

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**TERS OSMOZ KONSANTRE AKIMLARININ DENİZ
ORTAMINDAKİ SEYRELME VE DAĞILIM MODELLEMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÖKHAN BOZKURT

DENİZLİ, TEMMUZ - 2018

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**TERS OSMOZ KONSANTRE AKIMLARININ DENİZ
ORTAMINDAKİ SEYRELME VE DAĞILIM MODELLEMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÖKHAN BOZKURT

DENİZLİ, TEMMUZ - 2018

KABUL VE ONAY SAYFASI

GÖKHAN BOZKURT tarafından hazırlanan "TERS OSMOZ KONSANTRE AKIMLARININ DENİZ ORTAMINDAKİ SEYRELME VE DAĞILIM MODELLEMESİ" adlı tez çalışmasının savunma sınavı 13.07.2018 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

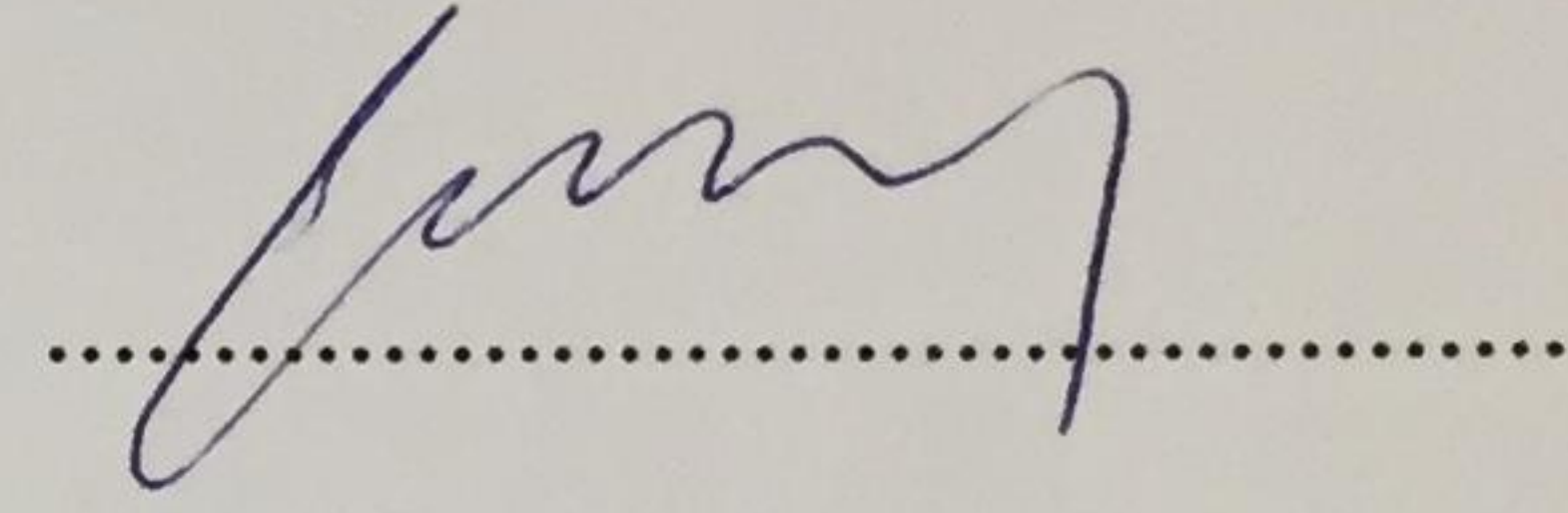
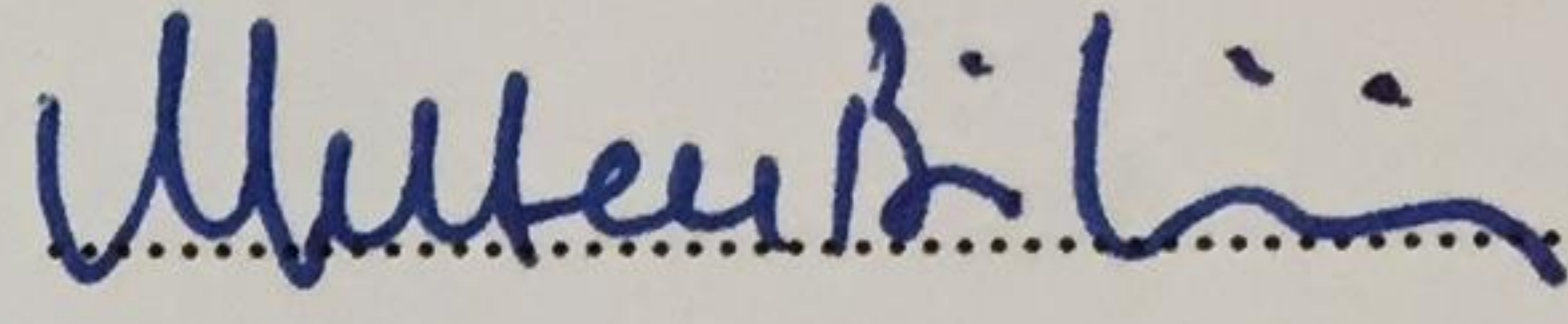
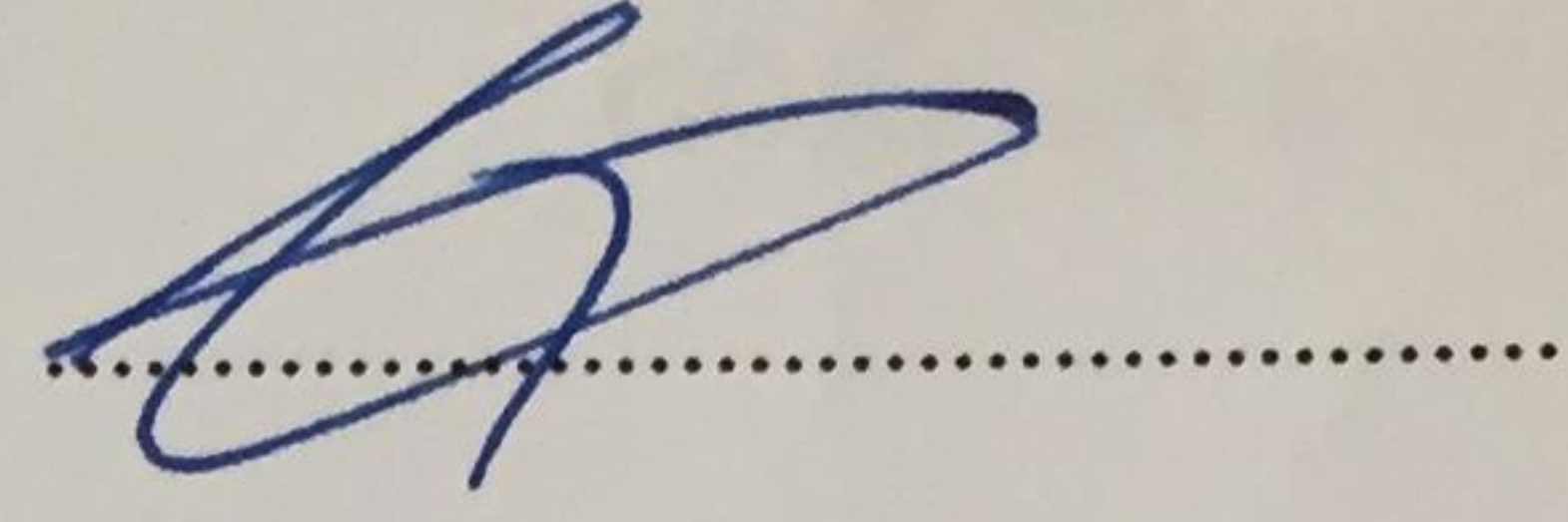
Jüri Üyeleri

İmza

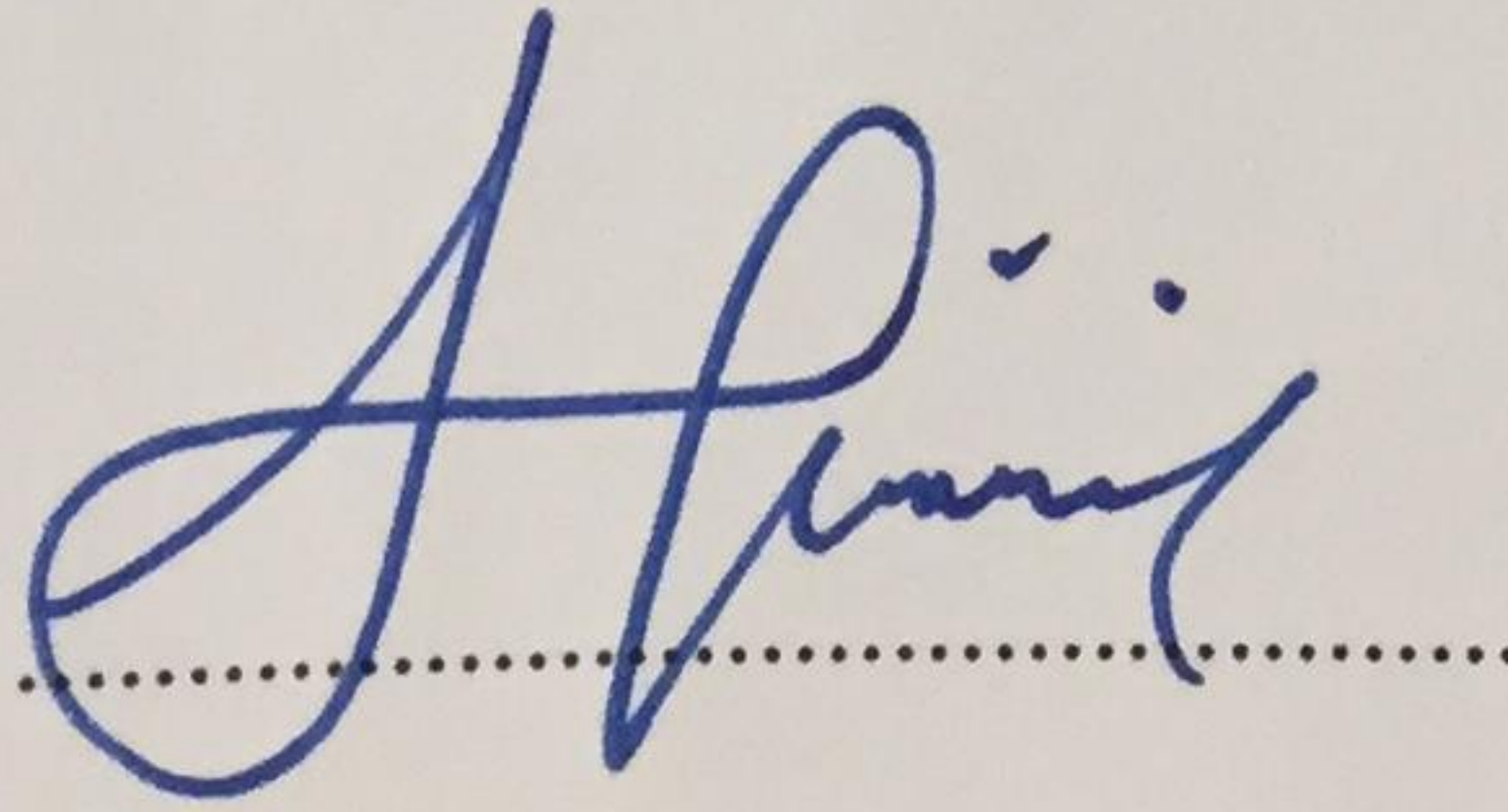
Danışman
Prof. Dr. Vedat UYAK

Üye
Doç. Dr. Meltem BİLİCİ BAŞKAN
(Pamukkale Üniversitesi)

Üye
Doç. Dr. Kadir ÖZDEMİR
(Bülent Ecevit Üniversitesi)



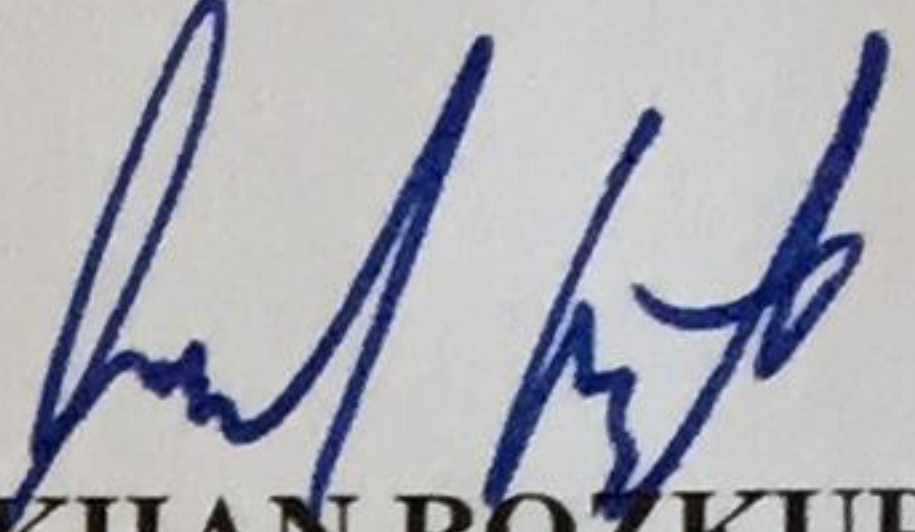
Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 25/07/2018 tarih ve 31/11-2-2 sayılı kararıyla onaylanmıştır.



Prof. Dr. Uğur YÜCEL

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.


GÖKHAN BOZKURT

ÖZET

**TERS OSMOZ KONSANTRE AKIMLARININ DENİZ ORTAMINDAKİ
SEYRELME VE DAĞILIM MODELLEMESİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
GÖKHAN BOZKURT
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. VEDAT UYAK)**

DENİZLİ, 2018

Dünyada iklim değişikliği ve kuraklığın etkisiyle alternatif su kaynaklarına olan talep hızlı bir şekilde artmıştır. Son yıllarda birçok ülke, deniz suyundan tuz giderme yöntemiyle tatlı su elde etmeye başlamıştır. Ters osmoz (RO) sistemi ile deniz suyundan içme suyu elde edilirken diğer yandan % 40-60 oranında RO sisteminin bir çıktısı olarak konsantre tuzlu su akımı oluşmaktadır. Söz konusu konsantre akımın uygun şekilde bertaraf edilmesi önem arz etmektedir.

Bu çalışmada, Muğla İli Bodrum İlçesinde deniz suyundan içme ve kullanma suyu üretimi yapan 3 adet RO sistemi incelenerek bu tesislerin konsantre akımlarının deşarj edildiği deniz ortamındaki konsantrasyon dağılımları Amerika Birleşik Devletleri (ABD) Çevre Koruma Ajansı (EPA) tarafından geliştirilen Visual Plumes (VP) paket programı ile modellenmiştir. Bu program ile karışım bölgesi seyrelme karakteristiği ve geometrisi üzerinde durularak deniz ortamına deşarj edilen konsantre akımın deniz suyundaki dağılım davranışı ortaya çıkarılmıştır.

Yapılan çalışmalarda deşarj edilen konsantre tuzlu suların Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (ÇŞB) tarafından belirlenmiş tuzluluk değeri seyrelme kriterleri olan 50 metre yarıçaplı dairesel alan sınırdaki seyrelme sağlanarak tuzluluk artışının 2 ppt sınır değerini aşmadığı, ayrıca yakın alan bölgesinde meydana gelen seyrelme ile Akdeniz endemiği olan *Posidonia Oceanica (L.) Delile'nin* olumsuz etkilendiği 39 psu tuzluluk konsantrasyonu sınır değerinin altında konsantrasyonlara kadar seyreltiği tespit edilmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Visual Plume, Ters Osmoz, Modelleme, Seyrelme.

ABSTRACT

**DILUTION AND DISTRIBUTION MODELING OF REVERSE
OSMOSIS CONCENTRATE ON CURRENT MARINE
ENVIRONMENT.
MSC THESIS
GÖKHAN BOZKURT
PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
ENVIRONMENTAL ENGINEERING
(SUPERVISOR:PROF. DR. VEDAT UYAK)**

DENİZLİ, 2018

With the effect of climate change and drought in the world, demand for alternative water resources has increased rapidly. In recent years, many countries have started to obtain fresh water by using desalination technique from seawater. While the reverse osmosis (RO) system obtains drinking water from seawater, on the other hand, concentrated saline flow forms as an output of 40-60 % RO system. It is important that the concentrate is properly disposed of.

In this study, 3 RO systems that produce drinking water from marine water in Muğla, Bodrum basin were investigated and concentration distributions in the sea environment where the concentrate currents of these facilities were discharged were measured using the Visual Plumes (VP) package developed by the United States Environmental Protection Agency (EPA) program. With this program, the distribution behavior of the concentrated current, which is discharged to the sea environment, has been revealed by focusing on the dilution characterization and geometry of the mixing zone.

Concentrated saline wastewater discharged during the studies was diluted in the 50 m radius circular area defined by Ministry of Environment and Urbanization (MOEF), and the salinity increase did not exceed the 2 ppt limit value, and the positive ending of the Mediterranean endemic species *Posidonia Oceanica* (L.) *Delile* it was found that the 39 psu salinity concentration negatively influenced by concentrations was below the limit value.

KEYWORDS: Visual Plume, Reverse Osmosis, Modelling, Dilution.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	vi
TABLO LİSTESİ	ix
KISALTMALAR	xi
ÖNSÖZ	xii
1. GİRİŞ	1
2. TÜRKİYE’DE İÇME VE KULLANMA SUYU POTANSİYELİ	5
2.1 Dünyada ve Türkiye’ de Su Potansiyeli ve Kullanılabilirliği	6
2.2 Küresel İklim Değişikliğinin Su Kaynakları Üzerindeki Etkisi	8
2.3 İçme ve Kullanma Amaçlı Alternatif Su Kaynakları	10
3. DENİZ SUYU ÖZELLİKLERİ VE KULLANIMI	12
3.1 Deniz Suyunun İçme ve Kullanma Suyu Amaçlı Kullanımı	13
3.1.1 Buharlaştırma Prosesleri	14
3.1.2 Membran Prosesleri	15
3.1.2.1 Deniz Suyundan İçme ve Kullanma Suyu Eldesinde Ters Osmoz Kullanımı.....	16
3.1.2.2 Deniz Suyundan İçme ve Kullanma Suyu Eldesinde Kullanılan RO Membran Modülleri	18
3.1.2.2.1 Spiral Sargılı Membran Modülleri.....	18
3.1.2.2.2 İçi Boşluklu Fiber Membran Modülleri	19
3.1.2.3 Ters Osmoz Kullanımında Su Alma-Arıtma ve Bertaraf Sistemleri ..	20
3.1.2.3.1 Su Alma Yapıları	20
3.1.2.3.2 Arıtma Sistemleri	21
3.1.2.3.3 Bertaraf Sistemleri	24
4. MODELLEME KAVRAMI	26
4.1 Modellerin Sınıflandırılması	27
4.1.1 Deterministik modeller.....	27
4.1.2 Stokastik modeller.....	27

4.1.3	Sabit Durum Modeli.....	27
4.1.4	Hidrodinamik Modeller.....	27
4.1.5	Dinamik modeller	28
4.1.5.1	İlgili Proseslerin Boyut Analizine Dayanan Modeller	28
4.1.5.2	Diferansiyel Denklemlerin İntegrasyonuna Dayanan Modeller	29
4.2	Yüksek Konsantrasyonda Deşarj Edilen Atıksuların Seyrelmesi İçin Kullanılan Ticari Modeller	30
4.2.1	Cormix Paket Modelleme Programları	31
4.2.2	Visual Plumes Paket Modelleme Programları	32
4.2.3	Cormix ve Visual Plume Ticari Modellerinin Karşılaştırılması	33
4.3	Modelleme Yaklaşımlarında Konsantre Tuzlu Su Deşarj Davranışı	37
4.4	Konsantre Deşarj Modeli.....	42
4.4.1	Yakın Alan Seyrelme Katsayıları Hesapları	47
4.4.2	Uzak Alan Seyrelme Katsayıları Hesapları.....	48
5.	METERYAL VE METOD	49
5.1	Çalışma Alanının Tanımı	49
5.2	Numunelerin Toplanması	49
5.3	Kimyasal Analiz Prosedürü	51
5.4	İncelenen tesisler ve özellikleri	52
5.4.1	RO Sistemi ile İşletilen Tesis 1'e Ait Genel Özellikler	55
5.4.1.1	Tesis 1 Deşarj Hattı Özellikleri.....	57
5.4.1.2	Tesis 1 Su Kalitesi Özellikleri.....	58
5.4.1.3	Tesis 1 için Belirlenen Numune Alma Noktaları	59
5.4.2	RO Sistemi İle İşletilen Tesis 2'e Ait Genel Özellikler.....	60
5.4.2.1	Tesis 2 Deşarj Hattı Özellikleri.....	61
5.4.2.2	Tesis 2 Su kalitesi Özellikleri	61
5.4.2.3	Tesis 2 İçin Belirlenen Numune Alma Noktaları.....	63
5.4.3	RO Sistemi ile İşletilen Tesis 3'e Ait Genel Özellikler	64
5.4.3.1	Tesis 3 Deşarj Hattı Özellikleri.....	65
5.4.3.2	Tesis 3 Su Kalitesi Özellikleri.....	66
5.4.3.3	Tesis 3 İçin Belirlenen Numune Alma Noktaları.....	67
5.5	Modelleme Prosedürü.....	68
5.5.1	Visual Plumes Modeli	68
5.5.2	Ortam ve Deşarj Verileri.....	69

5.5.3	Modelleme Prosedürü	70
6.	BULGULAR	71
6.1	Tesis 1'e Ait RO Tesisi Konsantre Deşarj Sularının Modellenmesi.....	71
6.2	Tesis 2'ye Ait RO Tesisi Konsantre Deşarj Sularının Modellenmesi.....	75
6.3	Tesis 3'e Ait RO Tesisi Konsantre Deşarj Sularının Modellenmesi.....	79
6.4	3 Ayrı Tesise Ait Modelleme Program Çıktısı Grafiklerinin Değerlendirilmesi	83
6.5	RO Tesisleri Konsantre Deşarj Sularının Denizel Bentik Topluluklar Üzerindeki Etkisi	86
6.6	3 Farklı Senaryo İçin Program Denemeleri.....	90
6.6.1	40 m Derinlik Seviyesinde Farklı Debilerde RO Konsantresi Deşarjı VP Çıktıları	90
6.6.2	Farklı Debilerde Deşarjın Deniz Yüzeyine Dik Olarak Yapıldığı Durumda Elde Edilen VP Çıktıları	91
6.6.3	Farklı Debilerde Çok Portlu RO Konsantresi Deşarjının VP çıktıları	92
7.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	94
8.	KAYNAKLAR	95
9.	ÖZGEÇMİŞ.....	98

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Osmoz ve ters osmoz işlemi.....	3
Şekil 2.1: Dünya’da su kaynaklarının dağılımı .	5
Şekil 2.2: Türkiye nüfus projeksiyonu.....	7
Şekil 2.3: Havza bazlı su potansiyelleri haritası.....	7
Şekil 3.1: Derinlik ile sıcaklığın dönemsel değişimi.....	13
Şekil 3.2: Membran prosesi	15
Şekil 3.3: Membran tipine bağlı olarak su içerisinde bulunan maddelerin giderimi	16
Şekil 3.4: RO Tesisinden kaynaklanan deşarj içeriği	17
Şekil 3.5: Spiral sargılı membran modülleri.....	19
Şekil 3.6: İçi boşluklu fiber membran modülleri.....	19
Şekil 3.7: Dünya genelindeki desalinasyon tesisleri kapasiteleri ve arıtılan Su karakteristiğine göre küresel dağılımı	21
Şekil 3.8: Desalinasyon tesislerinde yüzey deşarjı ve çok portlu batık deşarj	25
Şekil 4.1: Konsantre atıksuyun alıcı ortama deşarjı ile yakın ve uzak alan bölgesinde oluşan pozitif hüzme hareketi (a) ve negatif hüzme hareketi (b)	38
Şekil 4.2: Jet deşarjının ana geometrik karakteristikleri.....	40
Şekil 4.3: Jet deşarjının ana geometrik karakteristikleri.....	40
Şekil 4.4: Yakın ve uzak alan bölgelerinde jet deşarjı planı.....	41
Şekil 4.5: Konsantre ve atık suları çıkışı karşılaştıran yakın ve uzak alan bölgeleri deşarjı	41
Şekil 4.6: Eğimli tabanla durgun ortam içine deşarj edilen negatif yüzer jetin şematik yan görünüşü	43
Şekil 4.7: Çeşitli tuzlu su deşarj konfigürasyonları ve atık sular için karıştırma özellikleri ve madde dağılımları. a) Kanal veya savak yoluyla RO tesisi (yoğun atıksu) kıyıdan deşarj, b) Termal tesislerde (soğutma suyuyla karıştırılan yoğun atıksu) kanal veya savak ile kıyıdan deşarj, c) boru hattı ve nozül veya difüzör yoluyla su altında deşarj (yoğun atıksu)	46
Şekil 4.8: Eğimli jet olarak tuzlu su deşarjının şematik gösterimi	47

Şekil 5.1: Örnek toplama haritası	50
Şekil 5.2: Tesis 1 için RO desalinasyon çıkış suyu karakteristiği	55
Şekil 5.3: Tesis 1' ait RO Arıtma Tesisi İç Görüntüsü-I	55
Şekil 5.4: Tesis 1' ait RO Arıtma Tesisi İç Görüntüsü-II.....	56
Şekil 5.5: Tesis 1 ters ozmos tesisi uydu görüntüsü	57
Şekil 5.6: Tesis 1'e ait konsantre atıksu deşarj noktası	57
Şekil 5.7: Ters ozmos tesisi konsantre atıksularının deşarj noktası, koruma bandı ve ölçüm yapılan noktaların genel görünümü.....	60
Şekil 5.8: Tesis 2'ye ait deniz suyu arıtma tesisi iç görüntüsü-I	61
Şekil 5.9: Tesis 2 için ters ozmos tesisi konsantre atıksularının deşarj noktası, koruma bandı ve ölçüm yapılan noktaların genel görünümü	63
Şekil 5.10: Tesis 3'e ait denizsuyu arıtma tesisi iç görüntüsü.....	65
Şekil 5.11: Tesis 3'e ait konsantre atıksu deşarj noktası	66
Şekil 5.12: Tesis 3 için ters ozmoz tesisi konsantre atıksularının deşarj noktası, koruma bandı ve ölçüm yapılan noktaların genel görünümü.....	68
Şekil 6.1: Tesis 1 için VP modeline girilen verilerin windows ekranında difüzör tabında görüntüsü	74
Şekil 6.2: Tesis 1 için VP modeline girilen verilerin windows ekranında ortam tabında görüntüsü	74
Şekil 6.3: Tesis 1'e ait modelleme program çıktısı verileri.....	75
Şekil 6.4: Tesis 2 için VP modeline girilen verilerin windows ekranında difüzör tabında görüntüsü	76
Şekil 6.5: Tesis 2 için VP modeline girilen verilerin windows ekranında ortam verileri tabında görüntüsü	77
Şekil 6.6: Tesis 2'ye ait modelleme program çıktısı grafikleri	80
Şekil 6.7: Tesis 3 için vp modeline girilen verilerin windows ekranında difüzör tabında görüntüsü	81
Şekil 6.8: Tesis 3 için VP modeline girilen verilerin windows ekranında ortam verileri tabında görüntüsü	83
Şekil 6.9: Tesis 3'e ait modelleme program çıktısı grafikleri	83
Şekil 6.10: 3 ayrı tesise ait modelleme program çıktısı grafikleri.....	83
Şekil 6.11: Hüzme yüksekliği.....	84
Şekil 6.12: Ortam Özellikleri.....	84
Şekil 6.13: Plan görüntüsü.....	85

Şekil 6.14: Hüzme seyrelme tahmini.....	85
--	----

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.1: Ülkemizde su kaynakları potansiyeli	6
Tablo 3.1: Deniz suyundaki önemli anyon ve katyonlar	12
Tablo 3.2: Dünya genelinde bazı büyük RO tesislerinin ön arıtma ve deşarj tasarımı..	23
Tablo 3.3: Desalinasyon tesisleri için konsantre bertaraf seçeneklerinin karşılaştırılması	25
Tablo 4.1: Diferansiyel denklemlerin integrasyonuna dayanan ticari modeller: CORJET ve UM3'ün karşılaştırılması	34
Tablo 5.1: Deniz suyu kalite parametreleri ve ölçüm yöntemleri	50
Tablo 5.2: Deniz suyu kalite parametreleri (Tesis-3).....	51
Tablo 5.3: Deniz suyunun genel kalite kriterleri (SKKY Tablo 4 deniz suyunun genel kalite kriterleri)	51
Tablo 5.4: RO besleme suyu analiz sonuçları	53
Tablo 5.5: RO konsantre suyu analiz sonuçları.....	53
Tablo 5.6: RO süzüntü suyu analiz sonuçları.....	54
Tablo 5.7: Tesis 1 için deniz suyu parametreleri	58
Tablo 5.8: Tesis 1 için süzüntü suyu parametreleri.....	58
Tablo 5.9: Tesis 1 için konsantre atıksu su parametreleri.....	59
Tablo 5.10: Tesis 1 için beş farklı ölçüm noktasında alınan deniz suyu numunelerinin analiz sonuçları	59
Tablo 5.11: Tesis 2 için deniz suyu parametreleri	62
Tablo 5.12: Tesis 2 için süzüntü suyu parametreleri.....	62
Tablo 5.13: Tesis 2 için konsantre atıksu su parametreleri.....	63
Tablo 5.14: Tesis 2 için beş farklı ölçüm noktasında alınan deniz suyu numunelerinin analiz sonuçları	64
Tablo 5.15: Tesis 3 için konsantre atıksu su parametreleri	66
Tablo 5.16: Tesis 3 için süzüntü suyu parametreleri.....	67
Tablo 5.17: Tesis 3 için konsantre atıksu su parametreleri	67
Tablo 5.18: Tesis 3 için beş farklı ölçüm noktasında alınan deniz suyu numunelerinin analiz sonuçları	68

Tablo 5.19: Tesis 1 tasarım ve ortam verileri.....	69
Tablo 5.20: Tesis 2 tasarım ve ortam verileri.....	69
Tablo 5.21: Tesis 3 tasarım ve ortam verileri.....	70
Tablo 6.1: Tesis 1'e ait yakın alan için modelleme program çıktısı verileri.....	73
Tablo 6.2: Tesis 1'e ait uzak alan için modelleme program çıktısı verileri	73
Tablo 6.3: Tesis 2'ye ait yakın alan modellemesi program çıktısı verileri	78
Tablo 6.4: Tesis 2'ye ait uzak alan için modelleme program çıktısı verileri	78
Tablo 6.5: Tesis 3'e ait yakın alan modellemesi program çıktısı verileri	82
Tablo 6.6: Tesis 3'e ait uzak alan modellemesi program çıktısı verileri	82
Tablo 6.7: Akdeniz'de bulunan farklı ekosistemler ve türler için tuz konsantrasyonunda önerilen sınırlar.	87
Tablo 6.8: Desalinasyon tesisleri tuzlu su deşarjları için mevzuatlar ve tuzluluk limitleri.....	88
Tablo 6.9: Farklı debilerde RO konsantresi deşarjında hüzmengin 40 m derinlik seviyesine ulaştığı noktadaki VP çıktıları	91
Tablo 6.10: Farklı debilerde deşarjın deniz yüzeyine dik olarak deşarj edildiği durumda elde edilen VP çıktıları.....	92
Tablo 6.11: Farklı debilerde çok portlu RO konsantresi deşarjı VP çıktıları.....	93

KISALTMA LİSTESİ

RO	: Ters Osmoz
DSİ	: Devlet Su İşleri
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
DKM	: Doğa Koruma Merkezi
SPI	: Yağış İndisi
NPAI	: Normalleştirilmiş Yağış Anomali İndisi
PDSI	: Palmer Kuraklık Şiddet İndisi
IPCC	: İklim Değişikliği ile ilgili Hükümetler Arası Panel)
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü
CEDEX	: İspanya Araştırma Merkezi
ÇŞB	: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı
EPA	: Çevre Koruma Ajansı
CEAM	: Araştırma Değerlendirme Model Merkezi
PSU	: Pratik Tuzluluk Birimi.
SM	: Standart Yöntemler

ÖNSÖZ

Yüksek lisans öğrenimim ve tez çalışmalarım sırasında bana değerli vaktini ayıran, bilgi ve tecrübelerini benden esirgemeyen değerli tez danışmanım Prof. Dr. Vedat UYAK'a, ve tüm Pamukkale Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölüm hocalarıma yüksek lisans eğitimim süresince bilgi ve yardımları ile yanımda olduklarından dolayı teşekkürü bir borç bilirim. Mesleğimi sevmemde büyük katkıları olduğuna inandığım Doç. Dr. Özgür ÖZDEMİR'e, Muğla Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'ndeki çalışma arkadaşlarıma, ayrıca hayatım boyunca yanımda olan sevgili aileme sonsuz teşekkür ve minnetlerimi sunarım.

1. GİRİŞ

Sürdürülebilir kalkınmanın, temel esası, insan faaliyetlerinden doğan tahribat, zarar ve hasarı ortadan kaldırarak doğanın ve doğal kaynakların sürekli kullanılabilirliğini sağlamaktır. Atıksu çerçevesinde düşünüldüğünde ise, sürdürülebilir kalkınma, insan faaliyetlerinden kaynaklanan atık suların, doğanın dengesini bozmadan, ekosistemi tehdit etmeden, çevreyi en az kirletecek seviyeye getirilmesi için bertaraf edilmesi olarak anlaşılmalıdır. Bunun sağlanabilmesi için, birçok arıtma yöntemi geliştirilmiştir. Bu sistemlerin birbirine karşı avantajlı ya da dezavantajlı özellikleri karşılaştırılmakta ve mevcut şartlar için en uygun yöntemin belirlenmesi gerçekleştirilmektedir.

Arıtmanın dışında, atıksuların doğa (ekosistem) ve toplum sağlığını etkilemeden bertarafı için, üretilen atıksuyun bir ön arıtım sürecinden geçirilerek yada geçirilmeden, alıcı ortama(deniz, göl veya akarsu gibi)deşarj edilmesi de mümkün gözükmektedir. İster sucul kaynaklı olsun, isterse karasal kaynaklı olsun, su kirliliğinin araştırılmasındaki amaç; kirliliğin canlılar veya canlı kaynaklar üzerinde doğrudan ya da dolaylı etkilerinin incelenmesi ve elde edilen sonuçlara göre gerekli önlemleri almaktır(Kocamış 2006).

Birçok sebeple meydana gelen deniz kirliliği, toplumların korunması ve insanlığın geleceği bakımından büyük önem arz etmektedir. Günümüz toplumları, üretim teknolojisi sonucu ekolojik dengelyi tahrip etmekte, kısa dönemde geçimlerini sağlama endişesi içinde, uzun dönemin birçok imkânlarını yok etmektedir. Bu kirlilik, besin zinciri boyunca giderek artmakta ve sonuçta tüm canlı sistemler bu kirlenmeden etkilenmektedir.

Dünyada iklim değışikliğı ve kuraklığın etkisiyle alternatif su kaynaklarından faydalanılmasına yönelik bir eğilim vardır. İçme ve kullanma suyu olarak kullanılmayan deniz suyundan, tatlı su üretilebilmektedir. Son yıllarda birçok ülke, deniz suyundan tuz giderme ile tatlı su elde etmektedir. Özellikle aşırı kurak olan Ortadoğı ülkelerinde, deniz suyundan tatlı su üretiminde artış olduğu görülmektedir.

Son yıllardaki teknolojik gelişmeler ile üretim maliyetlerindeki düşüşler sebebiyle deniz suyu arıtımında ters osmoz(RO) membranları tercih edilmektedir. Ters osmoz membran tesisleri, kullanıldıkları kurak bölgelerde tatlı su üretiminin garantisi olarak görülmektedir.

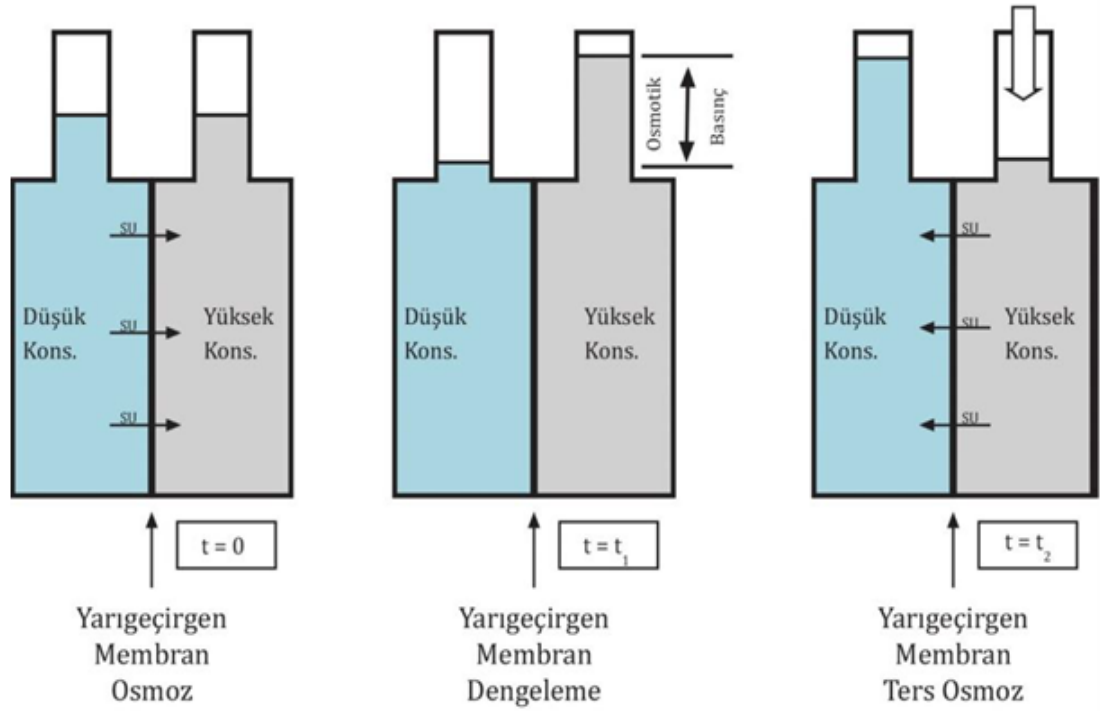
Osmoz olayı doğada canlılar üzerinde meydana gelen, su ile ilgili doğal bir olaydır. Ters Osmoz ise, bir membran teknolojisi olup, ozmotik basınç kullanılarak, mineralce zengin olan suyun, yarı geçirgen bir membranın diğer tarafına minerallerinden arınmış olarak geçirilmesi işlemidir. Suyun içerisinde bulunan birçok mineral, bakteri ve virüsler %99 saflığa kadar bu yöntem ile arındırılabilir. Ters osmoz'un başlıca kullanım yerleri arasında, buhar kazanları besli suyu hazırlanması, kaplamacılık, eczacılık, gıda ve meşrubat sanayi, içme suyu üretimi, ve hemodiyaliz tesisleri sayılabilir. Son yıllarda atık suların geri kazanılmasında ve arsenik gideriminde RO prosesi kullanılmaya başlamıştır.

Normal osmoz, doğada, aralarında yarı geçirgen, sadece suyun geçmesine müsaade eden, diğer maddeleri geçirmeyen bir membran bulunan farklı konsantrasyondaki iki sıvıdan, az yoğun ortamdan çok yoğun ortama su geçimiyle meydana gelir ve bu işlem iki taraf da denge sağlanana kadar devam eder. RO işleminde ise osmotik basınç kullanılarak, mineralce zengin olan suyun, yarı geçirgen bir membran'ın diğer tarafına mineralleri azaltılmış olarak geçirilmesi işlemidir.

RO prosesi ile su içerisinde küçük molekül halinde bulunan, MF ve UF yöntemiyle giderilemeyen, anyon ve katyon gibi iyonları gidermek mümkündür. RO işleminde kullanılan membranların gözenek çapları 0.1nm ila 1.5nm arasında değişmektedir. Bu RO sistemi ile, yüksek moleküllü organik kirleticileri, deterjanları ve spesifik pestisitleri gidermekte mümkündür.

Su oda sıcaklığında (20-30 °C) doğadaki en küçük sıvı moleküllü maddelerden biridir. Ters osmoz sistemleri özellikle suda çözünür halde bulunan sudan daha büyük moleküllü maddeleri giderir. Ters osmoz sistemlerindeki yarı geçirgen membran sayesinde suda çözünür halde bulunan maddelerde uzaklaştırılabilir. Ters osmoz işlemini tanımlamadan önce osmoz olayını anlamak gereklidir. Suda farklı miktarda çözülmüş maddeler içeren iki farklı

konsantrasyondaki çözelti yarı geçirgen bir membranla ayrıldığı zaman osmoz olayı gerçekleşir. Bazı maddeler membran arasından geçerken bazıları membrandan geçemez. Suda çözülmüş halde bulunan maddelerin osmotik basıncı, seyreltik bölgeden konsantre bölgeye suyu geçirerek suyun seyrelmesine neden olur ve bu olay membranın iki tarafında çözeltilerin konsantrasyonu eşit oluncaya kadar devam eder (Başaran 2015).



Şekil 1.1: Osmoz ve ters osmoz işlemi (Koyuncu 2018)

Ters osmoz işleminde ise konsantre bölgeye basınç uygulanarak osmoz işlemi tersine çevrilir. Yeterli basınç altında su konsantre bölgeden seyreltik bölgeye yarı geçirgen membran arasından geçer.

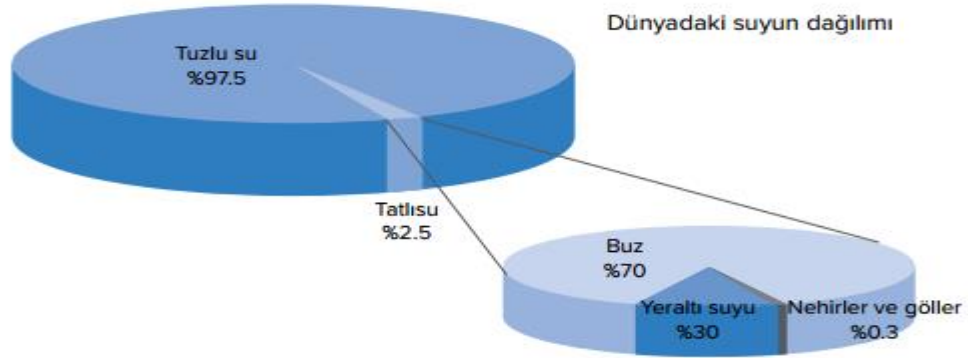
Yarı geçirgen membran sistemden geçen çözülmüş ve koloidal maddelerden arındırılmış çıkış suyu içme ve kullanma suyu olarak sistemden alınmaktadır. Ancak arıtım işlemi sonrası elde edilen suyun yanında, sistem verimliliğine(% 40-60) ve besleme suyunun özelliklerine bağlı olarak membrandan geçemeyen maddeleri içeren konsantrasyonu yüksek atıksu meydana gelmektedir. Oluşan bu atık suyun yönetimi prosesin kullanılabilirliği açısından önemli olmakla birlikte, atıksu karakteristiğine bağlı olarak, genellikle suyun tedarik edildiği alıcı su ortamında

deşarj edilebilmektedir. Ancak bu durumda konsantrasyonu yüksek atıksuyun sucul ortamda olumsuz evre koşullarına sebep olmaması açısından, iyi bir atıksu yönetimi ve deşarj konfigürasyonu önem arz etmektedir (Başaran 2015).

2. TÜRKİYE'DE İÇME VE KULLANMA SUYU POTANSİYELİ

2.1 Türkiye' de Su Potansiyeli ve Kullanılabilirliği

Dünyadaki toplam su miktarı 1,4 milyar km^3 'tür. Bu suların %97,5'i okyanuslarda ve denizlerde tuzlu su olarak, %2,5'i ise nehir ve göllerde tatlı su olarak bulunmaktadır. Kısıtlı olan tatlı su kaynaklarının da %90'ının kutuplarda ve yeraltında bulunması sebebiyle kolaylıkla ulaşılabilecek tatlı su miktarının ne kadar az olduğu anlaşılmaktadır (Muluk ve diğ. 2013).



Şekil 2.1: Dünya'da su kaynaklarının dağılımı (Muluk ve diğ. 2013)

Türkiye'de yıllık ortalama yağış yaklaşık 643 mm olup, bu rakam hacim olarak yılda ortalama 501 milyar m^3 suya tekabül etmektedir. Bu suyun 274 milyar m^3 'ü toprak ve su yüzeyleri ile buharlaşmalar yoluyla atmosfere geri dönmekte, 69 milyar m^3 'lük kısmı yeraltı suyunu beslemekte, 158 milyar m^3 'lük kısmı ise akışa geçerek akarsular vasıtasıyla denizlere ve kapalı havzalardaki göllere boşalmaktadır. Yeraltı suyunu besleyen 69 milyar m^3 'lük suyun 28 milyar m^3 'ü kaynak suları vasıtasıyla yerüstü suyuna tekrar katılmaktadır. Ayrıca komşu ülkelerden ülkemize gelen yılda ortalama 7 milyar m^3 su bulunmaktadır. Böylece ülkemizin toplam yerüstü suyu potansiyeli 193 milyar m^3 olmaktadır (DSİ 2014).

Yeraltı suyunu besleyen 41 milyar m³'de dikkate alındığında, ülkemizin toplam yenilenebilir su potansiyeli 234 milyar m³olarak hesaplanmıştır. Ancak günümüz teknik ve ekonomik şartları çerçevesinde, çeşitli amaçlara yönelik olarak tüketilebilecek yerüstü suyu potansiyeli yurt içindeki akarsulardan 95 milyar m³, komşu ülkelerden yurdumuza gelen akarsulardan 3 milyar m³olmak üzere, yılda ortalama toplam 98 milyar m³'tür. 14 milyar m³olarak belirlenen yeraltı suyu potansiyeli ile birlikte ülkemizin tüketilebilir yerüstü ve yeraltı su potansiyeli yılda ortalama toplam 112 milyar m³ olup, 44 milyar m³'ü kullanılmaktadır (DSİ 2014).

Tablo 1.1: Ülkemizde su kaynakları potansiyeli (DSİ 2014)

Yıllık ortalama yağış	643	mm/yıl
Türkiye'nin yüzölçümü	783.577	km ²
Yıllık yağış miktarı	501	milyar m ³
Buharlaşma	274	milyar m ³
Yer altına sızma	41	milyar m ³
Yüzey Suyu		
Yıllık yüzey akışı	186	milyar m ³
Kullanılabilir yüzey suyu	98	milyar m ³
Yer Altı Suyu		
Yıllık çekilebilir su miktarı	14	milyar m ³
Toplam Kullanılabilir Su (net)	112	milyar m ³
Gelişme Durumu		
DSİ Sulamalarında Kullanılan	32	milyar m ³
İçme Suyunda Kullanılan	7	milyar m ³
Sanayide Kullanılan	5	milyar m ³
Toplam Kullanılan Su	44	milyar m ³

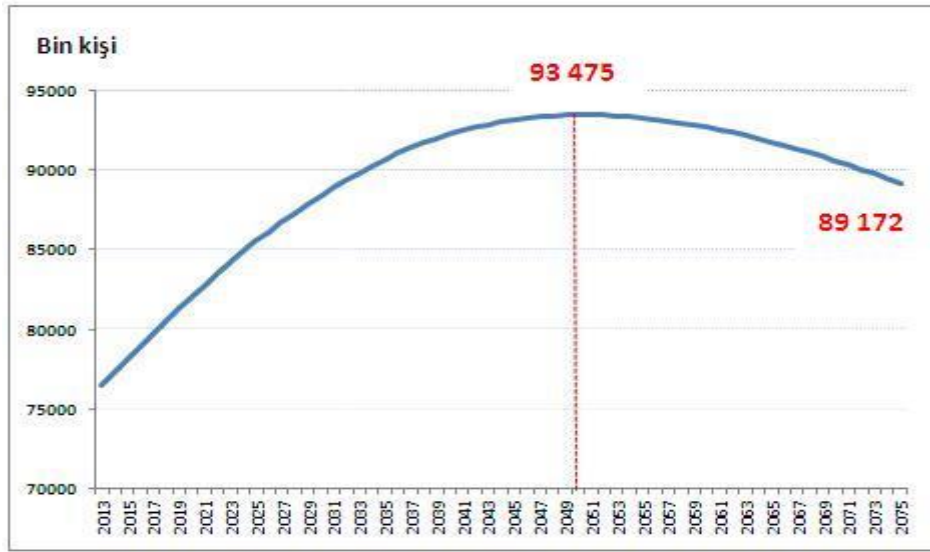
Su varlığına göre ülkeler aşağıdaki şekilde sınıflandırılmaktadır:

- Su Fakirliği: Yılda kişi başına düşen kullanılabilir su miktarı 1.000 m³'ten daha az.
- Su Azlığı: Yılda kişi başına düşen kullanılabilir su miktarı 2.000 m³'ten daha az.
- Su Zenginliği: Yılda kişi başına düşen kullanılabilir su miktarı 8.000-10.000 m³'ten daha fazla.

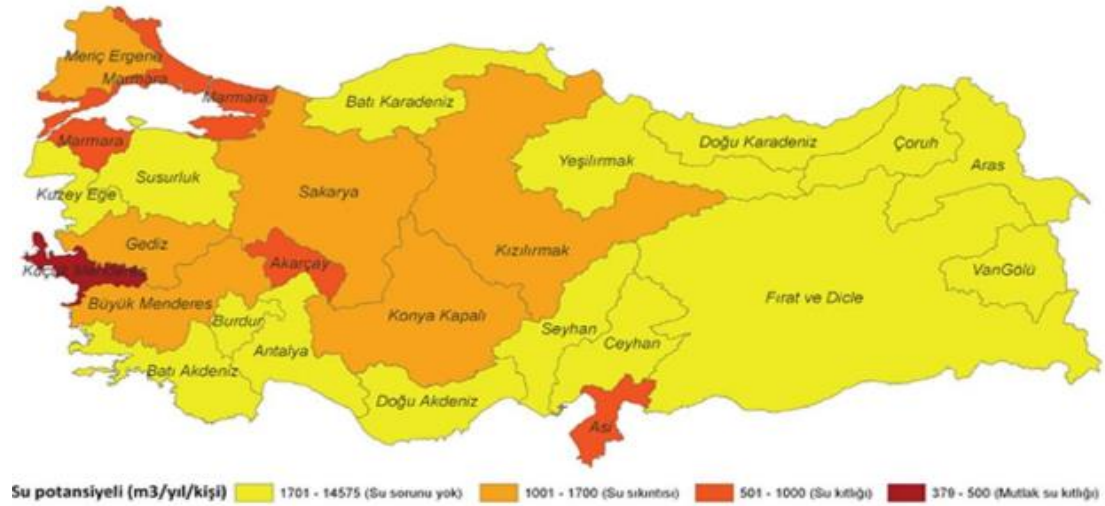
Kişi başına düşen yıllık kullanılabilir su miktarı 1.519 m³ civarında olması

sebebiyle ülkemiz su azlığı yaşayan bir ülke konumundadır (DSİ 2014).

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) nüfus projeksiyonuna göre ülkemiz 2049 nüfusu yaklaşık 94 milyon olacağı ön görülmüştür. Bu durumda 2049 yılı için kişi başına düşen kullanılabilir su miktarının 1.131 m³/yıl civarında olacağı söylenebilir. Söz konusu durumda ülkemiz su fakirliğine yakın olmaktadır. Ayrıca bütün bu tahminler mevcut kaynakların 30 yıl sonrasına hiç tahrip edilmeden aktarılması durumunda söz konusu olabilecektir (DSİ 2014).



Şekil 2.2: Türkiye nüfus projeksiyonu (2013-2075, TÜİK 2013)



Şekil 2.3: Havza bazlı su potansiyelleri haritası (Muluk ve diğ. 2013)

TÜİK ve DSİ verilerine göre Doğa Koruma Merkezi(DKM) tarafından oluşturulan havza bazında su potansiyelleri dikkate alındığında Asi, Akarçay, Küçük

Menderes ve Marmara Havzaları Su Fakiridir. Şimdiden durum böyle iken artan nüfus yoğunluğu, kirletilen su kaynakları ve tahribatı ile gelecekte mutlak su kıtlığı yaşanacağı açıktır (Muluk ve diğ. 2013).

2.2 Küresel İklim Değişikliğinin Su Kaynakları Üzerindeki Etkisi

Ülkemiz yarı kurak ve yarı nemli orta enlem bölgesinde yer almaktadır. Bu bölgede yer alan ülke gibi ülkemizde dönemsel olarak bazen daha kurak, bazen ise daha nemli iklimin görüldüğü belirtilmektedir. Ancak son yıllarda ülkemizde, IPCC(İklim Değişikliği ile İlgili Hükümetler Arası Panel)raporları ile uyuşan şekilde, özellikle yaz aylarında bir yandan aşırı yağışlar artarken, diğer yandan da bu yağışların arasındaki süre uzamaktadır. Bu da artan kuraklığın önemli göstergelerinden biri olmakta ve dünyamızı olumsuz yönde etkilemektedir. Ülkemizde yağışın daha sık görüldüğü kış mevsimi ve yıllık yağış değişimleri dikkate alındığında son 40 yılda, kuraklığın en şiddetli ve geniş yayılım göstermiş olanlarının, 1971-1974, 1983-1984, 1989- 1990, 1996, 2001 ve 2007-2008 yıllarında meydana geldiği görülür. Bu kuraklık olaylarına uzun vadede bakıldığında meteorolojik kuraklık olarak başlayıp daha sonra tarımsal ve hidrolojik kuraklık halini de almıştır. Son yıllarda özellikle sonbahar ve kış aylarında yağışlar Türkiye'nin birçok yöresinde uzun süreli ortalamaların altında kalmıştır. Bu durum ise, yeni bir meteorolojik kuraklığın yaşanmasına ve bunlara bağlı olarak da tarımsal, hidrolojik ve sosyoekonomik kuraklıkların (ör. Sırasıyla, tarımsal ürün kayıpları, yer altı ve yer üstü su kaynaklarının zayıflaması ve yetersizliği, İstanbul ve özellikle Ankara gibi bazı büyük kentlerde içme suyu sıkıntısı ve su kesintilerinin yaşanması, vb.) oluşmasına neden olmuştur. Bu kuraklık olayları, Türkiye'nin özellikle Marmara, Ege, İç Anadolu ve Akdeniz bölgelerinde belirgin bir şekilde etkisini göstermiştir. Büyük kentlerde yaşanan bu su sıkıntısı Melen ve Kızılırmak gibi su kaynaklarından havzalar arası su aktarımı yapılarak aşılmaya çalışılmıştır. Kuraklığı bilimsel olarak ele almak için ilk olarak yağış toplamlarındaki ve yağışlı gün sayılarındaki azalmayı incelemek gerekir. Bu durum havzaya düşen yağıştaki azalmanın bir sonucudur. Ancak farklı kuraklık olaylarını belirlemek, nitelendirmek ve izlemek amacıyla çeşitli kuraklık indisleri ve yöntemleri kullanılır. Kuraklık indislerinin bir kısmı, yağış dizilerine dayanır ve meteorolojik kuraklıklarla

ilgiliyken, bazıları ise hidrolojik ya da tarımsal kuraklıkları ve kentsel su sağlama sistemlerindeki su açıklarını tanımlamaya yöneliktir. Bunlardan, Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SPI), Normalleştirilmiş Yağış Anomali İndisi (NPAI), Palmer Kuraklık Şiddet İndisi (PDSI) ve onda birler günümüzde dünyada en yaygın olarak uygulanan kuraklık indislerindedir (Şahin ve Kurnaz 2014).

Kuraklığın bu denli yoğunlaşmaya başladığı ülkemizde artık yağışlı seneler değil, kurak seneler normal olarak alınmaya başlanmalıdır. Bunu ispatlayacak şekilde 2012 yılında İç Anadolu ve Doğu Anadolu'nun bazı bölümlerinde yeniden etkili olmaya başlayan meteorolojik kuraklıklar, Akdeniz ikliminin doğasından beklenen yaz kuraklığıyla da birleşerek, 2013 yılında Türkiye'nin büyük bölümünde ortadan olağanüstü kurağa kadar değişen şiddette kuraklık görülmesine yol açmıştır.

01 Ekim 2013-27 Ağustos 2014 tarihleri arasında Türkiye geneli için hesaplanan kümülatif yağış tutarı, uzun yıllar ortalamasına göre %14,1 ve 2013 yılına göre de %20,6 oranında azalmıştır (Şahin ve Kurnaz 2014). 2012 yılında İç Anadolu ve Doğu Anadolu bölgelerinde başlayan kuraklığın 2013 yılında Orta ve Doğu Akdeniz, Doğu Marmara ve Orta Karadeniz bölümleri de dahil olmak üzere Türkiye'nin büyük bir çoğunluğuna yayıldığı görülmektedir. 2012 yılında başlayan meteorolojik kuraklık artık içme suyu kaynaklarını, tarımsal sulamayı ve enerji üretimi amaçlı diğer hidrolojik sistemleri etkisi altına almaya başlamıştır. Devlet Su İşleri (DSİ) Genel Müdürlüğü'nün verilerine göre 27 Ağustos 2014 itibarıyla dört büyük ilimize (İstanbul, Ankara, İzmir ve Bursa) içme suyu sağlayan barajlarda 2013 yılının aynı dönemine oranla %12 daha az su birikmiştir. Bu şehirlerden sadece İzmir'in barajlarındaki doluluk oranı 2013 yılı Ağustos ayı değerlerinin üzerindedir. Yine DSİ Genel Müdürlüğü'nün verilerine göre, 27 Ağustos 2014 itibarıyla işletmede olan 88 adet enerji amaçlı barajda doluluk oranı %37,8 düzeyindedir. 18 havzadaki bu barajların 15 havzadaki doluluk oranları 2013 yılı düzeyinin altında kalmaktadır. İşletmede olan 204 adet sulama amaçlı barajda doluluk oranı da %37,5 seviyelerindedir. Bu durum havza alanına düşen yağıştaki azalmanın bir sonucudur. Bahsedildiği üzere, ülkemizde yer alan Akdeniz Havzası, gerek IPCC raporlarında, gerekse de yapılan diğer çalışmalarda yakın gelecekteki iklim değişikliğinden en fazla etkilenecek bölgelerin başında gelmektedir. Son yıllarda sıklaşan ve şiddetlenen kuraklık olaylarını iklim değişikliğiyle doğrudan bağdaştıracak kanıtlar

bulunmamaktadır. Ancak, bir yanda iklim bilimi ülkemizde kuraklığın nasıl ilerleyeceği konusunda gerekli çalışmalar yapıp, diğer yanda da gözlemlediğimiz değişimler bu bilimsel öngörülerini destekler biçimde olunca, iklim biliminin öngörülerine olan güvenimiz artmaktadır. Bu öngörülere göre bu yüzyılın sonuna dek ülkemizin yarı kurak bölgelerinin kurak, yarı nemli bölgelerinin yarı kurak, nemli bölgelerinin ise yarı nemli şartlara doğru geçişi beklenmektedir. Buradan anlamamız gereken, Antalya'nın Kahire, Ankara'nın Antalya, Giresun'un da Ankara gibi bir yaz sıcaklığına ve yağış düzenine sahip olacak olmasıdır (Şahin ve Kurnaz 2014)

2.3 İçme ve Kullanma Amaçlı Alternatif Su Kaynakları

İklim değişikliği, kuraklık, su kaynaklarının azalması, artan nüfus yoğunluğu ve kirletilen su kaynakları sebebiyle su ihtiyacının artması, alternatif su kaynakları konusunda yapılan çalışmaları hızlandırmıştır. Bunlardan bazıları; kentsel atıksuların yeniden kullanılması, desalinasyon, talep yönetimi, su transferi ve yağmursuyu hasadı gibi yöntemler alternatif su kaynakları yöntemleridir. Önümüzdeki yıllarda ülkemizin su sıkıntısı ile karşı karşıya kalacağı öngörülmektedir. Bu nedenle alternatif su kaynaklarına yönelmek sürdürülebilirlik açısından faydalı olacaktır (Karakaya ve Gönenç 2004).

Eski bir yöntem olan yağmur sularının depolanması diğer bir deyimle yağmur suyu hasadı, yeryüzünde belirli bir rezervuar oluşturularak yağmur suyunun belirli alanlarda toplanması esasına dayanır. Bu şekilde yeryüzüne düşen yağmur suları, içme ve kullanma suyu olarak yararlanılamayacak kaynak ve ortamlara karışmadan depolanmakta ve iyi kalitede içme ve kullanma suyu elde edilebilmektedir. Ancak bu sistemlerdeki en büyük problem suyun depolanması ve ihtiyaca yönelik zamanlara kadar muhafaza edilmesidir. Ayrıca, yağış miktarına bağlı olması sebebiyle kurak geçen dönemlerde alternatif su kaynağı olmaktan çıkmaktadır (Birkett 2003).

Su fakiri ülkeler için, su zengini ülkelere su almak bir seçenek olmakla birlikte alternatif kaynaklardan tatlı su üretimi, günümüz teknolojisi ile sağlanan alternatif bir çözümdür. Bu teknoloji, her türlü kullanım için elverişsiz su türlerini tatlı suya dönüştürme imkânı sunmaktadır. Bu teknolojinin başlangıcı 17. yüzyıla kadar uzanmaktadır. Richard Hawkins tarafından hazırlanan rapora göre, 1662'de

gemide damıtma yoluyla deniz suyundan tatlı su temin edebilmiştir (Birkett, 2003).O zamandan beri bu tür teknolojiler sürekli olarak gelişmiş ve dünyanın her yerinde farklı teknolojilerle çalışan tesisler inşa edilmiştir. Özellikle denize kıyısı bulunan kurak ve yarı kurak bölgelerde deniz suyundan veya az tuzlu sulardan kullanma ve içme suyu eldesi teknolojideki gelişmeler ve maliyetine bağlı olarak popüler hale gelmektedir (Lattemann 2010).

3. DENİZ SUYU ÖZELLİKLERİ VE KULLANIMI

Deniz suyu dünyadaki suların %97'sini oluşturmaktadır. Fiziksel olarak sıcaklık, tuzluluk ve basınç faktörlerinin etkisi altındadır. Basınç, derinliğe bağlı olmakla birlikte sıcaklık ısının 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 buharlaşma ve yağış arasındaki farka bağlıdır. Yüksek buharlaşmanın olduğu denizlerde tuzluluk %40'a kadar ulaşmaktadır (Aydın 2012).

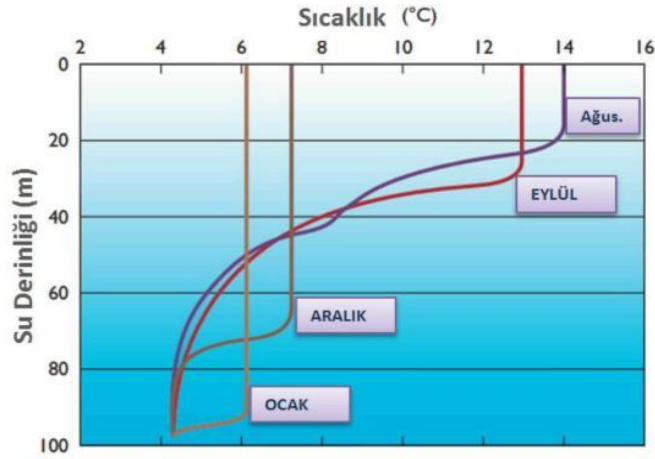
Deniz suyunda tuzluluk, dünya yüzeyindeki kayalarındaki minerallerin su içerisinde çözünmesi ile meydana gelmektedir. Dünya tarihinin ilk dönemlerindeki volkanik hareketler sebebiyle gaz haldeki HCl'nin deniz sularında çözünmesi ile Cl⁻ miktarı deniz suyunda tuzluluğa etkisi en fazla olan iyon olarak kendini göstermiştir. Deniz suyu içerisinde çözülmüş, askıda ve inorganik maddelerle çeşitli gazlar bulunmaktadır. Deniz suyu içerisinde bulunan başlıca anyon ve katyonlar Tablo3.1'de verilmiştir. Tablodan da görüldüğü gibi sadece Na⁺ ve Cl⁻ iyonlarının tuzluluğa katkısı %85.65'dir.

Deniz suyundaki tuzluluk yağışlar, buzların erimesi ve akarsularla gelen tatlı sularla karışım gibi sebeplerle azalırken buharlaşma ve buzlanma etkisiyle artar. Bu nedenle, yıllık yağış miktarının buharlaşmadan fazla olduğu ekvatora yakın bölgelerde deniz suyunun tuzluluğu diğer bölgelere göre daha azdır (Kocamış 2006).

Tablo 3.1: Deniz suyundaki önemli anyon ve katyonlar (Öztürk 2002)

Anyon, Katyon	Konsantrasyon(g/kg) veya (%)	Tuzluluğa Katkısı (%)
Na ⁺	10,770	30,61
Mg ⁺	1,294	3,69
Ca ⁺²	0,413	1,16
K ⁺	0,387	1,10
Cl ⁻	19,353	55,04
SO ₄ ⁻²	2,712	7,68
HCO ₃ ⁻	0,142	0,41
Br ⁻	0,067	0,19
I ⁻	0,060	Eser
Toplam	35,198	99,88

Denizler ısıyı bünyesinde hapsedtiğinden dolayı yüksek miktarda ısı depolamaktadır. Güneş ışınları deniz yüzeyinden 100 m'ye kadar aşağılara iner ve çoğunluğu 10 m'de absorblanır. Suyun ısı iletim özelliğinin çok düşük olmasından dolayı oluşan ısının denizin derinlerine doğru transferi ancak karışım yoluyla gerçekleşir. Dalgalar, rüzgârlar ve diğer etmenler ile gerçekleşen bu karışım deniz yüzeyinin 200 ila 300 m arasındaki bir derinliğe kadar gerçekleşmektedir. Sıcaklık değişimi Şekil 3.1'de görülmektedir(Başaran 2015).



Şekil 3.1: Derinlik ile sıcaklığın dönemsel değişimi(Başaran 2015)

3.1 Deniz Suyunun İçme ve Kullanma Suyu Amaçlı Kullanımı

Gelişen dünya koşulları ile beraber su kaynaklarının kirletilmesi, hızlı nüfus artışı ve iklim değişikliği sebebiyle tatlı su kaynaklarının yok olması gibi etmenler içme suyu temini konusunda dünyanın giderek büyüyen bir sorunu olmuştur. Bu sebeple, alternatif tatlı su kaynaklarına yönelmek günümüz koşulları için olmazsa olmaz hale gelmiştir. Günümüzde kullanılan bu proseslerden en popüler olanları deniz suyu veya az tuzlu yer altı sularının tuzlarının çeşitli metotlarla giderilerek tatlı su elde edilmesi prosesleridir.

Son zamanlarda dünya genelinde özellikle denize kıyısı bulunan ve tatlı su kaynakları açısından fakir olan bölgelerde deniz suyundan içme ve kullanma suyu elde etmek amacıyla bir çok teknolojinin getirdiği alternatiflerle birlikte tatlı su elde edilmektedir. Dünyada arıtılan deniz suyu, acı yer altı suyu ve arıtılmış atıksu potansiyeli miktarı toplamda yaklaşık 80 milyon m³/gün'dür.

Dünyada yaklaşık 120 ülke desalinizasyon 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).

Deniz suları dünyanın farklı yerlerinde %3-4 arasında bir tuz konsantrasyonuna sahiptir. Bu yüksek tuzluluktan dolayı, içilebilir su elde etmek için mevcut tuzun nerdeyse %99'nun giderilmesi gerekmektedir.

Deniz suyundan tatlı su eldesinde uygulanacak işlem, deniz suyu içerisindeki çözünmüş tuzun bazı proseslerle ayrılarak desalinasyon işleminin gerçekleştirilmesidir. Ancak desalinasyon için kullanılacak yöntem seçiminde tercih edilecek sistemin devamlılığı, uygulanabilirliği, maliyeti gibi bir çok konuda avantaj sağlaması gerekmektedir. Bu sistemler; yaygın olarak kullanılan buharlaştırma prosesleri ve membran prosesleridir.

3.1.1 Buharlaştırma Prosesleri

Suyun fiziksel halini değiştirme özelliğini kullanarak değişen fazını ayırmak için termal araç kullanılan proseslerdir. Amaç, fiziksel olarak tuzlu deniz suyunun buharlaştırılarak ayrılması ve daha sonra yoğunlaştırılarak tekrar sıvı forma dönüştürülmesidir. Bu sistemler için termal kaynaklar ya da güneş enerjisi kullanılmakla birlikte 80'lerden önce deniz suyundan tatlı su eldesi için sıklıkla kullanılan bir yöntem olmuştur.

Deniz suyunda tatlı su eldesinde kullanılan damıtma prosesleri;

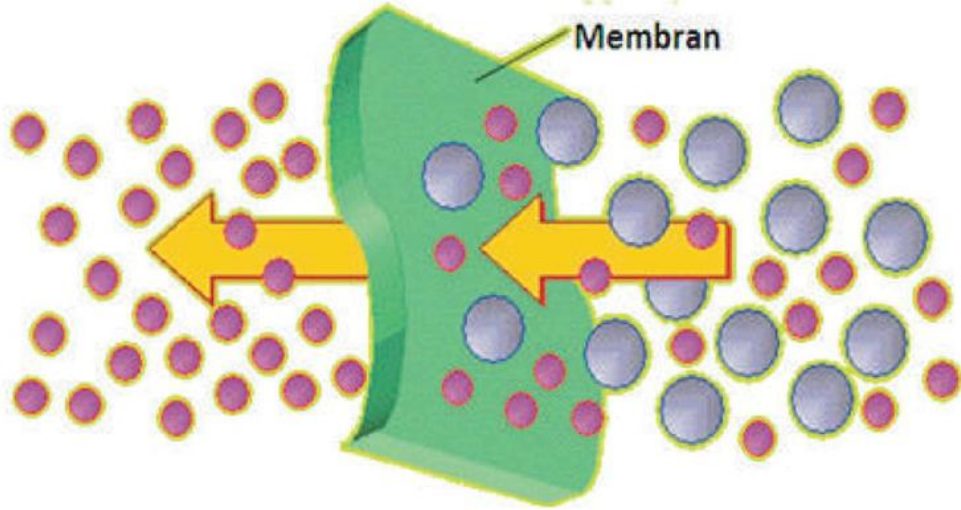
- Çok işlemlili damıtma (multiple-effect distillation)
- Çok kademeli şok damıtma (multi-stage flash distillation)
- Mekanik buhar sıkıştırma (mechanical vapour compression)
- Güneşle damıtma (solar distillation) olarak sıralanmaktadır.

Elde edilen su, saf suya yakın düzeylere gelmiş olsa da sistem maliyetleri çok

yüksektir. Bu sebeple çoğunlukla alternatif olmayan durumlarda tercih edilmekle birlikte, kullanılacak termal sistemin türüne göre oluşturacağı emisyon kirliliği de yöntemin dezavantajları arasında sayılabilir. (Başaran 2015)

3.1.2 Membran Prosesleri

Membranlar, sıvı faz içerisinde bulunan çözülmüş ve askıda maddelerin ayrılmasını sağlayan seçici geçirgen tabakalardır. Farklı bir deyişle membran, yapı ve boyutlarına göre bileşenleri ayıran bir ara fazdır. Fazların birbirinden ayrılması işlemi, membranın kimyasal ve fiziksel özellikleriyle birlikte, basınç farkı, konsantrasyon farkı, elektriksel potansiyel farkı ve sıcaklık farkının biri veya birkaçının birlikte uygulanması ile gerçekleşmektedir (Aslan 2016).



Şekil 3.2: Membran prosesi(Aslan 2016)

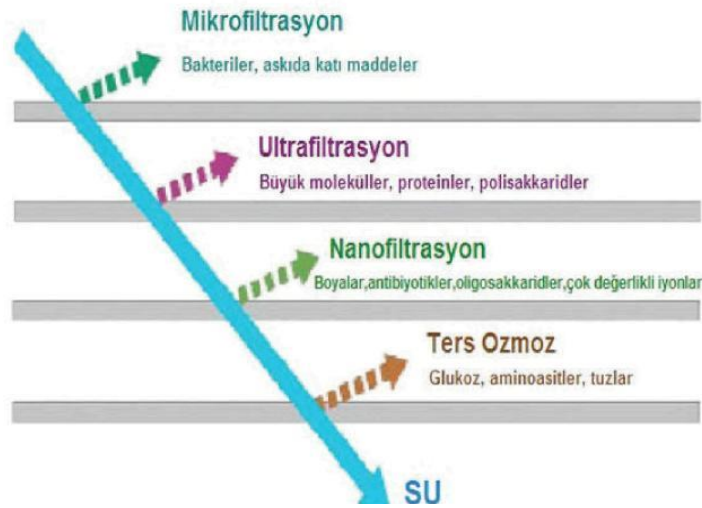
Özellikle deniz suyu arıtımında su içerisinde bulunan çözülmüş minerallerin tutulmasında önemli bir rol oynamaktadır. Membrana gelen deniz suyunu süzüntü ve konsantre akım şeklinde iki ayrı akıma ayıran sistem, deniz suyundan tatlı su eldesi konusunda günümüzde sıklıkla kullanılmaktadır.

İlk üretilen selüloz asetat membranlarının deniz suyundan tuzun ayrılması konusunda ancak %97 verimle yararlanılabildiği görülmüştür. Fakat zamanla farklı membran türlerinin üretilmesi ile tuz giderim oranında artış sağlanabilmiş ve içme suyu anlamında kullanılabilir hale getirilebilmiştir. Poliamit hollow ince fiberlerin

geliştirilmesiyle deniz suyundan tuz giderim oranı %99'lara ulaşmıştır.

Membran teknolojilerinin bu amaçlı kullanımını özellikle su sıkıntısı yaşanan Ortadoğu ülkelerinde yaygındır. 1-10 milyon gal/gün aralığında kapasiteler için membran prosesler sıklıkla tercih edilmekte ve bu sistemlerinin esnek uygulama avantajları bulunmaktadır.

Membran prosesler, giderim mekanizmalarına göre çeşitlere ayrılmakla birlikte, tuz gideriminde popüler olarak, düşük molekül ağırlıklı çözülmüş maddelerin çözültiden giderilmesi amacıyla kullanılan ters osmozlar tercih edilmektedir.



Şekil 3.3: Membran tiplerine bağlı olarak su içerisinde bulunan maddelerin giderimi (Aslan 2016)

Ters osmoz sisteminde, seçici geçirgen bir yapısı olan membranlar kullanılarak tuzlu sudaki kolloidal ve çözülmüş haldeki tüm bileşenleri tutar ve yalnızca saf su ve nano boyutlu bazı çözülmüş iyonların geçişine izin verir. (Aslan 2016)

3.1.2.1 Deniz Suyundan İçme ve Kullanma Suyu Eldesinde Ters Ozmot Kullanımı

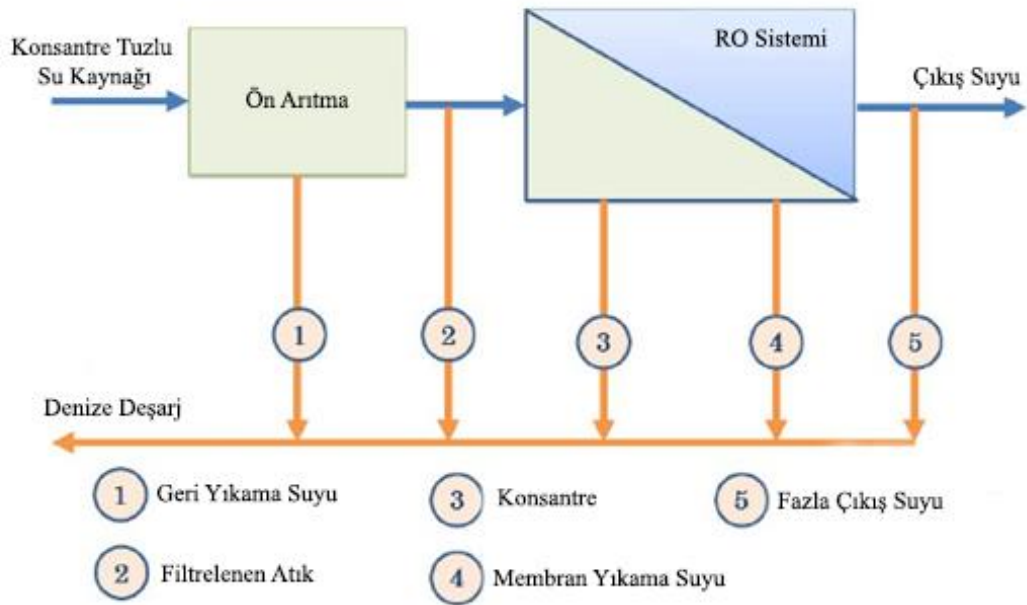
1980'lerden bu yana deniz suyundan içme suyu eldesinde kullanılan Ters Ozmot Sistemleri günümüzdeki desalinasyon kapasitesinin yaklaşık %40'ını

oluşturmaktadır. Tatlı su kaynaklarının gün geçtikçe tükenmesi ve tatlı suya olan ihtiyacın artması RO kullanımını arttırmaya devam etmektedir.

Çalışma prensibi olarak normal osmozun tam tersi olmakla birlikte, ters osmoz işleminde tuzlu suya basınç uygulanarak suyun seçici geçirgen membran filtreden geçmesi sağlanır ve bu yolla içme suyu elde edilir.

RO tesisleri genel olarak aşağıdaki ünitelerden oluşmaktadır;

- Su temini yapısı
- Ön arıtma yapısı
- Membran sistemi
- Çıkış suyu hattı
- Konsantre atıksu hattı



Şekil 3.4: RO tesisinden kaynaklanan deşarj içeriği (Water Reuse 2012)

Desalinasyon amaçlı denizden temin edilen tuzlu su RO tesislerine alınarak işleme tabi tutulur. Bu ünitelerden ön arıtma, genel olarak sisteme alınan deniz suyunun içerisinde yüksek miktarda askıda katı madde olmaması ya da suyun kuyudan temini sebebiyle doğal bir ön arıtım gerçekleşmiş olması bu ünitenin gerekli durumlarda kullanımının opsiyonlu olabileceğini ortaya koymuştur.

Opsiyonlu olan bu ünitenin ardından temin edilen su, membran sistemine

alınmaktadır. Deniz suyundan tatlı su eldesinde özellikle ters osmoz membranlarının tercih edilme sebebi, gözenek boyutu itibariyle tuzu tutacak yapısal özelliğinden kaynaklı olmasıdır. RO membranları çözünmüş organikler, bulanıklık, bakteri, sertlik, eser çözünmüş iyonlar veya çözünmüş katıları %99 orada sudan ayırabilmektedir.

RO membranları seçilirken; arıtılan suyun özelliklerinin yanında, elde edilmek istenen su kalitesi de önem arz etmektedir.

Deniz suyunun tuzsuzlaştırılması prosesinde seçici 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. Bu membranlar selüloz triasetat ve poliamidden imal edilmektedir.

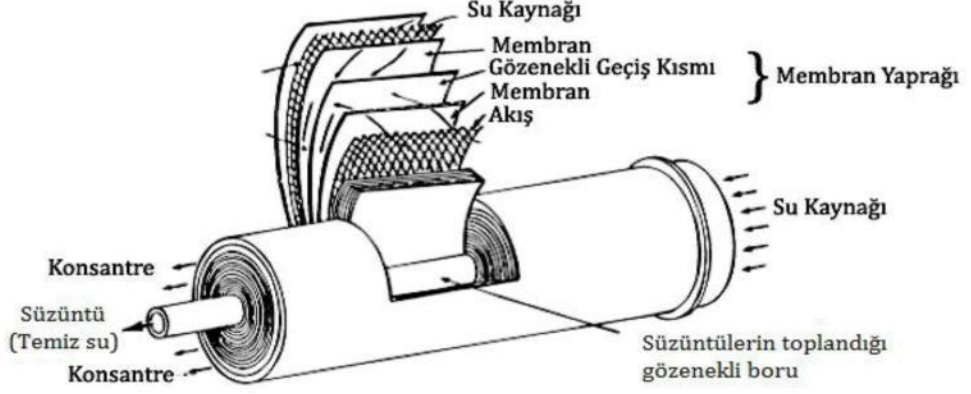
3.1.2.2 Deniz Suyundan İçme ve Kullanma Suyu Eldesinde Kullanılan RO Membran Modülleri

Membran filtreler, üretildikten sonra kullanılabilmesi için membranların modül olarak düzenlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla membranların ilave ekipmanlarla su giriş ve çıkış yapılarını da içerecek biçimde düzenlenmiş hali, membran modülü olarak isimlendirilmektedir. RO sistemlerinde genellikle spiral sargılı membran modülleri ile ince boşluklu fiber membran modülleri kullanılmaktadır.

3.1.2.2.1 Spiral Sargılı Membran Modülleri

Spiral sargılı membran modüllerinde iki membran tabakası arasına arıtılmış suyun ayrılmasını sağlayan bir ayırıcı yerleştirilmektedir. Tabakanın iç tarafındaki ayırıcı, tabakanın basınç altında zarar görmeyeceği şekilde membrana destek sağlamak için tasarlanmıştır. Gözeneklidir ve süzüntüyü süzüntü toplama hattına iletir. Bu şekilde oluşturulan modül, sonrasında bir basınç kabına yerleştirilerek son halini alır.

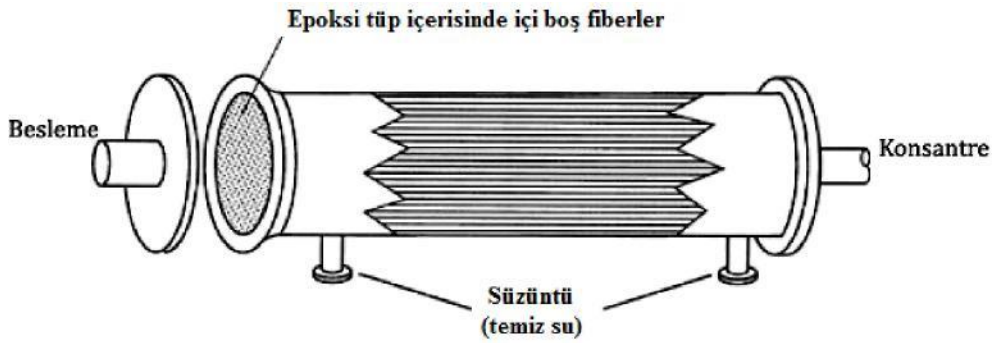
İsrail Sorek'teki 540.000 m³/gün' kapasiteli Dünya'nın en büyük ters osmoz desalinasyon tesisinde spiral sargılı membran modülleri kullanılmaktadır.



Şekil 3.5: Spiral sargılı membran modülleri

3.1.2.2.2 İçi Boşluklu FiberMembran Modülleri

Çeşitli polimer malzemelerden üretilmiş bu membranlar, uzun, ince ve dar bir boru şeklinde dizayn edilmiş olup, demet halinde toplanarak farklı yapılarla birlikte modül haline getirilebilmektedir. Sıklıkla kullanılan içi boşluklu fiber membran modülleri, membranların demet halinde toplanıp üst ve alt kısımlarından bir epoksi reçine içerisine yerleştirilmesiyle ve bu yapının bir basınç kabı içerisine yerleştirilmesiyle elde edilmektedir.



Şekil 3.6: İçi boşluklu fiber membran modülleri

3.1.2.3 Ters Osmoz Kullanımında Su Alma-Aritma ve Bertaraf Sistemleri

Desalinasyon tesislerinin çevresel etkiler açısından en önemi temel unsurları; giriş yapıları, ön arıtma ve temizleme sistemleri, arıtma işleminde kullanılan enerji, konsantre bertaraf sistemi ve çıkış suyu karakteristiğidir.

3.1.2.3.1 Su Alma Yapıları

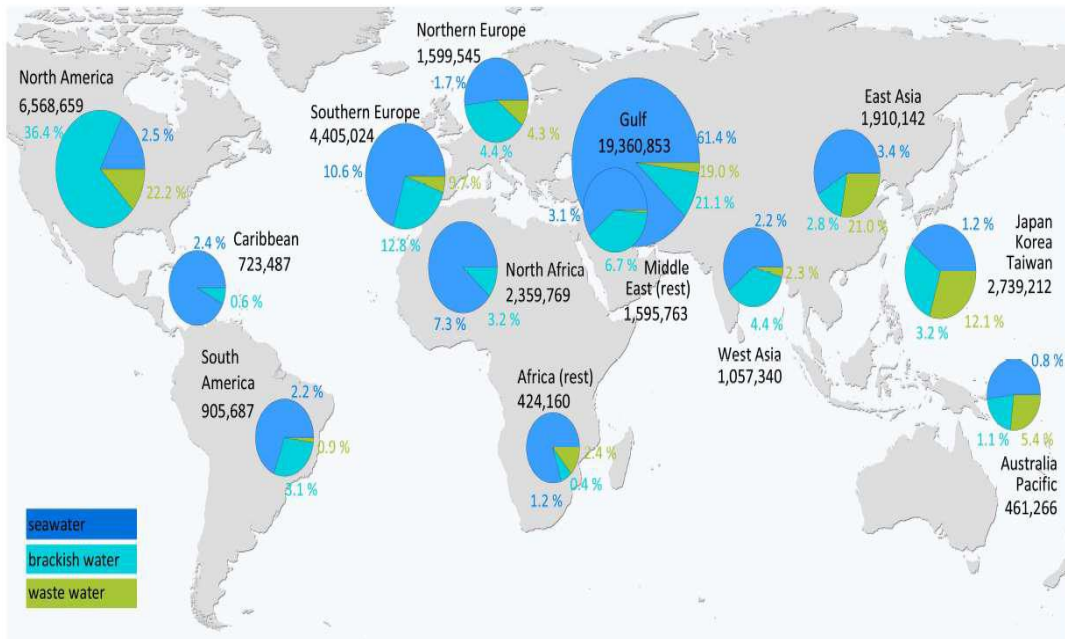
Deniz suyu, deniz suyu arıtma tesisi bileşenleri için potansiyel olarak zararlı maddeler ve parçacıklar içerir. Biyolojik maddelerin kirlenmeye neden olabildiği gibi, katı parçacıklar çökme ve birikime neden olabilir. Çözünmüş katı maddeler ise malzeme korozyonunu hızlandırılabilir. Bu nedenle, tesis giriş sistemleri dikkatli bir şekilde seçilir ve en iyi su kalitesiyle arıtma sistemine girişi konumlandırılır. Çoğu durumda, ham su kalitesi tesis işletmesi için yeterli değildir ve teknik temizleme sistemlerinin kurulması gerekir. Filtreler, suyu mümkün olduğunca arıtmak için entegre edilmiştir ve doğru su parametrelerini sağlamak için gerektiği durumlarda kimyasal dozlaması yapılabilmektedir.

Açık su girişleri, suyu teorik olarak sınırsız bir ham su akışına olanak sağlayan borularla doğrudan denizden alır. Güçlü su emişi, balık ve diğer hayvanlar için çarpma ve sürüklenme riski taşır. Ayrıca eleklerden geçebilecek kadar küçük parçacıklar ve organizmalar, tesise emilmekte ve besleme suyu kalitesini önemli ölçüde bozmaktadır (Cooley ve diğ. 2006). Bu etkileri en aza indirmek için azaltım önlemleri, derin ve açık deniz sularında, küçük giriş hızlarına sahip tasarımlar, ince örgülü elekler vs. kullanılabilir. Tasarım kriteri olarak genellikle 0.1m/s'den daha küçük giriş hızlarını muhafaza ederek, böylece ortam hızlarından daha küçük bir emişle gelebilecek kirlilik yükü azaltılabilir (California Coastal Commission 2004). Ayrıca, balıkların yatay akıntılara karşı daha kolay yüzebildiği gibi, özellikle yatay alım hızlarına neden olan tasarımlar önerilmektedir.

3.1.2.3.2 Arıtma Sistemleri

İyi bir giderim mekanizmasına sahip olan membran filtrasyon sistemleri geleneksel fiziksel ve kimyasal ön işlemlerin yerini alma potansiyeline sahiptir, ancak işletim sistemleri kimyasal uygulamalar gibi serbest değildir, çünkü ön işlem membranları genellikle periyodik olarak kimyasal geri yıkama gerektirmekte ve yerinde temizleme ya da konvansiyonel çöktürme yerine hat içerisinde koagülasyon kullanmaktadır (Van der Bruggen ve Vande Castele 2002).

Besleme suyunda istenmeyen askıda katı maddeler RO membranlarının tıkanmasına ve tahrip olmasına neden olurlar. Özellikle askıda katı madde içeriği yüksek sularda RO sistemi öncesinde gerçekleştirilecek iyi bir ön arıtma sistem verimi açısından oldukça önemlidir. Bu maddelerden arındırılmış deniz suyu RO sistemine girerek, sudaki kolloidal ve çözünmüş haldeki tüm bileşenler giderilir, yalnızca saf su ve nano boyutlu bazı çözünmüş iyonların geçişine izin verilir (Bleninger ve Jirka 2010)



Şekil 3.7 Dünya genelindeki desalinasyon tesisleri kapasiteleri ve arıtılan su karakteristiğine göre küresel dağılımı (Bleninger ve Jirka 2010)

Küresel desalinasyon kapasiteleri m³/gün ve % olarak verilmiştir. Örneğin, Güney Avrupa'daki kurulu kapasite 4.405.024 m³/gün'dür. Şekil'de tüm kaynak su tiplerini içermekle birlikte Güney Avrupa'daki üretimin çoğu deniz suyu

desalinasyonu, yaklaşık 1/4'ü için acı su ve küçük bir miktarda atık su desalinasyonu görülmektedir. Pasta şemasının yanındaki rakamlar, belirlenen yerlerin küresel üretime katkısını vermektedir, yani Güney Avrupa'daki deniz suyu arıtma kapasitesi, küresel deniz suyu desalinasyon kapasitesinin%10,6'sını temsil eder. Acı su kapasitesi, Güney Avrupa'daki deniz suyu desalinasyon kapasitesinin yarısından az olmasına rağmen, küresel acı su desalinasyon kapasitesinin %12.8'ini temsil etmektedir (IDA 2008)

Tablo 3.2: Dünya genelinde bazı büyük RO tesislerinin ön arıtma ve deşarj tasarımı(Water Consultants Intl. 2006)

Tesis Yerleri	Asya 1	Asya 2	Orta Doğu 1	Orta Doğu 2	Orta Doğu 3
Toplam Kapasite (m³/gün)	136 360	50 000	170 465	326 144	56 800
RO Üretim Oranı (%)	38.5	60	43	40.7	35
Kuruluş Yılı	2005	2005	2004	2005	1989
Besleme Suyu Tuzluluğu(psu)	35	35	40	40.7	43.3
Besleme Suyu Yeri	Açık Deniz	Açık Deniz	Açık Deniz	Açık Deniz	Açık Deniz
Ön Arıtma Tanımı	DAF Çöktürmeli Filtre	UF Çöktürmeli Filtre	Çöktürmeli Filtre	Çöktürmeli Filtre	Çöktürmeli Filtre
Koagulant	FeCL3	FeCL3	FeSO4	FeCL3	FeCL3
Konsantre Debisi (m³/gün)	217 822	33 333	225 965	475 193	105 486
Konsantre Tuzluluğu(psu)	57	87.5	70.2	68.6	66.6
Seyreltici Su Kaynağı		AAT çıkışı	ESSS çıkışı		
Karışım Sonrası Tuzluluk(psu)	56.9	61.4	44.2	68.6	66.6
Deşarj Yeri Tanımı	Boru ile Deniz Yatağına Deşarj	AAT çıkışı karışım ve Çok Portlu Deşarj	ESSS çıkışı karışım ve Kıyıdan Deşarj	Kıyıdan Deşarj	ESSS Çıkışı Karışım
Son Deşarj Yeri	Açık Deniz	Açık Deniz	Açık Deniz	Açık Deniz	Açık Deniz

3.1.2.3.3 Bertaraf Sistemleri

WHO(Dünya Sağlık Örgütü)'nun desalinasyon tesisleri ile ilgili kılavuz belgesine göre, tüm büyük deniz suyu arıtma tesislerinin %90'ından fazlası, konsantre atıksuları deniz ortamına deşarj(WHO 2007) aracılığıyla bertaraf edilmektedir. Bunun dışında farklı bertaraf yöntemleri de mevcuttur. Bunlar,

- Yüzeysel sulara deşarj.
- Deşarj suyunu diğer atık sulara karıştırma (Ör.; Santral soğutma suyu veya kanalizasyon).
- Kurutma
- Derine enjeksiyon
- Arazi uygulamaları
- Sıfır sıvı deşarjı

Ancak çoğu durumda, özellikle büyük desalinasyon tesislerinde, tuzlu su, denize deşarj edilir, çünkü diğer alternatifler teknik, sosyal, ekonomik olarak ya da çevre açısından mümkün değildir.

Yüzeysel su kaynağı olarak deniz ortamına deşarj yönteminde tuzlu su deşarjları için farklı deşarj konfigürasyonları vardır ve bunlar arasında tuzlu suyun fiziksel ve kimyasal özelliklerine, deşarj yerlerine, ortam koşullarına göre tercih edilmekle birlikte en yaygın deşarj sistemleri şunlardır:

- plaj kısmındaki kumsala deşarj,
- boru vasıtasıyla doğrudan su yüzeyine deşarj,
- suya batık tekli veya çoklu portlarla su derinliğine deşarj
- bir mendirek bölgesine deşarj (Walter 2004)



Şekil 3.8: Desalinasyon tesislerinde yüzeysel deşarjı ve çok portlu batık deşarjı

Tablo 3.3: Desalinasyon tesisleri için konsantre bertaraf seçeneklerinin karşılaştırılması (Alameddine ve El-Fadel 2007)

Bertaraf Metodu	Avantajları	Dezavantajları
Yüzeysel Sulara Deşarjı	<ul style="list-style-type: none"> - Büyük hacimleri işleyebilir - Doğal süreçler bozunmayı hızlandırır. - Su kütlesi seyrelmeyi artırır. 	<ul style="list-style-type: none"> - Sınırlı doğal asimilasyon kapasiteleri - Seyrelme yerel hidrodinamiğe bağlıdır - İyi bilgi ve izleme ihtiyacı
Kanalizasyon Deşarjı	<ul style="list-style-type: none"> - Atık akışı ile seyrelme - Mevcut altyapıyı kullanır. 	<ul style="list-style-type: none"> - Kanalizasyona bağlı olarak kısıtlı tesis kapasitesi - Kanalizasyon kalite standartlarını karşılamalıdır - Bertaraf genellikle yüzeysel sularadır.
Derine Enjeksiyon	<ul style="list-style-type: none"> - Deniz etkisi yok - Küçük iç kısım tesisleri için iyi seçenek 	<ul style="list-style-type: none"> - Büyük hacimler için yüksek maliyetli - İzole akiferlere bağlı uygun yapı - Yeraltı suyu kirliliği tehlikesi
Buharlaştırma havuzları	<ul style="list-style-type: none"> - Deniz etkisi yok - Olası ticari tuz kullanımı - Düşük teknolojik ve yönetme çabaları 	<ul style="list-style-type: none"> - Kısıtlı kapasite - Gerekli büyük arazi alanları - Sadece kuru iklimde - Toprak ve yeraltı suyu kirliliği riski - Kullanılamaz tuzların atılması
Arazi Uygulamaları	<ul style="list-style-type: none"> - Deniz etkisi yok - Toleranslı türlerin sulanması için alternatif su kaynağı 	<ul style="list-style-type: none"> - Sadece daha küçük deşarj akışları için - Kimyasalların olası olumsuz etkileri ve bitkiler üzerinde kirlenmeler - Toprak ve yeraltı suyu kirliliği
Sıfır Sıvı Deşarjı	<ul style="list-style-type: none"> - Sıvı atık yok - Tuz ve minerallerin geri kazanımı 	<ul style="list-style-type: none"> - Hala endüstriyel ölçekte uygulanabilir değil - Katı artıklar - Yüksek enerji ihtiyacı - Pahalı

4. MODELLEME KAVRAMI

Modelleme kavramı bilinmeyen ve yeterince anlaşılamayan olgu hedeflenerek, var olan kaynaklardan hareketle bilinmeyen bir hedefi basit ve anlaşılır hale getirmek için yapılan işlemlerdir. Modeller gerçek sistemlerin mümkün olan en basit düzeyde matematiksel ifadeler kullanılarak gösterilmesini sağlarlar. Modeller, olayda etkin olan öğelerin daha ayrıntılı bir biçimde incelenmesine olanak sağlamakta ve böylece ayrıntıları daha iyi bilinen bir oluşumun, çeşitli koşullar altındaki toplam davranışının daha tutarlı bir biçimde saptanabilmesi mümkün olabilmektedir.

Çevre ile ilgili yöntemlerde, fiziksel, kimyasal ve biyolojik etmenler birbirleri ile sıkı bir bağ içerisinde. Çevrenin etkisi altında olduğu pek çok etken göz önünde bulundurulduğunda bütün bu etmenleri analiz etmek ve model kurmak zordur. Modeller bu konuları daha anlaşılabilir hale getirmek amacıyla tahmin, yöntem kontrolü, tasarım, eğitim ve geliştirme için kullanılabilir. İyi bir modelin doğruluk, uygulanabilirlik ve netlik açısından uyum içerisinde olması gerekir. Modellerin genellikle gelecek hakkında doğru tahminlerde bulunmaları beklenir. Model ne kadar karışık olursa uygun parametreleri tanımlamak o kadar zor olur. Bir matematiksel model 4 ayrı temel ilkedен oluşmaktadır (Walter 2004)

1. Modelin amacının çok iyi belirlenebilmesi
2. Modelin genel taslağının oluşturularak karışık yapıların daha sonra oluşturulması
3. Modellemenin bir öğrenme şekli olduğunun unutulmaması
4. Modelin hem gerçekçi hem de uygulanabilir olması

4.1 Modellerin Sınıflandırılması

4.1.1 Deterministik modeller

Fiziksel, kimyasal veya biyolojik sistemler için geliştirilmiş teorilere dayanırlar. Neden-Sonuç ilişkileri mevcuttur. Parametre değerleri ölçümlerle veya kalibrasyonla bulunur. Daha çok atıksu arıtma sistemlerini modellemede kullanılır. Bütün parametrelerin tanımlanmış olmasıyla birlikte rastgele ve çevre değişiklikleri hesaba katılmaz ve modeldeki parametrelere sabit değerler verilir.

4.1.2 Stokastik modeller

Olasılık ve rastlantısal olaylara dayanan modellerdir. Neden-Sonuç ilişkisi içermezler. İstatistiksel parametreleri (ör. ortalama, standart sapma) kullanırlar. Bu modeller sıcaklık, yağış miktarı, konsantrasyon gibi çevre değişikliklerini çeşitli parametrelerle ifade etmek için kullanılır. Genellikle belirli bir ortalama alınır veya tahmin edilen bir değer parametreye verilir. Her seferinde yeni bir değer girilir. Elde edilen veriler Gauss, Poisson, Binomial ve Log normal dağılımlar tarafından tanımlanabilir.

4.1.3 Sabit Durum Modeli

Olasılık ve rastlantısal olaylara değil sabit parametreler içeren modeldir. Matematiksel olarak ifade edilen parametrelerin basit olması nedeniyle avantajlıdır. Sonuç olarak elde edilen matematiksel analitik çözümleri kolaydır. Atıksu arıtma tesislerinin birçoğu sabit durum modellerinde yapılmıştır.

4.1.4 Hidrodinamik Modeller

Hidrodinamik üç boyutlu modeller atık su deşarj simülasyonu için en genel ve titiz modellerdir. Diferansiyel hidrodinamik ve taşınım denklemlerini komple kısmi

türevlerle çözerler. Bu modeller çok sayıda başlangıç verisi gerektirir, ancak sınır etkileri, batimetri, tuzluluk / sıcaklık (yoğunluk) su sütunlarının tabakalaşması, farklı derinliklerde ortam akımları, dalgalar, gelgitler vb. gibi daha fazla süreç ve değişken göz önüne alabilir. Avantajları arasında; daha titiz ve karmaşık olgu modellemesi, yakın ve uzak alan bölgesinin sürekli simülasyon imkanı, herhangi bir deşarj konfigürasyonunun simülasyonu ve ortam koşulları bulunmaktadır. Ancak günümüzde bu modeller tamamen geliştirilmemiştir. Sebebi; farklı uzaysal ve zaman ölçeklerinden dolayı yakın ve uzak alan bölgeleri arasındaki birleşim; çok miktarda başlangıç verisine ihtiyaç duymak; modelin kalibrasyonundaki zorluk ve uzun hesaplama zamanı gibi bazı sınırlamaları vardır. Hidrodinamik üç boyutlu modelleri, COHERENS yazılımı, DELFT3D vb. şeklinde sıralayabiliriz (Walter 2004)

4.1.5 Dinamik Modeller

Canlı ve cansız ortamların bulunduğu tüm çevre modelleri dinamiktir. Şartlar sabit durum yaklaşımında olsa bile, değişikliklerin etkisini anlayabilmek ve tahmin yürütebilmek için konunun dinamiğini anlamak gerekir. Atık su arıtma tesisleri sabit durum modeline göre tasarlanmasına rağmen modelin çalıştırılması ve sistem üzerindeki olumsuz etkisini önlemek için bir dinamik model gerekir. Dinamik modeller çok komplekstir. Yapıyı belirten denklemlerde en az bir değişkenin olması ve değerlerin zamanın ayrı ayrı noktalarında alınması gerekmektedir.

4.1.5.1 İlgili Proseslerin Boyut Analizine Dayanan Modeller

Boyut analizi en basit yaklaşımdır ve deneysel olarak test edilebilen karmaşık fiziksel durumlarla ilgili uygun hipotezleri formüle etmek için kullanılır. Boyut analizinde, dikkate alınan bağımsız değişkenlerin sayısını azaltmak için daha az etkiye sahip olanların değerler sabit tutulur, prosesler üzerinde daha fazla etkiye sahip değişkenler düşünülür. Seçilen bağımsız değişkenler, deşarj davranışını kontrol eden ana güçleri temsil eden "akış" büyüklükleri ile ilişkilidir (Palomar ve diğ. 2013). Deşarj prosesi için ana akımlar;

Kinematik kütle akısı: Alıcı ortama deşarj edilen atıksu çıkış akımını temsil eder.

$$Q_o = \frac{\pi}{4} d_o^2 U_o \quad (4.1)$$

Kinematik momentum akısı: Atık su deşarjı sırasında taşınan enerjiyi temsil eder.

$$M_o = U_o Q_o \quad (4.2)$$

Kinematik hüzme akısı: Yerçekiminin atık su deşarjı üzerindeki etkisini gösterir.

$$J_o = g_o Q_o \quad (4.3)$$

4.1.5.2 Diferansiyel Denklemlerin İntegrasyonuna Dayanan Modeller

İntegral modeller genelde jet çıkışları veya yerçekimi akımlarının simülasyonunu yapmak için uygulanır. Akışın ana denklemleri, bu durumda, sayısal metotlarla kolaylıkla çözülen basit adi diferansiyel denklemleri dönüştürülebilir, kesit üzerine entegre edilir. Denklemlerin integrasyonu, sınırsız bir alıcı ortam su kütlelerinin varsayılmasını gerektirir ve dolayısıyla sınır etkileri modellenemez. Jet modellerinde, modeller jet davranışını ayrıntılı olarak tanımlasalar bile, sonuçlar yalnızca jetin taban bölgesindeki etkisinden önce deşarj yörüngesi boyunca geçerlidir ve eğer deşarj yüzeye ve yan sınırlara ulaşmadığı takdirde sonuçlar geçerlidir. Dolayısıyla, bu modeller yakın alan bölgesi ile sınırlıdır.

İntegrasyon denklemlerinin sonuçları jet eksenindeki büyüklükleri ifade ettiğinden, bu değerlerin kesitlerde hesaplanması, genellikle Gauss veya Top-Hat olan bir dağılım fonksiyonunu varsayarak temel parametreleri deneysel olarak değerlendirmeyi gerektirir. Çıkış difüzyonu, bu modellerde, deneysel olarak elde edilen katsayılarla birlikte, esas olarak, girdap viskozite konseptine dayanan basit "sürüklenme" formülleriyle kontrol edilir. Yüksek yoğunluklu jetler için geçerli olan bu tip en önemli ticari modeller aşağıda listelenmiştir:

- CORMIX yazılımının CORJET modülü

- VISJET yazılımının Jet Lag modülü
- VISUAL PLUMES yazılımının UM3 modülü

4.2 Yüksek Konsantrasyonda Deşarj Edilen Atıksuların Seyrelmesi İçin Kullanılan Ticari Modeller

Kirliliğin kontrolü amacıyla alıcı su ortamına deşarj edilen atıksuyun beklenen konsantrasyonlarını tahmin etmek için yüzebilir hüzme modelleri kullanılmaktadır. 1980'lerden beri kentsel atık sularının denize deşarjlarının EPA tarafından incelenmesinden dolayı dikkatler büyük ölçüde bu konuya yönelmiştir. Bu incelemelerin ana özelliği bu konuda yapılan çalışmalarda ikincil arıtma sonrası atıksuyun kalite parametrelerinin deşarj standartları ile uyumlu olmasıdır.

Modeller, deniz gözlem sistemlerinin dizaynında yardımcı bir görev üstlenmekte ve denize deşarj boru hatlarının çıkış yerleri ile dağıtım sistemlerinin dizaynında kullanılmaktadırlar. Bu amaçla geliştirilmiş modellerin bazıları daha önceden kullanılmış olmasına rağmen EPA 1985 yılında ilk olarak 5 adet model için kullanım kılavuzu hazırlamıştır. Bunlardan RSB (Roberts, Snyder, ve Baumgartner) ve UM (updated merge) modellerinin her ikisi de VPLUMES programı ara yüzeyi tarafından yönetilmektedir. Deniz deşarjında kullanılan matematiksel model programları arasında en çok tercih edilen ve en yüksek geçerliliğe sahip olanlar; VISUAL VPLUMES ve CORMIX modelleridir. Bu iki model programının da yine birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları vardır (Kocamış 2006).

VISUAL VPLUMES modeli EPA tarafından desteklenirken CORMIX modelleri artık EPA'nın (Çevre Koruma Ajansı) Araştırma Değerlendirme Model Merkezi (CEAM) tarafından desteklenmemekte ve yayımlanmamaktadır. Ancak programın daha önceki versiyonları EPA CEAM tarafından desteklenmiştir ve çoğu uygulamalarda kullanılmaktadır.

CORMIX ve VISUAL PLUMES paket modelleme programları, birbirleriyle etkileşim kurabilen bilgisayar tabanlı bazı hesaplamaları, programların bazı alt modellerinin içinde çalıştırılabilen modelleme sistemleridir (Kocamış 2006).

4.2.1 Cormix Paket Modelleme Programları

CORMIX modelleme programı kendi sistemi içerisindeki verileri birçok hidrolik modele adapte edebilen yazılım sistemidir. CORMIX programının içeriği tekli ya da çoklu difüzörün bulunduğu, batık (dip) ve yüzeyden yapılan deşarjlarda, deşarj çıkış hüzmesinin pozitif veya negatif hareketinin, tek yönlü ve çok yönlü dağıtıcılar aracılığıyla, denizlere, açık okyanuslara, göllere, nehir ve nehir ağızlarına deşarj şekillerinin geniş bir yelpazede kullanılabilmesi için dizayn edilmiştir. CORMIX yapısı itibariyle durağan bir hal içerisindeydir. Fakat gel git olayları sonucu oluşan fiziksel değişimleri hesaba katabilen, gel gidin sebep olduğu girişim için tekrar hesaplar yapabilen ve ortam koşullarının değişim oranını hesaba katabilen bir programdır.

CORMIX modelleme programında ilk etapta hidrolik hesaplamalar yapılarak deşarj edilen su hüzmesi davranışı hakkında bir rapor hazırlanır. Sonuçlar grafik formunda data hminlerin görüldüğü seçmeli grafik paketi kullanılarak incelenebilir.

CORMIX yakın atık su tarlası su kalitesi çalışmaları için sıklıkla kullanılan bir hidrodinamik karışım zonu modellemesi ve bu modellemenin karar destek sistemini içeren bilgisayar tabanlı bir uygulamadır. CORMIX'in en güncel versiyonu 3 adet alt model içermektedir. Söz konusu bu alt modeller aşağıda listelenmiştir:

- CORMIX I: Batık tek nokta deşarjı
- CORMIX II: Batık çok noktalı deşarjlar
- CORMIX III: Yüzey deşarjları

CORMIX programı aynı zamanda birkaç tane kullanışlı program içerir:

- CORJET; Tek nokta batmaz jet modelidir.
- FFLOCATR; Uzak su tarlalarında deşarj edilen su hüzmesi lokasyonunu belirlemek için kullanılır.
- CMXGRAPH; CORMIX'in alt model tahminlerinin görüntülenmesine yarayan grafik tabanlı bir programdır.

4.2.2 Visual Plumes Paket Modelleme Programları

Visual Plumes (VP) Windows tabanlı bir bilgisayar uygulaması olup, karışım bölgesi modelleme sistemidir (Baumgartner vd., 1994). Programın özellikleri arasında grafikler, zamana bağlı dosyalar, kullanıcı tanımlı birimler, geçmiş zamanlı kirleticiye ait bilgileri geri çağırabilme özelliği, duyarlılık analizi yapabilme, sıcaklık, tuzluluk, su sütununda ışığın etkisine bağlı olarak koliform giderim yüzdelерinin bulunması gibi özellikler mevcuttur.

VP programı model sonuçlarını diğer metotların sonuçlarıyla da kendi içerisinde gösteren kendine özgü bir metotla çalışır. Bu şekilde, ileriki zamanlarda, önerilen özel modellerle farklı sonuçlar elde edileceği düşünülmektedir. Bu yaklaşımla, süregelen deşarj edilen su hüzmesi davranışı konusundaki modellemelerinin gelişmesi teşvik edilmektedir.

Bu amaçla, VP, UDKHDEN(Updated Davis, Kannberg, and Hirst Density model)'e dayalı olan DKHW(Davis, Kannberg, Hirst model for Windows) modelini, yüzey deşarj modeli olan PDS(Prych, Davis, and Shirazi)'yi, UM(Updated Merge)'ye dayalı olan üç boyutlu UM3 modelini ve RSB(NRFIELD) modelini içermektedir. Bu modeller artarda çalıştırılarak, gösterdikleri performanslar birbirleri ile karşılaştırılabilir. Brooks formülleri gerçek uygulamayla benzer sonuçlar verecek şekilde kullanılır. Ayrıca, DOS VPLUMES bütün özellikleri kullanılabilir şekilde, modellerden biri olarak seçilebilme özelliğine sahiptir. Geçmiş dosyalarla bağlantı özelliği ile uzun süre önceki performans sonuçları arasında benzetim kurulabilir. Çıkış suyu özellikleri ve ortam değişkenleri gibi girdilerin zamanla değişen verileri saklanmış olan dosyalara tekrar girilebilir. Bu, merak edilen kaynaktaki kirleticinin geçmişten bu yana gösterdiği değişim halini tahmin etmede kullanılmaktadır. Geçmiş dosyalarla bağlantı özelliği sayesinde, karışım bölge seyrelmeleri ve konsantrasyonları ve performans belirleyici indikatörleri gösteren özet grafikler elde edilebilmektedir.

VP programı altında bulunan UM (Updated Merge – Güncelleştirilmiş Birleştirme)'ye dayalı olan üç boyutlu UM3 modeli tek ve çok portlu batık deşarjların simülasyonu için kullanılmaktadır.

Maddeler birbirleri arasında zamanla şekillerini ve yerlerini değiştiriyor olsalar bile dağılım bulutu tabakasının şekli değişmez bir biçimde kalır. Birbirine karışmış dağılım bulutlarının şiddeti, karşıt akım sürüklenmelerinin olduğu dağılım bulutlarınınkinden daha az olduğu varsayılarak simüle edilmiştir. Paralel difüzörlerden çıkan suyun seyrelmesi, 20°C'lik açıyla duran difüzörlerin seyrelme etkilerinin eşit olacağı farz edilerek hesaplanmıştır.

UM3 model programının çalıştırılma ve görüntülenme performansları, simülasyon içerisinde zaman adımlarının kontrolü sayesinde daha da iyi geliştirilmiştir. Bununla birlikte programın, maddelerin sürüklenme miktarına göre kontrol ediliyor olması, belirli zaman aralıklarındaki yörünge eğrilerinin daha hassas sonuçlar vermesini sağlamaktadır.

UM3 modeli VP ara yüzü içerisinde yer alan, uygulanabilir 3 boyutlu Lagrangian sürüklenme modelidir. Momentum ve kütle korunumu hüzme yörüngelerinin her bir adımı için program içinde çözülmüş ve belirtilmiştir. Difüzör konfigürasyonu ile ilgili olarak, UM3 yalnızca difüzörün yönüne dik olan tek yönlü jetleri, aynı çap delikleri, eşit boşlukları ve aynı port yükseltme ve boşaltma açısını modelleyebilir.

4.2.3 Cormix ve Visual Plume Ticari Modellerinin Karşılaştırılması

Alternatif bir su kaynağı olarak deniz suyunu tuzdan arındırma yöntemi ile tatlı su elde etme yöntemi önem kazanmıştır. Konsantre tuz çözeltisi, tuzdan arındırmanın bir alt ürünü olup, deşarj edildiği deniz ekosistemleri üzerinde olumsuz etkilere neden olabilir. Bu sebeple deşarj konfigürasyonlarının tasarımı ve çevresel etkilerin değerlendirilmesi için modelleme programları kullanılmaktadır. CORMIX ve VISUAL PLUMES, tuzlu su deşarjlarından kaynaklanan negatif yönde hareket eden konsantre huzmelerinin simülasyonu için kullanılabilir. Bu modellerin temel varsayımları, yetenekleri, sınırlamaları ve güvenilirliği ayrıntılı bir şekilde analiz edilmiştir.

Tablo 4.1 Diferansiyel denklemlerin integrasyonuna dayanan ticari modeller: corjet ve UM3'ün karşılaştırılması (Palomar ve diğ. 2012)

	Corjet (Cormix)	UM3 (Visual plumes)
Erişim	Ticari model	EPA web sayfasından ücretsiz erişilebilen model
Uygulamaları	Negatif ve pozitif çıkış suyu huzmeleri Tekli ve çok portlu su altı deşarjları Yakın saha modelleri	
Model Yaklaşımı	Eulerian yaklaşım Basit bir sayısal yöntemle çözülen denklem sistemiyle sıradan denklemleri kesit yoluyla inceleyerek hareket ve ulaşım diferansiyelinin bütünleşmesine dayanan modeller	
Ana varsayımlar	Sınırsız çevre. Kendiliğinden benzerlik gösteren kesitsel profiller. Jetler için yuvarlak kesit. Kartezyen koordinatları. Sabit durum Girdap viskozitesi kavramına dayanan basit taşınım modelleri.	
	Gauss profilleri. Sonuçlar deşarj merkez hattı baz alınarak incelenir. Yuvarlak dikey jetler için PriestlyveBall'ın 1955'de geliştirdiği formülü baz alan taşınım modeli. Eğilim etkilerini içeren terim: $\sin(\theta)$ Jetler arasına birleşmek için, akışları korurken eşdeğer bir yarı difüzör hipotezi uygulanır. Orijin(X_0, Y_0): Jet nozulu(merkez hattı) ve Z_0 :CORJET'in altında yalnızca beş asimtotik metot için geçerlidir. (saf jet, saf huzme, yatay yayılan hüzme, yatay yayılan ısı tabakası. Diğer durumlar için, örneğin eğimli yüzen atıksu çıkışı durumunda CORJET modeli bir yaklaşım kullanır.	Üniform jet profilleri. Sonuçlar, kesitin ortalama değerlerine atıfta bulunmaktadır.

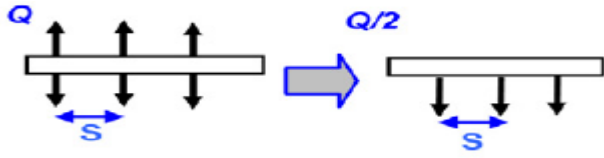
Tablo 4.1 Diferansiyel denklemlerin integrasyonuna dayanan ticari modeller: corjet ve UM3'ün karşılaştırılması (Palomar ve diğ. 2012) (devamı)

Yetenekleri	<p>Su sütunu, farklı sıcaklık ve tuzluluk değerlerine sahip katmanlara, hız veya şiddet akımlarına ayrılabilir.</p> <p>Atıksu deşarj parametrelerinin (akış hızı, yoğunluk, kirletici vb.) özellikleri, jet deşarj konfigürasyonu (port çapı, port yüksekliği, nozül ayırımı, deşarj açısı, vb.) ve ortam koşulları (akımlar, tabakalaşma, gelgitler, vb.) dikkate alınır.</p> <p>Programın, uzman olmayan kullanıcılar tarafından bile çalıştırılması kolaydır. Anlık hesaplamalar yapar.</p> <p>Jetler arasındaki birleşim modellenilebilir.</p> <p>İlgili jet değişkenlerinin tanımları ayrıntılandırılabilir. (eksen yörünge, hız, seyreltme, vb.)</p>	
	CORJET, jet merkez çizgisi dibi etkilendiğinde algılar.	Değişik veri senaryolarına (atık özelliklerine ve ortam koşullarına) sahip dosyalar sıralı modelleme programına dahil edilebilir.
Kısıtlamalar	<p>Sınırlı bir çevre varsayıldığı için sınırın dışıyla etkileşim modellenmemiştir. Simülasyon, yakın alan bölgesi ile bölgeye sınırlanır. Dolayısıyla, uzak alanın tamamı modellenemez.</p> <p>COANDA etkileri ve tekrar eden sürüklenme modellenmemiştir.</p> <p>Dalga efektleri dikkate alınmaz.</p> <p>Üst kenarın yüzey ile etkileşimi tespit edilmemiştir, ancak bu durum da sınırsız ortam hipotezini ve dolayısıyla bu modellerin sonuçlarını geçersiz kılar.</p> <p>Sadece dipin yakınındaki jetler modellenilebilir.</p> <p>Basitleştirici varsayımlardan bazıları optik gelişmiş tekniklerle elde edilen deneysel verilerle doğrulandığında gerçekçi (veya geçersiz) olmadıklarını kanıtladı.</p> <p>Yani kendi benzerliği, kesitsel hız ve Gauss profilini benimseyen konsantrasyon dağılımı; Sabit dağılım oranı (λ), ikinci dereceden türbülans terimleri ihmal edilebilir, vs.</p> <p>CORJET ve UM3 jetin (merkez çizginin veya üst kenarın) yüzeye olan etkisini tespit etmez. Kullanıcı, etki olup olmadığını ve ne zaman meydana geldiğini tespit etmelidir.</p> <p>Difüzör tasarımı, difüzöre dik olan tek yönlü jetler ile aynı çap ve port yükseklik jetleri, akış hızı, başlangıç deşarj açısı ve eşit aralıkla sınırlandırılmıştır.</p>	
	Değişkenlerin evrimi için grafik yok. Zaman serisi veri dosyaları ardışık modelleme için kullanılamaz.	UM3, jetin (merkez çizgisi veya kenarı) dip ile olan etkisini tespit etmez. Grafikler düşük kaliteli.

Tablo 4.1 Diferansiyel denklemlerin integrasyonuna dayanan ticari modeller: corjet ve UM3'ün karşılaştırılması (Palomar ve diğ. 2012) (devamı)

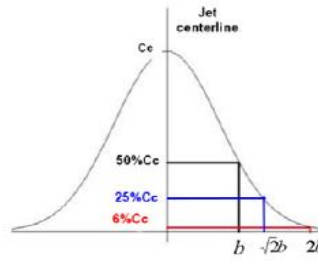
Hassasiyet Analizi	45 ⁰ -60 ⁰ arasındaki başlangıç deşarj açılarındaki maksimum etkilerdeki maksimum seyrelmeler Port yüksekliğine çok hassas değil. Ortamın akım yönüne göre, CORJET seyrelme sonuçları bu parametreye neredeyse duyarlıdır Hüzme birleşmesi meydana gelirse, nozullar arasındaki ayrıma duyarlılık düşüktür.	60 ⁰ başlangıç deşarj açısı için etki noktasındaki maksimum seyreltme. Port yüksekliğine duyarlıdır. Ortam akım yönlerine karşı düşük hassasiyet. Çapraz (transvers) akımlar için biraz daha yüksek seyrelme elde edilir. [1] Hüzme birleşmesi meydana gelirse, nozullar arasındaki ayrıma duyarlılık düşüktür.
Yazılım yazarları tarafından doğrulama	Yazılım yazarları tarafından sunulan doğrulama çalışmalarının negatif yönlü hüzme hareketi açısından eksikliği Hüzme birleşmesi için formüle edilen hipotezler, eğimli yoğun jetler için geçerli kılınmamıştır.	
	Durağan ve homojen bir çevreyle sınırlı olan doğrulama. Seyrelme hızları için çok sınırlı veri ile jet yolu ile sınırlı onay	Negatif yönlü çıkış hüzmesi için geçerli bir doğrulama verisi bulunamadı.

Tablo 4.1 Diferansiyel denklemlerin integrasyonuna dayanan ticari modeller: corjet ve UM3'ün karşılaştırılması (Palomar ve diğ. 2012) (devamı)

Tavsiyeler	<p>Modeller jetin üst kenarının yüzeyle olan etkisini tespit etmediğinden, kullanıcı her durumda üst kenarın konumunu hesaplamalıdır (yarıçapı maksimum merkez çizgisi yüksekliğine ekleyerek), böylece yüzey üzerinde etkisi olup olmadığını tespit eder.</p> <p>Eğer öyleyse, bu noktanın ötesinde sonuçlar reddedilmelidir. Coanda etkileri modellenemediği için, bu araçların Coandaolayından etkilenebilecek durumların modellenmesi için kullanılmaması önerilir.</p> <p>DeneySEL olarak, yoğun jetler için elde edilmiş olan boyutsuz nozul yüksekliği: $h_o / LM < 0.2$ 30° eğimli jetler ve $h_o / LM < 0.05$, 30° eğimli jetler için dip akışı önemli olacaktır. (Örneğin, çokluortamdifüzör tasarımı için portları 0,2 m çapında ve Froud numarası 20 ve 30° eğimli jetlerde, $h_o < 0.75m$ ise Coanda etkileri hissedilebilir).</p> <p>Kullanıcı, dinamik ortamlarda (ortam akımı) eğimli jet deşarjlarının yazarlar tarafından doğrulanmadığını göz önüne almalıdır. Ek tavsiyeler, çeşitli durumlarda (durgun ve dinamik ortamlar, jet eğimi, ortam akış yönü vb.) gerçekleştirilen kapsamlı doğrulamalardan elde edilmiştir.</p> <p>180°'de Alternatif bir difüzörkonfigürasyonunu veya nozilli bir difüzörü modellemek için aynı jet özelliklerine sahip, tek yönlü difüzör olarak bağımsız olarak ele alınması önerilir: port çapı ve yüksekliği, hızı, açıları,</p> 
------------	--

Tablo 4.1 Diferansiyel denklemlerin integrasyonuna dayanan ticari modeller: corjet ve UM3'ün karşılaştırılması (Palomar ve diğ. 2012) (devamı)

	<p>CORJET sonuçları tablosu, "b" değerini verir, burada sırasıyla radyal mesafe konsantrasyonu%50 ve hızı merkez hattı değerleri %37'dir. Radyus, radyal mesafeyi temsil eden $R=\sqrt{2b}$'yi kullanarak hesaplanabilir. Konsantrasyon %25 ve jet hızı merkez çizgisi üzerindeki hızın% 14'üdür ve ayrıca $\gamma = 2b$ kullanılır. (Jet konsantrasyonu ve hızı% 6 ve% 2)</p> <p>Deneysel verilere karşı daha iyi bir anlaşma sağlandığından ($00R=\sqrt{2b}$ yerine) $R=2b$ formülünün kullanılması önerilir.</p>	<p>Kullanıcı, dikey su sütununun karşılaştırılmasında en az iki dikey düzey girmelidir. Radyus, üniform profil olduğu varsayıldığı için doğrudan sonuç sayfasında verilir. Seçeneklerin kullanılması farklı senaryoların daha hızlı çalışmasında çok kullanışlı oldukları için "ardışık, tüm ortam listesi" ve "ardışık, ayırıştırma ortamı" önerilir.</p>
--	---	--



4.3 Modelleme Yaklaşımlarında Konsantre Tuzlu Su Deşarj Davranışı

Konsantre atıksuyun alıcı ortama deşarjı ile oluşan su hüzmesinin su ortamı içerisinde dağılımı, alıcı ortam özellikleri ve deşarj edilen konsantre atıksuyun özelliklerine bağlıdır. Deniz ortamına deşarj edilen konsantrenin hareketi ve taşınması, çok geniş bir uzunluk ve zaman skalasına bağlıdır. Deşarj edildikten kısa bir süre sonra, türbülanslı sürüklenme hakim olur, bu durumda hüzme, eğer negatif bir yüzdürme yapmazsa deniz yatağını etkileyebilir veya ortam tabakalaşmasıyla yükselebilir ya da pozitif yüzer durumda su yüzeyini etkileyebilir. Hüzme belirli bir karışım seviyelerine ulaştıktan sonra, akışlar esas olarak yatay hale gelir, bu yükselme ve alçalma hareketleri sonrasında türbülansın etkisi biter ve hüzme çöker.

Tüm bu süreçler genellikle yakın alan süreçleri olarak adlandırılmaktadır. Yakın alanın ötesinde, konsantre atıksu hüzmesi daha geniş alanlara yayılarak sürüklenir ve yayılır; Bu bölge uzak alan olarak adlandırılır. Yakın alanda karıştırma oranı genellikle uzak alandan çok daha büyüktür. Ek olarak, dinamik yoğunluk akımı olarak bir yanal yayılma bölgesi de olabilir. Bu bazen bir orta alan olarak nitelendirilir (Palomar ve diğ. 2012).

Deşarj sonrasında su hüzmesinin davranışının modellenmesi sırasında deşarj alanında dikkate alınması gereken yakın ve uzak alan bölgelerini daha da açıklayacak olursak;

Yakın alan bölgesi, deşarj noktasının yakınında bulunmaktadır ve başlangıçtaki karışım ile karakterizedir ve esas olarak tuzlu su deşarj konfigürasyon tasarımına, atık su ve ortam özelliklerine bağlıdır.

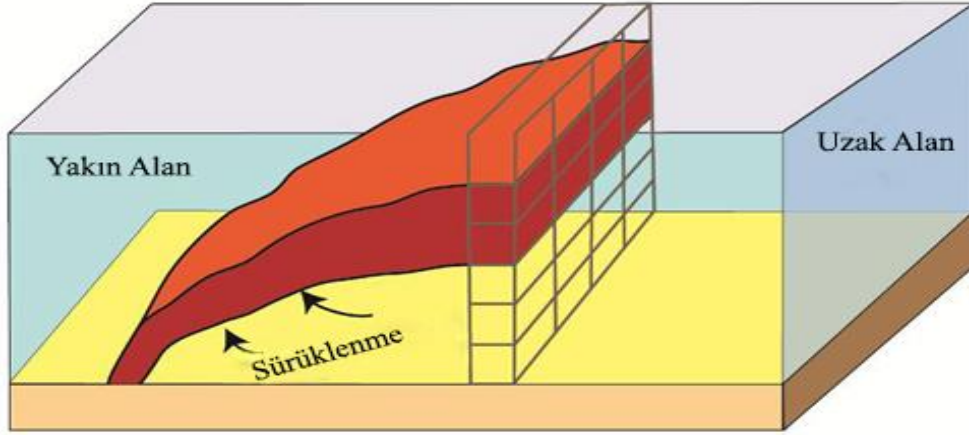
Jet ve ortam özellikleri arasındaki hız farklılıkları nedeniyle oluşan tabakalaşmanın etkisiyle türbülans etkileri oluşmakta ve yakın alanda daha yüksek seyrelme oranlarına ulaşılmaktadır. Akış ve karışım karakteristikleri küçük ölçekler (~ metre ve ~ dakika) üzerinde baskındır. Normal olarak, tuzlu su deşarj sistemi, yakın alan bölgesinde seyrelmeyi en üst düzeye çıkaracak şekilde tasarlanmıştır.

Uzak alan bölgesi, deşarj noktasından daha uzakta tuzlu suyun yerçekimi akımına dönüştüğü yerdir. Karışım, ortam koşullarına (batimetrik, akımlar, dalgalar, vb.) ve tuzlu su hüzmesi ile alıcı ortam arasındaki yoğunluğun farklılıklarına bağlıdır.

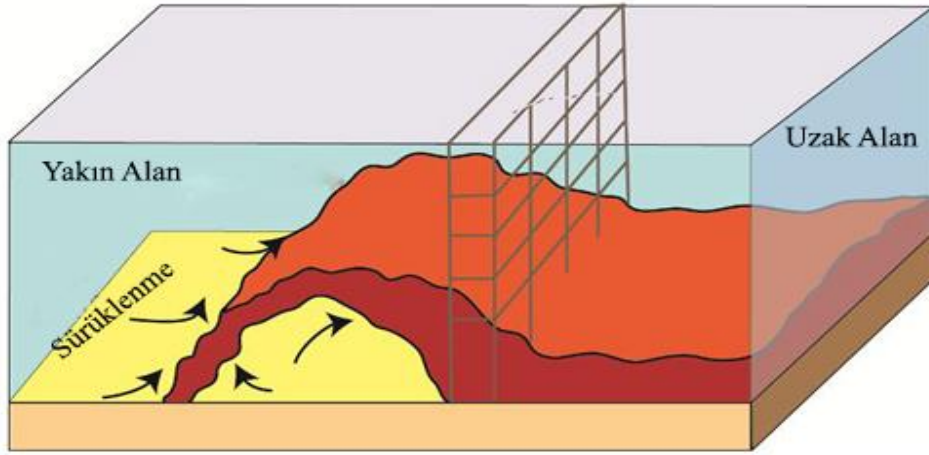
Burada su sütunu katmanlaşmış gibi görünür ve psikolojik çizgi, tuzlu su hüzmesi ile deniz suyu arasındaki karışımı zorlaştırır. Bu bölgede tuzlu su seyreltme oranı çok düşüktür ve neredeyse sabit bir değer almaya eğilimlidir ve karışım karakteristikleri büyük ölçekler (~ kilometre ve ~ saat) üzerinde baskındır.

Şekil 4.1.'de konsantre atıksuyun alıcı ortama deşarjı ile yakın ve uzak alan bölgesinde oluşan pozitif hüzme hareketi(a) ile negatif hüzme hareketi(b) gösterilmektedir (Scott ve diğerleri 2012).

a)



b)



Şekil 4.1: Konsantre atıksuyun alıcı ortama deşarjı ile yakın ve uzak alan bölgesinde oluşan pozitif hüzme hareketi, (a) ve negatif hüzme hareketi, (b)(Scott ve diğ. 2012)

Şekil 4.2 ve 4.3’de, eğimli yoğun bir jet deşarjının ana geometrik özelliklerini göstermektedir.

Zt: Maksimum artış yüksekliği (jetin üst sınırının veya jetin üst kenarının maksimum yüksekliği).

Zm: Merkez hattı pik noktasının dikey konumu.

Xm: Merkez hattı pik noktasının yatay konumu.

Xi: Etki noktasındaki yatay konum (jet ekseninin alt kısmı etkilediği nokta).

Si: Etki noktasındaki minimum merkez hattı seyreltmesi.

Xr: Dönüş noktasının yatay konumu (akışın kaynak yüksekliğine döndüğü nokta).

Sr: Dönüş noktasındaki minimum merkez hattı seyreltmesi.

H_A : Deşarj noktasındaki ortalama derinlik.

U_A : Ortam hızı.

C_A : Ortamdaki tuzluluk; ρ_A : Ortam yoğunluğu.

σ : Jet ile akım arasındaki yatay açı.

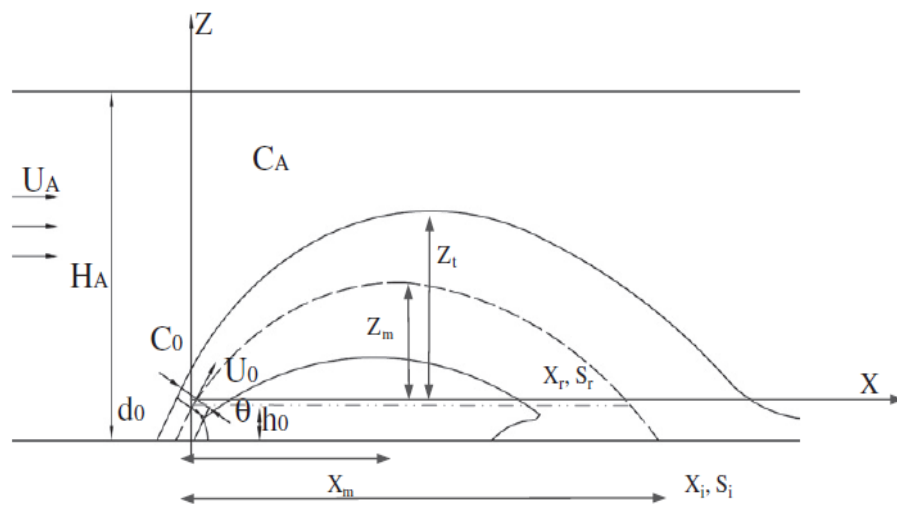
ρ_o : Atık su yoğunluğu; C_o : Çıkış tuzluluk konsantrasyonu.

U_o : Jet deşarj hızı.

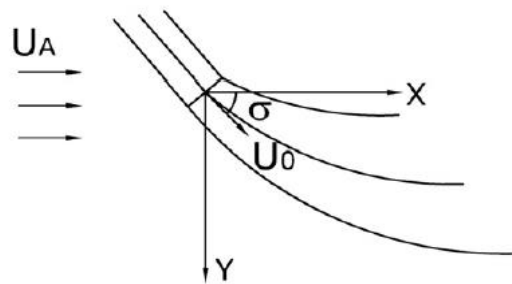
$D=d_o$: port çapı.

h_o : Port yüksekliği.

θ : Jet deşarj açısı (dibe göre dikey açı).



Şekil 4.2: Jet deşarjının ana geometrik karakteristikleri. Profil görünümü. (Palomar ve diğ.2013)



Şekil 4.3: Jet deşarjının ana geometrik karakteristikleri. Plan görünümü. (Palomar ve diğ. 2013)

Çok portlu jet deşarjları için aşağıdaki ek değişkenlerin tanımlanması gerekir:

n_p : Port sayısı.

S_p : Bağlantı noktaları arasındaki port veya nozül aralığı.

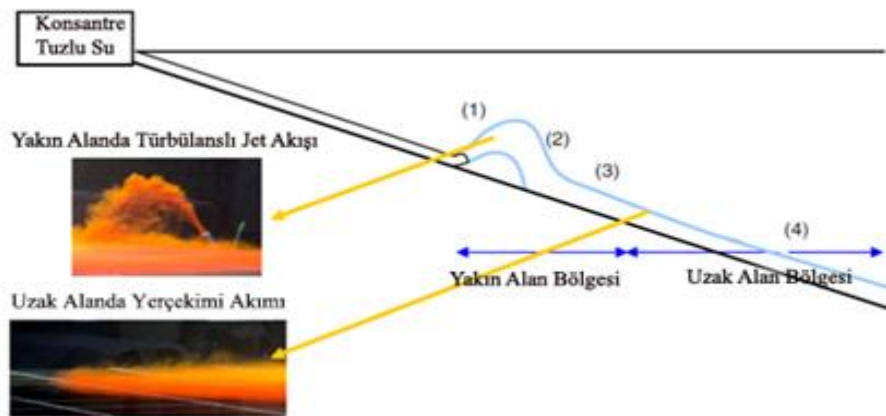
β : Jet merkez çizgisi ve difüzör arasındaki yatay açı.

γ : Difüzör hattı ve ortam akımı arasındaki açı.

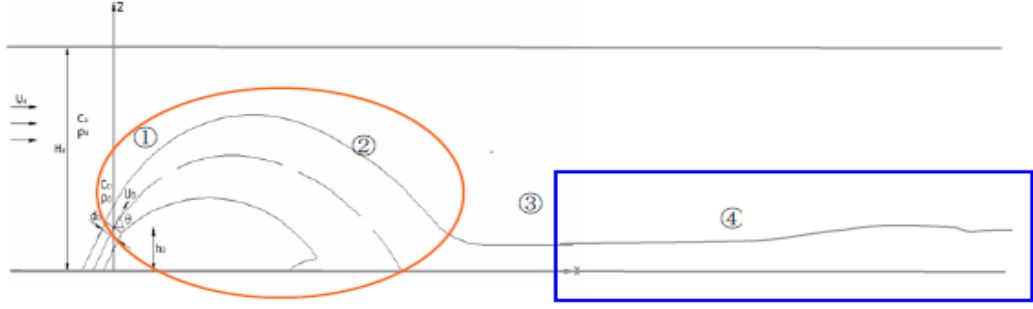
L_D : Difüzör uzunluğu.

Konsantre deşarjları için farklı deşarj konfigürasyonları söz konusu olup, optimum deşarj yöntemi, konsantre özellikleri, deşarj yeri ve ortam koşullarına bağlıdır. Yüksek oranda seyrelmeyi sağlamak için tercih edilen sistem eğimli jetler vasıtasıyla yapılan deşarjdır.

Tuzlu su yukarı doğru deşarj edildiğinde negatif huzme ortaya çıkar ve yükselir. Şekil 4.4 eğimli tek porttan yapılan deşarjın huzme davranışını göstermektedir: (1) yukarı doğru deşarj edilen yoğun tuzlu su, huzme kuvvetinin momentumun düşey bileşenine karşı geldiği yükselen bir yörünge ile yükselen bir negatif huzme jeti meydana getirir(deşarj hızından dolayı).Deşarj noktasından biraz uzaklaştığında, başlangıç momentumunun düşey bileşeni (negatif huzme (kaldırma) kuvvetinin sürekli hareketi nedeniyle) sıfıra düşer, huzme kuvveti momentuma eşit olur ve jet maksimum yüksekliğine ulaşır. Bu noktadan hareketle baskın güç huzme olup jet aşağı doğru hareket etmekte (2) ve türbülans olayından ve akım genişlemesinden dolayı oluşan ekstra seyrelme ile bu jet taban kısmını etkilemektedir. Taban etki bölgesi ile uzak alan bölgesi (3) arasındaki alan, akışın bir "yayma tabakası" olarak davrandığı bir geçiş bölgesidir. Uzak alan bölgesinde, tuzlu su yerçekimi akımına dönüşür (4) (Palomar ve diğ. 2013).



Şekil 4.4: Yakın ve uzak alan bölgelerinde jet deşarjı planı(Palomar ve diğ. 2013)



Şekil 4.5: Konsantre ve atık suları çıkışını karşılaştıran yakın ve uzak alan bölgeleri deşarjı(Palomar ve Iñigo 2011)

4.4 Konsantre Deşarj Modeli

Şekil 3, ortam su derinliği H_{a0} ve tabanla eğim açısı θ_B olan bir alıcı suortamı içine deşarj edilen negatif yüzer jetin yandan görünüşünü göstermektedir. difüzör delik çapını (m), D , yüksekliği h_0 , yatayla eğim açısı θ_0 . Alıcı su ortamı sabit yoğunluğu ρ_a , jetin difüzör deliğinden çıkış hızını (m/s), U_0 , etkili yerçekimi ivmesini $\left(\frac{\Delta\rho}{\rho_a} \cdot g\right)$, $\Delta\rho = \rho_a - \rho_0$, ρ_a , alıcı ortam yoğunluğunu (kg/m^3), ρ_0 , atıksu yoğunluğunu (kg/m^3), g , yerçekimi ivmesini (m/s^2), D , difüzör delik çapını (m) göstermektedir. Bu, aşağıdaki akı değişkenleri; sırasıyla, debi Q_0 , momentum akısı M_0 ve hüzme akısı J_0 .

$$Q_0 = \frac{\pi}{4} d_0^2 U_0$$

$$M_0 = U_0 Q_0$$

$$J_0 = g_0^1 Q_0$$

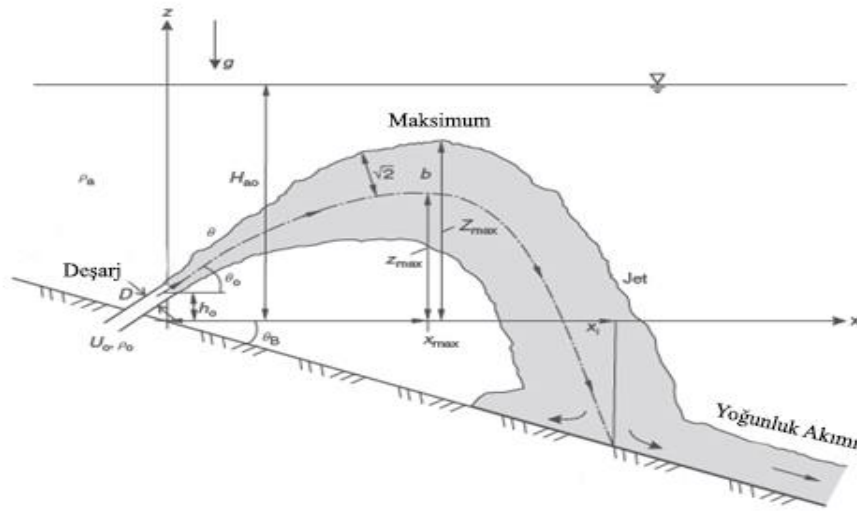
$$g_0^1 = g(\rho_a - \rho_0) / \rho_a < 0 \text{ ise hüzme hızlanır. (negatif hüzme)}$$

Bu yüksek hızdaki deşarjdan kaynaklanan türbülanslı jet ilk önce maksimum seviyeye yükselir ve eğimli tabana çarpana kadar negatif yüzerlik etkisi altına düşer. Oluşan yoğunluk akımı ileri, yanal ve kısmen ters yayımlı karmaşık üç boyutlu bir süreçtir (Şekil 4.5).

Türbülanslı yüzen jetin geometrik ve karışma özellikleri iki uzunluk skalasıyla, deşarj uzunluğu ölçeği L_Q ve momentum (jet / hüzme geçiş) uzunluk ölçeği L_M ile belirlenebilir;

$$L_Q = Q_o / M_o^{1/2} \quad L_M = M_o^{3/4} |J_o|^{1/2}$$

Burada, U_o , jetin difüzör deliğinden çıkış hızını (m/s), g' , etkili yerçekimi ivmesini ($= \frac{\Delta\rho}{\rho_a} \cdot g$), $\Delta\rho = \rho_a - \rho_o$, ρ_a , alıcı ortam yoğunluğunu (kg/m^3), ρ_o , atıksu yoğunluğunu (kg/m^3), g , yerçekimi ivmesini (m/s^2), D , difüzör delik çapını (m) göstermektedir. (Bleninger ve Jirka 2008)



Şekil 4.6 : Eğimli tabanla durgun ortam içine deşarj edilen negatif yüzer jetin şematik yan görünüşü. (Bleninger ve Jirka 2008)

Boyutsuz bir parametre, F, densimetrik Froude sayısıdır.

Froude sayısı (F),

$$F = \frac{U_o}{\sqrt{g' \cdot D}}$$

$L_M/L_Q = (\frac{\pi}{4})^{-1/4} F$ uzunluk skalasıyla orantılıdır. Böylece, yüksek Froude sayısındaki deşarjlar için, $F_o \gg 1$ ise, L_Q diğer birçok jet konfigürasyonları için iyi bilindiği gibi dinamik olarak önemli bir parametre olmayı bırakır. Dikey negatif

yüzer jet için Zhang ve Baddour tarafından yapılan detaylı çalışmalar, $Fo \geq 10$ olduğunda, maksimum seviyedeki seyrelmenin Froude sayısından bağımsız hale geldiğini göstermiştir. Daha küçük Froude numaraları için ilk seyreltme daha düşük olur. İyi bir seyrelme için konsantre tuzlu su deşarjlarında ideal froude numarası 20-25 aralığında belirlenmiştir (Bleninger ve Jirka 2008).

Konsantre tuzlu sular farklı metotlarla bertaraf edilebilir. Bunlar; kıyından yüzey akışı olarak, kentsel atıksu veya termik santral soğutma suyu gibi diğer atıksular ile karıştırılarak (önceden seyreltilerek) veya doğrudan konsantre tuzlu su akışı olarak deniz içerisine deşarj edilebilir.

Kıyından deniz ortamı yüzeyine yapılan deşarjlar için (Şekil 4.6.a ve 4.6.b), yakın alan, temel olarak yüzey tabakasına taşınım (pozitif hüzme akımı), ya da alt yoğunluk akımından (negatif hüzme akımı) meydana gelir. Yoğunluk akımları nedeniyle taşınım oldukça yavaş olduğu için, bu taşınım konsantrenin deşarj hızına bağlıdır. Ayrıca, yoğunluk tabakalaşması nedeniyle uzak alanda dikey karışım azalır. Bu etkiler nedeniyle, yakın alan seyrelmesi, oldukça küçüktür (5 kat veya daha az). Konsantre akımın (negatif hüzme akımı) kıyından deşarjı (Şekil 4.6.a) dip eğimi yönünde bir yoğunluk akımına neden olacaktır. Oluşan yoğunluk tabakalaşması dikey karışımı engelleyeceği için seyreltme oldukça küçüktür ve bu sebeple bentik organizmalar yüksek tuzluluğa maruz kalabilirler.

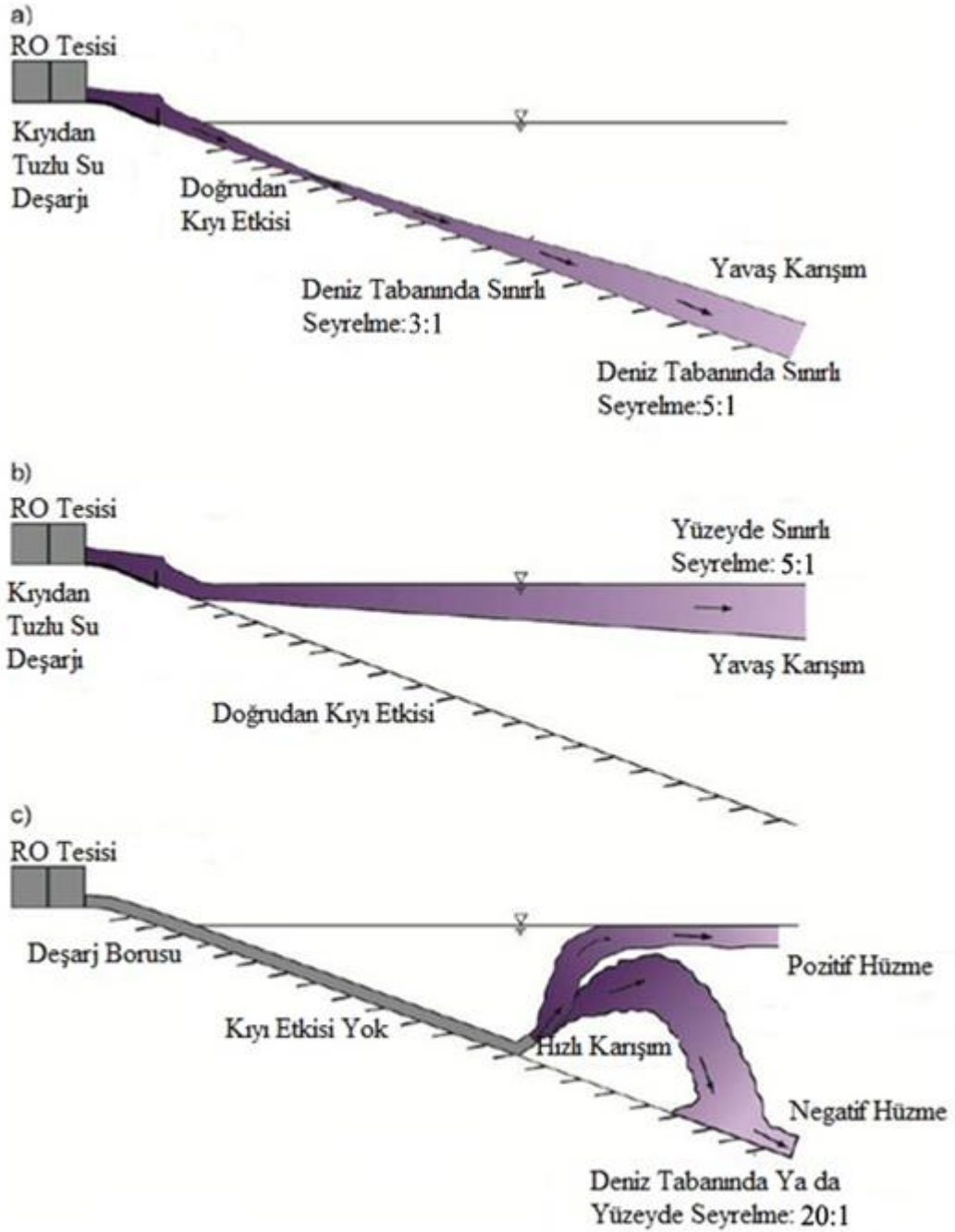
Diğer atıksular ile karıştırılarak yapılan atıksu deşarjı; alıcı su ortamına deşarj öncesinde konsantre akımın potansiyel olarak toksik olmayan seviyeye seyreltilmesini kapsayan başka bir bertaraf stratejisidir. Bu yöntem, boruda ya da tesiste seyreltme yöntemiyle mevcut bir atıksu akımı ile konsantre akımın karıştırılmasını kapsar. Ön seyreltme için soğutma suyu gibi çok daha büyük hacimde bir akım ile birlikte deşarj durumunda, kıyından deşarj pratiktir. Bu durumda, soğutma suyunun yüksek sıcaklığı nedeniyle atıksuyun batmaması (Şekil 4.6.b) muhtemeldir.

Bu tür durumlarda seyrelmenin gerçekleşmesi için iki yaygın yol vardır: 1) desalinasyon tesisinin, seyreltme suyunun genellikle çok düşük bir tuzluluğa sahip olduğu bir atık su tesisi ile birlikte konumlandırılması; veya 2) desalinasyon tesisinin, seyreltme suyunun, tipik olarak deniz olan alıcı su ortamından alınan

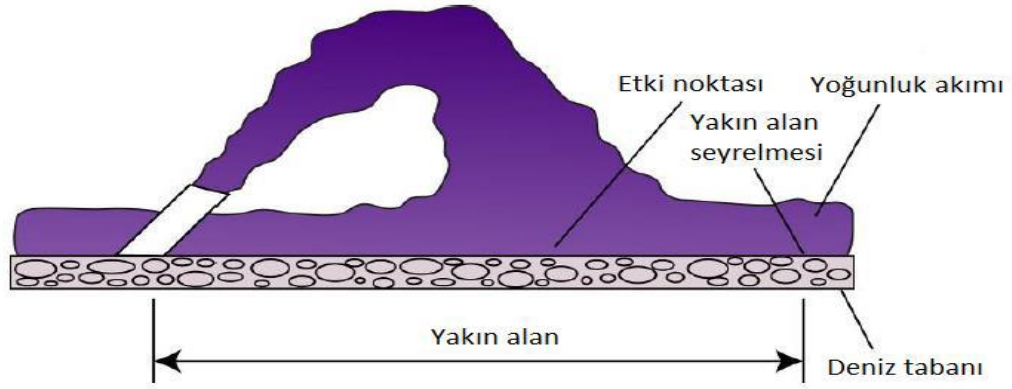
soğutma suyu deşarjı olan bir enerji santrali ile birlikte konumlandırılması. Atık su ile seyreltme, atık su tatlı su olduğundan, nispeten düşük atık su deşarj oranlarında bile, deniz suyu seviyesinden daha düşük bir deşarj tuzluluğu üretir. Bu, tuzlu su akıntısından deniz yaşamı üzerindeki yüksek tuzluluk etkilerini azaltmak veya ortadan kaldırmak için bir araçtır. (Scott ve diğ. 2012)

Diğer atıksular ile karıştırılarak yapılan atıksu deşarjlarında genellikle mevcut deşarj sistemi ve difüzörler (Şekil 4.6.c) kullanılır. Mevcut bir deşarj sistemi vasıtasıyla deşarj genellikle "düşük" basınçta olacaktır, yani jet çıkış hızı nispeten düşük ve jet momentum akısı oldukça küçük olacaktır. Enerji santrallerinde, termal deşarjlar ya birçok çıkışlı difüzör ya da büyük bir tek dağıtıcı vasıtasıyla yapılacaktır. Kentsel atık su difüzörlerinde nozıllar genelde yataydır. Eğer yüksek atıksu sıcaklığı nedeniyle, deşarj edilen atıksu batmazsa hüzme su yüzeyine doğru yükselir. Ortam tabakalaşması yeterince güçlü ise atıksu bulutu su yüzeyinin altında kalacak, değilse su yüzeyine ulaşacaktır. Pozitif hüzme akımları için kullanılan çok çıkışlı difüzörler genellikle yatay olduklarından, negatif hüzme akımlarının deşarjları için uygun olmayabilirler. Çözüm üretmek gerekirse, difüzörlerde daha çok delik açmak ve deliklere düşük debilerde yüksek hız sağlayan değişken alan kontrol vanaları yerleştirmektir. Ayrıca seyrelmenin dikkatle modellenmesi ve değerlendirilmesi gerekmektedir.(Scott ve diğ. 2012)

Son durum, yukarı doğru eğimli olan yüksek hızlı jet vasıtasıyla negatif yüzen tuzlu su konsantrasyonunun doğrudan deşarjıdır. Negatif hüzme hareketi, alıcı ortam içerisinde tabakalaşma oluşmadan, huzmenin yayılımının artmasına sebep olduğundan, seyrelmenin maksimum düzeyde olmasını sağlamaktadır. Bu yöntem küçük deşarjlar için tek bir jet veya daha büyük deşarjlar için çok çıkışlı difüzörler kullanılabilir. Yüksek jet hızları hızlı seyrelme ve tuzluluğun azalmasına neden olur. Seyrelme Şekil 4.7'de gösterilmiştir. Böyle bir difüzör ile 20:1'i aşan seyrelme kolaylıkla sağlanabilir.



Şekil 4.6: Çeşitli tuzlu su deşarj konfigürasyonları ve atık sular için karıştırma özellikleri ve madde dağılımları. a) Kanal veya savak yoluyla RO tesisi (yoğun atıksu) kıyıdan deşarj, b) Termal Tesislerde (soğutma suyuyla karıştırılan yoğun atıksu) kanal veya savak ile kıyıdan deşarj, c) boru hattı ve nozıl veya difüzör yoluyla su altında deşarj (yoğun atıksu) (Scott ve diğ. 2012).



Şekil 4.7: Eğimli jet olarak tuzlu su deşarjının şematik gösterimi.(Scott ve diğ. 2012)

Seyrelme seviyesi olarak nitelendirilen S değeri, her bir litre konsantre suyun S değeri kadar miktar deniz suyu ile karıştığını ifade eder. Örneğin, 50: 1'lik bir seyrelme, her bir litre konsantre suyun 50 litredeniz suyuyla karıştığı anlamına gelir. (Jochen 2009)

4.4.1 Yakın Alan Seyrelme Katsayıları Hesapları

Durgun ve üniform yoğunluklu ortama yatay dairesel jet deşarjında, jetler arası girişim olmaması durumunda jet eksenindeki seyrelmeler (S_m) için aşağıdaki yaklaşık ifadeler verilmiştir. Bu ifadeler yaklaşık olmalarına rağmen, pratikte yaygın şekilde kullanılmaktadır.

$$y/D < 0.89F \text{ için} \quad S_m = 0.54.F \left(\frac{y}{D.F} \right)^{0.44}$$

$$y/D > 0.89F \text{ için} \quad S_m = 0.54.F \left(\frac{0.38y}{D.F} + 0.68 \right)^{1.67}$$

Burada, F, densimetrik Froude sayısı (boyutsuz), D, difüzör delik çapı (m), y difüzör deliğinden itibaren ölçülen düşey mesafe (m) olarak verilmektedir (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2010).

4.4.2 Uzak Alan Seyrelme Katsayıları Hesapları

Uzak alan seyrelme hesapları aşağıdaki hesap tekniği yardımı ile hesaplanabilir. Atıksu hüzmesinin x eksenini boyunca uğrayacağı uzak alan seyrelmesi, aşağıdaki denkleme uygulanabilir.

$$S_2 = \frac{1}{\operatorname{erf} \left\{ 1.5 / \left[\left(1 + \frac{2}{3} \beta \frac{x}{b} \right)^3 - 1 \right] \right\}^{0.5}}$$

Burada, ε_0 , x=0 noktasındaki difüzyonu katsayısını, L, x'in belli bir değeri için atıksu tarlası genişliğini, b, x=0 noktasındaki atıksu tarlası genişliğini, $\beta = \frac{12\varepsilon_0}{u_x b}$ ile hesaplanan boyutsuz sabiti göstermektedir. Erf ise, standart hata fonksiyonunu göstermekte olup, standart hata fonksiyonu tablosu kullanılarak hesaplanmalıdır.

Başlangıçtaki türbülans difüzyonu katsayısı

$$\varepsilon_0 = \eta b^{4/3}$$

denkleme ile ifade edilmekte ve Eddy difüzyonu katsayısı (η) ortalama bir değer olarak, $\eta=0.01$ alınabilir (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2010).

5. MATERİYAL VE METOD

5.1 Çalışma Alanının Tanımı

Bu çalışma, içme ve kullanma suyu sıkıntısının sıkça yaşandığı Bodrum Yarımadasında su temini için RO kullanılması ile başlayan ve sonrasında sistemde oluşan konsantre atıksuyun deniz ortamına deşarj edilmesi ve bu deşarj sırasında RO konsantre atıksularının deniz ekosistemine ve özellikle bölgede sıkça bulunan deniz dip bitkisi olan *possedonia* çayırlarına olumsuz etki oluşturmaması adına deşarj hüzmesinin deniz ortamında iyi bir dağılım ve seyrelme konfigürasyonu sağlanması amacıyla yapılmıştır. Bu kapsamda bölgedeki 3 adet RO tesisi ele alınarak bu tesislerden çıkan tuzlu suların deniz ortamındaki seyrelme modelleri ortaya çıkarılıp yönetmelik limitleri ile kıyaslanması işlemleri gerçekleştirilmiştir.

5.2 Numunelerin Toplanması

Bu çalışma kapsamında, Muğla İli Bodrum İlçesinde bulunan, içme ve kullanma suyu elde etmek için deniz suyu arıtımında RO sistemi kullanan üç farklı otel işletmesinden deniz ortamına yapılan konsantre atık su deşarjını incelemek amacıyla, RO sistemine ham deniz suyu çekilen deniz suyu ve RO arıtma sisteminden çıkan konsantre atıksuyun deşarj edildiği deniz ortamında yüzme alanı içi ve yüzme alanı dışı olmak üzere belirlenen noktalardan deniz suyu örnekleri alınmıştır(Şekil 5.1 Örnek toplama haritası).

5.3 Kimyasal Analiz Prosedürü

Tüm kimyasal analizler, Tablo.3.1’de belirtilen standart yöntemlere göre Pamukkale Üniversitesi (PAÜ) Çevre Mühendisliği Bölümü Analitik Kimya laboratuvarında yapılmıştır. Söz konusu bu numuneler Tablo 5.2 ’de listelenen parametreler kapsamında analiz işlemine tabi tutulmuş olup, Tablo 5.3 olarak

isimlendirilen Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği (SKKY) Tablo 4’de verilmiş olan deniz suyunun genel kalite kriterleri ile kısmen karşılaştırılmıştır (SKKY Tabloları, değişik tablo 1: RG-13/2/2008-26786).

Tablo 5.1: Deniz suyu kalite parametreleri ve ölçüm yöntemleri

Parametre	Birim	Metot No
pH		SM 4500-H B
Sıcaklık	°C	SM 2550 B
İletkenlik	µS/cm	SM 2510 B
Tuzluluk	‰	SM 2520 B
Sülfat (SO ₄ ²⁻)	mg/L	SM 4500-SO ₄ :C
Klorür (Cl ⁻)	mg/L	SM 4500-Cl: B
Sodyum (Na)	mg/L	SM 3120 B

Tablo 5.2: Deniz suyu kalite parametreleri (Tesis-3)

Parametre	Birim	Değer
pH		8.18
Sıcaklık	°C	16.60
İletkenlik	µS/cm	58900
Tuzluluk	‰	37.9
Sülfat (SO ₄ ²⁻)	mg/L	3200
Klorür (Cl ⁻)	mg/L	24400
Sodyum (Na ⁺)	mg/L	19240



Şekil 5.1: Örnek toplama haritası

Tablo 5.3: Deniz Suyunun Genel Kalite Kriterleri (SKKY Tablo 4 Deniz Suyunun Genel Kalite Kriterleri)

Parametre	Kriter	Düşünceler
pH	6.0-9.0	-
Renk ve bulanıklık	Doğal	Doğal suiçi yaşam için gerekli fotosentez aktivitesinin, ölçüm derinliğindeki normal değerini %90'dan fazla etkilemeyecek kadar olmalıdır.
Yüzer madde	-	Yüzer halde yağ, katran vb. sıvılarla çöp vb. sıvılara çöp vb. katı maddeler bulunamaz.
Askıda katı madde (mg/L)	30	-
Çözünmüş oksijen (mg/L)	Doygunluğun %90'ından fazla	Çözünmüş oksijen değerleri derinlik boyunca izlenmelidir.
Parçalanabilir organik kirleticiler	-	Seyreldikten sonra çözünmüş oksijen varlığını yukarıda öngörülen değerden daha fazla tehlikeye düşürecek miktarda olmamalıdır.
Ham petrol ve petrol türevleri (mg/L)	0.003	Su, biyota ve sedimanda ayrı değerlendirilmeli ve tercihan hiç bulunmamalıdır.
Radyoaktivite	-	Sözkonusu deniz ortamına ait doğal radyoaktivite tür ve seviyeleri aşılmayacaktır. Yapay radyoaktivite ölçülmeyecek düzeyde bulunacaktır.
Üretkenlik	-	Söz konusu deniz ortamına ait mevsimsel üretkenlik seviyeleri korunacaktır.
Zehirlilik	Bulunmayacak	
Fenoller (mg/L)	0.001	
Çeşitli ağır metaller		
Bakır, (mg/L)	0.01	

Tablo 5.3: Deniz Suyunun Genel Kalite Kriterleri (SKKY Tablo 4 Deniz Suyunun Genel Kalite Kriterleri) (devamı)

Kadmiyum, (mg/L)	0.01	
Krom, (mg/L)	0.1	
Kurşun, (mg/L)	0.1	
Nikel, (mg/L)	0.1	
Çinko, (mg/L)	0.1	
Civa, (mg/L)	0.004	
Arsenik, (mg/L)	0.1	
Amonyak, (mg/L)	0.02	

5.4 İncelenen Tesisler ve Özellikleri

İncelenen 3 adet tesise ait RO Besleme suları ve deniz ortamına deşarj edilecek olan RO konsantre sularının pH, sıcaklık, iletkenlik, tuzluluk, sülfat, klorür ve sodyum analiz sonuçları Tablo. 5.4 ve Tablo 5.5’de verilmektedir.

Tablo 5.4 RO besleme suyu analiz sonuçları

Parametre	Birim	RO Besleme Suyu Tesis 1	RO Besleme Suyu Tesis 2	RO Besleme Suyu Tesis 3
pH		8,54	8,24	8,18
Sıcaklık	°C	15,60	12,80	16,60
İletkenlik	µS/cm	42420	49000	58900
Tuzluluk	‰	38,40	35,70	37,90
Sülfat (SO ₄ ²⁻)	mg/L	2200	3400	3200
Klorür (Cl ⁻)	mg/L	21400	21500	24400
Sodyum (Na)	mg/L	18410	18200	19240

Tablo 5.5: RO konsantre suyu analiz sonuçları

Parametre	Birim	RO Konsantresi Tesis 1	RO Konsantresi Tesis 2	RO Konsantresi Tesis 3
pH		8,42	7,48	7,96
Sıcaklık	°C	17,00	20,00	19,00
İletkenlik	µS/cm	81500	95000	101900
Tuzluluk	‰	72,50	62	65,40
Sülfat (SO ₄ ²⁻)	mg/L	4200	6100	5500
Klorür (Cl ⁻)	mg/L	41050	38700	42800
Sodyum (Na)	mg/L	35100	32760	32150

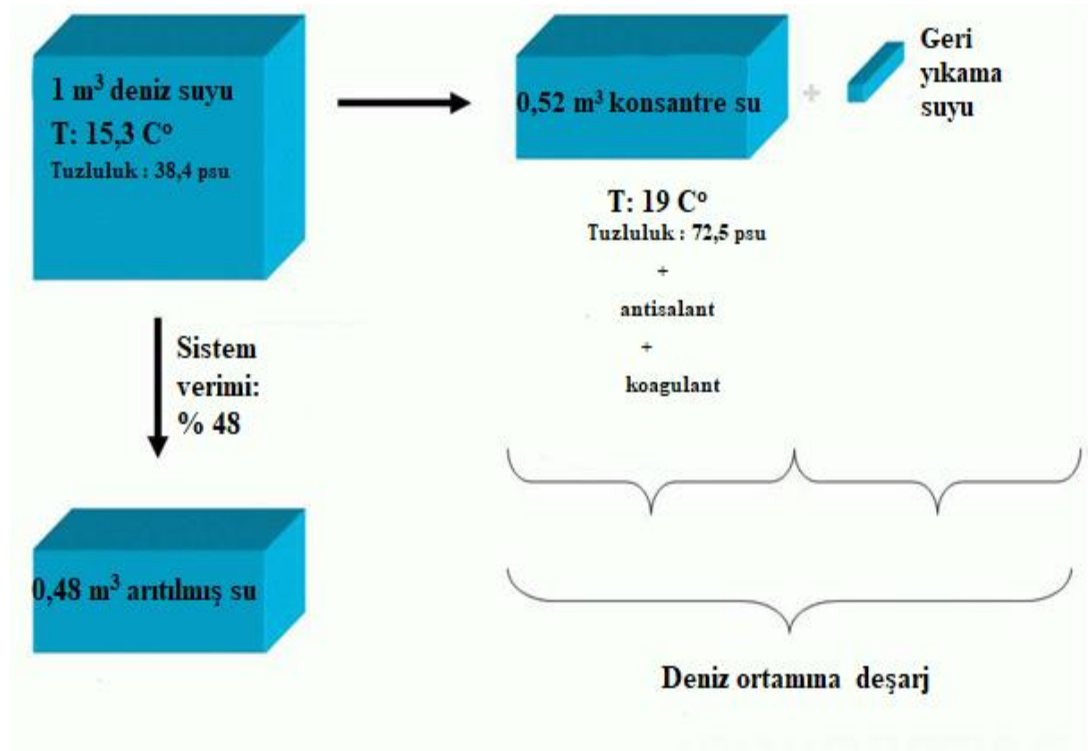
Tablo 5.6: RO süzüntü suyu analiz sonuçları

Parametre	Birim	RO Konsantresi Tesis 1	RO Konsantresi Tesis 2	RO Konsantresi Tesis 3
pH		6,5	6,8	6,6
Sıcaklık	°C	22	21	18
İletkenlik	µS/cm	20	20	21
Tuzluluk	‰	0	0	0
Sülfat (SO ₄ ²⁻)	mg/L	3	6	5
Klorür (Cl ⁻)	mg/L	1	0,2	1
Sodyum (Na)	mg/L	1	0,3	0,8

5.4.1 RO Sistemi ile İşletilen Tesis 1'e Ait Genel Özellikleri

Tesis 1'de bulunan RO tesisinde, denizden alınan ham su bir depoda biriktirilmekte ve ardından çeşitli arıtma işlemlerine tabi tutulmak üzere RO tesisine gönderilmektedir. Ham su ilk olarak suyun kum filtrelerine girişini sağlayan pompaya gönderilmektedir. Su pompadan ortalama 5 bar basınç ile kum filtrelerine girmektedir. 3 adet paralel kum filtresi RO prosesi öncesi ön arıtma (partiküllerin, askıda katı maddelerin tutulması) amacıyla işletilmektedir. Kum filtrelerinde meydana gelen tıkanmalar ve kirlenmelerin giderilmesi için belirli zaman aralıklarında geri (ters) yıkamalar yapılmaktadır. Kum filtrelerinden çıkan sular

basınç dalgalanmalarının dengelenmesi amacıyla genişleme tankına geçmekte ve genişleme tankı vasıtasıyla sabit basınçla (3,2 bar) paralel bağlı kartuş filtreler girmektedir. Kartuş filtrelerde kum filtrelerinden tutulmadan çıkan kolloidlerin tutulması (giderilmesi) sağlanmaktadır. Kirlenen kartuş filtreleri yaklaşık haftada bir kez değiştirilmektedir. Kartuş filtre çıkışında basınç ortalama 2,6 bar civarındadır. Kartuş filtrelerden çıkan sular 1,7 bar basınçla yüksek basınç pompasına gelmektedir. Yaklaşık 50 bara basınçlandırılan su tek kademeli RO prosesine girmektedir. Sistemde toplam 9 adet paralel bağlı olarak işletilen membran kılıfı bulunmakta ve her bir kılıfda 8 inch çapında 6 adet seri bağlı spiral sarım deniz suyu RO membran modülü bulunmaktadır (Şekil 5.3. ve Şekil 5.4).



Şekil 5.2: Tesis 1 için RO desalinasyon çıkış suyu karakteristiği (Bleninger ve Jirka 2010)



Şekil 5.3: Tesis 1' ait RO arıtma tesisi iç görüntüsü-I

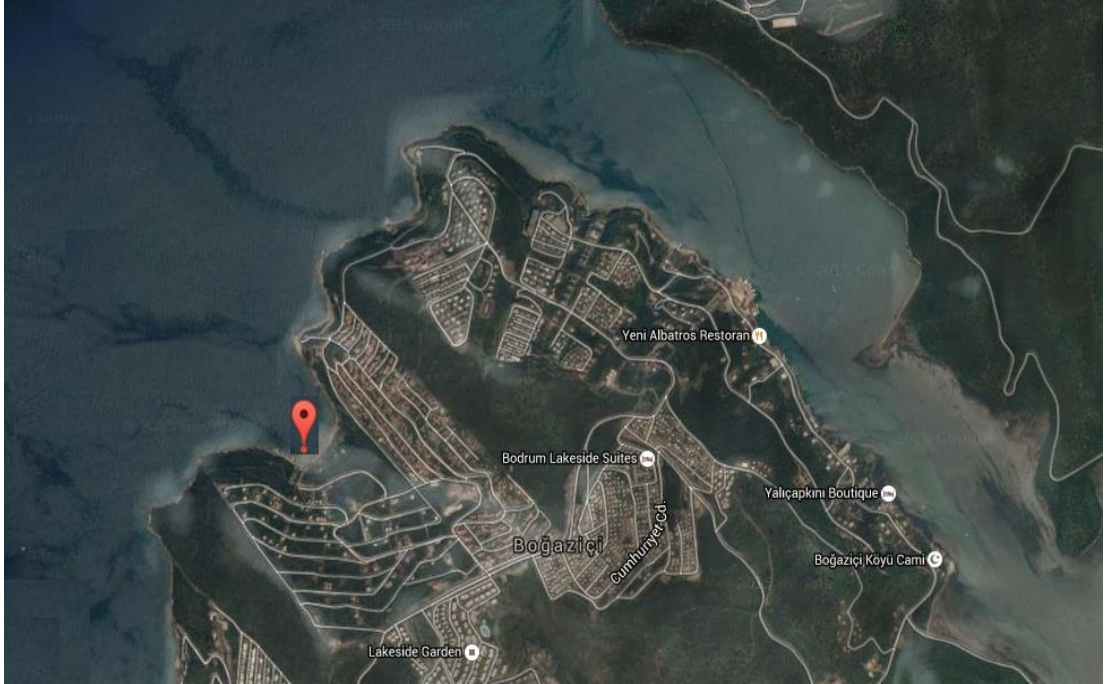


Şekil 5.4: Tesis 1' ait RO arıtma tesisi iç görüntüsü-II

Bu RO tesisinde, toplam 3 kademeli (hat) olmak üzere ortalama günlük 720 m³ temiz su elde edilmektedir. RO prosesinin konsantre suyu debisi ortalama yaklaşık 780 m³/gün'dür. RO modüllerinden çıkan arıtılmış su ürün suyu deposuna gelmekte, buradan da dezenfeksiyon amacıyla klorlama işlemine tabi tutulup, kullanılacak bölgelere dağıtımı sağlanmaktadır. Klor dozaj pompası 8 bar işletme

basıncında 6 lt/saat kapasiteli debiyle çalışmaktadır. RO prosesini oluşturan kum filtreleri, kartuş filtreleri ve RO membran modülleri tam otomasyonla tek bir kontrol paneli vasıtasıyla işletilebilmektedir.

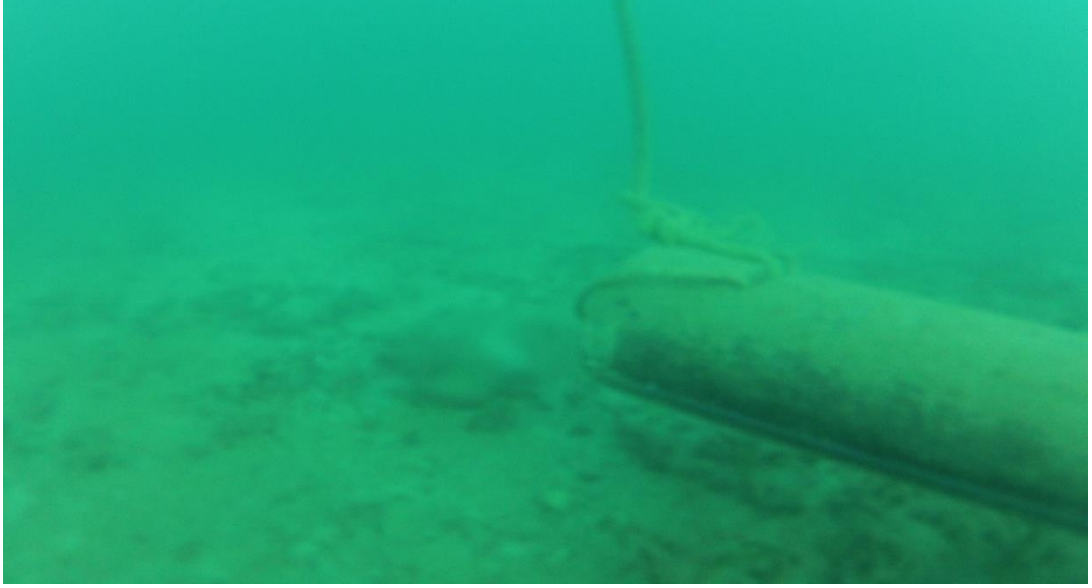
RO membranlarının inorganik tabanlı tortulara karşı tıkanma kontrolü için belirli periyotlarda anti-skalant besleme suyuna dozlanmaktadır. Besleme suyundaki anti-skalant dozu 5-10 mg/L aralığında küçük konsantrasyonlarda olup, ortalama 9 mg/L'dir. Deniz suyu RO tesislerinde inorganik tortu kontrolü için anti-skalant kullanımı global olarak yaygındır. Deniz suyu RO tesislerinde RO konsantrelerinin denize geri deşarjında anti-skalantlar için bir sınırlama/limit değeri global olarak yoktur. Bunun temel nedeni çok düşük konsantrasyonlarda uygulanan ve denizde seyreden anti-skalantların çevresel açıdan tehlike arz etmemesidir.



Şekil 5.5: Tesis 1 ters ozmos tesisi uydu görüntüsü

5.4.1.1 Tesis 1 Deşarj Hattı Özellikleri

Tesiste geri kazanım oranı yaklaşık %48 civarında olmakla birlikte bu oranla RO prosesinin konsantre suyu debisi ortalama yaklaşık 780 m³/gün'dür. Bu konsantre suyu deniz deşarj hattı ile kıyıdan 90 m açıkta, yaklaşık 30 m derinlikte, deniz tabanından 1m yükseklikte tek porttan deşarj edilmektedir. Deşarj hattı boru çapı 15 cm olup, deniz zeminiyle 30⁰ açı yapacak şekilde çıkışı bulunmaktadır.



Şekil 5.6: Tesis 1'e ait konsantre atıksu deşarj noktası

5.4.1.2 Tesis 1 Su Kalitesi Özellikleri

Besleme suyu olarak kullanılan deniz suyu, kıyıdan yaklaşık 40 m uzakta bir noktadan temin edilmektedir. Besleme suyunun klasik özellikleri, binde (‰) 38,40 tuzluluk içermesi, iletkenlik değerinin 42420 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ve toplam çözünmüş madde (TÇK) konsantrasyonunun 28400 mg/L civarında olması olarak karşımıza çıkmaktadır. Ayrıca tesisi besleyen deniz suyu örneğinin sırasıyla klorür (Cl^-) ve sülfat (SO_4^{2-}) iyonu konsantrasyonları ise 21400 ve 2200 mg/L olarak analiz edilmiştir. Söz konusu aynı numunede tespit edilen sodyum (Na^+) iyonu konsantrasyonu ise 18410 mg/L'dir.

Tablo 5.7: Tesis 1 için deniz suyu parametreleri

Parametre	Birim	RO Besleme Suyu
pH		8,54
Sıcaklık	$^{\circ}\text{C}$	15,60
İletkenlik	$\mu\text{S}/\text{cm}$	42420
Tuzluluk	‰	38,40
Sülfat (SO_4^{2-})	mg/L	2200
Klorür (Cl^-)	mg/L	21400
Sodyum (Na)	mg/L	18410

Aritılmış su

Elde edilen ürün suyunun tüm parametreleri TS 266 İçme-Kullanma suyu standartlarını karşılayacak düzeydedir.

Tablo 5.8 : Tesis 1 için süzöntü suyu parametreleri

Parametre	Birim	Süzöntü Suyu
pH		6,5
Sıcaklık	°C	22
İletkenlik	µS/cm	20
Tuzluluk	‰	0
Sülfat (SO ₄ ²⁻)	mg/L	3
Klorür (Cl ⁻)	mg/L	1
Sodyum (Na)	mg/L	1

Konsantre su

Konsantre atıksuyunda binde (‰) 72,50 tuzluluk, 81500 µS/cm iletkenlik ve 54510 mg/L toplam çözülmüş madde (TÇK) konsantrasyonu tespit edilmiştir. Bu örnekte ayrıca, sırasıyla klorür (Cl⁻) ve sülfat (SO₄²⁻) iyonu konsantrasyonları ise 41050 ve 4200 mg/L olarak analiz edilmiştir. Söz konusu aynı konsantre atıksu numunesinde tespit edilen kalsiyum (Ca⁺²) iyonu konsantrasyonu ise 420, 2300 ve 35100 mg/L'dir.

Tablo 5.9: Tesis 1 için konsantre atıksu parametreleri

Parametre	Birim	RO Konsantresi
pH		8,42
Sıcaklık	°C	17,00
İletkenlik	µS/cm	81500
Tuzluluk	‰	72,50
Sülfat (SO ₄ ²⁻)	mg/L	4200
Klorür (Cl ⁻)	mg/L	41050
Sodyum (Na)	mg/L	35100

5.4.1.3 Tesis 1 için Belirlenen Numune Alma Noktaları

Deniz ortamında Şekil 5.7'de görülen, Ters osmoz besleme suyu noktası(1), difüzör noktası(2), difüzör 50 metre etki alanı(3), doğu yönünde difüzör 100 metre etki alanı(4) ve batı yönünde difüzör 100 metre etki alanı(5) olmak beş farklı

noktadan alınan numunelerin 20 parametre kapsamında analizleri yapılmış ve sonuçlar Tablo 5.10’da listelenmiştir.

Tablo 5.10: Tesis 1 İçin beş farklı ölçüm noktasında alınan deniz suyu numunelerinin analiz sonuçları

Parametre	Birim	RO Besleme Suyu (1)	Difüzör Üstü (2)	Difüzör 50 m etki alanı (3)	100 m uzaktan - doğu (4)	100 m uzaktan – batı (5)
pH		8,54	8,52	8,50	8,50	8,50
Sıcaklık	°C	15,60	15,40	15,50	15,40	15,40
İletkenlik	µS/cm	42420	42500	42400	42300	42200
Tuzluluk	‰	38,40	40,62	38,42	38,4	38,4



Şekil 5.7: Ters ozmos tesisi konsantre atıksularının deşarj noktası, koruma bandı ve ölçüm yapılan noktaların genel görünümü

5.4.2 RO Sistemi İle İşletilen Tesis 2’ye Ait Genel Özellikler:

Tesis 2’ye ait RO tesisinde, denizden alınan ham su 150 m³lük bir depoda biriktirilmekte ve ardından çeşitli arıtma işlemlerine tabi tutulmak üzere RO tesisine gönderilmektedir. Ham su ilk olarak suyun kum filtrelerine girişini sağlayan pompaya gönderilmektedir. Su pompadan ortalama 4 bar basınç ile kum filtrelerine girmektedir. 2 adet paralel kum filtresi RO prosesi öncesi ön arıtma (partiküllerin,

askıda katı maddelerin tutulması) amacıyla işletilmektedir. Kartuş filtrelerde, kum filtrelerinde alıkonamayan kolloidlerin tutulması (giderilmesi) sağlanmaktadır. Kartuş filtrelerden çıkan sular 2 bar basınçla yüksek basınç pompasına gelmektedir. Yaklaşık 70 bara basınçlandırılan su tek kademeli RO prosesine girmektedir. Sistemde toplam 10 adet paralel bağlı olarak işletilen membran kılıfı bulunmakta ve her bir kılıfta 8 inç çapında 4 adet seri bağlı spiral sarım deniz suyu RO membran modülü mevcuttur. Bu RO tesisinde, 2 kademeli (hat) olmak üzere toplam ortalama günlük 800 m³ temiz su elde edilmektedir.

RO modüllerinden çıkan arıtılmış su ürün suyu deposuna gelmekte, buradan da dezenfeksiyon amacıyla dezenfeksiyon işlemine tabi tutulup, kullanılacak bölgelere dağıtımı sağlanmaktadır. Klor dozaj pompası 8 bar işletme basıncında 6 İt/saat kapasiteli debiyle çalışmaktadır. RO prosesini oluşturan kum filtreleri, kartuş filtreleri ve RO membran modülleri tam otomasyonla tek bir kontrol paneli vasıtasıyla işletilebilmektedir (Şekil 5.8). RO membranlarının inorganik tabanlı tortulara karşı tıkanma kontrolü için belirli periyotlarda anti-skalant besleme suyuna dozlanmaktadır. Besleme suyundaki anti-skalant dozu 5-10 mg/L aralığında küçük konsantrasyonlarda olup, ortalama 9 mg/L'dir.



Şekil 5.8: Tesis 2'ye ait deniz suyu arıtma tesisi iç görüntüsü-I

5.4.2.1 Tesis 2 Deşarj Hattı Özellikleri

Tesiste geri kazanım oranı yaklaşık %50 civarında olmakla birlikte bu oranla RO prosesinin konsantre suyu debisi ortalama yaklaşık 800 m³/gün'dür. Bu konsantre suyu deniz deşarj hattı ile kıydan 90 m açıktaki, yaklaşık 8 m derinlikte, deniz tabanından tek portla deşarj edilmektedir. Deşarj hattı boru çapı 15 cm olup, deniz zeminiyle 30° açı yapacak şekilde çıkışı bulunmaktadır.

5.4.2.2 Tesis 2 Su Kalitesi Özellikleri

Deniz suyu

Besleme suyu olarak kullanılan deniz suyu, kıydan yaklaşık 10 m uzakta bir noktadan temin edilmektedir. Besleme suyunun klasik özellikleri, binde (‰) 35,7 tuzluluk içermesi, iletkenlik değerinin 49000 µS/cm ve toplam çözünmüş madde (TÇK) konsantrasyonunun 35300 mg/L civarında olması olarak karşımıza çıkmaktadır. Ayrıca tesisi besleyen deniz suyu örneğinin sırasıyla klorür (Cl⁻) ve sülfat (SO₄²⁻) iyonu konsantrasyonları ise 21500 ve 3400 mg/L olarak analiz edilmiştir. Söz konusu aynı numunede tespit edilen kalsiyum (Ca⁺²), iyonu konsantrasyonu ise 18200 mg/L'dir.

Tablo 5.11: Tesis 2 için deniz suyu parametreleri

Parametre	Birim	RO Besleme Suyu
pH		8,24
Sıcaklık	°C	12,80
İletkenlik	µS/cm	49000
Tuzluluk	‰	35,70
Sülfat (SO ₄ ²⁻)	mg/L	3400,00
Klorür (Cl ⁻)	mg/L	21500,00
Sodyum (Na)	mg/L	18200

Arıtılmış su

Elde edilen ürün suyunun tüm parametreleri TS 266 İçme-Kullanma suyu standartlarını karşılayacak düzeydedir.

Tablo 5.12 : Tesis 2 için süzüntü suyu parametreleri

Parametre	Birim	Süzüntü Suyu
pH		6,8
Sıcaklık	°C	21
İletkenlik	$\mu\text{S/cm}$	20
Tuzluluk	‰	0
Sülfat (SO_4^{2-})	mg/L	6
Klorür (Cl^-)	mg/L	0,2
Sodyum (Na)	mg/L	0,3

Konsantre su

Konsantre atıksuyunda binde (‰) 62 tuzluluk, 95000 $\mu\text{S/cm}$ iletkenlik ve 62540 mg/L toplam çözünmüş madde (TÇK) konsantrasyonu tespit edilmiştir. Bu örnekte ayrıca, sırasıyla klorür (Cl^-) ve sülfat (SO_4^{2-}) iyonu konsantrasyonları ise 38700 ve 6100 mg/L olarak analiz edilmiştir. Söz konusu aynı konsantre atıksu numunesinde tespit edilen kalsiyum (Ca^{+2}) iyonu konsantrasyonu ise 32760 mg/L'dir.

Tablo 5.13: Tesis 2 için konsantre atıksu su parametreleri

Parametre	Birim	RO Konsantresi
pH		7,48
Sıcaklık	°C	20
İletkenlik	$\mu\text{S/cm}$	95000
Tuzluluk	‰	62
Sülfat (SO_4^{2-})	mg/L	6100
Klorür (Cl^-)	mg/L	38700
Sodyum (Na)	mg/L	32760

5.4.2.3 Tesis 2 İçin Belirlenen Numune Alma Noktaları

Deniz ortamında Şekil 5.9'da görülen, Ters Osmoz besleme suyu noktası(1), difüzör noktası(2), difüzör 50 metre etki alanı(3), doğu yönünde difüzör 100 metre etki alanı(4) ve batı yönünde difüzör 100 metre etki alanı(5) olmak beş farklı noktadan alınan numunelerin 20 parametre kapsamında analizleri yapılmış ve sonuçlar Tablo 5.13'de listelenmiştir.



Şekil.5.9: Tesis 2 için ters ozmos tesisi konsantre atıksularının deşarj noktası, koruma bandı ve ölçüm yapılan noktaların genel görünümü

Tablo 5.14: Tesis 2 için Beş farklı ölçüm noktasında alınan deniz suyu numunelerinin analiz sonuçları

Parametre	Birim	RO Besleme Suyu (1)	Difüzör Üstü (2)	Difüzör 50 m etki alanı (3)	100 m uzaktan - doğu (4)	100 m uzaktan – batı (5)
pH		8,24	7,88	8,22	8,20	8,20
Sıcaklık	°C	12,80	17,00	12,60	12,50	12,50
İletkenlik	µS/cm	49000	50100	49000	49000	49000
Tuzluluk	‰	35,8	40,5	35,9	35,8	35,8

5.4.3 RO Sistemi İle İşletilen Tesis 3’e Ait Genel Özellikler:

Tesis 2’ye ait ait RO tesisinde, denizden alınan ham su bir depoda biriktirilmekte ve ardından çeşitli arıtma işlemlerine tabi tutulmak üzere RO tesisine gönderilmektedir. Ham su ilk olarak suyun kum filtrelerine girişini sağlayan pompaya gönderilmektedir. Su pompadan ortalama 4 bar basınç ile kum filtrelerine girmektedir. 2 adet paralel kum filtresi RO prosesi öncesi ön arıtma (partiküllerin, askıda katı maddelerin tutulması) amacıyla işletilmektedir. Kum filtrelerinde meydana gelen tıkanmalar ve kirlenmelerin giderilmesi için belirli zaman aralıklarında geri (ters) yıkamalar yapılmaktadır. Kum filtrelerinden çıkan sular

basınç dalgalanmalarının dengelenmesi amacıyla genişleme tankına geçmekte ve genişleme tankı vasıtasıyla sabit basınçla (3.2bar) paralel bağlı kartuş filtrelere girmektedir. Kartuş filtrelerde kum filtrelerinden tutulmadan çıkan kolloidlerin tutulması (giderilmesi) sağlanmaktadır. Kirlenen kartuş filtreleri yaklaşık haftada bir kez değiştirilmektedir. Kartuş filtre çıkışında basınç ortalama 2.6 bar civarındadır. Kartuş filtrelerden çıkan sular 2.0bar basınçla yüksek basınç pompasına gelmektedir. Yaklaşık 70 bara basınçlandırılan su tek kademeli RO prosesine girmektedir. Sistemde toplam 24 adet paralel bağlı olarak işletilen membran kılıfı bulunmakta ve her bir kılıfa 8 inch çapında 4 adet seri bağlı spiral sarım deniz suyu RO membran modülü bulunmaktadır. Bu RO tesisinde, 2 kademeli (hat) olmak üzere toplam ortalama günlük 280 m³ temiz su elde edilmektedir.

RO modüllerinden çıkan arıtılmış su ürün suyu deposuna gelmekte, buradan da dezenfeksiyon amacıyla klorlama işlemine tabi tutulup, kullanılacak bölgelere dağıtımı sağlanmaktadır. Klor dozaj pompası 8 bar işletme basıncında 6 İt/saat kapasiteli debiyle çalışmaktadır. RO prosesini oluşturan kum filtreleri, kartuş filtreleri ve RO membran modülleri tam otomasyonla tek bir kontrol paneli vasıtasıyla işletilebilmektedir. RO membranlarının inorganik tabanlı tortulara karşı tıkanma kontrolü için belirli periyotlarda anti-skalant besleme suyuna dozlanmaktadır. Besleme suyundaki anti-skalant dozu 5-10 mg/L aralığında küçük konsantrasyonlarda olup ortalama 9 mg/L'dir.



Şekil 5.10: Tesis 3'e ait denizsuyu arıtma tesisi iç görüntüsü

5.4.3.1 Tesis 3 Deşarj Hattı Özellikleri

Tesiste geri kazanım oranı yaklaşık %40 civarında olmakla birlikte bu oranla RO prosesinin konsantre suyu debisi ortalama yaklaşık 340 m³/gün'dür. Bu konsantre suyu deniz deşarj hattı ile kıyıdan 100 m açıktaki, yaklaşık 4 m derinlikte, deniz tabanından tek portla deşarj edilmektedir. Deşarj hattı boru çapı 10 cm olup, deniz zeminiyle 30⁰ açı yapacak şekilde çıkışı bulunmaktadır.



Şekil 5.11: Tesis 3'e ait konsantre atıksu deşarj noktası

5.4.3.2 Tesis 3'e Ait Su Kalitesi Özellikleri

Deniz suyu

Besleme suyu olarak kullanılan deniz suyu, kıyıdan yaklaşık 10 m uzakta bir noktadan temin edilmektedir. Besleme suyunun klasik özellikleri, binde (%) 37,9 tuzluluk içermesi, iletkenlik değerinin 58900 µS/cm ve toplam çözünmüş madde (TÇK) konsantrasyonunun 37300 mg/L civarında olması olarak karşımıza çıkmaktadır. Ayrıca tesisi besleyen deniz suyu örneğinin sırasıyla klorür (Cl⁻) ve sülfat (SO₄²⁻) iyonu konsantrasyonları ise 24400 ve 3200 mg/L olarak analiz edilmiştir. Söz konusu aynı numunede tespit edilen sodyum (Na⁺) iyonu konsantrasyonu ise 19240 mg/L'dir.

Tablo 5.15: Tesis 3 için konsantre atıksu su parametreleri

Parametre	Birim	RO Besleme Suyu
pH		8,18
Sıcaklık	°C	16,60
İletkenlik	µS/cm	58900
Tuzluluk	‰	37,90
Sülfat (SO ₄ ²⁻)	mg/L	3200
Klorür (Cl ⁻)	mg/L	24400
Sodyum (Na)	mg/L	19240

Aritilmiş su

Elde edilen ürün suyunun tüm parametreleri TS 266 İçme-Kullanma suyu standartlarını karşılayacak düzeydedir.

Tablo 5.16 : Tesis 3 için süzüntü suyu parametreleri

Parametre	Birim	Süzüntü Suyu
pH		6,6
Sıcaklık	°C	18
İletkenlik	µS/cm	21
Tuzluluk	‰	0
Sülfat (SO ₄ ²⁻)	mg/L	5
Klorür (Cl ⁻)	mg/L	1
Sodyum (Na)	mg/L	0,8

Konsantre su

Konsantre atıksuyunda binde (‰) 65,4 tuzluluk, 101900 µS/cm iletkenlik ve 54310 mg/L toplam çözülmüş madde (TÇK) konsantrasyonu tespit edilmiştir. Bu örnekte ayrıca, sırasıyla klorür (Cl⁻) ve sülfat (SO₄²⁻) iyonu konsantrasyonları ise 42800 ve 5500 mg/L olarak analiz edilmiştir. Söz konusu aynı konsantre atıksu numunesinde tespit edilen sodyum (Na⁺) iyonu konsantrasyonu 32150 mg/L'dir.

Tablo 5.17.: Tesis 3 için konsantre atıksu su parametreleri

Parametre	Birim	RO Konsantresi
pH		7,96
Sıcaklık	°C	19,00
İletkenlik	µS/cm	101900
Tuzluluk	‰	65,40
Sülfat (SO ₄ ²⁻)	mg/L	5500
Klorür (Cl ⁻)	mg/L	42800
Sodyum (Na)	mg/L	32150

5.4.3.3 Tesis 3 İçin Belirlenen Numune Alma Noktaları

Deniz ortamında Şekil 5.16’da görülen, Ters Osmoz besleme suyu noktası(1), difüzör noktası(2), difüzör 50 metre etki alanı(3), doğu yönünde difüzör 100 metre etki alanı(4) ve batı yönünde difüzör 100 metre etki alanı(5) olmak beş farklı noktadan alınan numunelerin 20 parametre kapsamında analizleri yapılmış ve sonuçlar Tablo 5.16’da listelenmiştir.



Şekil 5.12: Tesis 3 için ters ozmos tesisi konsantre atıksularının deşarj noktası, koruma bandı ve ölçüm yapılan noktaların genel görünümü

Tablo 5.18: Tesis 3 için beş farklı ölçüm noktasında alınan deniz suyu numunelerinin analiz sonuçları

Parametre	Birim	RO Besleme Suyu (1)	Difüzör Üstü (2)	Difüzör 50 m etki alanı (3)	100 m uzaktan - doğu (4)	100 m uzaktan – batı (5)
pH		8,18	7,96	8,02	8,18	8,19
Sıcaklık	°C	16,60	19,00	16,60	16,60	16,60
İletkenlik	µS/cm	58900	59100	59350	58300	58200
Tuzluluk	‰	38,1	40,6	38,2	38	38,1

5.5 Modelleme Prosedürü

5.5.1 Visual Plumes Modeli

Visual Plumes modelleme programı, standart Windows uygulamaları araç kutusuna benzer özellikler içeren bir program olup, deniz ortamı ve konsantrasyonun fiziksel özelliklerine bağlı olarak su jetinin hareketi konusunda hesaplamalar yapar. VP modelleme programı çoğunlukla okyanus, deniz ve tatlı su ortamına yapılan deşarj uygulamaları için uygundur. Tek bir noktadan yapılacak olan deşarj hattı dizaynı için sistem özelliklerinin belirlenmesinde, gerekli seyrelmenin sağlanmasında ve çeşitli difüzör konfigürasyonlarının belirlenmesinde kolaylıkla uygulanabilmektedir. Bu programdan elde edilecek veriler sayesinde, konsantrasyonun su ortamında oluşturması muhtemel olumsuz etkilerin önüne geçilebilmektedir.

5.5.2 Ortam ve Deşarj Verileri

VP programı içerisinde yer alan 5 ayrı alt modelden tek portlu deniz ortamına deşarjlar için en uygun olan UM3 modeline boru çapları, tipleri, debiler, atık hızı, konsantrasyonu, sıcaklığı v.b. gibi ortam ve deşarj verileri girilerek model çıktıları elde edilmiştir. Programda kullanılan tasarım ve ortam verileri ile kabul edilen sabit değerler aşağıda listelenmiştir.

Tablo 5.19: Tesis 1 tasarım ve ortam verileri

Difüzör Verileri		Deşarj Bölgesi Ortam Verileri	
Port çapı	0,15 m	Portla yüzey arası mesafe	29 m
Port yüksekliği	1 m	Akım hızı	0.3 m/sn
Dikey açı	60°	Akım yönü	30°
Yatay açı	30°	Deniz tuzluluğu(dip-yüzey)	38.3 psu-38.4
Atıksu sıcaklığı	19°C	Deniz sıcaklığı(dip-yüzey)	14 -15,3 C°
Akut karışım bölgesi	50 m	Deşarj alanı tuzluluğu	38.4 psu
Kronik karışım bölgesi	500 m	Uzak alan difüzyon katsayısı	0.0003m ² /s ⁻²
Portderinliği	30 m	Brooks uzak alan hesaplamaları için	
Atıksu debisi	0,009 m ³ /sn	Uzak alan akım hızı	0.3 m/sn
Atıksu tuzluluğu	72,5psu	Uzak alan akım yönü	30°
Port sayısı	1		

Tablo 5.20: Tesis 2 tasarım ve ortam verileri

Difüzör Verileri		Ortam Verileri	
Port çapı	0,15 m	Portla yüzey arası mesafe	8m
Port yüksekliği	Deniz Tabanı(0)	Akım hızı	0.3 m/sn
Dikey açı	60°	Akım yönü	30°
Yatay açı	30°	Deniz tuzluluğu(dip-yüzey)	35.7psu- 35.8
Atıksu sıcaklığı	20°C	Deniz sıcaklığı(dip-yüzey)	12,6 -15,8C°
Akut karışım bölgesi	50 m	Deşarj alanı tuzluluğu	0 ppm
Kronik karışım bölgesi	500 m	Uzak alan difüzyon katsayısı	0.0003 m ² /s ⁻²
Port derinliği	8 m	Brooks uzak alan hesaplamaları için	
Atıksu debisi	0,0092m ³ /sn	Uzak alan akım hızı	0.3 m/sn
Atıksu tuzluluğu	62 psu	Uzak alan akım yönü	30°
Port sayısı	1		

Tablo 5.21: Tesis 3 tasarım ve ortam verileri

Difüzör Verileri		Ortam Verileri	
Port çapı	0,063m	Portla yüzey arası mesafe	4m
Port yüksekliği	Deniz Tabanı(0)	Akım hızı	0.3 m/sn
Dikey açı	60°	Akım yönü	30°
Yatay açı	30°	Deniz tuzluluğu(dip-	38 psu– 38.1 psu
Atıksu sıcaklığı	23°C	Deniz sıcaklığı(dip-yüzey)	17 -19C°
Akut karışım bölgesi	50 m	Deşarj alanı tuzluluğu	38 ppm
Kronik karışım bölgesi	500 m	Uzak alan difüzyon katsayısı	0.0003 m ² /s ⁻²
Port derinliği	4m	Brooks uzak alan hesaplamaları için	
Atıksu debisi	0,0032m ³ /sn	Uzak alan akım hızı	0.3 m/sn
Atıksu tuzluluğu	65,4 psu	Uzak alan akım yönü	30°
Port sayısı	1		

5.5.3 Modelleme Prosedürü

Tasarım ve ortam verileri ile kabul edilen sabit değerler VP modelleme programına işlenmiş ve program ekran görüntüleri alınmıştır. VP model programına veriler girildikten sonra bu bilgiler doğrultusunda yazım ve grafik çıktıları alınmıştır. Yazım çıktı tabı, konsantre atıksu dağılım ve seyrelme konfigürasyonu ile ilgili, deşarj noktasından itibaren atıksuyun hareketleri, seyrelme oranı, tuz konsantrasyonu ve hüzmeye çapı ile ilgili tahminleri simüle etmiştir. Ayrıca program, hüzmeyin maksimum yüksekliği, akut karışım bölgesi, maksimum seyrelme, seyrelmenin sonlandığı an ve uzak alan bölgesinde hüzmeye hareketi gibi hüzmeyin zamanla gösterdiği değişimleri de tahmin etme yeteneğine sahiptir.

6. BULGULAR

6.1 Tesis 1'e Ait RO Tesisleri Konsantre Deşarj Sularının Modellenmesi

Şekil 6.1'de Tesis 1'e ait deşarj sistemi, akım ve karışım bölgesi verileri, Şekil 6.2.'de ise alıcı ortam özellikleri verileri ayrı tablarda VP model programına girilmiştir. Bu bilgiler doğrultusunda program çalıştırılmış, seyrelme modeli çıktıları metin ve grafik formatında (Tablo 6.1. ve Şekil 6.3.) elde edilmiştir.

Tablo 6.1'teki veriler incelendiğinde, atıksu tuzluluk değeri 72,5 psu iken ilk karışım bölgesinde 46,22 psu değerine düşmüştür.(X yönünde 0,364 m, Y yönünde 0,210 m)

Aynı tablo incelendiğinde, lokal maksimum hüzmeye yükselmesinin ya da düşmesinin meydana geldiği nokta, atıksu tuzluluk değeri 72,50 psu değerinden 45,94 psu değerine düşmüştür. X yönünde 0,455 m, Y yönünde 0,263 m hareket eden ve deniz dibinden 0,3 m yükseklikte olan atıksu hüzmeleri bu noktadan sonra dibe doğru çökmeye başlamıştır.

Tablo 6.1'e göre, atıksu hüzmelerinin dibe ulaştığı nokta da, atıksu tuzluluk değeri 72,50 psu değerinden 38,82 psu değerine düşmüştür. Bu noktada X yönünde 5,037 m, Y yönünde 2,908 m hareket eden hüzmeye, 1,773 m hüzmeye çapı değerine ulaşmıştır.

Diğer yandan, akut karışım bölgesine gelindiğinde(50 m) atıksu hüzmeleri X yönünde 43,72 m, Y yönünde 25,24 m hareket etmiş, 35,15 m derinlik seviyesinde neredeyse deniz suyu tuzluluk değerine ulaşmış (38,43 psu) ve atıksu hüzmeleri çapı 8,428 m'ye yükselmiştir. Öte yandan, atıksu hüzmelerinin X yönünde 107,9 m, Y yönünde 62,32 m hareket ettiği noktada 44,24 m derinlik seviyesinde ise atıksu seyrelme işlemi durma noktasına gelmiştir.

Modeli alıştırırken Brooks uzak alan çözümleri seçeneğini işaretlediğimizden, program 200, 400 ve 600 m uzaklık mesafeleri için de hesaplama yapmış, konsantrasyon, seyrelme, mesafe, hüzme çapı ve zamanla ilgili olarak tahminlerde bulunmuştur. Brooks uzak alan tahminleri sonucunda, uzak alan dağılımına bağlı olarak 200 m ,400 m ve 600 m de tahmin edilen atıksu hüzme çapını sırasıyla 21,79 m, 26,95 m,31,28 m ve seyrelme seviyesini sırasıyla 10073,9 ,10821,8 ve 12093 olarak tahmin etmiştir.

Tablo 6.1:Tesis 1'e ait yakın alan için modelleme program çıktısı verileri

Adım	Derinlik(m)	Hüzme Çapı(m)	Kirlilik(%)	Seyrelme	X Pozisyonu(m)	Y Pozisyonu(m)
1	29	0,15	7,25	1	0	0
2	28,83	0,419	4,622	4,445	0,364	0,21
3	28,83	0,427	4,595	4,608	0,455	0,263
4	29,28	0,946	3,986	23,95	2,198	1,269
5	29,95	1,341	3,882	47,93	5,037	2,908
6	30,57	2,563	3,86	173,7	8,402	4,851
7	34,01	6,914	3,843	1258,6	34,07	19,67
8	35,15	8,428	3,842	1870,2	43,72	25,24
9	43,46	11,34	3,841	3387,6	103,6	59,81
10	44,24	18,53	3,84	9118,5	107,9	62,31

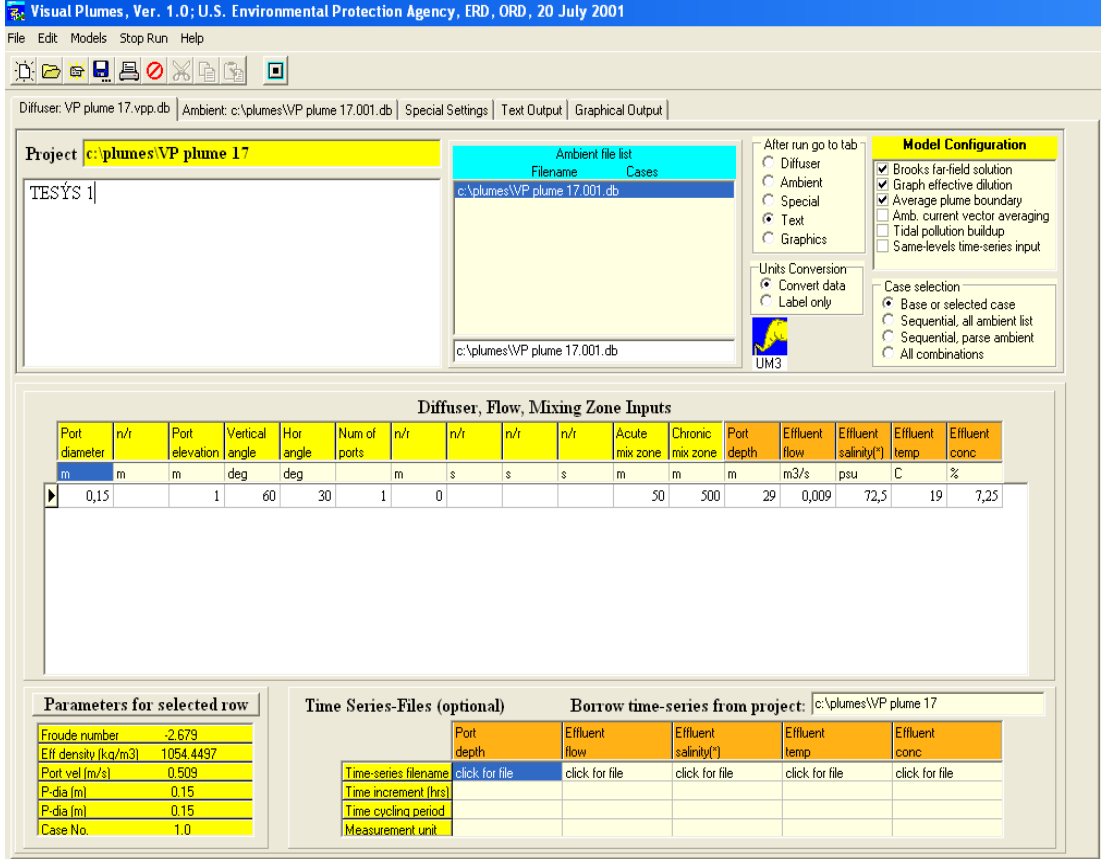
Yerel maksimum yükselme
ya da düşüş

dip bölgesi

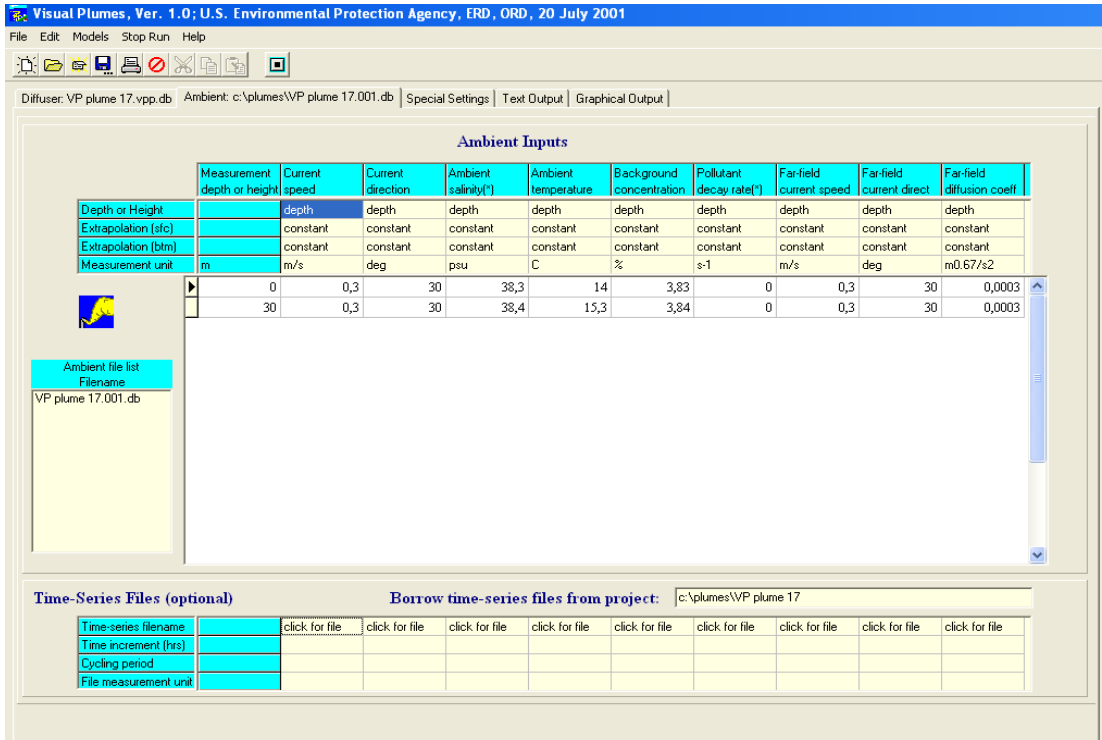
akut karışım bölgesi
seyrelme durma noktası

Tablo 6.2: Tesis 1'e ait uzak alan için modelleme program çıktısı verileri

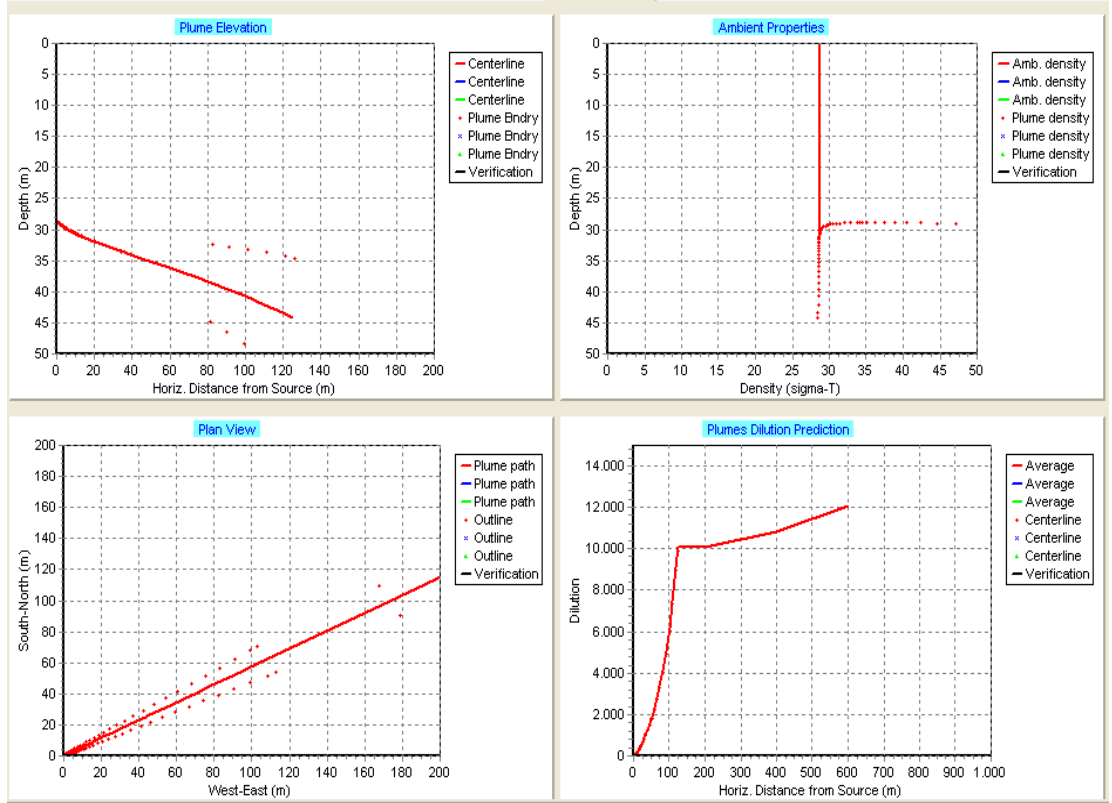
Hüzme Çapı(m)	Seyrelme	Uzak Alan Mesafesi(m)	Zaman(saat)
21,99	10073,9	200	0,0698
26,95	10821,8	400	0,255
31,28	12093	600	0,44



Şekil 6.1: Tesis 1 için VP modeline girilen verilerin windows ekranında difüzör tabında görüntüsü



Şekil 6.2: Tesis 1 için VP modeline girilen verilerin windows ekranında ortam verileri tabında görüntüsü



Şekil 6.3: Tesis 1'e ait modelleme program çıktısı verileri

6.2 Tesis 2'e Ait RO Tesisleri Konsantre Deşarj Sularının Modellenmesi

Şekil 6.4'de Tesis 2'ye ait deşarj sistemi, akım ve karışım bölgesi verileri, Şekil 6.5'de ise alıcı ortam özellikleri verileri ayrı tablarda VP model programına girilmiştir. Bu bilgiler doğrultusunda program çalıştırılmış, seyrelme modeli çıktıları metin ve grafik formatında (Tablo 6.2. ve Şekil 6.6.) elde edilmiştir.

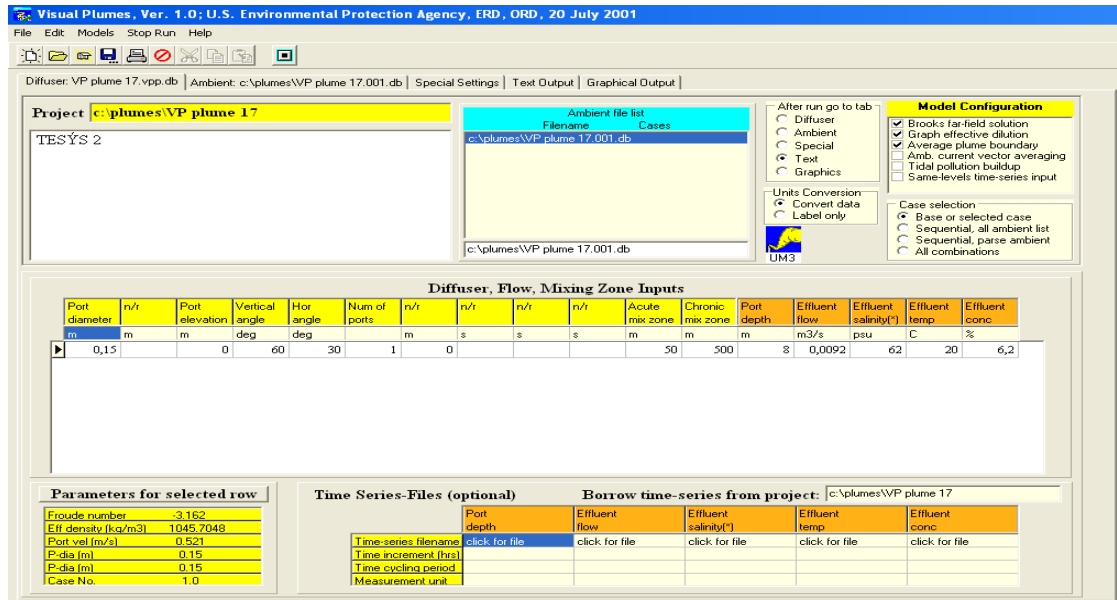
Tablo 6.2'teki veriler incelendiğinde, atıksu tuzluluk değeri 62 psu iken ilk karışım bölgesinde 40,86 psu değerine düşmüştür. (X yönünde 0,472 m, Y yönünde 0,272 m)

Aynı tablo incelendiğinde, lokal maksimum hüzme yükselmesinin ya da düşmesinin meydana geldiği nokta, atıksu tuzluluk değeri 62 psu değerinden 40,59 psu değerine düşmüştür. X yönünde 0,639 m, Y yönünde 0,369 m hareket eden ve deniz dibinden 0,5 m yükseklikte olan atıksu hüzmesi bu noktadan sonra dibe doğru çökmeye başlamıştır.

Tablo 6.2.'ye göre, atıksu hüzmesinin dibe ulaştığı nokta da, atıksu tuzluluk değeri 62 psu değerinden 38,38 psu değerine düşmüştür. X yönünde 1,517 m, Y yönünde 0,876 m hareket eden hüzmeye, 0,633 m hüzmeye çap değerine ulaşmıştır.

Diğer yandan, akut karışım bölgesine gelindiğinde (50 m) atıksu hüzmesi X yönünde 43,4 m, Y yönünde 25,06 m hareket etmiş, 17,38 m derinlik seviyesinde neredeyse deniz suyu tuzluluk değerine ulaşmış (35,88 psu) ve bu noktada seyrelme seviyesi 3640,8 değerine ulaşmıştır. Öte yandan, atıksu hüzmesinin X yönünde 58,2 m, Y yönünde 33,6 m hareket ettiği noktada 25,74 m derinlik seviyesinde ise atıksu seyrelme işlemi durma noktasına gelmiştir.

Modeli çalıştırırken Brooks uzak alan çözümleri seçeneğini işaretlediğimizden, program 200, 400 ve 600 m uzaklık mesafeleri için de hesaplama yapmış, konsantrasyon, seyrelme, mesafe, hüzmeye çapı ve zamanla ilgili olarak tahminlerde bulunmuştur. Brooks uzak alan tahminleri sonucunda, uzak alan dağılımına bağlı olarak 200 m, 400 m ve 600 m de tahmin edilen atıksu hüzmeye çapını sırasıyla 21,96 m, 26,67 m, 30,67 m ve seyrelme seviyesini sırasıyla 10312, 11425 ve 12797,2 olarak tahmin etmiştir.



Şekil 6.4: Tesis 2 için VP modeline girilen verilerin windows ekranında difüzör tabında görüntüsü

Visual Plumes, Ver. 1.0; U.S. Environmental Protection Agency, ERD, ORD, 20 July 2001

File Edit Models Stop Run Help

Diffuser: VP plume 17.vpp.db Ambient: c:\plumes\VP plume 17.001.db | Special Settings | Text Output | Graphical Output |

Ambient Inputs

	Measurement depth or height	Current speed	Current direction	Ambient salinity(‰)	Ambient temperature	Background concentration	Pollutant decay rate(1/h)	Far-field current speed	Far-field current direct	Far-field diffusion coeff
Depth or Height	depth	depth	depth	depth	depth	depth	depth	depth	depth	depth
Extrapolation (sfc)	constant	constant	constant	constant	constant	constant	constant	constant	constant	constant
Extrapolation (btm)	constant	constant	constant	constant	constant	constant	constant	constant	constant	constant
Measurement unit	m	m/s	deg	psu	C	%	s-1	m/s	deg	m0.677/s2
	0	0,3	30	35,7	12,6	3,57	0	0,3	30	0,0003
	8	0,3	30	35,8	15,8	3,58	0	0,3	30	0,0003

Ambient file list
Filename
VP plume 17.001.db

Time-Series Files (optional)

Borrow time-series files from project: c:\plumes\VP plume 17

Time-series filename	click for file	click for file	click for file	click for file	click for file	click for file	click for file	click for file	click for file
Time increment (hrs)									
Cycling period									
File measurement unit									

Şekil 6.5: Tesis 2 için VP modeline girilen verilerin windows ekranında ortam verileri tabında görüntüsü

Tablo 6.3:Tesis 2'ye ait yakın alan modellemesi program çıktısı verileri

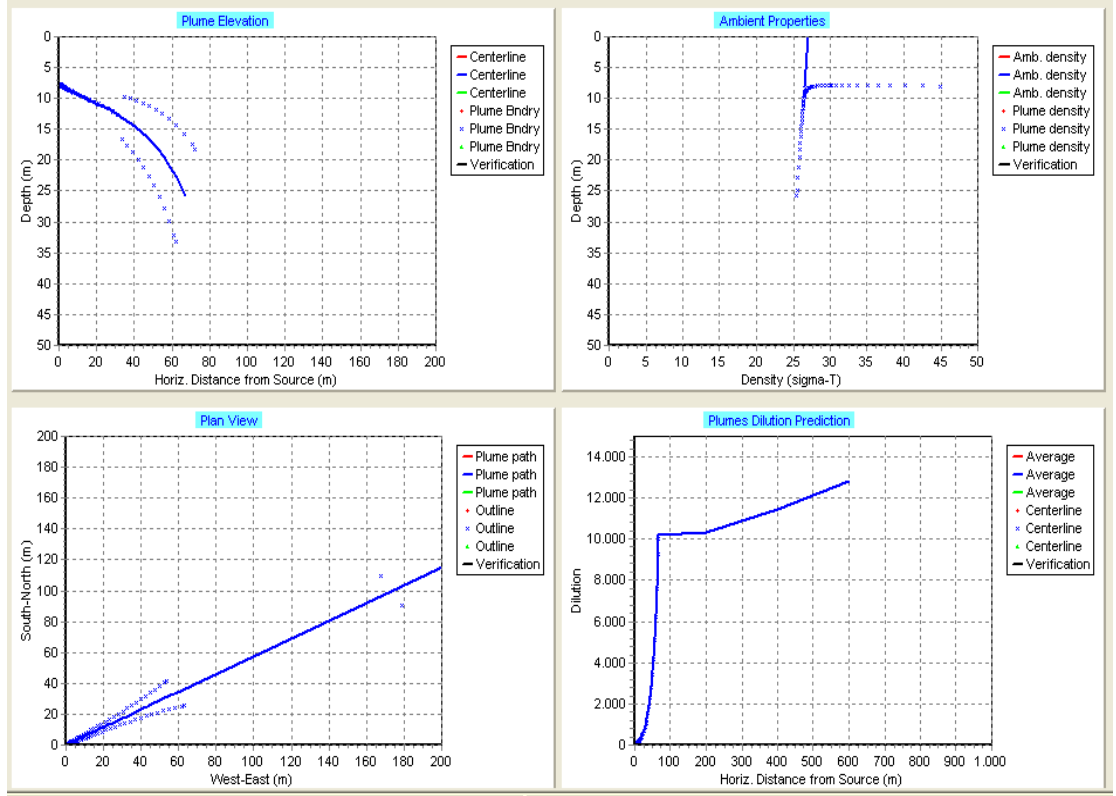
Derinlik(m)	Hüzme Çapı(m)	Kirlilik(%)	Seyrelme	X Pozisyonu(m)	Y Pozisyonu(m)
8	0,15	6,2	1	0	0
7,799	0,458	4,086	5,259	0,472	0,272
7,795	0,472	4,059	5,556	0,639	0,369
7,946	0,633	3,838	10,34	1,517	0,876
8,311	1,077	3,668	30,16	3,026	1,747
9,771	2,908	3,593	218,7	11,09	6,401
13,82	7,776	3,586	1584,5	32,18	18,58
17,38	11,61	3,58	3640,8	43,4	25,06
25,74	18,16	3,57	10200	58,2	33,6

Yerel maksimum yükselme
ya da düşüş
dip bölgesi

akut karışım bölgesi
seyrelme durma noktası

Tablo 6.4: Tesis 2'ye ait yakın alan modellemesi program çıktısı verileri

Hüzme Çapı(m)	Seyrelme	Uzak Alan Mesafesi(m)	zaman(saat)
21,96	10312	200	0,123
26,67	11425	400	0,308
30,67	12797,2	600	0,493



Şekil 6.6: Tesis 2'ye ait modelleme program çıktısı grafikleri

6.3 Tesis 3'e Ait RO Tesisleri Konsantre Deşarj Sularının Modellenmesi

Şekil 6.7'de Tesis 3'e ait deşarj sistemi, akım ve karışım bölgesi verileri, Şekil 6.8'de ise alıcı ortam özellikleri verileri ayrı tablolarda VP model programına girilmiştir. Bu bilgiler doğrultusunda program çalıştırılmış, seyrelme modeli çıktıları metin ve grafik formatında (Tablo 6.3 ve Şekil 6.9) elde edilmiştir.

Tablo 6.3'teki veriler incelendiğinde, atıksu tuzluluk değeri 65,4 psu iken ilk karışım bölgesinde 4,187 psu değerine düşmüştür. (X yönünde 0,263 m, Y yönünde 0,152m)

Aynı tablo incelendiğinde, lokal maksimum hüzme yükselmesinin ya da düşmesinin meydana geldiği nokta, atıksu tuzluluk değeri 65,4 psu değerinden 39,62 psu değerine düşmüştür. X yönünde 1,398 m, Y yönünde 0,807 m hareket eden ve deniz dibinden 0,6 m yükseklikte olan atıksu hüzmesi bu noktadan sonra dibe doğru çökmeye başlamıştır.

Tablo 6.3'e göre, atıksu hüzmesinin dibe ulaştığı nokta da, atıksu tuzluluk değeri 65,4 psu değerinden 38,6 psu değerine düşmüştür. Bu noktada X yönünde 4,075 m, Y yönünde 2,352 m hareket eden hüzme, 0,854 m hüzme çap değerine ulaşmıştır.

Diğer yandan, akut karışım bölgesine gelindiğinde (50 m) atıksu hüzmesi X yönünde 43,36 m, Y yönünde 25,03 m hareket etmiş, 11,12 m derinlik seviyesinde neredeyse deniz suyu tuzluluk değerine ulaşmış (38,21 psu) ve atıksu hüzme çapı 9,276 m'ye yükselmiştir. Öte yandan, atıksu hüzmesinin X yönünde 48,39 m, Y yönünde 27,94 m hareket ettiği noktada 13,14 m derinlik seviyesinde ise atıksu seyrelme işlemi durma noktasına gelmiştir.

Modeli çalıştırırken Brooks uzak alan çözümleri seçeneğini işaretlediğimizden, program 200, 400 ve 600 m uzaklık mesafeleri için de hesaplama yapmış, konsantrasyon, seyrelme, mesafe, hüzme çapı ve zamanla ilgili olarak tahminlerde bulunmuştur. Brooks uzak alan tahminleri sonucunda, uzak alan dağılımına bağlı olarak 200 m, 400 m ve 600 m de tahmin edilen atıksu hüzme çapını sırasıyla 14,64 m, 18,32 m, 21,38 m ve seyrelme seviyesini sırasıyla 10413, 12181 ve 13980 olarak tahmin etmiştir.

Visual Plumes, Ver. 1.0; U.S. Environmental Protection Agency, ERD, ORD, 20 July 2001

File Edit Models Stop Run Help

Diffuser: VP plume 17.vpp.db Ambient: c:\plumes\VP plume 17.001.db Special Settings | Text Output | Graphical Output

Project: c:\plumes\VP plume 17
TESİS 3

Ambient file list
Filename Cases
c:\plumes\VP plume 17.001.db
c:\plumes\VP plume 17.001.db

After run go to tab:
 Diffuser
 Ambient
 Special
 Text
 Graphics

Units Conversion
 Convert data
 Label only

Model Configuration
 Brooks far-field solution
 Graph effective dilution
 Average plume boundary
 Amb. current vector averaging
 Tidal pollution buildup
 Same-levels time-series input

Case selection
 Base or selected case
 Sequential, all ambient list
 Sequential, parse ambient
 All combinations

Diffuser, Flow, Mixing Zone Inputs

Port diameter	n/t	Port elevation	Vertical angle	Hor angle	Num of ports	n/t	n/t	n/t	n/t	Acute mix zone	Chronic mix zone	Port depth	Effluent flow	Effluent salinity(‰)	Effluent temp	Effluent conc
m	m	m	deg	deg		m	s	s	s	m	m	m	m ³ /s	psu	C	%
0,063		0	60	30	1	0				50	500	4	0,0032	65,4	23	6,54

Parameters for selected row

Froude number	-9.439
Eff density (kg/m ³)	1047.4672
Port vel (m/s)	1.027
P-dia (m)	0.063
P-dia (in)	0.063
Case No.	1.0

Time Series-Files (optional)

Time-series filename	Port depth	Effluent flow	Effluent salinity(‰)	Effluent temp	Effluent conc
click for file	click for file	click for file	click for file	click for file	click for file
Time increment (hrs)					
Time cycling period					
Measurement unit					

Borrow time-series from project: c:\plumes\VP plume 17

Şekil 6.7.: Tesis 3 için VP modeline girilen verilerin windows ekranında difüzör tabında görüntüsü

Visual Plumes, Ver. 1.0; U.S. Environmental Protection Agency, ERD, ORD, 20 July 2001

File Edit Models Stop Run Help

Diffuser: VP plume 17.vpp.db Ambient: c:\plumes\VP plume 17.001.db Special Settings | Text Output | Graphical Output

Ambient Inputs

	Measurement depth or height	Current speed	Current direction	Ambient salinity(‰)	Ambient temperature	Background concentration	Pollutant decay rate(1)	Far-field current speed	Far-field current direct	Far-field diffusion coeff
Depth or Height	depth	depth	depth	depth	depth	depth	depth	depth	depth	depth
Extrapolation (stc)	constant	constant	constant	constant	constant	constant	constant	constant	constant	constant
Extrapolation (btm)	constant	constant	constant	constant	constant	constant	constant	constant	constant	constant
Measurement unit	m	m/s	deg	psu	C	%	s-1	m/s	deg	m0.67/s2
	0	0,3	30	38	17	3,8	0	0,3	30	0,0003
	4	0,3	30	38,1	19	3,81	0	0,3	30	0,0003

Ambient file list
Filename
VP plume 17.001.db

Time-Series Files (optional)

Borrow time-series files from project: c:\plumes\VP plume 17

Time-series filename	click for file	click for file	click for file	click for file	click for file	click for file	click for file	click for file	click for file
Time increment (hrs)									
Cycling period									
File measurement unit									

Şekil 6.8. Tesis 3 için VP modeline girilen verilerin windows ekranında ortam verileri tabında görüntüsü

Tablo 6.5: Tesis 3'e ait yakın alan modellemesi program çıktısı verileri

Derinlik(m)	Hüzme Çapı(m)	Kirlilik(%)	Seyrelme	X Pozisyonu(m)	Y Pozisyonu(m)
4	0,063	6,54	1	0	0
3,792	0,295	4,187	7,366	0,263	0,152
3,676	0,489	3,962	18,28	1,398	0,807
3,648	0,82	3,864	50,65	3,884	2,243
3,975	0,854	3,86	54,83	4,075	2,352
5,055	2,225	3,819	367,1	12,78	7,376
8,13	5,959	3,817	2660,3	32,62	18,84
11,12	9,276	3,815	6616,5	43,36	25,03
13,14	11,27	3,81	10029	48,39	27,94

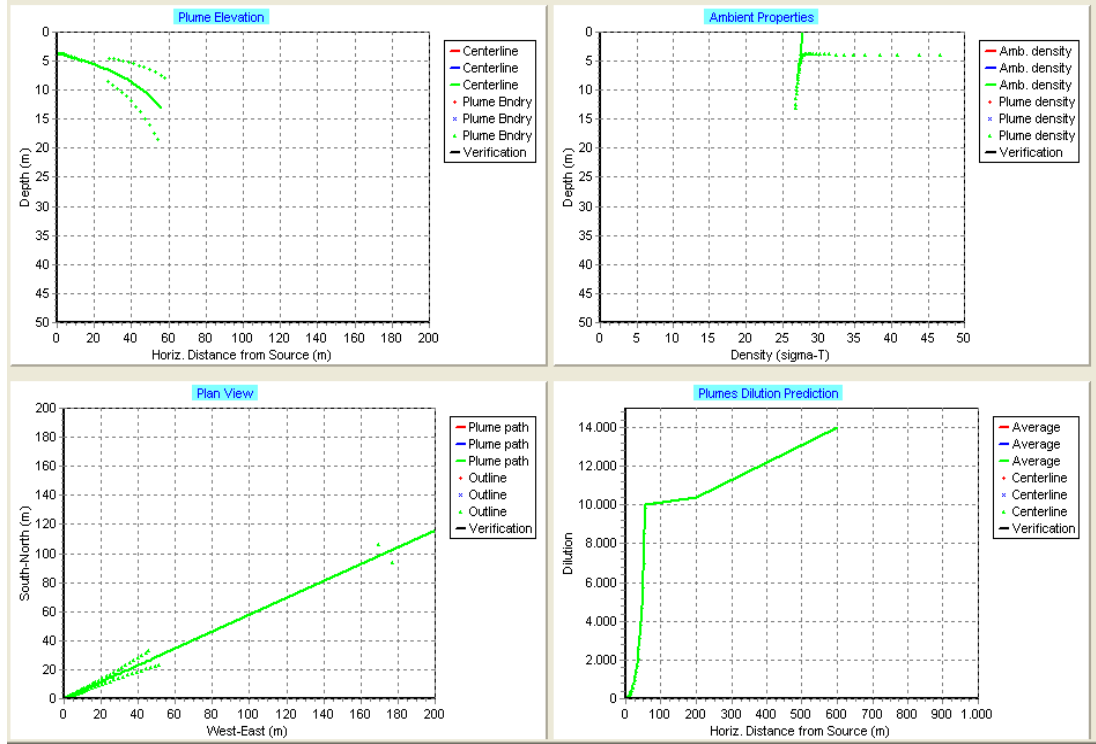
Yerel maksimum yükselme
ya da düşüş

dip bölgesi

akut karışım bölgesi
seyrelme durma noktası

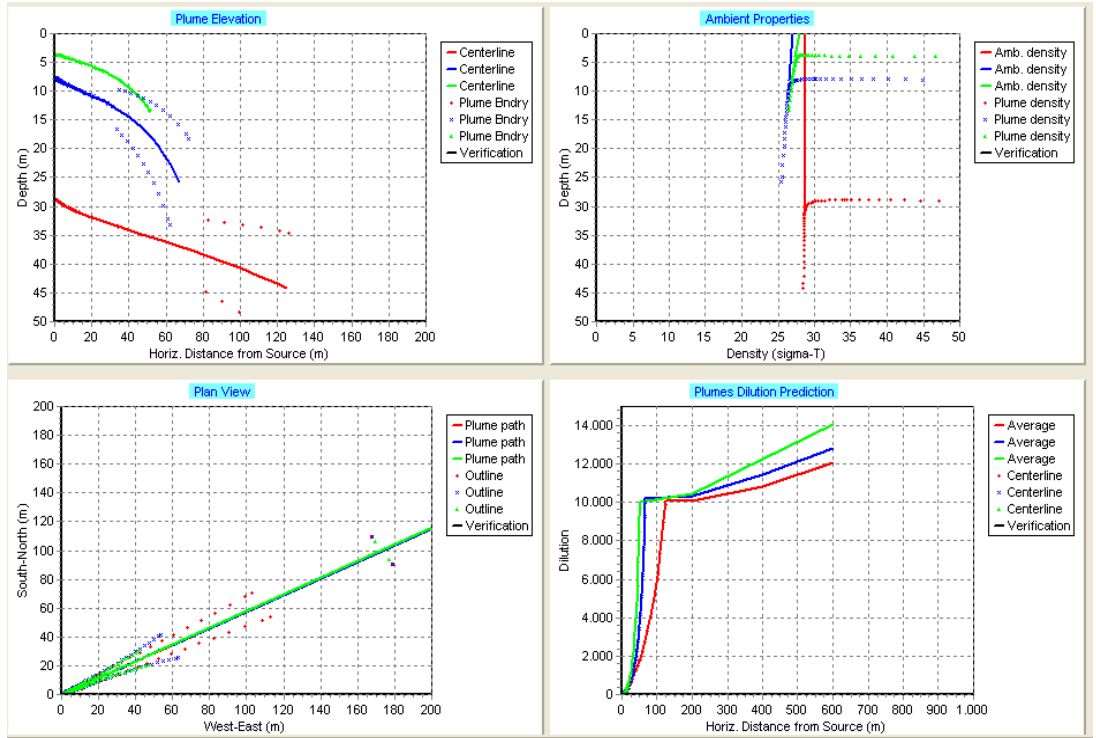
Tablo 6.6: Tesis 3'e ait uzak alan modellemesi program çıktısı verileri

Hüzme Çapı(m)	Seyrelme	Uzak Alan Mesafesi(m)	Zaman(saat)
14,64	10413,1	200	0,133
18,32	12181,8	400	0,319
21,38	13980,6	600	0,504



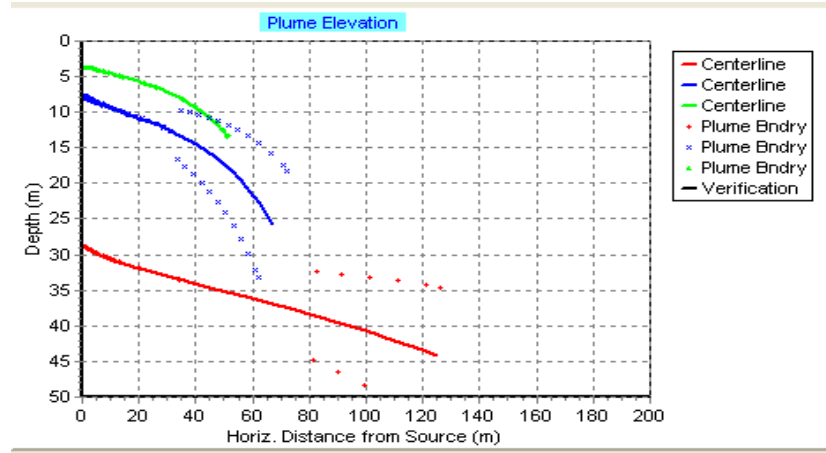
Şekil 6.9: Tesis 3'e ait modelleme program çıktısı grafikleri

6.4 3 Ayrı Tesise Ait Modelleme Program Çıktısı Grafiklerinin Değerlendirilmesi



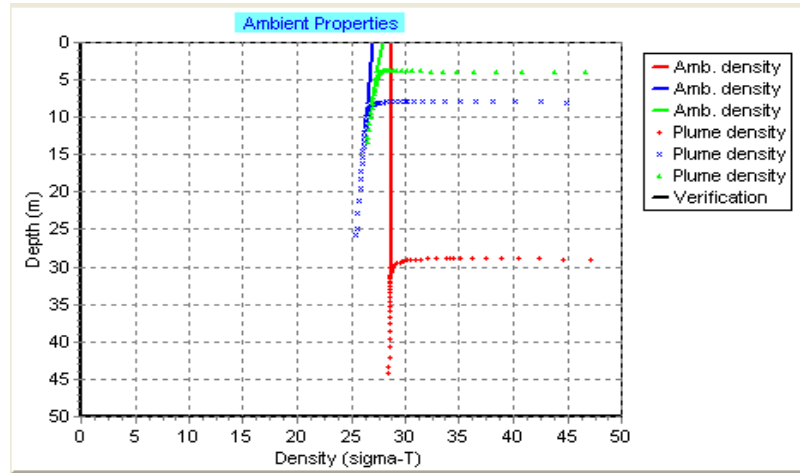
Şekil 6.10: 3 ayrı tesise ait modelleme program çıktısı grafikleri

Bu grafikler seçilen durumların hüzme ve ortam özelliklerini göstermektedir. Dört grafik şunları içerir: (Şekil 6.10.) su kolonundan yatay olarak bakan bir yükseklik görüntüsü, (Şekil 6.11.) derinlik fonksiyonu olarak hüzme ve ortamın yoğunluğunu gösteren bir grafik, (Şekil 6.12.) yön itibariyle hüzme hareketini gösteren plan görüntüsü, ve (Şekil 6.13.) hüzmenin yatayda aldığı yol itibariyle gerçekleşen seyrelme seviyesini göstermektedir.



Şekil 6.11: Hüzme yüksekliği

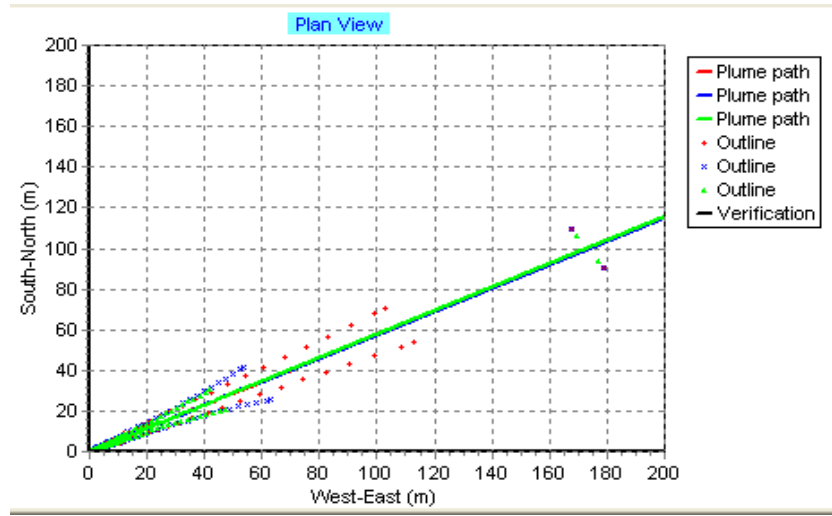
İlk grafik değerlendirildiğinde, Tesis 1 için yüksek tuzluluk konsantrasyonu ve düşük froud numarasının olumsuz etkilerinin aksine yüksek deşarj noktası derinliği ve portun deniz dibinden yüksekte olması, dağılım mesafesi arttıkça tabakalaşma oluşmadan iyi bir seyrelme sağlanmasına sebep olmuştur. Hüzmenin bu hareketi, hüzme çapı itibariyle geniş bir etki alanı oluşturmuştur. Tesis 3 için düşük tuzluluk konsantrasyonu ve debi ile yüksek froud numarası, daha hızlı seyrelme sağlanmasına sebep olduğundan, hüzmenin geniş bir etki alanı oluşturmamış olduğu görülmektedir.



Şekil 6.12: Ortam özellikleri

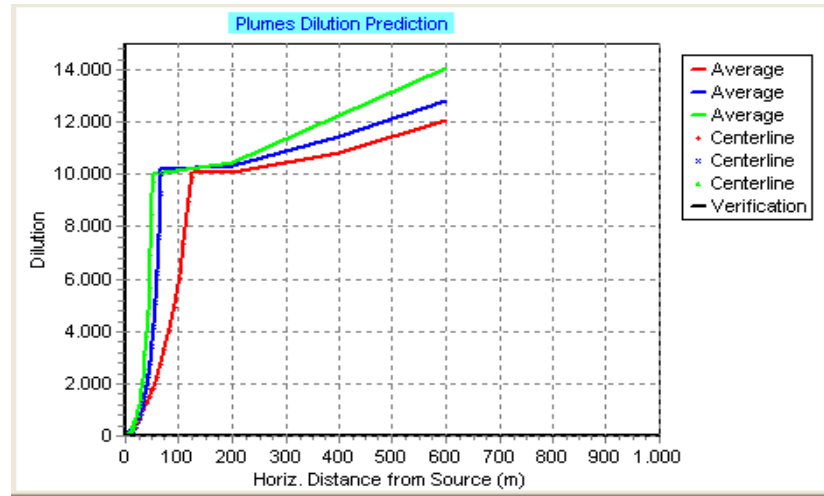
İkinci grafiğe bakıldığında, deniz ortamı yoğunluğu değişimini derinliğe bağlı olarak değerlendirecek olursak, deniz ortamı tuzluluk değişiminin düşük seviyelerde olduğu, bunun ise incelenen tesislerde iyi bir seyrelme konfigürasyonu sağlanmasından kaynaklandığı söylenebilir.

Burada derinliğin seyrelme ve dağılım konfigürasyonu üzerindeki olumlu etkisinden bahsedecek olursak tuzluluğun deniz ortamında derinlik itibariyle en az etkisinin tesis 1’de olduğu görülmektedir.



Şekil 6.13. : Plan görüntüsü

Üçüncü grafiğe bakıldığında ise , her üç tesisin de deşarj hattı tasarımları ve deniz ortamı özellikleri birbirine yakın olduğundan yön itibariyle hüzmeye hareketi oldukça benzerlik göstermektedir.



Şekil 6.14: Hüzmeye seyrelme tahmini

Dördüncü grafikte ise, tesis 2 ve tesis 3’de ilk 100 m içerisinde seyrelme seviyesi 10 bine ulaşırken, uzak alan bölgesinde yani 200 m, 400 m ve 600 m’de seyrelme minimum boyutlara düşmüş ve durma noktasına gelmiştir. Tesis 1 için yüksek tuzluluk konsantrasyonu ve düşük froud numarasının olumsuz etkilerini diğer tesislere nazaran seyrelme seviyesindeki oranla ayırt etmek mümkündür.

6.5 RO Tesisleri Konsantre Deşarj Sularının Denizel Bentik Topluluklar Üzerindeki Etkisi

Deniz suyunun tuzdan arındırılması, bazı Akdeniz ülkelerindeki mevcut su sıkıntısı nedeniyle önemli ve büyüyen bir endüstri haline gelmiştir. Bu etkinlik, esas olarak, üretilen tuzlu suyun deniz ortamına deşarjından kaynaklanan ve denizel bentik toplulukları etkileyebilecek bazı çevresel etkilere yol açabilir. Deşarj sisteminin tasarımı; yoğunluk farkları (tuzlu su ile deniz suyu arasındaki) momentum (deşarj sistemine bağlı olarak) ve sistem geometrisi yakın alan bölgesinde tuzluluk seyrelme derecesini belirler. Ayrıca bu seyreltme, uzak alan bölgesinde yerçekimi akımının tuzluluğunu etkiler ve dolayısıyla deşarj noktasından çok uzakta bulunan bentik topluluklara etki etme riski artar.

Posidonia Oceanica (L.) Delile, Akdeniz’in endemik bir deniz çayıdır. Burada çayırlar, bu desalinasyon tesislerinden deşarj edilen konsantre tuzlu sudan etkilenmeye yatkın bir ekosistemi temsil eder. *Posidonia* çayırlarını potansiyel olarak etkileyen konsantre tuzlu deşarjları ile ilgili yapılan araştırmalarda *Posidonia Oceanica (L.) Delile*’nin tuzluluğa karşı çok hassas olduğunu labaratuvar ve saha deneylerinde sırasıyla, 39.1 ve 38.4 tuzluluklarında deniz yosunu yapısı ve canlılığı üzerinde önemli etkiler gösterdiği tespit edilmiştir. *Posidonia Oceanica (L.) Delile*’nin tuzluluğa olan bu yüksek hassasiyeti arttıkça, bu ekosistemlerin veya potansiyel olarak hassas olanların meydana geldiği bölgelerde tuzlu su deşarjlarında iyi bir tasarım ve deşarj konfigürasyonu oluşturulması gerekmektedir. Çünkü bu bitki türünün optimum yaprak büyümesinin 25 ila 39 psu arasında gerçekleştiği, 29- 42 psu dışındaki tuzluluklarda ciddi ölüm oranı yaşandığı ve bitkilerin 50 psu’nun üzerinde %100 ölüm oranıyla karşılaştığı bilinmektedir (Fernández-Torquemada and Sánchez-Lizaso, 2005).

İspanya Araştırma Merkezi(CEDEX), Akdeniz’de tuzlu su deşarjı sebebiyle yaşanan kirlilik üzerine fiziksel model ölçekli ve deneysel çalışmalar yapmıştır. Bu çalışmalar sonucunda en fazla seyrelmenin çok portlu batık sistemlerde elde edildiği ortaya konmuştur.

Aşağıdaki Akdeniz'de bulunan farklı ekosistemler ve türler için tuzluluğa toleransıyla alakalı bazı limit tuzluluk değerleri verilmiştir.

Tablo 6.7: Akdeniz'de bulunan farklı ekosistemler ve türler için tuz konsantrasyonunda önerilen sınırlar (Palomar ve Iñigo 2011).

EKOSİSTEM/TÜRLER	KRİTİK TUZLULUK LİMİTLERİ
PosidoniaOceanica Deniz çayırları	Ölçümlerin% 25'inden fazlasında tuzluluk 38.5psu'yu geçmemelidir: $S_{25, \text{lim}} = 38.5$ Ölçümlerin% 5'inden fazlasında tuzluluk 40 psu'yu geçmemelidir: $S_{25, \text{lim}} = 40$
Cymodoceanodosa Deniz çayırları	Ölçümlerin% 25'inden fazlasında tuzluluk 39.5psu'yu geçmemelidir: $S_{25, \text{lim}} = 38.5$ Ölçümlerin% 5'inden fazlasında tuzluluk 41 psu'yu geçmemelidir: $S_{25, \text{lim}} = 40$
CaulerpaProliferaAlgae	Eşik değeri 50-60psu civarında belirlendi
Zosteranoltii Deniz çayırları	Eşik değeri 41 psu civarında belirlendi
Mussels	Eşik değeri 50-70 psu civarında belirlendi

İspanya Araştırma Merkezi(CEDEX)’nin, Akdeniz’de tuzlu su deşarjı sebebiyle yaşanan kirlilik üzerine yaptığı çalışmalarda bölgede sıkça bulunan *Posidonia Oceanica (L.) Delile* çayırları için belirlenen tuzluluk limitlerinin yapılan ölçümlerin % 25'inden fazlasında 38.5 psu'yu geçmemesi ($S_{25, \text{lim}} = 38.5$) ölçümlerin% 5'inden fazlasında 40 psu'yu geçmemesi ($S_{25, \text{lim}} = 40$) gerektiği tespit edilmiştir.

Bu yüzden bölgede yaygın olarak bulunan *Posidonia Oceanica (L.) Delile* bitkisi üzerindeki konsantrasyon tuzlu suyun olumsuz etkisi göz önüne alınarak atıksuyunalıcı ortamdaki dağılım konfigürasyonu ve seyrelme durumu önem arz etmekte, yapılacak modelleme çalışmasıyla birlikte tasarlanacak deşarj sistemi ile atıksuyu, alıcı ortama olumsuz etkileri minimum düzeyde olacak konsantrasyonlara seyreltebilmek mümkündür.

Dünya çapında tuzlu su deşarjı için birkaç gerçek düzenleme, standart veya kılavuz vardır. Kurulan bazı desalinasyon tesisleri için uygunluk noktaları Tablo 6.8'de özetlenmiştir. Mevzuatların özelliklerinde bazı değişiklikler vardır, ancak hemen hemen hepsi iki anahtar unsuru paylaşmaktadır: birincisi tuzluluk limiti ve ikincisi deşarjdan bir mesafe olarak ifade edilen uyumluluk noktasıdır. Tuzluluk limiti, genellikle ortama 1 ila 4 ppt'den fazla olmayan bir artış olarak ifade edilmiştir. Bununla birlikte, tuzluluk sınırı mutlak tuzluluk ve minimum seyreltme seviyesi olarak daha az sıklıkla ifade edilmektedir. Tuzluluk limitine uyum noktası, genellikle 50 ila 300 m arasında değişen deşarjdan sabit bir mesafe olarak belirtilen karıştırma bölgesinin sınırı olarak belirtilmektedir.

Tablo 6.8: Desalinasyon tesisleri tuzlu su deşarjları için mevzuatlar ve tuzluluk limitleri(Scott ve diğerleri 2012)

Bölge/Otorite	Tuzluluk Sınırı	Uyum Noktası (Akıntıya Göre)
US EPA	≤ 4 ppt tuzluluk artışı	
Carlsbad, CA	≤ 40 ppt mutlak tuzluluk	1000 ft
Huntington Beach, CA	≤ 40 ppt mutlak tuzluluk (7.5:1 deşarj seyreltme oranı olarak ifade edilir)	1000 ft
Batı Avustralya	$< 5\%$ tuzluluk artışı	
Oakajee Port, Batı Avustralya	≤ 1 ppt tuzluluk artışı	
Perth, Avustralya/Batı Avustralya EPA	≤ 1.2 ppt tuzluluk artışı(50 m'de) ≤ 0.8 ppt tuzluluk artışı(1000m'de)	50 m ve 1000 m
Sydney, Avustralya	≤ 1 ppt tuzluluk artışı	50-75 m
Gold Coast, Avustralya	≤ 2 ppt tuzluluk artışı	120 m
Okinawa, Japonya	≤ 1 ppt tuzluluk artışı	Karışım Bölgesi Sınırı
Abu Dabi	$\leq 5\%$ tuzluluk artışı	Karışım Bölgesi Sınırı
Umman	≤ 2 ppt tuzluluk artışı	300 m

Ülkemize bakacak olursak RO tesislerinden çıkan konsantre atıksuların deniz ortamında seyrelmesi ile ilgili olarak Çevre ve Şehircilik Bakanlığı(ÇŞB) tarafından belirlenmiş olan tuzluluk değeri seyrelme kriterleri mevcuttur. Buna göre debisi 5000 m³/gün'ün altında olan tesislerde,konsantre tuzlu sular için, 50 metre yarıçaplı dairesel sınırdaki seyrelme sağlanarak tuzluluk artışı hassas deniz alanlarında binde 2 (2 ppt), diğer yerlerde ise binde 3 (3 ppt)'ü aşmamalıdır.(ÇŞB 2015)

Tesis 1'de deşarj edilen konsantre atıksu tuzluluk değeri 72,5 psu iken ilk karışım sağlandığı alanda 46,22 psu değerine seyrelmiştir. Bu değerlere bakıldığında ve özellikle bölgede sıkça bulunan *Posidonia Oceanica (L.) Delile* çayırları açısından değerlendirildiğinde ilk karışım bölgesinde (X yönünde 0,364 m, Y yönünde 0,21 m) söz konusu bitki türü üzerinde olumsuz etkisi olacağı açık olup ancak çok kısa süre zarfında, hüzmelin X yönünde 5,037 m, Y yönünde 2,908 m hareketinden sonra tuzluluk 39 psu'nun altına düşmesi ve bu noktadan itibaren *Posidonia Oceanica (L.) Delile* çayırlarına olumsuz etki olasılığının ortadan kalkması söz konusudur.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından belirlenmiş olan tuzluluk değeri seyrelme kriterleri dikkate alındığında,50 metre yarıçaplı karışım bölgesinin sınırı akut karışım noktası olarak değerlendirilirse, akut karışım noktası tuzluluk değeri 38,43 psu olarak tahmin edilmiştir. Tablo 5.10'da belirtilmiş olan hüzmeli hareket yönüne doğru difüzörden 50 m uzaklıkta yani akut karışım sınır noktasında alınan numune analiz sonucu değeri 38,42 psu çıkmıştır. Bu da programın tahmin ettiği sonuçların çok küçük bir farklılıkla doğruluğunu ispatlamıştır.

Tahmin edilen tuzluluk değeri deniz suyu ile kıyaslandığında akut karışım sınır noktasında deniz ortamındaki tuzluluk artışı 0,03 psu'dur. Bu da yasal açıdan 2 ppt sınır değerini aşmadığından seyrelmenin yeterli olduğunu ve bu deşarjın mevcut mevzuat açısından uygun olduğunu göstermektedir.

Tesis 2'de deşarj edilen konsantre atıksu tuzluluk değeri 62 psu iken ilk karışım anı olan bölgede(X yönünde 0,472 m, Y yönünde 0,272 m) tuzluluk konsantrasyonu 40,86 psu olarak tahmin edilmiştir. Hüzmelin X yönünde 1,211 m ve Y yönünde 1,961 m hareketinden sonra tuzluluk konsantrasyonu 39 psu'nun altına düşmüştür. Akut karışım noktasında ise tuzluluk konsantrasyonu 35,88 psu olup, bu bölgede seyrelmenin neredeyse tamamlanmış olduğunu söylemek mümkündür.

Tablo 5.14’de belirtildiği gibi, alınan numunelerde de görüldüğü üzere difüzör üzerinde ilk karışım noktasında alınan numune analiz sonucu 40,5 psu ve akut karışımı sınır noktasında alınan numune analiz sonucu değeri 35,88 psu olarak ölçülmüştür.

Tahmin edilen tuzluluk değeri deniz suyu ile kıyaslandığında akut karışım sınır noktasında deniz ortamındaki tuzluluk artışı 0,08 psu’dur. Bu da yasal açıdan 2 ppt sınır değerini aşmadığından seyrelmenin yeterli olduğunu ve bu deşarjın mevcut mevzuat açısından uygun olduğunu göstermektedir.

Tesis 3’e ait deşarj hattından çıkan konsantre atıksuyun tuzluluk seyrelmesi için değerlendirme yapacak olursak, ilk karışım bölgesinde (X yönünde 0,263 m, Y yönünde 0,152 m) tuzluluk değeri 41,87 psu iken, hüzmengin X yönünde 3,884 m ve Y yönünde 2,243 m hareketinden sonra tuzluluk konsantrasyonu 39 psu’nun altına düşmüştür. Hüzmengin akut karışım bölgesi sınırında 38,2 psu ya seyrelmiş ve doğal deniz tuzluluk değerine dönmüş olduğu tahmin edilmiştir.

Tablo 5.18’de, alınan numune analiz sonuçlarında da görüldüğü üzere difüzör üzerinde ilk karışım noktasında alınan numune analiz sonucu 40,6 psu ve akut karışımı sınır noktasında alınan numune analiz sonucu değeri 38,2 psu olarak ölçülmüştür.

6.6 3 Farklı Senaryo İçin Program Denemeleri

6.6.1 40 m derinlik seviyesinde farklı debilerde RO Konsantresi Deşarjı VP çıktıları

Tesis 1 deşarj ortam özelliklerine bakıldığında deşarj noktasından 50 m açıktaki yani akut karışım bölgesi sınırında deniz ortamında yapılan ölçümlerde derinliğin 40 metre olduğu tespit edilmiştir. 5 farklı konsantre atıksu debisi tesis 1’e ait tesis ve ortam özellikleri sabit olarak ve deşarj hızı 1,5 m/s’yi geçmeyecek şekilde veriler VP programına girilmiştir. VP modelleme programı deşarj ortamını sınırsız olarak tanımladığından seyrelmenin gerçekleşebilmesi için deşarj konfigürasyonuna uygun deşarj ortamı olması önem arz etmektedir.

Bu sebeple 5 farklı debi için program çalıştırılmış ve 40 m derinlik değeri sabit alınarak huzmenin 40 m derinliğe ulaştığı noktadaki tahmin değerleri toparlanmıştır (Tablo 6.9). Konsantre atıksu debilerine göre seyrelme kriterlerini dikkate alacak olursak 750 m³/gün ve 5000 m³/gün debi için seyrelme kriterleri açısından derinlik bir engel teşkil etmemektedir. Ancak 10000 m³/gün debide hüzme akut karışım bölgesine ulaşmadan deniz tabanına ulaşmakta ve tuzluluk konsantrasyon değeri 39 psu iken dip tabalaşması meydana geleceğini söyleyebilmek mümkündür. 50000 m³/gün ve 100000 m³/gün debilerde ise çok düşük seyrelme seviyelerinde konsantre huzmesi deniz dibine ulaşmakta ve sırasıyla 41,2 psu ve 42,5 psu değerinde deniz dibinde tabakalaşma meydana getireceği görülmektedir. Ayrıca 50000 m³/gün ve 100000 m³/gün debilerinde deniz suyu konsantrasyonu ile hüzme konsantrasyonu farkı 2 ppt sınır değerini aştığından yasal mevzuat açısından da uygun olmadığı görülmektedir.

Tablo 6.9: Farklı debilerde RO konsantresi deşarjında hüzmenin 40 m derinlik seviyesine ulaştığı noktadaki VP çıktıları

Debi (m ³ /gün)	Deşarj Boru Çapı(m)	Hüzme Çapı(m)	Hüzme Konsantrasyonu (psu)	Seyrelme Seviyesi	X (m)	Y (m)	Konst. Farkı
750	0,15	15,25	38,43	6135	86,69	50,05	0,003
5000	0,22	16,13	38,45	1097	49,16	28,38	0,005
10000	0,32	15,99	39	541	37,07	21,4	0,6
50000	0,7	14,15	41,2	95	19,57	11,3	2,8
100000	1	12,18	42,5	41	15,15	8,747	4,1

6.6.2 Farklı Debilerde Deşarjın Deniz Yüzeyine Dik Olarak Yapıldığı Durumda Elde Edilen VP çıktıları

Senaryo 1’de de belirtildiği gibi Tesis 1 deşarj ortamında akut karışım bölgesi sınırında derinliğin 40 metre olduğu bilinmekte ve bu durum ikinci bir senaryoda ele alınarak VP programında, deşarj açısı deniz yüzeyine dik olacak şekilde değiştirilerek konsantre tuzlu su hüzmesinin seyrelme sırasında 40 m derinliğe ulaştığı noktada elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Bu kapsamda 5 farklı konsantre atıksu debisi, tesis 1’e ait tesis ve ortam özellikleri sabit olarak ve deşarj hızı 1,5 m/s’yi geçmeyecek, deşarj açısı deniz yüzeyine dik olacak şekilde veriler VP programına girilmiştir.

Tablo 6.10'daki sonuçları değerlendirecek olursak, deşarjın deniz yüzeyine dik olarak yapılması, hüzmünün neredeyse tamamen (y) ekseninde seyrelmesini mümkün kılmakla birlikte Senaryo 1 ile benzer olarak seyrelme miktarlarının birbirine yakın olduğu gözlenmiş, yatay açılı portlara oranla bir miktar daha az seyrelme olduğunu söylemek mümkündür. Ancak bu şekilde dizayn edilen deşarj hattının sığ sularda uygulanması pozitif yüzerlik aşamasında hüzmünün deniz yüzeyine ulaşması ve tabakalaşması gibi bir risk içerdiğinden uygulamalarda port ile deniz yüzeyi arasındaki açığı iyi tayin etmek gerekmektedir. Bunu da program aracılığıyla yapmak mümkündür. Sabit özellikleri alınan ve program çıktıları değerlendirilen bu tesis şekli için port ile deniz yüzeyi arasındaki mesafenin 4,4 m'den fazla olması gerektiği tespit edilmiştir. Ayrıca 50000 m³/gün ve 100000 m³/gün debilerinde deniz suyu konsantrasyonu ile hüzmeye konsantrasyonu farkı 2 ppt sınır değerini aştığından yasal mevzuat açısından da uygun olmadığı görülmektedir.

Tablo 6.10: Farklı debilerde deşarjın deniz yüzeyine dik olarak deşarj edildiği durumda elde edilen VP çıktıları

Debi (m ³ /gün)	Deşarj Boru Çapı(m)	Hüzme Çapı(m)	Hüzme Konsantrasyonu (psu)	Seyrelme Seviyesi	X (m)	Y (m)	Konst. Farkı
750	0,15	15,4	38,45	6032	0	100,6	0,005
5000	0,22	17,25	38,48	995	0	59,59	0,008
10000	0,32	15,91	39,4	530	0	40,08	1
50000	0,7	14,45	41,5	64	0	18,66	3,1
100000	1	11,74	42,9	19	0	11,67	4,5

6.6.3 Farklı Debilerde Çok Portlu RO Konsantrasi Deşarjının VP Çıktıları

Tesis 1 deşarj ortamında akut karışım bölgesi sınırında deniz ortamında yapılan ölçümlerde derinliğin 40 metre olduğu tespit edilmiş ve bu durum üçüncü bir senaryoda ele alınarak VP programında deneme yanılma yoluyla çok portlu deşarj ile hüzmünün seyrelme sırasında 40 m derinliğe ulaştığı noktada elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Bu kapsamda 5 farklı debi tesis 1'e ait tesis ve ortam özellikleri sabit olarak ve deşarj hızı 1,5 m/s'yi geçmeyecek şekilde farklı port sayılarında veriler VP programına girilmiştir.

Tablo 6.11.'deki sonuçları değerlendirecek olursak VP programı üzerinden deneme yanılma yoluyla uygun port sayısı ve portlar arası mesafeler belirlenerek tek portlu deşarjlara göre daha iyi bir seyrelme elde etmek ve konsantre tuzlu suyun alıcı ortamda olumsuz etkilerini ortadan kaldırmak mümkün hale gelmektedir.

Burada deşarj hızı 1,5 m/s'yi geçmeyecek şekilde port çapı seçilmiş ve minimum port sayısı ile başlanarak program çalıştırılmıştır. Sonrasında yine program çıktıları sayesinde elde edilen farklı portlardan çıkan hüzmelerin kesiştiği noktalar tespit edilerek, girişimi engelleyecek şekilde portlar arası mesafe seçilmiştir. Özellikle 50000 m³/gün ve 100000 m³/gün debilerde Tablo 4.10.'da tespit edilmiş olan konsantre deşarjının deniz ortamında olumsuz etkilere sebep olacak konsantrasyonda tuzluluk içeriği, port sayısı artırılarak ve portlar arası uygun mesafe ile iyi bir seyrelme sağlanarak ortadan kaldırılmıştır.

Tablo 6.11: Farklı debilerde çok portlu RO konsantresi deşarjı VP çıktıları

Debi m ³ /gün	Deşarj Boru Çapı (m)	Hüzme Çapı (m)	Hüzme Konst. (psu)	Seyrelme Seviyesi	X (m)	Y (m)	Portlar Arası Mesafe (m)	Port Sayısı
750	0,1	16,12	38,4	7452	99,42	57,4	7	2
5000	0,16	17,27	38,41	2012	65,3	37,7	12	2
10000	0,22	16,45	38,8	1100	50,67	29,3	15	2
50000	0,4	17,1	38,48	374	33,84	19,5	22	3
100000	0,5	16,78	38,53	245	28,62	16,5	25	4

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

RO konsantresinin deşarj edildiği deniz ortamında tuzluluk konsantrasyonunun dağılım ve seyrelmesini tahmin etmek amacıyla Amerika Çevre Koruma Ajansı EPA tarafından geliştirilen Visual Plumes (VP) isimli paket modelleme programı kullanılmıştır.

Her 3 tesis için konsantre atıksuyun dağılım ve seyrelme konfigürasyonları değerlendirildiğinde ve seyrelme bölgesinde alınan numune analiz sonuçlarıyla kıyaslandığında, modellemenin gerçeğe yakın veriler yansıttığı ve sonuç itibariyle iyi bir seyrelme sağlandığı açıkça görülmektedir.

Yapılan çalışmalarda deşarj edilen konsantre tuzlu suların Çevre ve Şehircilik Bakanlığı(ÇŞB) tarafından belirlenmiş tuzluluk değeri seyrelme kriterleri olan 50 metre yarıçaplı dairesel sınırdaki seyrelme sağlanarak tuzluluk artışının 2 ppt sınır değerini aşmadığı, ayrıca yakın alan bölgesinde meydana gelen seyrelme ile Akdeniz endemiği olan *Posidonia Oceanica (L.) Delile'nin* olumsuz etkilendiği 39 psu tuzluluk konsantrasyonu sınır değerinin altında konsantrasyonlara kadar seyreltiği tespit edilmiştir.

3 farklı senaryo ile 750 m³/gün, 1500 m³/gün, 10000 m³/gün, 50000 m³/gün ve 100000 m³/gün debilerinde konsantre atıksu; deşarj açısı, port sayısı ve yeterli seyrelmenin sağlanabilmesi için deşarjın yapıldığı deniz ortamının derinliği değerlendirilerek kurulacak olan muhtemel tesisler açısından ön fizibilitenin hazırlanması sağlanmıştır.

Günümüzde yaşanan içme ve kullanma suyu sıkıntısı sebebiyle özellikle kıyı kesimlerinde RO tesisi kurulumu giderek artmakta ve bu modelleme çalışması ile henüz kurulmamış tesisler için konsantre atıksuyun deşarj edileceği yeri, deşarjın kıyıya olan mesafesi, derinliği, dağılım bulutları ve seyrelmeleri, yörüngeleri, seyrelmenin sonlandığı nokta, deşarj sisteminde kullanılacak difüzör boyları, çapları gibi bir çok kriteri deneme yanılma yoluyla önceden değerlendirmek ve bu bilgiler ışığında tesis tasarlamak mümkündür. İnşaa edilecek olan tesisin gerek ekosisteme

olumsuz etkisinin minimuma indirilmesi, gerekse yasal sınırlamalar açısından problem yaşanmaması adına kurulum öncesinde modelleme yoluyla tesis kriterlerinin belirlenmesi ve buna uygun tasarım yapılması hem maliyet hem ekosistem hem de zaman açısından oldukça önem arz etmektedir.

8. KAYNAKLAR

Alameddine, I. and El-Fadel, M. “Brine Discharge From Desalination Plants: a Modeling Approach To An Optimized Outfall Design”. *Desalination* 214, 241-260, (2007).

Aslan, M., “*Membran Teknolojileri*”, Ankara : 182-190, (2016)

Aydın F., Ardalı Y., *Deniz Suyu Arıtım Teknolojileri, Mühendislik Ve Fen Bilimleri Dergisi*, Sigma 30, 156-178, (2012).

Başaran, Y., “Türkiye’de Deniz Suyundan İçme Suyu Üretimini Maliyet Değerlendirmesi”, Uzmanlık Tezi, Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Ankara, (2015).

Birkett, J., *Desalination Activities in England During The Late 17th Century*. International Water History Association: Alexandria, Egypt (2003).

Bleninger, T., Jirka, G. H., “Modelling And Environmentally Sound Management of Brinedischarges From Desalination Plants”, *Desalination*, 585–597, (2008).

Bleninger, T., Jirka, G. H., “Environmental planning, Prediction And Management Of Brine Discharges From Desalination Plants”, Middle East Desalination Research Center, Muscat, Sultanate of Oman, (2010).

California Coastal Commission: *Seawater Desalination and the California Coastal Act* (2004).

Cooley, H., Gleick, P.H. and Wolff, G.: *Desalination, With a Grain of Salt. A California Perspective: Pacific Institute for Studies in Development, Environment and Security: Oakland, California*(2006).

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, *Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği*, (2010).

DSİ, “Toprak ve Su Kaynakları[online]”, (15 Mart 2017), <http://www.dsi.gov.tr/toprak-ve-su-kaynaklari>, (2014).

Fernández-Torquemada, Y., Sánchez-Lizaso, J. L.: Effects of Salinity on Leaf Growth and Survival of the Mediterranean Seagrass *Posidonia Oceanica* (L.) Delile, *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 320, 57–63, (2005).

IDA: IDA Worldwide Desalting Plant Inventory, No. 20 in MS Excel Format, Media Analytics Ltd., Oxford, UK(2008).

Jochen, K., “Impacts of Blending on Dilution of Negatively Buoyant Brine Discharge in a Shallow Tidal Sea”, *Marine Pollution Bulletin*, 1032-1038, (2009).

Karakaya, N., Gönenç, İ.E., “Dünya’da ve Türkiye’de Su Tüketimi”, SES-E Bülteni, Cilt 1, Sayı 1, 2004.

Kocamış, Z. A., “Deniz Deşarjlarında Kirlilik Dağılımının Bilgisayar Destekli İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Ens., Çevre Müh. ABD.*, Adana, (2006)

Koyuncu, İ. (Edt.), Su/Atıksu Arıtılması ve Geri Kazanılmasında Membran Teknolojileri ve Uygulamaları, (2018).

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

Palomar, P., and Iñigo, J. L., Impacts of Brine Discharge on the Marine Environment. Modelling as a Predictive Tool, *Desalination, Trends and Technologies*, (2011).

Palomar,P. , Lara J.L. , Losada I.J., Rodrigo,M., Álvarez, A., Near Field Brine Discharge Modelling Part 1: Analysis of Commercial Tools, *Desalination*, 14–27, (2012).

Palomar,P. , Lara J.L. , Losada I.J., TarradeL. Numerical Modeling of Brine Discharge: Commercial Models, MEDVSA Online Simulation Tools and Advanced Computational Fluid Dynamics, *Desalination and Water Treatment*, 51, 1-3, 543-559, (2013).

Scott, J., Jeffrey, P., Philip. R., Daniel, S., and Judith, W., Management of Brine Discharges to Coastal Waters Recommendations of a Science Advisory Panel, Southern California Coastal Water Research Project, Costa Mesa, (2012).

Şahin, Ü. ve Kurnaz, L., “İklim Değişikliği ve Kuraklık [online]”, (15 Mart 2017), <http://ipc.sabanciuniv.edu/mwginternal/de5fs23hu73ds/progress?id=iljhV28rf9TQyoe8BldN-DEKHAcwCK0-Y6PG5ZXtio>(2014).

Öztürk, İ., Atıksu Ön Arıtma ve Deniz Desarjı Sistemleri, İTÜ İnşaat Fakültesi, 2.Basım, Sayfa 12,13,14, (2002).

Türkiye İstatistik Kurumu(TUİK), “Nüfus Projeksiyonları, 2013-2075[online]”, (20 Mart2017), <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=15844>, (2013).

Van der Bruggen, B. and Vandecasteele, C. (2002): “Distillation vs. Membrane Filtration: Overview of Process Evolutions in Seawater Desalination”. *Desalination*, 143, 207-218

Walter, E. F., Visual Plumes Mixing Zone Modeling Software, *Environmental Modelling & Software*, 645–654, (2004).

Water Consultants Intl., Environmental Literature Review and Position Paper for Perth Seawater Desalination Plant Two and Sydney Seawater Reverse Osmosis Plant, (2006).

Water Reuse Association (WRA), Seawater Concentrate Management, White Paper, (2012).

Van der Bruggen, B. and Vandecasteele, C. :Distillation vs.Membrane Filtration: Overview Ofprocess Evolutions in Seawater Desalination. *Desalination*, 143, 207-218, (2002).

9. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Gökhan BOZKURT

Doğum Yeri ve Tarihi : KIRIKHAN 08.08.1989

Lisans Üniversite : Erciyes Üniversitesi

Elektronik posta : gokhanbozkurt11@hotmail.com

İletişim Adresi : Muslihittin Mah. Hasat Sok. No:3,
Menteşe/MUĞLA