyu şebekesi kayıp-kaçak oranı %43 dür. Bu oran gelişmiş ülkelerde %20 civarındadır.
- Türkiye nüfusunun %48'i herhangi bir arıtmaya tabi tutulmada içme ve kullanma suyu kullanmaktadır.
- TÜİK verilerine göre içme suyu; yeraltı ve yerüstü tatlı su kaynaklarından karşılanmaktadır. Yalnızca Avşa Ada'sında denizden karşılanmaktadır.
- Yeraltı ve yerüstü su kaynakları kullanım oranları neredeyse eşittir.
- Belediyelerde kişi başına çekilen su miktarı 213 m³/yıl iken Avrupa'da kişi başına su tekim oranı 150 m³/yıl'dır. Bu değer yüksek olup azaltılması gerekmektedir.

Türkiye'de 51 il belediyesinin şehir merkezinin 25'i, 30 büyükşehir belediyesinin şehir merkezinin 20'si ağırlıklı olarak yerüstü su kaynağından içme suyu amaçlı su temini yapmaktadır. Geriye kalan 10 büyükşehir ve 26 il belediyesi sadece yeraltı suyu kullanmaktadır. Şekil 2.5' de dağılım haritası verilmiştir.



Şekil 2.5: Türkiye'de İl merkezlerinin su temini kaynakları

İlçe belediyelerde ise yeraltı suyu kullanımının ağırlıkta olduğu değerlendirilmektedir. Yersütlü suyu kullanan bazı belediye ve büyükşehir belediyelerinin yeraltı kuyularının bulunduğu bilinmektedir. Mevcut su kısıtlarında belediyeler yeraltı suyundan içmesuyu teminine geçebilmektedir. Örnek olarak Bursa içme suyunu yerüstü su kaynaklarından sağlamaktadır. Ancak 2008 yılında yaşanan kuraklıkta idare tarafından suyun bir kısmı yeraltı su kaynaklarından alınmış ve çekim yapılan yıl içinde yeraltı sularında 30 m düşüş yaşanmıştır.

Türkiye’de içme suyu kaynaklarının kalitesi hamsuda ve musluktan akan sularda analizler ile belirlenmektedir. “İçme Suyu Amaçlı Temin Edilen veya Edilmesi Planlanan Yüzeysel Suların Kalitesi Hakkındaki Yönetmelik” kapsamında DSİ tarafından veya su dağıtıcısı Belediye tarafından izleme çalışmaları gerçekleştirilmekte olup SYGM’ye 4 ayda bir rapor edilmektedir. Bu raporlar yönetmelik çerçevesindeki limit değerler ile mukayese edilmektedir. Hamsu özellikleri dikkate alınarak arıtma tesislerinin revizyon ihtiyacı olup olmadığı belirlenmektedir.

Sağlık Bakanlığı uhdesinde olan ve her ilde bulunan Sağlık Grup Başkanlıkları tarafından, ”İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik” çerçevesinde Türkiye’nin köyleri dâhil tüm yerleşim yerlerinde günde 80.000’den fazla noktada musluk veya depo soyundan alınan numeler ile su analizleri yapılmaktadır. Elde edilen sonuçlar yetkili idareler ile paylaşmakta ve insan sağlığını etkileyecek durumların önüne geçilmesi için acil müdahalelerde bulunmaktadır.

Zengin termal suların olması, hareketli fay hatları üzerinde bulunması ve jeoloji formasyonu olarak yüksek mineral içeriğinden dolayı yeraltı sularının önemli bir kısmının kalitesi düşük olarak gözlemlenmektedir. Ayrıca içmesuyu havzaları üzerinde önceden plansız şekilde yapılaşmanın gerçekleşmesi, içme suyu kaynakları üzerinde ciddi baskı ve etkiler oluşturmakta ve su kalitesinin bozulmasına sebep olmaktadır.

2.3. Türkiye’de İklim Değişikliği ve Kuraklığın Su Kaynakları üzerine etkileri

Uluslararası İklim Değişikliği Paneli`nin (IPCC) Türkiye senaryosunda, ülkede yıllık ortalama sıcaklığın ileriki yıllarda 2,5-4 derece artacağı, Ege ve Doğu Anadolu`da artışın 4 dereceyi bulacağı tahmin edilmektedir. Senaryoda, ülkenin güneyinin ciddi kuraklık tehdidiyle karşı karşı kalacağı, kuzey bölgelerde ise sel riskinin artacağı ifade edilmektedir. Türkiye’de yapılan kuraklık ölçümlerinde ise ülkenin batı bölgelerinde ciddi kuraklık yaşanması tahmin edilmektedir. Akdeniz Havzası iklim değişikliğinin etkilerinin en şiddetli hissedileceği yerlerden biri de Türkiye olarak belirtilmektedir. Yakın gelecekte Akdeniz’deki pek çok nehir havzasının su stresiyle karşı karşıya kalacağı tahmin edilmektedir. Türkiye’de 2030 itibarıyla, iç ve batı bölgelerinde %40ı aşan oranda su stresi yaşanacağı öngörülmektedir. Güneydoğu ve doğu bölgelerinde ise bu oran %20-40 arasındadır (DSİ, 2009).

Su kaynaklarında (baraj, göl, vb.) zamanla azalmalar olması beklenmektedir. 2006-2007 ile 2013-2014 yıllarının 1 Ekim – 01 Mayıs dönemindeki yağışlar kıyaslandığında, Türkiye ortalamasında % 15 yağış azalması gözlenmiştir. Ancak, son yıllarda inşa edilerek işletmeye alınan ilave depolama tesislerinin dahil edilmesi ile depolanan su miktarının geçmiş yıllara göre %15,6 oranında artığı görülmüştür. İçme suyu maksatlı inşa edilen barajlarda doluluk oranı 2007 yılında % 54,4 iken 2014 yılında bu oran % 59,3 olarak gerçekleşmiştir. 2007 yılı Nisan ayında 244 adet depolama tesisinde 141,4 milyar m³ su mevcut iken 2014 yılı Nisan ayında 310 adet depolama tesisinde 155,6 milyar m³ su mevcuttur (OSİB, 2014).

Depolama tesisleri ve toplam kapasitelerinin artmasıyla, ülkemiz genelinde içme suyu kaynakları üzerinde iklim değişikliği ve kuraklığın etkisi en aza indirilmeye çalışılmıştır.

Türkiye’de hali hazırda olduğu gibi yakın havzalardan su transferlerine, yer altı sularının dengeli kullanımına, suyun kullanımında kayıp kaçakların azaltılmasına ve tasarruflu kullanılmasına ya da konvansiyonel olmayan su kaynaklarından faydalanılmasına yönelik iklim değişikliğine uyum politikalarının ve stratejilerinin geliştirilmesi gerekmektedir.

2.4. İçme ve Kullanma Amaçlı Konvansiyonel Olmayan Su Kaynakları

Su kıtlığı dünya nüfusunun yarısını oluşturan 88 adet gelişmekte olan ülkeyi etkilemektedir. Bu ülkelerde hastalıkların %80-90 ve ölümlerin %30'u su kalitesinin uygun olmamasından kaynaklanmaktadır. İklim değişikliği ve kuraklık sebebiyle su kıtlığından etkilenen insan sayısının kısa vadede 4 kat artacağı beklenmektedir (SAND, 2003). Bu durumun tersine çevrilmesi için konvansiyonel olmayan alternatif kaynaklardan su temini önemli hale gelmektedir.

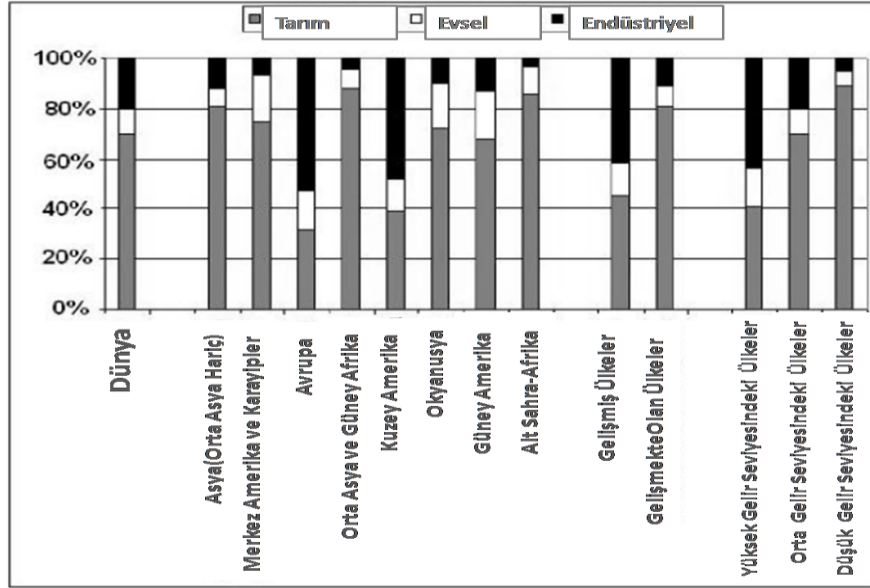
Literatürde su kaynakları, “conventional (konvansiyonel)” ve “non-conventional (konvansiyonel olmayan)” olarak iki kategoride değerlendirilmektedir. Konvansiyonel su kaynakları yersüstü ve yeraltı tatlı su kaynaklarından elde edilmektedir. Konvansiyonel olmayan su kaynakları ise; deniz suyu, tuzlu ve konvansiyonel yöntemler ile arıtılmayan acı yer altısuları, arıtılmış atıksular, yağmur hasatı suyu ve buz dağları olarak sıralanmaktadır. Konvansiyonel su kaynaklarının yetersiz kaldığı durumlarda konvansiyonel olmayan su kaynakları yaygın olarak kullanılmaktadır.

Son yıllardaki kuraklık ve iklim değişikliği etkenleri ile kullanılabilir su bütçesi açığına engel olunması amacıyla konvansiyonel olmayan su kaynaklarının kullanılması gerekliliği kanaatine varılmıştır (EMWIS, 2008). Konvansiyonel olmayan su kaynaklarının konvansiyonel olan kaynaklara göre işlenmesi ve geliştirilmesi çok daha kompleks ve yüksek maliyetlidir (Brewster, 1985).

Son yıllardaki gelişmeler konvansiyonel olmayan kaynakların evsel kullanımlarda **deniz suyunun kullanımını** ön plana çıkarmaktadır. Deniz suyundan tatlı su eldesi aşamalarındaki tuz giderme prosesi diğer konvansiyonel olmayan yöntemlere göre sahil ve ada bölgeleri için insan sağlığı açısından daha kontrol edilebilir ve uygulanabilir (EMWIS, 2008). Bu uygunluk derecesi enerji teminindeki fiyat artışına paralel olarak olumsuz yönde değişebilmektedir.

Konvansiyonel olmayan kaynaklardan bir **arıtılmış atıksuların kullanımınıdır**. Bu sular uygun su kalitesine ulaştırılsa dahi insan sağlığı açısından kontrolündeki risklerden dolayı ağırlıklı olarak tarımsal sulama amaçlı olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca atıksuların içme suyu olarak projelendirilmiş uygulamalarında başarılı

örnekleri bulunmasına rağmen dünyanın farklı bölgelerinde uygulanması planlanan bazı projelerde toplumsal reddetme ile karşılaşmıştır. Bu durum bu tarz projelerin uygulanmasında engel teşkil edebilmektedir. Atıksuların yerleşim yerleri sınırlarında evlerde kullanılmasından öte ağırlıklı olarak rekreasyonel, araç yıkama gibi amaçlar için kullanılmaktadır (Jimenez, 2008). Şekil 2.6 da dünya ölçeğinde atıksuların yeniden kullanım oranları verilmektedir.



Şekil 2.6: Atıksuların Dünya Ölçeğinde Sektörel Bazda Yeniden Kullanımı, 2006-2007 yılları arası. (Jimenez, 2008)

Tuzlu su niteliğinde olan veya deniz suyu girişimine maruz kalan **acı sular diğer bir konvansiyonel olmayan su kaynağıdır**. Arıtımları deniz suyuna nazaran daha kolay ve daha düşük maliyetlidir (Jimenez, 2008). Ayrıca Munoz (2007) tarafından, tuzlu yer altı sularının arıtılması sonucu oluşan çevresel etkinin deniz suyunun arıtılmasına göre %50 daha az olduğu belirtilmiştir.

Dünyada arıtılan deniz suyu, acı yer altı suyu ve arıtılmış atıksu potansiyeli miktarı toplamda yaklaşık 80 milyon m³/gün'dür. Dünyada 120 ülke tuzsulaştırma prosesleri kullanarak tatlı su elde etmektedir. 2004 yılı itibariyle hesaplanan değere göre tuz giderme proseslerinden 30 milyon m³/gün tatlı su elde edilmekte olup bunun 10 milyon m³'ü acı yer altı sularından, 20 milyon m³'ü de deniz suyundan elde edilmektedir (Lattemann, 2010). Yıllık olarak bu değer 11 milyar m³ olarak gerçekleşmektedir. Çevresel etkilerinin ve maliyetinin daha uygun olması göz önünde

bulundurulduğunda deniz suyuna göre acı yer altı sularının kullanılması daha uygun bir çözüm olarak görülmektedir. Ancak yeraltı sularının potansiyelleri sınırlıdır ve aşırı yeraltı suyu çekimi ile kıyı bölgelerinde tuz girişimlerine sebep olabilmektedir (Munoz, 2007). Yeraltı suyuna muhtemel tuzlu su girişimleri, telafisi mümkün olmayan sonuçlara ve yeraltı suyunun iyileştirilmesi amacıyla daha fazla maliyetlere neden olabilir. Bu çerçevede; acı yeraltı sularının deniz suyuna göre kullanımını kıyaslamak için yöreye özgü değerlendirme çalışmaları ile fayda-maliyet analizleri ortaya konmalı ve nihai karar verilmelidir. Bu çalışmada konvansiyonel olmayan bir su kaynağı olan deniz suyu incelenmiştir.

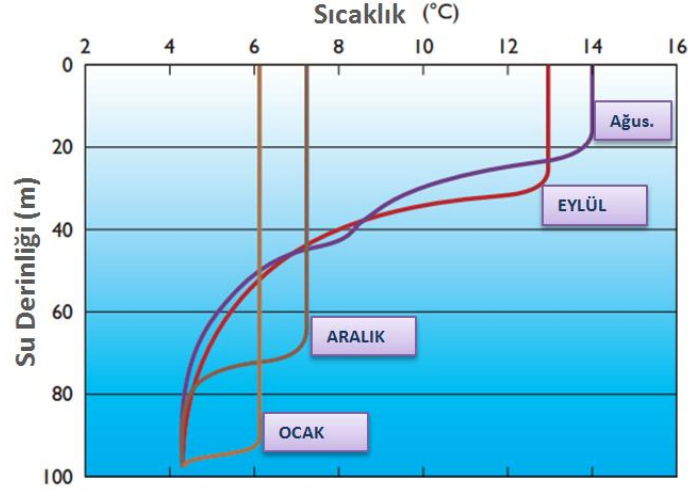
3. DENİZ SUYUNUN ÖZELLİKLERİ

Dünyadaki suların %97'sini oluşturan deniz suyu fiziksel olarak sıcaklık, tuzluluk ve basınç olmak üzere üç bağımsız değişkenin etkisi altındadır. Basınç, derinliğe bağlı olup sıcaklık ısıнын bir ölçüsüdür. Tuzluluk ise, su içerisinde çözülmüş katı maddelerin konsantrasyonunun bir değeri olup genellikle deniz suyunun 1000 gramındaki çözülmüş tuzların gram cinsinden değeri olarak hesaplanmaktadır. Deniz suyunun tuzluluğu geniş kapsamda buharlaşma ve yağış arasındaki farka bağlıdır. Yüksek buharlaşmanın olduğu denizlerde tuzluluk %40'a kadar ulaşmaktadır (F.Aydın, 2012).

Deniz suyu içeriğindeki tüm elementlerin formasyonu, yüzey kabuğundaki elementlerden oluşmakta olup doğada bulunan tüm elementleri içermektedir. Doğal olarak bulunan 92 elementin 81'inin deniz suyunda tespiti ve ölçümü yapılmıştır. EK A'da deniz suyunda bulunan elementler ve çözülmüş halde bulunan formları verilmektedir (E.Brown, 2004).

3.1.Sıcaklık

Denizler ısıyı bünyesinde hapsedtiğinden dolayı yüksek miktarda termal kapasiteye sahiptir. Dünya yüzeyi, denizlerde dâhil bir bütün olarak düşünüldüğünde sıcaklığı tamponlamaktadır. Güneş ışınları deniz yüzeyinden 100 m'ye kadar derinlere iner ve çoğu 10 m'de absorblanır. Suyun çok düşük ısı iletim özelliğinden dolayı oluşan ısıнын denizin derinlerine doğru transferi karışım yoluyla gerçekleşir. Dalgalar, rüzgarlar ve diğer etmenler ile gerçekleşen bu karışım deniz yüzeyinin 200 ila 300 m arasındaki bir derinliğe kadar gerçekleşmekte olup orta enlemlerde kışın daha da derinlerde olabilmektedir. Sıcaklık değişimini Şekil 3.1' de görülmektedir (E.Brown, 2004).



Şekil 3.1: Derinlik ile Sıcaklığın Dönemsel Değişimi[Url-1]

Bu tabakanın altında deniz suyu sıcaklığı 5 °C'ye kadar düşmekte olup daha da derin yerde kademeli olarak 0 ila 3 °C'ye kadar düşmektedir. Orta enlemlerde yazları denizin 10-15 m seviyelerinde de yeni bir sıcaklık tabakası oluşmaktadır.(E.Brown, 2004)

3.2.Tuzluluk

Deniz suyunda tuzluluk, dünya yüzeyindeki kayalarındaki minerallerin çözünmesi ile meydana gelmektedir. Ancak klorürün çözünmesi oldukça düşük miktarlarda olmaktadır. Dünya tarihinin ilk dönemlerindeki volkanik hareketlerden kaynaklanan gaz haldeki HCl'nin deniz sularında çözünmesi ile Cl⁻ miktarı deniz suyunda tuzluluğa etkisi en fazla olan iyon olarak kendini göstermiştir.

Açık denizlerde tuzluluk %3,3 ile %3,7 arasında değişirken, deniz sahanlığı ve bölgesel şartlar göz önüne alındığında bu değer %2,8 ile %4,0 arasında farklılık göstermektedir. Denizlerde ağırlık olarak ortalama tuzluluk %3,5'dir. Deniz suyu haricinde acı ve tuzlu su girişimine maruz kalmış tuzlu sularda bu değer % 2,5'dan küçük, salamura niteliğindeki sularda ise % 4'den yüksektir.

Deniz suyunda tuzluluğa en fazla katkıyı 11 çözülmüş tuz yapmaktadır ve tuzluluğun yaklaşık %99,9'u bu çözülmüş tuzlardan kaynaklanmaktadır. Bu tuzların deniz suyunda ağırlık bazında ortalama bulunma oranları Tablo 2.1'de verilmektedir.

Tablo 3.1 : Deniz suyundaki tuzların ortalama konsantrasyonları

İyon Halindeki Tuz	% Ağırlık	Toplam
Klorür, Cl ⁻	1,8980	Negatif İyonlar: %2,1861
Sülfat, SO ₄ ⁻	0,2649	
Bikarbonat, HCO ₃ ⁻	0,014	
Bromür, Br ⁻	0,0065	
Borat, H ₂ BO ₃ ⁻	0,0026	
Florür, F ⁻	0,0001	
Sodyum, Na ⁺	1,0556	Pozitif Katyonlar: %1,2621
Magnezyum, Mg ⁺²	0,1272	
Kalsiyum, Ca ⁺²	0,04	
Potasyum, K ⁺²	0,038	
Strontiyum, Sr ⁺²	0,0013	
Toplam	%3,4482	

Denizlerin arasındaki tuzluluk farkları buharlaşma ve yağış arasındaki değişiklik ile yüzey ve daha derin seviyelerdeki suyun karşımın kapsamına bağlı olarak değişmektedir. Tuzluluktaki bu değişim iyonlar arasındaki rölatif oranı etkilememektedir. Bu genellemeden hariç olarak kalsiyum ve bikarbonat oranları küçük oranlarda etkilenmektedir. Kalsiyum ve bikarbonat iyonlarının toplam tuzluluğa oranı yüzeydekine göre derinlerde %10-20 daha fazladır. Bu farklılık kalsiyum ve bikarbonat iyonlarının biyolojik proseslere dâhil olmasından kaynaklanmaktadır. Bazı deniz ortamlarında bölgesel olarak iyonik değişim normal olanından çok daha yüksek seviyede farklılık göstermektedir. Örnek olarak kapalı denizlerde, haliçlerde ve daha az seviyede tuzluluk içeren nehirlerden giriş olan diğer deniz ortamları normal ortalama değerlerden daha az seviyede tuz içermektedir (Brown, 2004). Tablo 3.2’de dünya çevresindeki ve Türkiye’deki farklı denizlere ait su kalitesi kimyasal özellikleri verilmektedir.

Tablo 3.2: Dünya çevresindeki ve Türkiye'deki farklı deniz sularının başlıca kimyasal özellikleri

Yer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kompozisyon, ppm										
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	11,544	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

1. Batı Akdeniz (Parkratz, 2004) 2. Caribbean Sea (Pankratz, 2004)
 3. Merkez Pasifik (Pankratz, 2004) 4. Güney Atlantik (Pankratz, 2004)
 5. Arap Körfezi (Pankratz, 2004) 6. Indian Ocean (Pankratz, 2004)
 7. Ajmam, Shallow sahil çekimi (Turkian, 1968) 8. Doğu Akdeniz (Akgül, 2008) 9. Marmara (Akgül, 2008) 10. Karadeniz (Akgül, 2008)

Deniz suyu tuzluluğu derinlikle farklılık göstermekte olup büyük değişim 100 ila 1000 m derinlik arasında meydana gelmektedir. Bu hızlı değişimin gerçekleştiği tabaka haloklin tabakası olarak adlandırılmaktadır ve sıcaklık ile çözünmüş oksijenle ilişkilidir (Brown, 2004).

Tuzluluk, farklı yöntemler ile ölçülebilmektedir. Bazı tuzlarda yapısal değişiklikler meydana geldiğinden Gravimetrik yöntem ile belirlemek oldukça zordur. Genel olarak ölçüm metodu titrasyon ile klorürün tespit edilebilmesine dayanmaktadır. Tespit edilen klorür miktarından aşağıdaki ampirik ifade ile tuzluluğun miktarı belirlenmektedir.

$$S = 1.80655 \text{ Cl}^- \quad (3.1)$$

Tuzluluğu tespitinde elektriksel iletkenlik ölçüm metodu yaygın olarak kullanılmaktadır. Ampirik olarak belirlenmiş formül ile iletkenlik tuzluluğa dönüştürülmektedir. Deniz suyu tuzluluğu iletkenlik oranı (R) olarak belirlenir.

$$R = \frac{\text{Deniz suyu iletkenliği}}{\text{Standart KCl çözeltisi iletkenliği}} \quad (3.2)$$

R değeri 15 °C ve 1 atm basınçtaki şartlarda elde edilerek denklem 3.3'de yerine koyularak tuzluluk hesaplanmaktadır.

$$S = 0.008 - 0.169 2R_{15}^{1/2} + 25.385 1R_{15} + 14.0941 R_{15}^{3/2} - 7.0261 R_{15}^2 + 2.7081 R_{15}^{5/2} \quad (3.3)$$

Pratikte tuzluluğun hesaplanmasında bilgisayar algoritmaları kullanılarak yapılmaktadır (E.Brown, 2004).

3.3.Yoğunluk

Yoğunluk, deniz suyunda tabakalaşmaya ve akıntılarının oluşmasına etki eden önemli bir faktördür. Denize genellikle dipten deşarj edilen atık suların yoğunluğu deniz suyuna göre daha düşük olduğundan yüzeye doğru yükselir ve deniz suyu ile karışarak seyrelir. Bu arada mevcut tabakalaşmaya göre yüzeye çıkarlar yada belli bir derinlikte kalır. Deniz suyunun yoğunluğu; basınca, derinliğe, tuzluluğa ve su sıcaklığına bağlı olarak değişiklik gösterir ve 4 C'deki yoğunluğu 1000 kg/m³ olan saf sudan fazladır. Denizlerde genellikle az yoğun bir üst tabaka ve tabanda yoğun bir alt tabaka mevcuttur. Bu iki tabaka arasında yoğunluğun derinliğe göre hızla değiştiği pinoklin tabakası yer almaktadır (Can, 2002) .

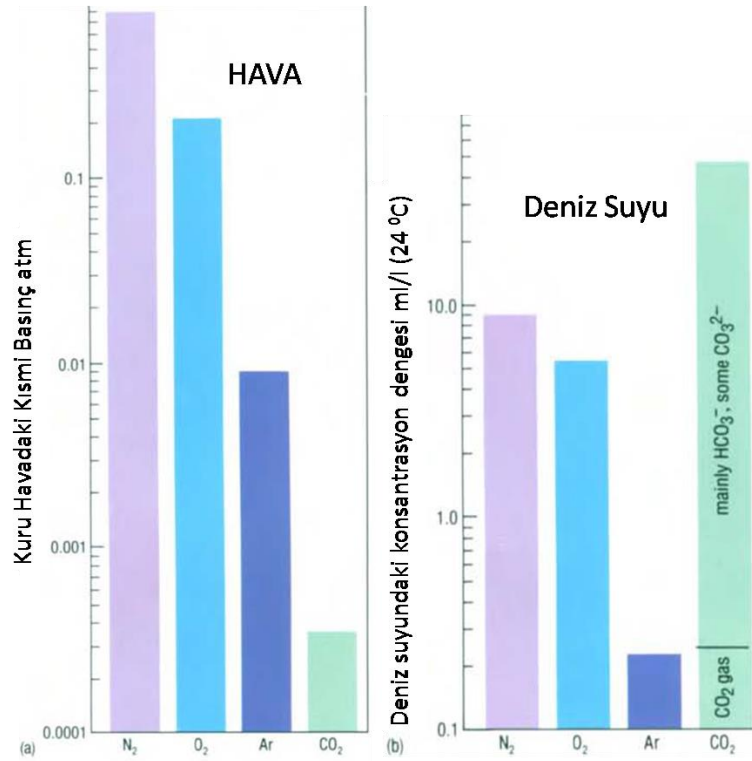
3.4.Partikül Maddeler

Deniz suyu çok geniş ölçekte partikül madde içermektedir. Deniz suyundaki partiküller maddelerin içeriğine nehirlerden taşınan partiküller, tozların rüzgarlar ile taşınımı ve volkanik kül partiküllerinin taşınımı gibi farklı mekanizmalar etki etmektedir. Ayrıca deniz suyunda birincil ve ikincil biyolojik faaliyetlerden dolayı oluşan yapısal kalıntılar, dışkılar, hayvansal döküntüler ve ölü bitkilerden kaynaklanan partiküller mevcuttur. Bu partiküllerin çoğunluğu 100 µm'den büyük olup deniz suyu daha büyük yoğunlukları sebebiyle hızlı bir şekilde çökelirler. Ancak alg hücreleri ve döküntüler gibi 100 µm'den küçük partiküller oldukça yavaş çökerler ve karışımın yüksek olduğu yüzeye yakın yerlerde toplanırlar (Brown, 2004).

3.5.Çözünmüş gazlar

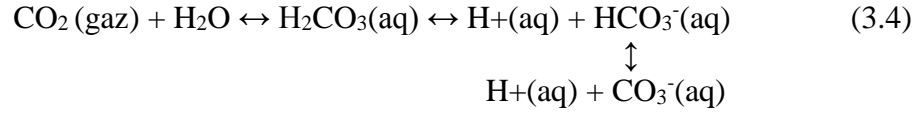
Suda gazların çözünürlüğü, tuzluluk ve sıcaklık ile azalırken basınç ile artmaktadır. Havadaki ve denizdeki gazların içeriği Şekil 3.2'de görülmektedir. Deniz

suyundaki konsantrasyon değerleri hava ile deniz arasındaki yüzeydeki gaz alışverişinin dengede olduğu varsayımı ile elde edilmiştir. Hava ile deniz arasında sürekli bir gaz alışverişi gerçekleşmektedir. Gazların deniz yüzeyinde dağılımı dalgalar, sıcaklık değişimi ve difüzyon gibi mekanizmalar ile sağlanırken derinliklerde difüzyondan daha çok akıntı ve türbülanslar ile dağılımı sağlanmaktadır. Ayrıca biyolojik aktiviteler, oksijen ve karbondioksitin dağılımında önemli rol oynamaktadır (Brown, 2004).



Şekil 3.2: Denizde ve havada ihtiva eden gaz içeriği (Brown, 2004)

Deniz suyundaki çözülmüş gazlar, havadaki gaz oranlarından farklılık göstermektedir. Havada azot ve deniz sularında CO₂ en yüksek oranlarda bulunmaktadır. Basınca bağlı olarak CO₂'nin suda çözünürlüğü artarak karbonik aside dönüşmektedir. Karbonat ve bikarbonata formunda da bulunmaktadır. Denklem 3.4'e göre CO₂'nin suda ki çözünürlüğü 24 °C'de atmosferik basınç altında 0,23 mg/L gibi düşük konsantrasyondadır (Brown , 2004).



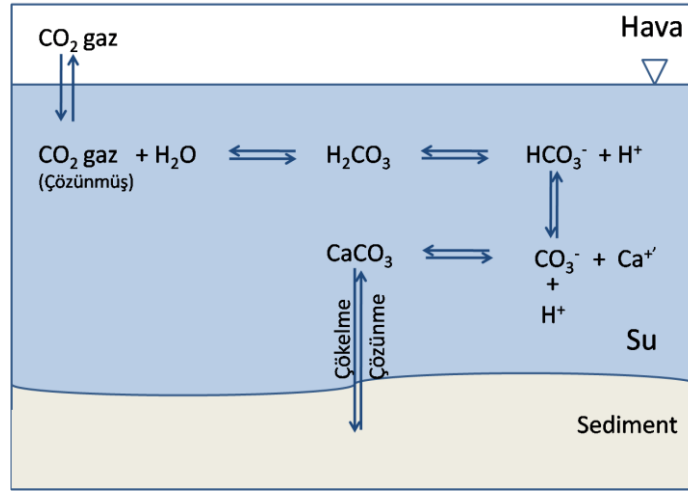
Denizin derin ve yüksek basınçlı yerlerinde CO₂'nin % 2'si çözülmüş gaz formundadır.

Deniz yüzeyi genellikle çözülmüş oksijene doygundur. Özellikle dalgaların oluşturduğu köpükler ile çözünen oksijen, su kolonu içinde dağılır. Oksijen denizdeki organizmalar tarafından kullanılırken aynı zamanda fotosentez yapan (fitoplankton, algler vb.) organizmalar tarafından üretilmektedir. Deniz yüzeyinden aşağıya doğru karışım azalır ve üst kısımlarda oksijen tüketilir. Böylece derinlere inildikçe çözülmüş oksijen konsantrasyonu azalmaktadır. Özellikle 500-1000 m arasında oksijen tüketimi en üst seviyelere kadar çıkmaktadır. 1000 m'den sonra oksijen oranı artmaya başlamaktadır. Oksijendeki bu değişim fosfat ve nitrat içinde geçerlidir.

Karbon monoksit (CO) ve metan (CH₄) deniz suyundaki organik materyallerin biyolojik olarak bozunmasından ortaya çıkmaktadır. Havadaki CO oranı CH₄'den daha az olduğu için CO'nun havaya geçiş akısı CH₄'den daha fazladır (Brown, 2004).

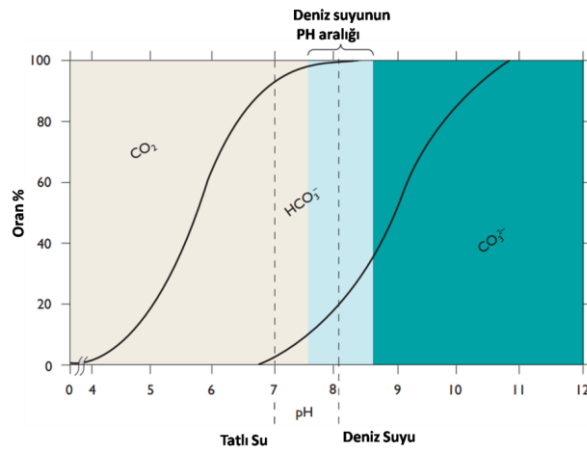
3.6.pH

Doğal mineralizasyon içeriği olan sularda olduğu gibi pH, denklem 3.4'deki CO₂ dönüşüm sistemine bağlıdır. Suyu CO₂ eklendiğinde suyun pH'sı düşürmektedir. Sudaki HCO₃⁻, CO₃²⁻ ve H₂CO₃ oranı suyun pH'sına bağlı olarak değişmektedir. Deniz suyunun normal pH'sı 7.8-8.2 arasındadır. Bu pH değerlerinde suda %88,9 oranında HCO₃⁻ bulunur. CO₃²⁻ ihtiva eden bu bileşiklerin oranındaki her bir değişim, CO₂ dönüşüm sisteminin değişimine sebep olmaktadır. Şekil 3.3'te CO₂ dönüşüm sistemi ifade edilmektedir.



Şekil 3.3: CO₂ dönüşüm sistemi

Sudaki organizmaların çoğu, bazı ekstrem türler hariç olmak üzere, pH'ya duyarlılık göstermektedir. CO₂'in hızlı bir şekilde suda çözünebilme özelliği pH değerinin geniş aralıklarda dalgalanmasını önlemektedir. Bu sebepten dolayı deniz suyu pH'sı 7.5-8.5 arasında tamponlanmaktadır. Sonuç olarak, üretilecek veya tüketilecek H⁺ iyonları deniz suyu pH'sında önemli bir değişime sebep olmamaktadır. Ortamdaki H⁺ iyonlarının artmasıyla azalan pH'dan dolayı denklem 3.4'te verilen denge eşitliği sol tarafa doğru hareket eder ve HCO₃⁻ iyonları H⁺ iyonları ile birleşerek tampon bir çözelti olan H₂CO₃'e dönüşür. H₂CO₃, suyun pH'sını normal seviyelerinde tamponlar. Tam tersi olarak, H⁺ iyonlarının azalmasıyla H₂CO₃ ortama H⁺ iyonu vererek bazik hale gelecek suyu dengelemektedir. İnorganik karbon türlerinin pH'ya bağlı olarak değişimi Şekil 3.4'de verilmektedir.



Şekil 3.4: İnorganik karbon türlerinin PH a bağlı olarak değişimi

Deniz suyunda derinlere inildikçe düşen su sıcaklığı ve artan basınç ile biyolojik solunumdan kaynaklanan CO₂'nin çözünmesini artırmaktadır. Bu sebeple derin sularda pH değeri yüzeye göre daha düşük seviyelerdedir. Gelişen bu asidik şartlar çökelmiş halde bulunan Şekil 2.2'de gösterildiği gibi CaCO₃ katmanında çözülmelere sebep olmaktadır. Ancak bu durum sıcak ve sığ sularda meydana gelmemektedir. CaCO₃ "Karbonat Denge Derinliği (KDD)" olarak ifade edilen bölgenin altında çözünmekte iken üst bölgesinde ise biyolojik yapı elemanı olarak kullanılmaktadır. KDD derinliği deniz suyunun biyolojik aktivitelerine ve inorganik karbon yapılarına bağlı olarak değişmektedir. Yüzey bölgelerde CaCO₃ doymun halde olup çok nadir olarak Mg⁺² girişiminden dolayı çökelebilmektedir (Brown, 2004).

4. DENİZ SUYUNDAN TATLI SU ELDESİ

4.1. Deniz Suyu Tuz giderme Prosesleri

4.1.1. Buharlaştırma prosesleri

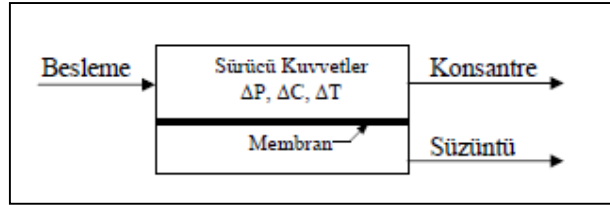
Suyun (gaz ya da katı) hal değişimi özelliğini kullanarak değişen fazını ayırmak için termal araç kullanılan proseslerdir. Amaç, fiziksel olarak tuz çözeltisinden suyu buharlaştırarak ayırmak ve daha sonra tekrar sıvı forma dönüştürerek toplamaktır. Bu sistemler için termal enerji ya da güneş enerjisi kullanılmaktadır. 80'lerden önce damıtma tuz gidermesi (buharlaştırma) deniz suyu arıtımı için en popüler yöntem olmuştur. Termal kısmına ek olarak damıtma prosesleri sık sık daha düşük sıcaklıklarda da buharlaştırmayı arttırmak için vakum uygulamasıyla birleştirilmiştir (Aydın, 2012). Bu prosesler genel olarak tuzluluğu 45.000 mg/L üzerinde olan deniz sularının arıtılmasında tercih edilmektedir. Bu sebepten dolayı körfez ülkelerinde kullanımı yaygındır. Deniz suyu arıtımında uygulanan damıtma prosesleri;

- Çok işlemlili damıtma (*multiple-effect distillation*)
- Çok kademeli şok damıtma (*multi-stage flash distillation*)
- Mekanik buhar sıkıştırma (*mechanical vapour compression*)
- Güneşle damıtma (*solar distillation*) olarak sıralanmaktadır.

Elde edilen su saf su niteliğine yakın düzeylere gelmektedir. İşletme maliyetleri oldukça yüksektir. Bu sebepten dolayı gelir seviyesi yüksek olan ülkelerde kullanılmaktadır. Ayrıca çevresel etkileri çok fazladır. Beraberinde kurulan güç üniteleri emisyon kirliliğine sebep olmaktadır. Tesisten çıkan konsantre içeriğinin yüksek sıcaklığı, tesis proses ve ekipmanlarından kaynaklanan bakır, nikel, kobalt vb. parametreler oldukça yüksek seviyelerdedir.

4.1.2. Membran prosesler

Membran, karışım halindeki maddelerin iki ayrı faza ayrılmasında seçici bariyer rolü oynayan bir tabakadır. Bu tabaka sayesinde çözünmüş ve partiküler maddeler, membran besleme akımından ayrılmaktadır. Bunun sonucunda besleme akımı, süzüntü ve konsantre akım olmak üzere iki ayrı akım halinde membrandan çıkmaktadır. Membran tabakasından süzülerek geçen süzüntü, kirleticilerin yoğunlaştığı ve membrandan geçemeyen kısım ise konsantre akım olarak adlandırılmaktadır. Besleme akımının iki ayrı akıma ayrılmasında, sürücü kuvvetler (ΔP , ΔC , ΔT , ΔE) etkin rol oynamaktadır. Bu kuvvetler sayesinde membran yüzeyinde taşıma mekanizması aktivite kazanmakta ve membran yüzeyinden diğer tarafa besleme akımının süzülebilir kısmı geçerek süzüntü akımını oluşturmaktadır.



Şekil 4.1: Membran proseslerle ayırma işleminin şematik gösterimi

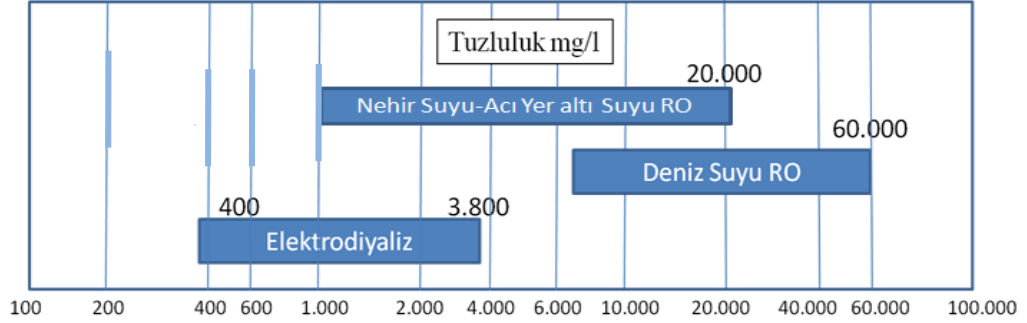
Membranlar özelliklerine göre farklı şekillerde sınıflandırılmaktadır. Yapılarına göre doğal veya sentetik, organik veya inorganik, boşluklu veya boşluksuz, simetrik veya asimetrik, gözenekli ve gözeneksiz olarak gruplandırılmaktadır. Farklı organik ve inorganik malzemelerden membranlar üretilmektedir (Çakmakçı , 2013).

Farklı boyutlardaki moleküllerin filtrasyon mekanizması üzerinde tutulması farklı gözenek çaplarındaki membranlarda gerçekleşmektedir. Tablo 4.1'de farklı gözenek çaplarındaki membran türlerindeki ayrımı sağlayan içerikler ve membran prosesleri genel karakterleri verilmektedir.

Tablo 4.1: Membran Prosesleri Genel Karakterleri (Metcalf&Eddy, 2004)

Membran Prosesi	Membran Sürücü Kuvveti	Uygulamam Gözenek Çapı	Uygulama Aralığı μm	İşletme Aralığı Basınç (bar)	Akı Oranları (lt/m ² *saat)	Süzüntü İçeriği	Giderilen İçerik	Membrane Özellikleri	
Mikrofiltrasyon	Hidrostatik Basınç farklılığı veya açık kanalda vakum	>50 nm	0,08-2,0	0,1-2	18,9- 66,6	Su+Çözünmüş katılar	AKM, Bulanıklık, Protozoa oocysts, cyts, bazı bakteriler ve virüsler	Polipropilen, akrilonitril, naylon, politetraflorürü etilen	Spiral sargılı, hollow fiber, levha tipi
Ultrafiltrasyon	Hidrostatik Basınç farklılığı	2-50 nm	0,005-0,2	1-5	16,9-34	Su+küçük moleküller	Makromoleküller, colloids, birçok bakteri, bazı virüsler, proteinler	Selüloz asetat, aromatik poliamids	Spiral sargılı, hollow fiber, levha tipi
Nanofiltrasyon	Hidrostatik Basınç farklılığı	<2 nm	0,001-0,01	5-30	8,3-34	Su+çok küçük moleküller ve iyonik çözünmüşler	Küçük moleküller, sertliğin bir kısmı, virüsler	Selüloz asetat, aromatik poliamids	Spiral sargılı, hollow fiber,
Ters Osmoz	Hidrostatik Basınç farklılığı	<2 nm	0,0001-0,001	20-100	13,3-20,41	Su+çok küçük moleküller ve iyonik çözünmüşler	Çok küçük moleküller, renk, sertlik, sülfatlar, nitrat, sodyum, diğer iyonlar	Selüloz asetat, aromatik poliamids	Spiral sargılı, hollow fiber, ince film kompozit
Diyaliz	Konsantrasyon farkı	2-50 nm	-	-	-	Su+Küçük Moleküller	Makromoleküller, kolloidler, bir çok bakteri, bazı virüsler, proteinler	-	-
Elektrodiyaliz	Elektromotiv güç	<2 nm	-	-	-	Su+İyonik çözünmüşler	İyonik halde çözünmüş tuzlar	-	-

Ters osmoz; yüksek tuzluluk, zengin mineralizasyon, çözünmüş madde ve organik madde içeriği yüksek olan deniz suyunun tuzsuzlaştırılmasında yaygın kullanılan membran uygulamasıdır.



Şekil 4.2: Tuzluluğa bağlı değişen membran uygulamaları (Moch, 1998)

Şekil 4.2’de deniz suyu uygulamalarında tuz konsantrasyonuna bağlı olarak RO metodunun uygulanmasının uygunluğu görülmektedir. Tuzluluğu 45.000 mg/L ve altında olan sularda RO uygulaması dünya ölçeğinde kullanılmaktadır. 45.000 mg/L’den yüksek tuzluluk değerlerinde RO ile ekonomik ve uygulanabilir sonuçlar alınamamaktadır. Bu çalışmada deniz suyu ters osmoz (SWRO) membran uygulamaları incelenmiştir.

4.2.Tarihsel Gelişimi

Gemilerde 17. ve 19. yüzyıllar arasında deniz suyu basit yöntemlerle distile edilerek içme ve kullanma suyu temin edilmekteydi. 1928 yılında Curaça (Hollanda Antilleri) Adası’nda, 1930’ların başında Mısır’da ve 1938’de Suudi Arabistan’da denizden tatlı su elde edilen tesisler kurulmuştur (Lattemann, 2010; El-Dessouky, 2002). Bu tesisler doğadaki buharlaşmayı taklit eden bir prosesle dizayn edilmiştir. Petrol endüstrisindeki gelişmeye paralel olarak 1929’dan 1937’ye artış yaşanmış, takip eden yıllarda 1935’den 1960’a kadar toplam kapasitede yıllık ortalama %17 olarak logaritmik artış yaşanmıştır (Bremere, 2001).

Ortadoğu’da ilk yapılan geniş ölçekli distilasyon tesislerinde prosesdeki ısı transfer yüzeyleri, yapı elemanları ve korozyon üzerine çalışmalar yapılmıştır. Çoklu etkili ani distilasyon (*Multi Effect Distillation- MED*) prosesi şeker ve tuz üretiminde uzun yıllardır kullanılmaktadır. İlk uygulanan tuz giderme tesislerinde kullanılan

MED prosesi, 1960'larda geliştirilen, tortu katmanı oluşumuna karşı dirençli çok etkili damıtma (*Multi Stage Flash-MSF*) prosesine yerini bırakmıştır. 1980'lerde daha düşük sıcaklıklarda ve enerji ihtiyacında işletilebilmesi sebebiyle MSF prosesine ilgi artmıştır (Lattemann, 2010).

Distilasyon proseslerinin gelişim sürecinde 1950'de Kuveyt Oil Company tarafından 450 m³/günlük ilk geniş ölçekli tesis kurulmuştur (Delyannis, 2010). 1959 yılından itibaren proste tortulaşmanın engellenmesi için suyunun tuzsuzlaştırılması sırasında antiseptik kullanıma geçilmiştir. Distilasyon tesisinde kullanılan polifosfat içerikli antisikalantlar su sıcaklığının 95 °C'nin üstüne çıkartarak tesisin işletme kapasitelerini 200-600 saatten 8000 saate kadar yükseltmiştir. 1960'larda; MSF kapasitesi dünyada günlük 25.000 m³'e kadar artmıştır. Aynı yıllarda 6000 m³/gün kapasiteli dünyanın en büyük distilasyon tesisi Manş Adaları'nda kurulmuştur. Balon tesisi temizliği, antisikalant eklenmesi gibi işlemler online olarak yapılmaya başlanmış ve kojenerasyon tesisi inşasına geçilmiştir. İşletme maliyetini % 50'ye düşüren kojenerasyon tesislerini işletmeye almaya başlamışlardır (El-Dessouky, 2002). Ortadoğu'daki ülkelerde petrol krizinden dolayı büyük ölçekteki tuz giderme tesislerinin enerji gereksinimini karşılamak için güneş enerjisinden elektrik üreten tesisler kurulmuştur (Belessiotis, 2000). 1970'lerde; elde edilen deneyimler ile tesis inşası, yönetilmesi, kimyasal arıtımı, korozyon önlenmesi ve kontrolü hakkındaki tanımlar ortaya konulmuştur. 1970'lerde MSF tesislerinin yapımında önemli bir güç olarak Japon üreticiler pazarda kendini göstermiştir. 1990'ların başında yapılan çalışmalar neticesinde polifosfat yerine polimer antisikalantlar kullanılmaya başlanmış ve su sıcaklığı 110 °C'ye çıkarılarak arıtım verimleri yükseltilmiştir 1980'de; düşük sıcaklıklı buhar sıkıştırımlı ünitelerin dizaynı yapılmıştır ve işletmeye alınmaya başlanmıştır. 1990'larda düşük sıcaklıklı tek ve çoklu etkili buharlaştırma (Single and Multiple Effect Evaporation-MEE) tesislerinin dizaynı ve işletmesi gerçekleştirilmiştir. 1990'ların ortalarında büyük kapasiteli MSF ve MEE tesisler inşa edilmiştir. 2000'lerde yüksek performanslı MSF tesisleri kurulmuş ve işletilmiştir (El-Dessouky, 2002).

17.yüzyıldan günümüze kadar hakkında çalışmalar yürütülen membranların tuzsuzlaştırılmada kullanılması, 1950 yılında pratikte uygulaması çok zor ve akısı

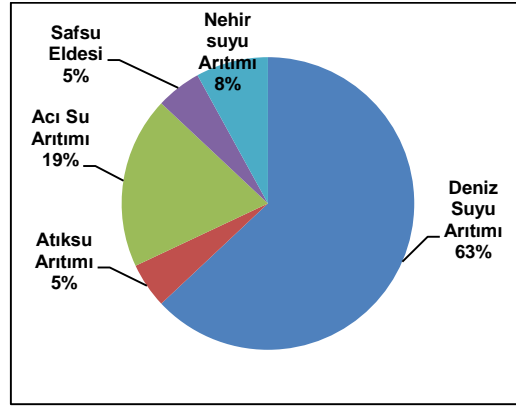
oldukça düşük seviyelerde olan selüloz asetat membranların bulunmasıyla gündeme gelmiştir. 1960 yılında asimetrik selüloz membranların geliştirilmesiyle daha yüksek akı seviyesine sahip membranlar üretilmiştir. Bu gelişme membranları uygulanabilir hale getirmiştir (Williams, 2003). Membran proseslerinin ticari düzeyde gelişim süreçlerinde 1960' da selüloz asetat spiral sargılı membranlar kullanılmaya başlandı (El-Dessouky, 2002). 1960'ların başında sürücü kuvveti elektrik potansiyeli olan ve iyonları ayıran elektrodiyliz (ED) prosesleri kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle Amerika'da acı suların tuzsuzlaştırılmasında ED kullanılmıştır (Buros, 1999). 1963'te Kaliforniya Üniversitesi'nden Loeb ve Sourirajan yüksek tuz giderimi sağlayan asimetrik selüloz membranları geliştirmiştir (Wilf, 2007). 1970'lerde Ters Osmoz sistemleri kullanılmaya başlanmıştır (Buros, 1999). 1973'ün sonunda *Dupont*, tek geçişte deniz suyunu artıtabilen asimetrik ısıya dayanıklı ve güçlü bir sentetik lif türü olan aramid fiber *Permaseb B-10 permeator* model membranlarını piyasaya sürmüştür. 1970'lerin ortasında Dow Chemical Company tarafından selüloz triasetat hollow (boşluklu) fiber membranlar ticarileştirmiştir. Aynı zaman aralığında *Fluid Systems* and *FilmTec* firmaları spiral sargılı poliamid ince film kompozit membranları üretmiş ve ticarileştirmiştir. 1980 yılları süresince bu membranların geliştirilmesine yönelik olarak çalışmalar yapılmıştır. Günümüzde aramitler, poliamid ve selüloz asetat/triasetat membranlar üretilmekte ve spiral sargılı ve hollow fiber konfigürasyonlarında kullanılmaktadır (El-Dessouky, 2002).

Tarihsel gelişime bakıldığında Membran teknolojilerinin en önemli özelliklerinden biri sürekli geliştirilmesidir. Membran teknolojisindeki gelişme ile 1980 yılından günümüze bir membrandan elde edilen süzüntü suyu miktarı üç misli artmıştır. Aynı zaman diliminde, bir membranın üretim maliyeti ise %90 oranında azalmıştır. Bu verilerle beraber, 1980 yılında kurulan bir ters osmoz tesisinin yatırım maliyeti ile bugün 30 kat daha fazla süzüntü suyu elde edilebilir tesis kurmak mümkündür (Torunoğlu, 2010).

4.3.Global Kapasite

Dünyada kurulu tuz giderme kapasitesi hızlı bir şekilde büyümekte olup 2006 yılı sonu itibariyle deniz sularından, acı sulardan, atıksulardan ve nehir sularından

dünyada günde 44.1 milyon m³ içme ve kullanma suyu üretilirken 2011 yılı itibariyle bu değer 66.5 milyon m³'e ulaşmıştır (GWI, 2011) . Dünyadaki kurulu kapasite son yıllarda yıllık olarak %12 lik bir artışla büyüme göstermektedir. 2015 yılı itibariyle günlük kapasitenin 98 milyon m³/gün olması öngörülmektedir. GWI tarafından 2013 yılında yayınlanan envantere göre global kapasite günlük 80.9 milyon m³ olarak gerçekleşmiş olup 300 milyondan fazla insanın su ihtiyacı karşılanmaktadır [Url-4]. Gelecekte tuz giderme proseslerinde su kaynağı olarak deniz suyu arıtımının ön plana çıkması beklenmektedir. GWI tarafından 2007 yılında yayınlanan rapora göre tüm tuz giderme proseslerinde kullanılan su kaynakları oranı deniz suyu %63, atıksular %5 ve acı sular %19'luk kısmı oluşturmaktadır.



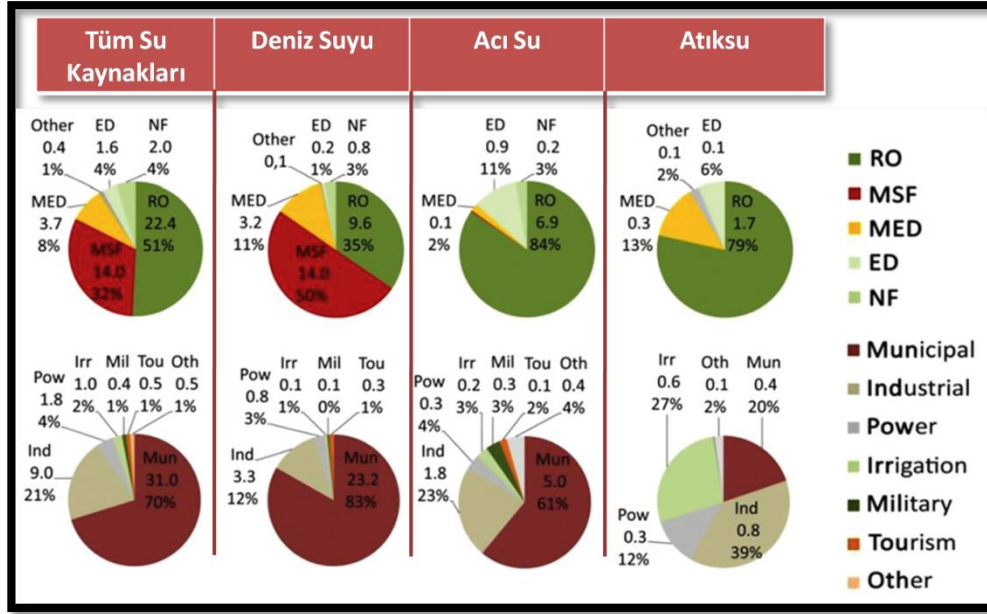
Şekil 4.3: Kaynak bazında global ölçekte tuz giderme prosesleri kullanım oranları (S. Lattemann, 2010)

Şekil 4.3'den de görüldüğü üzere tuz giderme proseslerinde elde edilen tatlı suyun %83'ü evsel (içme ve kullanma), % 21'i sanayi, %4 enerji üretimi, %2 sulama, %1 askeri ve %1 turizm amaçlı olarak kullanılmaktadır.

Dünyada tuz giderme proseslerinden üretilen sular farklı yöntemler ile elde edilmektedir. Global ölçekte tuzsuzlaştırma kapasitesinin %51'i ters osmoz (RO) membranı, %45'i termal distilasyon yöntemleri (MED ve MSF) ve % 4'ü ise nanofiltrasyon membranı (NF) ve elektrodializ (ED) ile üretilmektedir.

Deniz suyunu ham su olarak kullanan tuz giderme proseslerinde toplam kapasitenin %61'i termal distilasyon yöntemi ile %35'i ise RO yöntemi ile üretilmektedir. Ancak tam tersi olarak acı suların %84'ü, atıksuların ise %79'u RO ile arıtılmaktadır. Acı suların ve atıksuların tuzsuzlaştırılmasında distilasyon prosesleri

sırasıyla < %2 ve %13'lük potansiyele sahiptir. Şekil 3.3'de su ve proses türü bazındaki tuz giderme potansiyeli özetlenmiştir.



Şekil 4.4: Su kullanımı ve proses bazında tuz giderme potansiyeli dağılımı (Lattemann, 2010)

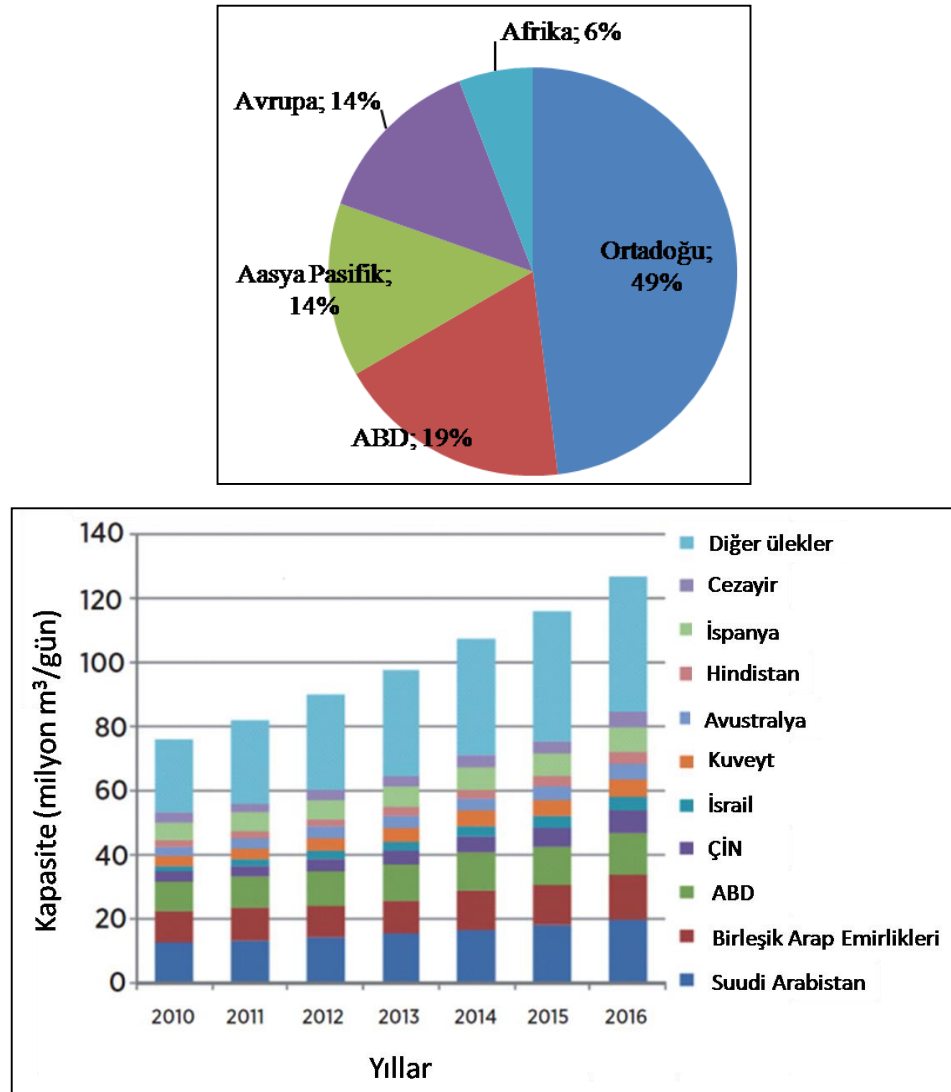
Global ölçekteki tuzsuzlaştırılmış suyun %49'u, kapasitesi 50.000 m³/gün'den büyük ölçekteki tesislerden temin edilmektedir. Tuzsuzlaştırılmış deniz suyunun %66'sı 122 adet tesiste üretilmektedir. 50.000 m³/gün-10.000 m³/gün ve 10.000 m³/gün-1.000 m³/gün kapasiteli tesisler, dünyadaki tuzsuzlaştırılan suların sırasıyla %25 ve %22'sini üretmektedir. Bu tesisler ile deniz suyu tuzsuzlaştırma kapasitesinin sırasıyla %19 ve %13'ü gerçekleştirilmektedir. <1000 m³/gün kapasitedeli 1660 adet tesis tuzsuzlaştırma kapasitesinin %2'sini üretmektedir.

Tuzsuzlaştırılmış suyun önemli kısmı büyük ölçekli tesislerde üretilmektedir. Büyük ölçekli tesislerde termal distilasyon prosesleri özellikle Ortadoğu ülkelerinde tercih edilmekte olup günlük 1,6 milyon m³/gün'e kadar kurulu kapasiteli tesisler mevcuttur. Ortadoğu ülkelerinin dışındaki ülkelerde deniz suyu RO prosesi kullanımı ağırlıktadır. RO proseslerinin %59'u küçük ölçekli (<1000 m³/gün) olup üretilen suyun %5'ini oluşturmaktadır. %2 oranındaki 42 adet büyük ölçekli RO tesisleri toplam kapasitenin %45'ini üretmektedir (Lattemann, 2010).

2011 yılında International Desalination Association (IDA) Dünya Kongresi sonuç bildirgesinde 2011 yılı itibariyle dünyada kurulu 15.988 tuz giderme tesisi

bulunduğu ve 150 ülkede 300 milyon insanın su ihtiyacı bu tesislerinden karşılandığı rapor edilmiştir.

Dünyanın % 49'luk kapasitesini Ortadoğu ülkeleri oluşturmaktadır olup ağırlıklı olarak Körfez ülkelerinde bulunmaktadır. % 19'luk kapasitesi ise Amerika kıtasında, % 14'ü Asya-Pasifik bölgesinde, % 14'ü Avrupa'da ve %6'sı ise Afrika'dadır (Lattemann, 2010). Şekil 4.5'de global ölçekte bölgelere ve ülkelere ait tuz giderme potansiyelleri verilmektedir.



Şekil 4.5: Bölgeler ve ülkeler temelinde tuz giderme kapasiteleri (Lattemann, 2010; Zotalis, 2014)

4.3.1. Suudi Arabistan

Suudi Arabistan dünyanın en büyük deniz suyundan tatlı su üreten ülkesidir. Yüzeysel su kaynakları mevcut olmayıp ileri derecede su kıtlığı çeken bir ülkedir ve kişi başına düşen su miktarı 282 m³/yıl'dır. Yalnızca ani taşkın oluşturan suların toplanmasıyla tarımsal sulama amaçlı inşa edilen barajlarda su potansiyeli mevcuttur. Evsel amaçlı kullanımda doğal su kaynağı olarak yalnızca yeraltı suları kullanılmaktadır (Ouda, 2013). Yıllık olarak 240 milyon m³/yıl arıtılmış evsel atıksu peyzaj ve **sulama** suyu olarak kullanılmaktadır.

Yıllık olarak 300.000 varil petrol tüketimi ile 2,07 milyar m³ deniz suyundan tatlı su eldesi gerçekleştirilmektedir. Günlük olarak 3.300.000 m³ tatlı su eldesine karşılık gelmekte olup global ölçekteki deniz suyundan üretilen tatlı suyun % 18'ine tekabül etmektedir. 2025 yılında 5.200.000 m³/gün suyun, deniz suyundan karşılanması planlanmaktadır (Ouda, 2012). Proses olarak % 14 RO ve % 86 termal (%75 MSF-%11 MED) yöntemleri kullanılmaktadır. Ülkede önümüzdeki yıllarda tuz giderme tesisleri için toplamda 18 milyar dolarlık yatırım yapılması öngörülmektedir [Ur1-6]. Dünyadaki en büyük bütçeli (7.2 milyar dolar) ve günlük 1.25 milyon m³/gün kapasiteli deniz suyundan tatlı su eldesi tesisinin kurulması planlanmaktadır.

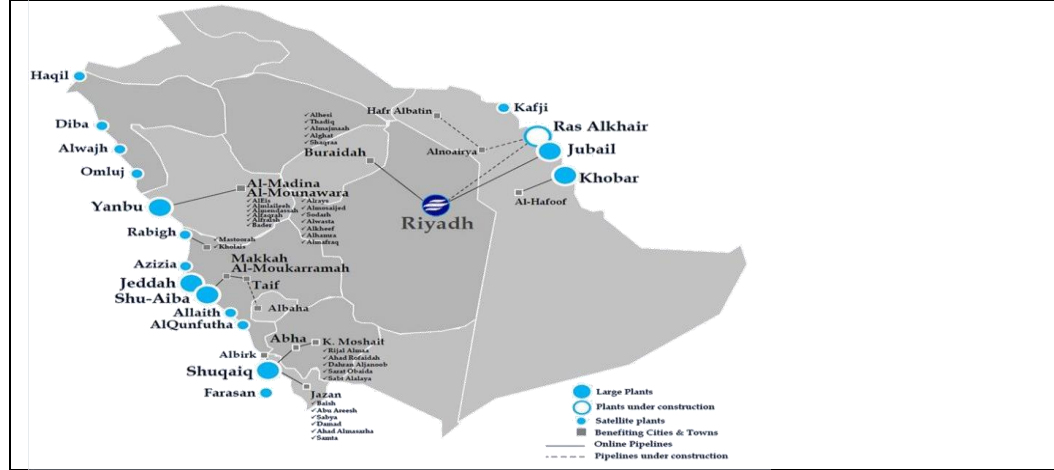
Kurulu enerji kapasitesi ülkedeki toplam enerji kapasitesinin %10'una tekabül eden 5.114 MW'lık olan 28 adet deniz suyundan tatlı eldesi tesisi ile ülke nüfusunun %53'ünün su ihtiyacı karşılanmaktadır (Alarifi, 2013). Ülkedeki mevcut tesisler ve kapasiteleri Tablo 4.2 'de verilmektedir.

Tablo 4.2: Suudi Arabistan'daki Tesisler (Alarifi, 2013; Url-6)

no	Bölgesi	Tesis Adı	Kapasite (m ³ /gün)	Kurulu Kapasite (MW)	Teknoloji Türü
1	Alwajih	Alwajih (3)	9,000	-	(MED)
2	Khafji	Khafji (2)	22,886	11	(MSF)
3	Umlujj	Umlujj (2)	4,400	-	(RO)
4		Umlujj (3)	9,000	-	(MED)
5	Farasan	Farasan (2)	9,000	-	(MED)
6	Rabigh	Rabigh (2)	18,000	-	(MED)
7	Duba	Duba (3)	4,400	-	(RO)
8	ALBirk	ALBirk	2,270	-	(MSF)
9	ALAzizih	ALAzizih	4,500	-	(MED)
10	Haql	Haql	4,400	-	(RO)
11	ALQunfutha	ALQunfutha	9,000	-	(MED)
12	ALLith	ALLith	9,000	-	(MED)
13	Khobar	Khobar (2)	223,000	710	(MSF)
14		Khobar (3)	280,000	479	(MSF)
15	Jubail	Jubail (1)	137,729	360	(MSF)
16		Jubail (2)	947,890	1225	(MSF)
17		Jubail (RO)	90,909	-	(RO)
18	Yanbu	Yanbu (1)	108,074	357	(MSF)
19		Yanbu (2)	144,000	150	(MSF)
20		Yanbu (RO)	128,182	-	(RO)
21	Jeddah	Jeddah (3)	88,357	256	(MSF)
22		Jeddah (4)	221,575	590	(MSF)
23		Jeddah (RO1)	56,800	-	(RO)
24		Jeddah (RO2)	56,800	-	(RO)
25		Jeddah (RO3)	240,000	-	(RO)
26	Shoaiba	Shoaiba (1)	223,000	263	(MSF)
27		Shoaiba (2)	454,545	520	(MSF)
28	Shoqaiq	Shoqaiq	97,014	108	(MSF)

Yapım Aşamasında

1	Ras Al Khair	Ras Al Khair	1.025.000	2400	MSF+RO
2	Yanbu	Yanbu	550,000	2500	RO



Bu tesislerin 20'si Suudi Arabistan Krallığına bağlı 1974 yılında kurulmuş olan SWCC (*Saline Water Conversion Cooperation*) kurumu tarafından işletilmektedir. Bu kurum tuz giderme konuları ile alakalı olan tek yetkili otoritedir. Diğer tesisler ise özel sektör tarafından işletilmektedir (Ouda, 2013).

Suudi Arabistan Krallığı Hükümeti tarafından su maliyetlerinin %95’lik kısmı sübvansede edilmektedir. Devletin sübvansede ettiği bedel yıllık yaklaşık 4.5 milyar \$’dır. Ancak bu su sübvansede politikası devlet bütçesinde çok büyük bir yüke sebebiyet vermektedir. Bu durumun önüne geçilebilmesi için yeni bir fiyatlandırma politikasına gidilmesi amaçlanmaktadır. Bu politika çerçevesinde 1 m³ su tüketimi için mevcut 0.027 \$ olan bedelin 1,3 \$’a artırılması amaçlanmaktadır. Ülke genelindeki tesislerde su üretim maliyeti ortalama 0.73 \$/m³ olarak gerçekleşmektedir. Tesislerde kullanılan enerjinin eldesinde petrol kaynaklı yakıtlar kullanıldığından dolayı üretim maliyetleri petrol fiyatlarına bağlı olarak değişmektedir. Son yıllarda petrolün varil fiyatlarındaki değişkenlikten dolayı 1 m³ suyun arıtma maliyetinde artış görülmüştür. Ayrıca su fiyatı maliyetlerine ortalama olarak 0,30 \$/m³ iletim maliyetleri eklenmektedir (Ouda, 2013).

4.3.2. İsrail

Tuz giderme konusunda teknoloji üreten bir ülke olan İsrail, sahip olduğu ileri teknolojik arıtma sistemleri ile ön plana çıkmaktadır. Dünyanın farklı bölgelerinde 400’den fazla tesisin inşasını gerçekleştirmiş bir ülkedir. Ülke bulunduğu coğrafik koşulların doğası gereği aşırı kurak iklim kuşağındadır. Kişi başına düşen su miktarı 289,1 m³/yıl ile aşırı su kıtlığı çeken bir ülkedir. Ülkede bulunan doğal tatlı su kaynaklarının (yer altı ve yerüstü) toplam yenilenebilir potansiyeli 1.17 milyar m³/yıl’dır (Kislev, 2011). Ancak ülkedeki toplam su talebi 2 milyar m³/yıl’ın üstündedir. İçme suyu talebi ise 1,2 milyar m³/yıl civarlarındadır (Fixler, 2011). Ülkenin doğal tatlı su kaynakları yalnızca miktar olarak değil aynı zamanda kalite açısından kötüleşmektedir. Özellikle yer altı sularındaki fazla çekimden dolayı meydana gelen düşüşlerden, tuz giderme proseslerine yönelik olarak doğal kaynaklarının korunması ve su talebinin sağlanması adına yatırımlar gerçekleştirilmektedir (Kislev, 2011). İsrail için tuz giderme proseslerinin kullanımı kaçınılmaz bir gerçektir.

Ülke’ de yaşanan kısa süreli kuraklıklar tuz gidermeye yönelik yatırımları kısa süre zarfında hızlandırmıştır (Tenne, 2010). 2000 yılında 50 milyon m³/yıl üretim bulunurken 2013’te bu rakam 540 milyon m³/yıl gibi oldukça yüksek bir potansiyele çıkarılmıştır. Ülkede tuzsuzlaştırmada ağırlıklı olarak deniz suyu kullanılmaktadır.

Çok az miktardaki bir potansiyelde acı yeraltı suları arıtılmaktadır. Mevcut tesislerin tümünde RO kullanılmaktadır. Ülkede büyük ölçekli 5 SWRO tesisi bulunmakta olup Tablo 4.3' de verilmektedir.

Tablo 4.3: İsrail'de Bulunan SWRO Tesisleri (Spiritos, 2013)

No	Tesis Adı	Kapasite (m ³ /gün)	Teknoloji Türü
1	Ashkelon	326.000	RO
2	Palmachim	82.000	RO
3	Hadera	348.000	RO
4	Sorek	410.000	RO
5	Ashdod	274.000	RO



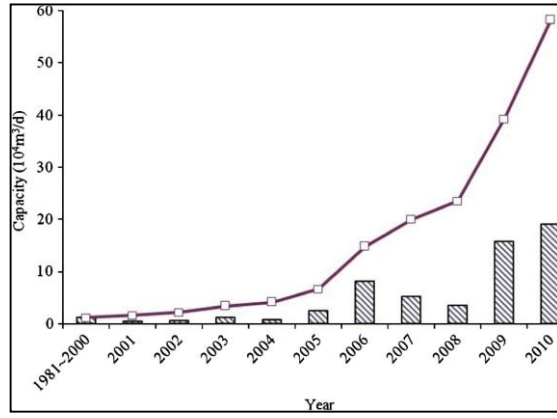
Tuz giderme tesislerinin de kullanılan elektrik enerjisi ülkedeki kullanılan toplam elektrik enerjisinin %6'sına tekabül etmektedir. Enerji ağırlıklı olarak doğalgazdan elde edilmektedir. SWRO tesislerinde üretilen içme suyunun satış fiyatı KDV hariç 3,5 \$/m³'dür (Spiritos, 2013). Son zamanlarda İsrail'de çevresel kriterlerde kısıtlamaya gidildiğinden su maliyetleri artmaktadır ve bu sebeple su fiyatlarında da artış beklenmektedir (Gouffer, 2013).

4.3.3. Çin

Çin'de tuz giderme prosesleri ile ilgili araştırma çalışmaları 60 yıl önce başlamıştır. 1984 yılında ilk olarak "Institute of Seawater Desalination and Multipurpose Utilization" kurumu kurulmuş ve ülkenin bu konudaki teknik altyapısı için çalışmalar yapmıştır. Çin'de su ihtiyacı olan bölgelere, uzak bölgelerden yapılan su transferlerinin yetersiz olmasından dolayı deniz suyundan içme suyu amaçlı faydalanılmasına geçiş yapılmıştır. Çin'de kişi başına düşen su miktarı Falkenmark indeksine göre 1915 m³'dür.

Ülkenin kıyı bölgelerinde Çin nüfusunun %43'ü yaşamaktadır. Aynı zamanda Dünya nüfusunun yaklaşık %10'u Çin'in kıyı bölgelerinde yaşamaktadır. Sahil kesimindeki nüfus yoğunluğu ve endüstriyel artış, bu bölgeleri su stresi altına sokmuştur. Sahil bölgelerindeki su miktarı tüm ülkedeki potansiyelin %28,6'sını oluşturmaktadır. Kıyı bölgeleri ülkenin su tüketiminin % 41.2'sini oluşturmaktadır. Kıyı su potansiyeli ve ülke genelindeki su potansiyeli arasında çok fark vardır. Fakat tüketim bu orana nazaran ters orantılıdır. Bu sebeplerden dolayı su kaynakları olmasına rağmen Çin'de su talebi ve mevcut su durumu arasında orantısızlık çok fazladır.

Ülkede tuz giderme prosesleri günde 0,8-1 milyon m³ su üretmektedir. Bu değerin 2,5-3 milyon m³'e çıkarılması hedeflenmektedir.



Şekil 4.6: Çin'de yıllara göre deniz suyundan tuz giderme potansiyeli artışı

Ülkede 75 kurulu deniz suyundan tuz giderme tesisi bulunmaktadır. Bu tesislerin 10 tanesi büyük ölçeklidir. Tesisler ağırlıklı olarak SWRO prosesleridir. Ülkede planlanan projelerde ise SWRO kullanılması öngörülmüştür.

Tablo 4.4: Çin'de büyük ölçekli tuz giderme tesisleri

Tesis Adı	Kapasitesi(m ³ /gün)	Prosesi
Tianjin North Power Plant	100,000	MED
Phase I of Tianjin Dagang Xinquan	100,000	SWRO
Hebei Huanghua Power Plant	57,500	MED
Hebei Caofeidian Shougang Jingtang Iron Works	50,000	MED
Yuhuan Huaneng Power Plant in Zhejiang	35,000	SWRO
Yueqing Power Plant in Zhejiang	21,600	SWRO
Qingdao Soda Ash Industrial Company Limited	20,000	SWRO
Dalian Chemical Industry Company	20,000	SWRO
Huangdao Power Plant in Shandong	16,000	MED, RO
ZhuangHe Power Plant in Liaoning	14,400	SWRO

Note:

- 1.North Power plant in Tianjin,MED,100000m³/d
- 2.Phase I ofTianjin Dagang Xinquan,RO,100000m³/d
- 3.Huanghua Power plant in Hebei,MED,57500m³/d
- 4.Shougang Jingtang iron works in Hebei Caofeidian, MED,50000m³/d
- 5.Yuhuan Huaneng Power plant in Zhejiang,RO,35000m³/d
- 6.Yueqing Power plant in Zhejiang,RO,21600m³/d
- 7.Qingdao soda ash industrial Company Limited,RO,20000m³/d
- 8.Dalian chemical insustry company,RO,20000m³/d
- 9.Huangdao Power plant in Shandong,MED,16000m³/d
- 10.Zhuanghe Power plant in Liaoning,RO,14400m³/d

Planlanan tesisler için ve kıyı bölgesindeki elektrik ihtiyacını karşılamak için 35.000 MW'lık yeni bir güç santrali kurulması planlanmaktadır. Ülkede tuz giderme maliyeti büyük tesislerde 0,68-0,96 \$/m³ olarak gerçekleşmektedir (Zheng, 2014).

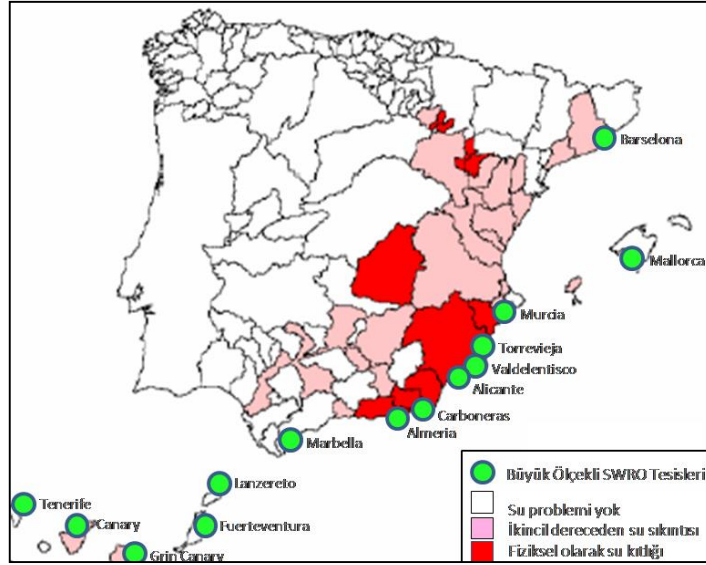
4.3.4. İspanya

İspanya'da tuz giderme tesisleri üzerine yoğunlaşma 1960'lardan itibaren başlamıştır. Farklı ülkelerde 40 tuz giderme tesis kurulması çalışmaları gerçekleştirilmiştir. İspanya'da tuz giderme tesisleri ilk olarak Kanarya Adaları'nda kullanılmaya başlamıştır. Kanarya Adaları'nda turizmden dolayı yeraltı sularının tuzlulaşması ile su kıtlığı yaşanmıştır. Kanarya Ada'sının % 25 su ihtiyacı denizden

karşılanmaktadır. Ülkedeki diğer adalardan Lanzarote'nin % 99, ve Fuerteventura'nın % 86 ve Gran Canary'nin % 52 oranında su ihtiyacını deniz suyundan karşılamaktadır.

Ülkede kapasitesi <10.000 m³/gün olan 819 adet ve 50.000 m³/gün- 10.000 m³/gün 27 adet tesis vardır. 2005 yılından itibaren tuz giderme tesisleri yatırımlarına verilen önem daha fazla artmış ve çok büyük ölçekte tesisler kurulmaya başlanmıştır. Kurulan bu tesisler; Torrevieja SWRO (230.000 m³/gün), Valdelentisco-Mazarron SWRO (200.000 m³/gün), Aguilas SWRO (172.000 m³/gün), Barselona SWRO (172.000 m³/gün)'dur. Bu artışın sebebi; özellikle kuraklık ve iklim değişikliği ile su sıkıntısı çeken kıyı bölgelerinden çekim yapılan yerlatı sularındaki kalitenin düşmesidir. Ayrıca tesis maliyetlerinin düşmesi, yatırım desteği, uygun yasal düzenlemeler yapılması ve çevresel etkileri minimize edebilecek teknolojilerin gelişmesi, ülkedeki deniz suyundan tuz giderme tesislerine yönelik yatırımları artırmıştır. Mevcut potansiyeli ile İspanya, dünyada 9. büyük deniz suyundan tuz giderme tesisi kapasitesine sahip ülkedir. Günlük olarak 1,7 milyon m³ deniz suyundan tatlı su elde edilmekte olup ülkede tüketilen suyun %3'lük kısmını oluşturmaktadır. Ülkede SWRO tesislerinden elde edilen su ile içme ve kullanma suyunun yanında tarımsal sulama amaçlı olarakta faydalanılmaktadır.

İspanya'da kişi başına düşen su miktarı Falkenmark indeksine göre 2409 m³'dür. Ancak ülkenin adaları ile güney ve doğu bölgeleri yer altı sularının tuzlaşmasından ve turizimden dolayı su stresi altındadır. SWRO tesisi kurulan bölgeler ağırlıklı olarak su kıtlığı ve su stresi altında kalan bölgelerdir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7: İspanya’da su kıtlığı durumu ve büyük ölçekli SWRO tesisleri (Estrela, 2008)

Ayrıca bölgeye gelen turist sayısındaki artıştan dolayı su ihtiyacı artmakta ve bu sebeple artan su ihtiyacını karşılamak için tuz giderme tesislerine ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle bu bölgelerde, havzalar arası su transferinden kaynaklı su maliyetlerine karşı tuz giderme seçeneği bir alternatif olarak görülmektedir. Örnek olarak Almeria şehrine havzalar arası su transferi maliyeti 0,75 Avro/m³ ve SWRO ile su üretim maliyeti ise 0,45 Avro/m³’dür Bu sebeple, SWRO tesisleri tercih edilmiştir. Devlet politikası ağırlıklı olarak tuz giderme tesisleri kurulması üzerinden su teminine yoğunlaşmıştır (Garcia-Rubio, 2012; Downward, 2007).

İspanya’da SWRO tesisleri su depolama alanlarında su ihtiyacı oldukça çalışmaktadır veya bölüm bazında tesis işletilmektedir. Çalışma oranları, depolama tesislerinin meydana gelen seviye düşüşü veya artmasına göre belirlenmektedir. Tesis çalışmadığı zaman bakıma alınmaktadır (Garcia-Rubio, 2012).

4.3.5. Yunanistan

Yunanistan’da kişi başına düşen su miktarı Falkenmark indeksine göre 2100 m³’dür. Ülke geneli düşünüldüğünde, su zengini sayılabilecek düzeydedir. Ancak ülkenin özellikle güneydoğusunda su kalitesinde ve miktarındaki kötüleşmeden dolayı tatlı suya ulaşılabilirlik çok düşük seviyelerdedir. Ülkede 14 farklı su havzası ve adada ülkenin su zengini olmasının aksine tam tersi olarak su kıtlığı yaşamaktadır (Şekil 4.8) (Stefopoulou, 2008).



Şekil 4.8: Yunanistan’ da Su bölgelerine göre içme suyu durumu (Stefopoulou, 2008)

Yunanistan adalarında kış sezonları çok az nüfus ikamet etmekte iken yaz sezonunda bölgeye gelen yoğun turist sayısı ve tarımsal sulamadaki su ihtiyacı adalarda su yetersizliği sorunlarını ortaya çıkarmaktadır. Avrupa Birliği verilerine göre kişi başı tüketilen su miktarı 150-200 m³ iken turistlerin günde kişi başı kullandığı su miktarı 300 m³’ün üzerine çıkabilmektedir. Bu veri göz önüne alındığında su kıtlığı çeken adalar için konvansiyonel olmayan su temin seçeneklerinin tercih edilmesi kaçınılmazdır. Ülke’de adalara gemiler ile su taşınması seçeneği bulunmaktadır. Ancak 1 m³ suyun karadan adalara taşınmasının maliyeti 4,91 avro/m³’ten 8,32 avro/m³’e kadar değişen fiyat aralığındadır. Bu sebepten dolayı adalarda, denizden ve acı sulardan tuz giderme tesisleri tercih edilmekte olup tesislerin çoğu RO prosesine sahiptir. Tesislerin bir kısmı resmi idarelerce işletilirken birçok büyük hotel kendi tesislerini işletmektedir.

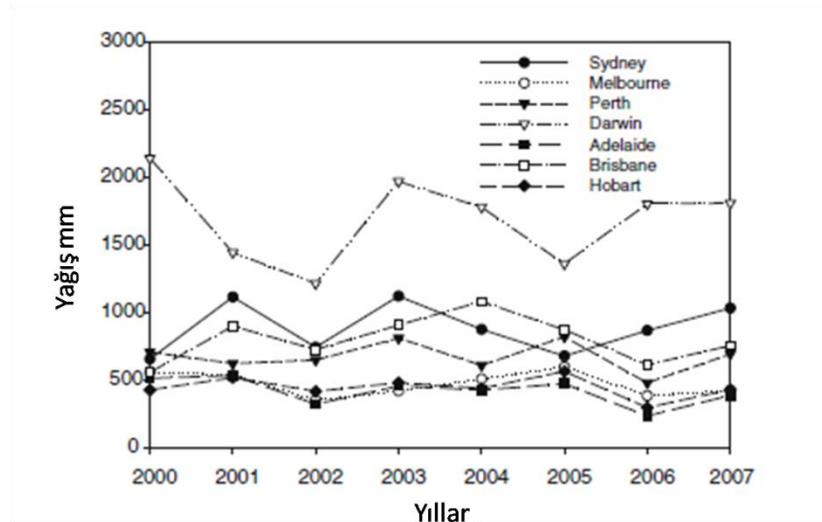
Toplamda 157 adet tesis ile 109.115 m³/gün’lük kurulu kapasite bulunmaktadır. Toplam kapasitesi 40.135 m³/gün olan 35 adet tesisi ise yapım aşamasındadır. Tatlı suyun % 51’i deniz suyundan ve % 41’i ise acı sulardan üretilmektedir. Tuzsuzlaştırma ile üretilen tatlı suyun % 48’i konutlarda, % 31,07’si endüstride, % 15,94’u turistik tesislerde, % 4,24’ü enerji tesislerinde ve % 0,16’sı ise

askeri tesislerde kullanılmaktadır. Tuz giderme tesislerinin %74'ü RO tesislerinden oluşmaktadır.

Toplamda 22.860 m³/gün kapasiteye sahip 35 adet tesiste belediyeler tarafından kullanılan RO tesisi bulunmaktadır. Bu tesislerin 30 tanesi deniz suyunu ham su olarak kullanmaktadır. Tesislerde işletme maliyetleri 0,5 Avro/m³ ile 3,5 Avro/m³'dur. Tesislerde gelecekte yenilenebilir enerjiden faydalanılması için çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Tuzsuzlaştırma ile tatlı su üretilmesi, devlet politikasında gelecek için önemli bir seçenek olarak görülmektedir ve yeni yatırımlar yapılması planlanmaktadır. Ayrıca, tuzsuzlaştırma ile tatlı su üretilmesinde enerji fiyatlarının sübvansede edilmesi planlanmaktadır. Tuz giderme tesisi olan bölgelerde su fiyatları 30 m³ için 30 avro ile 50 avro arasında değişmektedir (Zotalis, 2014; Stefopoulou, 2008).

4.3.6. Avustralya

Avustralya'da 903 milyar m³ kapasiteli 499 adet baraj bulunmakta olup su zengini bir ülke olarak değerlendirilmektedir. Şekil 4.9'da görüldüğü üzere son 10 yılda yağışlardaki salımlara bağlı azalmalar ile ülkedeki tüm eyaletlerde su depolama alanlarında çok ciddi düşüşler meydana gelmiştir (Saliby, 2009).



Şekil 4.9: Avustralya'daki şehirlerde yıllara göre yağış salımları (Saliby, 2009)

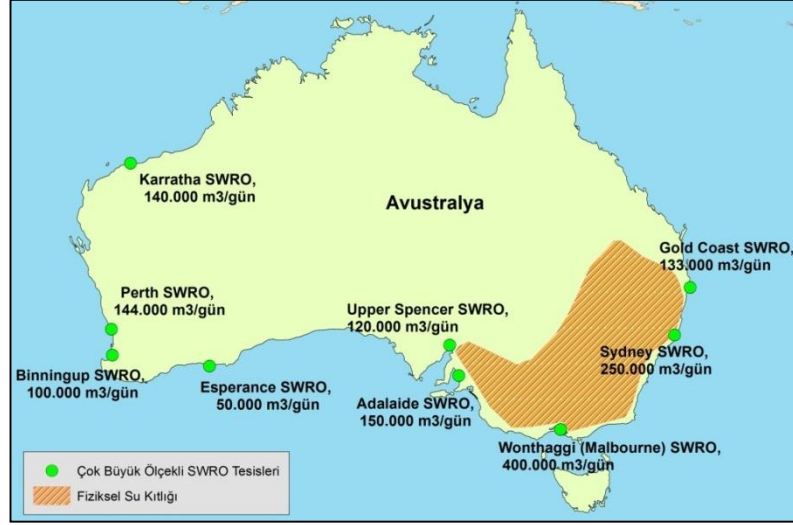
Son yıllarda ülkenin güneydoğusunda bulunan Sydney ve Melbourne gibi kalabalık ve su ihtiyacı hızla artan şehirlerdeki su depolamalarında doluluk oranı % 33

ve % 32'dir. Su temini sistemlerindeki hizmet aksamalarının önün geçilmesi için ülkede konvasiyonel olmayan yağmur sularının hastlanması, arıtılmış evsel atıksular yeniden kullanımı, acı yer altı suları ve deniz suyu alternatif su kaynakları olarak kullanılmaktadır (Saliby, 2009).

İçme ve kullanma suyu ihtiyacının karşılanması amacıyla özellikle acı yer altı suları ve deniz suyu kullanılmaktadır. Arıtılmış atıksuların içme ve kullanma suyu ihtiyacının karşılanması amacıyla kullanımı Avustralya toplumunun %76'sı tarafından kabul görmemektedir. Evsel amaçlı tuz giderme proseslerinin % 98,6'sında deniz suyu ve %1,4'ünde ise acı sular kullanılmaktadır.

Tuzsuzlaştırma prosesleri ile ilgili ülkenin yaklaşık 50 yıllık tecrübesi bulunmaktadır. Tuzsuzlaştırma ilk dönemlerde sulama ve endüstriyel amaçlar için küçük ölçekteki tesislerde gerçekleştirilmiştir. Yakın zamana kadar ülkede tuz giderme için farklı teknolojilerden faydalanılmıştır. 2007 yılından itibaren 144.000 m³/gün kapasiteli Perth SWRO tesisinin kurulmasında sonra büyük ölçekli SWRO tesislerinin kurulması hızlanmıştır (CSIRO, 2009). Son yıllarda 2007'den 2010 yılına kadar olan sürede SWRO tesisleri için yapılan yatırım 12 milyar doların üzerindedir. Yapılan projelerin finansmanın çoğu kamu özel sektör ortaklığı ile yap-işlet-devret modeli çerçevesinde gerçekleştirilmektedir [Url-17].

Günde toplamda 1,7 milyon m³ tuzsuzlaştırma tesisi potansiyeli mevcuttur. Bu rakam ülkede günlük kullanılan suyun % 4,3'üne karşılık gelmektedir. 2014 yılı sonu itibariyle ülkede 9 adet büyük ölçekli SWRO tesisi bulunmaktadır. Bu tesislerden bazıları; Sydeny kentinin içme suyunun % 15'ini, Malbourne'un %30'unu ve Delaide, Brisbane ve Perth kentlerinin % 50'sini karşılamaktadır [Url-17].



Şekil 4.10: Avustralya'da bulunan çok büyük ölçekli SWRO tesisleri

Avustralya'da inşa edilen tesislerin çevresel yönden hassasiyetleri dünyanın diğer bölgelerindeki tesislere nazaran ileri seviyededir. Tesisler en az çevresel etkiye sahip olacak şekilde dizayn edilmektedir. Bu durum tesisin maliyetlerini oldukça fazla miktarlarda yükseltmektedir. Örnek vermek gerekirse Melbourne kentinin % 30 su ihtiyacını karşılamak için kurulan 400.000 m³/gün kapasiteli Wonthaggi SWRO tesisinin yatırım maliyeti 3,5 milyar \$'dır (Şekil 4.11).



Şekil 4.11: Wonthaggi (Melbourne) SWRO tesisi görünüşü

Tesiste üretilen suyun 87 km'lik tüneller ile depolama sahasına iletilmesi, 225 hektarlık alana sahip tesisin çevresinde gürültüyü engellemek için tepeler oluşturulması, tesisin doğa ile uyumlu hale gelmesi için yapılan tasarımlar, su alma yapısı için 454 m beton tüneller açılması, tesiste kullanılan malzemelerin çevre dostu ürünlerden imal edilmiş olması ve özel sektör ortaklığı gibi durumlar ek maliyetler getirmiştir. Tesis Avustralya'daki diğer tesisler gibi sürekli çalışma prensibi ile

çalışmamaktadır. Şehirden gelen talep üzerine su temini gerçekleştirilmektedir. Tesis her bir dur kalktan ancak 18 saat sonra içme suyu kalitesinde su üretebilmektedir.

Avustralyada su üretim maliyetleri 1,2 – 2,2 \$/m³ civarında olup global değerlerin üzerindedir. Tesislerin ilk yatırım maliyetlerindeki bu yükseklik; idare tarafından su satın alma garantisi ile özel sektör işletme modelinin uygulanması, sürekli planlanan kapasitede su üretmemesi, rüzgar enerji santrallerinin (RES) kullanılması, yüksek ilk yatırım maliyeti gibi maliyeti artıran sebeplerden dolayı su fiyatlarında artışlar yaşanmıştır. Wonthaggi SWRO tesisinde ise firma ile yapılan yapı- işlet-devret sözleşmesi gereği tesis 2039 yılına kadar firma tarafında işletecek olup bu süre sonunda 22 milyar \$ ödeme alması konusunda anlaşılmıştır. Eğer 2039 yılına kadar Melbourne şehrinin SWRO tesisinden su gereksinimi olmazsa firmaya 18,3 milyar \$'lık ödeme yapılacağı taahhüd altına alınmıştır. Bu durumda, şehirde doğal kaynaklardan dolayı su olması durumunda SWRO neredeyse yıl boyunca çalışmış olacağı varsayılmaktadır. Özetle 18,3 milyar \$'lık bir taahhüd ile Melbourne şehirde gelecekte iklim değişikliği ve kuraklık sonucu ortaya çıkabilecek su kıtlığı riski satın alınmış durumdadır. Wonthaggi SWRO tesisi işletmeye alındığı ilk yıl olan 2012 yılından 2015 Haziran ayına kadar su ihtiyacı olmadığından işletilmemiştir. Bu durum ülkede kurulan veya kurulacak SWRO tesislerinin gerekliliğini tartışmaya açmıştır. Özellikle konutlarda su fiyatı yıllık 663 \$'dan 904 \$'a çıkması ile toplumsal olarak bu tesislere bakış açısı negatif yönde ağırlık kazanmıştır.

5. DENİZ SUYU TUZSUZLAŞTIRMA TERS OZMOS (SWRO) TESİSLERİ

1980 li yıllardan itibaren SWRO tesislerinin kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır ve günümüzde global tuzsuzlaştırma kapasitenin %40'ını oluşturmaktadır.



Şekil 5.1:Dünyadaki bazı SWRO tesisleri

İspanya, İsrail, Japonya, ABD, İtalya, Yunanistan, Avusturalya, Çin ve Hindistan'da tuzsuzlaştırma amacıyla yaygın olarak SWRO tesisleri işletilmektedir. SWRO tesisleri 45.000 mg/L tuzluluğa kadar olan deniz sularının arıtımında verimli olarak işletilebilmektedir. Tatlı su kaynaklarının yeterli olmaması sebebiyle dünyada her geçen gün SWRO tesis sayısı artmaktadır. Bu bölümde SWRO tesislerinin teknik, maliyet ve çevresel etkileri değerlendirilmiştir. Değerlendirme amacıyla SWRO tesisi yer seçimi, proses yapısı, enerji temini ve tüketimi, yatırım ve işletme maliyetleri ve çevresel etkileri incelenmiştir.

5.1.SWRO Tesisi Yer Seçimi

Tesis kurulumunda ekonomik ve toplumsal kabul ile çevresel faktörler dikkate alınarak yer seçimi yapılmaktadır. Özellikle inşa edilecek bölgeye komşu yerleşimciler tarafından kabul edilebilirliği ve çevresel etkilerin dikkate alınması çok önemlidir. Tesisi yer seçiminde bu faktörler göz önüne alınarak tesis kurulum yeri

alternatifleri belirlenmelidir. Bu alternatiflerin değerlendirilmesinde inşaat mühendisleri, çevre mühendisleri, şehir plancıları, jeologlar, sosyologlar, deniz-kıyı biyologları, mekanik mühendisleri, tuz giderme üzerine uzman mühendisler, proses mühendisleri, kıyı mühendisleri, yerel yöneticiler ve sivil toplum örgütleri aktif görev almalıdır.

Tesisin kurulumunda alternatif yerlerin seçimi aşağıdaki kriterlere göre yapılmalıdır;

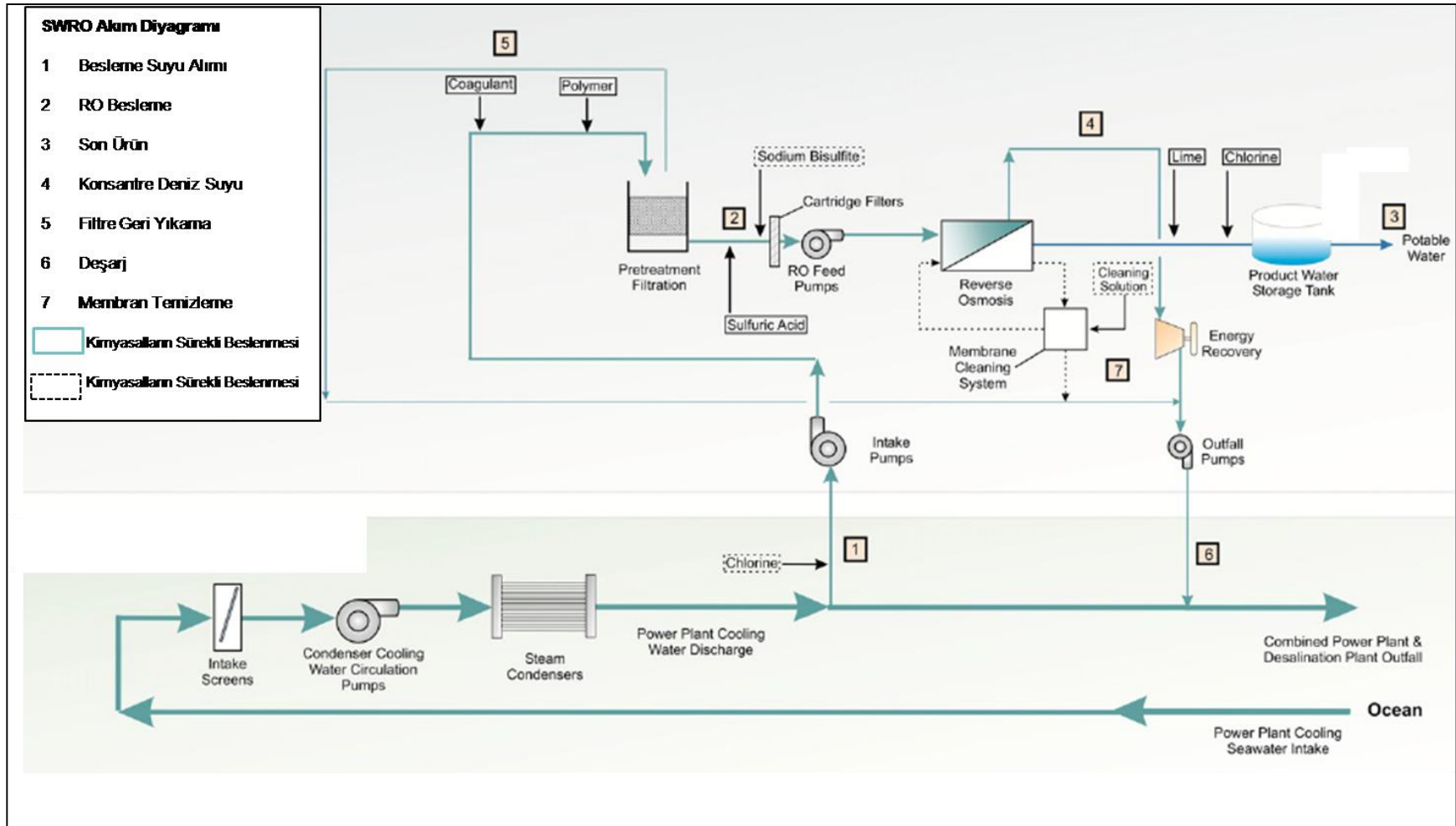
- ✓ Yerleşim yerlerinin veya planlanan konut alanlarının ve çevresel olarak koruma alanı ilan edilmiş hassas bölgelerin dışında kurulmalıdır.
- ✓ Bölgedeki sosyo-ekonomik ve turizm özellikleri incelenerek olası etkileri ortaya konulmalıdır.
- ✓ Bölgeye ait biyolojik kalite oranları ortaya konmalıdır.
- ✓ Enerji iletim hatlarına yakın bölgede kurulmalıdır.
- ✓ Tesisin olabildiğince deniz kıyısına yakın bölgede kurulmalıdır. Bu durum su temini ve konsantre bertarafında önemli rol oynamaktadır. Aynı zamanda olası kaçaklarda arazi üzerindeki riskleri azaltmaktadır. 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 yükselmesi kaçınılmazdır.
- ✓ Tesisin denizin kirli olmadığı bölgelere kurulmalıdır. Evsel ve sanayi kaynaklı kirlenmiş kıyı bölgelerinden alınan ham su kaynağı işletmede zorluklara ve maliyetlerin artmasına sebep olmaktadır. Özellikle liman ve atıksu deşarj noktalarından uzak bölgelerden su temini yapılmalıdır.
- ✓ Tesis, su dağıtım şebekesindeki depolara veya su rezervuarlarına yakın olmalıdır. Aksi takdirde tesiste üretilen suyun iletilmesinde ilave maliyetler oluşmakta ve bu sebeple tesis ekonomik olmaktan çıkmaktadır.
- ✓ Kıyı bölgelerindeki zemin yapısı değişkendir. Bu sebeple, topografyası ve zemin özellikleri tesis kurulumuna uygun alanlar seçilmelidir. Aksi takdirde zemin iyileştirilmesine yönelik olarak maliyetli çalışmalar gerçekleştirilmek zorunda kalınabilmektedir.

Yukarıdaki kriterlere göre belirlenen alan üzerinde pilot tesis çalışmaları neticesinde teknik ve ekonomik fizibilite ortaya konmalıdır. Daha sonra tesisin bölgedeki ekosistem üzerindeki etkileri belirlenmelidir. Bu etkilerin giderilmesinde çözüm önerilerinin sunulduğu Çevre Etki Değerlendirme (ÇED) çalışması gerçekleştirilerek tesis yer seçimi tamamlanmaktadır (Tsiourtis, 2001).

5.2. SWRO Tesisi Proses Yapısı

SWRO tesisine ait proses akış diyagramı Şekil 5.2' de verilmektedir. Tesis genel hatlarıyla aşağıdaki ünitelerden oluşmaktadır;

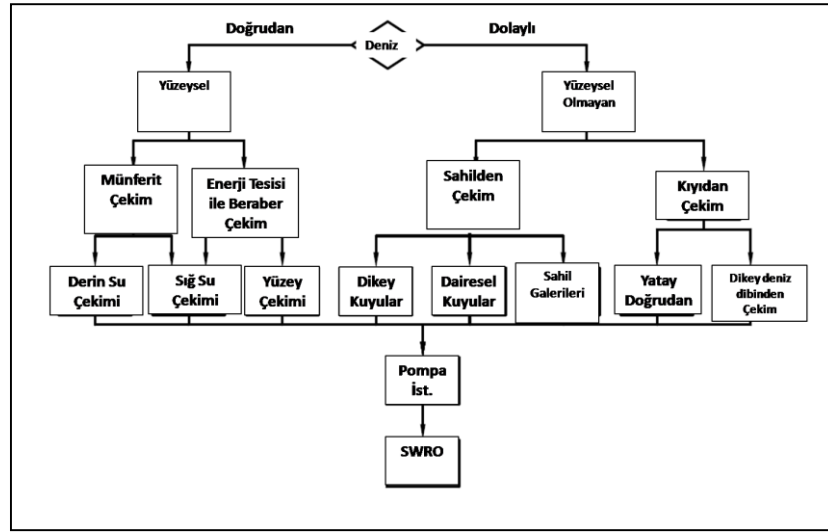
- Su temini yapısı
- Ön arıtma yapısı
- Membran Sistemi
- Enerji geri kazanım sistemleri
- Son arıtma
- Konsantre bertaraf ünitesi
- Enerji üretim tesisi



Şekil 5.2: SWRO tesisi akış diyagramı (Voutchkov, 2012)

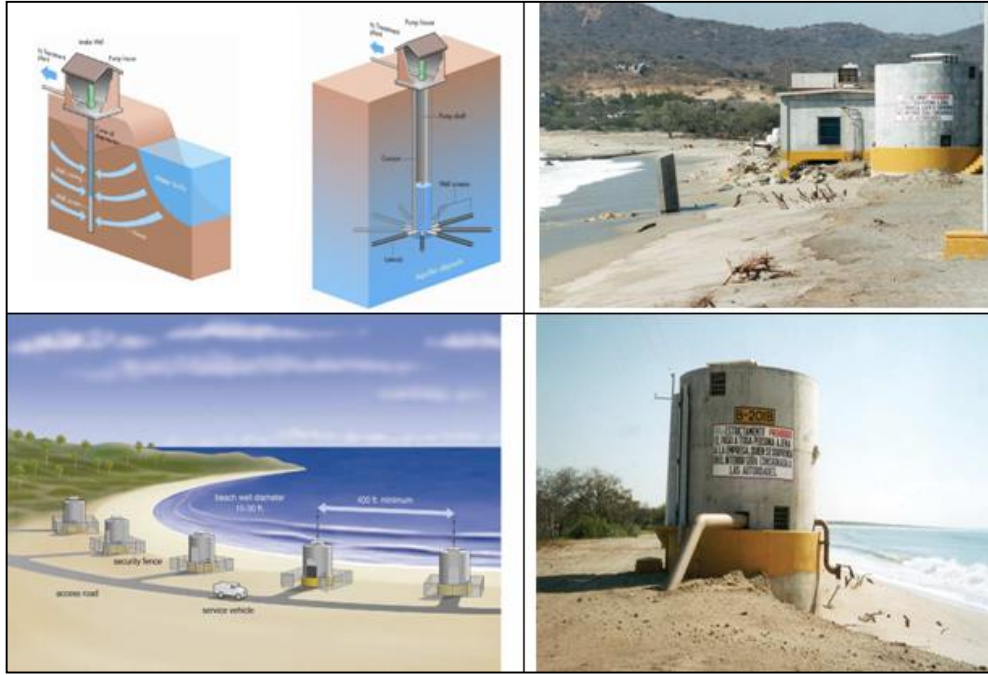
5.2.1. Su temini yapısı

Su kaynağına bağlı olarak hamsu kalitesinde farklılıklar olabilmektedir. SWRO tesislerinde su kaynağı denizdir. Bu sebeple, suyun temin edileceği denizdeki su kalitesi tesise alınacak hamsuyun kalitesini göstermektedir. Kıyı bölgelerinde kurulu olan SWRO tesislerinden su temini farklı şekillerde yapılmaktadır. Şekil 5.3’de su temini yöntemleri verilmektedir.



Şekil 5.3: Denizden su temini yöntemleri (Cartier, 2007)

Sahil bölgelerinde açılan kuyulardan temin edilen deniz suları, doğal filtrasyona uğramaktadır ve SWRO için ön arıtma maliyetleri doğal filtrasyon ile azaltılmaktadır. Bazı uygulamalarda detaylı ön arıtma gerek kalmaksızın yalnızca antisilikant kullanarak hamsular doğrudan membran sistemlere verilebilmektedir. Kuyulardan çekilen deniz sularında çözülmüş oksijen(ÇO) miktarı kıyı bölgesinden temin edilen deniz sularına göre düşüktür ve bu durum membranlar üzerinde oluşabilecek bakteriyel birikimi azaltmaktadır (Hassan, 1997).



Şekil 5.4: Sahil bölgelerindeki kuyulardan su temin tipleri (Voutchkov, 2005)

Bu tip su alma yapılarının bazı dezavantajları bulunmaktadır. Sayı olarak fazla olmalarında dolayı sahillerde estetik görüntüyü bozmaktadır. Sahil kumunun çamurlaşması ile tıkanmalar meydana gelmekte ve kuyulardan su çekim miktarında azalmalar olmaktadır (Pita, 2011). Kuyulardan alınan suyun ÇO değeri 1,5-2 mg/L arasında değişmektedir. Bu değer konsantre deşarj standartlarına uygun değildir. EPA dökümanlarında deşarj edilecek konsantrenin ÇO konsantrasyonunun 4-5 mg/L olması gerektiği belirtilmektedir. ÇO değerini bölgesel standartlara yükseltmek için fazladan havalandırma sistemi inşa edilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Kuyulardan çekilen sularda demir (Fe) ve mangan (Mn) konsantrasyonları deniz suyundaki değerlerden yüksektir. Fe ve Mn'nın giderimi amacıyla ilave kimyasaların kullanılması gerekmektedir. SWRO tesisi ömrü 25-30 yıl arasında değişirken kuyu yapılarının ömrü 10-20 arasında değişmektedir. Bu durum sonraki yıllardaki amortisman değerlerini etkilemektedir (Voutchkov, 2005).

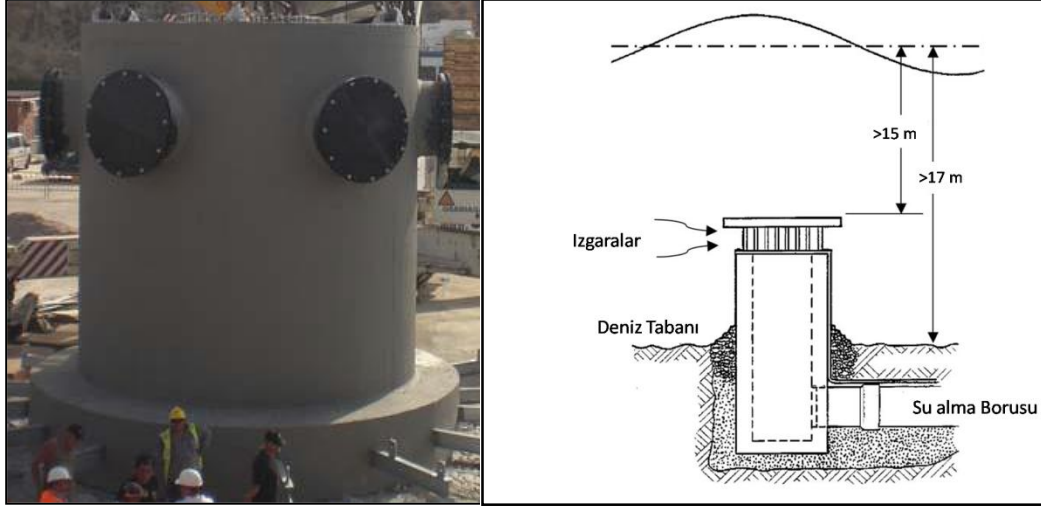
Suudi Arabistan'daki sahil kuyularından çekilen suların analiz sonuçları Tablo 5.1'de verilmektedir.

Tablo 5.1: Deniz suyu kuyusu analizleri (Hassan, 1997)

Parametre	Birim	Deniz Suyu	Kuyu Numunesi 24.03.93	Kuyu Numunesi- 7.04.93
Sıcaklık	°C	-	24	23.5
pH		8,2	7,62	7,3
TÇK	ppm	46.900	31289	31430
İletkenlik	µs/cm	60.000	40100	40100
Sertlik(CaCO)	ppm	6738	5.250	5850
Ca ⁺²	ppm	519	480	480
Mg ⁺²	ppm	1326	984	1130
Na ⁺	ppm	12860	7888	9000
K ⁺	ppm	450	344	392
SO ₄	ppm	3265	5400	5514
Klorür	ppm	23000	13650	16661
TOK	ppm	2	1.2	2

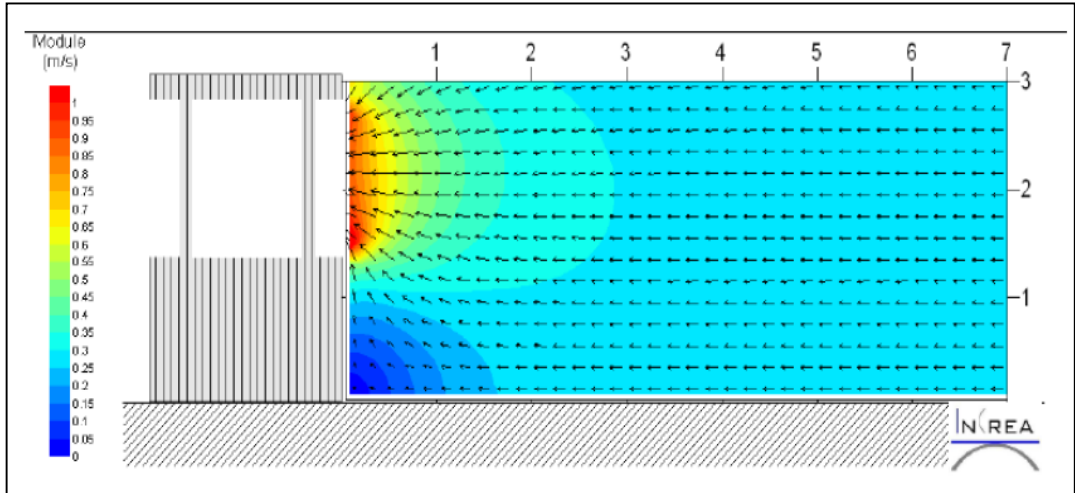
Tablo 5.1’de görüldüğü üzere doğal olarak filtrelenen deniz suyunun iyileşen kalitesi ilk yatırım maliyeti %25 ve işletme maliyeti de %15 oranında azaltmaktadır (Hassan, 1997).

Kıyı bölgenin açığında ve minimum 10-15 m derinlikten doğrudan deniz suyunun alınması bir diğer deniz suyu temini yöntemidir. Bu derinlik maksimum 35 m’ye kadar düşebilmektedir. (Melbourne Water GHD, 2007). Derinlere gidildikçe güneş ışığının nüfuz etmesi azalacak ve dolaylı olarak alg oluşumu da azalacaktır. Derinlerden su alınması halinde alg ile birlikte nutrient miktarlarında da azalmalar olması muhtemeldir. Böylece tesise gelecek kirletici yükü azaltılacak ve işletme için avantaj sağlanacaktır. Derinlerden su alınmasının avantajlarından biri de, ani kazalarda veya deşarjlarda su kalitesinin deniz yüzeyine göre pek fazla etkilenmemesidir (Cartier, 2007).



Şekil 5.5: Derinden su alma yapısı

Kıyadaki dalga seviyelerinin su alma yapısına etkisi dikkate alınarak su alma derinliğinde artış olabilir (Melbourne Water GHD, 2007). Denizden su temin hızı sediment ve partiküllerin hareketlenmesini pek etkilemeyecek şekilde belirlenmelidir. Şekil 5.6’da optimum su alma hızı için hidrodinamik model verilmektedir.



Şekil 5.6: Su alma yapısı hidrodinamik modeli (Pita, 2011)

Optimum su alma hızından daha yüksek hızlarda suyun alınması durumunda sediment ve partikül maddelerde su ile birlikte alınabilir ve bu durum arıtma maliyetini artırır.

Su çekim hızı o bölgede yaşayan canlıları etkilemektedir. Özellikle balıkların geçişleri zorlaşmakta ve balıklar su alma yapısının içine dolabilir. Ayrıca su alma borularında bakteriyolojik birikimin oluşmaması için su alma yapısı girişine klor ve

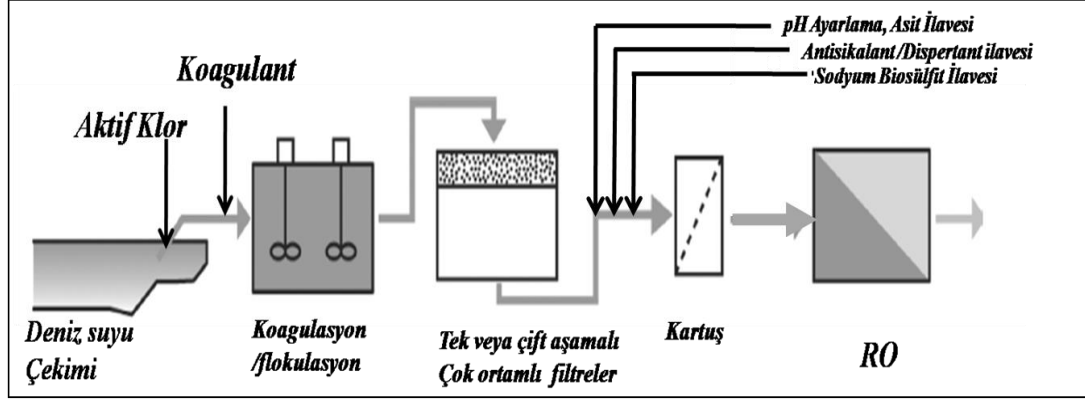
benzeri dezenfektanlar ilave edilmektedir. Bu işlem proses iletim hatlarında, arıtma sistemlerinde ve membran üzerindeki bakteriyolojik gelişimi engellemektedir (Pita, 2011).

Su alma yapılarındaki su iletim boruları dip bölgesine döşenen HDPE boruları ile veya dip bölgesi altından açılan tüneller ile inşa edilmektedir. Tünel imalatı dip yüzeyinden boru döşenmesi sistemine nazaran 2 ile 6 kat daha maliyetli bir işlemdir.

5.2.2. Ön arıtma

Membran proseslerde ön arıtma, membranın performansının korunması açısından çok önemlidir. Ön arıtması iyi yapılmayan sistemler tıkanma, çökelti oluşumu ve membranın indirgenmesinden dolayı hızla performanslarını kaybetmektedir. Eğer, geri kazanımda bir performans kaybı var ise, çeşitli kimyasallar kullanılarak uygulanacak membran temizleme prosedürleri ile membranlar ilk durumlarına yakın bir debi ve su kalitesi üretimine dönebilmektedir. Ancak geri dönüşümsüz bir tıkanma gerçekleşmiş ise bunu onarmak mümkün olamamaktadır. Ön arıtması yeterli olmayan birçok tesis bu nedenle ciddi zararlara uğramakta, kullanılmaz duruma gelen membranlarını yenilemek zorunda kalmaktadır. Besleme suyunda bulanıklık, organik madde, bakteri, demir ve mangana sadece eser miktarda müsaade edilmektedir (Akgül, 2006).

Şekil 5.7’de konvansiyonel bir ön arıtma akım diyagramı verilmektedir. Konvansiyonel sistemler, son yıllarda geliştirilen ön arıtma sistemlerine göre daha ekonomik olduğu belirtilmektedir. Ancak deniz suyu gibi dışarıdan etkilere maruziyeti açık bir kaynaktan meydana gelebilecek su kalitesi salınımlarına yönelik olarak konvansiyonel sistemler yetersiz kalabilmektedir. Özellikle alg patlaması veya anlık olarak meydana gelebilecek atıksu deşarjları gibi problemler ile karşılaşmaktadır.



Şekil 5.7: Konvansiyonel SWRO ön arıtma prosesi

Ön arıtma gereksinimlerinde belirleyici faktörlerden biri SDI (Silt Yoğunluk İndeksi)'dir. SDI, 2 bar basınç altında 0.45 µm çaplı membrandan 5 dakika veya 10 dakika veya 15 dakikalık sürelerde süzme işlemi gerçekleştirilir ve süzme işlemleri sırasında ilk 500 mL'nin elde edildiği zaman ile son 500 mL'nin elde edildiği zamanlar belirlenir. Tablo 5.22'de SDI değerleri ve ön arıtma gereksinimi verilmektedir. Aşağıda belirtilen SDI değerlerine göre ön arıtmada uygulanacak prosesler belirlenmektedir (Çakmaccı, 2013).

Tablo 5.2:SDI değerinin RO üzerindeki etkisi(Url-8; Url-9; El-Dessouky, 2002)

SDI	Arıtma için Besleme Suyu Kalitesi Sınıfı	RO sistemi üzerindeki etkisi
<1	İyi	Koloidal tıkanma olmaksızın birkaç yıl işletme
1-3	Orta	Birkaç ayda bir kez temizleme gerekli
3-5	Düşük	Tıkanma potansiyeli mevcut ve düzenli temizleme gerekli
>5	Çok düşük	Besleme suyu RO için uygun değil ve ilave ön arıtma gerekli
5-10	Kötü	Filtrasyon (kum tipi) ön arıtma gerekli
>10	-	Koagülant ve çöktürme ilaveli iki kademli filtrasyondan oluşan ön arıtma gerekli

Askıda katı maddelerin(AKM) ile silt/kum giderimi: Ön arıtmada membranların üzerinde oluşabilecek bileşiklerin ve mikroorganizmaların birikiminin uzaklaştırılması hedeflenmektedir. Deniz suyunun içeriğindeki AKM'de çökelmiş demir ve mangan, kayaçlar, organik kolloidler, çökelmiş sertlik içeren bileşikler,

algler, bakteriler ve alüminyum hidroksit flokları bulunabilir. Tablo 5.2’de belirtildiği üzere SDI>10 olması halinde hızlı karıştırıcılı koagülasyon/flokülasyon prosesleri ön arıtma amacıyla kullanılabilir. Bu ön arıtma proseslerinden sonra filtrasyon gibi partikül giderici prosesler kullanılabilir. Bu proseslerde tekli veya çok ortamlı; çakıl, kum, pomza, aktif karbon ve antrasit malzemeler kullanılmaktadır. Filtre malzeme çapı 0,5-3 mm, yatak genişliği 1-3 m ve filtrasyon hızı 10-20 m/sa. Civarında genellikle tercih edilmektedir. Kartuş filtrelerde partikül giderimi amacıyla RO öncesinde kullanılmaktadır. Yaygın olarak kullanılan kartuş filtreler 5 µm gözenek çapına sahiptir. Kartuş filtreler polypropilen ve benzeri malzemelerden imal edilmektedir (El-Dessouky, 2002).

Membranlar üzerinde birikime sebep olabilen birçok bileşik vardır. Bazı bileşikler membran yüzeyinde birikerek diğer kirletici bileşiklerinde birikmesi için ortam oluşturmaktadır. CaCO₃, CaSO₄, silika kompleksleri, BaSO₄, SrSO₄ ve CaF₂ membran yüzeinden biriktikten sonrası diğer kirleticilerin birikmesi için ortam oluşturabilir (El-Dessouky, 2002).

CaCO₃ Giderimi: Sıcaklık, pH ve CO₂ konsantrasyonunun artmasıyla çökelebilmekte ve membran yüzeyinde birikime sebep olabilmektedir. Bunu gidermek için asit ilavesiyle bikarbonat alkalinitesini azaltılmakta ve antiskalant kullanılarak çökelmeleri engellenmektedir. Asit kullanımı antiscalant kullanımına nazaran daha pahalı olup sudaki CO₂ konsantrasyonunu artırmaktadır. Bu durum elde edilen süzöntü suyunda pH’ın düşmesine sebep olmaktadır (El-Dessouky, 2002).

CaSO₄ Giderimi: Sıcaklık arttıkça çökelen kalsiyum sülfat miktarında artmaktadır. Polifosfat, polikarboksilat veya sodyum poliheksamefosfat gibi antisikalantların kullanılması ile çökeltme engellenebilmektedir (El-Dessouky, 2002).

Silika Giderimi: Doğada yapıtaşı minerallerinden olan silika (Si) suda demir, alüminyum ve magnezyum hidroksit ile kompleks oluşturmaktadır. Sudaki çözünürlüğü pH ve sıcaklık ile değişmektedir. İşletme şartlarında pH, yüksek çözünürlük değerinin altında tutularak silika çökeltmesi engellenebilir (El-Dessouky, 2002). Silika çökeltmesini engellemek için; besleme suyundaki silika konsantrasyonunun azaltılması bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Bu amaç için aşırı

kireç uygulaması ile yumuşatma yapılabilir veya besleme suyu sıcaklığı artırılabilir veya pH 8,5 ve üzerinde bir değere artırılabilir (kalsiyum karbonat çökmesi dikkate alınmalıdır) veya özel kimyasallar (antiskalant)/dispersantların) ilave edilebilir (Çakmakçı, 2013).

Organik Madde Giderimi: Organik maddeler membran yüzeyinde çökelebilmektedir. Su kaynağındaki organik içeriğin karakteri çok geniş bir aralıkta farklılıklar göstermektedir. Bu farklılıklar deniz suyunun mevcut organik içeriği ile endüstriyel, evsel veya tarımsal faaliyetlerden kaynaklı deşarjlara bağlıdır. Organik içerik ön arıtmada koagülasyon ve filtrasyon, aktif karbon veya iyon değiştirici reçineler ile giderilmektedir (El-Dessouky, 2002).

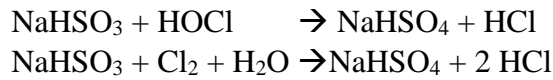
Yağ-gres, hidrokarbonlar, farklı organik solventler ve diğer kimyasallar membrana zarar verebilir veya membranın tıkanmasına sebep olabilir. Bu maddelerin besleme suyunda olmasına izin verilmemektedir. Hızlı karıştırma, yumaklaştırma ve çözülmüş hava ile sıyırma gibi ön arıtma yöntemleri ile bu maddeler besleme suyundan uzaklaştırılmaktadır. (Çakmakçı, 2013).

pH kontrolü: Membranların işletilebileceği pH aralıkları üreticileri tarafından belirtilmektedir. Örnek olarak bazı poliamid malzemedden üretilen RO ve NF membranları pH 4-11 aralığında, bazı selüloz asetattan üretilenler ise pH 4-6,5 aralığında işletilebilmektedir. Polisülfon, polipropilen ve PVDF'den imal edilen bazı MF ve UF membranları pH 2-13 aralığında kullanılabilir. İnorganik membranlar geniş bir pH aralığında işletilebilmektedir. Besleme suyunun pH değeri membran üreticileri tarafından belirtilen pH aralıklarında olmalıdır. Eğer pH bu aralıklarda değil ise, membran öncesi pH ayarlaması yapılmalıdır (Çakmakçı, 2013).

Mikrobiyolojik Kontrol: Membran yüzey alanları mikrobiyolojik birikime müsaittir. Oluşan bu birikim süzüntü akısında ve tuz giderimde düşüşe; sistemdeki basınç düşünde yükselmeye sebep olmaktadır. RO-NF membranları ile besleme suyundaki tüm mikroorganizmaları giderebilmektedir. Membrandan ayrılan mikroorganizmalar öncelikle ince film tabakası oluşturur ve sonrasında koloni oluşturacak şekilde birikime sebep olur. Aynı zamanda tüm ön arıtma elemanları mikrobiyal büyüme ve birikim için uygun ortam oluşturmaktadır. Bu durumu kontrol altına almak için besleme suyuna klor ilavesi yapılmaktadır ancak RO sistemi için

yeterli olamamaktadır. Ek olarak RO öncesi bioside ilavesi yapılmaktadır. Biocide, suda asılı halde bulunan mikroorganizmalarda etkili olurken film tabakası halindeki bu etki daha az gerçekleşmekte olup en azından yeni biyofilm oluşumunu engellemektedir. Diğer bir önlem ise besleme suyuna ön arıtım öncesi klor eklenmesidir. Ancak RO öncesinde klor giderimi gerekmektedir (El-Dessouky, 2002).

Serbest Klor Giderimi: Besleme suyunda RO öncesinde serbest klor bulunması istenmemektedir. Serbest klor membran sistemleri üzerinde oksidayona sebep olduğundan telafisi mümkün olmayan membran hasarlarına yol açabilir. Besleme suyu temini öncesinde mikrobiyolojik türleri etkisiz hale getirmek için klor ilavesi yapılmaktadır. Suda bulunan serbest klor varlığı takip edilip RO sisteminden önce sodyum biosülfid ilavesi ile klor giderilmektedir [Url-10].

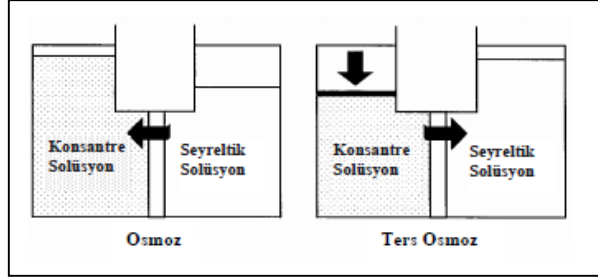


Ön arıtımda UF Membranları Kullanılması: Son yıllarda evsel ve endüstriyel olarak kirlenmiş deniz sularının ön arıtımı amacıyla UF membranları da kullanılmaktadır. Bu uygulama RO öncesi ön arıtıma için uygundur. Deniz suyun kalitesinde meydana gelebilecek tüm salınlara karşı olumlu cevap verebilen bir prostedir. Tesisteki RO sonrası ve öncesi tüm işlemlerin etkin kullanımı ve maliyet üzerine etkileri pozitifdir. Günümüzde UF membran kullanımı hızla artmaktadır. Özellikle Suudi Arabistan, Çin ve Japonya bu sistemleri büyük ölçekli tesislerinde kullanmaya başlamıştır. Konvansiyonel tesislere göre ilk yatırım maliyeti 1,5-2 kat daha yüksektir (Wolf, 2005).

5.2.3. Membran sistemi yapısı

Osmoz, kirletici yoğunluğu az olan sıvının yarı geçirgen bir membrandan, kirletici yoğunluğu fazla olan tarafa geçerek, yoğunluğu fazla olanı seyreltmesidir. Başka ifade ile su moleküllerinin fazla olduğu taraftan su moleküllerinin az olduğu taraf su geçişinin olması osmoz olayı olarak ifade edilmektedir (Şekil 5.8). Ters osmozda ise, kirletici yoğunluğu fazla olan sıvı tarafında osmotik basınçtan daha büyük bir basınç uygulanmaktadır (Şekil 5.8). Böylece, kirletici konsantrasyonu daha fazla olan taraftaki su molekülleri membrandan geçmekte ve sıvı içerisinde bulunan

mineraller, tuzlar ile organik maddeler yarı geçirgen membran tarafından alıkonulmaktadır (Arı, 2009).



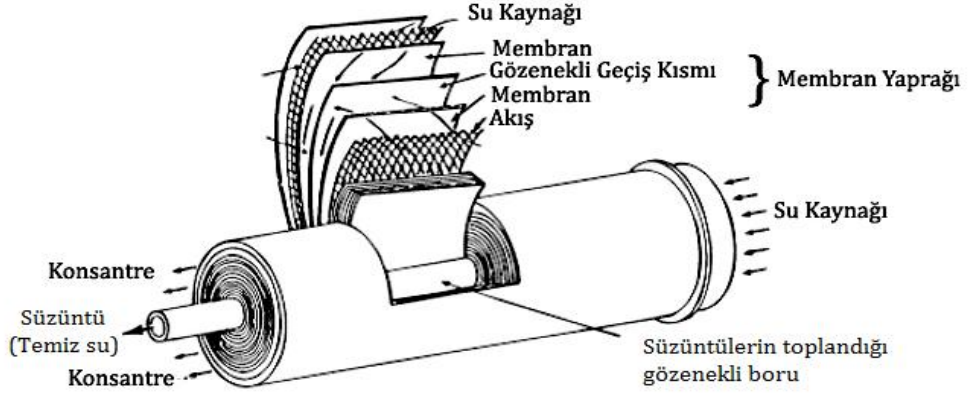
Şekil 5.8: Osmoz ve ters osmoz olayı

RO membranlarda çözülmüş organikler, renk, dezenfeksiyon yan ürünü öncüleri, sertlik, eser çözülmüş iyonlar veya çözülmüş katıları sudan ayırabilmektedir. Ayrıca, sodyum klorür % 99 ve üzerinde giderebilmektedir.

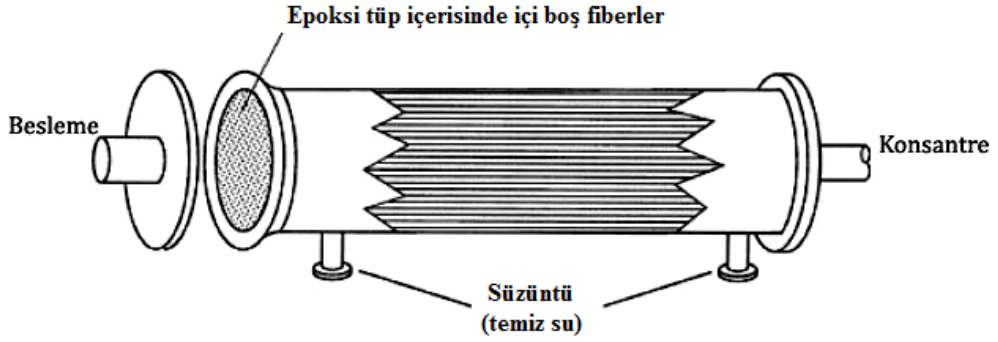
Giderim gerçekleştiren bu membranlar seçilirken; kaynak suyunun özellikleri, değişkenliği ve mevcudiyeti, membran prosesinin ön arıtma ve ileri arıtma gereksinimi, özellikle ön arıtma için kullanılmayan membran öncesi prosesler, örnek olarak oksidant, toz aktif karbon, koagülantlar ve polimerlerin kullanımı, süzüntü suyu kalite ve miktar gereksinimi ile karıştırma seçeneği (paçallama), atık kalıntıların uzaklaştırılması, kesikli veya pilot test ihtiyacı, ilk yatırım, işletme ve bakım maliyetleri dikkate alınmalıdır (Çakmakçı, 2013).

Deniz suyu arıtımında akışa karşı yarı geçirgen bir bariyer gibi davranış gösteren asimetrik, ince film kompozit türünde olan spiral sargılı (spiral wound) ve içi boş (hollow fiber) ters osmoz membranları kullanılmaktadır (Şekil 5.9). Bu membranlar selüloz triasetat ve poliamidden imal edilmektedir (Khawaji, 2008; Baker, 2000; Williams, 2003; El-Dessouky, 2002).

a)Spiral Sargılı Membran



b)Hollow fiber membran



Şekil 5.9: Deniz suyu tuzsuzlaştırılmasında kullanılan membran tipleri (Çakmakcı, 2013)

Tipik bir *hollow* membran çapı 50 μm , dış çapı ise 100-200 μm aralığındadır. Besleme sıvısı membran dış yüzeyindedir. Bu modüllerdeki membran alanı 0.2-1 m^2 arasındadır. Spiral sargılı modüller ters osmoz sistemleri için geliştirilmiş olup ticari modülleri tipik olarak 36"-40" uzunluğunda ve 4", 6", 8" ve 12" çapındadır. Bu modüller her biri yaklaşık olarak 20 ft^2 alanı olan merkezi toplama borusuna sarmalanmış bir dizi membran ve süzüntü suyu taşıyıcı örtüsünden oluşmaktadır. Çok yapraklı tasarımlar merkez boruya doğru basınç düşmesini minimize etmek için kullanılmaktadır. Bu membranların işletme koşullarına göre 3-5 yıl ömürleri vardır. İşletme verimleri % 50 civarındadır. *Hollow fiber* tipindeki membran modülü, spiral sargılı membrana nazaran daha iyi kalitede su üretebilmektedir, fakat bunlar spiral sargılıya göre daha pahalıdır (Baker, 1991; El-Dessouky, 2002). Deniz suyunun tuz

konsantrasyonuna bağlı olarak RO membranları 50-80 bar basınç altında işletilmektedir (Khawaji, 2008).

RO membranlarına uygulanan yüksek basınç, membranların içerisinde bulunduğu membran kılıfları tarafından kontrol edilmektedir. Membran kılıfları da yatırım maliyetlerini etkileyen bir faktördür.



Şekil 5.10: Membran kılıfı

Deniz suyunu arıtan RO tesislerinde ana tasarım ve performans parametreleri;

- Membrandan geçen akı miktarı,
- Geri kazanım oranı,
- Osmotik basınç,
- Membran üzerindeki tuz yoğunluğu (konsantrasyon polarizasyonu),
- Süzüntünün tuz konsantrasyonu,
- Membran ömrü,
- Enerji tüketimi
- Besleme suyu özellikleridir. (Khawaji, 2008).

Membran sisteminin tasarımında besleme suyunun kalitesi dikkate alınmalıdır. Besleme suyunun kompozisyonu, mevcut su kaynağının kalitesi ve membran ön arıtma proseslerinden etkilenmektedir. Kaynak suyuna ait geçmiş kalite verilerinin değerlendirilmesi ile uzun süreli su kalitesindeki değişim tahmin edilebilir. Tablo 5.3'de kaynak/besleme suyunda membran tasarımı için analiz edilmesi önerilen parametreler görülmektedir (AWWA B110-09; Randtke ve Horsley; 2012).

Tablo 5.3: Tasarım için gerekli ham su veya besleme suyu özellikleri

Parametre	Birim	RO ve NF
Sıcaklık	°F veya °C	R
Bulanıklık	NTU	R
SDI ₁₅ (boyutsuz)	-	O
SD ₁₅ (boyutsuz)	-	NA
pH	-	R
Toplam organik karbon	mg/L	O
Çözünmüş organik karbon	mg/L	O
UV ₋₂₅₄	m ⁻¹	O
Renk	Pt-Co	O
Toplam demir	mg/L	R
Çözünmüş demir	mg/L	O
Toplam mangan	mg/L	R
Çözünmüş mangan	mg/L	O
Alkalinite veya karbonat ve bikarbonat	mg CaCO ₃ /L	R
Toplam sertlik	mg CaCO ₃ /L	R
Yağ ve gres	mg/L	O
Biyokimyasal oksijen ihtiyacı	mg/L	O
Kimyasal oksijen ihtiyacı	mg/L	O
Toplam askıda katılar	mg/L	O
Toplam çözünmüş katılar	mg/L	R
Mikrobiyolojik parametreler, örnek olarak alg, toplam koliform, fekal koliform ve benzeri	EMS/100 mL	O
Kalsiyum	mg/L	R
Magnezyum	mg/L	R
Sodyum	mg/L	R
Potasyum	mg/L	O
Baryum	mg/L	R
Stronsiyum	mg/L	R
Amonyak	mg/L	O
Aluminyum	mg/L	O
Sülfat	mg/L	R
Klorür	mg/L	R
Florür	mg/L	R
Nitrat ve nitrit	mg/L	O
Bor	mg/L	O
Bromür	mg/L	O
Fosfat	mg/L	O
Arsenik	mg/L	O
Silika (SiO ₂)	mg/L	R
İletkenlik	µS/cm	O
H ₂ S (mevcut ise)	mg/L	R

Çözünmüş oksijen	mg/L	O
------------------	------	---

R: Gerekli veri, O: İsteğe bağlı, NA: Mevcut değil

Yarı geçirgen membranların süzüntü akısı ve çözünmüş madde (tuz) akısı aşağıdaki iki difüzyon denklemiyle hesaplanabilmektedir. Membran boyunca süzüntü akı hesabı denklem 5.1'de görülmektedir.

$$F_w = A * (\Delta P - \Delta \pi) \quad (5.1)$$

- F_w : Süzüntü akısı, $m^3/m^2 \cdot \text{saat}$
 A : Permeabilite katsayısı, $m^3/gün \cdot m^2 \cdot \text{bar}$
 ΔP : Uygulanan basınç farkı, bar
 $\Delta \pi$: Osmotik basınç farkı, bar

Her membran için üreticileri tarafından belirli bir basınç, çözünmüş madde konsantrasyonu ve sıcaklık değerinde gerçekleştirilen deneylerde elde edilen maksimum akı değerleri belirtilmektedir. Tasarımı yapılan tesis için gerekli membran modül sayısı üretici tarafından belirtilen akı verileri ve pilot tesis çalışmaları dikkate alınarak hesaplanabilir (Randtke, 2012).

Membran boyunca çözünmüş madde (tuz) akısının hesaplanması denklem 5.2' de görülmektedir.

$$F_s = B * (C_1 - C_2) \quad (5.2)$$

- F_s : Çözünmüş madde (tuz) akısı, $m^3/m^2 \cdot \text{saat}$
 B : Çözünmüş madde (tuz) permabilite katsayısı, $m^3/gün \cdot m^2 \cdot \text{bar}$
 $C_1 - C_2$: Membran boyunca çözünmüş madde konsantrasyon gradyanı

Su ve çözünmüş madde (tuz) permabilite katsayıları membran türüne göre farklılık göstermektedir. Su akısı, uygulanan basınca bağlı olarak değişmektedir. Basınç arttıkça akıda artmaktadır. Çözünmüş madde akısı basınca bağlı değişim göstermez ve basınç artışlarından bu akı pek etkilenmez (Çakmakçı, 2013).

Besleme suyunda tuzluluğun artmasıyla su akısı azalmaktadır. Tuzluluğun artması membran üzerinde oluşan tuz konsantresi birikiminden artan konsantrasyon polarizasyonundan dolayı osmotik basıncı artırmaktadır. Aynı su akısını elde etmek için osmotik basıncın artması daha fazla basınç uygulanmasını gerektirmektedir. Artan

basınçla membran sisteminden geçen süzüntü miktarı artarken, membrandan geçmeyen çözülmüş maddelerin konsantrasyonu konsantre akımı içerisinde artmaktadır. Eğer konsantre akımı membran sistemi girişine tekrar verilirse, zamanla membran girişindeki tuz miktarı artacak yani osmotik basınç artacaktır. Bu durumda aynı basınç uygulanmasına rağmen zamanla osmotik basıncın artmasıyla akıda azalma görülebilir (Randtke, 2012)

Membranda geri kazanım oranı (R) denklem 5.3' e göre hesaplanmaktadır.

$$R = 100 * \frac{Q_p}{Q_f} \quad (5.3)$$

- R : Geri kazanım oranı, %
Q_p : Süzüntü veya filtrat debisi, hacim/zaman
Q_f : Besleme suyu debisi, hacim/zaman

RO ve NF ünitelerinin tasarımında geri kazanım oranı belirlenirken aşağıdaki parametrelere dikkate alınmalıdır.

- Membran yüzeyinde birikim (*scaling*)
- Hidrolik
- Besleme suyu temini
- Süzüntü suyu kalitesi

Membran yüzeyinde birikim veya çökeltme olması geri kazanım oranını azaltmaktadır. Membran yüzeyinde birikim ve çökeltme işlemi minimuma indirgenmelidir. Bu maksatla membran öncesi gerekli ön arıtma prosesleri uygulanmaktadır. Kullanılan ekipmanlar uygulanan basınçlara dayanıklı olmalıdır. Membran ünitesi için gerekli debide ve kalitede besleme suyu temin edilmektedir. Tasarımda ön görülen süzüntü suyu kalitesine ulaşılması hedeflenmektedir. Bu kaliteye ulaşabilmek için uygun membran seçimi gerçekleştirilmekte ve membran öncesi gerekli ön arıtma prosesleri uygulanmaktadır. Geri kazanım oranı bu parametrelere bağlı olarak değişim göstermektedir (Randtke, 2012).

Membrandan tuz geçiş oranı (S_P) denklem 5.4'e göre hesaplanmaktadır.

$$S_P = 100 * \frac{C_p}{C_f} \quad (5.4)$$

- S_P : Tuz geçiş oranı, %

- C_p : Süzüntü veya filtrattaki tuz konsantrasyonu, mg/L
 C_f : Besleme suyundaki tuz konsantrasyonu, mg/L

Membran üreticileri tarafından RO membranları için tuz giderme verimleri belirtilmektedir. Bu verimler tek değerlikli ve iki değerlikli iyonların membrandan geçiş oranı hakkında da bilgi vermektedir. Tasarımı yapılan sistemde istenen giderme verimleri ile uyumlu olan membranlar tercih edilmektedir (Çakmakçı , 2013).

Membran ile tuz giderme oranı (SR) denklem 5.5'e göre hesaplanmaktadır.

$$S_R = 100 * \frac{C_f - C_p}{C_f} = 100 * \left[1 - \frac{C_p}{C_f} \right] = 100 - S_p \quad (5.5)$$

- S_R : Tuz giderim oranı, %
 S_p : Tuz geçiş oranı, %
 C_p : Süzüntü veya filtrattaki tuz konsantrasyonu, mg/L
 C_f : Besleme suyundaki tuz konsantrasyonu, mg/L

Membranlar tarafından çözünmüş maddelerin (tuzların) alıkonulması ve geçişi oranı belirlenirken aşağıdaki parametreler dikkate alınmalıdır (Randtke, 2012).

- Membran üreticisi tarafından belirtilen özellikler
- Organik ve inorganik çözünmüş maddeler
- Membran türü
- İşletme pH değeri

Membran üreticileri tarafından belirli koşullar altında RO için tuz değeri belirtilmektedir. Bu giderim verimleri dikkate alınarak tuzların alıkonulması ve geçişi değerlendirilmektedir. Bazı membran türleri organik ve bazıları da inorganik çözünmüş maddeleri gidermede daha etkilidir. Örneğin poliamid membranların organik madde giderme verimi selüloz asetat membranlardan daha iyidir. Besleme suyu içerisinde bulunan bazı iyonların giderim verimleri pH'ya bağlı olarak değişim göstermektedir. Örneğin, florür ve bikarbonatlar pH 5,5 ve üzerinde ve bor ise pH 9 ve üzerinde daha yüksek verimle membran tarafından alıkonulabilmektedir (Randtke, 2012).

Membran akısı üzerinde etkili olan parametrelerden biride sıcaklıktır. 25 °C'de elde edilen debi değeri baz alınarak sıcaklık değişiminin debi üzerindeki etkisi denklem 5.6'da görülmektedir.

$$Q_p = Q_{p(25\text{ }^\circ\text{C})} * 1,03^{(T-25)} \quad (5.6)$$

Q_p : T sıcaklığındaki debi

$Q_{p(20^\circ\text{C})}$: 20 °C sıcaklığındaki debi

T : Sıcaklık değeri

Besleme suyunun sıcaklığı mevsimlere bağlı olarak değişim göstermektedir. Bu değişimin üretilen temiz su debisine etkisi, yukarıdaki denklemlerle belirlenebilmektedir. Tasarım debisini üretebilmek için sıcaklık değişimi dikkate alınarak transmembran basıncı (TMP) değiştirilebilir veya yedek modüller işletmeye alınabilmektedir (Çakmakçı, 2013).

Membrandaki transmembran basıncı (TMP) denklem 5.7'ye göre hesaplanmaktadır.

$$\text{TMP} = \frac{P_f + P_c}{2} - P_p = P_f - \frac{\Delta P}{2} - P_p \quad (5.7)$$

TMP : Transmembran basıncı, bar

P_f : Besleme basıncı, bar

P_c : Konsantre basıncı, bar

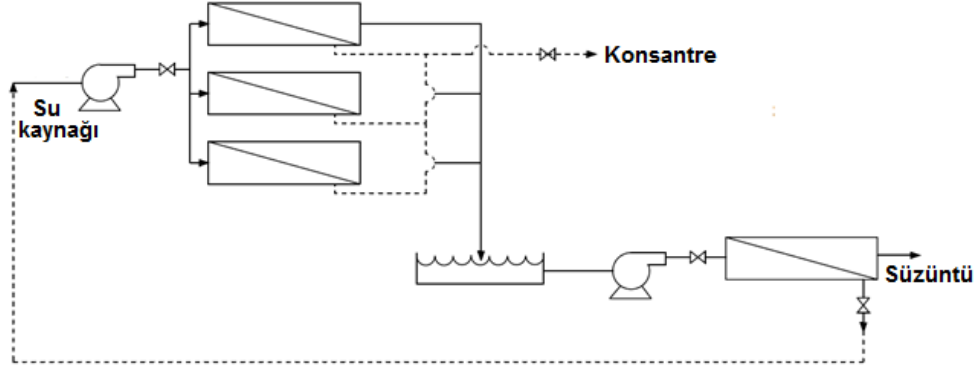
P_p : Temiz su basıncı, bar

ΔP : $P_f - P_c$

Denklem 5.7' de görüldüğü üzere, membrana uygulanan basınç, membran konsantresindeki basınç ve membran süzüntü akımındaki basınç değerleri belirlenerek transmembran basıncı hesaplanabilmektedir. Membran konsantresindeki basınç değeri modüle uygulanan basınçtan biraz azdır. Basınçtaki bu azalma modül giriş ve çıkışında yersel yük kayıpları ile modül içerisindeki sürtünme kayıplarından kaynaklanmaktadır. Besleme tarafına uygulanacak basınç aşağıda belirtilen parametrelere bağlı olarak farklılık göstermektedir (Randtke, 2012).

- Membran türü
- Tasarım akısı
- Geri kazanım oranı
- Osmotik basınç
- Sıcaklık
- Temiz su basıncı

göre daha düşük kirletici konsantrasyonu olacaktır. Böylece birinci ve ikinci kademedeki kullanılan membranlar farklı basınçlarda işletilebilir (Randtke, 2012).



Şekil 5.12 İki kademeli membranla süzüntü kalitesinin artırılması

Yüksek basınçlarla işletilen RO membran sistemlerinde enerji tüketimi önemli bir işletme giderini oluşturmaktadır. Bu membran proseslerin konsantre akımındaki basınç değeri besleme akımından biraz daha düşüktür. Konsantre akımındaki bu basınçtan yararlanılarak enerji üretilebilir. Bu enerji üretimi membran sistemi tasarım aşamasında dikkate alınmalı ve değerlendirilmelidir. Enerji geri kazanım sistemi seçimi debiye, konsantre akımının basıncına, maliyetlere ve diğer faktörlere bağlıdır. Kullanımı yaygın olan bazı enerji geri kazanım cihazları aşağıda belirtilmiştir (Randtke, 2012).

- Darbeli pompalar
- Entegre turbo pompalar
- Turboşarj
- Basınç dönüştürücüler

RO sistemlerinde ani durma olması halinde özellikle konsantre kısmında kirleticilerin membran içerisinde kalmaması için basınçlı su ile yıkama işlemi gerçekleştirilmelidir. Membran performansı azaldığında veya membranlar kirlendiğinde genellikle kimyasallar ile temizlenmektedir (Çakmacı , 2013).

Membran yüzeyinde biriken organik maddelerin, mikroorganizmaların, minerallerin ve metal bileşiklerin temizlenmesi için bazı prosedürler uygulanmaktadır. Membranlarda temizleme prosedürü, aşağıdaki durumlar ortaya çıktığında gerçekleştirilir (Arnal, 2011) ;

- Süzüntü akısında %10-15 azalma olduğunda
- Süzüntü içeriğinde %10-15 yükselme olduğunda
- Membran kılıfları içindeki basınçta %15-20 düşüş olduğunda.

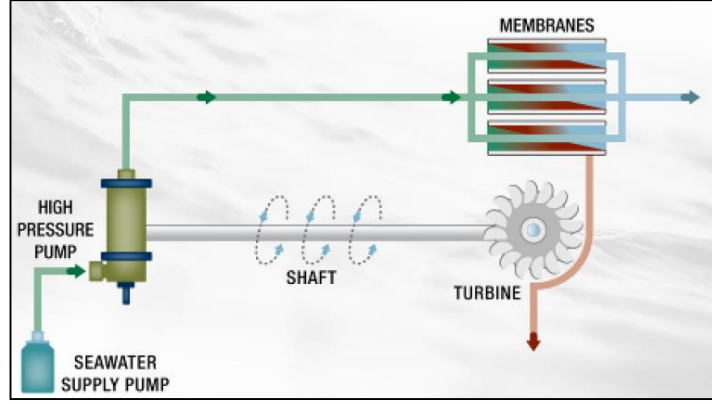
Membranın türüne ve beslemesuyu özelliğine göre 3-12 ay arasında membranlar temizlenmektedir. Temizleme işlemleri 4-8 saat arasında sürmektedir. Kositik ilavesi ile pH 11-12 aralığına getirilerek organik maddeler ve silt oluşumu giderilir. Membranlar temiz su ile temizlendikten sonra, asit ilavesi ile pH 2-3 aralığında; metal oksitlerin ve birikiminin giderilmesi kimyasal ilaveleriyle gerçekleştirilir. Membran temizliğinde deterjanlar (dodecylsulfate, dodecylbenzene sulfonate) ve osidantlar (sodium perborate, sodium hypochlorite, EDTA) kullanılır. Bu işlemden sonra membran yüzeyleri dezenfekte edilir. Bu dezenfeksiyon aktif klor, hidrojen peroksit veya formaldehit gibi kimyasallar ile gerçekleştirilir. Bu işlem gerçekleştirildikten sonra membranlar tuzu giderilmiş olan su ile yıkanır (Lethmann, 2008).

5.2.4. Enerji geri kazanım sistemleri

Büyük kapasiteli SWRO tesisleri kurulmasıyla membran konsantresi basıncından faydalanma olanağı ortaya çıkmıştır. Membran konsantresindeki basıncın, besleme suyunun membranlara iletim hattındaki basınca aktarılmasıyla enerji geri kazanımı sağlanarak SWRO tesislerinde en önemli maliyet bileşeni olan enerjide tasarrufa gidilmesi sağlanmaktadır. Günümüzde SWRO tesislerindeki su üretim maliyetinde, ilk yatırım maliyeti ve enerji tüketimi %75-85'lik bir kısmını oluşturmaktadır. Enerji tasarrufu SWRO tesislerinde önemli bir konudur. Dünya genelindeki SWRO tesislerinde gerçekleştirilen enerji kazanımı 1.2 milyar dolarlık tasarruf sağlamaktadır. Membran sisteminde %55-65 arası, tesis genelinde ise %35-45 arası enerji tasarrufu sağlanmaktadır (Stover, 2007). Membran konsantresinden enerji geri kazanımı 3 farklı yöntemle yapılabilmektedir. Bunlar, Pelton çarklar, Turb charger ve İzobarik Basınç Değiştirici yöntemleridir.

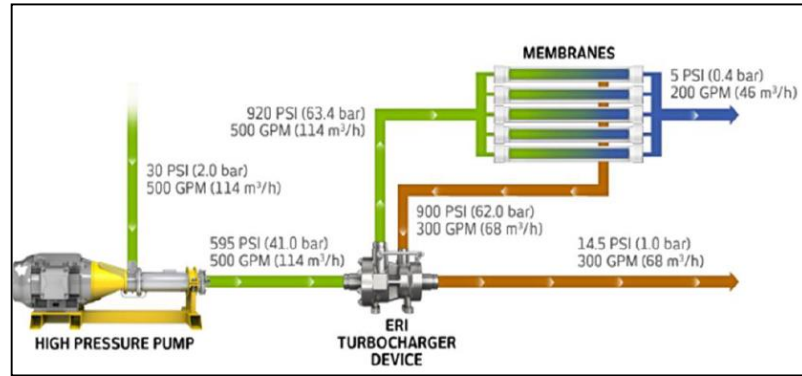
Pelton Çarklar: Yüksek basınçlı membran konsantresinden gelen akım bir çarkın içinde olduğu sisteme girer ve çarkı döndürür. Bu çarka bağlı olan bir şaft, membranlara besleme suyu pompalayan yüksek basınçlı motorlara bağlıdır ve

motorların besleme suyunu basmasına yardımcı olur. Böylelikle % 66 – 88 arasında enerji geri kazanımı gerçekleştirilebilir (Li, 2011).



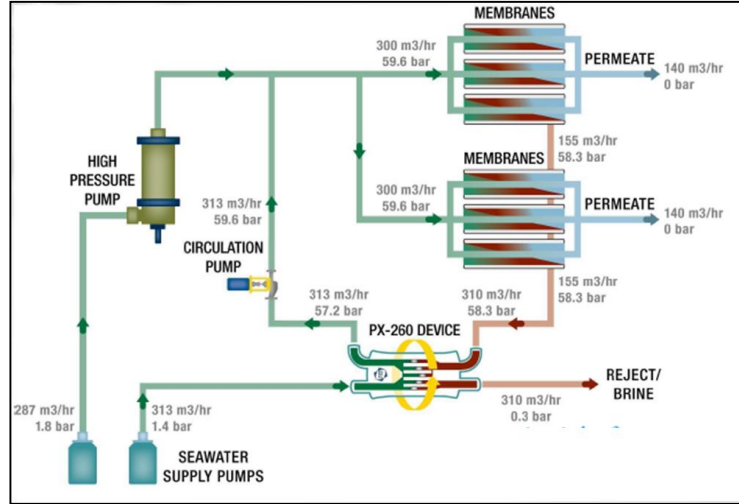
Şekil 5.13: Penton çarkı geri kazanım sistemi

Turbacharger: Bu sistem yüksek basınçlı pompalara bağlı olmaksızın çalışmaktadır. Basınçlı konsantre sistemin bir ucundan girmekte ve sistem içerisindeki çarkı döndürmektedir. Dönen çarkın diğer ucuna bağlı bir diğer çark yüksek basınçlı motorlardan gelen suyun iletilmesindeki basıncı artırarak %83 oranında bir enerjinin geri kazanılmasını sağlayabilir (Li, 2011).



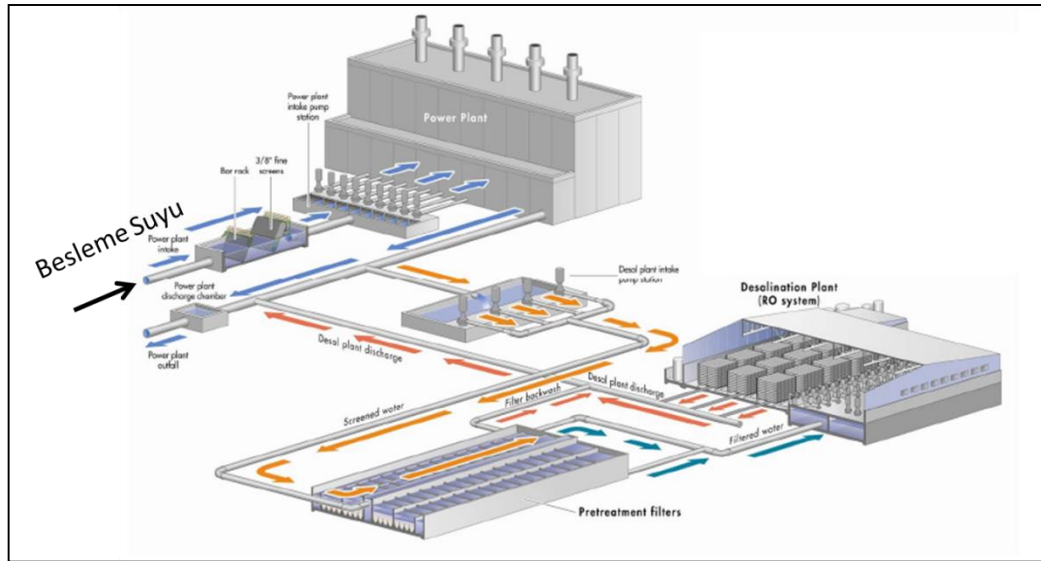
Şekil 5.14: Turb charger enerji geri kazanımı sistemi

Izobarik Basınc Değiştirici: Bu sistem global ölçekte en fazla tercih edilen enerji geri kazanım yöntemidir. Sistemin çalışma prensibi, konsantredeki akımı direkt olarak besleme suyunu iletilmesi üzerine temellendirilmiştir. Bu sistemde % 95-98 enerji geri kazanımı sağlanmaktadır. Diğer sistemlerde tesis kapasitesi büyüdükçe enerji geri kazanım artarken, izobarik basınç değiştiricide tüm kapasitelerde aynı verimi sağlamaktadır (Li, 2011).



Şekil 5.15: İzobarik basınç değıştiricili enerji geri kazanım

Tesislerde konsantreden elde edilen enerji tasarrufları yanı sıra enerji üretim tesislerindeki atık ısıdan da enerji kazanımı sağlanabilmektedir. Şekil 5.16'da sisteme ait akış diyagramı verilmektedir.



Şekil 5.16: Atık ısıdan enerji kazanımı

Membran sistemlerinde sıcaklık arttıkça verimde artmaktadır. Enerji üretim tesislerinde soğutma amacıyla kullanılan deniz suyunun sıcaklığı artmaktadır ve bu suyun kullanılması ile yaklaşık %5-10 oranında enerji tasarrufu sağlanabilmektedir. Enerji üretim tesislerindeki ısınmış soğutma sularının kullanılması vizkoziteyi düşürmekte ve böylece pompa maliyetlerinde %1-2 arasında enerji tasarrufu sağlanabilmektedir (Voutchkov, 2008).

5.2.5. Son arıtma

SWRO'dan elde edilen süzöntü yani temiz su, insani tüketim amaçları için uygun değildir. SWRO süzöntülerinde bazı minerallerin bulunmaması diş, kemik, mide ve bağırsak üzerinde olumsuz etkiler yapabildiği belirtilmektedir. Ayrıca tuzsuzlaştırılmış suda tat ve koku problemi oluşmaktadır. Bu durum, içme suyunun kabul edilebilirliğini etkileyen bir faktör olup içme suyu standartlarına uymamaktadır. Minerallerin suya temin edilmesi ve koku ile tat probleminin giderilebilmesi gerekmektedir. Aynı zamanda tuzsuzlaştırılmış suların (süzöntü) düşük pH'ından (4,5-6,0-çoğunlukla 5-5,30) dolayı oluşan agresif özelliği bulunmaktadır. Bu durum tesis içindeki ekipmanlarda ve sonrasındaki dağıtım yapılarında korozif etki göstermektedir (WHO, 2011; WRF 2011). Akdeniz suyunun tuzsuzlaştırma sonrası oluşan süzöntü suyuna ait su kalite değerleri Tablo 5.5'de verilmektedir (Delion, 2004¹; TS 266²; Voutchkov, 2011³; AB İçme Suyu Direktifi (76/464/EEC)⁴). Tablo 5.5'de baryum, silica, bromid, strontiyum iyonlarına ait konsantrasyonlar çok düşük olması sebebiyle tabloda yer verilmemiştir (Delion, 2004).

Tablo 5.5: Akdeniz deniz suyunun tuz gidermesi sonucu elde edilen süzöntü kalitesi

Parametre	Birim	Membran Öncesi Deniz Suyu Giriş (Asitleştirilmiş) ¹	RO Sonrası Süzöntü Suyu Kalitesi ¹	İnsani Tüketim Amaçlı su kalitesi değer aralıkları (KD-ZD)*	Kaynak
pH	-	7.0	4,95	6,5-8,5	2, 4
Ca ⁺²	mg/lt	450	1,80	100-200	2
Mg ⁺²	mg/lt	1410	6,70	30-50	4
Na ⁺²	mg/lt	11849	119,20	100-200	2
K ⁺	mg/lt	440	6,60	10-12	4
HCO ₃ ⁻	mg CaCO ₃ /lt	127,80	1,90	80-120	3
SO ₄ ⁻²	mg/lt	2721,2	11	25-250	2, 4
Cl ⁻	mg/lt	21500	203,50	25-600	2, 4
B	mg/lt	5,5	0,55	1	2, 4
Serbest CO ₂	mg/lt	2,90	4,95	-	-
TÇK	mg/lt	38498	350,7 (547 µS/cm)**	1500 (650-2500 µS/cm **)	2, 4
Florür	mg/lt	0,8	0	1-1,5	2
Demir	mg/lt	<0,5	0	0,05-0,2	4
Mangan	mg/lt	<0,1	0	0,02-0,05	2, 4

*KD:Kalvuz Değer; ZD:Zorunlu Değer

** TÇK= 0,64*EC(µS/cm)

Değer aralığı altında	Değer aralığında
-----------------------	------------------

Tablo 5.5’de görüldüğü üzere, RO süzüntü suyunun kimyasal içerik bakımından içme suyu amaçlı kullanılması imkânsızdır. Bundan dolayı RO sisteminden sonra elde edilen tatlı su kullanıcıya ulaştırılmadan önce, elde edilen süzüntünün kalitesine göre bazı son işlemlere tâbi tutulmaktadır. Bu işlemler, deniz suyunun doğal kaynak veya global/yerel ölçekteki içme suyu standartlarını ulaştırılması için uygulanmaktadır. Son arıtmada sistem dizaynı tümüyle su kalite kriterlerine ve elde edilen süzüntü suyu kalitesi bağlıdır.

Son arıtmada uygulanan yöntemler;

- Tatlı doğal sular ile paçallama
- CO₂ giderimi
- Bor giderimi
- Remineralizasyon
- Korozyon inhibitörü ilavesi
- Dezenfeksiyon

Tatlı doğal sular ile paçallama: Dünyanın birçok yerinde SWRO tesislerden elde edilen suya paçallama uygulanmaktadır. Bu yöntem, musluktaki su fiyatının azaltılmasına katkı sağlamaktadır. Yapılan yerlatı suyu paçallama uygulamalarda oran % 1-10 arasında gerçekleştirilmektedir (WHO, 2011). Tablo 5.6’de İsrail Ashkelon tesisinden elde edilen suyun farklı yer altı suları ile paçallama sonucu elde edilen değerleri verilmiştir.

Tablo 5.6:İsrail’de paçallama örneği (Dreizin, 2007)

Bölge	Sezon		TDS			Sertlik			Cl		
			ppm	Azaltım		ppm as CaCO ₃	Azaltım		ppm	Azaltım	
				ppm	%		ppm	%		ppm	%
Beer Sheba	Yaz	Önce	647	266	41	323	132	41	193	105	54
		Sonra	381			191			88		
	Kış	Önce	573	148	26	267	57	21	180	71	39
		Sonra	425			210			109		
Kiriya Gat	Yaz	Önce	633	87	14	338	65	19	165	26	16
		Sonra	546			273			139		
	Kış	Önce	478	148	31	212	46	22	145	80	55
		Sonra	330			166			65		
Ofakim	Yaz	Önce	598	265	44	310	141	46	168	102	61
		Sonra	333			169			66		
	Kış	Önce	429	121	28	195	38	24	119	61	51
		Sonra	308			157			58		
Shderot	Yaz	Önce	475	183	39	250	105	42	150	94	63
		Sonra	292			145			56		
	Kış	Önce	393	30	8	185	17	9	99	15	15
		Sonra	363			168			84		
Netivot	Yaz	Önce	557	288	52	277	138	50	170	125	74
		Sonra	269			139			45		
	Kış	Önce	374	97	26	177	35	20	89	42	47
		Sonra	277			142			47		

Diğer yerüstü su kaynakları ile paçallamaya dair bir kısıt bulunmamaktadır. Ancak su kaynağı kesinlikle içme suyu standartlarında olmalı veya arıtılmış olmalıdır. Aksi takdirde istenilen su kalitesine ulaşılamamasının yanı sıra suyun içinde yüksek oranda bulunacak bromür ve iyodür, klorlamanın da etkisiyle kanserojen olan yan ürünlerin ortaya çıkmasına sebep olabilir (Duranceau, 2009).

Paçallamanın avantajları aşağıda belirtilmiştir (Çakmakçı, 2013).

- Tasarım debisini üretebilmek için gerekli membran kapasitesi azalır.
- Membran kapasitesinin azalması ile oluşan konsantre miktarı da azalır.
- Tesisin ilk yatırım ve işletme maliyetleri azalır.
- Özellikle RO çıkış suları korozif olmaktadır. Bu korozif sularının kontrolü için kullanılan kimyasal miktarı azalır.
- Paçallama ile suya bir miktar iyon ilavesi yapılmış olunur. Böylece içme suyu olarak kullanılacak RO suları için ilave edilmesi gerekli bazı eser element miktarı minimize edilir.

Paçallama oranı denklem 5.8'e göre hesaplanabilmektedir (Çakmakçı, 2013).

$$\frac{Q_p}{Q_{fin}} = \frac{C_{kaynak} - C_{hedef}}{C_{kaynak} - C_p} \quad (5.8)$$

Q_{fin} : Paçallanma sonrası toplam debi

Q_p : Membranda süzülen suyun debisi

C_{kaynak} : Kaynak suyundaki çözülmüş madde konsantrasyonu

C_{hedef} : Paçallanmış sudaki çözülmüş madde konsantrasyonu

C_p : Membran süzütüsündeki çözülmüş madde konsantrasyonu

Membran süzütüsü ile karıştırılacak kaynak veya ön arıtılmış suyun debisi denklem 5.9'a göre hesaplanır.

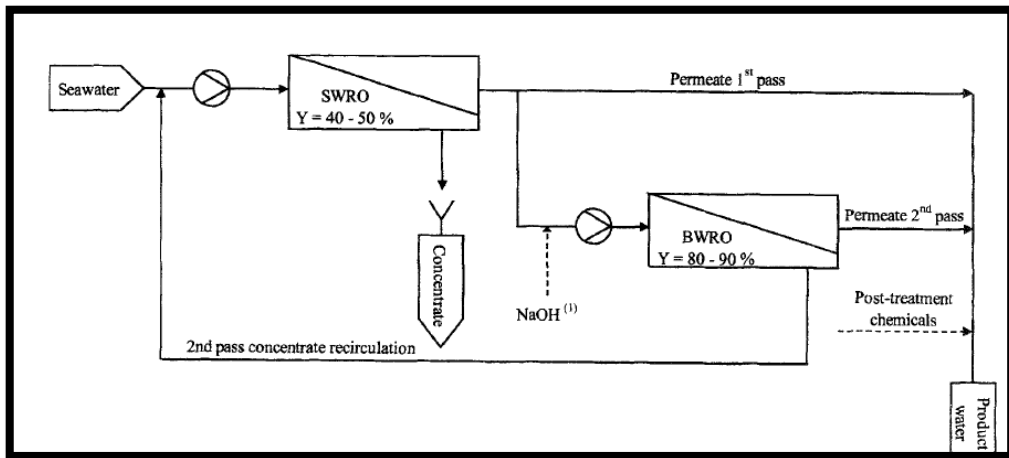
$$Q_{byp} = Q_{fin} - Q_p \quad (5.9)$$

Q_{byp} : Membran süzütüsü ile karıştırılan kaynak veya ön arıtılmış su debisi

CO₂ (karbon dioksit) giderimi: Deniz suyundaki karbonat ve bikarbonat iyonlarının çoğunluğu RO tarafından alıkonulmaktadır ve bu sebeple, süzütü suyunun pH'sı azalmakta, suda karbondioksit dengesi bozulmaktadır ve süzütüde

çözünmüş karbondioksit oluşmaktadır. Süzüntüdeki karbon dioksitin giderilmesi ile pH'nın 0,5 kadar yükselmesi sağlanabilmektedir (Akgül, 2006). Ancak pH değeri çok düşük olmayan sularda karbondioksit giderimi için bu yöntemin kullanılması önerilmez, çünkü düşük pH'larda karbon dioksit konsantrasyonu oldukça yüksektir (pH 5,57'de 2,60 mg/L - pH 4,95'da 21,90 mg/L) ve giderilmesi çok zordur. Düşük pH'larda karbondioksit agresif özellik göstermeye başlamaktadır. Bu agresif etkinin giderilmesi için karbon dioksit sıyrıcı (*stripping*) sistem RO'dan hemen sonrasına sisteme ilave edilmektedir (Delion, 2004).

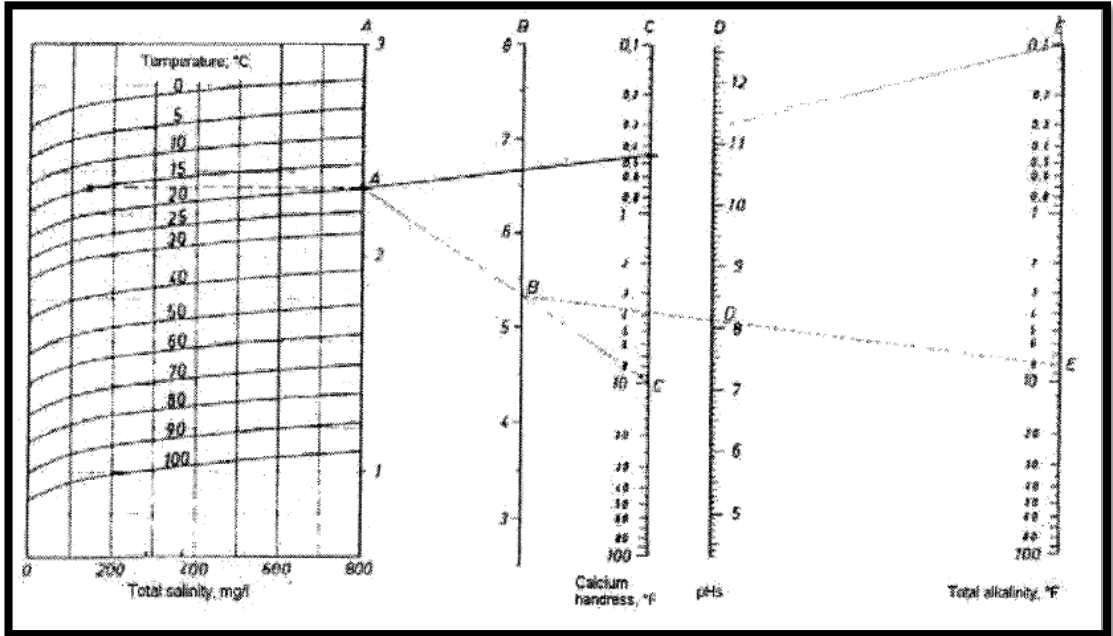
Bor giderimi: Bor özellikle deniz ortamında kayaların parçalanma prosesleri ile açığa çıkmaktadır. Doğal olarak deniz suyunda ortalama 4-6 mg/L civarında bulunabilmekte olup tuzluluğu yüksek olan körfez denizinde 6-7 mg/L'ye kadar bulunduğu gözlemlenmiştir. Deniz suyundaki 7,7-8,3 pH'larda bor tipik olarak iyonik olmayan borik asit [H_3BO_3] formunda bulunmaktadır. Bor, tarım ürünleri üzerinde toksik etki yaparken canlılar üzerinde doğum kusurlarına sebep olmaktadır. TS 266 ve İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik'te bor limiti 1 mg/L olarak belirlenmiştir. WHO'ya göre bu limit değer 0,5 mg/L'dir. Deniz sularında kullanılan RO proseslerinde pH, besleme suyu, ön arıtma, sıcaklık gibi parametrelere bağlı olarak iyonik olmayan bor % 45-50 aralığında giderilebilmektedir. Bu sebepten dolayı SWRO tesislerinde bor giderme problemleri olarak ortaya çıkmaktadır. Bor gideriminin gerçekleştirilmesi için pH 9-11 aralığında iyonik formu olan borata [$B(OH)_4^-$] dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu durumun çözümü için 2 kademeli RO sistemi dizaynı kullanılmaktadır.



Şekil 5.17: Bor giderme prosesi (Bick, 2005)

İlk kademedan geçen süzöntü 2.kademeye girerken pH'sı kostik soda ile yükseltılarak %80-99 oranında giderim sağlanabilmektedir. Bu duruma alternatif olarak iyon değıştirici reçinelerde kullanılabilir. Ancak bu durum tesisin ilk yatırım maliyetinde %15-20 artışa sebep olmaktadır (Bick, 2005).

4.Remineralizasyon: Bu proseste suyun mineral açıdan zenginleştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu zenginleştirmenin iki farklı amacı bulunmaktadır: birincisi su dağıtım yapısını korozyona karşı korumak ve ikincisi ise insani tüketim amaçlı önem arz eden gerekli minerallerin sağlanmasıdır. Remineralizasyonun gerçekleştirilmesinde 3 farklı yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan biri tatlı sular ile paçallama olup yukarıda anlatılmıştır. Diğer iki yöntem ise karbondioksit enjeksiyonu ile kimyasal eklenmesi ve doğal olarak oluşan kireçtaşı ve dolomit gibi minerallerden filtre edilmesi olarak sıralanmaktadır. Bu iki yöntem sudaki kalso-karbonik dengenin sağlanması amacıyla uygulanmaktadır. Kalso-karbonik denge sudaki CO₂'nin etkileşimine bağlı olarak değışkenlik gösteren kalsiyum karbonat (CaCO₃) dengesidir. Bu denge sudaki CaCO₃'ün ne ayrılmış nede çökelmiş formundaki doygunluk pH'sı olan "pHs" olarak tanımlanmakta olup Hoover nomogramı ile tespit edilebilmektedir.



Şekil 5.18: Hoover nomogramı

Buna bağlı olarak, suyun korozif veya çökelti oluşturma özelliği olup olmadığı farklı hesaplamalar ile elde edilen Langelier İndeksi (LI), Ryznar İndeksi (RI),

Larson Oranı (LnR), Leroy Oranı (LyR) ve Doygunluk İndeksi (SI) ile tespit edilebilmektedir.

Langelier İneksi(LI) : $LI = pH - pH_s$; <0 ise aşındırıcı, >0 ise birikim oluşturur,

Ryznar İndeksi(RI) : Havalandırılmış su için $RI = 2 pH_s - pH$; <7 birikim yapar, >7 aşındırıcıdır,

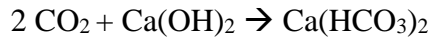
Doygunluk İndeksi(SI): $SI = \frac{[Ca^{+2}] \times [CO_3^{-2}]}{K'_s}$; <1 aşındırıcı, =1 dengede ve >1 ise birikim yapar

Larson Oranı(LnR) : $LnR = \frac{[Cl^-] + 2 \times [SO_4^{-2}]}{HCO_3^-}$; <0,2 korozyon değil, 0,2~0,4 çok az korozyon, 0,4~0,5 biraz korozyon, 0,5~1 korozyon, >1 güçlü korozyon.

Leroy Oranı(LyR) : $x = \frac{\text{Toplam Alkalinite}}{\text{Kalsiyum Sertliği} (^{\circ}F)}$; 0,7~1,3 çok az korozyon.

Kimyasal Eklenmesi:

Kalsiyum Hidroksit (Kireç): En yaygın kullanılan remineralizasyon yöntemidir. Suyun sertliğini ve alkalinitesini artırmak için Kalsiyum Hidroksit eklenmesi öncesinde CO₂ eklenmelidir. Bu işlem aşağıdaki reaksiyon ile açıklanmaktadır.



Suyun sertliğini 100 mg CaCO₃/L'ye çıkarmak için, suya çözülmüş halde 74 mg/L Ca(OH)₂ ve 88 mg/L CO₂ eklenmesi gerekmektedir. Remineralizasyonun bu aşamasında amaç suyun 80-120 mg CaCO₃/L olarak ayarlanması ve suyun aşındırıcı özelliğinin yok edilmesidir. Toplam sertliğin (kalsiyum ve magnezyum) %90'ı kalsiyum sertliğinden kaynaklanmaktadır. Kireçleme yönteminde suya eklenen kireç 0.05-0.5 NTU arasında bulanıklığa sebep olması bu yöntemin dezavantajlarından biridir.

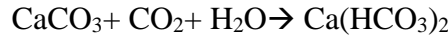
Magnezyum ve Florür: Suyun içindeki sertliğin bir kısmı magnezyumdan ileri gelmektedir. Sertliğin artırılması ve insan sağlığının korunması amacıyla limit değere kadar suya MgSO₄ veya MgCl₂ eklenmektedir. Süzüntü suyunda florür

miktarı insani tüketim amaçlı değerlerin altına düşmektedir. Bunun için suya florür eklenir.

Kireç Taşı(Kalsit) : Doğadan temin edildiği gibi direk olarak kullanılmaktadır. Elde edilen su kireç taşı yatağından geçirilmeden önce verilen CO₂ ile beraber suyun sertliği ve alkalitesi artmaktadır. Bu işlem aşağıdaki reaksiyon ile açıklanmaktadır.

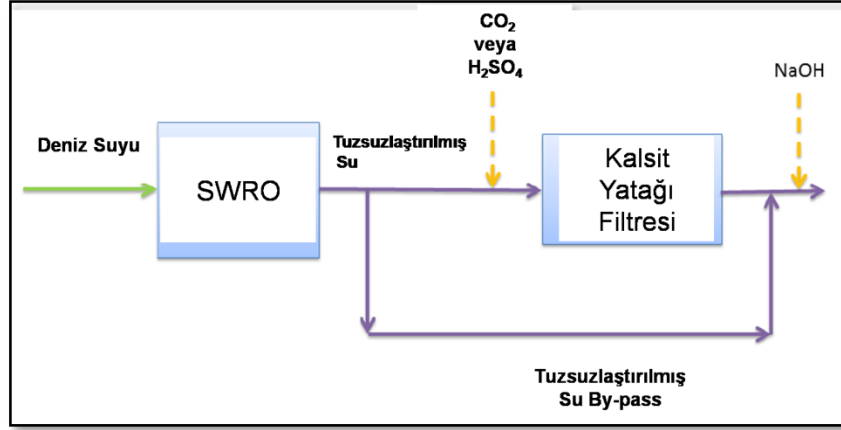


100 mg CaCO₃/L sertlik için 44 mg/L CO₂ ve 100 gr kireç taşı gerekmektedir. Kireç taşı kullanımı, kireç kullanımına göre %50 daha ucuzdur. Ayrıca, daha az CO₂ kullanılmaktadır. CO₂'de alternatif olarak suya sülfürik asit eklenmesi ile karbondioksit oluşturulması sağlanabilmektedir. Bu işlem aşağıdaki reaksiyonlar ile açıklanmaktadır.



Sülfürik asit eklenmesi ile suyun temas edeceği yatakta iki kat daha fazla kalsit gerekmektedir. Asit kullanılması ile düşen pH kalsit yatağında daha fazla kalsiyumun çözünmesine yardımcı olur ve istenilen su kalitesine daha çabuk gelmesi sağlanır. Reaksiyon hızının artması kalsit yatağındaki filtrenin boyutunun azalmasını sağlar. Ancak sülfürik asit kullanımı kalsite oranla daha pahalı bir işletme maliyeti ortaya çıkarmaktadır. Diğer bir dezavantajı da suya fazla miktarda sülfat geçmesi ile su kalitesinin olumsuz yönde etkilenmesidir.

Mevcuttaki SWRO tesislerinde suyun pH'sı 7,5 civarında olacak şekilde işletilmeye çalışılmaktadır. Kalsit kullanıldığında suyun sertliğini ve pH'sını ayarlamak zor olmaktadır. Kalsiyum sertliği artırılan suyun pH'sı 8-8,5 arasına gelmektedir. Bu durumu çözmek için süzüntü suyunun %20-50 miktarına işlem uygulanırken diğer kalan kısmı kalsit yatak filtrenin sonunda karıştırılabilmektedir. Böylelikle istenilen sertlikte ve pH'da son ürün elde edilebilmektedir. Kalsit yatağından geçirilen su 10-30 dk'lık bir temas süresi sonunda sistemi terk eder. Yapılan işleme ilişkin akış diyagramı Şekil 5.19' da verilmektedir.



Şekil 5.19: Kalsit mineralizasyonu

Kalsit yatağı filtresi ilk yatırım ve işletme maliyeti açısından kireç kullanımından daha ucuzdur. Ancak dünya genelinde gıda sınıfında kalsite ulaşmak kireç kadar kolay değildir. Bu yüzden dünya genelinde kireç-karbondioksit şartlandırma mekanizması kullanılmaktadır.

Dolomit: Doğal bir mineral olan dolomit kalsiyum ve magnezyum içermektedir. Kalsit yatağı filtresine benzer olarak süzüntü suyuna uygulanabilmektedir. Aynı şekilde asit veya karbondioksit kullanımı gerçekleştirilmektedir. Doğada dolomit kayaç mineralinin kompozisyonu sıklıkla homojen değildir ve kireç katmanlarından meydana gelmektedir. Magnezyumun pH 5,5’den büyük değerlerde çözünmesi çok iyi olmadığından suya magnezyum geçişinin sağlanması için normal ihtiyaçtan birkaç kat daha fazla kalsiyum sertliği suya geçmektedir. Bu durum sertlik kısıdı düşük olan yerlerde dolomit kullanımını kısıtlamaktadır.

Dolomit kullanımının kireç kullanımına göre uygulanabilirliği düşüktür. Kireçten daha pahalı ve kolay ulaşılabilir değildir. Dolomitin çözünürlüğünün kirece göre 2-3 kat daha düşüktür. Bu sebeplerle, büyük alanlara kurulması ve kireç taşına göre doğal olarak daha az homojen yapıda olması ile dizayn problemleri dolomitin kullanımını kısıtlamaktadır. Aynı zamanda gıda sınıfında dolomit bulunmak güçtür ve kullanımını zorlaştıran diğer bir etkidir (Voutchkov, 2011).

Magnezyum İyon Değiştiriciler: Suya kalsit veya kireç taşından kazandırılan kalsiyumdan sonra magnezyum içeren iyon değiştirici reçineler ile suya

magnezyumun verirken kalsiyum değişimi gerçekleşmektedir. Buna bağlı olarak TK miktarı ve kk oranlarda bor miktarı suda artmaktadır. Reçineler n arıtıma tabi tutulmuş deniz suyu ile geri yıkaması yapılarak rejenere edilebilir. İlk yatırım maliyetleri diğer yöntemlere göre 4-5 kat daha fazladır (Voutchkov, 2011).

5.Dezenfeksiyon: Klasik içme suyu arıtma sistemlerindeki gibi klor ile dezenfeksiyon gerçekleştirebilmektedir. Tuzsuzlaştırılmış suda dezenfeksiyon daha kolaydır. Mikrobial içeriği oldukça düşük seviyelerdedir. Dezenfeksiyon için 0,1-0,3 mg/L'lik kalıntı klor kalacak şekilde klor ilavesi gerçekleştirilmektedir.

5.2.6. Konsantre bertarafı

Tuz giderme tesislerinden kaynaklanan konsantre akımlar yoğun tuz içerikli olduğundan deşarj edildikleri noktalarda sucul ekosistemi olumsuz yönde etkilemektedir. Konsantre, yoğun tuzluluğun yanı sıra çeşitli mineraller ile kirleticileri de içermektedir. Hatta, ham suda eser düzeyde bulunabilecek tehlikeli kirleticiler de toksik değerlere ulaşılabileceğinden ekolojik etkileri yanı sıra halk sağlığı açısından da önemli sorunlar oluşturabilir.

Konsantre bertaraf yöntemi seçimi, su kaynağı, alıcı ortam, membran tipi, işlemden geçen suyun TK miktarı ve alıcı ortam standardına bağlı olması sebebiyle, bu değişkenlerin dikkatlice gözden geçirilerek tesis planlamasında dikkate alınması gerekmektedir. Tesis kapasitesi, su kaynağı, suyun TK miktarı ve membran tipine bağlı olarak oluşıacak konsantre miktar ve kalitesi belirlenir. zelliği belirlenen konsantreye uygun bertaraf yöntemi seçilir. Tesis prosesinde yapılabilecek düzenlemelerin de mümkün olması sebebiyle, konsantre ile ilgili hesaplamaların tesis planlamasında en baştan düşünülmesi gerekir. SWRO tesisleri konsantre akımlarının bertarafında konvansiyonel yöntemlerde kullanılabilir. Bu yöntemler (MDRC, 2010);

Yerüstü sularına deşarj: Bu yöntemde nehirlere, gllere, denizlere ve benzeri su kütlelerine deşarj yapılmaktadır. Yerüstü suları yakınına kurulmuş SWRO tesislerinde en fazla kullanılan bertaraf yöntemidir.

Kanalizasyon Sistemine deşarj: AAT tesislerine ulaşan kanalizasyon sistemine deşarjdır. Bu yöntemde deşarj edilen konsantre akımın, atıksu kalitesi parametreleri de dikkate alınarak AAT ve kanalizasyonun maksimum kapasitesine göre gerçekleştirilmektedir.

Derin kuyu enjeksiyonu: Uygun jeolojik şartlara göre değişen derin yer altı suyu katmanlarındaki akiferlere konsantre enjeksiyonudur.

Buharlaşıma havuzları: Biriktirilmiş konsantre akımın solar ısı kullanılarak buharlaştırılması ile elde edilen çözünmüş katıların depolanmasıdır.

Arazi uygulamaları: Tekrardan geri kazanılarak sulama uygulamalarında kullanımıdır. Bu uygulamada konsantrenin tuzluluğunun bitkiler üzerine olan etkisi dikkate alınmalıdır.

Sıfır likit deşarjı: Bu yöntemde giriş ham suyun tümünün içme suyuna dönüştürülmesini veya proses süresince arta kalan suyun buharlaştırılması ile katı ve kuru içerik elde edilmektedir. Bu yöntemde konsantre atık deşarjı olmadığından çevresel etkisi çok düşük seviyelerde olmaktadır. Sonuçta elde edilen yüksek tuz konsantrasyonundaki katı içerik depolama alanlarına depolanabilirken, ticari olarak kullanılabilme potansiyeli mevcuttur. Ancak deniz suyu konsantresindeki diğer elementler saf tuz eldesini imkansız kılmaktadır.

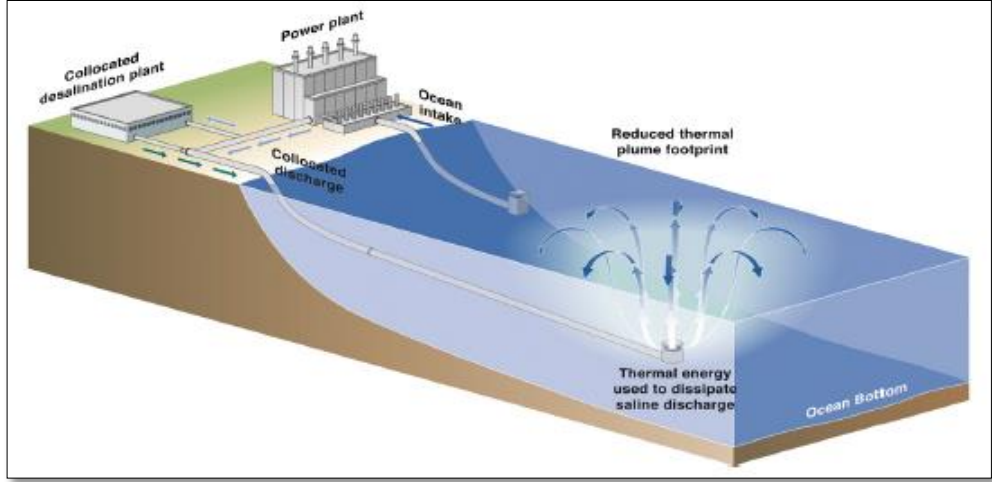
Bu yöntemlerin yatırım maliyetleri karşılaştırıldığında kanalizasyon sistemine deşarj ile yüzey sularına yapılan deşarj yöntemleri ilk yatırım maliyeti açısından uygundur (Mickley, 2006). Teknik, çevresel ve finansal fizibilite araştırmalarının ortaya koyduğu bertaraf seçeneklerini; toplumsal öngörüler, değişen yasal düzenlemeler ve tesisi boyutu gibi faktörler sınırlamaktadır. Tablo 5.7’de bertaraf seçeneklerinde avantaj ve dezavantajlar belirtilmiştir (MDRC, 2010).

Tablo 5.7: Konsantre bertaraf yöntemlerinin karşılaştırılması (El-Fadel, 2007; Moch, 2007; Department of Natural Resources and Mines, 2003)

Metodu	Avantajı	Dezavantajı
Yerüstü sularına deşarj	<ul style="list-style-type: none"> • Büyük hacimlerde uygulanabilme • Doğadaki süreç konsantrenin parçalanmasını hızlandırmakta • Su kütlesi seyrelmeyi artırmakta • Düşük maliyet • Enerji üretim tesisi deşarjı ile karışım sağlanabilmesi 	<ul style="list-style-type: none"> • Kıyı ekosistemi üzerinde zararlı etkileri bulunan doğal asimilasyon kapasitesinin sınırlı olması • Seyrelme bölgesel hidrodinamik şartlara göre değişmektedir • İyi bir kalite izleme çalışması gerektirmektedir.
Kanalizasyon Sistemine deşarj	<ul style="list-style-type: none"> • Atık hattı ile seyrelme • Mevcut altyapı kullanımı • Arıtmaya yardımcı olma ihtimali 	<ul style="list-style-type: none"> • Atık toplama sistemindeki potansiyel kısıtlaması • Atıksu kalite standartlarını karşılamaması • Son bertaraf genellikle yüzeysel sulara olması
Arazi uygulamaları	<ul style="list-style-type: none"> • Kıyı ekosistemine zarar yoktur • Sulama için alternatif kaynak olması 	<ul style="list-style-type: none"> • Düşük deşarjlar için uygun • Bitkiler üzerinde zararlı etkileri olabilmektedir • Toprak ve yeraltı suyu kontaminasyonu • İhtiyaç duyulan tuzların kullanılmadan bertarafı
Buharlaşıma havuzları	<ul style="list-style-type: none"> • Kıyı ekosistemine zarar yoktur • Muhtemel ticari tuz olarak kullanım • Düşük ölçekte teknoloji gereksinimi 	<ul style="list-style-type: none"> • Sınırlı kapasitesi mevcuttur • Geniş kurulum alanı gerektirir • Yalnızca kuru iklim şartlarında yüksek buharlaştırma olabilmekte • Toprak ve yeraltı suyu İhtiyaç duyulan tuzların kullanılmadan bertarafı
Sıfır likit deşarjı	<ul style="list-style-type: none"> • Likit atığın hiç oluşmaması • Mineral ve tuzların geri kazanımı 	<ul style="list-style-type: none"> • Endüstriyel ölçekte kullanımı yok • Katı kalıntılar fazla • Yüksek enerji gereksinimi • Pahalı ilk yatırım ve işletme
Derin kuyu enjeksiyonu	<ul style="list-style-type: none"> • Kıyı ekosistemine zarar yoktur • Küçük tesisler için uygun 	<ul style="list-style-type: none"> • Maksimum kapasitenin tespitinin mümkünün olmayışı • Uygun ve izole olan akifere olan ihtiyaç • Tehlikeli yer altı suyu kontaminasyonu • Yalnızca daha büyük uygulamalarda maliyeti uygundur

WHO'ya göre dünyadaki büyük ölçekli SWRO tesislerinin %90'nında konsantre bertarafı deşarj sistemleri ile denizlere yapılmaktadır (WHO, 2007). Bu bölümde en yaygın ve uygulanabilir bertaraf yöntemi olarak kullanılan denize deşarj yöntemi irdelenmiştir.

SWRO tesislerinde denize deşarjda seyreltme, difüzyon ve karıştırma yöntemleri kullanılmaktadır. **Seyrelme yöntemi;** enerji tesisi bulunan SWRO'larda soğutma suyu olarak kullanılan deniz suyu ile karıştırılarak seyreltilir. Soğutma suyu olarak kullanılan deniz suyunun bir kısmı RO sistemine verilirken bir kısmı ise denize geri gönderilir. Geri gönderilen bu suyun sıcaklığı ortam sıcaklığına göre 10-15 °C daha sıcaktır. Konsantre akımı ile karıştırılan bu su, deniz tabanına pompaya gerek kalmaksızın tahliye edilebilmektedir (Şekil 5.20) (Voutchkov, 2012).



Şekil 5.20: Soğutma suyu ve konsantrasyon deşarjı

Tahliye edilen suyun sıcaklığına bağlı olarak yoğunluğunun daha az ve deniz suyu tuzluluğu ile neredeyse aynı olması sebebiyle deniz dibinde konsantrasyon yayılır. Yayılan konsantrasyon su yüzeye doğru 5-8 m/sn hızla hareket eder ve bu hareketle konsantrasyon içeriği hızlıca dağılır. Diğer yöntemlerde yoğunluğu fazla olan konsantrasyon, deniz tabanına doğru çöker ve yavaş bir dağılım gerçekleştirir (Voutchkov, 2012). Seyrelme yöntemlerinden bir diğeri ise kentsel atıksu arıtma tesislerinin derin deniz deşarjı hatlarına konsantrasyon hattı bağlanarak, konsantrasyonun seyrelmesi sağlanmasıdır. Bu yöntemin uygulanmasında kentsel atıksu arıtma tesisinin bulunduğu yerin SWRO tesisine yakın olması gerekmektedir. Bu uygulama için arazi üzerinde ayrı bir çalışma yürütülmesi gerekmektedir.

Karışma yönteminde kıyı bölgesindeki gel git seviyesi konsantrasyonun yüzeysel olarak deşarj edilmesi ile oldukça düşük maliyetlerde bir bertaraf sağlanmaktadır. Ancak bu bertaraf yönteminin kullanılmasından kaçınılmalıdır. Bunun nedenleri; deniz suyu ile karışımındaki kısıtlamalar, deşarj noktasında estetik olmayan görüntü ve kıyı bölgesini işgal eden büyük ölçekteki çıkış yapılarıdır (MDRC, 2010).



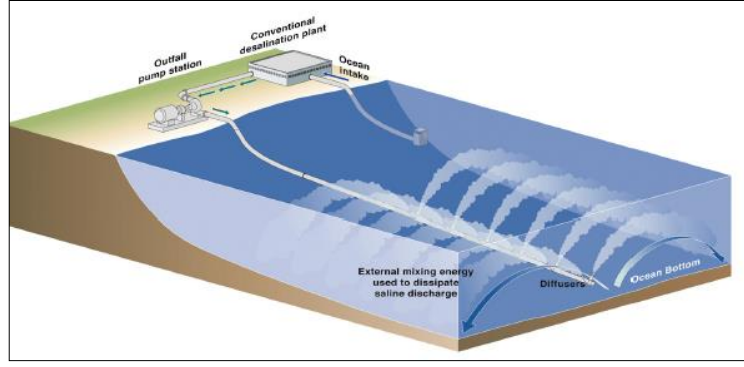
Şekil 5.21: Karışma yöntemi deşarj yerleri

Özellikle ön arıtmada kullanılan $FeCl_3$ deniz yüzeyinde renklenmeye sebep olabilmektedir. Şekil 5.22’de Ashkelon tesisinden kaynaklanan $FeCl_3$ renk kirliliği görülmektedir.



Şekil 5.22: Ashkelon SWRO tesisinden ön arıtmadan kaynaklı Fe^{+3} renkliliği

Kıyı bölgesinden deniz yüzeyine uygulanan karışma yönteminin sınırlı karışma karakteristiğinden dolayı kıyıya yakın bölgelerde yüksek konsantrasyonlarda birikime sebep olduğundan kıyıda bazı etkilere sebep olurlar. Bu etkilere ek olarak, deşarj yapısının dalgalardan korunması için inşa edilen dalga kıranların kıyı sediment taşınım karakteristiğine etkisi bulunmaktadır. Bu sebeplerden dolayı karışma yönteminden kaynaklı etkilerin önüne geçilebilmesine alternatif olarak etkin bir yöntem olan ve en yaygın kullanılan **difüzyon yöntemi** önerilmektedir.



Şekil 5.23: Konsantrte bertarafı difüzyon yöntemi

Tekli veya çoklu deniz tabanına oturtulmuş difüzörler ile daha iyi karışım sağlanabilmektedir. Bu yöntem ile kirleticilerin birikimi engellenmektedir. (MDRC, 2010).

5.3. SWRO Tesislerinde Enerji Temini ve Tüketimi

Enerji, SWRO tesislerinde işletme maliyetlerindeki en önemli gider bileşenidir. Tuz giderme proseslerinin geliştirilmesi için yapılan araştırma çalışmaları enerji giderlerinin azaltılması amacı çerçevesinde ilerlemiştir. Bu çalışmalar yalnızca proses bazında kısıtlı olmayıp aynı zamanda enerji üretim tesislerinde kullanılan enerji kaynak tipleri üzerine de yapılmıştır. Çünkü enerji kaynağından elde edilen birim maliyetler farklılık göstermektedir. Tablo 5.8’de enerji kaynak tipleri maliyetleri gösterilmektedir.

Tablo 5.8: Enerji kaynaklarına göre elektrik üretim maliyetleri (Gude 2010; Url 10; Url 11)

Enerji Kaynağı	Bedel (US\$/kWh)
Kömür	0,036
Doğalgaz	0,049
Petrol	0.05–0.09
Hidroelektrik	0,092
Fotovoltaik	0,15-0,59
Güneş Paneli	0,06-0,30
Rüzgar Enerjisi	0,04-0,15
Jeotermal	0,04-0,13
Nükleer	0,024

Tesislerin enerji ihtiyacı şehir şebekesinden veya tesisi içinde kurulu olan enerji üretim ünitesinden sağlanmaktadır. Genelde büyük ölçekli tesislerde enerji üretim birimleri inşa edilmektedir.



Şekil 5.24:Bazı deniz suyu tuzsulaştırma tesisleri güç santralleri

İl tuzsulaştırma tesislerinde enerji tüketimi günümüz değerlerinin çok üzerinde ve dizel jeneratörlerden elde edilmekteydi. Yıllar içinde kapasitelerindeki genişlemeden dolayı daha büyük enerjilere ihtiyaç duyulduğundan güç santralleri kurulmaya başlandı. Özellikle körfez ülkelerinde kullanılan termal proseslerdeki enerjinin temini için büyük ölçekte petrol yakıtları kullanan güç santralleri tesislere entegre şekilde inşa edildi.

İçme ve kullanma suyunu deniz suyundan veya acı sulardan karşılayan dünyanın farklı bölgelerinde tuz giderme için gerekli enerji taleplerine örnek olarak;

- Kanarya Adaları'nda bölgenin enerji talebinin % 14'üne,
- İspanya-Carboneras'da (120.000 m³/gün kapasiteli) %33'üne,
- Kaliforniya'da % 19'una,
- Sydeny'de % 1,2'sine,
- Kuveyt'de % 44'üne,
- İspanya'da % 1,4'üne
- İsrail'de % 6'sına ihtiyaç duyulmaktadır (Spiritos, 2013; Lattemann, 2010) .

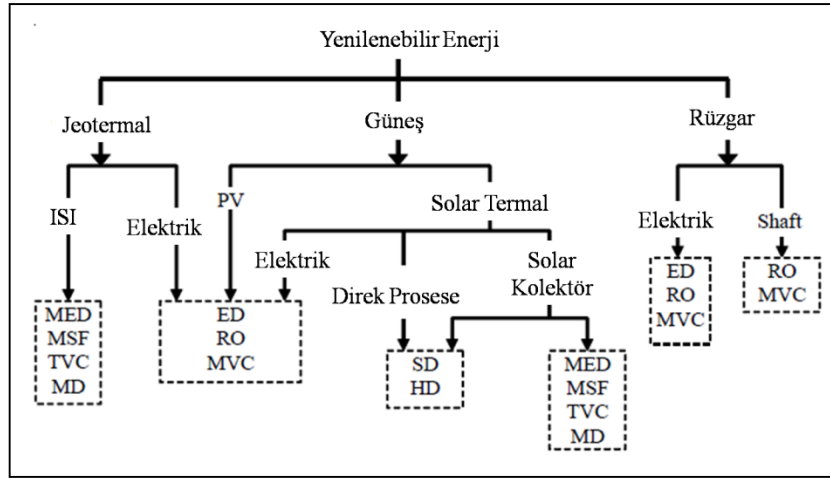
Bu veriler SWRO tesisleri için gerekli olan enerjinin ne kadar büyük ölçeklerde olduğunu göstermektedir.

5.3.1. Enerji temininde kullanılan kaynaklar

SWRO tesislerinde şehir elektrik iletim hatlarının yanı sıra tesise entegre kurulan güç ünitelerinde konvansiyonel enerji kaynağı olan kömür, petrol ve doğalgaz yaygın şekilde kullanılmaktadır (Forstmeier, 2007). Bu kaynakların yanı sıra yenilenebilir enerji kaynaklarından ve nükleer enerjiden de faydalanılmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynakları

Tuzsuzlaştırma tesislerinde yenilenebilir enerji kaynaklarından olan termal enerji, hidroelektrik enerjisi, güneş ve rüzgâr enerjilerinin kullanımları mevcuttur. Şekil 5.25’de yenilenebilir enerji ve tuz giderme yöntemlerinin muhtemel kombinasyonları verilmiştir.



Şekil 5.25: Yenilenebilir enerji ve tuz giderme yöntemleri kombinasyonları (Mathioulakis, 2007)

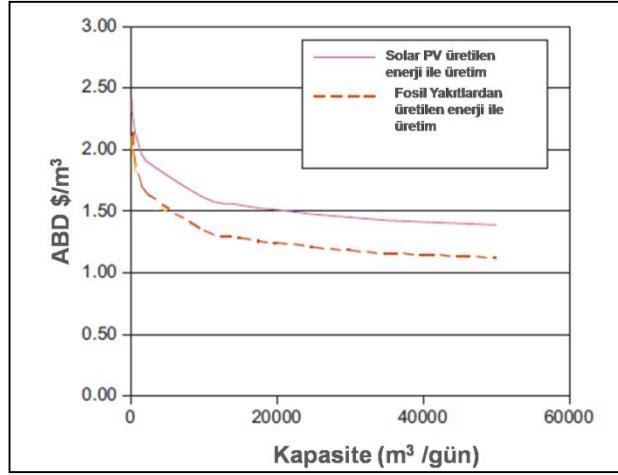
SWRO tesislerinde Şekil 5.25’de verilen kombinasyonlarda yenilenebilir enerji kaynağı olarak yalnızca güneş ve rüzgâr enerjisinden faydalanılmaktadır.

Rüzgâr enerjisi: Kıyı bölgelerde rüzgâr varlığının fazla olması SWRO tesislerinde rüzgar enerji santrali (RES) kurulumu ve işletimi konusunda yeterli tecrübeler edinilmesini sağlamıştır. RES’e sahip SWRO tesislerinde ilave enerji ihtiyacı başka kaynaklardan temin edilen elektrik enerjisi ile sağlanmaktadır. RES’den gelen enerji doğrudan yüksek basınçlı RO pompalarına bağlanabilmekte veya yalnızca su iletim hatları için kullanılmaktadır. Ayrıca, RO pompalarına RES’den direk olarak shaft bağlanıp mekanik enerjiyi iletebilmektedir. Bu yöntemdeki kritik parametre rüzgar hızıdır. Bölgedeki rüzgar hızının 5 m/sn’den fazla olması gerekmektedir

(Kalogirou, 2005). RES uygulamaları yaygın olarak küçük ve orta ölçekli tesislerde kullanılmaktadır. Özellikle adalardaki rüzgardan faydalanan küçük tesislerde bulunmaktadır (Peñate, 2012). Kanarya adalarında RES uygulamaları oldukça fazladır. Son yıllarda, RES'den Avustralya'daki büyük ölçekli Sydney ve Perth SWRO tesisleri de faydalanmaktadır. Ancak, bu tesislerdeki su üretim maliyetleri 2,21 \$/m³'dir ve ortalamanın oldukça üstündedir.

Rüzgar enerjisi santrallerinin (RES) ilk yatırım maliyetinin yüksek oluşu ve iklimsel şartlardaki değişikliklerden ve oluşacak verim düşüklüğünden dolayı dezavantajları vardır. Tablo 2.13'de görüleceği üzere solar yöntemlere nazaran uygun olan RES maliyeti konvansiyonel kaynaklara göre daha fazladır. Bu durum rüzgar enerjisinin kullanımı kısıtlamaktadır. Rüzgâr rejimlerindeki değişikliklerin RES verimlerini etkilemesi ile oluşan dezavantajı, fotovoltaik/rüzgar tribünü kombinasyonunun bir akü bankasına gece gündüz depolanması ile giderilmektedir. Bu çözüme karşılık alternatif olarak rüzgâr olduğu zamanlarda suyun üretilerek depolanması ve enerji üretilmediği zamanlarda da suyun üretilmemesi şeklinde açık kapatılabilmektedir. (Gude, 2010).

Güneş Enerjisi: SWRO tesislerinde, fotovoltaik pillere depolananan solar güneş enerjisinden faydalanılmaktadır. Diğer solar termal yöntemler distilasyon proseslerinde kullanılmaktadır. Günümüzde güneş enerjisi 1-50 m³/gün kapasiteli küçük ölçekli tesislerde kullanılmaktadır (Mathioulakis, 2007). Güneş enerjisinden bazı büyük ölçekli SWRO tesisleri de faydalanmaktadır. Örnek olarak Barselona SWRO tesisi çatılarına kurulan güneş panelleri ile tesis için gerekli olan enerjinin bir kısmı sağlanmaktadır. Bu yöntemin ilk yatırım maliyetinin ve ihtiyaç duyulan kurulu alanın fazla olmasından dolayı tercih edilmemektedirler (Tsiourtis, 2001). Ayrıca elde edilen su maliyeti oldukça yüksek miktarlarda olup uygulanabilir değildir. Lamei (2008) tarafından Kızıl Deniz bölgesi ve Akdeniz bölgesindeki toplam 21 tesis değerlendirilmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 5.26'da gösterilmektedir.



Şekil 5.26: Akdeniz ve Kızı deniz Bölgesi'nde SWRO tesisleri solar PV ve fosil yakıt maliyet karşılaştırması (Lamei, 2008)

Şekil 4.26'da görüldüğü üzere güneş enerjisinden elde edilen suyun maliyeti konvansiyonel yakıtlara göre fazladır. Bu sebepten dolayı kullanımı çok tercih edilmemektedir.

Nükleer enerji: Enerji çözümlerine alternatif olarak uzun yıllardır kullanılan nükleer enerji Japonya, ABD, Çin, Kazakistan, Pakistan ve Hindistan'da tuz gidermede kullanılmaktadır. Özellikle son yıllarda birçok ülke tarafından kullanılması için fizibilite çalışmaları gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmalar körfez ülkelerinde yoğunluk kazanmıştır. Nükleer enerjinin birçok avantajı olması rağmen, yaşattığı çevre felaketlerinden dolayı güvenilirliği konusunda çekinceler vardır (Jung , 2014).

Tuzsuzlaştırma için 300 MW altındaki küçük nükleer güç reaktörleri yaygın olarak termal tesislerde kullanılmaktadır [Url-13]. Nükleer enerji kullanan termal tesislerde maliyet 0,79-1,21 \$/m³'tür. Bu değerler fosil yakıt kullanılan tuzsuzlaştırma tesislerinde üretilen suyun maliyetleri ile neredeyse aynıdır (Falblsh, 2003). Güneş ve rüzgar enerjisi ile karşılaştırıldığında su üretim maliyeti açısından daha uygun olup nükleer güvenliği konusundaki belirsizlikten dolayı tercih edilme süreçleri oldukça uzun yıllar almaktadır.

5.3.2. Enerji tüketimi

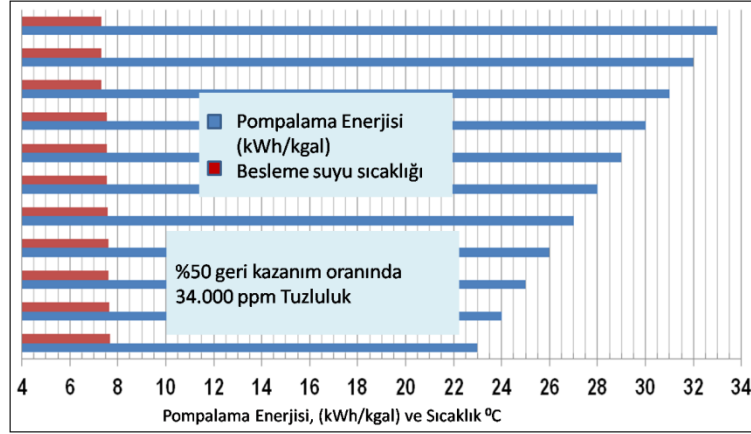
Tesislerin enerji tüketimi; deniz suyu tuzluluğu ile fiziksel ve kimyasal özellikleri, tesis enerji verimliliği, tesisin yaşı, enerji geri kazanımı, işletme şartları,

tesisin lokasyonu, ve tesis kapasitesine göre değişmektedir (Lamei, 2008; Avlonitis, 2003). Tablo 5.9’da sıcaklık ve tuzluluğa bağlı enerji tüketimlerine yönelik olarak Al-Karaghoulı (2012) tarafından yapılan çalışmadan elde edilen sonuçlar verilmektedir.

Tablo 5.9: Sıcaklık ve tuzluluğa bağlı enerji tüketimleri (Al-Karaghoulı, 2012)

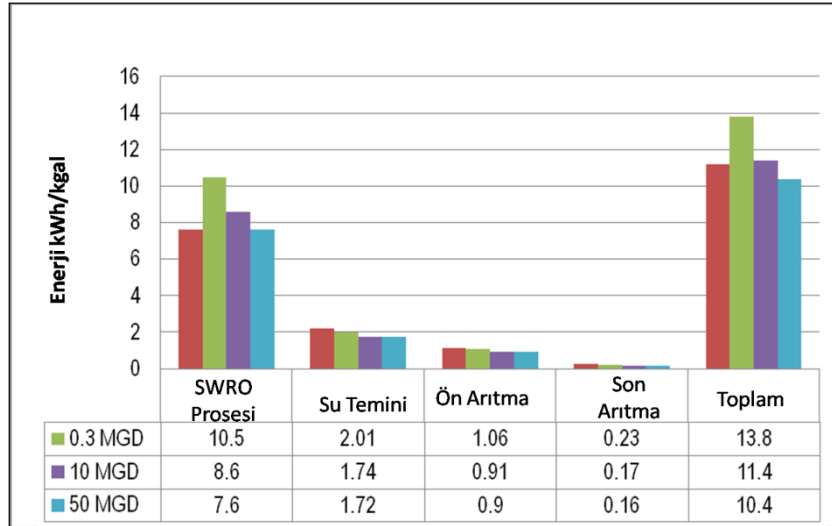
Tuzluluk ppm	Maliyet \$/m ³	Çıkış Suyu Tuzluluk ppm	Enerji Tüketim kWh/m ³	Geri Kazanım %	Besleme Akımı m ³ /g	RO Basıncı Bar	Konsantre m ³ /g	Konsantre Tuzluluğu ppm
35,000	0.986	279	2.97	0.42	4,800	56.1	2,800	60,000
36,000	0.990	282	3.01	0.40	5,000	56.7	3,000	60,000
37,000	0.994	285	3.07	0.38	5,217	57.2	3,217	60,000
38,000	0.998	288	3.12	0.37	5,455	57.8	3,455	60,000
39,000	1.002	291	3.18	0.35	5,714	58.3	3,714	60,000
40,000	1.007	294	3.24	0.33	6,000	58.9	4,000	60,000
43,000	1.024	303	3.46	0.28	7,059	60.6	5,059	60,000
45,000	1.038	309	3.64	0.25	8,000	61.7	6000	60,000
Sıcaklık °C								
33	0.982	301	2.90	0.42	4,800	54.3	2,800	60,000
32	0.983	294	2.92	0.42	4,800	54.9	2,800	60,000
31	0.985	286	2.94	0.42	4,800	55.5	2,800	60,000
30	0.986	279	2.97	0.42	4,800	56.1	2,800	60,000
29	0.988	272	2.99	0.42	4,800	56.8	2,800	60,000
28	0.989	265	3.02	0.42	4,800	57.6	2,800	60,000
27	0.991	257	3.05	0.42	4,800	58.4	2,800	60,000
26	0.993	250	3.08	0.42	4,800	59.2	2,800	60,000
25	0.995	243	3.12	0.42	4,800	60.1	2,800	60,000
20	1.007	206	3.32	0.42	4,800	65.4	2,800	60,000

SWRO tesislerinde enerji, ağırlıklı olarak yüksek basınç pompaları, tahliye ve iletim pompaları, ön arıtma ve son arıtma işlemlerinde kullanılmaktadır. Enerji en fazla, membranlara deniz suyunu yüksek basınçla ileten pompalar tarafından kullanılmaktadır. Tablo 5.9’da görüldüğü üzere sıcaklık pompa verimliliğini artmaktadır. Bunun sebebi, sıcaklık arttıkça suyun viskozitesinin azalmasıdır. Bu durum pompalarda kullanılan enerji tüketimini de azaltmaktadır. Şekil 5.27’de sıcaklığa bağlı pompa enerji tüketimi gösterilmektedir.



Şekil 5.27: Sıcaklığı göre pompalamada değişen enerji tüketimi (WRA, 2012)

Tesislerde RO prosesi hariç olmak üzere tesis için gerekli enerji ihtiyacı 1 kW/m³'ün altındadır (Splegler, 2001). Şekil 5.28'de farklı kapasiteli tesislerdeki prosesler ve işlemlerde kullanılan enerji tüketim miktarları verilmektedir.



Şekil 5.28: SWRO tesisindeki proses bazlı enerji tüketimi (WAR, 2012)

Dünyada tuz giderme tesislerinde 3-36 kWh/m³ aralığında enerji tüketilerek içme ve kullanma suyu elde edilmektedir (EU, 2012). Distilasyon ve elektrodializ membran uygulamaları arasında RO en düşük enerji tüketen sistemdir. Ancak günümüzde SWRO+MED veya MSF hibrit proseslerinde enerji tüketimi SWRO'dan daha düşük seviyelerde olup henüz orta ve büyük ölçeklerde kullanımı bulunmamaktadır.

Literatürde tesislerde tüketilen enerji, birim m³ başına harcanan kWh enerji olarak raporlanmaktadır. Dünya genelindeki bazı SWRO sistemlerinde tüketilen enerji değerleri Tablo 5.10'da verilmektedir.

Tablo 5.10: Dünyadaki bazı SWRO tesislerinde enerji tüketimleri

Tesisi Adı	Ülke	Mevcut Kapasitesi bin m ³ /gün	Tüketilen Birim Enerji kWh/m ³
Palmachim	İsrail	123.000	2,91
Tampa Bay	A.B.D.-Florida	95.000	3
Hadera	İsrail	347.000	3,5
Sorek	İsrail	624.000	3,5
Hamma	Singapur	136.800	3,8
Askelon	İsrail	326.000	3,85
Marbella	Hindistan	100.000	3,89
Perth	Avustralya	144.000	4,1
Tuas	İspanya	145.000	4,1
Barselona	İspanya	200.000	4,17
Kurnell	Avustralya	250.000	4,2
Fukuoka	Japonya	50.000	5
Dhekelia	Kıbrıs	40.000	5
Larnaca	Kıbrıs	54.000	5
Okinawa	Japonya	-	5,36

Tablo 5.10'da verilen SWRO tesislerinde enerji geri kazanımı yapılmaktadır. Son yıllarda enerji geri kazanımı yaygınlaşmaktadır ve bu yöntem ile enerjinin %30-40 arasında geri kazanımı sağlanmaktadır. Böylece, enerji tüketimi 2-3 kWh/m³ aralığında olmaktadır (Lattemann, 2010). Deniz suyunun arıtılmasında tüketilen enerji değerleri literatürde çok farklı değerlerde rapor edilmiştir. Bu tüketimler ABD'de 2008 yılında 2,5-7 kWh/m³ aralığında ve enerji geri kazanımı pazarında 2003'de yayımlanan değerlerde 3,2- 7,38 kWh/m³'tür (NRC, 2008; Avlonitis, 2003). Son yıllarda 3 kWh/m³'ün altında üretim yapan tesisler mevcut olup enerji tüketiminin daha da düşeceği tahmin edilmektedir.

5.4. SWRO Tesislerinin Çevresel Etkileri

SWRO tesisleri suya önemli miktarda ihtiyaç duyulan kurak bölgelerde yaşayan insanların yaşamlarını sürdürebilmesi için hayat kaynağı olurken, çevresinde yaşayan ekosistem ve habitat için tehlike arz etmektedir. Aynı zamanda bu tesislerin direk olarak insanın yaşam kalitesini ve doğal kaynakları kötüleştirebilecek çevresel etkileri ve buna bağlı olarak sosyal etkileri vardır. Tesislerin çevresel etkileri 5 farklı

açından ele alınmaktadır; 1) Kullanılan arazi üzerine olan olumsuz etkisi 2) Akiferler üzerine etkileri 3) Gürültü etkisi 4) Enerji kullanımından kaynaklı sera ve yanma gazları etkisi 5) Kıyı ekosistemi üzerine etkileridir.

5.4.1. Kullanılan arazi üzerine olan olumsuz etkisi

Sahil şeritlerine inşa edilen olan SWRO'ların kurulu alan miktarları farklılıklar göstermektedir. Ortalama olarak 270.000 m³/gün kapasiteli bir tesis 100 dönümlük bir alan üzerine kurula bilmektedir. Enerji üretim tesisi olan veya depolama tankları içeren bir SWRO'da alan ihtiyacı daha fazladır. Bu kadar geniş ölçekli tesislerin özellikle sahil şeridini işgal etmesi, sahil şeridi fazla olmayan bölgelerde turistik faaliyetlerin engellenmesinin yanı sıra ekolojik olarak hassas sahil bölgelerinin yok edilmesine, sahil erozyonuna, inşa edilen dalga kıranlar ve koruma yapıları sebebiyle kıyı dinamiğinin bozulmasına sebep olabilmektedir. Özellikle bölgedeki balıkçılık faaliyetleri üzerinde etkisi bulunmaktadır. Tesisin kullandığı alanlarda balıkçılığa müsaade edilmediğinden bölgedeki balıkçılık faaliyetlerine son verilebilmektedir. Sahil kesimine etkisini azaltmak için tesislerin daha iç taraflarda inşa edilmesi ve su alma yapısının derinlerden temin edilmesi bu etkilerin azaltılmasını sağlayacaktır (Einav , 2002).

5.4.2. Akiferler üzerine etkileri

İç bölgelere inşa edilen SWRO'lar için daha uzun iletim hatları gereklidir ve bu durum maliyeti artırmasının yanı sıra sızma olması halinde yeraltı sularının kirlenmesinde etkisi olacaktır. Bu durum engellenmesine yönelik olarak sistem üzerine yerleştirilen sensörler yardımıyla problem tespit edilip anlık müdahale gerçekleştirilecek sistemler dizayn edilmelidir (R. Einav, 2002). Sahil tarafında açılan kuyulardan elde edilen besleme suyunun ön arıtmada işletme ve maliyet avantajları vardır. Ancak su çekimi, tuzlu su kamasının iç taraflarda bulunan taban suyuna doğru kaymasına sebep olabilmektedir. Eğer besleme suyu temini sahil şeridinde kuyulardan yapılıyorsa taban suyunun etkilenmesi durumu dikkate alınarak gerekli önlemler alınmalıdır (Voutchkov, 2005).

5.4.3. Gürültü etkisi

Tesislerde yüksek basınçlı pompalarda, enerji geri kazanım ünitelerinde ve enerji üretim tesislerindeki türbinlerden yüksek değerlerde gürültü meydana gelmektedir. Büyük ve orta ölçekli SWRO tesislerinin kurulduğu yerler kesinlikle yoğun nüfusun olduğu yerlerin dışında seçilmelidir. (R. Einav, 2002). Ayrıca ortaya çıkan gürültü kıyı ekosistemi alanındaki canlıların yuvalarını terk etmelerine, işitme sistemlerinde bozulmalara, grup halinde yaşayan canlılar dağılımlarına ve canlılar üzerinde davranış bozukluklarına yol açmaktadır (Ta-Kang Liu, 2013). Gürültü etkisinin azaltılması için tesislerde gürültü kontrol planları ve uygulamaları yapılmalıdır.

5.4.4. Enerji kullanımından kaynaklı sera ve yanma gazları etkisi

SWRO tesislerinde kullanılan enerji kaynağına bağlı olarak sera gazları ortaya çıkabilmektedir. Sera gazlarından (SG) olan CO₂'in karbon ayakizi oldukça yüksek değerlerdedir. Amerika gibi tuzsulaştırma tesislerinin yoğunlukta olduğu bir ülkede su üretiminden kaynaklanan SG çıkışı ülkenin toplam SG çıkışının %5'ini oluşturmaktadır (E. Shrestha, 2011). Özellikle körfez ülkelerinde kullanılan tuzsulaştırma tesislerinden oldukça fazla SG kaynaklanmaktadır. İçme suyun %95'ini deniz suyundan sağlayan Dubai'den kaynaklanan SG, ABD'nin Kaliforniya eyaletinin elektrik tüketiminden kaynaklı sera gazının % 60'ına tekabül etmektedir (Stokes, 2009). Global ölçekte tuz giderme tesislerinden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının yıllar içerisindeki değişimlerine dönük olarak Gude (2010) tarafından çalışma yapılmış ve sonuçları Tablo 5.11'da verilmiştir.

Tablo 5.11: Tuzsulaştırma tesislerinden kaynaklanan yıllara göre CO₂ emisyonları

Yıl	Dünya Nüfusu(milyar)	Global Tuz giderme kapasitesi(milyon m ³ /gün)	Gerekli Petrol (milyon ton/gün)	Sera gazı emisyonu (milyon ton CO ₂ /gün)
1960	3,1	0,12	0,00	0,36
1970	3,8	0,72	0,02	2,16
1980	4,5	4,4	0,12	13,2
1990	5,3	13	0,36	39
2000	6	23	0,63	69
2008	6,8	52	1,42	156

Tablo 5.16'daki veriler petrol kökenli yakıt kullanıldığı varsayılarak 1 m³ su eldesi için 3 kg CO₂ kaynaklandığı varsayımı ile hesaplanmıştır. Tuzsuzlaştırmadan kaynaklanan CO₂ 2008 yılında dünyada tüm faaliyetlerden kaynaklanan 29,3 milyar ton CO₂ değerinin % 0,53'üne tekabül etmektedir. Bu değer tuzsuzlaştırma tesisi sayılarının hızlı artışı ile daha da yükselmesi beklenmektedir.

% 35-40 enerji geri kazanımı sağlayan yeni nesil SWRO tesisleri diğer termal tuzsuzlaştırma yöntemlerinden kaynaklanan 10-20 kg CO₂/m³ değerine göre 2-4 kg CO₂/m³ üreterek SG'ye daha az etkisi vardır (Sommariva, 2001; IAEA, 2010). Tablo 5.12'de SWRO tesislerinde enerji kaynağına bağlı CO₂ miktarları verilmektedir (EU, 2012).

Tablo 5.12: Yakıt türüne göre ortaya çıkan CO₂ emisyonu

	Kömür	Petrol	Doğalgaz	Nükleer
Enerji İhtiyacı	6,09 kWh/m ³			
gr CO₂/m³	5481	3775	2253	18

Fosil yakıt kullanan enerji üretim tesislerinden asit yağmurlarına sebep olan NO_x ve SO_x ile partikül madde ile diğer kirletici emisyonları kaynaklanmaktadır. Tablo 5.13'de bu emisyonların SWRO tesislerinden üretilen birim su başına oluşan kirletici değerleri verilmektedir (IAEA, 2010).

Tablo 5.13: SWRO tesislerinden kayanıklı kirletici emisyonları yükü

Kirletici/ (m ³ Su)	SWRO
NO _x [g/m ³]	4–8
SO _x [g/m ³]	12–24
VOC [g/m ³]	1.5–3

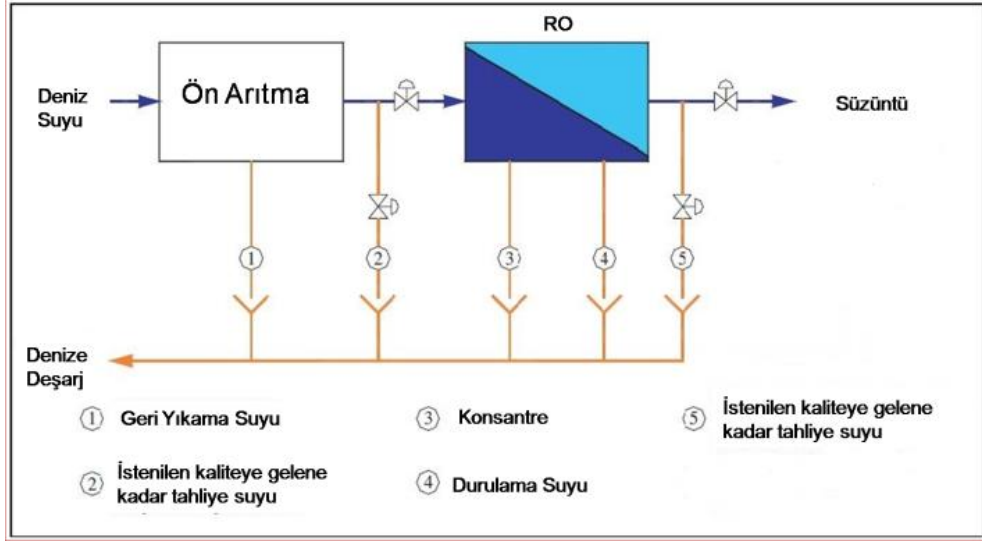
Enerji kullanımından kaynaklanan SG'yi minimize edebilmek için karbon yutakları olan ormanlar oluşturulmalı, mümkünse yenilenebilir sıfır SG emisyonlu enerjiler kullanılmalı veya daha az emisyon çıkaran enerji üniteleri seçilmelidir.

5.4.5. Konsantre deşarjının kıyı ekosistemi üzerine etkileri

5.4.5.1.Konsantrenin özellikleri

Konsantre akım genellikle tuz giderme tesislerinin toplam deşarjının % 90-95'ini oluşturmaktadır. Ön arıtmadan kaynaklanan atık kütlesi, ön arıtmanın çalıştırıldığı ilk 10-15 dk'lık periyotta ters osmoz için uygun kalitede su elde

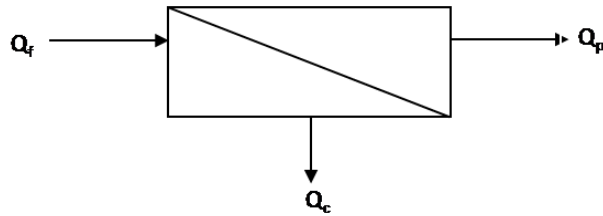
edilememesi sebebiyle atık olarak atılmaktadır. Membranların kimyasal temizlenmesinden ve ters osmoz sisteminin istenen standartlarda su üretmediği periyotlarda üretiminden kaynaklanan sular atıksu olarak sistemden atılmaktadır. Şekil 5.29’de SWRO tesisinin farklı kademelerinden kaynaklanan deşarj içerikleri görülmektedir.



Şekil 5.29: SWRO Tesisinden kaynaklanan deşarj içeriği (Water Reuse, 2011)

Şekil 5.29’de belirtilen atık akımlarından sadece konsantre akımında süreklilik görülmektedir. Diğer kirleticiler belirli veya belirsiz periyotlarda gerçekleşmektedir. Bazı atık akımları periyodik olarak birkaç saatte oluşurken bazıları birkaç ayda oluşmaktadırlar. Konsantrenin tipi, hacmi ve kalitesi, su kaynağına ve su alma yapısının özelliklerine bağlıdır (Voutchkov, 2011).

Üretilen konsantrenin miktarı, tesis boyutu ve spesifik süzöntü hızının (üretim hızı) (P_r) fonksiyonudur.



$$Q_c = Q_p \times \left(\frac{100}{P_r} - 1 \right) \quad P_r = \left(\frac{Q_p}{Q_f} \times 100 \right) \% \quad (5.10)$$

Deniz suyu tuzsuzlaştırma tesislerinde (SWRO) üretim hızı % 40-65 aralığında değişmektedir. Uygulamada ise genellikle SWRO sistemleri ortalama % 50 üretim hızına göre tasarlanmaktadır. Geri kazanım oranı arttıkça tuzluk ve diğer maddelerin konsantrasyonları da logaritmik olarak artmaktadır (Koyuncu, 2012).

Konsantre akımın toplam çözülmüş katı konsantrasyonu (TDS)_c, besleme suyundaki (TDS)_f ve üretilen (süzüntü) akımındaki (TDS)_p çözülmüş katı madde konsantrasyonuna bağlı olarak değişmektedir. Konsantre akımın TDS değeri P_r yardımıyla aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır (Koyuncu, 2012).

$$(TDS)_c = \frac{TDS_f - \frac{P_r}{100} \times TDS_p}{1 - \frac{P_r}{100}} \quad (5.11)$$

Konsantre akımın tuzluluğu ile ana kaynağın tuzluluğu arasındaki oran konsantrasyon faktörü (C_f) olarak adlandırılır. Bu parametre kaynak suyundaki toplam çözülmüş katılar ve diğer her bir mineral için kullanılabilir. Ters osmoz sistemlerinde %100 olarak tuz geçirimsizliği ele alınırsa C_f aşağıdaki şekilde hesaplanır (Koyuncu, 2012).

$$C_f = \frac{1}{\left(1 - \frac{P_r}{100}\right)} \quad (5.12)$$

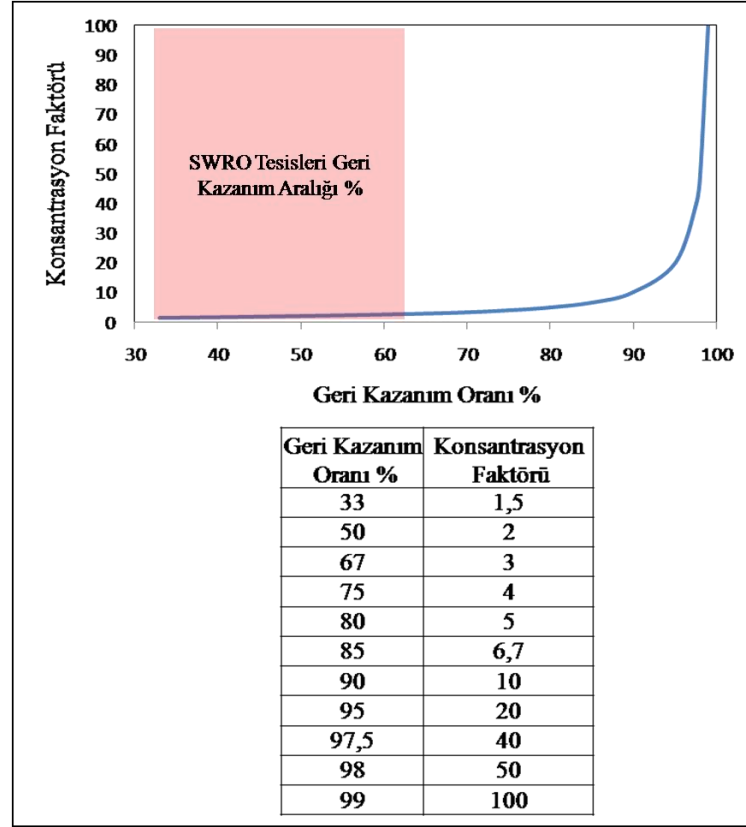
Tuz geçişi S_p olarak ifade edilir;

$$C_f = \frac{\left[1 - \left(\frac{P_f}{100} \times \frac{S_p}{100}\right)\right]}{\left(1 - \frac{P_f}{100}\right)} \quad (5.13)$$

Tuz geçişi, üretilen suyun tuz konsantrasyonunun besleme suyundaki tuz konsantrasyonuna oranı olarak tanımlanır. Bu parametre üretim suyundaki tuz miktarının göstergesidir. Aşağıdaki şekilde ifade edilir (Koyuncu, 2012).

$$S_p = \frac{TDS_p}{TDS_f} \times 100 \quad (5.14)$$

SWRO tesislerinde geri kazanım oranına göre konsantre faktöründeki artış genellikle 1,5~1,8 oranında meydana gelmektedir. Artış oranları Şekil 5.30'da verilmiştir.

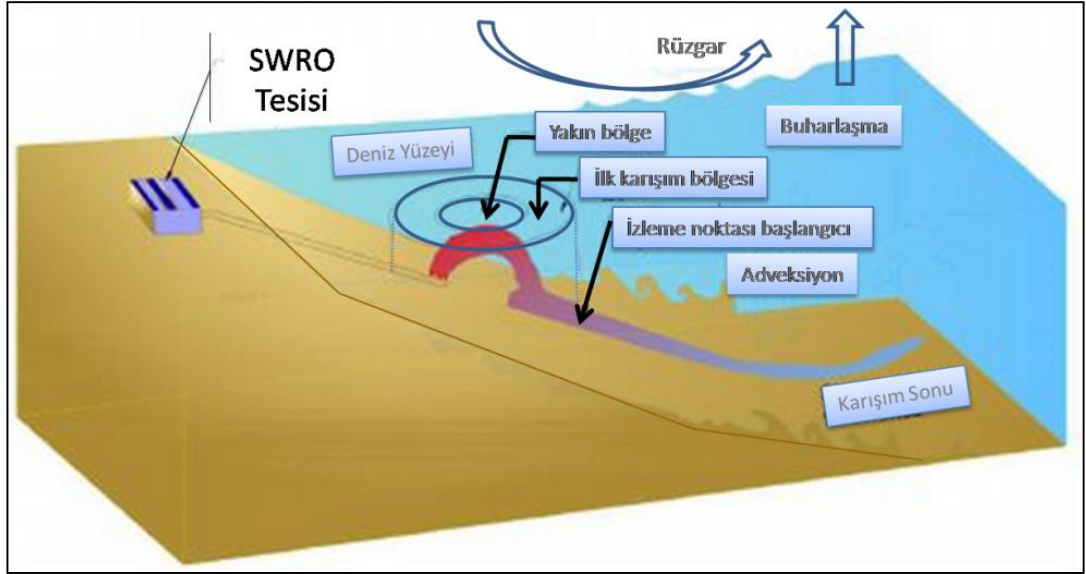


Şekil 5.30: Geri kazanım oranına göre oluşan konsantre faktörü (Squire, 2000)

Konsantrenin içeriğinde geri kazanımdan gelen yüksek tuz ve mineraller, arıtma ve temizleme işlemlerinden gelen kimyasallar ve yan ürünler bulunmaktadır. Konsantre akımında tuzluluk değeri 60.000~80.000 mg/L aralığında değişebilmektedir. Örnek olarak Avustralya'daki Perth SWRO tesisinde 2 kademeli RO prosesi bulunmaktadır. İlk kademedan geçen geri kazanım oranı % 45 ve ikincisinden % 90 olarak gerçekleşmekte olup toplamda % 43'lük bir geri kazanım oranı sağlanmaktadır. Bu karışım oranı yaklaşık olarak 1.7'lik bir konsantrasyon faktörüne karşılık gelmektedir. Besleme suyu tuzluluğu 33.000-37.000 mg/L ve % 43'lük geri kazanım oranındaki konsantre tuzluluk değeri 65.000 mg/L olarak gerçekleşmektedir (Voutchkov,2011).

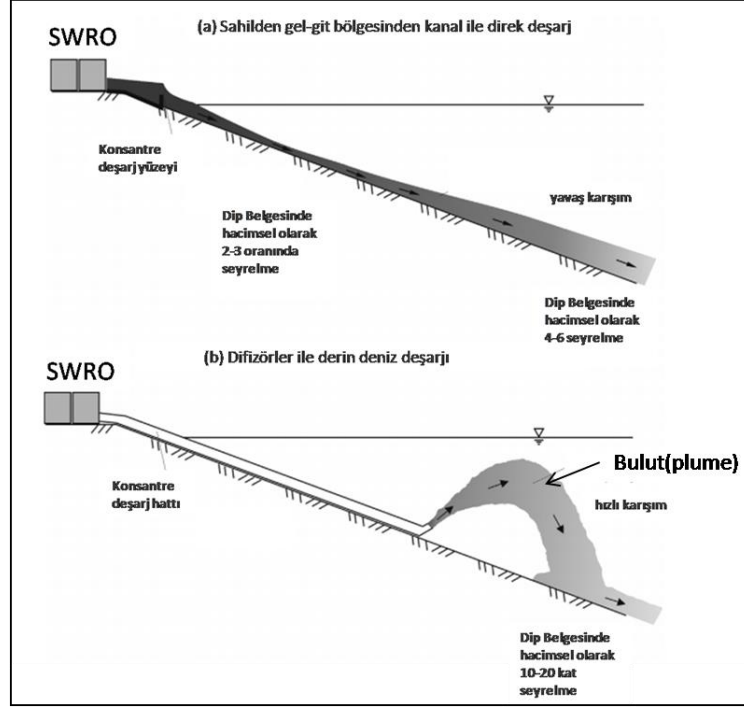
Konsantre, deniz ortamına deşarj edildiğinde bir bulut (*plume*) şeklini alır. Oluşan bu bulutun yoğunluğunun deniz suyundan daha fazla olduğundan denize deşarjından sonra deniz dip bölgesine çökme ve yayılma eğilimindedir. Bu durum denizsuyu içinde konsantre farkından dolayı tabakalaşmaya sebep olmaktadır. Bu tabakalaşma su kolonunda ve özellikle dip bölgesindeki oksijen miktarında düşüşe ve

bentik yaşam üzerinde etkilere sebep olmaktadır. Şekil 5.31’de konsantrenin deniz dibinde hareketi ve karışma bölgeleri gösterilmektedir (Sami, 2014).



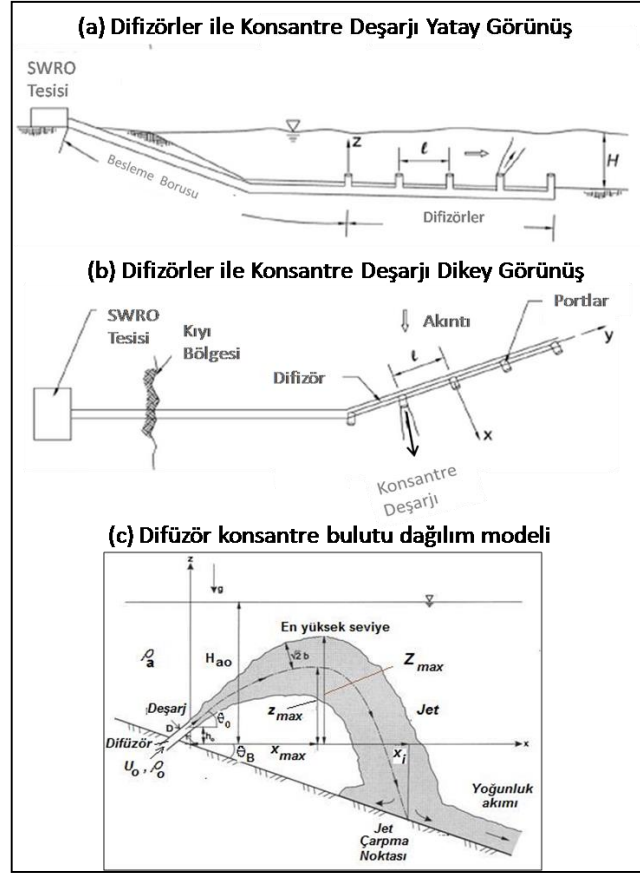
Şekil 5.31: Konsantre deşarjı ve karışma karakteristiği (Sami, 2014)

SWRO tesisleri için yaygın olarak direk deşarj ve derin deniz deşarj yöntemleri uygulanmaktadır. Derin deniz deşarjında seyrelme 10-20 kat veya daha fazla olurken, direk deşarjda bu oran 4-6 kat civarındadır (Bleninger, 2008). Şekil 5.32’de görüldüğü üzere direk deşarjda kıyıya yakın bölgelerde etkilenme yoğun şekilde gerçekleşirken, derin deniz deşarjında bu etkilenme meydana gelmemektedir.



Şekil 5.32: Konsantre Deşarj yöntemleri seyrelme oranları (Bleninger, 2008)

En yagın konsantre deşarjı olan derin deniz deşarjı Şekil 5.33’de verilen çoklu port difizyon sistemi ile gerçekleştirilmektedir. Sistem, ilk karışım bölgesinde, karışım en yüksek olacak şekilde dizayn edilmektedir.



Şekil 5.33: Difüzörlü çoklu portlu derin deniz deşarjı dizaynı (SCCWRP, 2012; Bleninger, 2008)

Şekil 5.33’de görülen portlara basınçlı iletilen akım, konsantre içeriğini hızlı bir şekilde azaltmaktadır. Difüzörlerdeki portlardan çıkan konsantre deniz ortamındaki sirkilasyon, bölgesel topografya ve tuzluluk farklılaşmasından dolayı oluşabilecek yoğunluk salınımları karakteristiğine göre değişmektedir. Özellikle deşarj yapılan bölgenin haliç, açık deniz, körfez vb. gibi özellikleri de dağılım karakteristiği üzerinde önemli etkilere sahiptir. Yapılacak model hesapları ile istenilen alıcı ortam kriterleri çerçevesinde dağılım gerçekleştirilebilmektedir. (SCCWRP, 2012).

5.4.5.2. Kıyı ekosistemi üzerine etkileri

SWRO tesislerinin kıyı ekosistemleri üzerine etkileri, inşa aşamasında ve işletme sonrasında oluşan RO konsantresinden kaynaklanmaktadır. İnşa aşamasında su alma yapıları inşa edilirken boruların döşenmesi esnasında kullanılan yöntem kıyı ekosisteminde yaşayan canlıların yaşam alanlarını etkilemektedir. Deniz dibi üst yüzeyine yerleştirilen su iletim boruları o bölgedeki canlıların yaşam alanlarını tahrip

etmekte ve canlıların ekosistemde davranışlarını değiştirmektedir. Özellikle nesli tükenme tehdidi altında olan türler için ciddi bir tehlikedir. Bölgedeki biyolojik indekse göre deşarj iletim hattı yeri belirlenmelidir.

SWRO tesislerinin çevresel olarak en önemli etkileri, konsantre deşarjının deniz ortamına deşarjından kaynaklanmaktadır. Konsantre deşarjı sonrası özellikle mercan resifleri, tuz bataklıkları, mangrove ormanları ve düşük enerjiye sahip gel-git bölgeleri zarar görmeye açık bölgelerdir. Yüksek dalga enerjisine sahip kayalık bölgeler ise daha az duyarlıdır. Kapalı deniz konumunda olan Körfez denizi ile Kızıldeniz gibi denizler sığ ve daha az enerjili olmaları sebebiyle daha hassaslardır. Yapılan deşarjlar neticesinde kıyı ekosisteminde zararlar meydana gelmektedir (Bleninger, 2008). Yapılan deşarj sonucunda konsantrenin içeriğine bağlı olarak deniz ekosistemine olan etkileri aşağıda açıklanmıştır.

Konsantre tuzluluğunun etkisi: SWRO tesislerden kaynaklı konsantre akımlar yoğun tuz içerikli olduğundan deşarj edildikleri noktalarda sucul ekosistemi üzerinde olumsuz akut etkileri gözlemlenmektedir. Konsantre, yoğun tuzluluğun yanı sıra çeşitli mineraller, ağır metaller ve spesifik kirleticileri de içermektedir. Hatta, ham suda eser düzeyde bulunabilecek tehlikeli kirleticiler de toksik değerlere ulaşabileceğinden olumsuz yönde önemli ekolojik etkiler oluşturabilirler.

Hamsu olarak deniz suyunu kullanan SWRO tesislerinden kaynaklanan konsantrelerin tuzluluk miktarındaki artış veya azalış deniz suyunda çevresel olarak estetik veya fiziksel karakteristikte değişime pek sebep olmamaktadır. Deniz suyundaki tuzluluğun değişmesi, organik kirletici parametrelerin göstergesi olan BOİ ve KOİ'de değişime sebep olmamaktadır. Çünkü deniz suyunun tuzluluğunun yaklaşık % 80'nini sodyum ve klorür oluşturmaktadır ve bunlar sucul organizmalar için birincil gıda kaynağı veya makro veya mikro nutrient değildir. Aynı zamanda SWRO konsantresi deşarjındaki tuzluluk, atıksu arıtma tesislerinden veya endüstriyel tesislerin deşarjındaki kirleticileri içeren kirleticiler ile karşılaştırıldığında antropojenik kaynaklı değildir. Konsantredeki minareller SWRO tesisinin kullandığı hamsudan kaynaklanmaktadır. Hatta SWRO tarafından deşarj edilen konsantre seyrelip yeniden tesiste tuzu giderilmektedir. Tesisten kaynaklanan tuz konsantasyonunun uzun süreli etkisi, buharlaşmadan kaynaklanan deniz suyundaki tuzluluk salınımları etkilerine

denktir. Denizlerde çevresel şartlardan kaynaklanan tuzluluk salınımları ± 10 oranında değişmektedir. Bu durum sucul organizmaların bu salınım değerlerine adapte olduğunu göstermektedir (Voutchkov,2011).

Yapılan konsantre deşarjı deniz ortamındaki canlılara ait flora ve faunayı değiştirmektedir. Konsantre deşarjıları bazı durumlarda dikey karışımın sağlanmamasından dolayı denizdeki haloklin bölgesinde tabakalaşmaya sebep olmaktadır. Bu durum yoğun olan konsantrenin dip bölgesine çökmesi ile partikül maddelerin hızlı bir şekilde sediment üzerinden birikmesine, suyun hidrografisi ve su kalitesi değişmesinden dolayı tuzluluk artışına, buna bağlı olarak oksijen miktarındaki düşüş ve toksik elementlerden dolayı enzim aktivitelerinde, beslenmede, üremede, nefes almada ve fotosentez üzerine olumsuz etkileri gözlemlenmiştir. Aynı zamanda canlıların davranış şekillerinde farklılaşma saptanmıştır (Einav, 2002; Lattemann, 2008).

Denizin haloklin tabakasındaki oluşan tuzluluk artışı canlı organizmaların hücrelerindeki turgor basınç dengesini bozarak hücrelerin ve lavraların parçalanmasına sebep olmaktadır. Su ortamındaki canlıların tuzluluğa karşı gösterdikleri tolerans bölgeden bölgeye ve türden türe farklılık gösterebilmektedir (Einav, 2002). Tablo 5.14’de bazı türlere ait tuzluluk tolerans değerleri verilmektedir.

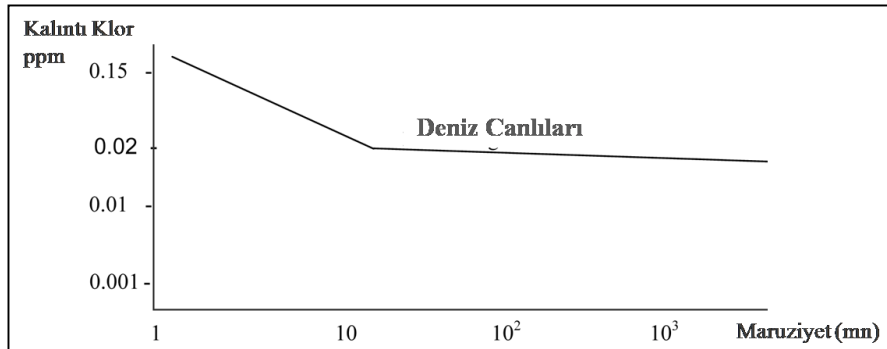
Tablo 5.14: Bazı türlere ait tuzluluk tolerans limitleri (Palomar, 2010)

Tür Adı	Tuzluluk Toleransı Limitleri
Posidonia oceanica Seagrasses	38.500 mg/l
Cymodocea nodosa Seagrasses	40.000 mg/l
Caulerpa prolifera algae	50.000-60.000 mg/l
Zostera noltii Seagrasses	41.000 mg/l
Mussels (Midyeler)	50.000 -70.000 mg/l

Silisyumlu planktonik canlıların yüksek tuzluluk oranına karşı toleransı yüksek iken çoğu tür yaşamını sürdürememektedir. Omurgasızların bazı türlerinde tuzluluğa karşı direnç düşüktür ve larvalarının tümü zarar görmektedir. Bazı türler ise belirli bir adaptasyon süresinden sonra yüksek tuzluğa karşı direnç kazanmakta olup tuzluluk toleranslarını yükseltmektedir (Einav, 2002; Lattemann, 2008; Roberts, 2010). Canlılar üzerindeki bu çevresel etkilerin azaltılması için konsantre dağılımının iyi bir şekilde sağlanması gerekmektedir.

Eğer deniz tabanında vejetasyon yok ise, konsantrenin ekosistem üzerine etkisi çok önemli seviyelerde olmayacaktır. Vejetasyonu zengin olan deniz ortamında yapılacak tuzlu su deşarjları ile oluşan yüksek tuzluluk değeri deniz çayırı vb. bitkilerin ve bazı organizmaların tamamen yok olmasına sebebiyet verebilmektedir (Meneses, 2010).

Biocide ilavesi etkisi: Birçok SWRO tesisinde, su alma yapısı öncesinde tesis iletim hatları ve membranlarda biyolojik olarak çoğalmayı engellemek için deniz suyuna gaz veya sıvı formda klor eklemesi yapmaktadır. Klor eklemesinden sonra bakiye klorün membranlara girmeden giderilmesi için verilen biosülfite, klorü % 90 civarında azaltmaktadır. Konsantre içinde biosülfat içeriğinin toksik etkisi hakkında bir bilgi bulunmamaktadır (Miri, 2005). Sonuç olarak bakiye klor konsantre içinde 20-50 µg/L olarak kalmaktadır. Distilasyon prosesi kullanan tuz giderme tesislerinde bu değer 100 µg/L'ye kadar çıkmaktadır. Klorun deniz canlıları üzerinde toksik etkisi bulunmaktadır (Lattemann, 2008). Şekil 5.34'de kalıntı klorun canlılar üzerindeki etkisi görülmektedir.



Şekil 5.34: Konsantredeki kalıntı klorün deniz canlılarına etkisi (Miri, 2005)

Kalıntı klor >10 µg/L seviyelerinden itibaren fitoplankton, meroplankton, holozooplankton ve ichthyoplanktonları kolay bir şekilde etkisiz hale getirmektedir. Deniz hayvanları, larvalar, yumurtalar ve vejetasyon yaşamı üzerinde klorun toksik etkileri vardır (Miri, 2005). Ayrıca serbest klor halinde olan hipoklorit, bromür ve organik maddeler ile reaksiyon vermesi halinde bromoform veya haloasetik asit formundaki trihalometanları (THM) oluştururlar. THMler distilasyon tesisleri bölgelerinde yapılan ölçümlerde 9,5-83,0 µg/L seviyelerinde ölçüldükleri rapor edilmiştir. Oluşan bu THM'lerin deniz canlıları üzerinde kanserojenik ve mutajenik

etkileri vardır (Lattemann, 2008). Konsantre deşarjı içeriğindeki en önmeli çevresel etkiye sahip kirletici grubu biocidlerdir.

Ağır metallerin etkisi: Ağır metallere kaynaklanan toksik etki distilasyon tuzsuzlaştırma tesislerindeki konsantrelerde görülmektedir. Özellikle bakır konsantrasyonu deniz suyuna göre 200 kat daha fazla oranda deşarj edilmektedir. Bu tesislerdeki korozyon oranı SWRO tesislerinden daha fazladır ve bu sebeple konsantrelerde metal içerikleri RO'ya göre fazladır. SWRO tesislerinde meydana gelen korozyondan kaynaklı oluşan ağır metal değeri eser miktarlarda gerçekleşmektedir. Ancak doğal ortamda bulunan ağır metaller konsantrerede fazla olduğu için deşarj noktasındaki canlılarda biriken ağır metal konsantrasyonunun, diğer bölgelere nazaran daha fazla olduğu yapılan çalışmalarda tespit edilmiştir. (Miri, 2005; Lattemann, 2008)

Antisikalanat ilavesi etkisi: Sucul yaşam için antisikalanatların toksisitesi oldukça düşüktür. Yalnızca algler için 20 mg/L içeriğinden sonra algler üzerinde olumsuz etkiler görülebilmektedir. İçeriğindeki fosfatdan dolayı bölgedeki besin dengesi değiştirebileceğinden ötrifikasyon durumuna katkı yapabilmektedir. Ayrıca biyolojik olarak parçalanması düşük olduğundan biyolojik olarak birikime sebep olmaktadır (Lattemann, 2008).

Koagulant ilavesi etkisi: Koagulant olarak genellikle toksik etkisi düşük olan $FeCl_3$ kullanılmaktadır. Ön arıtmada partikül maddelerin giderilmesinde kullanılan $FeCl_3$ filtrasyonla giderilmesi ile yapılan geri yıkama neticesinde ortaya çıkan askıda katı madde konsantrasyonu ile deşarj edilmektedir. Konsantre, demir içeriğinden dolayı kırmızı renge dönüşür. Meydana gelen renklilik deniz ortamında ışığın girişimini engellemekte, bulanıklığa sebep olmaktadır. Dibe doğru çökme eğiliminde olan konsantradaki askıda maddeler bentik organizaların üzerini örtmekte ve dipte sediment miktarı artmaktadır (Lattemann, 2008).

Membran temizliğinin etkisi: Membran yüzeyinde biriken organik maddelerin, mikroorganizmaların, minerallerin ve metal bileşiklerin temizlenmesi için bazı prosedürler uygulanmaktadır. pH 11-12 aralığında; organik maddeler ve silt oluşumu, pH 2-3 aralığında; metal oksitlerin ve birikiminin giderilmesi kimyasal ilaveleriyle gerçekleştirilmektedir. Membran temizliğinde deterjanlar (dodecylsulfate, dodecylbenzene sulfonate) ve osidantlar (sodium perborate, sodium hypochlorite,

EDTA) kullanılmaktadır. Bu işlemden sonra membran yüzeyleri dezenfekte edilir. Bu dezenfeksiyon aktif klor, hidrojen peroksit veya formaldehit gibi kimyasallar ile gerçekleştirilmektedir. Bu kimyasalların deşarjı deniz ortamında toksik etkiye sebep olmaktadır (Lattemann, 2008).

5.4.5.3.Deşarj kriterleri ve yaklaşımları

Birkaç ülkede bu proseslerden oluşan konsantre akımların tekrar denize deşarjı için genel alıcı ortam standardı oluşturulmuştur. Ancak çoğu uygulamada özellikle büyük kapasiteli SWRO uygulamalarında mevcut dispersiyon modelleri kullanılarak konsantre akımın alıcı ortam üzerindeki etkilerinin modellenmesi ve yeterli sürede izlenmesi en yaygın uygulama olarak göze çarpmaktadır.

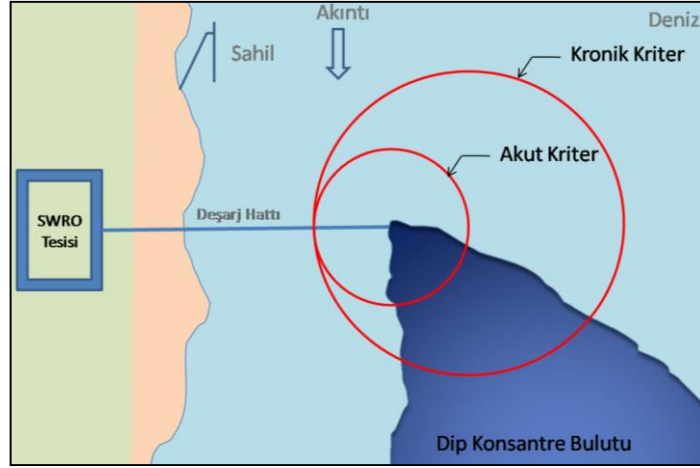
Modelleme ve izleme çalışmaları gerçekleştirilmeden önce bazı laboratuvar çalışmaları gerçekleştirilir. Bölgedeki canlılar üzerinde laboratuvar koşullarında gerçekleştirilen kalitatif ve kuantitatif deneyler ile belirlenen türlerin tuzluluğa karşı tolerans değerleri tespit çalışmaları yapılır. Çapı, ilk karışım bölgesi ve daha fazla alanda yapılan hidrodinamik model simülasyonu çalışması ile dip bölgesindeki tuzluluk dağılımı ortaya konmaktadır (Tsiourtis, 2001). Sonrasında model simülasyonlar sonuçları ile canlıların tolerans seviyeleri karşılaştırılmaktadır. Bölgeye özgü çıkan sonuçlar neticesinde tuzluluk toleransı bilinen türlere ait değerlendirme çalışmasının yapılmasının ardından deşarj noktası ve ilk karışım mesafesi belirlenmektedir. Elde edilen model simülasyonu bulguları çerçevesinde inşa edilen konsantre deşarj ünitesi operasyona başladıktan sonra sucül ekosistemdeki değişimlerin izlenmesi 4 veya 6 ayda bir gerçekleştirilmektedir (Tsiourtis, 2001; Voutchkov, 2011). Yapılan gözlemlerde, model simülasyonu sonucu karşılaştırılması ile tespit edilen uyumsuzlukların giderilmesi için deşarj ünitesinde optimizasyon yapılabilmektedir. Bu izleme çalışmaları karışım bölgesi sınırından itibaren yapılmaktadır. Tuz giderme tesislerinin deşarj noktalarında yapılan dağılım izleme çalışmalarına ait tuzluluk dağılım sonuçları Tablo 5.15’de verilmiştir.

Tablo 5.15: Dünyada bazı bölgelerde dağılım mesafesi izleme çalışmaları (Roberts, 2010)

Bölge Adı	Tesis Kapasi tesi m ³ /gün *1000	Konsantre Deşarj Debisi m ³ /gün*1000	Konsantre Tuzluluğu mg/l	Habitat	Deşarj noktasından yatayda deniz dip seviyesinde arka plan seviyesine gelen kadar konsantre bulutu dağılımı mesafesi
Muscat, Umman	92,4	*	37.300	Yumuşak Sediment	100 mt
Muscat, Umman	191	*	40.110	Yumuşak Sediment	980 mt
Sitra Island, Bahreyn	106	288	51.000	Yumuşak Sediment	160 mt
Kanarya Adaları İspanya	25	17	75.200	Gel-git altındaki kaya mercanı	100 mt
Dhkelia, Kıbrıs Rum Kesimi	*	*	*	*	100-200 mt
Alicante, İspanya	50	75	68.000	Yumuşak Sediment -Deniz Çimeni	4.000 mt.
Javea, İspanya	28	*	44.000	Yumuşak Sediment -Deniz Çimeni	300 mt.
Alicante, İspanya	50	65	68.000	Yumuşak Sediment	1300 mt.
Ashkelon, İsrail	274	600	42.000	*	4000 mt.

*Bilgi yok

İlk karışım bölgesi içinde konsantrenin canlılar üzerine kronik etkisi bulunmaktadır. Ayrıca konsantre bulutunun deşarj hattı ile terk ettiği yakın bölgede ise canlılar üzerinde akut etki kendini göstermektedir. İlk karışım bölgesi içinde canlıların etkilenmesi kaçınılmaz olduğundan, yapılacak dizayn ve değerlendirmelerde bu bölgedeki canlılar en az etki altında olduğu kabul edilerek +%5~10 tuzluk artışına kadar seyrelmenin yapılabileceği deşarj metodu uygulanmaktadır. Ancak son yıllarda ilk karışım bölgesi iç tarafı için de izleme çalışmaları yapılmaktadır (Voutchkov, 2011; Tsiourtis, 2001;). İlk karışım bölgesi tespitinde bölgeden bölgeye farklılık gösteren kriterler uygulanmaktadır. Literatürde; Voutchkov (2011) tarafından ilk karışım bölgesi değeri 300 m , Tsiourtis (2001) tarafından ise 100~200 m ve SCCWRP (2012) tarafından 50~300 m olarak olarak rapor edilmiştir. EPA tarafından uygulanan karışım bölgesi yaklaşımı ile ilk karışım bölgesi belirlenmektedir. Bu yaklaşım modeli Şekil 5.35’da verilmiştir.



Şekil 5.35: EPA Karışım bölgesi yaklaşımı (Sami, 2014)

Kronik kriterin uygulandığı, bölge ilk karışım bölgesini temsil etmektedir. EPA standartlarına göre deşarj edilecek dip bölgesinde yaşayan canlılar üzerinde yapılan testlerden sonra akut kriter ve kronik kriter belirlenmektedir (Sami, 2014). Diğer yaygın yöntem ise akışkan dinamiği model denklemleri ile belirlenmesidir.

İlk karışım bölgesi sınırında ve etrafında, dünya genelindeki uygulamalarda tuzluluk değeri arka plan konsantrasyonunda %5 veya 1000 mg/L fazla ve 40.000 mg/L seviyesinde seyrececek şekilde deşarj limitleri belirlenmiştir. ABD’de yapılan bazı mevzuat düzenlemelerinde, tuzlu su deşarjları sonrası, doğal tuzluluğun binde 13,5 ile 35 arasında olduğu ortamlarda binde dördü (4 ppt) aşmaması öngörülmektedir (SCCWRP,2012).

Konsantrenin ekolojik etkileri üzerine bazı tolerans yaklaşımları bulunmaktadır. Bu yaklaşımlar 39.000 mg/L tuzluluğa kadar toleransı olan “Deniz Çayırı” için oluşturulmuştur. Konsantre deşarjının 66.000 mg/L’ye kadar çıktığı konsantrelerde deniz çayırı yüksek oranda etkilenecek ve bölgedeki varlığı yok olabilecektir (Meneses,2010). Tuzlu su deşarjı ile ilgili Avrupa Birliği direktifi (Council Directive 92/43/EEC, 1992) koruma altındaki türler arasında tuzluluğa en hassas tür olarak deniz çayırını (*Posidonia oceanica*) belirtmektedir. Ancak Su Kalitesi AB Direktifi tuzsuzlaştırma tesislerinden kaynaklanan konsantre ve diğer atıklar için bir kriter belirtilmemiştir (Palomar, 2010).

Türkiye’de derin deniz deşarjında uyulması gereken kirletici sınır değerleri, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği’nde (SKKY) “*Derin ve sığ sulara yapılan deniz*

deşarjları için uygulanacak kriterler” başlığı altında “Kapasiteleri 1.000 m³/gün ’den fazla olan deniz suyundan içme/kullanma suyu elde etme tesislerinde açığa çıkan konsantre akımlar ve benzeri çok yoğun tuzlu su deşarjlarında, ilk karışım bölgesindeki (birinci seyrelme sonrası) tuzluluk artışı hassas deniz bitkilerinin (deniz çayırları) yaygın olarak bulunduğu bölgelerde binde 2 (2 ppt), diğer yerlerde ise binde 4 (4 ppt) ’ü aşmamalıdır. Bu tür atıksuların kıyı sularına deşarjı için derin deniz deşarjı şartı aranmaz” olarak belirtilmektedir.

SWRO tesisi çıkış suyu ile ilgili en kapsamlı deşarj limitleri İsrail’de uygulanmaktadır. Yasal düzenlemeye ait bilgiler Tablo 5.16’da verilmiştir.

Tablo 5.16: İsrail'e ait konsantre deşarj limitleri

Parametre	Birim	Limit Değer
Toplam askıda katı madde, AKM	mg/l	15 (günlük ort.) 20 (maksimum)
Bulanıklık	NTU	10 (günlük ort.) 15 (maksimum)
pH	-	6,5-9,0
Fe ³⁺	mg/l	2,0 (geçici)
Sıcaklık	°C	Alıcı ortam sıcaklığından 4°C yüksek (termik santral ile birleştirilmiş ise)
Azotlu bileşikler (NO ₃ -N, NO ₂ -N, NH ₄ -N, TKN, TN),		< Alıcı ortam denizsuyu konsantrasyonunun 1,7 katı
Fosforlu bileşikler (PO ₄ -P, TP),		< Alıcı ortam denizsuyu konsantrasyonunun 1,7 katı
Ağır metaller (Ag, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb, Zn)		< Alıcı ortam denizsuyu konsantrasyonunun 1,7 katı
Sahil koruma bandı genişliği	m	300
Deşarj derinliği	m	Deşarj 30 m derinlikten veya deniz tabanı eğiminin yeterli olmadığı durumlarda 1609 m açığa yapılmalıdır
Difüzör (Yayıcı) deliklerinin tabana mesafesi	m	İyi bir seyrelmenin sağlanabilmesi için difüzör deliklerinin deniz tabanından en az 2 m yukarıda olması istenmektedir.

*İsrail’deki bu deşarj limitleri çok büyük kapasiteli ters osmozla desalinasyon tesisi konsantre (brine) (≥ 100 000 m³/gün) deşarjları için uygulanmaktadır.

Türkiye’de Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY)’nde “Su Yumuşatma Tesislerinden” çıkan konsantre akımları için deşarj limitleri içeren Tablo 5.17’de verilmektedir. Tablo 5.17’ye göre SWRO tesisleri demineralizasyon kapsamında değerlendirilmektedir.

Tablo 5.17: Su Yumuşatma, Demineralizasyon ve Rejenerasyon, Aktif Karbon Yıkama ve Rejenerasyon Tesisleri (SKKY, Tablo 20.7)

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

AB Su Çerçeve Direktifine göre “Çevresel Kalite Oranları” na göre ülkelerin belirlediği düzenlemeler esas alınmaktadır. Dünya’da bazı ülkelere ağır metal, klor, tuzluluk ve karışım bölgesi ve deşarj kriterleri Tablo 5.18’ de verilmektedir.

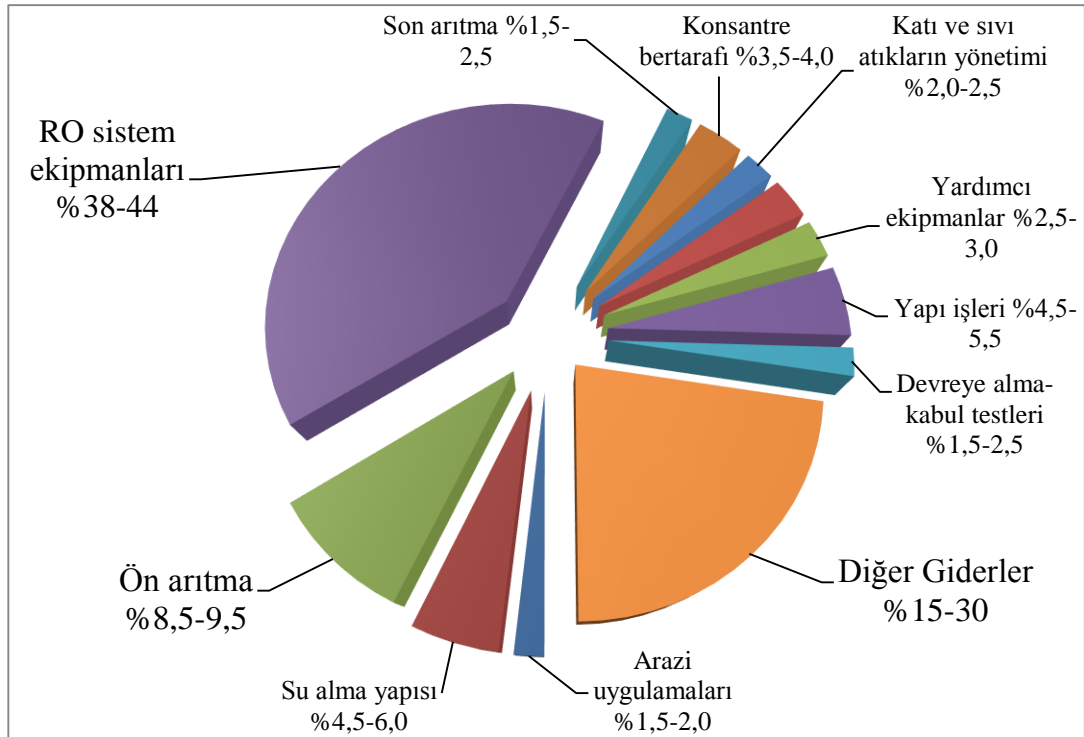
Tablo 5.18: Dünyada konsantr deşarjı için alıcı ortam ve deşarj standartları (Münk, 2008; Palomar, 2010)

Parametre	ABD-EPA* Alıcı ortam standartı	Viktorya Eyaleti-Australya Alıcı ortam standartı	İspanya	Umman Alıcı ortam standartı	S.Arabistan	
					Deşarj Standartı	Alıcı ortam standartı
Klor(mg/lt)	0,0075	-	-	0,4	0,5	%5
Bakır(mg/lt)	0,0048	-	-	0,2	0,2	%5
Nikel(mg/lt)	0,0082	-	-	0,1	0,2	%5
Çinko(mg/lt)	0,081	-	-	-	-	-
Krom(mg/lt)	0,05	-	-	-	-	-
Sıcaklık	-	-	-	10 °C	1 °C	-
Demir(mg/lt)	-	-	-	1,5	-	-
AKM(mg/lt)	-	-	-	30	15	%5
pH	6,5-8,5	-	-	-	6-9	-
İlk Karışım Bölgesi	Mesafesi	*	*	*	300 mt	30 gün ortalamaya göre
	Tuzluluk	4 ppt daha az	%5 veya 1 ppt daha az	-	1 ppt daha az	-
Ç. Oksijen mg/lt	-	-	-	-	% 10 dan daha az	-

* Model similasyonu çalışmaları ile belirlenen kriterlere göre belirlenir.

6 SWRO TESİSLERİ YATIRIM VE İŞLETME MALİYETLERİ

SWRO tesislerinde dolaylı ve direk yatırım maliyetleri bulunmaktadır. Direk maliyetlerini etkileyen unsurlar: arazi uygulamaları, su alma yapısı, ön arıtma, RO sistem ekipmanları, son arıtma, konsantre bertarafı, katı ve sıvı atıkların yönetimi, elektrik sistemleri kurulumu, yardımcı ekipmanlar, yapı işleri, devreye alma-kabul testleri olarak sıralanmaktadır. Dolaylı maliyetler ise; yüklenici kârı, nakliye, işçi maliyeti, sigorta, geçici yapılar, saha denetimi, mühendislik ve yasal ücretler ve ön görülemeyen giderler olarak sınıflandırılmıştır (El-Desseuky, 2002). Şekil 6.1’de yatırım maliyeti bileşenleri verilmektedir.

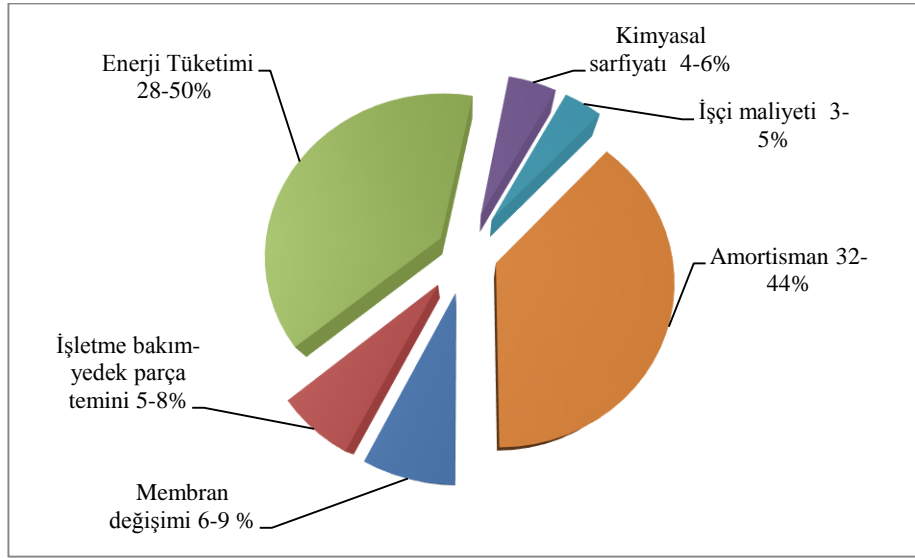


Şekil 6.1: SWRO yatırım maliyeti giderleri bileşenleri (Voutchkov, 2008)

Şekil 6.1’de görüldüğü üzere ilk yatırım maliyetinde en fazla giderler RO ekipmanları, ön arıtma ve diğer giderler olarak gerçekleşmektedir. Diğer giderlerdeki belirsizliklerin ilk yatırım maliyetleri üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır. Bu

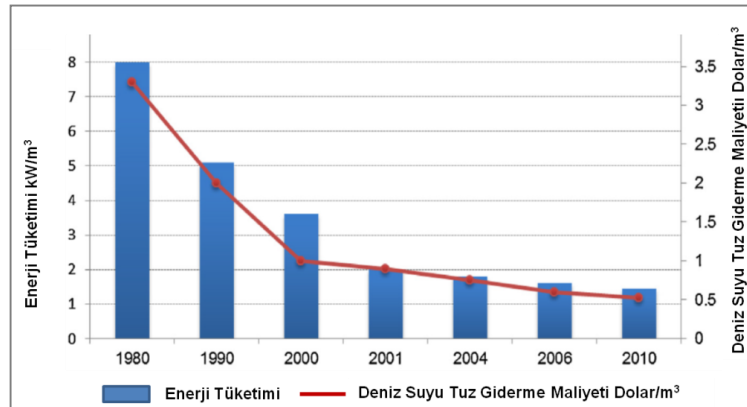
giderler bölgeden bölgeye, projenin türüne (Yap-işlet-devlet modeli veya özel sektör su temini projeleri), iletim ve depolama gibi ihtiyaçlara göre farklılık göstermektedir.

SWRO tesislerinde işletme maliyetleri; membran değişimi, işletme bakım-yedek parça temini, enerji, kimyasal sarfiyatı ve işçi maliyeti olarak sıralanmaktadır. İşletme maliyeti hesabı dikkate alındığında amortisman bedeli de dahil edilmektedir (Lattemann, 2010). Şekil 6.2’de maliyetler oransal olarak ifade edilmiştir.



Şekil 6.2: SWRO tesisi tuz giderme maliyet bileşenleri (WRA, 2011)

1980’li yıllardan bu yana yoğun olarak kullanılan RO sistemlerinin ilk yatırım ve işletme maliyetleri zamanla azalmıştır (Şekil 6.3). Membran teknolojilerindeki ilerleme, tesis sayısının artması ve rekabetçi şartların bu azalmalara sebep olduğu düşünülmektedir.



Şekil 6.3: Yıllara göre birim işletme maliyeti değişimi (Shatat, 2013)

Şekil 6.3’de görüldüğü üzere yıllara göre üretim maliyetleri düşmüştür. Bunun en önemli etkisi yukarıda bahsedilen şartlara ek olarak %30-40 geri kazanım üniteleri ile enerji tasarrufunun sağlanmasıdır. Bu durum maliyetlere yansımıştır. Günümüzde SWRO tesislerinden farklı aralıklarda işletme maliyeti değerleri verilmektedir. Literatürde mevcut tesislere yönelik olarak bazı işletme maliyetleri raporlanmış olup Tablo 6.1’de sonuçlar verilmiştir.

Tablo 6.1: Literatürdeki işletme maliyeti değerleri

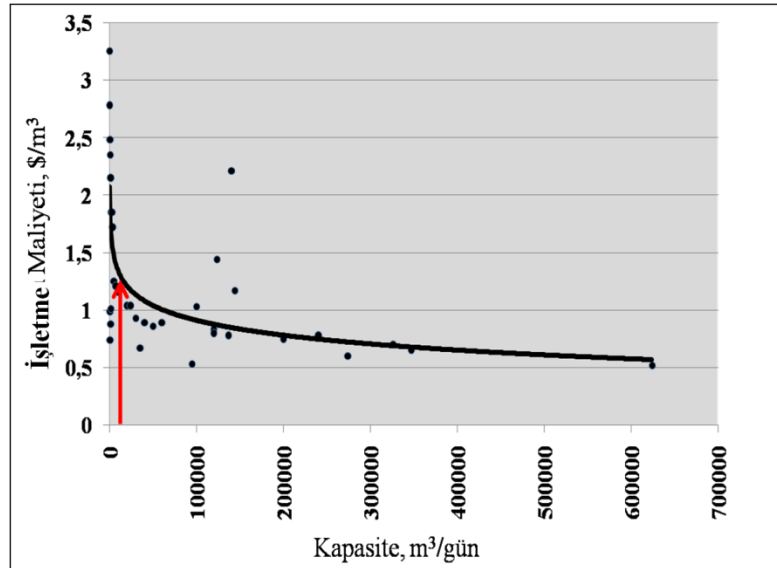
Tesis Kapasitesi m ³ /gün	Üretim Maliyeti \$ /m ³	Kaynak
3.800	1,19	Zotalis, 2014
7600	0,86	
19.000	0,66	
38.000	0,62	
57.000	0,60	
6<100	1,5-18,75	Shatat, 2013
250-1000	1,25-3,93	
15.000-60.000	0,48-1,62	
100.00-320.000	0,45-0,66	
250-3500	2,70-1,72	Hafez, 2012
4.800-15.000	1,28-1,15	
20.000-50000	1,04-0,86	
200	3,25	Gude 2010
600	2,35	
1200	2,15	
3000	1,85	
<1000	2,19- 11,07	Karagiannis, 2008
1000-5000	0,69- 3,87	
12.000-60.000	0,44-1,62	
>60.000	0,50-1,00	

İşletme maliyetlerini etkileyen faktörlerden biri kullanılan enerji kaynağıdır. Tablo 6.2’de farklı enerji kaynakları ile elde edilen işletme maliyetleri karşılaştırması verilmektedir.

Tablo 6.2: Enerji kaynağına göre işletme maliyeti

Enerji Kaynağı Türü	Üretim Maliyeti \$ /m ³	Kaynak
Konvansiyonel+SWRO	0,50-3,50	V.G. Gude,2010
	0,46-3,50	M. Shatat ,2013
	0,35-2,70	K Zotalis,2014
RES+SWRO	7,00-9,00	V.G. Gude, 2010
	1,30-6,50	M. Shatat,2013
	1,00-5,00	K Zotalis,2014
Güneş Enerjisi(PV)+SWRO	4,00-11,00	V.G. Gude, 2010
	2,14-9,00	M. Shatat, 2013
	3,14-9,00	K Zotalis,2014
Nükleer+SWRO	0,79-1,21	R. S. Falblsh, 2003

Tablo 6.2’de görüldüğü üzere kapasite büyüdükçe işletme maliyeti düşmektedir. Kapasiteye göre değişen üretim maliyetlerinin daha anlaşılabilir olması açısından bu çalışma kapsamında Şekil 2.47’de 200 – 624.000 m³/gün kapasite aralığında literatürden elde edilen 36 farklı SWRO tesisine ait verilerden kapasite bazında ortalama işletme maliyeti grafiği çizilmiştir.



Şekil 6.4: Kapasite bazında üretim maliyetleri

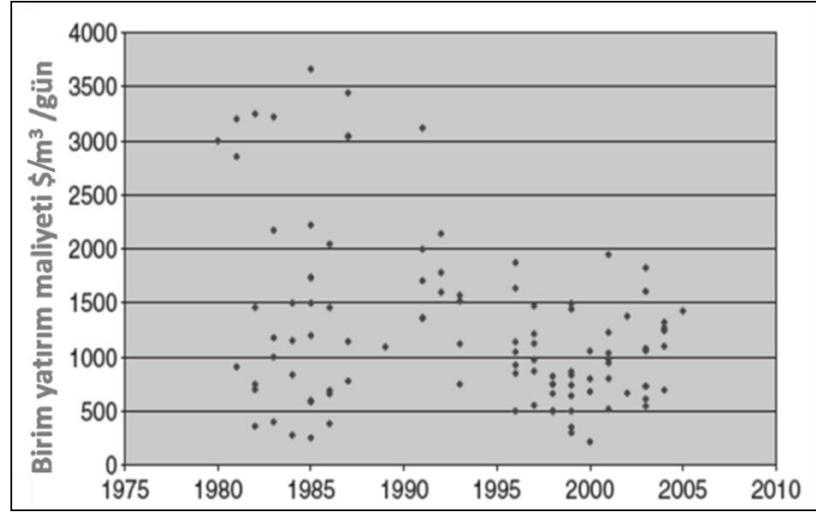
Şekil 6.4’de işletme maliyeti ve kapasite arasındaki korelasyon -0,441 gibi bir değer bulunmuştur. Fiyat aralığının ise ağırlıklı olarak 0,50-1,50 \$ /m³ aralığında gruplandığı görülmektedir. Grafik üzerinde kırmızı ok ile gösterilen noktada maliyetin düşüşünün yavaşladığını göstermektedir. Bu nokta yaklaşık 10.000 m³/gün’e tekabül etmektedir. Bu grafikten elde edilen verilere göre **10.000 m³/gün’den daha yüksek**

değerlerdeki tesislerin işletme maliyeti açısından daha ekonomik olacağı öngörülmektedir.

SWRO tesisleri için rapor edilen üretim maliyeti uyumsuzluğu;

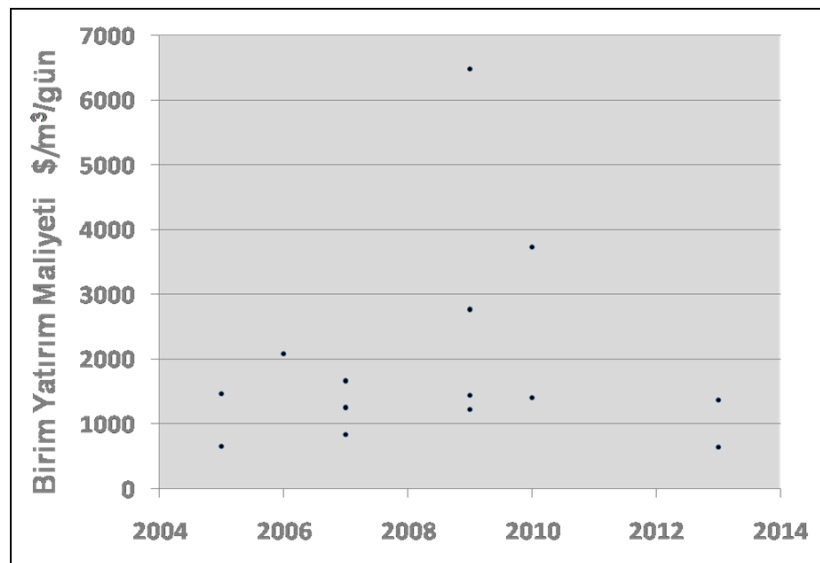
- Proses işletme farklılıklarından (akı değerleri seçimi, geri kazanım oranı ve işletme basınçlarından),
- Bölgesel olarak farklılık gösteren membran değişiminden (3-5 yılar arasında, membran değişimi maliyeti 0,15-0,81 \$/m³ (Avlonitis, 2003; Ettouney,2002)),
- Ülkeden ülkeye değişen enerji fiyatlarından,
- Tesis işletmesindeki bölgesel deneyimlerden (Özellikle İsrail'in deneyimleri kendi tesislerindeki üretim maliyetlerini düşürmektedir),
- Devletlerin koymuş olduğu çevresel kriterlere bağlı olarak konsantre bertarafındaki maliyet farklılıklarından,
- Besleme suyunun temin metodundan ve fiziksel- kimyasal özelliğinden (tuzluluk arttıkça maliyet artmaktadır)
- Tesis yaşından (eski teknolojiye sahip tesislerdeki yüksek maliyet)
- Amortisman bedellerinde etkili olan tesis ömründen (20 ila 30 yıl arasında değişmektedir),
- Faiz (ülkeden ülkeye değişiklik göstermektedir) oranlarından,
- Yedek parça-bakım ve onarımının yaygın olduğu merkezlere olan mesafeden dolayı daha pahalı hizmet alımından,
- Dünyadaki tuz giderme proseslerinin %58'i yap işlet devret modeli ile veya su pazarlama girişimleri tarafından işletilen tesislerin daha maliyetli su üretmesinden (GWI, 2012),
- Tam kapasite su üretimi yapılamamsından dolayı amortisman bedelinin yükselmesinden, devlet tarafından verilen sübvansenin politik sebepler dolayısıyla değişmesi veya firmalar tarafından ticari maksatlı beyan edilen verilerin güvenilirliği gibi faktörlerden kaynaklanmaktadır (Ghaffour, 2013).

İşletme maliyetlerinde olduğu gibi yatırım maliyetleride de tesisten tesise farklılık göstermektedir. Şekil 6.5 ve Şekil 6.6'da yıllara göre değişen birim yatırım maliyet değerleri verilmektedir.



Şekil 6.5: Yıllara göre birim ilk yatırım maliyetlerindeki değişim (1980-2005) (Reddy , 2006)

Şekil 6.5'de görüldüğü üzere 1995-2005 yıllarında ilk yatırım maliyeti ortalama olarak düşüş yaşamış ve birim yatırım maliyeti 500-1000 $\$/m^3$ -gün aralığında daha fazla gruplaşmıştır (Reddy, 2006). 2005-2013 yılları arasındaki yatırım maliyetleri için Şekil 6.6, bu çalışma kapsamında oluşturulan Tablo 6.3'deki veriler kullanılarak hazırlanmıştır.



Şekil 6.6: Yıllara göre birim ilk yatırım maliyetlerindeki değişim (2005-2013)

Şekil 6.6’da görüldüğü üzere, 2005-2013 yılları arasında eğilim 1000-2000 $\$/m^3/gün$ arasında gruplaşmıştır. Bu değer 2005 yılı verilerinin üzerinde olduğunu göstermektedir. Literatürde, 3-4 kWh/ m^3 enerji tüketen ve işletme maliyeti 0,5-1,2 $\$/m^3$ aralığında olan SWRO tesisleri için 900-2500 $\$/m^3/gün$ aralığında ortalama yatırım maliyeti değeri verilmektedir (Tablo 6.3) (GWI, 2012; Pankratz, 2008; Ghaffour, 2013). Bu değer aralığı Şekil 6.3’den elde edilen değer aralığı ile uyumluluk göstermektedir.

Tablo 6.3: Bazı SWRO tesislerine ait ilk yatırım ve birim yatırım maliyetleri

Tesis Adı	Ülkesi	Kurulum Yılı	Mevcut Kapasitesi $m^3/gün$	İlk Yatırım Maliyeti \$	Birim Yatırım Maliyeti $\$/m^3/gün$	Üretim Maliyeti \$/ m^3
Sorek	İsrail	2013	624.000	400.000.000	641,03	0,52
Hadera	İsrail	2009	347.000	425.000.000	1224,78	0,65
Askelon	İsrail	2005	326.000	212.000.000	650,31	0,70
Ashdod	İsrail	2013	274.000	375.000.000	1368,61	0,60
Barselona	İspanya	2009	200.000	288.000.000	1440,00	0,75
Hamma	Cezayir	2007	200.000	250.000.000	1250,00	-
Perth	Avustralya	2006	144.000	300.000.000	2083,33	1,17
Kwinana	Avustralya	2009	140.000	387.000.000	2764,29	2,21
Tuas	Singapur	2005	136.800	200.000.000	1461,99	0,78
Palmachim	İsrail	2007	120.003	100.000.000	833,31	0,80
Minjur	Hindistan	2010	100.000	140.000.000	1400,00	1,03
Tampa Bay	Florida	2007	95.000	158.000.000	1663,16	0,53
Sydney	Avustralya	2010	250.000	933.000.000	3732	1,44

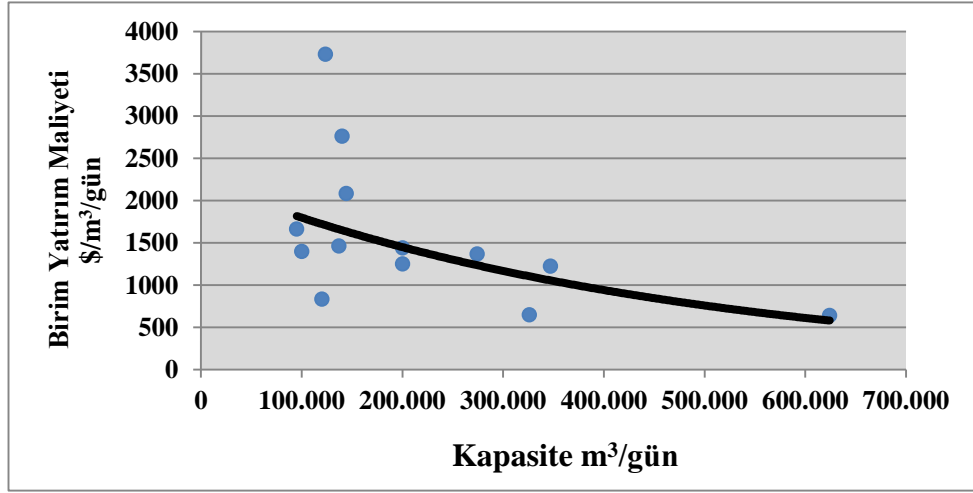
Tablo 6.3’de görüldüğü üzere birim yatırım maliyetleri oldukça geniş bir aralıkta değişmektedir. Aynı zamanda tesis kapasitesi büyüdükçe yatırım maliyetlerinde düşüş yaşanmaktadır. Loutatidou (2014) tarafından Körfez ülkelerinde 138 ve Güney Avrupa ülkelerinde 129 adet SWRO tesis verisi ile yatırım değerlerine karşı tesis kapasiteleri korelasyonu incelenmiş ve Tablo 6.4’deki değerler elde edilmiştir.

Tablo 6.4: Yatırım maliyeti –kapasite korelasyonu

Bölge	Körfez Ülkeleri	Güney Avrupa Ülkeleri
Korelasyon Değeri	-0,486	-0,428

Tablo 6.4 deki değerler ile Loutatidou (2014) tarafından verilen korelasyon değerleri birbirine yakındır. Tablo 6.4’de 2005 yılı ve sonrası çok büyük ölçekli

SWRO tesislerini içermektedir. Bu tesislerin birim maliyet ve kapasite arasındaki ilişki Şekil 6.7’de görülmektedir.



Şekil 6.7: Birim yatırım maliyetine karşı kapasitesi grafiği

Şekil 6.7’deki verilerin korelasyon değeri $-0,504$ ’dür ve literatürde verilen değerlere çok yakın bulunmuştur. Şekil 6.7’deki çok büyük ölçekli tesisler için yatırım maliyeti azalım eğrisi görülmektedir. Literatürde ise küçük ölçekli (<1000 m³/gün) tesislerde birim yatırım değerleri ortalama değerlerin üstündedir. Orta ölçekli (1000-10000 m³/gün) tesislerde yatırım maliyetleri logaritmik olarak düşüş eğilimindedir (A. Hafez, 2002).

SWRO tesisleri için rapor edilen bu değerler arasındaki yatırım maliyetlerindeki değişkenlik;

- Bazı SWRO tesislerinin enerji teminlerindeki farklılıktan (kurulu güç tesisi, yenilenebilir enerji kaynağı tesisi veya konvansiyonel enerji temini),
- Arazi temininden (özel sektör girişiminde arazi ücreti yüksek, devlet projelerinde sıfır olması),
- Devletler tarafından konsantre deşarj kriterlerinin ön yatırım maliyetlerini ve konsantre bertarafını etkilemesinden (daha ileri seviyede ön arıtıma ihtiyaç duyulması),
- Besleme suyunda bor miktarı yüksek olan denizlerde bor giderimi yapılmasından,

- Projenin yap-işlet-devret modeli veya özel sektör tarafından gerçekleştirilmesindeki maliyet artışından,
- Yatırımcıya firmalar tarafından sunulan farklı yapım maliyetlerinden (farklı tuzluluk, geri kazanım oranı, kapasite, projelendirme),
- Membran fiyatlarının bölgesel olarak farklılık göstermesinden,
- Son arıtma tiplerinin farklı oluşundan,
- Farklı besleme suyu temini yöntemleri arasındaki maliyet farkından,
- Tesis konumundan dolayı arazi düzenlemesi, iletim hattı ve pompa maliyetinden,
- Elde edilen suyun depolanması veya şebekeye iletilmesindeki maliyetlerden veya firmalar tarafından ticari maksatlı beyan edilen verilerin güvenilirliği gibi faktörler den gelen belirsizlik yatırım maliyetleri tahminlerini etkilemektedir (Ghaffour, 2013).

İleriki süreçlerde yatırım ve üretim maliyetlerini etkileyecek muhtemel durumlar ile karşılaşılması tahmin edilmektedir. Enerji fiyatlarındaki artış ve kur dalgalanmalarından dolayı hem üretim hem de yatırım maliyetleri artacaktır. Ayrıca kur dalgalanmaları ve enflasyondan dolayı inşa firmaları finansal risk oranlarını artıracığından maliyetlere etkisi söz konusu olacaktır (Ghaffour, 2013).

Pankratz, (2008) ve Ghaffour, (2013) tarafından işletme ve yatırım maliyetlerinin geleceğine dönük bazı değerlendirmeler yapılmıştır. Yapılan değerlendirmede;

- Membran teknolojilerinde yaşanan teknolojik gelişmelerin optimum şartlara yaklaşmasından dolayı teknolojik ilerlemenin son yıllarda stabil halde olduğu,
- Bu durumun maliyet azalmalarına katkısı olmayacağına öngörüldüğü ve hatta oluşan rekabet koşullarında düşük marjlı karlardan dolayı membran üreticilerinin bu koşullara karşı dayanmasının zorlaşacağından membran fiyatlarında artış olması beklendiği öngörülmüştür.

Bahsedilen bu durumlar göz önüne alındığında maliyetlerin artışı yönünde önemli etki beklenmelidir. Ancak son dönemde Çin tarafından üretilen ucuz fiyattaki membranların yaygınlaşmasıyla bu durumun tersine döneceği öngörülebilir.

Mevcut tuzsuzlaştırma teknolojilerinde gelişmeler devam etmesine rağmen literatürdeki bazı çalışmalarda tuzsuzlaştırma tesislerindeki maliyet düşüşleri yakın zaman içinde aynı hız ile düşmesi beklenmemektedir. Ekipman, ham madde ve enerji maliyetlerinin hızlı bir şekilde yükselmesinden dolayı yatırım ve üretim maliyetleri etkilenecektir. Global ölçekte tuzsuzlaştırma tesisleri için çevresel hassasiyetlerin artışıdan dolayı özellikle EU, ABD ve Avustralya’da bertaraf kriterlerine daha sıkı düzenlemeler getirilmektedir. Bu düzenlemeler çevresel şartları yerine getirme adına çok önemli bir maliyet faktörü olacaktır. Örneğin Kaliforniya’da proje bedelinin % 60’ı oranında artacağı tahmin edilmektedir (Ghaffour, 2013; Loutatidou, 2014).

Daha düşük maliyet ile tuzsuzlaştırma için adsorpsiyon, membran distilasyon ve hibrit teknolojiler üzerinde çalışılmaktadır. Bu teknolojiler ile daha düşük üretim maliyetleri elde edildiği görülmüştür. Fakat bu teknolojilerin mevcut prosesler ile tuz giderme pazarında yer alması için biraz zaman gerekecektir.

6.1. SWRO Tesisi Yatırım ve Üretim Maliyetleri Tahmini Hesap Yöntemleri

SWRO tesisleri yatırımları öncesinde yapılacak fizibilite raporlarına destek amacıyla maliyet belirlemede kullanılan farklı metotlar vardır. Global ölçekteki yatırımları tamamlanmış işletmede olan tesislerden elde edilen verilerle yola çıkılarak fiyat tahimini yapılan yöntemler ile en yaygın yöntem olan bilgisayar programları kullanarak maliyet belirleme yöntemi mevcuttur. Bu yöntemler ile elde edilen maliyetlerin doğrulukları $\% \pm 10-50$ aralığında değişmektedir. Bu yöntemler yardımıyla yatırım ve işletme giderleri hesaplanabilmektedir (Ghaffour, 2013).

“*International Atomic Energy Agency*” tarafından 1989 yılında “*Desalination Economic Evaluation Program(DEEP)*” adlı bir program geliştirilmiştir. Günümüzde DEEP /V3 olarak güncellenen programda; RO geri kazanım oranı, tuz giderimi, süzüntü akışı, membran özelliği ve giriş suyu kalitesi sisteme girilerek hesaplama yapılmaktadır. Program; istenilen su üretimine göre önceden tanımlanmış membran

sayısı, elektrik üretimine bağlı enerji üretimini ve pompa enerji maliyetleri ile toplam yatırım maliyetini ve işletme maliyetlerini belirlemektedir. Bu programda farklı enerji kaynakları kullanılması ihtimalleri üzerine de hesap yapılabilmektedir [Url-14].

Diğer bir program ise ABD -Bureau of Reclamation, I. Moch & Associates ve Boulder Research Enterprises ortak girişimi tarafından geliştirilen WTCost© programıdır. Bu programda RO, NF, ED, iyon değişimi kullanan su arıtma tesislerinin karşılaştırılması ve değerlendirmesi yapılabilmektedir. Program geniş aralıklarda giriş verisi yapmaya müsaade etmektedir. Aynı zamanda ön ve son arıtma, enerji kazanımı, kimyasal tüketimi, su besleme ve çıkış üniteleri altyapıları için farklı seçenekleri tahmin edebilmektedir. Farklı su kalitesi verileri programda yüküldür. İşçi, denetim, membran değiştirme, amortisman, tank, borulama ve ekipmanların maliyetlerinin hesaplanması ile yatırım ve işletme maliyeti tahmininde bulunabilmektedir (Reddy , 2006).

Membran üreticileri tarafından farklı paket programlar üretilmiştir. Bu programların temini ve kullanımı ücretsizdir. Fakat bu programlarda kullanılan veriler ile ilgili olarak detaylı bilgi verilmemektedir. Bu programlarda doğruluk oranı ± 30 'dur. Dahası programlar tüm ekipmanların ve yapım alanı parametrelerini vermemektedir. Bu programların yalnızca fizibilite çalışmalarında kullanılması önerilmektedir. Hatta bazı durumlarda fizibilite için yeterli olmamaktadır. Programlar asla kesin proje bütçe çalışmaları için yeterli değildir (Reddy, 2006).

6.1.1. Veri Tabanı Yaklaşımı ile Yatırım ve Üretim Tahmini Maliyet Hesabı

Eğer bir tesis ile ilgili olarak firmalar tarafından sunulan veriler yoksa yatırım kararının verilmesi aşamasında başlangıç noktası olarak veri tabanı bazlı tahmin yöntemleri kullanılabilir. Veri tabanı kullanılarak farklı çalışmalar Ettouney (2002), Leitner (1992) ve Park (1997) tarafından yapılmıştır. Wittholz (2008) tarafından yapılan çalışma en güncel ve geniş kapsamlı olanıdır. Bu yöntem atıksu arıtma tesisleri maliyet değerlendirmesi içinde kullanılmış ve çok faydalı olmuştur. Benzer çalışmalar Avustralya'da da kullanılmış ve aynı şekilde fayda sağlanmıştır (Wittholz, 2008).

Avrupa Birliği tarafından finanse edilen "Sürdürülebilir Entegre Su Yönetimi (SWIM)" projesi kapsamında 2012 yılında deniz suyu tuzsuzlaştırma tesisleri yatırım ve üretim maliyetleri tahmini için "*Economic Considerations For Supplying Water*

Through Desalination In South Mediterranean Countries” ismiyle bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, Güney Akdeniz ülkelerindeki politika yapıcılar, karar vericiler ve yatırımcılar tarafından su sektöründe içme suyunun deniz suyundan elde edilmesi yönündeki çalışmalara karar verilmesi için rehber bir araç olması hedeflenmiştir.

Proje kapsamında 4 farklı kapasite değerlerindeki tuzsuzlaştırma tesisleri için yatırım ve üretim maliyetleri Tablo 6.5’de verilmektedir.

Tablo 6.5: 4 farklı kapasitedeki farklı tuz giderme yöntemleri için yatırım ve üretim maliyeti tahmin tablosu

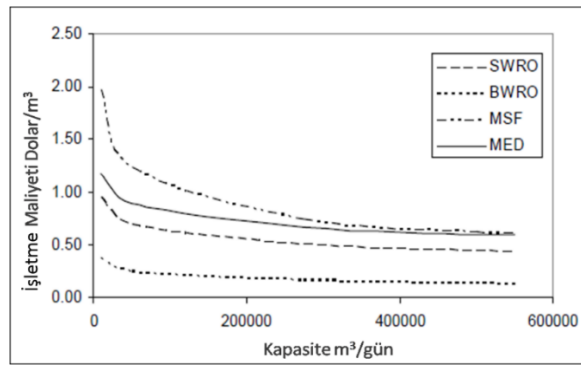
Tuz giderme Yöntemi	Kapasite m³/gün	Yatırım Maliyeti, Milyon \$	Üretim Maliyeti, \$/m³
SWRO	10,000	20.1	0.95
	50,000	74.0	0.70
	275,000	293.0	0.50
	500,000	476.7	0.45
BWRO	10,000	8.1	0.38
	50,000	26.5	0.25
	275,000	93.5	0.16
	500,000	145.4	0.14
MSF	10,000	48.0	1.97
	50,000	149.5	1.23
	275,000	498.1	0.74
	500,000	759.6	0.62
MDF	10,000	28.5	1.17
	50,000	108.4	0.89
	275,000	446.7	0.67
	500,000	734.0	0.60

Tablo 6.5’de rapor edilen verilerin “*Estimating the cost of desalination plants using a cost database(Jurnal of Desalination- Wittholz, 2008)*” isimli bilimsel makaleden alındığı ifade edilmiştir. Wittholz (2008) tarafından elde edilen tablonun oluşturulmasında kullanılan materyal, izlenen yöntem ve sonuçlar detaylı şekilde aşağıda açıklanmıştır.

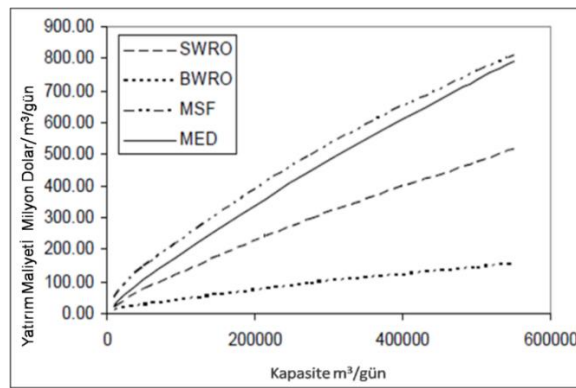
Çalışma kapsamında toplanan veriler; rapor, makale ve araştırma çalışmalarından elde edilmiştir. Elde edilen verilerin içeriğinde; kapasite, tesisi ömrü ve proses detayları, ilk yatırım maliyetleri, amortisman ücretleri, yıllık işletme

giderleri ve üretim maliyetleri mevcuttur. Yatırım maliyetlerinde arazi bedelleri ve inşaa işleri verileride bulunmaktadır. Üretim maliyeti verilerinde ise ön ve son arıtma için kimyasal maliyeti, enerji ihtiyacı, yedek parça ve bakım (membran değişimi dahil), işçilik ücretleri ve amortisman bulunmaktadır. Çalışmada 1970-2008 yılları arasında kurulmuş, kapasitesi 300 m³/gün'den büyük olan 112 SWRO tesisine ait veriler hesaplamalarda kullanılmıştır. Çalışmadaki zaman aralığındaki genişlikten dolayı tüm verilerdeki maliyet değerleri, *Jurnal Chemical Engineering* tarafından yayınlanan kimya mühendisliği ekonomik indikatörlerini parçası olan “Kimya Mühendisliği Tesisi Maliyet İndeksi (CEPCI)” kullanılarak hesap yapılan günün değerlerine getirilmiştir. Verilerdeki para birimleri ABD doları cinsine çevrilmiştir.

Çalışma kapsamında yatırım maliyeti ve birim işletme maliyet değerlendirmesi grafikleri oluşturulmuş olup Şekil 6.8 ve Şekil 6.9'da verilmektedir.



Şekil 6.8: İşletme maliyetine karşı kapasite grafiği



Şekil 6.9: Yatırım maliyetine karşı kapasite grafiği

Yapılan değerlendirmede tuzsuzlaştırılan su maliyetlerinin 0,45-0,95 \$/m³ aralığında olduğu, birim yatırım maliyetlerinin (10.000-500.000 m³/gün kapasite aralığında) 935,4-2000 \$/m³/gün aralığında gerçekteştiği görülmektedir. Önceki

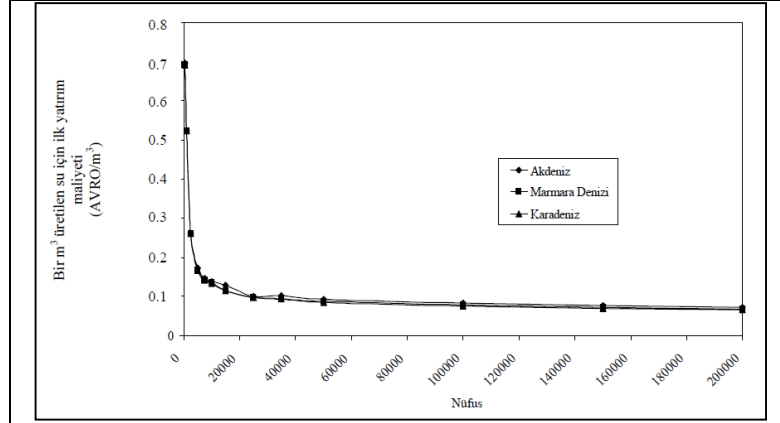
bölümlerde yapılan literatür çalışması ve 2005 yılı sonrasındaki tesisler ile ilgili yapılan çalışmanın sonuçları ile (Şekil 6.7) uyumlu olduğu görülmüştür. Ayrıca birim üretim maliyetlerinin yaklaşık 10.000 m³/gün kapasite değerine kadar hızlı bir şekilde düştüğü ve sonrasında oldukça yavaş bir düşme trendi izlediği görülmüştür. Bu çalışmanın çıktılarına göre 10.000 m³/gün kapasiteden büyük SWRO tesislerinin ekonomik olacağı değerlendirilmiştir. **Türkiye’deki kıyı bölgeleri için SWRO yatırım ve işletme maliyetinin hesabının yapılmasında bu çalışmanın sonuçlarından faydalanılmıştır.**

6.2.Türkiye Denizleri İçin Maliyet Tahmini Üzerine Yapılmış Çalışmalar

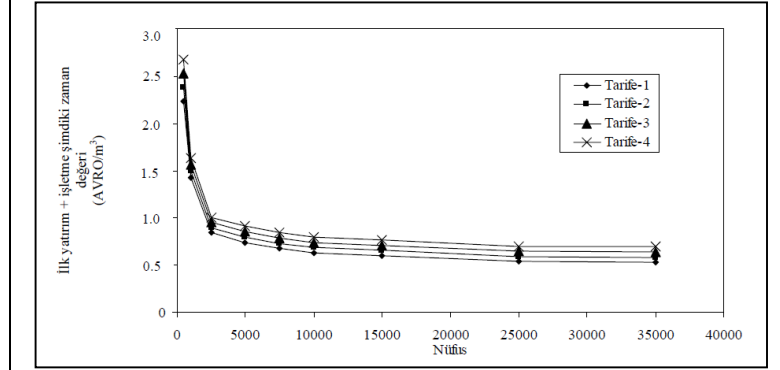
Literatürde yapılan tarama neticesinde SWRO tesisleri için 3 farklı çalışmaya ulaşılmıştır. Bu çalışmalar Akdeniz, Marmara ve Karadeniz için gerçekleştirilmiştir.

Torunoğlu (2010) tarafından yapılan çalışmada Türkiye’de nüfusu 500 ile 2.000.000 arasında değişen 20 farklı büyüklükte yerleşim bölgesinin içme ve kullanma suyu ihtiyacını karşılayacak ve gelecekte yapılması muhtemel membran teknolojisi sistemlerinin optimum maliyete dayalı tasarım esasları ortaya konulmuştur. Çalışmada nehir sularının yanı sıra Akdeniz, Karadeniz ve Marmara Bölgesi için çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmada SWRO tesisi doğrudan su temini, ön arıtma(ultrafiltrasyon), membran prosesi ve son arıtma prosesleri maliyete dâhil edilmiştir. Tesis ömrü 20 yıl ve faiz değeri % 3,5 alınarak amortisman hesaplanmıştır.

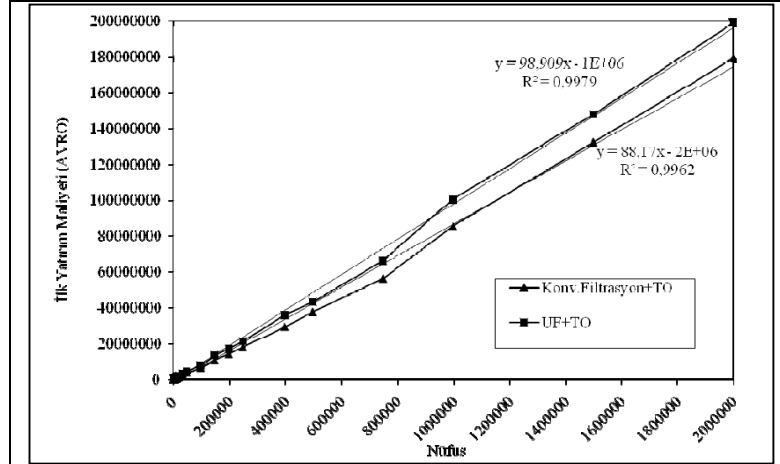
Nüfusu 500-2.000.000 arasında değişen yerleşim bölgeleri için Akdeniz suyuna uygun tasarlanmış membran teknolojisi sistemlerinin doğrudan su alma yöntemiyle ön arıtma ünitesinde konvansiyonel filtrasyon kullanılarak hesaplanmış yatırım ve işletme maliyeti bileşenleri Şekil 6.10’da verilmiştir.



a) Birim m³ başına ilk yatırım maliyeti değeri



b) Akdeniz suyun farklı elektrik tarifelerine göre üretim maliyeti



c) Akdeniz suyu için Nüfus bazında ilk yatırım maliyeti

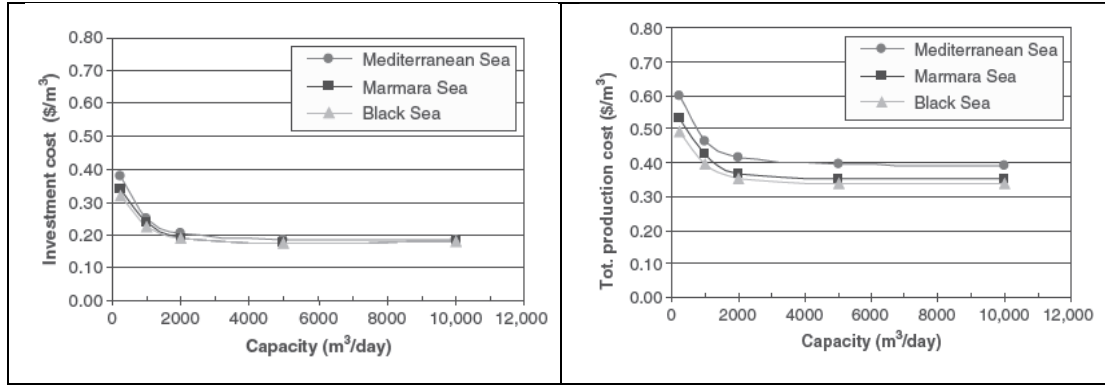
Şekil 6.10: Ekonomik bileşenler (Torunoğlu, 2010)

Çalışmada işletme maliyetleri; 100.000-320.000 m³/gün olan tesisler için 0.65-0.45 \$/m³, 840-48 m³/gün olan tesisler için 3,25-1 \$/m³, 1000-4800 m³/gün olan tesisler için 0,8-0.95 \$/m³, 13.080-70.080 m³/gün olan tesisler için 0.73-0.69 \$/m³ olarak hesaplanmıştır.

Nüfusu 15.000'den büyük yerleşim yerleri için tesis kapasitesi 2.000 m³ ve üzeri olan tesislerin üretim maliyetleri açısından daha ekonomik olduğu

öngörülmüştür. Ön arıtmada konvansiyonelden farklı UF kullanıldığında maliyetin %10-20 arttığı belirlenmiştir. Akdeniz Marmara ve Karadeniz suyu için ilk yatırım maliyetleri çok yakın bulunmuştur. Bu durumun geri kazanım oranları ile aynı olmasından kaynaklandığı ve buna bağlı olarak sadece membran sayılarında değişiklik olacağından maliyeti çok fazla etkilemediği belirtilmiştir.

Akgül (2008) tarafından yapılan çalışmada Akdeniz, Karadeniz ve Marmara Denizi suyunun ters osmoz ile tuz giderme proseslerinde; kapasite, geri kazanım, membran ömrü, enerji, kimyasal maliyetleri ve akının yatırım, işletme ve üretim maliyeti üzerine etkileri değerlendirilmiştir. Çalışmada proses hesaplamalarında SWHR-380 (Filmtech Coop.) membranları kullanılarak ROSA 6.0 programı kullanılmıştır. Akdeniz, Karadeniz ve Marmara Denizi için 250, 1000, 2000, 5000, 10,000 m³/gün kapasiteler için hesaplamalar yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda Şekil 6.11'deki grafikler elde edilmiştir. Tesis ömrü 15 yıl olarak seçilmiştir.

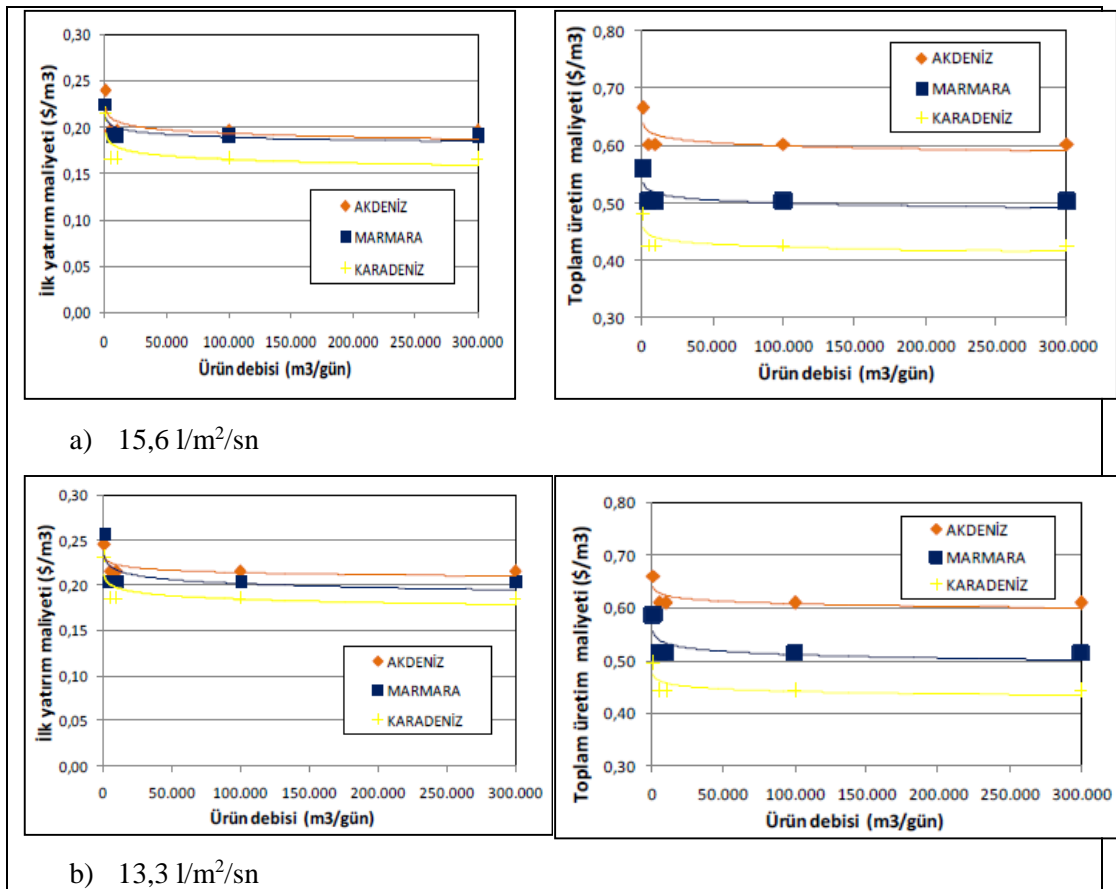


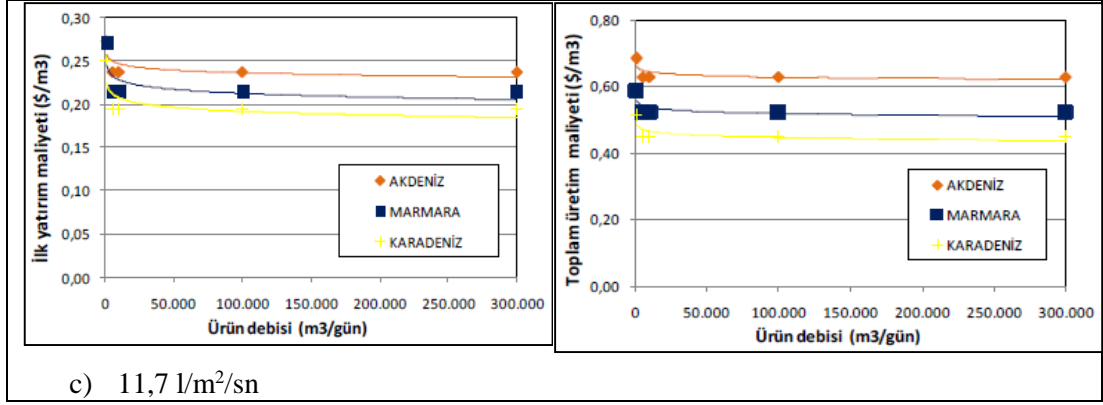
Şekil 6.11: Akdeniz, Karadeniz ve Marmara Denizi suyu için maliyet grafikleri

Çalışmada 2.000 m³/gün kapasiteden sonra üretim ve yatırım maliyet düşüşünün yavaşladığı ve 5.000 m³/gün kapasiteden sonra sabit hale geldiği, Akdeniz'de üretim maliyet aralığı 0,40-0,60 \$/m³, Marmara Denizi'nde 0,55-0,35 \$/m³ ve Karadeniz'de 0,30-0,50 \$/m³ aralığında olduğu, Karadeniz'de üretim maliyeti %17 ve Marmara Denizi'nde üretim maliyeti %10 Akdeniz'dekinden daha az olduğu, denizler arasındaki ilk yatırım maliyetlerinin 2.000 m³/gün kapasiteye kadar aralarındaki fark azalarak kapandığı ve 10.000 m³/gün kapasitede eşitlendiği ve işletme maliyetleri bileşenlerinde amortisman değerinin %52 olduğu belirtilmiştir.

ARI (2009) tarafından yapılan çalışmada Türkiye çevresinde bulunan denizlerin membran sistemlerle arıtılmasının birim su maliyetleri hesaplanıp

karşılaştırılması verilmiştir. Bütün çalışmalar 1.000, 5.000, 10.000, 100.000 ve 300.000 m³/gün kapasitelere göre ayrı ayrı yapılmıştır. Bu çalışmada, sistemlerin tasarımında HYDRANAUTICS marka membranlar kullanıldığı için bu firmanın sağlamış olduğu IMS Design projeksiyon programında yararlanılmıştır. Tesis ömrü 5 yıl kabul edilmiş ve %5 faiz kullanılmıştır. Sisteme SWRO tesisi ile ilgili olarak tüm inşaa ve ekipmanları, ön arıtma, su çekimi maliyetleri göz önünde bulundurularak maliyetlere etkisi yansıtılmıştır. Ancak yer temini arazi düzenlemeleri maliyete dâhil edilmemiştir. Çalışma sonuçlarına ait akı bazındaki maliyet değerlendirmeleri Şekil 6.12'de verilmiştir.





Şekil 6.12: Akı bazında Marmara, Karadeniz ve Akdeniz üretim ve ilk yatırım maliyetleri

Çalışmada sonuçlarına göre ön arıtmada UF kullanılması konvansiyonel arıtma yöntemlerinin kullanılmasına göre % 30 ve Akdeniz'in arıtılmasının işletme maliyeti Karadeniz'e göre % 56 daha pahalı olduğu belirtilmiştir.

Şekil 5.40'daki verilerin ortalamaları alınması neticesinde Karadeniz için üretim maliyetinin Akdeniz'e göre daha % 29 daha az olduğu, Marmara için üretim maliyetinin % 14 daha az olduğu, Karadeniz için ilk yatırım maliyetinin Akdeniz'e göre % 12 daha az olduğu, Marmara için ilk yatırım maliyetinin Akdeniz'e göre % 2 daha az olduğu hesaplanmıştır.

Torunoğlu (2010) ve Akgül (2008) tarafından yapılan çalışmalar sonucunda ilk yatırım maliyetinin çok az değişkenlik göstereceği ve değişmeyeceği öngörülmüştür. Akgül, (2008) tarafından yapılan çalışmada Karadeniz için üretim maliyeti Akdeniz'e göre % 17 daha azdır. Bu değer ARI (2009)'ya ait çalışmanın verilerinin değerlendirilmesi sonucu elde edilen % 29'luk değerden oldukça düşük olduğu görülmüştür. **İşletme ve yatırım maliyetlerinin belirlenmesinde bu çalışmaların çıktılarından faydalanılmıştır.**

6.3. Üretim Maliyetinin Diğer Su Temin ve Arıtma Yöntemleri ile Karşılaştırması

Literatürde konvansiyonel içme suyu üretiminde enerji tüketimi 0,2-0,4 kWh/m³ ve üretim maliyeti yaklaşık 0,07-0,30 \$/m³ ve atıksuların geri kazanımında ise 0,8-1,32 kWh/m³ enerji tüketimi ile maliyet 0,30 \$/m³ olduğu belirtilmektedir (Lattemann, 2010). Türkiye'de ise arıtım maliyetlerin örnek vermek gerekirse İstanbul

Büyükşehir Belediyesi tarafından işletilen konvansiyonel içme suyu arıtım tesislerinde işletme maliyeti 0,16 TL/m³' dir. SWRO tesislerinden elde edilen içme ve kullanma suyu ile karşılaştırılmayacak kadar düşük seviyelerdedir.

Ancak konvansiyonel arıtmadan çıkan suyun dağıtım mesafesi uzadıkça m³ başına düşen birim maliyetin artması durumunda yapılacak bir karşılaştırma makul görülebilir (Lattemann, 2010; Ghaffour, 2013). Konvansiyonel arıtma yöntemleri ile deniz suyundan içme suyu eldesi maliyetleri karşılaştırılabilecek makul seviyelerde değildir.

Yuan Zhou (2005) tarafından yapılan çalışmada; dünya genelindeki bazı projelerin içme suyu temini için su transfer maliyetleri hesaplanmıştır. Bu hesaba göre;


- Nil'den Gazze'ye 200 km ham suyun iletim maliyeti 21,4 cent/m³,
- Denizin altından ham suyun Türkiye'den Kıbrıs'a iletim maliyeti 25-34 cent/m³,
- Colorada Nehri'nden Arizona'ya 550 km uzunluğunda 750 m rakıma iletim maliyeti 74 cent/m³
- Yangtze'den Çin'nin güneyine 1.150 metre uzunluğunda 65 m rakıma iletim maliyeti 38 cent/m³ maliyet ile transferlerin sağlanabileceği hesaplanmıştır.

Bu transferlere arıtma maliyetleri dâhil edilmemiştir. Arıtma maliyetleri dahil edildiğinde deniz suyu maliyetleri eşitlenebilmektedir. Suyun başka havzalardan veya bölgelerden transferi oldukça maliyetli olduğu görülmektedir. Bu değerler SWRO tesislerindeki tuz gidermede elde edilen günümüz maliyetlerine yakındır. Yerleşim yerlerine su temini için uzun mesafeli su transferleri ile sağlanması seçeneği düşünüldüğünde tuz giderme yöntemi de seçenekler arasında değerlendirilmelidir.

6.4. Türkiye'de Yerleşim Yerleri İçme Suyu Membran Tesisleri

Geçmiş yıllarda Türkiye'de ağırlıklı olarak endüstri ve turizm sektörlerinde proses, içme ve kullanma suyu ihtiyacını karşılamak amaçlı kullanılan membran sistemler, günümüzde içme suyu kaynaklarının azalmasıyla il ve ilçelerde su ihtiyacını karşılamak amaçlı kurulan sistemler olmuşlardır. Ülkemizde 2006 yılında bu yana içme suyu amaçlı membran sistemleri kullanılmaya başlanmıştır. İller Bankası

tarafından gerçekleştirilen projeler ile içme suyu tesislerinde membran kullanımı deneyimleri kazanılmıştır. Türkiye’de mevcut içme suyu membran tesisleri Tablo 6.13’de verilmektedir.

Tesis Adı ve Özellikleri	
<p>ANKARA - POLATLI YÜZÜKBAŞI Yeraltısuyu Arıtma Tesisi</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Yer : Ankara Polatlı (Nüfus = ~80,000) ➤ Kapasite : 28.800 m³/gün ➤ Kaynak : Yeraltısuyu ➤ Amaç : Sertlik Gidermek ➤ Geri kazanım : 75 % ➤ Tesis tipi : Nanofiltrasyon 	
<p>SAMSUN – BAFRA Yeraltı suyu arıtma tesisi (UF+RO)</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Yer : Bafra (Nüfus: 120,000) ➤ Kapasite : 39.744 m³/gün ➤ Kaynak : Kızılırmak kıyısında kuyular ➤ Geri kazanım oranı : 80% ➤ Ön arıtma: Havalandırma, çöktürme, filtrasyon, klorlama ➤ İşletme maliyeti : 0.13 TL /m³ (kuyu ve pompa maliyeti hariç) 	
<p>KIRIKKALE Yüzeysel suyu arıtma tesisi (UF+RO)</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Yer : Kırıkkale ➤ Kapasite : 90 000 m³/gün ➤ Kaynak : Kızılırmak ➤ Geri kazanım : 80% ➤ Arıtma : UF + RO ➤ İşletme maliyeti : 0.13 TL/m³ (kuyu ve pompa maliyeti hariç) 	
<p>AVŞA Deniz Suyu Arıtma Tesisi (Sand filter+RO)</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Yer : Avşa ➤ Kapasite : 4000 m³/gün ➤ Kaynak : Marmara Denizi ➤ Geri kazanım : 50% ➤ Arıtma tipi : Sand filter + RO 	

Şekil 6.13: Türkiye'deki içme suyu membran arıtım tesisleri (Koyuncu, 2009)

6.5. Avşa SWRO Tesisi

Yerleşim yerinin ada olması ve içme suyu kaynaklarının olmaması, bir turizm bölgesi olan 2.500 nüfusa sahip adaya yazın gelen turist sayısındaki artış ile nüfusun 30 bine kadar artması mevcut içmesuyu kaynaklarının debisinde azalma olması, su kuyularında ise tuzlanma olmasından dolayı içme-kullanma suyu ihtiyaç açığı ortaya çıkmıştır.

Avşa’da su işletim sistemi bulunmadığından ada halkı tarafından su ihtiyacı kuyulardan elde edilmekteydi. Projenin başlaması ile birlikte adanın tamamında

abonelik çalışmaları başlamış ve 5.000 konut abone edilmiştir. Projeyle birlikte adadaki eski şebeke hattı tamamen değiştirilmiş olup 150 km'lik yeni bir şebeke hattı yapılmıştır. Buna ek olarak 2.500 ve .5000 m³ iki adet su deposu inşa edilmiştir. Hamsu iletim, konsantre deşarj hattı, depolar, elektrik tesisatı, trafo merkezi gibi altyapı elemanları 2043'de ihtiyaç duyulacak olan 10.000 m³/gün'lük projeye göre yapılmıştır.



Şekil 6.14: Avşa SWRO tesisi

Arıtma ünitesi ekipmanları ise 4.000 m³/gün kapasiteli olarak adanın 2033 yılı ihtiyacını karşılayacak şekilde dizayn edilmiştir. Proje 2008 yılında ihale edilmiş ve 2010 yılında tamamlanmıştır. İhale bedeli 4.400.000,00 USD +KDV olarak gerçekleşmiştir. Projenin finansmanına İller Bankası tarafından %75 hibe ve yerel yönetim tarafından % 25 destek sağlanmıştır (Url 15; Oruc 2009).

TESİSİN TANITIMI

Hamsu Alma Yapısı

Hamsu (denizsuyu) kule tipi betonarme bir yapı üstünde yer alan paslanmaz çelikten yapılmış su alma ağzı (ızgara aralığı 20 mm) ile alınarak 465 m uzunluğunda Ø 560 mm PN10 HDPE boru ile karadaki hamsu deposuna iletilmektedir.

Ön çöktürme haznesinden giriş kanalına alınan hamsu, buradan kaba (ızgara açıklığı 10 mm) ve ince (ızgara açıklığı 1 mm) ızgaradan geçirilmektedir (Şekil 6.17). Giriş kanalından ızgara haznesine bağlantı 2 adet kanal kapağı yardımı ile yapılmaktadır. Izgara kanalı içerisinde 2 bölme bulunmaktadır. Her bir bölmede kaba ve ince ızgara montajı arka arkaya yapılmıştır.



Şekil 6.17: Kaba ve İnce Izgara

Izgaralardan geçirilen hamsu filtre edilmektedir ve filtrelenen su sisteme pompalar ile kontrollü bir şekilde beslenmesi için hamsu deposuna alınmaktadır. Bu depoda aynı zamanda, gerektiğinde ön klorlama yapılmaktadır.

Hamsu besleme deposu ($V=220 \text{ m}^3$) betonarmeden yapılmış ve deniz suyunun etkilerine karşı korunması amacıyla korozyon önleyici içeriden ve dışarıdan izolasyon malzemesi ile kaplanmıştır.

Hamsu besleme deposundan alınacak su, hamsu besleme pompaları (111,25 m^3/saat kapasiteli 3 asil+ 1 yedek 904 L paslanmaz çelik malzemeli) ile basınçlı kum filtrelerine iletilmektedir.



Şekil 6.18: Hamsu Besleme Pompaları

Basınçlı kum filtreleri; ham suda bulunan 20 µm ve daha büyük partikülleri ve bulanıklığı gidermektedir. Filtreler zaman ve fark basınca bağlı olarak geri yıkamaktadır. Geri yıkama işlemini otomatik olarak yapılmaktadır. Deniz suyunun korozif özellikte olması sebebiyle filtre malzemesi yüksek mukavemetli korozyona karşı dirençli FRP malzemedен imal edilmiştir. Tesiste 7 adet basınçlı kum filtresi kullanılmıştır.



Şekil 6.19: Basınçlı Kum Filtreleri

Filtre öncesinde gerektiğinde sudaki askıdaki katı madde ve kolloidal maddelerin flokleştirilerek filtrede tutulabilir hale getirilmesi amacı ile koagülant (FeCl_3) dozlaması yapılabilmektedir.

Filtrelenmiş ve kimyasal olarak şartlandırılması yapılmış su, yüksek basınç pompaları ve membranları korumak amacıyla maksimum 5 µm filtrasyon hassasiyetine sahip kartuş filtrelerde tekrar filtre edilmektedir. Tesiste 3 adet kartuş filtre kullanılmıştır.



Şekil 6.20: Kartuş Filtreler

Arıtma tesisinde kimyasal madde olarak; ön klor, FeCl₃, sodyum metabisülfid, sülfürik asit, antiskalant ve son klor kullanılmaktadır (Oruc, 2009).

Ters Osmoz Üniteleri

Kartuş filtrelerden geçirilen su, yüksek basınç pompaları (3 adet, 56 m³/saat kapasiteli 904 L paslanmaz çelik) yardımı ile ters osmoz membranlarına gönderilmektedir. Yüksek basınç ile yüksek iletkenlikteki hamsu membranlardan geçirilip düşük iletkenlikte süzüntü suyu elde edilmektedir.

Ters Osmoz (RO) ünitesinin konsantre hattından çıkan basınçlı suyun sahip olduğu yüksek basıncı sisteme geri kazandırarak enerji tasarrufu sağlamak amacıyla enerji geri kazanım ünitesi (PX) kullanılmıştır.

Tesiste 3 adet RO hattı bulunmaktadır. Her bir hat 1.335 m³/gün kapasitelidir. Her hatta 120 adet membran (8" çap ve 40" uzunluk, polyamid, Hydranautics SWC5), 20 adet membran kılıfı bulunmaktadır. Sistemin akı değeri 12,5 L/m²saat olarak alınmıştır.



Şekil 6.21: Avşa SWRO ters ozmos prosesi

Son Arıtma Ünitesi

Membranlardan geçen süzütü yani ürün suyu dağıtım sisteminde korozyon problemine neden olabileceğinden, ürün suyu remineralizasyon işleminden geçirilmektedir. Remineralizasyon amacıyla içerisinde (dolomit) bulunan filtreler kullanılmıştır. Bu filtrelerden geçen suyun sertlik, alkalinite ve pH değeri yükseltilerek suyun korozif özelliğinden kurtulması sağlanmaktadır (Oruc 2009).

Temiz Su Deposu (Ürün suyu Deposu)

Dolomit filtrelerden geçirilen ve hatlarda oluşabilecek mikrobiyolojik kirliliği önlemek amacıyla son klorlaması yapılan su temizsu deposuna (250 m³) alınmaktadır. Buradan alınan su, terfi pompaları (1 aslı+1yedek) ile şebeke deposuna iletilmektedir (Oruc 2009).

Taşkın, Tahliye ve Konsantre Su Deşarj Hatları

Tesisten çıkan filtre geri yıkama suları, membranlardan gelen konsantre sular ve ünitelerin taşkın-tahliye suları Ø 400mm HDPE PN10 275 m boru ile denize deşarj edilmektedir.

Deniz deşarjında dikkate alınması gereken noktalardan biri deşarj edilen yoğun su tabakasının denizsu akıntıları ile çevresel bir kirliliğe yol açmadan seyrelmeye

uğramasıdır. Bu nedenle boru hattında dört adet 180 mm, 1 adet 225 mm'lik HDPE difüzör boruları ile seyrelme sağlanmıştır.

Avşa adası için etüdü, projesi ve yapımı İller Bankası'nca gerçekleştirilen deniz içi su alma yapısı ve deniz suyundan içme – kullanma suyu elde edilmesine yönelik yapılan en son teknolojik gelişmelere göre düzenlenen ters osmoz arıtma tesisi, ülkemizde bir belediyenin içme-kullanma suyu ihtiyaç açığını karşılamak için planlanan tek tesistir. Tesisin enerji tüketimi **3,01 kwh/m³** (terfi pompaları dahil), işletme maliyeti ise **0,40 \$/m³** olarak planlanmıştır (Oruc 2009).

7. TÜRKİYE’DE DENİZE KIYISI OLAN BÖLGELERDE DENİZ SUYUNDAN İÇME SUYU ELDE EDİLMESİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde, Türkiye’de deniz suyundan içme suyu elde edilmesinin işletme ve yatırım maliyeti ile buna bağlı olarak yerleşim yerlerindeki tahakkuk edilen su bedellerine etkisi değerlendirilmiştir. Bu çalışmada, kıyı bölgelerdeki yerleşim yerlerinin içme suyunu kısmi olarak deniz suyundan karşılanması dikkate alınarak maliyet hesaplamaları yapılmıştır. İlk olarak maliyet hesabı yapılacak kıyı bölgelerindeki yerleşimler belirlenmiştir. Yerleşim yerlerinde ihtiyaç duyulan su miktarının belirli oranlarının SWRO tesisi ile karşılanması şeklinde senaryolar oluşturulmuştur. Oluşturulan senaryolara göre her yerleşim yeri için SWRO tesisinin ilk yatırım ve işletme maliyetleri hesaplanmıştır. Hesaplanan işletme maliyetlerinin Türkiye şartlarında değerlendirilmesi için mevcut tahakkuk edilen su bedelleri üzerine etkisi değerlendirilmiştir.

7.1. Türkiye’nin Denize Kıyısı Olan Bölgeler

Türkiye'nin adalar dâhil sahip olduğu 8.333 km'lik kıyı şeridinin, % 20.34'ü Karadeniz, % 11.20'si Marmara, % 33.66'sı Ege Denizi ve % 20.07'si Akdeniz'de bulunmaktadır. Kıyı kavramı ile ilgili tanımlar 4.4.1990 tarih ve 3621 sayılı Kıyı Kanun’unda;

“Kıyı çizgisi: Deniz, tabii ve suni göl ve akarsularda, taşkın durumları dışında, suyun karaya değdiği noktaların birleşmesinden oluşan çizgiyi,

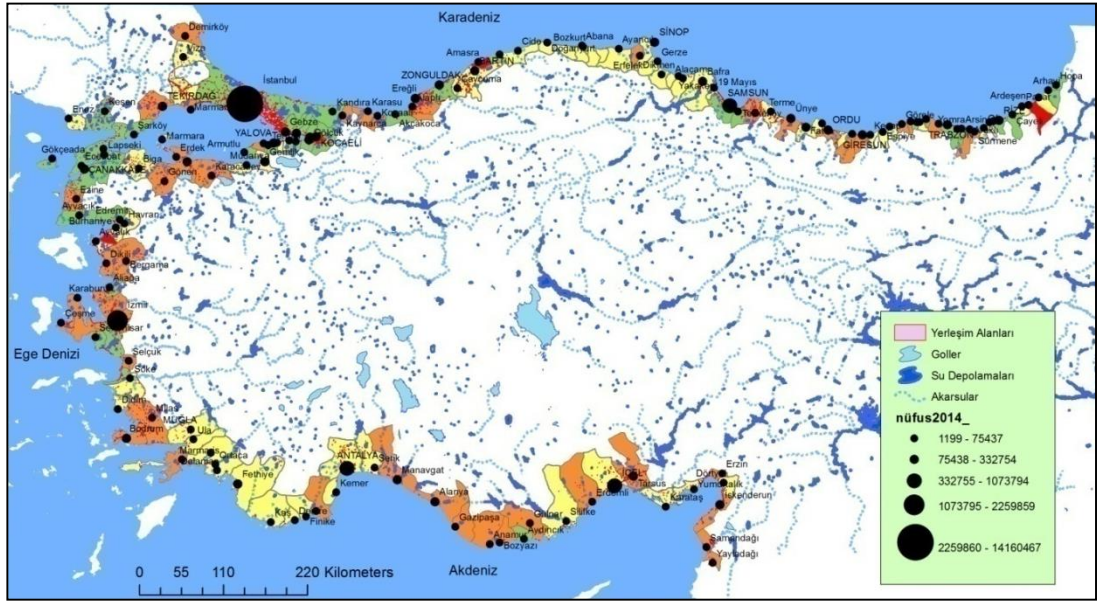
Kıyı Kenar çizgisi: Deniz, tabii ve suni göl ve akarsularda, kıyı çizgisinden sonraki kara yönünde su hareketlerinin oluşturulduğu kumluk, çakıllık, kayalık, taşlık, sazlık, bataklık ve benzeri alanların doğal sınırını,

Kıyı: Kıyı çizgisi ile kıyı kenar çizgisi arasındaki alanı,

Sahil şeridi: Kıyı kenar çizgisinden itibaren kara yönünde yatay olarak enaz 100 metre genişliğindeki alanı,

Dar Kıyı: Kıyı kenar çizgisinin, kıyı çizgisi ile çakışması”

olarak tanımlanmıştır. Bu çalışma kapsamında yukarıda tanımlardan hariç olarak kıyı bölgeleri olarak kıyı çizgisine idari sınırı olan ilçe bazında yerleşim yerleri ile İstanbul’un tüm ilçeleri ve diğer İllerin tüm merkez ilçeleri ele alınmış olup Şekil 7.1’de görülmektedir.

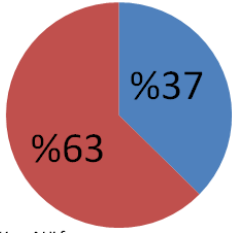
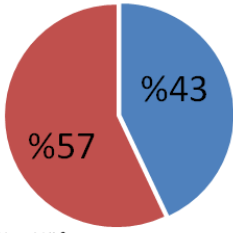
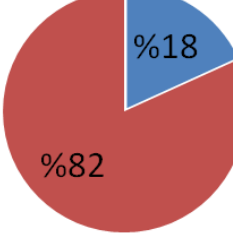


Şekil 7.1: Kıyı çizgisine idari sınırı olan il ve ilçe merkezleri

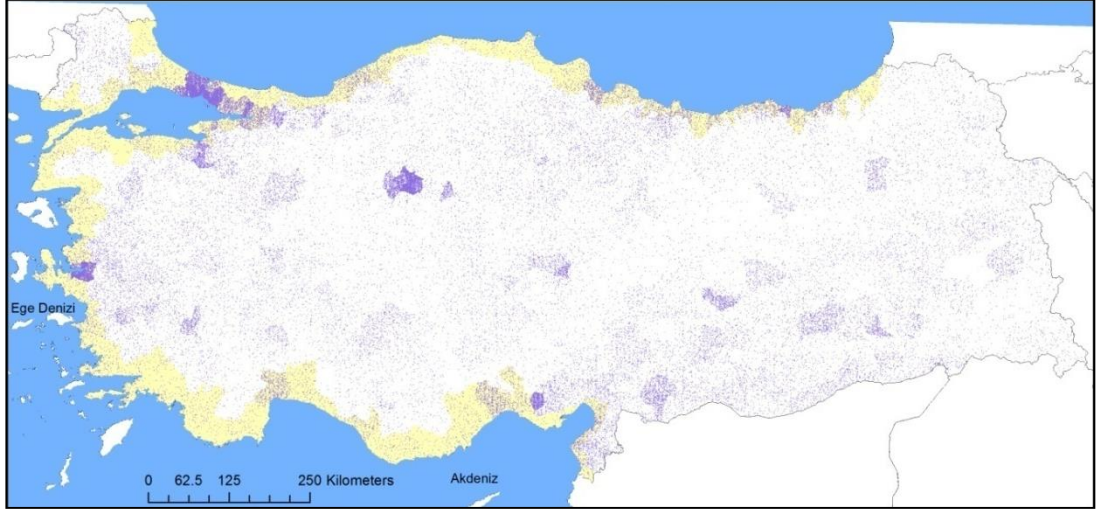
Coğrafi bilgi sistemleri (CBS) analiz sonuçlarına göre kıyı çizgisine 10 büyükşehir il merkezi, 6 il merkezi ve 126 ilçe merkezinin sınırı bulunmaktadır. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından ilgili yerleşim yerlerine ait 2013 yılı nüfus Tablo 7.1’de verilmiştir (Şekil 7.2).

Tablo 7.1: Kıyı çizgisine sınırı bulunan yerleşim yerleri nüfusu

Yerleşim Yeri	İdare Türü	Toplam Nüfus	Şehir Merkezi Nüfusu
İstanbul	Büyükşehir	14,160,467	14,160,467
İzmir	Büyükşehir	2,259,859	2,259,859
Antalya	Büyükşehir	1,211,148	1,073,794
Mersin	Büyükşehir	781,936	736,632
Samsun	Büyükşehir	544,263	510,678
Kocaeli	Büyükşehir	332,754	332,754
Trabzon	Büyükşehir	312,060	243,035
Tekirdağ	Büyükşehir	150,112	150,112
Ordu	Büyükşehir	186,000	147,913
Muğla	Büyükşehir	80,116	70,136
Yalova	İl	121,479	102,874
Sinop	İl	201,311	109,787
Rize	İl	141,524	104,508
Giresun	İl	123,129	100,712
Çanakkale	İl	143,041	116,078
Bartın	İl	143,262	61,289
Diğer Yerleşimler	İlçeler	7,361,188	4,846,837
Kıyı Bölgesi Toplam Nüfusu 2013		28,253,649	25,127,465
Türkiye Toplam Nüfusu 2013		77,627,384	58,448,431

<u>Toplam Nüfus</u>	<u>Şehir Merkezi Nüfusu</u>	<u>Kırsal Bölge Nüfusu</u>
 <p>■ Kıyı Nüfusu ■ İç Bölge Nüfusu</p>	 <p>■ Kıyı Nüfusu ■ İç Bölge Nüfusu</p>	 <p>■ Kıyı Nüfusu ■ İç Bölge Nüfusu</p>

Tablo 7.1’de görüldüğü üzere Türkiye’nin kıyı bölgelerinde nüfus yoğunluğu daha fazladır. Özellikle İstanbul ve İzmir gibi büyükşehirler kıyı bölge nüfusuna önemli katkı sağlamaktadır.

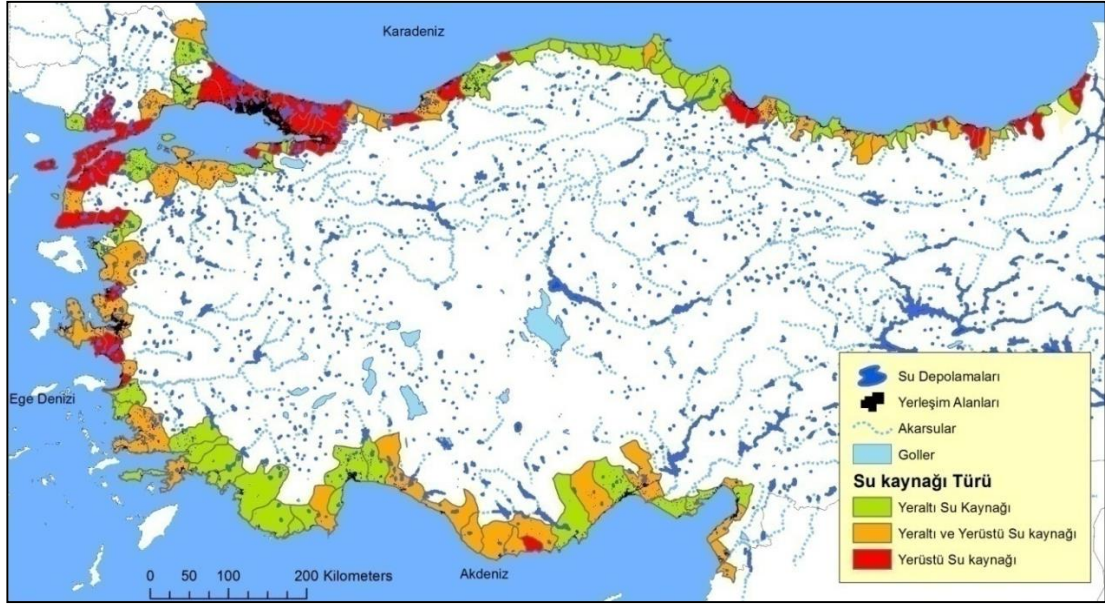


Şekil 7.2: Türkiye nüfus yoğunluğu haritası

İç bölgelerde nüfus kırsala doğru yayılmışken kıyı bölgelerde şehir merkezlerinde yoğunlaşmıştır. Bu durumun sonucu olarak, kıyı bölgelerindeki şehir merkezlerinde su ihtiyacı kırsala göre daha fazladır. Mevcut konvansiyonel su kaynakları gün geçtikçe bazı kıyıya sınırı olan yerleşimlerde yetersiz kalmaktadır ve havzalar arası su transferi ile su ihtiyaçları karşılanmaktadır. Ayrıca sanayi ve turizm tesislerinin önemli bir kısmı kıyıya sınırı olan yerleşimlerde yoğunlaşmıştır. Bu sebeple, kıyıya sınırı olan yerleşimlerin su ihtiyacını gün geçtikçe artırmaktadır.

7.2.Deniz Kıyısı Olan Bölgelerde Su Tüketimi Tahmini

Kıyı bölgelerde su ihtiyacının karşılanması için içme suyu amaçlı yeraltı ve yerüstü su kaynaklarından faydalanılmaktadır. Belediyelerin 2012 yılında vermiş oldukları beyanlar doğrultusunda hazırlanan, yerleşim yerlerinin faydalandığı su kaynakları Şekil 7.3'de görülmektedir.



Şekil 7.3: Kıyı yerleşim yerlerinin faydalandığı su kaynağı türleri

Şekil 7.3'deki veriler Tablo 7.2'de sayısal olarak verilmiştir. Belediyeler tarafından verilen verilerin güvenilirliğinden dolayı miktar açısından bir değerlendirme yapılamamıştır.

Tablo 7.2: Faydalanıldığı su kaynağı bazında kıyı bölgesi yerleşim yerleri sayısı

Faydalanılan Su Kaynağı Türü	Kıyı Bölgesi Yerleşim Yeri Sayısı
Yer altı suyu Kaynağı	58
Yersütü suyu Kaynağı	42
Yerüstü ve Yeraltı Su Kaynağı	57

Yersütü su kullanımı Marmara Bölgesi'nde ağırlıklı, Ege Bölgesi'nde aynı oranda, Akdeniz ve Karadeniz Bölgesi'nde yer altı suyundan daha fazla faydalanılmaktadır. Kıyı bölgelerdeki nüfus yoğunluğundan dolayı, iklim değişikliği ve kuraklık etkisinin kıyı bölgelerde daha fazla hissedileceği düşünülmektedir.

Bu çalışma kapsamında belirlenen kıyı bölgeleri için tahakkuk edilen su miktarı bilinmediğinden mevcut su ihtiyacı olan kentsel brüt su tüketim tahmini yapılmıştır. Tahmin yapılırken OSİB tarafından yayınlanan "Su Arıtma Tesislerinin İşletme ve Tasarım Esasları Rehberi" nde bulunan tablolar kullanılmıştır.

Kentsel brüt su ihtiyacı tahmini için evsel su ihtiyacının bilinmesi gereklidir. Evsel su ihtiyacı belirlenen nüfus sayıları ile Tablo 7.3'deki kişi başına su ihtiyacının çarpılmasıyla elde edilmiştir.

Tablo 7.3: Kent nüfusuna bağlı evsel su ihtiyacı

Kentin Nüfusu(N) Kişi	Evsel Su İhtiyacı (q_{evsel}) (L/kişi/gün)
≤ 10.000	70
$50.000 < N \leq 100.000$	80
$50.000 < N \leq 100.000$	100
$N > 100.000$	120

Ticaret, endüstri ve hizmet sektörü su ihtiyacı için brüt kişi başı tüketiminin % 10-35'inin ticaret, endüstri ve hizmet su ihtiyacı olduğu kabul edilmiştir. Kayıp-kaçak ise tüm yerleşim yerlerinde %20 kabul edilmiştir. Birim su tüketim miktarı denklem 7.1'e göre hesap edilmiştir.

$$q_{bürüt} = q_{evsel} \times q_{(endüstri,ticaret,hizmet)} (\%10 - 35) \times q_{kayıp-kaçak} (\%20) \quad (7.1)$$

Denklem 7.1'in sonucuna göre kıyı bölgelerindeki yerleşim yeri merkezinde yaşayan nüfus için mevcut durumu temsil eden su tüketimi hesaplanmıştır. Hesaplanan bazı büyük yerleşim yerleri ($N > 100.000$) değerleri ve kıyı bölgelerindeki tüm yerleşim yerleri için toplam nüfus Tablo 7.4'de verilmiştir.

Tablo 7.4: Kıyı bölgelerdeki bazı yerleşim yeri merkezleri için tahmini 2013 brüt su tüketimi hesabı

Yerleşim Yeri	Nüfus 2013 (N)	q_{evsel} (m ³ /gün)	$q_{evsel} * N$ (m ³ /kişi* gün)	$q_{kayıp,kaçak}$	$q_{end.tic.}$	$Q_{brüt}$ (m ³ /gün)	$Q_{brüt}$ (m ³ /yıl)
İstanbul	14160467	0,12	0,19	1,2	1,35	2.752.795	1.004.770.096
İzmir	2259859	0,12	0,19	1,2	1,35	439.317	160.350.555
Antalya	1073794	0,12	0,18	1,2	1,25	193.283	70.548.266
Mersin	736632	0,12	0,18	1,2	1,25	132.594	48.396.722
Samsun	510678	0,12	0,18	1,2	1,25	91.922	33.551.545
Kocaeli	332754	0,12	0,19	1,2	1,35	64.687	23.610.893
Gebze	329195	0,12	0,19	1,2	1,35	63.996	23.358.360
Tarsus	245671	0,12	0,17	1,2	1,2	42.452	15.494.961
Trabzon	243035	0,12	0,17	1,2	1,2	41.996	15.328.704
Sinop	201311	0,12	0,17	1,2	1,2	34.787	12.697.087
İskenderun	184833	0,12	0,18	1,2	1,25	33.270	12.143.528
Ordu	186000	0,12	0,17	1,2	1,2	32.141	11.731.392
Tekirdağ	150112	0,12	0,18	1,2	1,25	27.020	9.862.358
Gölcük	145805	0,12	0,17	1,2	1,2	25.195	9.196.213
Körfez-Hereke	142884	0,12	0,17	1,2	1,2	24.690	9.011.980
Bodrum	135253	0,12	0,17	1,2	1,2	23.372	8.530.677
Fethiye	133747	0,12	0,17	1,2	1,2	23.111	8.435.691
Derince	130657	0,12	0,17	1,2	1,2	22.578	8.240.798
Bandırma	122010	0,12	0,17	1,2	1,2	21.083	7.695.415
Çanakkale	116078	0,12	0,17	1,2	1,2	20.058	7.321.272
Toplam	25.127.465	-	-	-	-	4.613.527	1.683.937.205*

* Tabloda verilmeyen diğer kıyı yerleşim yerlerine ait brüt tüketim değerleri de hesaba dâhil edilmiştir.

Tahmin hesabında kullanılan değerler dikkate alındığında kıyı bölgelerinde yaşayan yaklaşık 25.127.465 kişi için toplam 1.683.937.205 m³/yıl su ihtiyacı hesaplanmıştır. Ülkenin yıllık içme suyu tüketimi 7 milyar m³/yıl olduğu düşünüldüğünde % 22'sine denk gelmektedir. Ancak kıyı bölgedeki nüfus, sanayi, ticaret ve turizm sektöründeki yoğunluk düşünüldüğünde daha yüksek olması beklenmektedir. Ancak bu çalışmadaki verilerin elde edilmesinde tahakkuk verilerine dayanmaması, ülkemizin su kayıp-kaçak ortalaması %43 seviyelerinde olduğu dikkate alındığında tahmin hesabında kullanılan %20'lik kayıp kaçak değerleri düşük seviyede

kaldığından ve kırsal nüfus değerleri hesaba katılmamasından dolayı yıllık brüt tüketim değerleri tüm kıyı bölgelerinde yaşayan nüfus için düşük olduğu düşünülmektedir.

Kayıp-kaçak seviyelerinin en düşük seviyelere getirilmesi zorunludur. Konvansiyonel içme suyu temin yöntemlerine göre daha maliyetli olan SWRO sistemlerinin en düşük kayıp-kaçak seviyelerindeki altyapılarda kullanılması ekonomiktir. İstanbul gibi içme suyu konusunda yaptığı alt yapı yatırımları ile örnek olan kentimizde kayıp kaçak oranı % 24 olduğu dikkate alındığında, ülkemiz gerçekleri çerçevesinde ele alınacak olan bu çalışmada yerleşim yerlerinin kayıp-kaçak seviyelerini %20 lik bir değere indirmeleri varsayılarak hesaplamalar yapılmıştır.

7.3.Denize Kıyısı Olan Bölgeler İçin SWRO Tesisi Uygulaması Senaryosu

Tatlı su kaynağı olan bir yerleşim yerinin, içme ve kullanma su ihtiyacının tümünün deniz suyundan karşılanması, enerji vb. kaynakların çok fazla kullanılmasına sebep olmaktadır. Bu durumda, Türkiye gibi su stresi altında olan ülkelerde, mevcut su kaynakları ile deniz suyundan elde edilen tatlı suyun paçallanarak kullanılmasını daha uygun bir alternatiftir. Böylelikle hem maddi ve hemde doğal kaynakların daha sürdürülebilir kullanılmasına katkı sağlanmaktadır. Bu yaklaşım çerçevesinde kıyı bölgelerinde, kapasite temelinde SWRO tesisleri kullanım alternatifleri üzerine senaryolar geliştirilmiştir. Bu senaryolar ile SWRO uygulamasına yönelik olarak bir değerlendirme yapılması amaçlanmıştır. Oluşturulan senaryolar aşağıdaki faktörler ve varsayımlar çerçevesinde oluşturulmuştur;

- Yerleşim yerlerinin kırsal nüfusu hesaba katılmamıştır
- İstanbul'a ait yerleşim yerlerinde içme suyu sistemi kolektif işletildiğinden dolayı kırsal nüfus değerleri de kullanılmıştır.
- İzmir'e ait merkez ilçelerin kırsal nüfusları hesaba katılmıştır.
- Turistik ve yazlık yerleşim yerleri için yaz nüfusları hesaba katılmamıştır.
- Yerleşim yerlerinin mevcut içme suyu kaynaklarının durumu ve gelecek için planlanan su temini master planları veya projelendirmeleri senaryolara dâhil edilmemiştir.

- İklim değişikliği ve kuraklığın su potansiyeli üzerine etkileri senaryolara dâhil edilmemiştir.
- İklim değişikliği uyum stratejileri altında farklı su temin alternatifleri senaryolara dâhil edilmemiştir.

Oluşturulan senaryolar gelecekteki muhtemel ihtiyaçlar temelinde oluşturulmuştur. Tablo 7.5 de senaryolar verilmektedir.

Tablo 7.5: Gelecek su ihtiyacı senaryoları

Senaryolar	1	2	3	4	5
Gelecek Su İhtiyacı (q_{swro}) Oranı	% 10	% 20	% 30	% 40	% 50

Senaryolarda kıyıya sınırı olan yerleşim yeri su ihtiyaçlarının % 10, % 20, % 30, % 40 ve % 50'sinin SWRO tesisleri ile karşılanması durumunda ilk yatırım ve işletme maliyetleri hesaplanmıştır. SWRO tesislerinde üretilen sular tatlı sular ile karıştırılacağından (paçallanacağından) SWRO son arıtma maliyetinin azalması beklenmektedir. SWRO tesisinden üretilen suyun tatlı su ile paçallaması durumu dikkate alınarak işletme maliyeti ile gerekli enerji miktarı hesaplanmıştır. Paçallama yaklaşımında;

- Şehir şebekesine verilemeden önce paçallama yapılacak mevcut suyun arıtma tesisinde arıtılarak dopolamaya gönderildiği varsayılmıştır.

- Konvansiyonel içme suyu arıtma tesisinde ve SWRO tesisinde üretilen sular birbirine karıştırılarak insani tüketim için uygun su kalitesi sağlanacak ve şebekeye verilecektir.

Söz konusu senaryolar ile amaç; yerleşim yerinin mevcut su potansiyelini koruyarak gelecekte ihtiyaç duyabileceği miktarlardaki içme suyunu denizden karşılaması seçeneği ile tahmini yatırım ve işletme maliyeti ile su bedeli değerlendirmesidir.

7.4.Tahmini İşletme ve Yatırım Maliyeti Hesaplaması

Senaryolar oluşturulurken uygulanacak maliyet analizi tahmini aşağıdaki hususlar çerçevesinde hesaplanmıştır;

- Üretim ve yatırım maliyeti hesabı yapılırken, Avrupa Birliği tarafından finanse edilen “Sürdürülebilir Entegre Su Yönetimi (SWIM)” projesi kapsamında 2012 yılında tuz giderme tesisleri yatırım ve üretim maliyetleri tahmini için “*Economic Considerations For Supplying Water Through Desalination In South Mediterranean Countries*” ismiyle yayınlanan çalışmaya ait Akdeniz için tahmini maliyet tablosundan faydalanılmıştır (Tablo 6.5).
- Literatür çalışmalarında kapasitesi 10.000 m³/gün’den büyük SWRO tesislerinin yatırım ve üretim maliyetlerindeki azalma trendinin yavaşladığı görülmüştür. Bu sebeple, SWRO tesislerinin en az 10.000 m³/gün ve daha büyük kapasiteli ihtiyaçlar için kurulacağı kabul edilmiştir. Yerleşim yeri su ihtiyacının % 10, % 20, % 30, % 40 ve % 50’sinin karşılanması için hesaplanan debi 10.000 m³/gün’den küçük ise SWRO için maliyet hesabı yapılmamış ve yalnız 10.000 m³/gün’den büyük debiler için maliyetler hesaplanmıştır. Senaryolara göre su ihtiyacı debileri hesaplanmış ve Tablo 7.6’da verilmiştir.

Tablo 7.6: Senaryolara göre gelecekte ihtiyaç duyulan su miktarları

Yerleşim Yeri	Ham Su Kaynağı	2013 Nüfus	Tüketilen Su Miktarı (Q _{brüt}) (m ³ /gün)	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3	Senaryo 4	Senaryo 5
				%10 gelecek su ihtiyaç (m ³ /gün)	%20 gelecek su ihtiyaç (m ³ /gün)	%30 gelecek su ihtiyaç (m ³ /gün)	%40 gelecek su ihtiyaç (m ³ /gün)	%50 gelecek su ihtiyaç (m ³ /gün)
İstanbul	Karadeniz	14,160,467	2,752,795	275,279	550,559	825,838	1,101,118	1,376,397
Mersin	Akdeniz	736,632	132,594	13,259	26,519	39,778	53,038	66,297
Antalya	Akdeniz	1,073,794	193,283	19,328	38,657	57,985	77,313	96,641
İzmir	Ege	2,259,859	439,317	43,932	87,863	131,795	175,727	219,658
Samsun	Karadeniz	510,678	91,922	-	18,384	27,577	36,769	45,961
Kocaeli	Marmara	332,754	64,687	-	12,937	19,406	25,875	32,344
Gebze	Marmara	329,195	63,996	-	12,799	19,199	25,598	31,998
Trabzon	Karadeniz	243,035	41,996	-	-	12,599	16,799	20,998
Sinop	Karadeniz	201,311	34,787	-	-	10,436	13,915	17,393
Tarsus	Akdeniz	245,671	42,452	-	-	12,736	16,981	21,226
Tekirdağ	Marmara	150,112	27,02	-	-	-	10,808	13,51
Gölcük	Marmara	145,805	25,195	-	-	-	10,078	12,598
İskenderun	Akdeniz	184,833	33,27	-	-	-	13,308	16,635
Ordu	Karadeniz	186	32,141	-	-	-	12,856	16,07
Bodrum	Ege	135,253	23,372	-	-	-	-	11,686
Çanakkale	Marmara	116,078	20,058	-	-	-	-	10,029
Derince	Marmara	130,657	22,578	-	-	-	-	11,289
Hereke-körfez	Marmara	142,884	24,69	-	-	-	-	12,345
Fethiye	Ege	133,747	23,111	-	-	-	-	11,556
Bandırma	Marmara	122,01	21,083	-	-	-	-	10,542

- Tablo 7.6’da belirlenen gelecek su ihtiyacına göre SWRO tesis kapasitesi belirlenmiş ve tahmini işletme ve yatırım maliyeti hesabı yapılmıştır.
- Tablo 6.5’deki verilerin arasında kalan üretim ve yatırım maliyeti değerleri regrasyon yöntemi ile hesaplanmıştır.
- Tablo 6.5’de verilen değerler Akdeniz suyu için tahmini maliyet hesabıdır.
- Karadeniz kıyısına kurulacak SWRO tesisi tahmini maliyet hesabı için literatürdeki Türkiye denizleri için yapılmış çalışmalar çerçevesinde tahmini yatırım maliyeti, Akdeniz maliyetinden %10 daha az ve işletme maliyeti Akdeniz maliyetinden %20 daha az olacağı kabul ile hesaplanmıştır.

- Marmara Denizi kıyısına kurulacak SWRO tesisi tahmini maliyet hesabı için literatürdeki Türkiye denizleri için yapılmış çalışmalar çerçevesinde; tahmini yatırım maliyeti Akdeniz maliyetinden %5 daha az ve işletme maliyeti Akdeniz maliyetinden %10 daha az olacağı kabul ile hesaplanmıştır. .
- Tablo 6.5'deki maliyetler yalnızca SWRO tesisinde su üretimini kapsamaktadır. Suyun üretimden sonra dağıtım ve depolanması için yapılacak yatırımlar ile ilgili olarak yatırım maliyetine %10 eklenerek nihai tahmini yatırım maliyeti elde edilmiştir. Bu rakam global ölçekteki SWRO projelerindeki iletim maliyetlerinde karşılaşılan değerlerin ortalaması olarak alınmıştır. Bu rakamdan gelen amortisman bedeli, 5 yıl için %7'lik faiz oranına göre hesaplanmış olup üretim maliyetine yansıtılmıştır.
- Tesisler kuruldukları andan itibaren tam kapasite olarak çalıştıkları öngörülerek yatırım ve işletme maliyet hesabı yapılmıştır.
- Tesis ömrü 20 yıl olarak varsayılmıştır.
- Deniz kıyısından temin yöntemi kullanıldığı kabul edilmiştir.

Yukarıda bahsedilen hususlar çerçevesinde tahmini yatırım maliyeti hesaplamaları denklem 7.2'e göre yapılmıştır.

$$Ym = a_1 \times b_1 \times c_1 \quad (7.2)$$

Ym: Tahmini SWRO tesisi yatırım maliyeti

a₁: q_{swro}(% Gelecek Su İhtiyacı Oranı* Mevcut Tüketilen Su (qbrüt)) değeri ile Tablo 4.14' ten elde edilen yatırım maliyeti.

b₁: SWRO tesisinden sonra suyun iletimi ve depolanması için altyapı yatırımı maliyeti katsayısı (Literatürdeki global ölçekte rapor edilen tesislerde iletim ve depolanma maliyeti, ortalama maliyetin %10'u kadardır; katsayı olarak 1,1 alınmıştır)

c₁: Türkiye denizlerine göre değişen maliyet katsayısı (Karadeniz: 0,9; Marmara: 0,95; Akdeniz: 1)

Yukarıda bahsedilen hususlar çerçevesinde tahmini üretim maliyeti hesaplamaları denklem 7.3'e göre yapılmıştır.

$$Um = a_2 \times c_2 + b_2 \quad (7.3)$$

Um: Tahmini SWRO tesisi işletme maliyeti

a2: Tablo 6.5’de “a1” değerine karşılık gelen işletme maliyetinin regrasyon ile bulunması

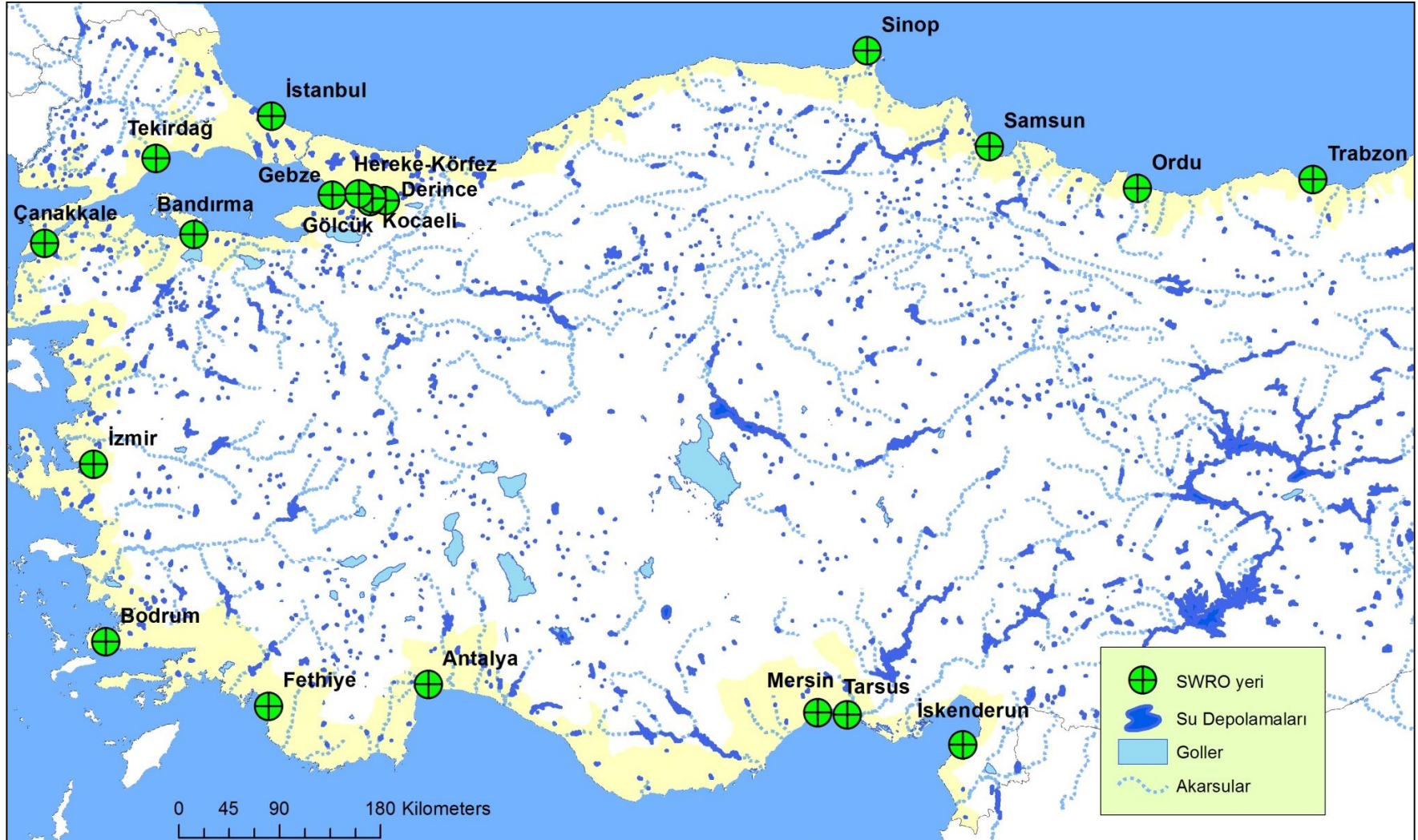
b2: SWRO tesisinden sonra suyun iletimi ve depolanması için yatırım maliyetine ait amortisman değeri (5 yıl için % 7 faiz oranı)

c2: Türkiye denizleri için işletme maliyeti katsayısı (Karadeniz: 0,8; Marmara: 0,9; Akdeniz: 1)

Denklem 7.2 ve 7.3 kullanılarak SWRO tesisi kurulabilecek yerleşim yerleri, gerekli SWRO tesisi kapasitesi, tahmini yatırım maliyeti ve tahmini işletme maliyeti belirlenmiştir. Elde edilen veriler Tablo 7.7’de görülmektedir.

Tablo 7.7: İhtiyaç Duyulan SWRO tesisi kapasitesi, tahmini yatırım ve işletme maliyeti

Yerleşim Yeri	Ham Su Kaynağı	2013 Nüfus	Tüketilen Su Miktarı (q _{brüt}) (m ³ /gün)	Senaryo 1			Senaryo 2			Senaryo 3			Senaryo 4			Senaryo 5		
				%10 gelecek su ihtiyacı			%20 gelecek su ihtiyacı			%30 gelecek su ihtiyacı			%40 gelecek su ihtiyacı			%50 gelecek su ihtiyacı		
				SWRO Tesisi (q _{swro}) (m ³ /gün)	Tahmini Yatırım Maliyeti Mil.\$	Tahmini İşletme Maliyeti \$/m ³	SWRO Tesisi (q _{swro}) (m ³ /gün)	Tahmini Yatırım Maliyeti Mil.\$	Tahmini İşletme Maliyeti \$/m ³	SWRO Tesisi (q _{swro}) (m ³ /gün)	Tahmini Yatırım Maliyeti Mil.\$	Tahmini İşletme Maliyeti \$/m ³	SWRO Tesisi (q _{swro}) (m ³ /gün)	Tahmini Yatırım Maliyeti Mil.\$	Tahmini İşletme Maliyeti \$/m ³	SWRO Tesisi (q _{swro}) (m ³ /gün)	Tahmini Yatırım Maliyeti Mil.\$	Tahmini İşletme Maliyeti \$/m ³
İstanbul	Karadeniz	14,160,467	2,752,795	275,000	289	0,40	550,000	509	0,35	825,000	704	0,35	1,100,000	887	0,35	1,375,000	1060,4	0,35
İzmir	Ege	2,259,859	439,317	44,000	80	0,71	88,000	128	0,65	132,000	177	0,60	175,000	222	0,57	220,000	266,2	0,53
Antalya	Akdeniz	1,073,794	193,283	19,000	37	0,81	39,000	69	0,73	58,000	91	0,68	77,000	116	0,66	97,000	138,6	0,64
Mersin	Akdeniz	736,632	132,594	14,000	31	0,91	27,000	48	0,76	40,000	67	0,72	53,000	86	0,69	66,000	101,2	0,63
Samsun	Karadeniz	510,678	91,922	-	-	-	19,000	34	0,66	28,000	45	0,61	37,000	57	0,58	46,000	67,1	0,57
Kocaeli	Marmara	332,754	64,687	-	-	-	13,000	26	0,84	20,000	34	0,74	26,000	45	0,70	32,000	52,8	0,66
Gebze	Marmara	329,195	63,996	-	-	-	13,000	26	0,84	20,000	34	0,74	26,000	45	0,70	32,000	52,8	0,66
Tarsus	Akdeniz	245,671	42,452	-	-	-	-	-	-	13,000	28	0,92	17,000	34	0,85	21,000	39,6	0,80
Trabzon	Karadeniz	243,035	41,996	-	-	-	-	-	-	13,000	24	0,74	17,000	31	0,69	21,000	36,3	0,64
Sinop	Karadeniz	201,311	34,787	-	-	-	-	-	-	10,000	20	0,76	14,000	26	0,74	17,000	36,3	0,68
İskenderun	Akdeniz	184,833	33,27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13,000	28	0,92	17,000	34,1	0,85
Ordu	Karadeniz	186,000	32,141	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13,000	26	0,74	16,000	28,6	0,70
Tekirdağ	Marmara	150,112	27,02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11,000	23	0,85	14,000	27,5	0,81
Gölcük	Marmara	145,805	25,195	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10,000	21	0,86	14,000	27,5	0,81
Fethiye	Akdeniz	133,747	23,111	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12,000	27,5	0,93
Bodrum	Ege	135,253	23,372	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12,000	25,5	0,93
Hereke-körfez	Marmara	142,884	24,69	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12,000	25,3	0,84
Bandırma	Marmara	122,000	21,083	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11,000	24,2	0,89
Derince	Marmara	130,657	22,578	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11,000	24,2	0,87
Çanakkale	Marmara	116,078	20,058	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10,000	23,0	0,86



Şekil 7.4: SWRO Tesisi Yerleri

7.5. SWRO Tesisinden Elde Edilen İçme Suyunun Mevcut Su Bedelleri Üzerine Maliyet Etkisinin Değerlendirilmesi

Ülkemizde suyun içme ve kullanma maksatlı olarak kullanımında, su bedelleri ve atıksu bedelleri ayrı bir maliyet bileşeni olarak değerlendirilmektedir. Su hizmeti sağlayan belediyelerce veya yetkili idarelerce su fiyatlandırılması konusunda bir yeknesaklık bulunmamaktadır. Bu durum ulusal ölçekte suyun fiyatlandırması yaklaşımının bulunmamasından kaynaklanmaktadır.

Su ve atıksu bedellerini içeren fiyatlandırma tamamıyla yöreye özgü olarak suyun temin yöntemi ve arıtma yöntemleri dâhilinde değişmektedir. Türkiye’de suyun fiyatlandırılması personel giderleri, işletme maliyetleri, yönetim, amortisman bedelleri, çeşitli masraflar, karlılık oranı, bakım ve yedek parça, su kayıp kaçaklarından kaynaklı maliyet ve ilerde yapılacak yatırımlar için ayrılacak bütçe kalemlerini içermektedir. Türkiye’deki su idarelerinin tarifler yönetmelikleri incelendiğinde suyun fiyatlandırılması konusundaki maliyet bileşenleri farklı kalemler altında tanımlanmaktadır. Bu durum politik nedenlerden, belediyelerin gelecekteki yatırımları için ihtiyaç duyulan finansmandan, amortismanlar için farklı faiz oranlarından, farklı kar oranlarından, uygulanan arıtma teknolojilerindeki farklılıktan ve su temini ile su iletim maliyetlerindeki farklılıklardan kaynaklanmaktadır.

Bu çalışmada, deniz suyundan içme suyu üretilmesinin belediyeler tarafından uygulanan su tarife bedelleri üzerindeki etkisinin ortaya konması amaçlanmıştır. Bu yaklaşımda atıksu bedelleri dâhil edilmemiştir. Yalnızca belediyeler tarafından şebekeye iletilen suyun bedeli olan “Su Bedeli” üzerinden değerlendirme yapılmıştır. Yapılacak bu değerlendirme deniz suyundan üretilen içme ve kullanma suyunun arıtma ve iletim maliyetleri üzerindeki değişimi üzerinedir. Senaryolar neticesinde tuzsuzlaştırılmış tatlı su ile tatlı su kaynaklarından temin edilen suların konvansiyonel yöntemlerle arıtması sonucu üretilen sular paçallanacaktır. Paçallanmış suyun tüketicilerin musluğundan akması için m³ bazında iletim dâhil nihai su bedeli hesaplanması aşağıdaki kabuller ve bilgiler çerçevesinde yapılmıştır;

- Belediyelerin internet sistemlerinden veya meclis kararlarından güncel su bedelleri elde edilmiş olup Tablo 7.8’de görülmektedir. Bu çalışmada su

tüketimi 10 m³/ay'dan daha az olan konutlar için uygulanan su bedeli ile hesap yapılmıştır.

Tablo 7.8: Kasım 2014 tarihi itibariyle Belediyelere ait güncel su bedeli(≤10 m³/ay tüketim)

Yerleşim Yeri	Güncel Belediye Su Bedeli t/m ³
İstanbul	2.75
Mersin	2.73
Samsun	2.31
Trabzon	2.28
Antalya	2.18
Tekirdağ	2.00
Bodrum	2.00
Sinop	2.00
Çanakkale	1.95
Fethiye	1.90*
Bandırma	1.90*
Derince	1.62
Hereke-körfez	1.62
Gölcük	1.62
Kocaeli	1.62
Gebze	1.62
Ordu	1.55
Tarsus	1.50
İzmir	1.35
İskenderun	1.00

*Su bedeli verisi elde edilemediğinden, diğer su bedellerinin ortalama değeri alınmıştır.

- Şebekedeki % 20 kayıp-kaçak oranı SWRO tesisinden üretilen su maliyetine eklenmiştir.
- SWRO tesisinden üretilen su miktarına % 10 Belediye kârı eklenmiştir.
- SWRO tesisinden elde edilen suyun şebekeye ulaştırılması için işletme maliyetine %10 etki edeceği kabul edilerek eklenmiştir (Bazı belediyeler ile yapılan görüşme neticesinde elde edilen veridir).
- Şebekeye verilen suyun konvansiyonel içme suyu arıtma tesisinde deki arıtma maliyeti 0,15 TL/m³ olarak kabul edilmiştir (“6.4 İşletme Maliyetinin Diğer Su Temin ve Arıtma Yöntemleri ile Karşılaştırılması” bölümünde verilen değerler ışığında)

- Toplam su bedelinden, konvansiyonel içme suyu arıtma maliyeti ve şebekeye iletim maliyeti toplamının farkından elde edilen değer belediye sabit geliri olarak kabul edilmiştir.

Yukarıda bahsedilen kabuller ve veriler çerçevesinde tahmini su bedelinin hesaplanması için aşağıda tanımlanan notasyonlar ile denklem 7.4 bu çalışma kapsamında oluşturulmuştur.

$$\text{Nihai Su Bedeli (TL/m}^3\text{)} = (U_m * f * q_{\text{kay. - kaç. m}} * P_m * T_{\text{swro m}}) * f_{\text{swro}} + (U_{\text{kon m}} + T_{\text{kon m}}) * f_{\text{kon}} + S_g \quad (7.4)$$

q_{bürüt}: Mevcut tüketilen su miktarı (m³/gün)

q_{swro}: Tablo 7.6' dan; SWRO tesisi tarafından üretilecek, gelecekte ihtiyaç duyulan su miktarı (m³/gün),

$$q_{\text{swro}} = q_{\text{bürüt}} * \%10 \sim 50$$

f_{swro}: SWRO tesisinden elde edilen suyun paçallama oranı

$$f_{\text{swro}} = q_{\text{swro}} / (q_{\text{bürüt}} + q_{\text{swro}})$$

f_{kon}: Konvansiyonel arıtma tesisinden elde edilen suyun paçallama oranı

$$f_{\text{kon}} = 1 - f_{\text{swro}}$$

U_m: Tahmini SWRO tesisi işletme maliyeti

q_{kayıp-kaçak m}: Kayıp-kaçak oranı maliyeti faktörü (%20 için 1,2)

P_m: Belediye karı faktörü (%10 için 1,1) (TL/m³)

T_{swro m}: SWRO tesisinden suyun şebekeye iletim maliyeti faktörü % 10 için 1,1

U_{kon m}: Konvansiyonel içme suyu arıtma tesisi üretim maliyeti (0,15 TL/m³)

P_{su}: Belediye su bedeli (TL/m³)

T_{kon m}: Konvansiyonel içme suyu arıtma tesisinden şehir su şebekesine iletim maliyeti

$$T_{konm} = P_{su} * \%10$$

Sg: Belediye sabit geliri (TL/m³)

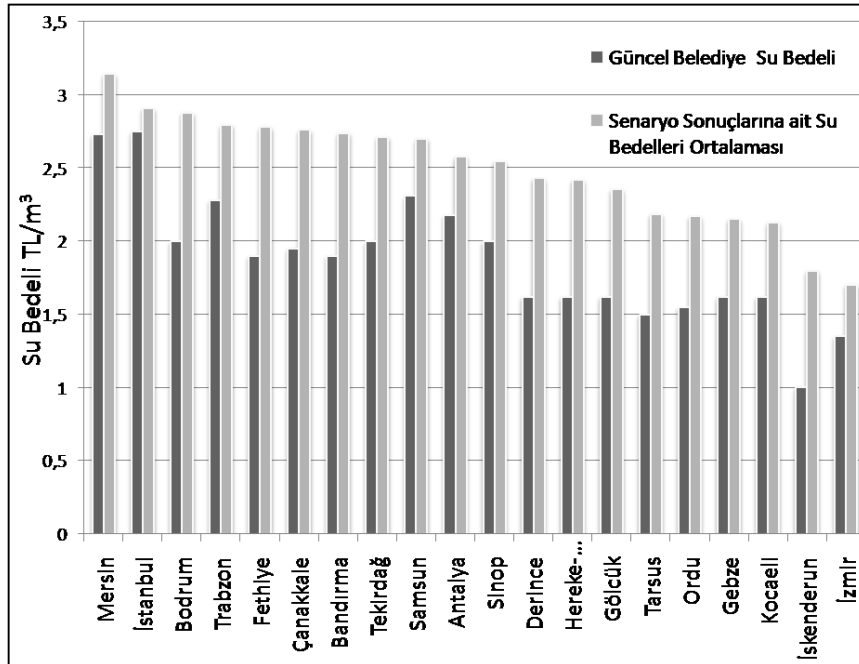
$$Sg = P_{su} - (U_{konm} + T_{konm})$$

f: TL olarak dolar kuru (2,30 TL alınmıştır)

Denklemler 7.4 kullanılarak tahmini su bedeli değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler ve tüm senaryolar için ortalama değer grafiği Tablo 7.9'da görülmektedir.

Tablo 7.9: Kıyı bölgeleri tahmini su bedelleri

Yerleşim Yeri	Güncel Belediye Su Bedeli TL/m ³	Senaryo 1 için Nihai Su Bedeli TL/m ³	Senaryo 2 için Nihai Su Bedeli TL/m ³	Senaryo 3 için Nihai Su Bedeli TL/m ³	Senaryo 4 için Nihai Su Bedeli TL/m ³	Senaryo 5 için Nihai Su Bedeli TL/m ³
		10%	20%	30%	40%	50%
Mersin	2,73	2,96	3,07	3,17	3,24	3,27
İstanbul	2,75	2,83	2,87	2,91	2,95	2,98
Antalya	2,18	2,38	2,51	2,59	2,68	2,74
İzmir	1,35	1,53	1,65	1,73	1,79	1,82
Samsun	2,31	-	2,60	2,68	2,73	2,79
Kocaeli	1,62	-	2,02	2,10	2,17	2,22
Gebze	1,62	-	2,02	2,10	2,26	2,22
Trabzon	2,28	-	-	2,74	2,81	2,84
Sinop	2,0	-	-	2,48	2,56	2,61
Tarsus	1,5	-	-	2,11	2,19	2,26
Tekirdağ	2,0	-	-	-	2,68	2,75
Gölcük	1,62	-	-	-	2,32	2,39
Ordu	1,55	-	-	-	2,14	2,20
İskenderun	1,0	-	-	-	1,77	1,83
Bodrum	2,0	-	-	-	-	2,88
Fethiye	1,9	-	-	-	-	2,78
Çanakkale	1,95	-	-	-	-	2,76
Bandırma	1,9	-	-	-	-	2,74
Derince	1,62	-	-	-	-	2,43
Hereke-Körfez	1,62	-	-	-	-	2,42

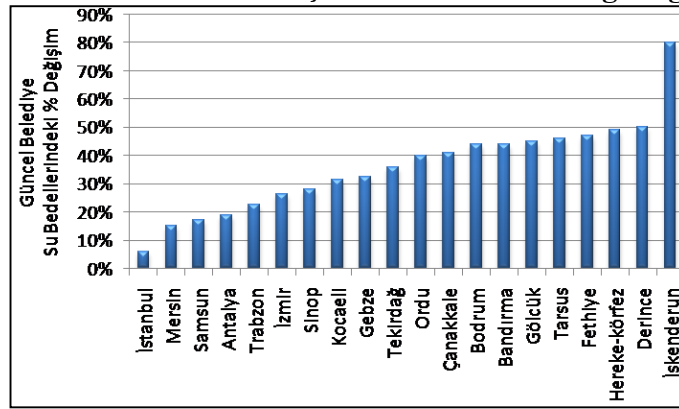


Belediye güncel su bedelleri için uygulanan senaryolar ile artan fiyat oranları Tablo 7.10'da verilmiştir.

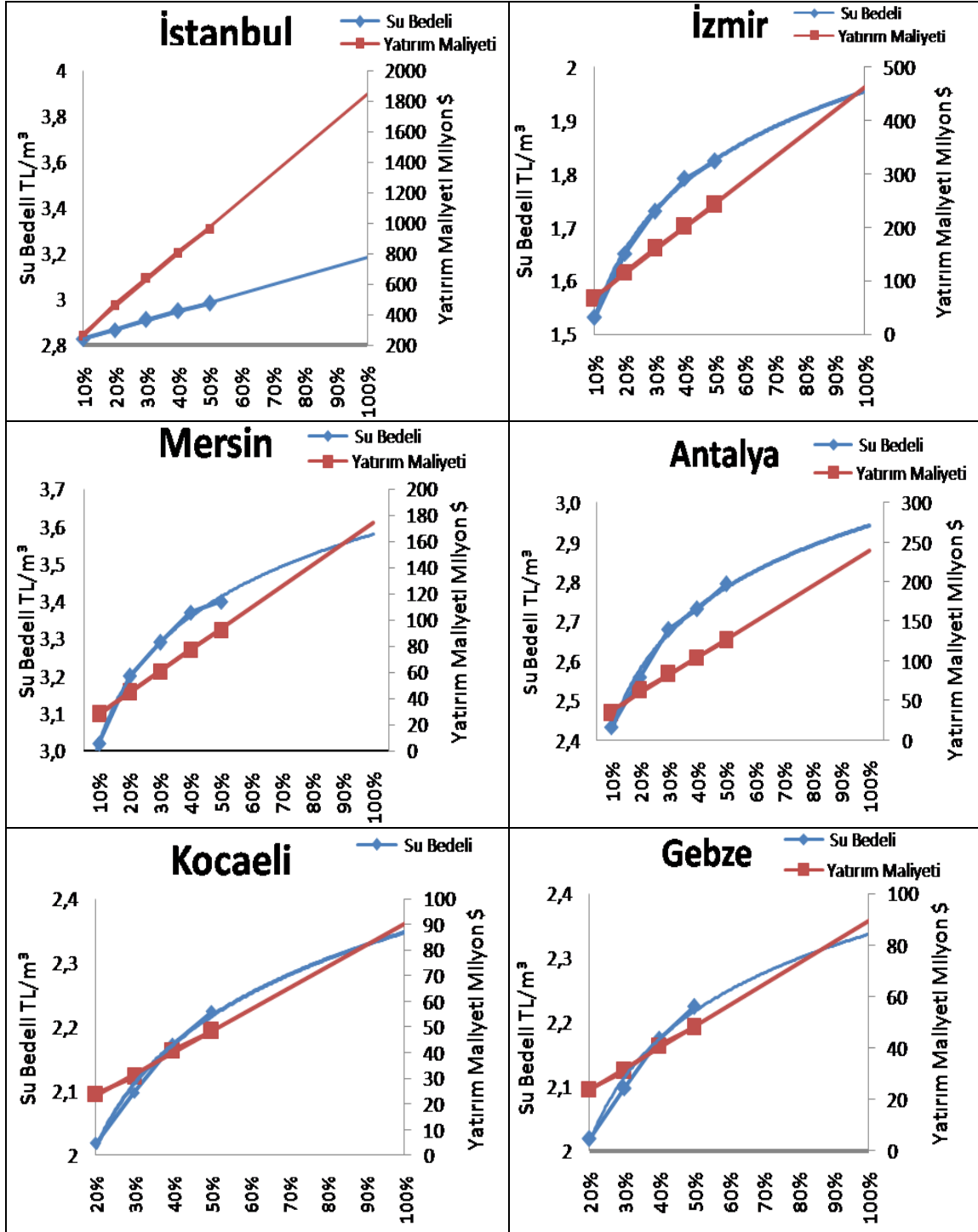
Tablo 7.10:Su bedeli artış oranları tablosu ve grafiği

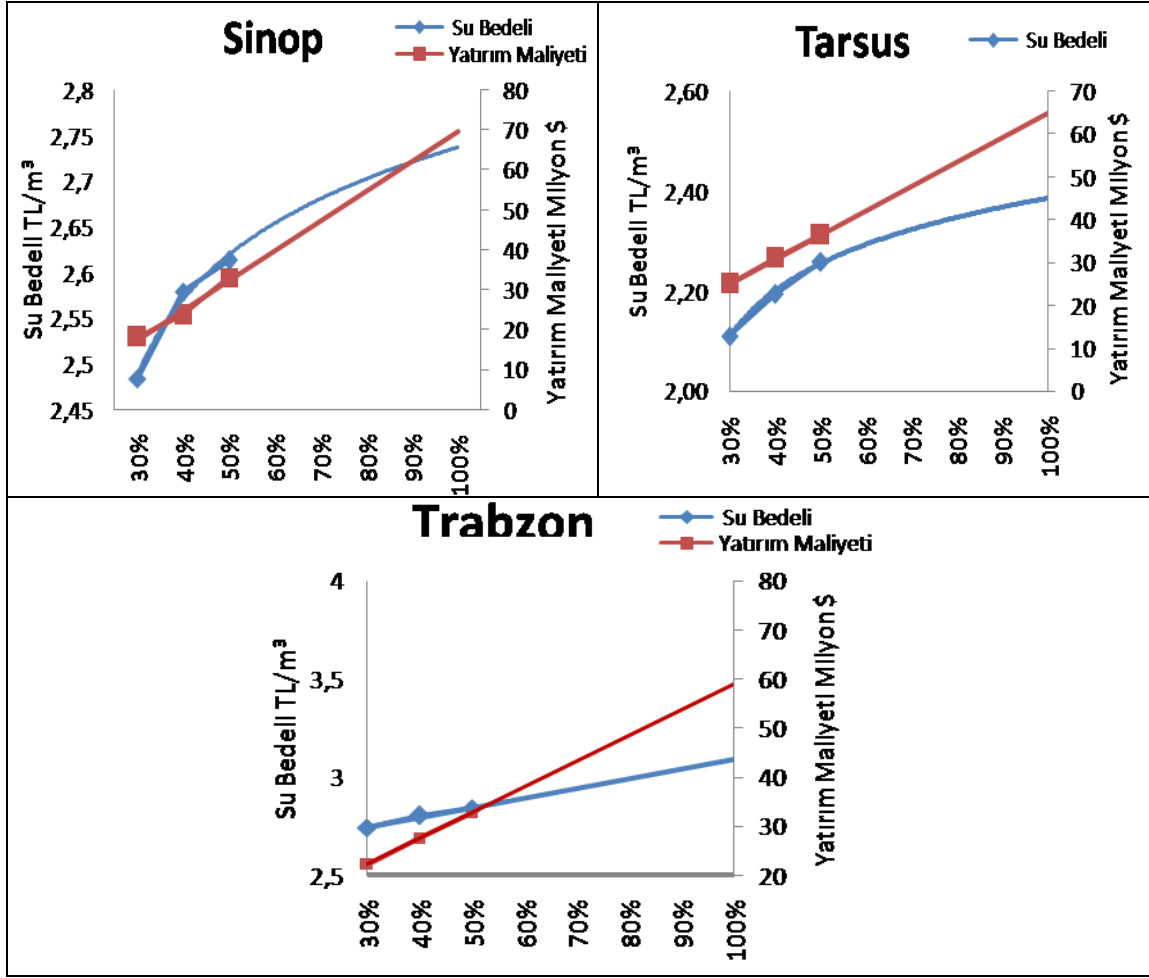
Yerleşim Yeri	Belediye Güncel Su Bedeli TL/m ³	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3	Senaryo 4	Senaryo 5
		10%	20%	30%	40%	50%
İstanbul	2,75	3%	4%	6%	7%	9%
Mersin	2,73	8%	12%	17%	19%	20%
Antalya	2,18	9%	15%	21%	23%	26%
İzmir	1,35	13%	22%	28%	33%	35%
Samsun	2,31	-	13%	16%	18%	21%
Kocaeli	1,62	-	25%	29%	34%	37%
Gebze	1,62	-	25%	29%	34%	37%
Trabzon	2,28	-	-	20%	23%	25%
Sinop	2,0	-	-	24%	29%	31%
Tarsus	1,5	-	-	41%	46%	51%
Tekirdağ	2,0	-	-	-	34%	38%
Ordu	1,55	-	-	-	38%	42%
Gölcük	1,62	-	-	-	43%	47%
İskenderun	1,0	-	-	-	77%	83%
Çanakkale	1,95	-	-	-	-	41%
Bodrum	2,0	-	-	-	-	44%
Bandırma	1,9	-	-	-	-	44%
Fethiye	1,9	-	-	-	-	47%
Hereke-körfez	1,62	-	-	-	-	49%
Derince	1,62	-	-	-	-	50%

Su Bedellerindeki artış oranları ortalaması grafiği



Oluşturulan senaryo değerlerinin %100'e kadar artırılması sonucunda elde edilecek tahmini su bedeli ve yatırım maliyeti Tablo 7.7 ve Tablo 7.9'dan faydalanılarak Şekil 7.4'de görülmektedir. Grafikler en az 3 senaryoya ait hesap değerine sahip yerleşim yerleri için oluşturulmuştur.



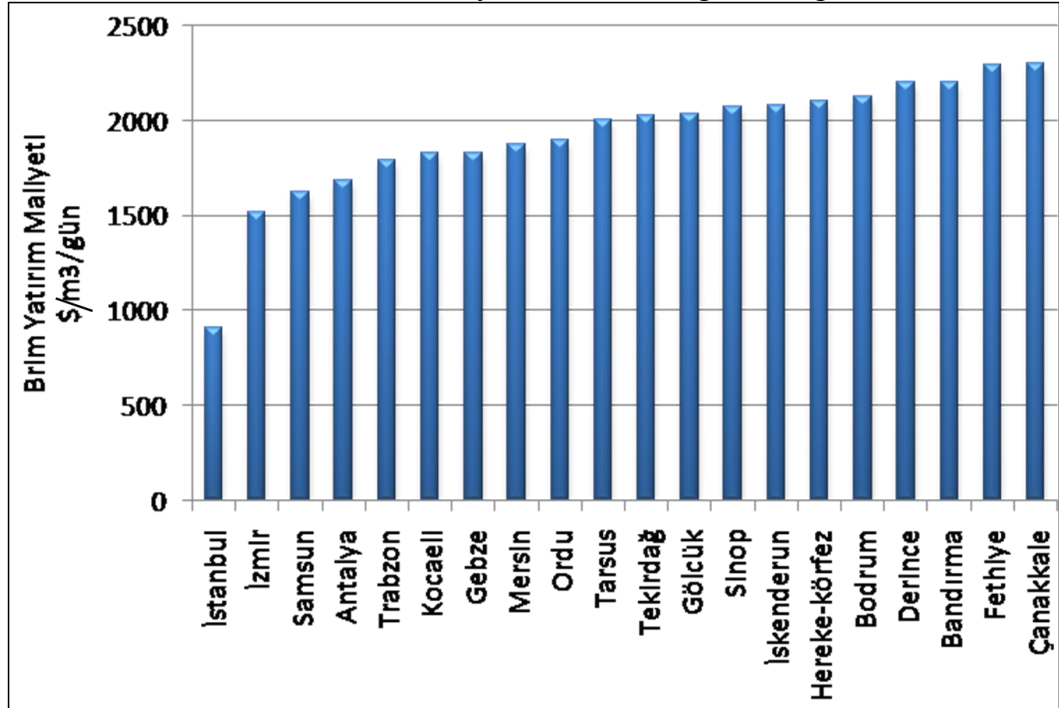


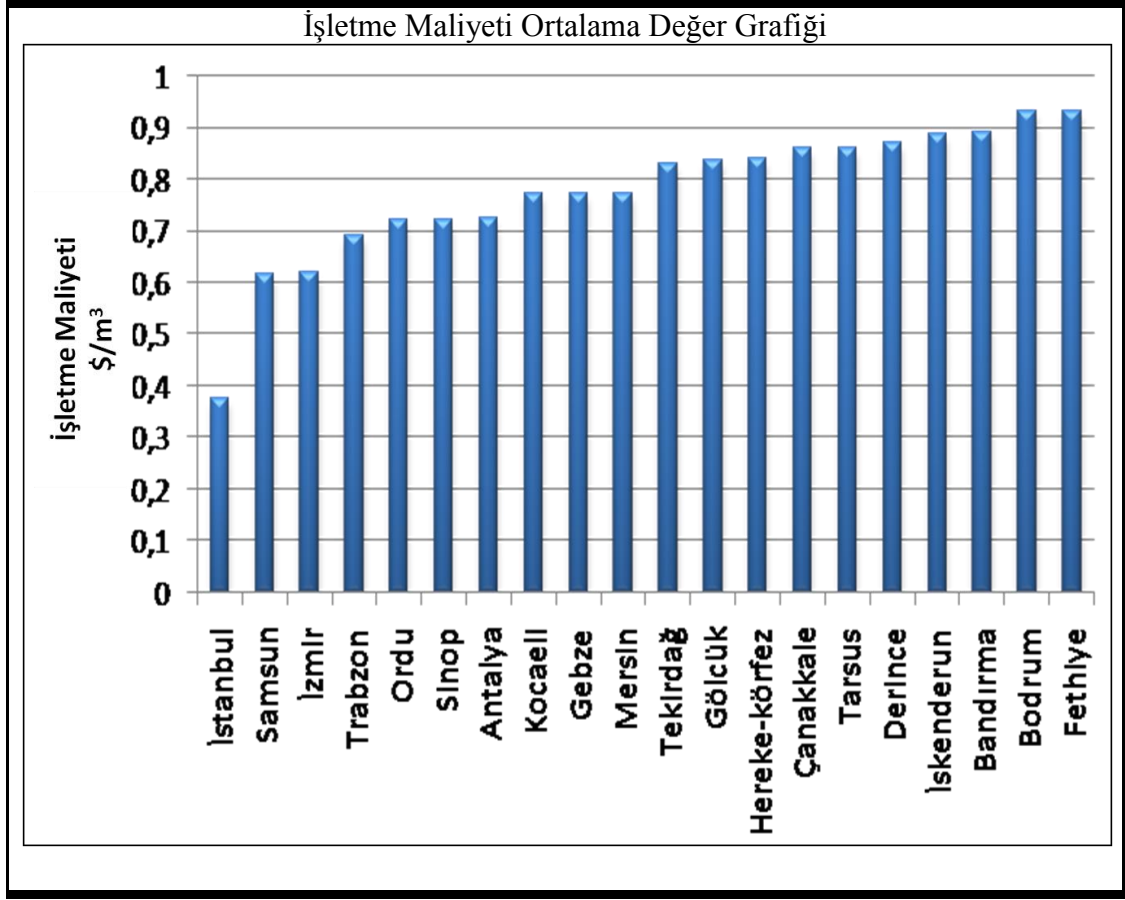
Şekil 7.5: Nihai Su bedeli ve yatırım maliyeti grafikleri

Senaryolar bazında hesaplanan yatırım maliyetleri, üretim maliyetleri ve su bedellerine ait değer aralıkları Tablo 7.11’de görülmektedir.

Tablo 7.11: Senaryolara ait göstergeler tablosu ve ortalama değer grafikleri

Yerleşim Yeri	Senaryo 1- 5 arasındaki göstergeler		
	Birim Yatırım Maliyeti Aralığı \$/m ³ /gün	İşletme Maliyeti Aralığı \$/m ³	Hesaplanan Nihai Su Bedeli Aralığı TL/m ³
İstanbul	770- 1050	0,35-0,40	2,83-2,98
İzmir	1210-1818	0,53-0,71	1,53-1,82
Samsun	1458-1789	0,66-0,57	2,60-2,79
Antalya	1422-1947	0,64-0,81	2,38-2,74
Trabzon	1728-1846	0,64-0,74	2,74-2,84
Kocaeli	1650-2000	0,70-0,84	2,02-2,22
Gebze	1650-2000	0,70-0,84	2,02-2,22
Mersin	1533-2214	0,63-0,91	2,96-3,27
Ordu	1788-2000	0,70-0,74	1,77-1,83
Tarsus	1855-2153	0,80-0,92	2,11-2,26
Tekirdağ	1964-2090	0,81-0,85	2,68-2,75
Gölcük	1964-2100	0,81-0,86	2,32-2,39
Sinop	2000-2135	0,68-0,76	2,48-2,61
İskenderun	2005-2153	0,85-0,92	2,14-2,20
Hereke-körfez	2100	0,84	2,74
Bodrum	2125	0,93	2,88
Derince	2200	0,87	2,76
Bandırma	2200	0,89	2,42
Fethiye	2291	0,93	2,43
Çanakkale	2300	0,86	2,78

Birim Yatırım Maliyeti Ortalama Değer Grafiği



7.6.Enerji İhtiyacı Analizi

Senaryoları sonucu ihtiyaç duyulan su miktarı bazında SWRO kapasiteleri belirlenmiştir. SWRO tesislerinin en önemli özelliği diğer tuz giderme yöntemlerinde olduğu gibi yüksek oranda enerji tüketimleridir. Bu bölümde yerleşim merkezi bazında kurulacak SWRO tesislerinin ihtiyaç duyacağı enerji miktarı incelenmiştir. SWRO tesislerinin tükettiği enerji miktarı literatürde ortalama olarak 3-5,5 kWh/m³ olarak verilmektedir. Bu değerler suyun tuzluluğuna göre değişmektedir. Türkiye denizlerindeki tuzluluk farklılığından dolayı tüketim maliyetleri değişecektir. Literatürde Türkiye denizleri için yapılan bir çalışma bulunmadığı için son yıllardaki Akdeniz suyu için tüketim değerlerinden yola çıkılarak ortalama 3,5 kWh/m³ olarak kabul edilmiş olup elde edilen veriler Tablo 7.12’de görülmektedir.

Tablo 7.12: Senaryolarda belirlenen kapasitelerdeki SWRO tesisleri için gerekli enerji

Yerleşim yeri	Senaryo 1 için İhtiyaç Duyulan Enerji - MWh	Senaryo 2 için İhtiyaç Duyulan Enerji - MWh	Senaryo 3 için İhtiyaç Duyulan Enerji - MWh	Senaryo 4 için İhtiyaç Duyulan Enerji - MWh	Senaryo 5 için İhtiyaç Duyulan Enerji - MWh
İstanbul	40	80	120	161	201
Mersin	2	4	6	8	10
Antalya	3	6	8	11	14
İzmir	6	13	19	26	32
Antalya	3	6	8	11	14
Samsun	-	3	4	5	7
Kocaeli	-	2	3	4	5
Gebze	-	2	3	4	5
Trabzon	-	-	2	2	3
Sinop	-	-	2	2	2
Tarsus	-	-	2	2	3
Tekirdağ	-	-	-	2	2
Gölcük	-	-	-	1	2
İskenderun	-	-	-	2	2
Ordu	-	-	-	2	6
Bodrum	-	-	-	-	2
Çanakkale	-	-	-	-	1
Derince	-	-	-	-	2
Hereke-Körfez	-	-	-	-	2
Fethiye	-	-	-	-	2
Bandırma	-	-	-	-	2
Toplam	51	109	169	230	303

İstanbul için senaryo 5 de hesaplanan tüketim değeri istanbul'da yıllık elektrik tüketim değerlerinin % 5,37 sine denk gelmektedir.

8. DEĞERLENDİRME

Deniz suyu arıtım maliyetleri konvansiyonel su kaynaklarından temin edilen suyu arıtımına göre daha fazladır. Bu sebeple, birçok ülkede deniz suyundan faydalanılması kararını devletin en üst düzeyindeki karar organları vermektedir. Tuzsuzlaştırma konusunda ihtisası olan devlet kurumları (Enstitü, araştırma merkezi, genel müdürlük vb.) her ülkede mevcuttur. Bu kurumların görüşleri de tuzsuzlaştırma tesisleri için önemlidir.

Son yıllarda özellikle SWRO tesislerindeki başarılı performanslar sayesinde, devlet politikaları ile oluşturulan tuzsuzlaştırma programları birçok ülkede kararlılıkla sürdürülmektedir. Ancak, SWRO tesislerinin olumsuzlukları da sürekli gündemde tutulmakta ve bu olumsuzlukların en aza indirgenmesi için çalışmalar yapılmaktadır. SWRO tesislerindeki önemli olumsuzluklar yüksek enerji tüketimi, sera gazı oluşumu ve oluşan konsantrenin bertarafıdır. Sivil toplum örgütleri tarafından SWRO tesislerinin olumsuzlukları sebebiyle gündemde tutulmakta ve zaman zaman protesto edilmektedir.

Dünya genelinde tuzsuzlaştırma tesislerin %52'si özel sektör tarafından işletilmektedir. Bu işletme modeli üretim maliyetlerini artırmaktadır. Bazı tesisler ise yap-işlet-devret modeli ile işletilmektedir. Bu modelde yükleniciye kapasite bazında su alım garantisi vermektedir. Suyu üretilip üretmemesinin önemi olmaksızın ödeme yapılmaktadır. Bu durum deniz suyu tuzsuzlaştırma tesisleri için iklim değişikliği ve kuraklığın su kaynaklarına olan muhtemel olumsuz etkilerine ait riskleri satın almak olarak değerlendirilmektedir. Bir nevi şehrin su ihtiyacının sigortalanmasıdır.

Global ölçekte SWRO tesisi maliyetleri yerel farklılıklardan dolayı çok geniş bir aralıkta seyretmektedir. En pahalı SWRO tesisleri Avustralya tarafından inşa edilirken, en ucuz tesisler İsrail tarafından inşa edilmektedir. Aralarındaki maliyet

farkı 10 kata kadar çıkabilmektedir. Bu durum üretim maliyetleri içinde geçerli olup fark 3 katına kadar değişmektedir.

Son yıllardaki teknolojik gelişmeler ile membran maliyetleri en uygun seviyelere gelmiştir. Bundan sonraki süreçte RO membran maliyetlerinde önemli bir düşüş beklenmemektedir. Tam tersi global ölçekte ekonomik göstergelerdeki artışlardan dolayı ve daha sıkı bertaraf kısıtlamalarına gidilebileceğinden maliyet artışları olabilir. Ancak Çin tarafından üretilen ucuz membranların piyasada kabul görmesiyle RO membranlarının maliyetleri bir miktar düşebilir.

SWRO tesislerinin kullandıkları enerji kaynağı ve üretimden ortaya çıkan atıklar önemli çevresel problemler oluşturmaktadır. Özellikle enerji üretiminden kaynaklanan sera gazlarının, iklim değişikliği üzerine etkileri literatürde ortaya konulmuştur. Membran konsantrelerinin deniz ortamına deşarjı ile bertaraf edilmesi halinde deniz ortamında çevresel tahribat oluşmaktadır. Deniz suyundan tatlı su üretimi yapan ülkelerde, bu olumsuzlukların önüne geçilmesi için çok sıkı deşarj kriterlerinin uygulanmaya konulması çalışmaları yürütülmektedir. Ancak bu deşarj kısıtlarından dolayı ortaya çıkan maliyetlerin işletme maliyetlerini önemli ölçüde artıracığı tahmin edilmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının ilk yatırım ve işletme maliyetleri genelde yüksektir. Bu enerji kaynakları RO proseslerinde üretim maliyetlerini de artırmaktadır. Bu sebeple, bunların SWRO tesislerinde kullanımı kısıtlıdır. Bu enerji kaynakları genellikle tesisin tüm enerji ihtiyacını karşılamakta yeterli olmamaktadır. İspanya ve Avustralya gibi ülkelerde bazı tesislerde RES'ler ve PV piller ile güneş panelleri kullanılmaktadır. Bu kullanım üretim maliyetlerinde artış ile kendini göstermektedir. Konvansiyonel enerji kaynakları kullanılan SWRO sistemleri ile aynı işletme maliyetine sahip olan nükleer enerji kullanımı için bazı ülkeler fizibilite çalışmaları yapmaktadır. Yakın gelecekte özellikle Ortadoğu'da nükleer enerjinin SWRO tesisleri için daha yaygın kullanımı beklenmektedir.

SWRO tesisleri için işletme ve yatırım maliyetlerinin hesaplanmasında literatürde farklı yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemler tesisi işletme ve yatırım maliyeti üzerine hesapları içermektedir. Yaklaşık maliyetten elde edilen sonuçlar ile

kullanılan enerji türü, çevresel etkileri, SWRO tesislerine alternatif su temin yöntemleri gibi konuların da dikkate alındığı geniş kapsamlı ekonomik analizler ile uygulamaya karar verilmelidir.

Bu çalışma kapsamında Türkiye'nin kıyı bölgelerindeki bazı yerleşim yerleri için SWRO tesislerinin yalnızca yatırım ve işletme maliyeti hesapları yapılmıştır. Yapılan hesaplar neticesinde “Birim Yatırım Maliyeti, $\$/m^3/gün$ ”, “İşletme Maliyeti, $\$/m^3$ ”, “Güncel Su Bedeli, TL/m^3 ” “Nihai Su Bedeli, TL/m^3 ” göstergeleri belirlenmiştir. Bu göstereler kıyı bölgeleri için;

- ✓ Birim Yatırım Maliyeti, 770 – 2300 $\$/m^3/gün$
- ✓ Üretim Maliyeti, 0,35-0,93 $\$/m^3$
- ✓ Güncel Su Bedeli, 1,0-2,73 TL/m^3 (0,43-1,18 $\$/m^3$)
- ✓ Nihai Su Bedeli, 1,83-3,27 TL/m^3 (0,80- 1,42 $\$/m^3$)
- ✓ Güncel Su Bedeli ile Nihai Su Bedeli arasındaki fark 0,08-0,8 TL/m^3 (0,035-0,35 $\$/m^3$) aralığında değişmektedir.

Literatürde yaklaşık maliyet çalışmalarında hata payının $\pm\%10\sim50$ arasında değiştiği rapor edilmiştir. Bu sebeple, hesap edilen bu değerler kesin bir sonuç değildir. Bu değerler, Türkiye'nin kıyı bölgelerinde SWRO uygulaması için yalnızca bir öngördür. Bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçların ve hesap verilerinin, uygulama yapacak idareler için fizibilite öncesinde karar verme aşamasında başlangıç noktası olarak faydalı olabileceği düşünülmektedir.

9. ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında yapılan literatür araştırması ve hesaplamalar neticesinde, Türkiye’de deniz suyundan içme suyu üretiminde SWRO uygulamasının öncesinde ve sonrasında dikkate alınması gereken bazı hususlar konusunda öneriler yapılmıştır. Bu öneriler aşağıda belirtilmiştir:

- ✓ Konvansiyonel olmayan su kaynaklarından faydalanılmasına yönelik iklim değişikliği uyum politikalarının ve stratejilerinin geliştirilmesi gerekmektedir.
- ✓ SWRO tesisleri kurulum kararı verilmeden önce; mevcut su kaynaklarının verimli şekilde kullanılmasının sağlanması ve potansiyel konvansiyonel olmayan su kaynaklarının değerlendirilmesi gerekmektedir.
- ✓ Nihai su bedelleri bazında suyun satın alınabilirliği kapsamında değerlendirilme istenilen verilere ulaşamaması sebebiyle bu çalışmada yapılamamıştır. Bu sebepten dolayı deniz suyunun kullanılması sonucunda ortaya çıkan su bedellerinin değerlendirilebilmesi için suyun satın alınabilirliği konusunda veri envanterleri oluşturulmalıdır.
- ✓ SWRO yatırım maliyetleri diğer su temin yöntemleri ile değerlendirildiğinde ekonomik olmaktan uzaktır. En son tercih edilmesi gereken içme ve kullanma suyu temin yöntemi olarak değerlendirilmelidir.
- ✓ Bu çalışma kapsamında uygulanan senaryolar çerçevesinde İstanbul’da su bedeli değişim hızı lineer olarak artmaktadır. Bu durumda İstanbul’da SWRO uygulaması diğer yerleşim yerlerine göre ekonomik olarak daha uygulanabilir seviyededir.
- ✓ SWRO tesislerinin çevreye verdiği zararlardan dolayı oluşabilecek ekonomik etkiler değerlendirme kısmına dâhil edilmemiştir. Yapılacak değerlendirmede bu durumda dikkate alınması gerekmektedir.

- ✓ SWRO tesislerinin yüksek enerji ihtiyacı ve ithal edilecek olan pahalı ekipmanların ülke ekonomisi üzerindeki negatif yöndeki etkilerinde de hesaba katılacağı kapsamlı çalışmalar gerçekleştirilmelidir.
- ✓ Deniz suyundan tatlı su eldesi seçeneğinin Türkiye ölçeğinde uygulanmasına yönelik olarak bir irade ortaya konulması durumunda teknik açıdan atılacak adımlar aşağıda belirtilmiştir;
 - Tesisler için en uygun yer seçimleri çevresel ve ekonomik göstergeler göz önünde bulundurularak belirlenmelidir.
 - Türkiye'nin kıyı bölgelerinde yapılacak SWRO tesisleri için pilot çalışmaların yöreye özgü olarak gerçekleştirilip tesis tasarım kriterlerinin iyi belirlenmesi gerekmektedir.
 - Özellikle yöreye özgü deniz suyu temin alternatifleri ortaya konulmalıdır.
 - Ülkemizde kıyı bölgelerde deniz kirliliği mevcuttur. Özellikle Karadeniz ve Marmara'daki ve sanayileşmiş körfez bölgelerinde organik kirlilik RO membranları üzerinde işletme problemleri oluşturacağından uygun ön arıtma yöntemleri belirlenmelidir.
 - Kıyı bölgelerdeki deniz suyunda bor miktarları belirlenmeli ve paçallama ile seyremeyecek düzeydeki bor miktarları için arıtım proseslerine bor giderme ünitesi eklenmelidir.
 - Tesislerden kaynaklanan konsantre deşarjları için deşarj ve alıcı ortam standartları belirlenmeli ve hatta SWRO kurulması muhtemel bölgeler için biyolojik kalite oranları belirlenip izleme çalışmaları gerçekleştirilmelidir.
 - Enerji ihtiyacı bu denli yüksek tesisler için enerji santralleri kurulma seçenekleri ve maliyetleri değerlendirilmelidir.
 - Üretilen suyun şehir şebekesine ulaştırılmasında yapılması gereken altyapı ve depolama tesisi yatırımları için en ekonomik alternatifler belirlenmelidir.
 - Tesis işletme modelleri (yap-işlet-devret, özel işletme vb.) üzerine fayda-maliyet araştırmaları yapılmalıdır.
 - Türkiye'de deniz suyundan tuzsuzlaştırma membranları üretilmediğinden ve enerjide olarak dışa bağımlı olunmasından dolayı SWRO tesislerinde üretilen suyun güvenliğini tehlikeydedir. Bu sebeple, Türkiye'nin membran

ve enerjide dışa bağımlılığını azaltacak önlemlerin ve tedbirlerin alınması gereklidir.

KAYNAKLAR

- Abazza H., Khordagui H., Damianidis S., Konstantianos V,** *Economic Considerations For Supplying Water Through Desalination In South Mediterranean Countries*, EU- Sustainable Water Integrated Management - Support Mechanism (SWIM- SM,) 2012
- Akgül D.,** *Türkiye’de Ters Osmoz ve Nanofiltrasyon Sistemleri İle İçme Ve Kullanma Suyu Üretiminin Maliyet Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, 2006
- Akgül D., Cakmakçı M., Kayaalp N., Koyuncu İ.,** *Cost analysis of seawater desalination with reverse, osmosis in Turkey*, Elsevier- Desalination 220 (2008) 123–131
- Alarifi A.,** *Saline Water Conversion Corporation, Desalination In The Kingdom Of Saudi Arabia: Current Practice And Future Trends* Sunumu, 2013.
- Al-Karaghoulı A., Kazmerski L,** *Economic and Technical Analysis of a Reverse-Osmosis Water Desalination Plant Using DEEP-3.2 Software*, Journal of Environmental Science and Engineering A 1 (2012) 318-328 Formerly part of Journal of Environmental Science and Engineering, ISSN 1934-89
- Arı P. H.,** *Türkiye’de İçme Suyu Amaçlı Büyük Kapasiteli Membran Sistemlerinin Maliyet Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, 2009
- Arnal J.M, García-Fayos B. and Sancho M.,** *Membrane Cleaning*, Instituto de Seguridad Industrial, Radiofísica y Medioambiente (ISIRYM) / Universitat Politècnica de València Spain, INTECH Open Access Publisher, 2011
- Avlonitis S.A., Kouroumbas K., Vlachakis N.,** *Energy consumption and membrane replacement cost for seawater RO desalination plants*, Elsevier-Desalination 157 (2003) 151-158
- Aydın F., Ardalı Y.,** *Deniz Suyu Arıtım Teknolojileri*, Mühendislik Ve Fen Bilimleri Dergisi, Sigma 30,Syf 156-178, 2012
- Baker, R. W.,** 1991. *Membrane Seperation Systems: Recent developments and Future Directions*, Noyes Data Corp.
- Baker R. W.,** *Membrane Technology And Applications*, Second Edition, McGraw-Hill, 2000

- Belessiotis V., Delyannis E.,** *The history of renewable energies for water desalination*, Elsevier- Desalination 128 (2000) 147-159
- Bick A, Oron G.,** *Post-treatment design of seawater reverse osmosis plants boron removal technology selection for potable water production and environmental control*, Elsevier-Desalination 178 (2005) 233-246.
- Bremere I, Kennedy M., Stikker A., Schippers J.,** *How water scarcity will effect the growth in the desalination market in the coming 25 years*, Desalination 138 (2001) 7-15
- Brewster M.R., Buross K.,** *Non-conventional Water Resources I. Economics and Experiences in Developing Countries*, Natural Resources Forum at United Nations, New York, 1985
- Brown E., Colling A., Park D., Phillips J, Rothery D., Wright J.,** *Seawater :Its Composition, Properties And Behaviour*, published by The Open University, (2004) ISBN 0 7506 3715 3
- Buross O.K.,** *The ABCs of Desalting*, 2nd ed., FMC Corporation, International Desalination Association (IDA), Massachusetts and Saline Water Conversion Corporation (SWCC), Saudi Arabia, 1999.
- Can M., Etemođlu A.B., Avcı A.,** *Deniz suyundan tatlı su eldesinin teknik ve ekonomik analizi*, Uludađ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakóltesi Dergisi, Cilt 7, Sayı 1, 2002
- Cartier G., Corsin P.,** *Description of different water intakes for SWRO plants*, IDA World Congress-Maspalomas, Gran Canaria –Spain October 21-26, 2007 REF: IDAWC/MP07-185.
- Çakmakçı M., Özkaya B., Yetilmezsoy K., Demir S.,** *Su Arıtma Tesislerinin Tasarım Ve İşletme Esasları*, Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2013
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.** *Türkiye Çevre Durum Raporu*. Ankara 2011,
- Downward S. R., Taylor R.,** *An assessment of Spain's Programa AGUA and its implications for sustainable water management in the province of Almeria, southeast Spain*, Journal of Environmental Management 82 (2007) 277–289.
- Delion N., Mauguin G., Corsin R.,** *Importance and Impact of Post Treatments on Design And Operation of SWRO Plants* , Elsevier- Desalination 165 (2004) 323-334

- Delyannis V, Belessiotis V.**, *Desalination: The recent development path*, Elsevier-Desalination 264 (2010) 206–213
- Dreizin Y., Tenne A., Hoffman D.**, *Integrating large scale seawater desalination plants within Israel's water supply system*, Elsevier- Desalination (2007) 1–18
- Duranceau S.J.**, *Desalination Post-Treatment Considerations*, Floridawater Resources Journal, 2009
- Einav R., Hamssib K., Periyb D.**, *The footprint of the desalination processes on the environment*, Elsevier- Desalination 152 (2002) 141-154
- EEA-European Environmental Agency**, *Water resources across Europe – confronting water scarcity and drought*, 2009.
- El-Desseuky H.T. , Ettouney H.M.**, *Fundamentals of Salt Water Desalination*, ELSEVIER SCIENCE B.V. ISBN: 0-444-50810-4, Elsevier, 2002
- Ettouney H.M., El-Dessouky H.T., Faibish R.S., Gowin P.J.**, *Evaluating the economics of desalination*. Chem. Eng. Progr., 100(12) (2002) 32–39.
- EMWIS**, *Non-conventional water resources uses study in the Mediterranean Final Report*, 2008
- Estrela T.**, *Water scarcity, droughts and climate change in Spain*, Presentation, EXPO Zaragoza 2008
- European Union**, *Economic Considerations For Supplying Water Through Desalination In South Mediterranean Countries* (Author Hussein Abazza), Sustainable Water Integrated Management - Support Mechanism (SWIM-SM) 2012
- Falblsh R.S., Ettouney H.**, MSF nuclear desalination, Elsevier- Desalination 157 (2003) 277-287
- Fixler O.** – Deputy Director General of Israel Water Authority, *Challenges and Solutions for the Water Sector in Israel and the Region* Sunumu, 2011
- Falkenmark, M. ve Lindh, G.**, 1976. *How can we cope with the water resources situation by theyear 2015*, Ambio 3 114–22.
- ForstmeierM., Mannerheim F., D'Amato F., Shah M., Liu Y., Baldea M., Stella A.**, *Feasibility study on wind-powered desalination*, Elsevier- Desalination 203 (2007) 463–470

- Garcia-Rubio M. A., Guardiola J.,** *Desalination in Spain: A Growing Alternative for Water Supply*, Water Resources Development, Vol. 28, No. 1, 171–186, March 2012
- Global Water Intelligence (GWI),** 24th GWI/IDA Worldwide Desalting Plant Inventor, 2011
- Global Water Intelligence (GWI),** Desalination Markets 2007. *A Global Industry Forecast (CD ROM)*, Global Water Intelligence, Media Analytics Ltd., Oxford, UK, 2007, www.globalwaterintel.com
- Global Water Intelligence (GWI/IDA DesalData),** Market profile and desalinationmarkets, 2009–2012 yearbooks ve GWI website, <http://www.desaldata.com/>.
- Gude V.G., Nirmalakhandan N., Deng S.,** *Renewable and sustainable approaches for desalination*, Renewable and Sustainable Energy Reviews 14 (2010) 2641–2654
- Hassan A. M., Jamaluddin A. T. M., Rowaili A., Abart E., Lovo R.,** *Investigating Intake System Effectiveness With Emphasis On Self-Jetting Well-(Sjwp) Beachwell System 1997 Point*, 2nd Acquired Experience Symposium on Desalination plants O&M, Al-Jubail, Sept. 29- Oct. 3, 1997 and reported later in Technical Report No. TR 3807/APP93013 issued in May, 1998.
- International Atomic Energy Agency. (2010).** *Environmental impact assessment of nuclear desalination* (IAEA-TECDOC-1642). Vienna: International Atomic Energy Agency.
- Jimenez B., Asano T.,** An International Survey of Current Practice, Issues, and Needs; “*Water reclamation and reuse around the world*” IWA Publishing - Water Reuse” page 3-26,(2008).
- Kalogirou S.A.,** *Seawater desalination using renewable energy sources*, Elsevier-Progress in Energy and Combustion Science 31 (2005) 242–281
- Kislev Y. ,** *TAUB CENTER for Social Policy Studies in Israel*, Policy Programme Paper, The Water Economy of Israel, 2011,
- Khawajia A. D., Kutubkhanaha I. K., Wieb J. M.,** *Advances in seawater desalination Technologies*, Elsevier-Desalination 221 (2008) 47–69, 2008

- Koyuncu İ.**, *Membranlı Su Arıtma Teknolojileri, Çevresel Etkileri, Teknolojik Karşılaştırmalar Sunumu*, Ulusal Membran Teknolojileri Araştırma Merkezi, 2012
- Ladewig B. and Asquith B.**, *Desalination Concentrate Management*, Springer Briefs in Green Chemistry for Sustainability, DOI: 10.1007/978-3-642-24852-8-2, 2012
- Lamei A., Zaag P. van der, Münch E. von,** *Impact of solar energy cost on water production cost of seawater desalination plants in Egypt*, Elsevier- Energy Policy 36 (2008) 1748–1756
- Lattemann S., Kennedy M. D., Schippers J.C, Amy G.,** *Global Desalination Situation*, Sustainability Science and Engineering, Volume 2, Elsevier B.V., Sayfa 7-38, 2010
- Leitner G.F.**, *Water desalination: what are today's costs*. Desalination and Water Reuse Quarterly, 2 (1992) 39–43.
- Li N., Fane A.G., Winston Ho W. S., Matsuura T.,** *Book of Advanced Membrane Technology and Applications*, John Wiley & Sons Publishment, 2011
- Loutatidou S., Chalermthai B., Marpu P. R., Arafat H. A.** *Capital cost estimation of RO plants: GCC countries versus southern Europe*, Elsevier- Desalination 347 (2014) 103–111
- Mathioulakis E., Belessiotis V., Delyannis E.,** *Desalination by using alternative energy: Review and state-of-the-art*, Elsevier- Des alination 203 (2007) 346–365
- Munoz I., Fernandez-Alba A.R.,** *Reducing the environmental impacts of reverse osmosis desalination by using brackish groundwater resources*, Elsevier- Water Research 42 (2008) 801 – 811
- MDRC** (Middle East Desalination Research Center Muscat, Sultanate of Oman), *Environmental Planning, Prediction And Management Of Brine Discharges From Desalination Plants Final Report*, Principal Investigators Dr.-Ing. Tobias Bleninger & Prof. G.H. Jirka, Ph.D. from Institute for Hydromechanics, Karlsruhe Institute of Technology, Germany, 2010

- NRC** - *Desalination: A National Perspective*. Washington, D.C: National Research Council (U.S.). Committee on Advancing Desalination Technology; National Academics Press, 2008.
- NCED (National Center of Excellence in Desalination)**, *Australian Desalination Research Roadmap*, Australian Government – Murdoch University, 2011
- ORUÇ F .B.**, *Avşa (Balıkesir) Belediyesi Deniz Suyundan Ters Osmoz Arıtma Yöntemi İle İçme-Kullanma Suyu Elde Edilmesi*, İller Bankası-Proje Geliştirme Dairesi Başkanlığı, 2009
- Ouda O. K M**, *Review of Saudi Arabia Municipal Water Tariff*, 2012,
- Ouda O. K M**, *Water demand versus supply in Saudi Arabia: current and future challenges*, International Journal of Water Resources Development, Vol. 30, No. 2, 335–344, 2014
- Peñate B., García-Rodríguez L.**, *Current trends and future prospects in the design of seawater reverse osmosis desalination technology*, Elsevier- Desalination 284 (2012) 1–8
- Pankratz T.**, *MEDRC workshop on Membrane Technology Used in Desalination and Wastewater Treatment for Reuse*, www.medrc.org March 2008 (Muscat, Oman).
- Park M., Park N., Park H., Shin H. , Kim B.**, *An economic analysis of desalination for potential application in Korea*. Desalination, 114 (1997) 209– 221.
- Pita E., Sierra I.**, *Seawater Intake Structures*, International Symposium on Outfall Systems, May 15-18, 2011, Mar del Plata, Argentina
- Palomar P., Losada I.J.**, *Desalination in Spain: Recent developments and recommendations*, Desalination 255 (2010) 97–106
- Randtke, Horsley**, *Water Treatment Plant Design* fifth ed. McGraw-Hill, Inc., ISBN:978-0-07-174572-2, USA (2012).
- Reddy K.V., Ghaffour N.**, *Overview of the cost of desalinated water and costing Methodologies*, Elsevier- Desalination 205 (2007) 340–353
- Roberts D.A., Johnston E.L., Knott N.A.**, *Impacts of desalination plant discharges on the marine environment: A critical review of published studies*, Elsevier- water research 44 (2010) 5117 - 5128

- SAND Report**, *Review of Water Resources and Desalination Technologies*, SAND 2003-0800, Materials Chemistry Department - Sandia National Laboratories, 2003
- Sam. M.**, *Planning and Design of Desalination Plants Effluent Systems*, Doktora Tezi, Kaliforniya Üniversitesi, 2014
- Shatat M., Worall M., Riffat S.**, *Opportunities for solar water desalination worldwide: Review*, Elsevier-Sustainable Cities and Society 9 (2013) 67–80
- Shrestha E, Ahmad S. , Johnson W., Shrestha P., Batista J.R.**, *Carbon footprint of water conveyance versus desalination as alternatives to expand water supply* , Elsevier, Desalination 280 (2011) 33–43
- Smets H.**, *Access to drinking water at an affordable price in developing countries, Technological perspectives for rational use of water resources in the Mediterranean region*, Bari: CIHEAM Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens; n. 88, 2009, p.57 -68
- Sommariva C., Syambabu V.S.N.**, *Increase in water production in UAE.*, Elsevier-Desalination, 138 (2001) 173–179.
- Spiritos E., Lipchin C.**, *Desalination in Israel, Water Policy in Israel: Context, Issues and Options*, Global Issues in Water Policy, Springer Science+Business Media Dordrecht, 2013, Sayfa 121-124
- Stefopoulou A., Souliisa K., Papapetroub M., Kyritsisa S. , Eppb C.**, *Institutional and policy framework analysis in relation to the application of autonomous desalination systems — Greece*, Desalination 220 (2008) 455–467
- Stover R.L, Cameron I. B.**, *Energy Recovery in Caribbean Seawater Reverse Osmosis*, W.E.B.Aruba N.V. International Desalination Conference, 2007.
- Stokes J.R., Horvath A.**, *Energy and Air Emission Effects of Water Supply*, Environ. Sci. Technol. 2009, 43, 2680–2687
- Southern California Coastal Water Research Project (SCCWRP)**, *Management of Brine Discharges to Coastal Waters Recommendations of a Science Advisory Panel*, Scott Jenkins, Jeffrey Paduan, Philip Roberts (Chair), Daniel Schlenk, and Judith Weis, Technical Report 694, 2012
- Splegler K.S., El-Sayed Y.M.**, *The energetics of desalination processes*, Elsevier-Desalination 134 (2001) 109-128

- Ta-Kang Liu, Haw-Yang Sheu, Chung-Ning Tseng,** *Environmental impact assessment of seawater desalination plant under the framework of integrated coastal management*, Elsevier-Desalination 326 (2013) 10–18
- Tenne A.**, Head of Desalination Division Chairman of the WDA (Water Desalination Administration), “*Sea Water Desalination in Israel: Planning, coping with difficulties, and economic aspects of long-term risks*” State of Israel Desalination Division, 2010
- Torunoğlu P. O., Orhon D.,** *Türkiye’de kurulabilecek tuz gideren membran teknolojisi sistemleri için bilimsel esaslı tasarıma dayalı maliyet analizlerinin yapılması*, İTÜ Dergisi Su Kirlenmesi Kontrolü Cilt:20, Sayı:1, 97-110 Mayıs 2010
- Tsiourtis N. X.,** *Desalination and the environment*, Elsevier- Desalination 141 (2001) 223-236
- Wilf M., Awerbuch L., Bartels C., Mickley M., Pearce G., Voutchkov N.,** *The Guidebook to Membrane Desalination Technology*, Balaban Desalination Publications, L’Aquila, Italy, 2007, 524 pp.
- Williams M.E.,** *A Brief Review of Reverse Osmosis Membrane Technology*, EET Corporation and Williams Engineering Services Company, Inc., 2003
- Voutchkov N.,** *Overview Of Seawater Concentrate Disposal Alternatives*, Elsevier, Desalination 273 (2011) 205–219, (2012)
- Voutchkov N.,** *SWRO desalination process: on the beach – seawater intakes* Filtration & Separation Volume 42, Issue 8, October 2005, Pages 24–27.
- Voutchkov N.,** *Seawater Reverse Osmosis Design and Optimization Presentation*, Advanced Membrane Technologies-Stanford University, May 07, 2008
- Voutchkov N.,** *Re-mineralization of Desalinated Water*, A SunCam online continuing education course, 2011
- WHO,** *Publication of Safe Drinking-water from Desalination*, WHO/HSE/WSH/11.03, , Sayfa 9-26-27-28, 2011
- Water Research Foundation(WRF),** *Post-Treatment Stabilization of Desalinated Water*, 2011
- Water Reuse Association (WRA),** *Seawater Concantrate Management*, White Paper, 2012

- Williams M. E.**, *A Brief Review of Reverse Osmosis Membrane Technology*, EET Corporation and Williams Engineering Services Company, Inc.,
- Wittholz M.K., O'Neill B.K, Colby C. B., Lewis D.**, *Estimating the cost of desalination plants using a cost database*, Elsevier- Desalination 229 (2008) 10–20
- Wolf P. H., Siverns S., Monti S.**, *UF Membranes For RO Desalination Pretreatment*, Desalination 182 (2005) 293–300 Elsevier, 2005
- Zheng X., Chen D., Wang Q., Zhang Z.**, *Seawater desalination in China: Retrospect and prospect*, Elsevier- Chemical Engineering Journal 242 (2014) 404–413
- Zhou Z., Richard**, *Evaluating the costs of desalination and water transport*, Water Resources Research, VOL. 41, W03003, doi:10.1029/2004WR003749, 20052005
- [Url 1]: http://samples.jbpub.com/9781449686437/19992_CH04_Pinet.pdf
- [Url 2]: www.csb.gov.tr
- [Url 3]: http://www.mfa.gov.tr/akdeniz_in-kirlilige-karsi-korunmasi_sozlesmesi_barselona-sozlesmesi_.tr.mfa
- [Url 4]: http://www.desalination.biz/news/news_story.asp?id=7276
- [Url 5]: <http://www.swcc.gov.sa/default.asp?pid=96#w1>
- [Url 6]: <http://arabianindustry.com/utilities/news/2014/mar/5/saudi-arabia-to-allocate-18bn-for-desal-projects-4622033/>
- [Url 7]: <http://www.swcc.gov.sa>
- [Url 8]: Silt Density Index (SDI) Measurement & Testing. http://www.Watertreatmentguide.com/silt_density_index.htm
- [Url 9]: http://www.separationprocesses.com/Membrane/MT_ChpRO-7.htm
- [Url 10]: <http://www.membranes.com/docs/tab/TAB111.pdf>
- [Url 11]: <http://www.eia.gov/>
- [Url 12]: <http://www.nrel.gov/>
- [Url 13]: <http://world-nuclear.org/>
- [Url 14]: www-pub.iaea.org
- [Url 15]: www.avsa.bel.tr
- [Url 16]: <http://esa.un.org/unpd/wup/index.htm>

[Url 17]:<http://desalination.edu.au/2014/10/why-we-need-seawater-desalination-plants/#.VKRZ9SuUeSo>

EK A: Deniz suyu kimyasal kompozisyonu

Element	Kons. ppm	Çözünmüş Kimyasal Türü	Element	Kons. ppm	Çözünmüş Kimyasal Türü		
Chlorine	Cl	1.95×10^4	Cl ⁻	Helium	He	6.8×10^{-6}	He gas
Sodium	Na	1.077×10^4	Na ⁺	Germanium	Ge	5×10^{-6}	Ge(OH) ₄ , H ₃ GeO ₄ ⁻
Magnesium	Mg	1.290×10^3	Mg ²⁺ , MgSO ₄ , MgCO ₃	Rhenium	Re	4×10^{-6}	ReO ₄ ⁻
Sulphur	S	9.05×10^2	SO ₄ ²⁻ , NaSO ₄ ⁺	Cobalt	Co	3×10^{-6}	Co ²⁺
Calcium	Ca	4.12×10^2	Ca ²⁺	Lanthanum	La	3×10^{-6}	La(OH) ₃ , La ³⁺ , LaCO ₃ ⁺
Potassium	K	3.80×10^2	K ⁺	Neodymium	Nd	3×10^{-6}	Nd(OH) ₃ , NdCO ₃ ⁺ , Nd ³⁺
Bromine	Br	67	Br ⁻	Cerium	Ce	2×10^{-6}	Ce(OH) ₃ , CeCO ₃ ⁺ , Ce ³⁺
Carbon	C	28	HCO ₃ ⁻ , CO ₃ ²⁻ , CO ₂ gas	Lead	Pb	2×10^{-6}	PbCO ₃ , Pb(CO ₃) ₂ ²⁻ , Pb ²⁺
Nitrogen	N	11.5	N ₂ gas, NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺	Silver	Ag	2×10^{-6}	AgCl ₂ ⁻
Strontium	Sr	8	Sr ²⁺	Gallium	Ga	2×10^{-6}	Ga(OH) ₄ ⁻
Oxygen	O	6	O ₂ gas	Tantalum	Ta	2×10^{-6}	Ta(OH) ₅
Boron	B	4.4	B(OH) ₃ , B(OH) ₄ ⁻ , H ₂ BO ₃ ⁻	Yttrium	Y	1×10^{-6}	YCO ₃ ⁺ , Y ³⁺
Silicon	Si	2	Si(OH) ₄	Mercury	Hg	1×10^{-6}	HgCl ₄ ²⁻ , HgCl ₂
Fluorine	F	1.3	F ⁻ , MgF ⁺	Dysprosium	Dy	9×10^{-7}	Dy(OH) ₃ , DyCO ₃ ⁺ , Dy ³⁺
Argon	Ar	0.43	Ar gas	Erbium	Er	8×10^{-7}	Er(OH) ₃ , ErCO ₃ ⁺ , Er ³⁺
Lithium	Li	0.18	Li ⁺	Ytterbium	Yb	8×10^{-7}	Yb(OH) ₃ , YbCO ₃ ⁺
Rubidium	Rb	0.12	Rb ⁺	Gadolinium	Gd	7×10^{-7}	Gd(OH) ₃ , GdCO ₃ ⁺ , Gd ³⁺
Phosphorus	P	6×10^{-2}	HPO ₄ ²⁻ , PO ₄ ³⁻ , H ₂ PO ₄ ⁻	Praseodymium	Pr	6×10^{-7}	Pr(OH) ₃ , PrCO ₃ ⁺ , Pr ³⁺
Iodine	I	6×10^{-2}	IO ₃ ⁻ , I ⁻	Samarium	Sm	6×10^{-7}	Sm(OH) ₃ , SmCO ₃ ⁺ , Sm ³⁺
Barium	Ba	2×10^{-2}	Ba ²⁺	Tin	Sn	6×10^{-7}	SnO(OH) ₃ ⁻
Molybdenum	Mo	1×10^{-2}	MoO ₄ ²⁻	Scandium	Sc	6×10^{-7}	Sc(OH) ₃
Uranium	U	3.2×10^{-3}	UO ₂ (CO ₃) ₂ ⁴⁻	Holmium	Ho	3×10^{-7}	Ho(OH) ₃ , HoCO ₃ ⁺ , Ho ³⁺
Vanadium	V	2×10^{-3}	H ₂ VO ₄ ⁻ , HVO ₄ ²⁻	Beryllium	Be	2×10^{-7}	BeOH ⁺
Arsenic	As	2×10^{-3}	HAsO ₄ ²⁻ , H ₂ AsO ₄ ⁻	Lutetium	Lu	2×10^{-7}	Lu(OH) ₂ ⁺ , LuCO ₃ ⁺
Titanium	Ti	1×10^{-3}	Ti(OH) ₄	Europium	Eu	2×10^{-7}	Eu(OH) ₃ , EuCo ₃ ⁺ , Eu ³⁺
Zinc	Zn	5×10^{-4}	ZnOH ⁺ , Zn ²⁺ , ZnCO ₃	Indium	In	2×10^{-7}	In(OH) ₂ ⁺ , In(OH) ₃
Nickel	Ni	4.8×10^{-4}	Ni ²⁺ , NiCO ₃ , NiCl ⁺	Thulium	Tm	2×10^{-7}	Tm(OH) ₃ , TmCO ₃ , Tm ³⁺
Aluminium	Al	4×10^{-4}	Al(OH) ₄ ⁻	Terbium	Tb	1×10^{-7}	Tb(OH) ₃ , TbCO ₃ ⁺ , Tb ³⁺
Caesium	Cs	4×10^{-4}	Cs ⁺	Palladium	Pd	5×10^{-8}	Pd ²⁺ , PdCl ⁺
Chromium	Cr	3×10^{-4}	Cr(OH) ₃ , CrO ₄ ²⁻ , NaCrO ₄ ⁻	Gold	Au	2×10^{-8}	AuCl ₂ ⁻
Antimony	Sb	2×10^{-4}	Sb(OH) ₆ ⁻	Bismuth	Bi	2×10^{-8}	BiO ⁺ , Bi(OH) ₂ ⁺
Krypton	Kr	2×10^{-4}	Kr gas	Tellurium	Te	1×10^{-8}	Te(OH) ₆
Selenium	Se	2×10^{-4}	SeO ₃ ²⁻ , SeO ₄ ²⁻	Radium	Ra	7×10^{-11}	Ra ²⁺
Neon	Ne	1.2×10^{-4}	Ne gas	Protactinium	Pa	5×10^{-11}	Not known
Cadmium	Cd	1×10^{-4}	CdCl ₂	Radon	Rn	6×10^{-16}	Rn gas
Copper	Cu	1×10^{-4}	CuCO ₃ , Cu(OH) ⁺ , Cu ²⁺	Polonium	Po	5×10^{-16}	Po ₃ ²⁻ , Po(OH) ₂ [?]
Tungsten	W	1×10^{-4}	WO ₄ ²⁻				
Iron	Fe	5.5×10^{-5}	Fe(OH) ₂ ⁺ , Fe(OH) ₄ ⁻				
Xenon	Xe	5×10^{-5}	Xe gas				
Manganese	Mn	3×10^{-5}	Mn ²⁺ , MnCl ⁺				
Zirconium	Zr	3×10^{-5}	Zr(OH) ₄				
Niobium	Nb	1×10^{-5}	Nb(OH) ₆ ⁻				
Thallium	Tl	1×10^{-5}	Tl ⁺				
Thorium	Th	1×10^{-5}	Th(OH) ₄				
Hafnium	Hf	7×10^{-6}	Hf(OH) ₅ ⁻				

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgileri

Adı Soyadı : Yusuf BAŞARAN
Doğum Yeri : Bursa-Gemlik
Doğum Tarihi : 05.09.1982
e-posta : ybasaran@ormansu.gov.tr

Öğrenim Durumu

Lise : Gemlik Lisesi 1996-1999
Lisans : Atatürk Üniversitesi -Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü - 2000-2004
Yüksek Lisans : İstanbul Teknik Üniversitesi - Fen Bilimleri Fakültesi, Çevre Bilimleri ve Mühendisliği A.B.D. - 2005-2009

İş Deneyimleri

- ✓ **İstanbul Teknik Üniversitesi-** Çevre Mühendisliği Laboratuvarı- Laborant - 2006-2007
- ✓ **Artek Çevre Danışmanlık, Ölçüm ve Analiz Laboratuvarları** – Çevre Mühendisi, 2007
- ✓ **Gebze Belediyeler Birliği**, Çevre Mühendisi, 2007
- ✓ **Gebze Belediyesi**, Çevre Mühendisi, 2008-2010
- ✓ **Bursa Su ve Kanalizasyon İdaresi-** Çevre Mühendisi, 2010-2012
- ✓ **Orman ve Su İşleri Bakanlığı-** Su Yönetimi Genel Müdürlüğü- Uzman Yardımcısı, 2011- devam ediyor