

T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
DENİZ BİLİMLERİ VE İŞLETMECİLİĞİ ENSTİTÜSÜ

**MELAMİN BAZLI POLİMERİK MALZEMELER
İLE DENİZSUYU DESALİNASYON YÖNTEMİNİN VE
AÇIĞA ÇIKAN ÜRÜNLERİNİN GERİ
KAZANIMLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

DOKTORA TEZİ

Uğur ÇAĞLAR
Denizel Çevre Anabilim Dalı

Danışmanlar
Prof. Dr. Cem GAZİOĞLU
Doç. Dr. Abdullah AKSU

OCAK, 2022

T.C.

İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ

DENİZ BİLİMLERİ VE İŞLETMECİLİĞİ ENSTİTÜSÜ

UĞUR ÇAĞLAR tarafından hazırlanmış ve sunulmuş “MELAMİN BAZLI POLİMERİK MALZEMELER İLE DENİzsUYU DESALİNASYON YÖNTEMİNİN VE AÇIĞA ÇIKAN ÜRÜNLERİN GERİ KAZANIMLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ” başlıklı tez DENİZEL ÇEVRE Ana Bilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Cem GAZİOĞLU

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Nuray ÇAĞLAR

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Oral YAĞCI

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Figen Esin KAYHAN

Jüri Üyesi

Doç. Dr. Ömer Suat TAŞKIN

Tez Savunma Tarihi:

ETİK BEYAN

İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü Tez Yazım Kılavuzu kurallarına uygun olarak hazırladığım “Melamin Bazlı Polimerik Malzemeler ile Denizsuyu Desalinasyon Yönteminin ve Açığa Çıkan Ürünlerin Geri Kazanımlarının Değerlendirilmesi ” başlıklı Doktora tez çalışmasında bilimsel etik ve akademik kurallara riayet ettiğimi;

- Çalışma konusunun özgün olduğunu,
- Tez içinde sunduğum tüm veri ve belgeleri bilimsel etik ve ahlak kuralları çerçevesinde elde ettiğimi,
- Çalışmanın bulgularında tahrifat yapmadığımı ve yanlış davranmadığımı,
- Tez kapsamında yararlandığım tüm eserlere ve doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya atıfta bulunduğumu,
- Yararlandığım tüm eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu,
- Kullandığım veri ve belgelerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Patent ve telif haklarını ihlal etmediğimi bildirir, aksinin vuku bulması durumunda yasal sonuç/sonuçları ve aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabul ettiğimi beyan ederim.

Tarih

Uğur ÇAĞLAR

İmza

ÖNSÖZ

Çalışmamın gerçekleştirilmesinde emek ve desteklerini esirgemeyen, tez sürecimi titizlikle yöneten ve tez çalışmasının sağlıklı bir şekilde ilerlemesi için beni teşvik eden danışman hocam, Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitü Müdürü Prof.Dr. Cem GAZİOĞLU' na, tezimin hazırlanmasında büyük katkı sağlayan ikinci danışman hocam Doç.Dr. Abdullah AKSU' ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Aynı zamanda doktora eğitimim boyunca tecrübelerini aktaran, desteğini esirgemeyen, Kimyasal Oşinografi Anabilim Dalı Başkanı Prof. Dr. Nuray ÇAĞLAR' a teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmamın tamamında ilgisini ve zamanını eksik etmeyen Doç. Dr. Ömer Suat TAŞKIN hocama teşekkürü bir borç bilirim.

Son olarak eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi yardımlarını benden esirgemeyen sevgili aileme ve arkadaşlarıma, sonsuz hürmetlerimi ve şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖNSÖZ	i
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
SİMGE LİSTESİ.....	viii
KISALTMA LİSTESİ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Deniz Suyunun Özellikleri	7
1.1.1. Deniz suyunun bileşenleri.....	7
1.1.2. Deniz suyunun tuzluluğu	7
1.1.3. Deniz suyunun yoğunluğu	9
1.2. Desalinasyon.....	9
1.2.1. Termal yöntemler.....	13
1.2.1.1. Çok kademeli ani damıtma (MSF).....	14
1.2.1.1. Çok etkili damıtma (MED)	15
1.2.1.2. Buhar sıkıştırma (VC).....	16
1.2.2. Membrana dayalı denizsuyu desalinasyon yöntemleri	19
1.2.2.1. Elektrodializ.....	19
1.2.2.2. Mikrofiltrasyon (MF).....	20
1.2.2.3. Ultrafiltrasyon (UF)	21
1.2.2.4. Nanofiltrasyon (NF).....	21
1.2.2.5. Ters Osmoz	22
1.2.3. Diğer yöntemler	25
1.2.3.1. İyon değişimi.....	25
1.3. Ters Osmoz Sistemlerinde Maliyet	26
1.4. Ağır Metaller	29
1.4.1. Denizlerde ağır metal kirliliği	30
1.4.2. Ağır metal giderimi	32
1.4.3. Adsorpsiyon.....	33
1.4.3.1. Fiziksel adsorpsiyon.....	34
1.4.3.2. Kimyasal adsorpsiyon	35
1.4.3.2.1. İyonik adsorpsiyon	35
1.4.4. Adsorpsiyona etki eden faktörler	36
1.4.5. Adsorban.....	37
1.4.5.1. Adsorbanların genel özellikleri.....	38
1.4.6. Adsorbent.....	41
2. MATERYAL VE METOT	42
2.1. Kullanılan Kimyasallar ve Materyaller	42
2.2. Sistem Düzenliği.....	42
2.3. İndüktif Eşleşmiş Plazma Kütle Spektroskopisi (ICP-MS).....	44
2.4. Melamin Bazlı Polimer Sentezlenmesi	46
3. BULGULAR.....	47
3.1. Polimer Karakterizasyonu	47

3.2. Metal Analizleri.....	51
4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR	57
KAYNAKLAR	59
ÖZGEÇMİŞ	67



ÖZET

MELAMİN BAZLI POLİMERİK MALZEMLER İLE DENİZSUYU DESALİNASYON YÖNTEMİNİN VE AÇIĞA ÇIKAN ÜRÜNLERİNİN GERİ KAZANIMLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Uğur ÇAĞLAR

Su kıtlığı, günümüzün ve geleceğimizin en önemli sorunlarından birisidir. Günümüzde su kıtlığı yaşayan birçok ülke denizsuyu desalinasyonu ile kullanma ve içme suyu ihtiyaçlarını karşılamaktadır.

İstanbul gibi nüfusun ve günlük su talebini hızla arttığı yerleşim yerlerinde su sıkıntıları zaman zaman ortaya çıkmaktadır. Bu sebeple denizsuyu desalinasyonu, su temini konusunda destekleyici olacaktır.

Bu araştırma kapsamında, Marmara Denizi'nin farklı noktalarından alınan su örneklerinden ağır metal varlığına bakılacak, sonrasında deniz suyu örneklerindeki ağır metal giderimi denenecektir. Ağır metalden arındırılan su örnekleri desalinasyon (tuzsuzlaştırma) işlemine tabi tutularak, tatlı su elde edilecek, geride kalan diğer ürünlerin (tuz, metal vb.) geri kazanımları değerlendirilecek ve deşarjsız bir desalinasyon modeli üzerinde çalışılacaktır.

Proje süresince, ilk aşamada Marmara Denizi'nin; Adalar Açıkları, Florya Açıkları ve Küçükçekmece Sahilinden su örnekleri alınacaktır. Alınan su örnekleri, İndüktif Olarak Eşleştirilmiş Plazma- Kütle Spektrometresi (ICP-MS) cihazı kullanılarak ağır metal varlığına bakılacaktır. Sonrasında laboratuvar ortamında sentezlenecek olan Melamin bazlı Polimerik tutucu ile su örnekleri işleme tabi tutularak, sudaki ağır metal giderimi gerçekleştirilecektir. Örnekler son olarak ICP-MS cihazında tekrardan incelenecek ve ağır metalin sudan uzaklaştırıldığından emin olunacaktır. Ağır metalden arındırılmış deniz suyu, laboratuvar ortamında damıtma yöntemiyle desalinasyon işlemine tabi tutulacak ve ortaya çıkan tatlı su, deniz tuzu ve diğer ürünlerin geri kazanımları değerlendirilecek, ortaya çıkan ürünlerin muhtemel kullanım alanları konusunda yorum ve önerilerde bulunulacaktır.

Anahtar kelimeler: Desalinasyon, melamin, polimer, adsorpsiyon, ağır metal giderimi

ABSTRACT

ASSESSMENT OF SEA WATER DESALINATION AND RECOVERY OF OUTPUT PRODUCTS USING WITH MELAMINE BASED POLYMERIC MATERIALS

Uğur ÇAĞLAR

Water scarcity is one of the most important problems of today and future. Many countries, who have water shortage, use seawater desalination to produce drinking water and daily using.

Water shortages occasionally in settlements such as Istanbul, where the population and daily water demand increase rapidly. For this reason, seawater desalination could be supportive in terms of water supply.

Within the scope of this research, the heavy metal presence in the water samples taken from different points of the Marmara Sea will be examined, then the heavy metal removal in the sea water samples will be tried. Water samples taken from the heavy metal will be subjected to desalination process, fresh water will be obtained, the rest of the remaining products (salt, etc.) will be evaluated and a desalination model will be studied.

During the first phase of the project; Water samples will be taken from Princes' Islands, Florya Openings and Küçükçekmece Coast. Water samples taken, Inductively Paired Plasma-Mass Spectrometer (ICP-MS) device will be used to determine the presence of heavy metal. Then the water samples will be processed with a melamine based polymeric holder to be synthesized in the laboratory and heavy metal removal will be carried out. The samples will be re-examined in the ICP-MS device and the heavy metal will be removed from the water. The sea water, which is free from heavy metals, will be subjected to desalination process in the laboratory by distillation and the recoveries of fresh water, sea salt and other products will be evaluated and comments and suggestions will be made about the possible usage areas of the resulting products.

Keywords: Desalination, melamine, polymer, adsorption, heavy metal removal

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1. Deniz suyunun bileşenleri	7
Tablo 2. Denizlerdeki Tuz Konsantrasyonları (Can ve diğerleri, 2002)	9
Tablo 3. Termal Desalinasyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması	18
Tablo 4. Ülkelere göre desalinasyon kapasiteleri	28
Tablo 5. Ağır metallerin zehirliliğini etkileyen faktörler	30
Tablo 6. Temiz deniz suyundaki ağır metal konsantrasyonları.	32
Tablo 7. Ticari olarak, yaygın kullanılan adsorbanlar	40
Tablo 8. Adsorbentlerin kategorizasyonu (Sharma ve diğerleri, 2015).....	41
Tablo 9. İstasyonlardan alınan numunelerdeki Ağır Metal Sonuçları	52
Tablo 10. Polimerden geçirilen numunelerin Ağır Metal Sonuçları	53



Şekil 1. Dünya Su Kaynakları Enstitüsü Su Stresi Haritası (WRI, 2013)	2
Şekil 2. Son on yıldaki günlük en yüksek su tüketimi (ISKI, 2016)	5
Şekil 3. Ters osmoz tesisleri üretim kapasitelerinin diğer tesislere oranı.....	12
Şekil 4. Desalinasyon yöntemleri	13
Şekil 5. Çok kademeli ani damıtma temel şematik diyagramı(Hamdan ve diğerleri, 2008)....	15
Şekil 6. Çok etkili damıtma yönteminde yatay boruların şematik presetasyonu (Aliku, 2017).	16
Şekil7. Tek aşamalı mekanik vakum sıkıştırma diyagram (Evans ve Miller, 2002).	17
Şekil 8. Elektrodializ şeması (Kentish ve diğerleri, 2014)	20
Şekil 9. Ters Osmoz Çalışma Prensibi (Ezzeghni, 2016)	23
Şekil 10. İyon Değişim Yöntem Basamakları (Can ve diğerleri, 2002)	26
Şekil 11. Katı yüzey üzerine, gaz moleküllerinin adsorpsiyonu ve desorpsiyonunun şematik olarak gösterimi	34
Şekil 12. Adsorban üzerine boyar madde iyonlarının adsorpsiyonunun örnek diyagramı	37
Şekil 13. Sistem Düzenegi	43
Şekil 14. Akış Şeması	43
Şekil 15. ICP-MS Şematik Görünümü	45
Şekil 16. ICP – MS Cihazı.....	45
Şekil 17. Polimerin Genel Hazırlanış Şeması.....	46
Şekil 18. Melamin, Terefaldehit, Polimerin Metal Giderimi Öncesi ve Sonrası FTIR spektrumu.....	48
Şekil 19. SEM fotoğrafları (a) adsorban polimer (b) metal giderimi sonrası.	49
Şekil 20. Metal ile muamele öncesi ve sonrası CO ₂ adsorpsiyon ve desorpsiyon izotermi	50
Şekil 21. CO ₂ adsorpsiyon izoterminden hesaplanan hücre yoğunluğu	51
Şekil 22. Küçükçekmece Sahili polimer öncesi ve sonrası değişim.....	54
Şekil 23. Florya açıkları polimer öncesi ve sonrası değişim	55
Şekil 24. Adalar açıkları polimer öncesi ve sonrası değişim	56

SİMGE LİSTESİ

g	: Gram
kg	: Kilogram
L	: Litre
m	: Metre
mg	: Miligram
mL	: Mililitre
ppb	: Milyarda bir kısım
ppm	: Milyonda bir kısım
µg	: Mikrogram



KISALTMA LİSTESİ

ADA	: Adalar
ED	: Elektrodializ
FC	: Folin-Ciocalteu
FCR	: Folin-Ciocalteu Reaktifi
FLR	: Florya
FTIR	: Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrofotometresi
GAK	: Granül Aktif Karbon
ICP-MS	: Endüktif Eşleşmiş Plazma Kütle Spektrometresi
KÇK	: Küçükçekmece
MED	: Çok etkili damıtma
MF	: Mikrofiltrasyon
MSF	: Çok kademeli ani damıtma
NF	: Nanofiltrasyon
SEM	: Taramalı elektron mikroskopu
TFC	: Toplam Flavonoid İçeriği
TO	: Ters Osmoz
TPC	: Toplam Fenolik Bileşen İçeriği
UF	: Ultrafiltrasyon
VCD	: Buhar Sıkıştırılmalı Damıtma

1. GİRİŞ

Tarih boyunca insanlığın su ile ilişkisi, nüfusun da artmasıyla orantılı olarak artarak devam etmiştir. Her geçen yıl artan nüfus ve dolayısıyla gelişen şehirleşme, yaşam standartlarının değişmesi, suya olan talebi arttırmıştır. Bununla birlikte dünyada var olan mevcut su miktarı sabittir ve değişmez. Yaşamın başlangıcından beri, tatlı su kaynakları neredeyse hep sabit kalırken, dünya nüfusu hızla artmaya devam etmekte mevcut tatlı su kaynakları üzerinde ciddi bir stres faktörü oluşturmaktadır (Nakoa ve diğerleri, 2016)

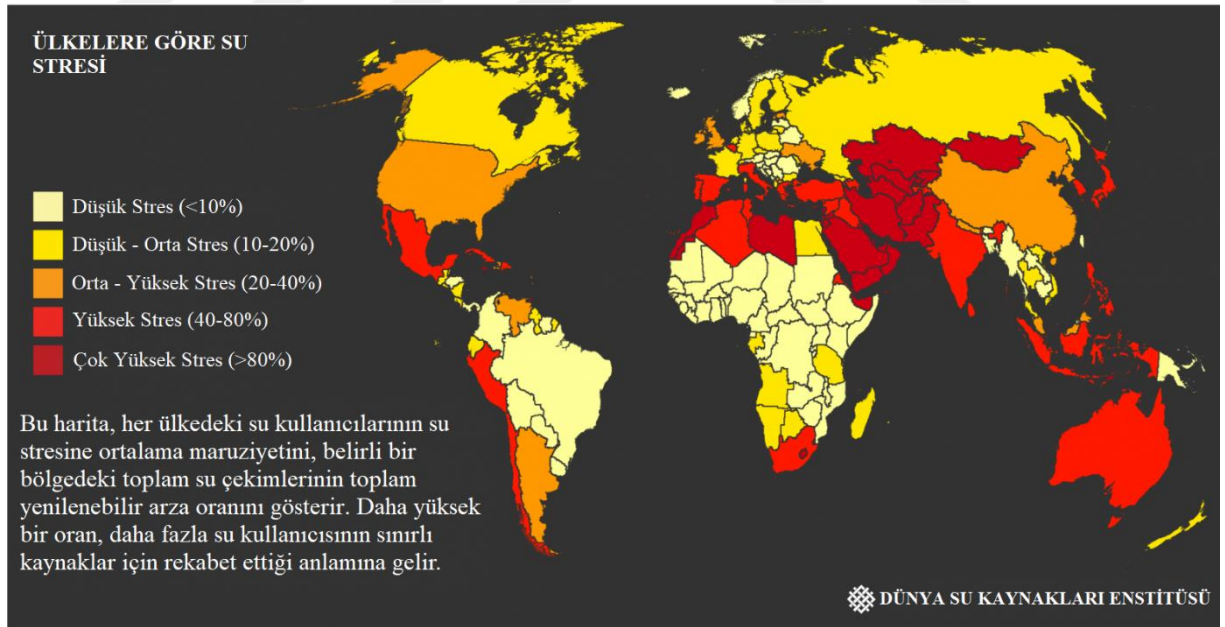
Dünya nüfusunun artmasıyla birlikte, yaşam standartlarının artması, endüstriyel faaliyetlerin artması, tarımsal faaliyetler, sonucunda daha fazla su talebini doğurmaktadır ve bu talep artarak devam edecektir. Ayrıca küresel ısınma, su kirliliği, mevcut su kaynaklarının iyi yönetilmemesi gibi nedenler de su kıtlığını tetiklemektedir. Bu sebeple, kullanılabilir mevcut su kaynaklarının iyi yönetilmesi ve alternatif su kaynaklarının bulunması önem arz etmektedir (UNWWAP, 2015). Doğal kaynaklar ve nehirler gibi mevcut su kaynaklarının sınırlı olduğu birçok bölge alarm durumunda ve alternatif kaynaklar üzerinde çalışmaktadır (Khawaji ve diğerleri, 2008).

Önümüzdeki kırk yıl içinde mevcut dünya nüfusunun 2,5 milyar daha artacağı beklenmektedir (Godfray ve diğerleri, 2010). Nüfusun artmasıyla birlikte de suya olan talep doğru orantılı olarak artacaktır. Örneğin, son yüzyılda dünya nüfusunda üç kat artış meydana gelmiş, su kullanımına olan talep ise yedi kat artmıştır. Dünyadaki toplam su tüketimi yıllara göre kıyaslandığında, 1940 yılında 1 milyar m³ su tüketilirken, 1960 yılında da iki milyar m³ e yükselmiş, 1990 senesinde ise 4.130 milyar m³ 'e ulaşmıştır (Öktem ve diğerleri, 2014).

Tatlı su kaynaklarının büyük bir kısmı tarımda, sulama suyu olarak kullanılmaktadır. 1960 senesi itibariyle özellikle son 50 yılda, nüfus artışıyla birlikte gelir ve tüketim düzeyi yükselmiş, bunun sonucunda temel gıda ürünlerine olan talep artmıştır. Bu sebeple büyük ölçekli yüzey sulamasına yönelik yatırımlar yapılmıştır. Bu yatırımlar, su kaynakları üzerindeki baskıyı arttırmıştır (Svendsen ve Turrall, 2007).

Yeryüzünde tahmini olarak 200,00 km³ yenilenebilir tatlı su kaynağı olduğu tahmin edilmektedir (Caldera ve diğerleri, 2016). Kaynakların bu denli sınırlı olması, artan nüfus, sanayileşme vb. aktivitelerle daha sınırlı hale gelecektir. Birleşmiş Milletler Dünya Su Değerlendirme Programınca, 2030 yılına kadar toplam küresel su talebinin yalnızca %60'ı'nın karşılanabileceği ön görülmekte ve bu oranın ilerleyen yıllarda düşerek devam edeceği tahmin edilmektedir (UNWWAP, 2015).

Dünya üzerindeki birçok ülke, su kıtlığından ve doğal kaynakların yetersizliğinden dolayı sıkıntı çekmektedirler. Günümüzde yaklaşık olarak 663 milyon insanın temiz su kaynaklarından yoksun bölgelerde 2,4 milyar insan ise tatlı su kaynaklarının yetersiz olduğu bölgelerde yaşadığı belirtilmektedir (Fanucchi, 2017; Greenlee ve diğerleri, 2009; Seager ve Vecchi, 2010). 2025 yılına gelindiğinde ise 1,8 milyar insan su kıtlığı yaşayacak ve dünya nüfusunun 2/3'si su stresi olan bölgelerde yaşayacağı ön görülmektedir (Gude, 2015). Dünyada su talebinin önümüzdeki birkaç 10 yıl içinde katlanarak artması, en az 33 ülkenin 2040 yılına kadar aşırı su stresi ile yüzleşmesi öngörülmektedir (Euronews, 2019). Dünyada su stresi yaşayan bölgeler Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Dünya Su Kaynakları Enstitüsü Su Stresi Haritası (WRI, 2013)

Sonuç olarak, bu dönemin sonlarına gelindiğinde, dünya toplam nüfusunun %40'ının su kıtlığının çekildiği bölgelerde yaşayacağı, özellikle Kuzey- Güney Afrika, Merkez-Doğu Asya su kıtlığının yaşanacağı bölgeler olarak ön görülmektedir (UNWWAP, 2014). 2018 Ocak ayında Cape Town şehri susuz kalan ilk başkent olarak tarihe geçmiştir. Bugün itibariyle Kaliforniya, Arizona, Teksas ve Meksika gibi ABD'nin güneybatı bölgesi ile Orta Doğu ve Kuzey Afrika ülkeleri, Güneydoğu Avrupa ülkeleri, Güney Hindistan, Pakistan, Moğolistan, Afganistan, Kazakistan Batı Avustralya su kıtlığı yaşamaktadır. Karayipler bölgesinde dâhil Latin Amerika, Güney ve Orta Afrika, Kuzey Hindistan, Çin'in bazı bölgeleri ve diğer bazı Asya ülkelerinde ise ekonomik su kıtlığı yaşanmaktadır (Gude, 2015). Dünya su kaynakları enstitüsü verilerine göre Türkiye de su kıtlığının yaşanacağı bölgeler arasında bulunmaktadır.

İstanbul nüfusu, 2007 senesinde 12 milyon 573 bin iken günlük su tüketimi en fazla 2 milyon 209 bin m³ olarak kayıt edilmiştir. 2016 senesinde nüfus 2 milyon 84 bin artarak 14 milyon 657 bine yükselmiş, günlük su tüketimi 836 bin m³ artarak 3 milyon 45 bin m³' e ulaşmıştır. Son 10 yıllık nüfus artışı ve su tüketimindeki artış kıyaslandığında, nüfus artışı %16 iken su tüketimindeki artış %37 olarak gerçekleşmiştir. İstanbul nüfusu 2017 senesinde bir önceki seneye göre 38 bin 493 kişi artarak 15 milyon 67 bin 724' e ulaşmıştır (Istanbul.gov.tr, 2017). Bunun yanı sıra İstanbul' un diğer önemli sorunu su toplama havzalarının kapasitelerinin yetersiz olmasıdır. Yağış miktarı ne kadar çok olursa olsun depolanabilecek kapasite ne yazık ki yaklaşık olarak 14 aylık su tüketimini aşamamaktadır. Tüketim miktarına bağlı olarak söz konusu depolama ne yazık ki yıllık tüketimi ancak karşılayacak sürece doğru hızla yaklaşmaktadır.

Nüfusun ve buna bağlı olarak da su kullanma ihtiyacının her geçen gün artarak devam etmesi, baraj doluluk oranlarının mevsimsel olarak günlük su ihtiyacının karşılanmasında yetersiz kalma ihtimali ve daha önemlisi su kıtlığı riskinin yüksek olduğu bir bölgede olmamız sebebiyle bölgede alternatif su kaynaklarına yönelmek kaçınılmazdır. Bu alternatiflerin başında da deniz suyu desalinasyonu ön plana çıkmaktadır.

Tuzdan arındırmak (tuzsuzlaştırmak) anlamına gelen desalinasyon, genellikle içme ve kullanma suyu kıtlığı çekilen bölgelerde, denizsuyu'nun veya acısu (%1-1,2 tuzluluk)'nun çeşitli yöntemler ile tuzundan arındırılarak, tatlı suyun içme veya kullanma suyu olarak değerlendirildiği bir yöntemdir.

Dünya genelinde, su kıtlığı yaşanan bölgelere su temini edebilmek amacıyla, deniz suyu desalinasyon tesisleri kurulmuş ve bu teknoloji son yıllarda hızlı bir gelişim göstermiştir.

Deniz suyu desalinasyonu, yüksek kaliteli ve devamlılığı olan içme suyunu elde etmede gerek doğal tatlı su kaynaklarına zarar vermeyen, gerekse insan sağlığı açısından, sosyo-ekonomik açıdan ve çevresel kazanımlar açısından son derece faydalı olmakla beraber, desalinasyon sonucu ortaya çıkan yüksek konsantrasyondaki kimyasalların özellikle kıyısız alanlardaki deniz deşarjları bazı potansiyel sorunları beraberinde getirmektedir (Lattemann ve Höpner, 2008).

Bu ürünlerin denize deşarjları kısa süreli ve uzun vadede ortamdaki tuz ve diğer yükleri arttırdığından denizel ekosisteme de bölgesel olarak zarar vermektedir. Bu noktada desalinasyon sonrası ortaya çıkacak ikincil ürünlerin denize deşarjı yapılmadan geri kazanımlarının değerlendirilmesi daha çevreci bir yöntem olacaktır.

Deniz suyu, %96,7'si su, %3,3'ü tuz bileşenine sahip olması ve yeryüzü su kaynaklarının %97'si ni denizlerin oluşturması sebebiyle önemli içme ve sulama suyu kaynaklarından biridir (Ohya ve diğerleri, 2001). Diğer taraftan geriye kalan %3'lük tatlı suyun %2,4'lük kısmını buzullar oluşturmaktadır. Dünya yüzeyinde kullanılabilir su kaynaklarının oranı ise %0,6'tır. Bunlar ise göl, havuz, nehir gibi küçük su kütleleridir. Ayrıca yer altı sular da erişebilmek için çok derindedir. Deniz suyu normal koşullarda, insan tüketimi, endüstriyel ve tarım faaliyetlerin yapılması için uygun değildir. Fakat desalinasyon yöntemi, deniz suyunu kullanılabilir hale getirmektedir. Deniz suyu desalinasyonu, su kıtlığına karşı sürdürülebilir bir çözümdür.

Deniz suyu desalinasyonu hızla ve gelişerek büyüyen, alternatif içme suyu kaynağıdır. Desalinasyon yöntemi, son birkaç on yılda termal, membran ayırma, dondurma, elektrodiyaliz teknikleri gibi ciddi gelişimler göstermiştir. Desalinasyon tekniklerinde ki en önemli ilerleme, termal ve membran proseslerinde meydana gelmiştir (Hamutoglu ve diğerleri, 2012a).

2012 Küresel Su İstihbaratı raporlarına göre, küresel desalinasyon kapasitesinin yılda %55 oranda arttığı belirtilmektedir (Ng ve diğerleri, 2013). Uluslararası desalinasyon birliği verilerine göre 150 ülke, desalinasyon kapasitelerini arttırmıştır ve sonuç olarak küresel su üretim kapasitesi 86,8 milyon m³/gün olmuştur (IDA, 2016). İstanbul'un 2007-2017 yılları arasındaki su tüketim miktarları tabloda ki gibidir.



Şekil 2. Son on yıldaki günlük en yüksek su tüketimi (ISKİ, 2016)

Genel olarak deniz suyu desalinasyonunda ki temel amaç, içme ve/veya kullanma suyu elde etmek olduğundan, desalinasyon sonrası ortaya çıkan ürünler; yüksek yoğunluklu tuzlu su vb. ikincil ürünler göz ardı edilmekte ve doğrudan denizel ortama planlı ya da plansız deşarj edilmektedir.

Sığ veya su akışının yetersiz olduğu bölgelerde yapılan olan deşarjların özellikle zeminde yaşayan organizmalar üzerine olumsuz etkileri olabilir. Ortamda bulunan canlılar ortalama binde 8-10'luk tuzluluk artışına tolerans gösterebileceği gibi, ortam tuzluluğunun yalnızca binde 2-3 (ppt) artmasını bile tolere edemeyecek canlılar bulunabilir (Forrestal ve diğerleri, 2012).

Desalinasyon işlemi sonucu ortaya çıkan yoğun tuzlu suyun deşarjının, denizel ekosisteme zararları olabileceği gibi, yüksek yoğunluktaki bu suyun denize deşarjının maliyetleri de söz konusudur. Bu anlamda ortaya çıkacak olan yüksek tuzluluktaki suyun deşarjı yerine ikincil ürünlerin geri kazanımlarının değerlendirilmesi daha çevreci ve ekonomik olabilir.

Artan popülasyon ve tatlı su kaynaklarının sınırlı olmasıyla ortaya çıkan tabloda 2025 yılına kadar 2.7 milyar insanın yaşadığı bölgelerde su kıtlığının oluşacağı öngörülmektedir (Smith ve diğerleri, 2001). Desalinasyon özellikle su kaynaklarının bol fakat kullanışsız olduğu bölgelerde (yüksek tuzluluk, metal kirliliği vs.) tercih edilmekte ve bu tesislerin sayısı giderek artmaktadır. Özellikle nüfusu yoğun ve hızla artmaya devam eden yerleşim yerlerinde uygulanacak desalinasyon methodunun çevreci bir modelle ele alınması ve uygulanabilir olması

önem arz etmektedir. Örneğin normal bir tuzlu su desalinasyon modelinde yaklaşık 70,000 ppm kadar yüksek yoğunlukta tuzlu su elde edilebilir (Kalogirou, 2005). Böylesi yoğunlukta tuzlu su deşarjları ciddi çevresel sorunlara neden olur (Kalogirou, 2005; Sadhwani ve diğerleri, 2005).

Güney Carolina Üniversitesi araştırma vakfının, desalinasyon üzerine yapmış olduğu çalışmada, tatlı su, tuz, magnezyum ve bromin elde edimimleri üzerine iki farklı model ortaya konmuştur. Bu iki modelde Sıfır Sıvı Deşarjlı Desalinasyon (ZLD) ve Sıfır Deşarjlı Desalinasyon (ZDD). Sıfır Sıvı Deşarjlı Desalinasyonda, desalinasyon sonucu ortaya çıkan yoğun tuzluluklu suyun buharlaştırma methoduyla kurutularak geri kazanımı ya da deşarjı hedeflenmiştir. Sıfır Deşarjlı Desalinasyon modelinde ise Elektrodializ ve Buharlaştırma yöntemlerinden yararlanılarak, tatlı su, tuz (NaCl), magnezyum (Mg) ve Bromin (Br) elde edimi üzerinde durulmuştur (Davis, 2006).

Nakoa ve diğerleri, 2016’ da Güneş enerjisinden faydalanarak “Sürdürülebilir sıfır likit deşarjlı desalinasyon” üzerine çalışma yapmışlardır. Bu çalışma kapsamında membran damıtma ve tuzluluk gradyanlı güneş havuzu kombinasyonu denenmiştir (Nakoa ve diğerleri., 2016).

Lu ve diğerleri., 2019’ da “Sürdürülebilir sıfır likit deşarjlı desalinasyon” üzerine yeni bir kombinasyon denemesi yapmışlardır. Bu çalışmada yeşil enerji (sürdürülebilir, doğadaki kaynaklardan elde edilebilen) den de yararlanılarak, membran damıtma ve kristallendirme kombinasyonu kullanılarak desalinasyon denenmiştir (Lu ve diğerleri, 2019).

Marmara denizinde olası bir durumda sıfır deşarj prensibiyle uygulanacak bir desalinasyon modelinde, deniz suyunda bulunan mevcut ağır metallerin, desalinasyon işleminden önce tutulması ve ağır metalden arındırılmış suyun desalinasyona tabi tutulması sıfır deşarj prensibini destekleyici olacaktır.

Denizsuyundaki ağır metallerin giderimi konusunda farklı yöntemler olmaklar beraber, sürdürülebilir bir sistemde melamin bazlı polimerlerin kullanılması yerinde ve sürdürülebilir olacaktır.

Taşkın ve diğerleri, 2016’ te Mikro gözenekli, Schiff tabanlı (aldehidler için özel reaksiyon grupları) melamin bazlı polimer grupları sentezlemişler ve bakır iyonları ile olan etkileşimi incelenmiştir. Deneme sonunda sentetik olarak sentezlenen bu polimerlerin bakır iyonlarını absorbe ettiği ortaya konmuştur (Taşkın ve diğerleri, 2016).

Bu çalışmada, Marmara Denizi'nden alınan su numunelerini, laboratuvar ortamında senzitezenen, melamin bazlı polimerlerden geçirerek filtre edilecek, filtrelerde tutulan metaller analiz edilecek ve metallerden arındırılan tuzlu suyun deşarjsız desalinasyon yöntemleri değeriendirilecektir.

1.1. Deniz Suyunun Özellikleri

1.1.1. Deniz suyunun bileşenleri

Denizsuyu tuzlu yapıdadır. Denizsuyunda bulunan başlıca iyonlar; sodyum (Na^+), klor (Cl^-), magnezyum (Mg^{+2}), kalsiyum (Ca^{+2}), potasyum (K^+), sülfat (SO_4^{-2}), bikarbonattır (HCO_3^-). Bilinen tüm elementler deniz suyunda mevcuttur. Deniz suyunda bulunan bileşenlerini % olarak Tablo 1' de ki gibi belirtmek mümkündür.

Tablo 1. Deniz suyunun bileşenleri

Parametreler	Birim	Değer (min-max)
Br	(mg/l)	4,5-5,37
Ca^{+2}	(mg/l)	585-738
Cl^-	(mg/l)	22,000-26,131
Elektrik iletkenliği (EC)	ms/cm	48,7-58,8
HCO_3^-	(mg/l)	160,6-190,9
K^+	(mg/l)	661-818
Mg^{+2}	(mg/l)	886-1576
Na^+	(mg/l)	9800-12,933
pH	-	8,1-8,2
SO_4^{-2}	(mg/l)	1670-2400
Tuzluluk	‰	31,8-38,8

1.1.2. Deniz suyunun tuzluluğu

Deniz suyunun tuzluluğu; 1 kg deniz suyunda erimiş durumda bulunan iyonların gram olarak miktarına eş değerdir. Deniz tuzluluğunu ölçmek için çeşitli yöntemlerle ya da cihaz yardımıyla ölçülebilir. Elektriksel iletkenlik yöntemi tuzluluk tayininde güvenilir ve pratiktir.

Denizlerde tuzluluk genel olarak derinlikle artar fakat buharlaşmanın yoğun olduğu sıcak yaz aylarında tuzluluk artışı yüzeye doğrudur.

Deniz suyu yüksek konsantrasyonda tuz içerir. Elektrik iletkenliği (EC) seviyesi yaklaşık 55 mS/cm, çözünmüş toplam katı miktarı 35,000 mg/L ve Sodyum (Na^+) konsantrasyonu 10,400 mg/L'dir. Okyanuslarda tuzluluk ‰34-‰38 (34-38ppt) arasındadır (Qadir ve diğerleri, 2007).

Dünyadaki her denizin kendine özgü tuzluluk seviyeleri vardır. Bu seviyeleri belirleyen faktörlerden birisi denizlere akan tatlı su miktarıdır. Örneğin Karadeniz; bir iç deniz olan Marmara ve açık deniz olan Akdeniz'e göre daha düşük tuzlulukta bir denizdir. Tuzluluđun düşük olmasının başlıca sebebi ise Karadenize dökülen Kızılırmak, Tuna, Bug, Dinyester, Dinyeper, Don, gibi büyük hacimli akarsulardır. Marmara Denizindeki durum ise iki yönlü akıntıdan dolayı daha farklıdır. Marmara Denizinde İstanbul ve Çanakkale Boğazları aracılığıyla Karadeniz ve Ege Denizi su geçişleri mevcuttur. Bu sebeple Marmara Denizinin yüzey tuzluluk oranı Akdeniz ve Ege'ye göre daha düşük, Karadeniz'e göre yüksektir. 15-20 m derinlikte yüzey tabakasında Karadeniz suyu etkisiyle ‰22 olan tuzluluk oranı derine inildikçe Akdeniz suyunun etkisiyle 30 metrelerde ‰37'ye; 150 metre derinlikte ‰38 değerlerine ulaşmaktadır.

Dünya genelinde bazı denizlerin tuz konsantrasyonları Tablo 2' de ki gibi verilmiştir.

Tablo 2. Denizlerdeki Tuz Konsantrasyonları (Can ve diğ erleri, 2002)

DENİZ	TUZ KONSANTRAYONU (‰)
Akdeniz	43
Atlantik Okyanusu	36
Baltık Denizi	7
Ege Denizi	38
Fars Körfezi	43
Hazar Denizi	13
Karadeniz	18
Kızıl Deniz	43
Marmara Deniz	22
Pasifik Okyanusu	34
Standart (ortalama) deniz suyu	35

1.1.3. Deniz suyunun yoğ nluğ 

Denizsuyu yoğ nluğ , sıcaklık, basınç, derinlik, tuzluluk gibi fakt rlerden etkilenen fiziksel bir  zelliktir. Denizsuyu yoğ nluğ  suda tabakalaşma oluşumuna ve akıntılarının oluşumuna etki eder. Genellikle denizel ortama yapılan d ş k yoğ nluktaki derin su deşarjları, deniz suyuna oranla daha d ş k yoğ nlukta olduğ ndan y zeyeye doğ ru y kselme eğilimi g sterir bu da farklı yoğ nluk tabakalarının oluşumuna neden olur. Saf suyun yoğ nluğ  +4 C’de 1000 kg/m³ iken deniz suyunun yoğ nluğ  daha fazladır. Deniz suyunun yoğ nluğ  derinlikle birlikte d zenli olmayan bir artma eğilimindedir. Yoğ nluk farkının aniden y kseldiğ  tabakaya Piknoklin tabakası denir.

1.2. Desalinasyon

Deniz suyu desalinasyonu (tuzdan arındırma), deniz suyunda     nm ř halde bulunan tuz bileşenlerinin, tatlı su ve y ksek yoğ nluktaki tuzlu su olarak ayırma işlemidir ve bu işlemin ger ekleştirilebilmesi i in enerji gerekmektedir (Khawaji ve diğ erleri, 2008).

Tatlı su teriminin niteliğ   lkelere g re değ şebilmektedir. Amerika’da tatlı suyun EPA standartlarına g re tuz i eriğ  250 mg/L ile sınırlandırılmıştır. Termal prosesler tarih  ncesi  ağlardan bu yana kullanılmış olmakla birlikte, i me suyu arıtımı i in kullanılan b y k  l ekli

tesisler ilk olarak 1950’li yıllarda kurulmuştur. Başlangıçta proses, multi-effect distillation (MED) (çoklu etkili distilasyon) olarak kullanılmış, daha sonra da multi-stage flash distilasyon (MSF) (çok aşamalı flash distilasyonu) prosesi kullanılmaya başlanmıştır. Dünya tuz giderim kapasitesinin %50’sine sahip olan Orta Doğu’da birincil olarak MSF teknolojisi kullanılmıştır. Membran proseslerdeki ilk gelişmeler 1960’larda gözlemlenmiş, bu prosesler termal proseslere üstünlük sağlamıştır. Membran prosesler, pratik uygulamalarıyla tuz gideriminde aktif olarak kullanılmaya başlanarak, 1960’ların sonunda ilk başarılı ters osmoz (TO) tesisinde besleme olarak acı su (brackish water) kullanılmıştır. Takip eden yıllarda, TO membranlar, membran geçirgenlikleri arttırılmak suretiyle deniz suyundan tuz gideriminde kullanılmaya devam edilmiştir. 1960’ların sonları ve 1970’lerde distilasyon ve membran teknolojilerindeki buluşlar, dünya çapında tuz giderim kapasitesini arttırmış; özellikle Orta Doğu Bölgesi’nin dışındaki yerlerde yeni TO tesislerinin kurulumuna yaygın bir şekilde başlanarak devam edilmiştir (Greenlee ve diğerleri, 2009). 2005 yılında kurulu desalinasyon tesislerinin %60’ını termal prosesler oluştururken son yıllarda bu oran, kurulu desalinasyon tesislerinin %63’ü TO, %23’ü MSF ve %8’i MED ve kalan %6 ise elektrodializ ve hibrit prosesleri olarak güncellenmiştir (Bennett, 2013; Gude, 2015).

40 yıldan fazla süre zarfında Ters osmoz membran teknolojisinde sağlanan gelişmeler, özellikle son 10 yıl itibariyle, deniz suyu tuzsuzlaştırmada TO prosesini mevcut en iyi teknoloji haline getirmiştir. Bugün itibariyle Dünya genelinde, yenilenebilir ve/veya geri kazanıma dayalı enerji içerikli tesis tasarımları gerçekleştirilerek, tuz gideriminin denize kıyısı olmayan kesimlerde ve kurak alanlardaki kullanımlarını daha az maliyetle sağlayan yeni teknolojilerin geliştirilmesine yönelik bir noktaya gelinmiştir. Ayrıca, birim su maliyetlerinin aşağı çekilmesi amacıyla, artırılmış su üretim kapasitesi 100.000 m³/gün ve üzeri olan büyük tuz giderim tesislerinin kurulması yönünde yeni bir eğilim ortaya çıkmıştır (Greenlee ve diğerleri, 2009). Deniz suyu desalinasyon proseslerinde, Dünya genelinde yaygın olarak kullanılan 3 temel teknolojiye ait milyon metreküp günlük su üretim kapasiteleri Şekil 3’de gösterilmiştir (Miller ve diğerleri, 2015). Şekil 3’e göre, günümüzde yeni kurulan tesislerle birlikte TO prosenin diğer proseslere göre açık ara tercih/kullanım üstünlüğü görülmektedir.

Ters osmoz prosesi, seçici bir membranla ayrılmış iki çözelti arasında, yüksek osmotik basınçlı çözeltiden düşük osmotik basınçlı olana, osmotik basınçtan daha yüksek bir basınç sürücü kuvvetinin etkisi altında suyun taşınması prensibine dayanmaktadır. Ters osmoz

prosesin filtreleme kapasitesi, kullanılan membranin çeşidine ve özelliğine, işletme basıncına, filtre edilecek sudaki çözünmüş madde miktarına, besleme suyu sıcaklığına ve filtrasyon yapılacak sisteminin dizaynına bağlı olarak değişir.

Ters osmoz yönteminin yaygın olarak kullanım amaçları aşağıdaki gibidir:

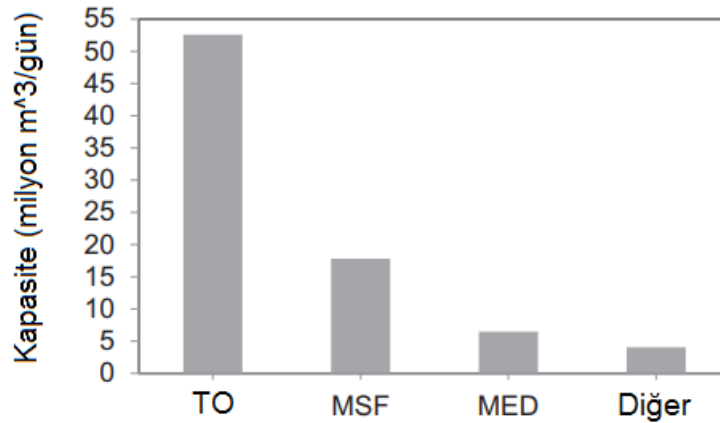
- Yüksek tuzluluktaki deniz suyu ya da hafif tuzlu yapıdaki acı suyu, içme ya da kullanma suyuna dönüştürmek,
- Deniz suyundaki çözünmüş tuzları, endüstriyel işletmelerde geri kazanmak,
- Sanayide ve içme suyunda istenen kalitede su elde etmek,
- Buhar kazanlarında kazan taşı oluşumunu önlemek,
- Suyun sertliğini gidermek,
- Çok kirli atıksuları arıtmak,
- Toksik maddeleri, ağır metalleri ve mikroorganizmaları membranda tutarak bertaraf etmek,
- Kimyasal işletmeler için yüksek kalitede su elde etmek.

Ters osmoz metodu, son yıllarda özellikle, içme suyundan koku, tat, renk, çözünmüş madde ve sertlik gidermede ve içme suyuna ulaşmanın sınırlı olduğu bölgelerde deniz suyundan tatlı su elde edilmesinde, yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Çeşitli nitelik ve ölçekte uygulamalarına karşılık, membran yüzeyinde ve içerisinde meydana gelen tıkanma ve kirlenmeler prosesin işletme etkinliğini kısıtlayan en önemli faktör olmaktadır (Delgado-Torres ve García-Rodríguez, 2007).

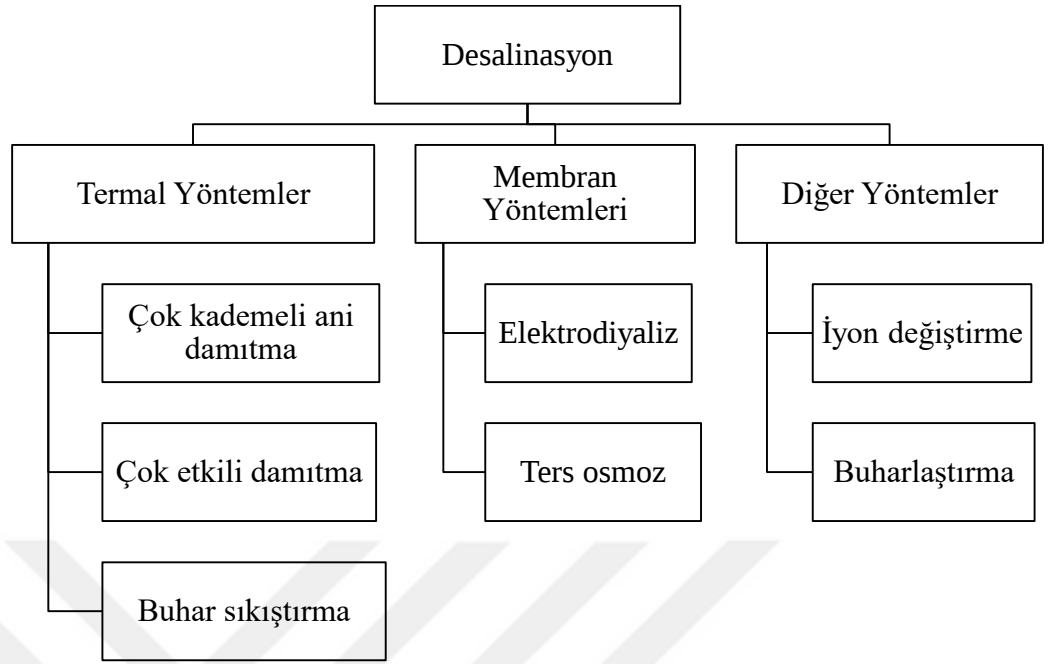
Yaygın kullanımına ve çok yüksek miktarlarda su eldesi amacıyla deniz suyundan içme suyu elde edilmesinde kullanılıyor olmasına rağmen, Ters osmoz prosesinin, pratikte ortaya koyduğu bazı önemli dezavantajları bulunmaktadır. Bunlar; (i) diğer deniz suyu tuzsuzlaştırma prosesleri için de geçerli olmak üzere atmosfere sera gazı salınımlarını arttıran yüksek enerji tüketim miktarları ve (ii) bertarafı çevresel açıdan oldukça zor olan, deniz ortamına verildiğinde deniz ekolojisi ve biyotası üzerinde olumsuz etkilere sebep olabilen ve bugün itibariyle halen daha çevreye zarar vermeksizin bertarafı pratikte çözümlenememiş bir problem olarak karşımızda duran yüksek tuz ve çeşitli arıtma kimyasalları içerikli deniz suyu konsantresidir (Greenlee ve diğerleri, 2009; Lamei, van der Zaag, ve von Münch, 2008). Bunların yanı sıra, proseste yüksek bor giriş konsantrasyonu değerlerinde arzu edilir seviyelerde bor giderimi elde

edilememesine bağılı olarak, Ters osmoz sonrası ilave bor giderimi uygulaması gerekli olabilmektedir (WHO içme suyu bor konsantrasyonu 0,5 mg/L, deniz suyu tipik bor değerleri 1-5 mg/L) (Taniguchi ve diğerleri, 2004). Her ne kadar, beslemede pH kontrolü, ön arıtma uygulamaları, yeni tasarım ve geri yıkama/temizleme stratejileri geliştirilmesi, yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı vb. uygulamalar ile prosesin daha ekonomik işletilebilmesine yönelik çalışmalar etkin olarak sürmekte ise de; Yüz binlerce metre küp günlük su üretim kapasitesine haiz olan TO tesislerinden kaynaklanan çevresel olumsuzlukların giderilmesine, bugün itibarıyla, tam olarak kesin çözümler getirilememiş bulunmaktadır (Gilau ve Small, 2008; Y. H. Choi ve diğerleri, 2009).

Pratikte, gelecek vaat eden bir uygulama olarak, İO/TO bütünleşik sistemi ile farklı su kaynakları kullanılarak deniz suyundan içme suyu eldesi gerçekleştirilmiş, sistemin ekonomik kazanımlar elde edilerek ve konsantre deniz suyu akımı üretilmeksizin, 200 ve 757 m³/gün kapasiteli bir tesiste ekonomik olarak işletilebileceği hesaplamalar ışığında belirlenmiştir (Cath ve diğerleri, 2010).



Şekil 3. Ters osmoz tesisleri üretim kapasitelerinin diğer tesislere oranı.



Şekil 4. Desalinasyon yöntemleri

1.2.1. Termal yöntemler

Deniz suyu tuzunun giderilmesinde çeşitli yöntemler mevcuttur. Bu yöntemlerin bir kısmı da buharlaştırma esasına dayalı termal yöntemlerdir ve yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemle elde edilen suyu, temiz ve kaliteli nitelikte olmasının yanı sıra işletmenin tam otomatik ve devamlı işletilerek büyük hacimlerdeki su ihtiyaçlarının karşılanması mümkündür (Hamed ve diğerleri, 2016). Isıl işlem teknikleri iki ana kategori içerir; birincisi buharlaşma, ardından oluşan su buharının yoğunlaşması ve ikincisi donmayı ve ardından oluşan su buz kristallerinin erimesini içerir. Önceki işlem tuzdan arındırma işleminde en yaygın olandır ve neredeyse her durumda buhar veya gaz türbini sistemlerine dayanan elektrik üretim üniteleri ile birleştirilir. Buharlaşma işlemi bir ısı transfer alanı üzerinde gerçekleşebilir ve kaynar veya sıvı kütle içerisinde tanımlanır ve parlama olarak tanımlanır (El-Dessouky ve Ettouney, 2002).

Buharlaştırmalı distilasyon yöntemiyle çalışan tesislerin büyüklükleri, günlük tatlı su üretimi hacmine göre değişim göstermektedir. Günde ortalama 5000-50000 m³ aralığında tatlı su üretimi gerçekleştirilmektedir. Termal yöntemlerle bir yandan tatlı su üretimi yapılırken, diğer yandan tatlı sudan arındırılan tuzun üretimde yapılabilir. Bu da günlük distile edilen tatlı su hacmine bağlı olarak 50-500 gr/m³ olarak değişir. Termal distilasyon yöntemleriyle, denize

kıyısı olup da içme suyu sıkıntısı çeken bölgeler için, deniz suyundan içme ve kullanma suyu üretimi yüksek önem arz eder. Üretim sırasında açığa çıkan sıcaklığın sisteme giren fakat işlenmemiş durumdaki deniz suyunun, ön ısıtılması işleminde kullanılabilmesi, ayrıca birden fazla kademeli bir proses olması sonucu ısı veriminin yüksekliği ve ısı enerjisinin mevcut yapı içerisindeki kaybının minimum olması, termal yöntemleri, enerji tasarrufu sağlaması bakımından avantajlı duruma getirir (Banakar ve diğerleri, 2020).

Termal tuzdan arındırma yöntemleri, tuzlu suyu buharlaştırılması ile ortaya çıkan buharı yoğunlaştırılarak tatlı su üretimine imkân sağlar. Büyük üretim kapasiteli tüm termal tesislerde, su kaynamak sıcaklığına kadar ısıtılarak, maksimum miktarda su buharının üretilmesi amaçlanır (Choi, 2017).

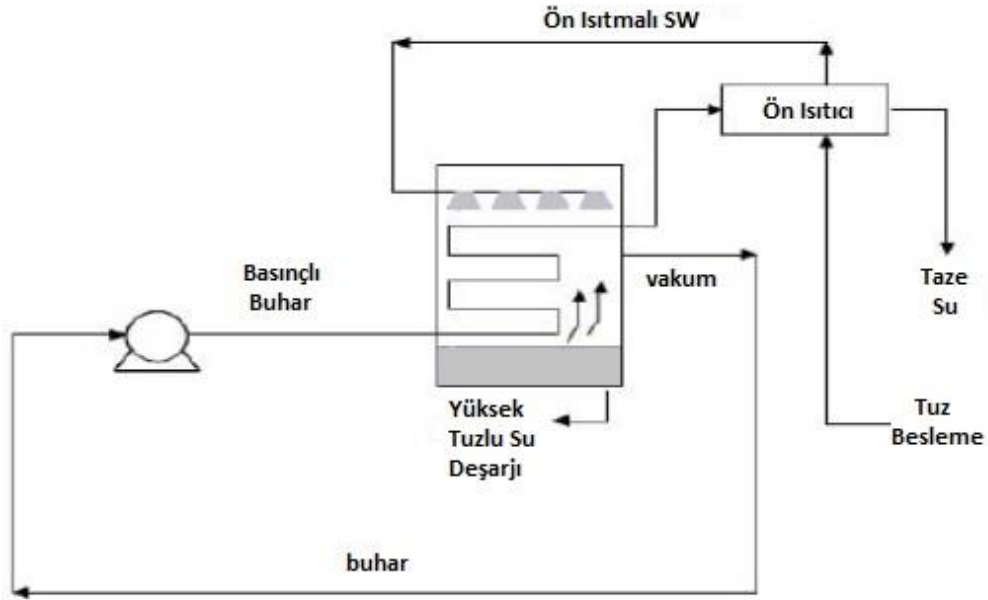
Deniz suyundan termal yöntemlerle tuz giderimi için üç çeşit teknoloji kullanılır. Bunlar; *Çok Kademeli Ani Damıtma* (MSF), *Çok Etkili Damıtma* (MED), ve *Buhar Sıkıştırma* (VC) dır.

1.2.1.1. Çok kademeli ani damıtma (MSF)

Çok kademeli ani damıtma (MSF) yönteminde, işleme tabi tutulan su normal kaynama sıcaklığına göre daha düşük sıcaklıklarda kaynatılır. Bu yöntem hızlı kaynama olarak tanımlanır. Deniz suyu, ilk olarak ısıtılıp sonrasında seri halde bulunan ve buharlaştırıcıların olduğu kademelere girer. (Garg ve diğerleri, 2018). Isıtılan su bu kademelere girdiğinde atmosferik basıncın altında bir basınçla işletilerek hızlı kaynama amaçlanır. Her kademede üretilen buhar, tüplerde yoğunlaştırma ile tatlı suya dönüştürülür ve tuzlu sudan ayrılır. Sonrasında tüplerin ısıtıcıya giden deniz suyu akımından yararlanılarak soğuması sağlanır. Bu işlem sonucunda deniz suyunun ısı artar ve ısıtıcıda deniz suyunun sıcaklığını arttırmak için gerek duyulan termal enerji miktarı azaltılır. İlk kademeden son kademeye kadar geçen tatlı su, son kademeye geldiğinde ürün olarak toplanır. İşlem sonunda elde edilen suyun depolanması ya da kullanımı yapılmadan kimyasal ilavesi yapılarak pH ve sertliği ayarlanabilir.

MSF tesisleri genellikle hem su üretimi hem de enerji üretimi amaçlanarak işletilir. Elektrik üretilirken ortaya çıkan atık ısı, deniz suyunun ısını yükseltmek amacıyla kullanılır. Bu sayede ucuz işletme maliyeti ve yüksek termal verimlilik sağlanır.

deniz suyuna aktarılır. Bu şekilde buharlaşma sağlanır. Bu sistemlerde ihtiyaç duyulan enerjinin çoğu sıkıştırıcı için gereklidir. Sıkıştırıcı, buhar tarafındaki basıncı arttırırken, kaynama sıcaklığını düşürmek için deniz suyu tarafındaki basıncı azaltmaktadır.



Şekil7. Tek aşamalı mekanik vakum sıkıştırma diyagramı (Evans ve Miller, 2002).

Termal Desalinasyon yöntemlerinin avantaj ve dezavantajlarını tabloda özetleyecek olursak;

Tablo 3. Termal Desalinasyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Proses	İyileştirme ve Toplam Çözünmüş Katı (TDS)	Avantaj	Dezavantaj
MSF	%25-50 oranında iyileştirme < 50 mg/L TDS	- Güvenilirliği kanıtlanmış, uzun ömürlü çalışma teknolojisi - Düşük, besleme suyu ön iyileştirme gereksinimi - Yüksek kaliteli su üretimi - Tuzluluk seviyesinden bağımsız tesis süreci ve maliyeti - Isı enerjisi güç kaynağı ile bağlanarak elde edilebilir.	- Yüksek yatırım maliyeti - Yoğun enerji prosesi - Fazla miktarda arazi ve malzeme gereksinimi - Korozyon sorunları (düşük kaliteli malzeme kullanılması durumunda) - Düşük başlangıç oranları - Yüksek teknik bilgi gerekliliği - Düşük verimlilik
MED	%0-65 iyileştirme oranı <10 mg/L TDS	- Geniş ölçekli ekonomi - Düşük, besleme suyu ön iyileştirme gereksinimi - Güvenilir, minimum operatör gereksinimi - Çok Yüksek kaliteli su üretimi	- Yüksek enerji tüketimi - Yüksek sermaye ve operasyon masrafları - Yüksek kaliteli materyal gerekliliği - Üretilen suyun, kullanım önesi soğutmave karıştırma gereksinimi
VCD	~ % 50 iyileştirme oranı <10 mg/L TDS	- Düşük kimyasal tüketim gereksinimi - Yüksek tuzluluklarda ekonomik olması (> 50,000 mg/L) - Daha düşük ölçekli ekonomiler (10,000 m³/d ‘ e kadar) - Nispeten az enerji gereksinimi	- Başlangıçta extra buharlaştırıcı gereksinimi - Daha küçük boyutlu tesislerdir - Yüksek seviyede bakım için kompresör gereksinimi

		• Düşük sıcaklıkta çalışma ve düşük korozyon sorunu • Düşük sermaye ve operasyon maliyeti • Taşınabilir, esnek tasarım	
--	--	--	--

1.2.2. Membrana dayalı denizsuyu desalinasyon yöntemleri

Membran prosesleri (işlemleri), suyu oluşturan bileşenlerin farklılıklarından yararlanılarak ayırım yapılan modern fizikokimyasal işlemlerdir. Bu işlemler sırasında, su basınçlı bir şekilde membran yüzeyine doğru itilir ve yarı geçirgen zar sayesinde su ve diğer bileşenler birbirinden ayrılır. Kullanılan zar, genellikle sentetikten materyaleden yapılan ve 1mm kalınlığı geçmeyen, basınca dayanıklı bir yapıdadır. Operasyon boyunca, zardan geçebilen bileşenler zarın diğer tarafına geçerken diğer bileşenler zar ile tutulur (Crittenden ve diğerleri, 2012).

Membran prosesleri yöntemine göre iki gruba ayrılmaktadır. Bunlar; membran yüzeyinden basınç oluşturulmak suretiyle yapılan, Mikrofiltrasyon, Ultrafiltrasyon, Nanofiltrasyon ve Ters Osmoz'dur. Diğer yöntem ise İyon değişimi ve Elektrodializ'dir.

1.2.2.1 Elektrodializ

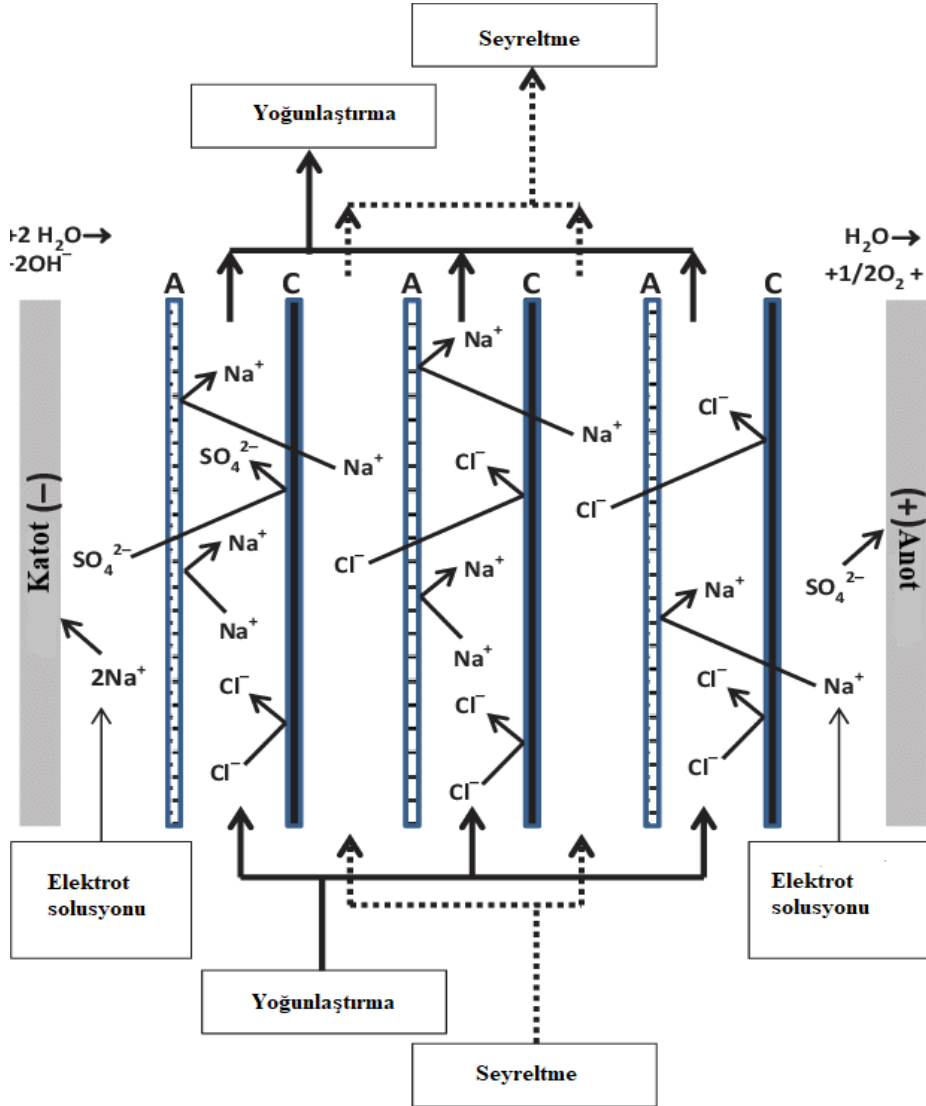
Elektrodializ, bir dizi iyon değişim membranı kullanılarak, elektrik alanı etkisiyle katyon ve anyonların seçici olarak ayrılmasına dayanan elektrokimyasal bir süreçtir. Elektrodializ sistemi, bir dizi anyon ve katyon seçici yarı geçirgen bir membrandan oluşur (Al-Amshawee ve diğerleri, 2020; Campione ve diğerleri, 2018).

Bir elektrodializ ünitesi, anot ve katot arasında, anyon ve katyon değişimini sağlayan membranların sıralanmasıyla oluşturulur. Pozitif yüklü iyonların geçişi Katyon zarlarıyla sağlanırken, negatif yüklü iyonların geçişi anyon zarlarıyla sağlanır. Elektrik alanının uygulanmasıyla pozitif yüklü sodyum iyonları katyon geçirgen membranın bir tarafından diğer tarafına geçer ve besleme suyundan ayrılır. Negatif yüklü klorür iyonları ise ters yönde anot geçirgen membranıla tutularak beslenme suyundan ayrılır.

Genel olarak elektrodializdeki iyon değişim hızı, iyonik türlerin konsantrasyonuna ve iyon değişiminde kullanılan malzeme özelliğine bağlıdır (Ismail ve diğerleri, 2019).

Elektrodiyaliz, yüksek tuzlu suyun arıtımı için yüksek iyileştirme oranı sunar. Tuz oranının fazla yüksek olması sistemin maliyetini arttırabilir (La Cerva ve diğerleri, 2018).

Elektrodiyalizın esası şematik olarak Şekil 8’ de gösterilmektedir



Şekil 8. Elektrodiyaliz şeması (Kentish ve diğerleri, 2014)

1.2.2.2 Mikrofiltrasyon (MF)

Mikrofiltrasyon ilk uygulanan membran teknolojisidir ve filtrasyon parçacık büyüklüğüne göre yapılır. Mikrofiltrasyonda kullanılan membran çeşitleri genellikle 0,6 µm’ den büyük parçacıkları tutar. MF, sudaki bulanıklığın giderimi, askıdaki katı madde tutunumu

ve bazı bakterilerin tutunumu konusunda etkilidir. Ultrafiltrasyon ve Nanofiltrasyona göre daha düşük basınç ile çalışır, ortalama çalışma basıncı 0-2 bar aralığındadır. Mikrofiltrasyonda, filtre edilen sudaki parçacık miktarı arttıkça filtre üzerindeki gözeneklerde tıkanmalar meydana gelebilir. Tıkanma sorunlarının minimize edilebilmesi amacıyla membranlar çapraz şekilde konumlandırılır.

1.2.2.3 Ultrafiltrasyon (UF)

Ultrafiltrasyonda kullanılan membran çeşidi 1-100 nm arasındaki parçacıkları tutar. UF, suda reklenmeye neden olan kontaminantları, organik katı maddeleri, bakterileri ve bazı virüsleri elimine eder. Çalışma prensibi mikrofiltrasyon ile aynıdır ve membranda tıkanma problemleri bu filtrasyon tipinde de geçerlidir. Mikrofiltrasyonda olduğu gibi membranlar çapraz şekilde yerleştirilir. Bu sistem 1-10 bar basınç farkı ile çalışır.

1.2.2.4 Nanofiltrasyon (NF)

Nanofiltrasyon (NF), küçük yapıli molekülleri ayırmak için membran kullanılarak uygulanan bir yöntemdir. Bu sistemde yarı geçirgen membranlar kullanıldığından dolayı çalışma basınçları MF ve UF ye göre daha yüksektir. NF çalışma basıncı 5-30 bar aralığındadır.

NF’de kullanılan membranlar iyon seçicidir. Bir değerkli iyonlar büyük oranda membrandan geçerken çok değerkli iyonlar yüksek oranda tutulur. Örneğin 2 değerkli olan sülfat, kabronat gibi iyonlar büyük ölçüde membranda tutulur. Bu membranlar kullanılarak sulu çözeltilerdeki farklı molekül yapısındaki maddelerde birbirinden ayrılabilir.

NF, içme suyunun arıtımında ve yumuşatılmasında, ters osmoz tesislerinde ön arıtma amacıyla, atık sulardaki renk gideriminde, atık sularda zor parçalanamamddelerin tutunumunda, fazla tercih edilmese de deniz suyundan tuz giderimi gibi çeşitli amaçlarla kullanılabilir.

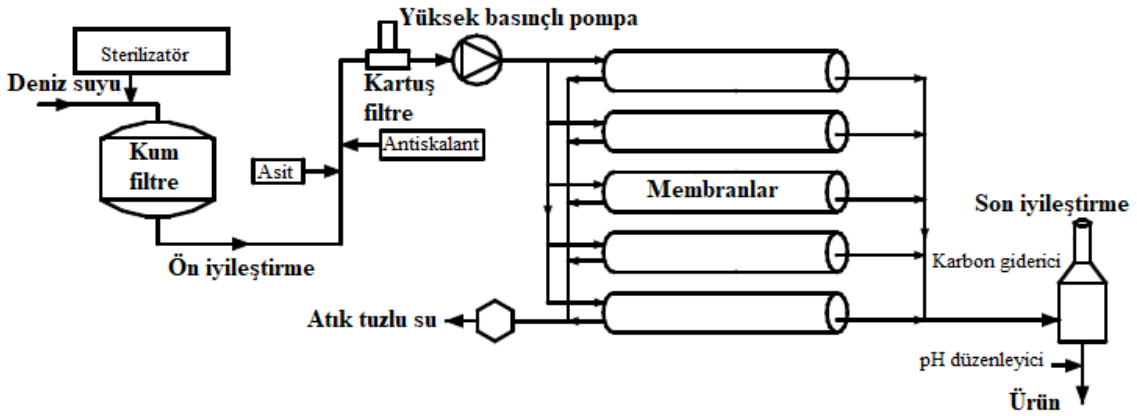
1.2.2.5 Ters Osmoz

Ters Osmoz temel olarak çözeltide çözünmüş halde bulunan katıların (iyon gibi) membran kullanılarak ayrıldığı bir demineralizasyon tekniğidir. Bu yöntemde acısu veya deniz suyuna yüksek basınçlı pompa kullanılarak ozmotik basınçtan yüksek bir basınç uygulanır. Uygulanan basınç sonunda, su doğal akış yönünün tersine doğru yarı geçirgen membrandan geçer. Yüksek yoğunluktaki tuzlu su ise, membranın diğer yüzeyinde tutulur (Abbas, 2006). Genel olarak ters osmoz tesisleri dört procesten oluşur. Bunlar; besleme suyu ön iyileştirme, yüksek basınç pompası, yarı geçirgen membran ve desalinasyon sonrası iyileştirme aşamasıdır.

Ters osmoz işleminden görülen ana sorunlardan biri ön iyileştirme basamağıdır. Genel olarak bilinen filtrasyon yöntemleri, ön iyileştirme yapılmazda yetersiz kalmaktadır. Sezon olarak görülen alg patlamaları, yüksek biyolojik aktivite ve bulanıklık birçok tesis için ciddi problem teşkil etmektedir. Biyolojik kirlenme, membranda tıkanıklara neden olduğundan membran sıklıkla kimyasallarla temizlenmektedir. Bu işlemlerin sıklığı da mevcut verimi düşürmektedir. Son zamanlarda geliştirilen Nanofiltrasyon membran, bilinen filtrasyon yöntemleri ile kombine edildiğinde oldukça başarılı sonuçlar ortaya çıkmaktadır (M. Hassan ve diğerleri, 2000; M. Hassan ve diğerleri, 1999). Bu proses, membrandaki tıkanıklığı, bakterileri ve bulanıklığı önlemiştir. Ayrıca üretime de %40 katkı sağlamıştır (M. Hassan ve diğerleri, 2000).

Ön iyileştirmede, deniz suyu öncelikle mekanik filtrasyona tabi tutulur. Bu sayede deniz suyunda bulunan askıdaki katı maddelerin 10 mikrondan büyük olan kısmı tutulur. Mekanik filtrasyonda materyal olarak genellikle, silika, granit, kuvarz ya da kum kullanılabilir. Ön iyileştirmede, deniz suyunda istenmeyen membranı tıkayıcı bileşenlerin elimine edilmesi için önemlidir (Matin ve diğerleri, 2011; Valavala ve diğerleri, 2011). Genel olarak bir ön iyileştirmede, klorlama, çöktürme, asit ekleme, çoklu medya filtrasyon, kartuş filtre ve klordan arındırma safhaları bulunur. Ön iyileştirmede kullanılacak olan yöntem, besleme suyunun karakteristiğine, membran tipine, istenilen iyileştirme oranına ve ürün kalitesine göre belirlenir. Örneğin; suya, mikroorganizmaların gelişimini önlemek amacıyla sodyum hipoklorit vb kimyasallar eklenebilir. Çöktürücü olarak Ferrik asit kullanılabilir. Ph düzenleyici olarak hidroklorik asit ya da sülfirik asit kullanılabilir. Klordan arındırma ve hidroliz kontrolü için sodyum bisülfid kullanılabilir (Murata ve diğerleri, 1994; Valavala ve diğerleri, 2011).

Filtre edilmiş deniz suyu, yüksek basınçlı pompanın korunması ve desalinasyonun devamı için önem arz eder. Yüksek basınçlı, paslanmaz çelikten yapılmış pompa, ön filtrasyondan geçirilen deniz suyunun membrandan geçebilmesi için gerekli basınç artışını sağlar. Uygun basınç altında yarı geçirgen zardan su ve eser miktarda tuz geçerken, yüksek yoğunluktaki tuzlu su membranda tutulur. Bu şekilde membranın bir tarafında su, diğer tarafında yüksek tuzluluklu su ayrılır. Bu uygulamadaki basınç 50-80 bar aralığındadır. Son iyileştirme safhasında genel olarak, Ph ayarlanması, H₂S ve CO₂ gibi gazların uzaklaştırılması ve dezenfeksiyon işlemleri uygulanır.



Şekil 9. Ters Osmoz Çalışma Prensibi (Ezzeghni, 2016)

Desalinasyon sistemi kurulurken, tesisteki su kapasitesi, iyileştirme oranı, tuzluluk nüfuzu, membran ömrü, enerji tüketimi, besleme suyu sıcaklığı gibi belirleyici kriterlere bakılır.

Ters osmoz yöntemi gün geçtikçe daha yaygın hale gelmektedir. Örneğin 1999' da dünya genelinde %10 oranında Ters osmoz, % 78 oranında çok kademeli ani damıtma (MSF) yöntemi tercih edilmekteydi (Khawaji ve diğerleri, 2008).

Son yıllarda toplam desalinasyon kapasitesi 81 milyon m³/gün' e ulaşmıştır. 2015'e kadar 100 milyon m³'e ulaşacağı ön görülmüştür. Bu rakamın %68'i membran teknolojisi ile, %30'u termal yöntem olacağı tahmin edilmiştir (Ghaffour ve diğerleri, 2013).

Membran desalinasyonu yönteminin, düşük operasyon basıncı ve sıcaklığı, az ısı kaybı, iyonik bileşenlerin sudan uzaklaştırılması konusundaki etkisi, ön iyileştirme gerekliliğinin

düşük olması, solar veya termal ısıtmaya dayalı desalinasyon yöntemleri ile kombine edilebilmesi gibi avantajlar sağlamaktadır.

Membran desalinasyon yöntemi sanayi alanında beklenildiği kadar yaygın olmasada, bilimsel çalışmaların önemli bir çoğunluğu membran desalinasyon yöntemi üzerinedir.

Son yıllarda, desalinasyon operasyon maliyetlerinin düşürülebilmesi için daha uzun ömürlü ve dayanıklı membranlar ve enerji tasarrufu sağlayan cihazlar geliştirilmiştir. Geliştirilen bu cihazlar, yüksek konsantrasyonda bulunan çözeltinin basınçlı kap sıkışına entegre edilir. Yüksek tuzluluktaki su, uygulama basıncından 1-4 bar arası bir basınç kaybı yaşanır. Oluşan bu basınç kaybının dengelenmesinde bu cihazlar kullanılır. Ters osmoz tesisinde enerji kazanımı sağlayan cihazlar kullanılmadan yapılan enerji sarfıyatı $6-8 \text{ kW h/m}^3$ iken, enerji kazanımı sağlayan aletlerin kullanımı sonrasında enerji sarfıyatı $4-5 \text{ kW h/m}^3$ 'e düşmektedir (Sarai Atab ve diğerleri, 2016).

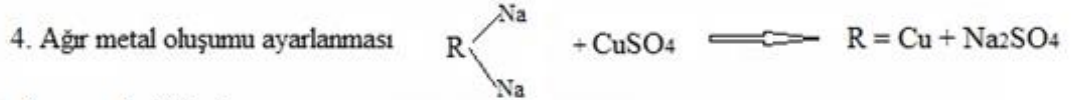
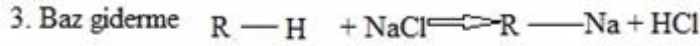
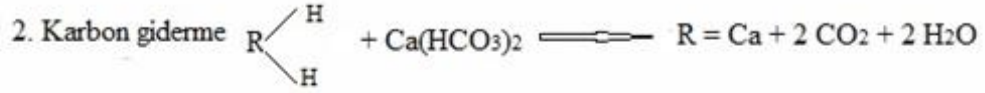
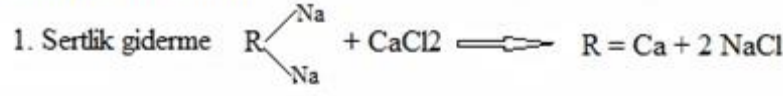
1970' lerde çok aşamalı damıtmaya alternatif olarak ortaya çıkan ters osmoz, özellikle son yirmi yıl içinde yapılan önemli iyileştirmelerle ve artan teknolojiyle beraber en çok kullanılan yöntem olmaya başlamıştır. Ters osmoz konusunda yapılan en önemli iyileştirmelerin başında ise membran gelişimi olmuştur. Bu sayede daha fazla su üretilmeye başlanmıştır. Dünya daki bilinen en büyük denizsuyu ters osmoz sisteminin su elde etme kapasitesi $326,144 \text{ m}^3$ 'tür (Khawaji ve diğerleri, 2008).

1.2.3. Diğer yöntemler

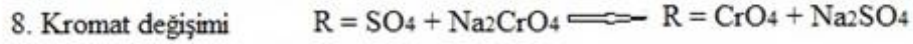
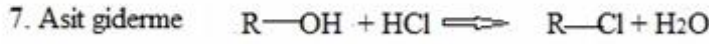
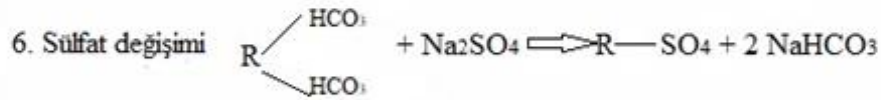
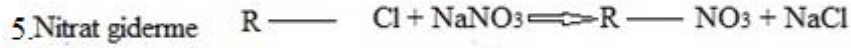
1.2.3.1. İyon değişimi

İyon değiştiriciler, aynı yüklü iyonların bir çözeltiden alınıp aynı miktarda başka iyonları çözeltiye veren sistem parçalarıdır. Bu sistemde katyon değiştiriciler katyonla, anyon değiştiricilerde anyon ile değiştirebilirler. İyon değiştiriciler ve değişim olgusu doğada da kenidisini gösteren bir döngüdür. Örneğin, toprakta tuzun oluşumu, bitkilerin özümleme yapması iyon değişimini durumudur (Meyer ve diğerleri, 1973). İyon değişimi yönteminde, arıtma işlemine tabi tutulacak suyun, içinde reçine olan bir sütundan geçirilmesiyle yapılır. İyon değişimi yöntemi birçok ülkede, içme suyu eldesi amacıyla yaygın bir şekilde kullanılır. İyon değişimi yöntemiyle suyun sertliği, tuz miktarı, organik madde, sülfat, nitrat, ağır metal oranları kolaylıkla ayarlanabilmektedir. İyon değiştirici olarak ilk zamanlarda doğal bir mial grubu olan silikatlar kullanılırken, sonralarda sentetik malzemeler de başarılı bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde iyon değiştiricilerin ana maddesi polimerizasyonla üretilen polimerlerden (polistirol, poliakrilit). Bu polimerler kompakt yapıda ve yüksek sıcaklıklarda deformasyonlara karşı dayanıklı bir yapıya sahiptirler.

Katyon değişimi



Anyon değişimi



Adsorbsiyon



Şekil 10. İyon Değişim Yöntem Basamakları (Can ve diğerleri, 2002)

1.3. Ters Osmoz Sistemlerinde Maliyet

Desalinasyon işlemlerinde, toplam ve birim su maliyetleri itibariyle, pratikte ülkeden ülkeye, acı su / deniz suyu kalitesine, kullanılan arıtma teknolojisine, kullanılan enerjinin türüne ve enerji geri kazanım uygulamalarına, konsantre atık bertaraf metoduna vd. faktörlere bağlı olarak oldukça değişkenlik gösterebilmektedir. Desalinasyon işlemlerinde yaygın olarak kullanılan TO prosesi dikkate alındığında, bu prosese dayalı olarak acı su ve deniz suyundan içme ve kullanma suyu temini amacıyla gerçekleştirilen Dünya geneli uygulamalarından elde edilmiş su maliyetleri, ilgili tesisin bulunduğu yer, üretime başlama yılı ve üretim kapasitesi

bilgileriyle birlikte Tablo 4' te sunulmuştur (Ghaffour ve diğerleri, 2013; Greenlee ve diğerleri, 2009).

TO prosesi, deniz suyundan içme suyu eldesinde Dünya'da en yaygın kullanılan teknolojilerin başında yer almakta olup bugün itibariyle mevcut en iyi desalinasyon teknolojisidir. Bu teknoloji ile deniz suyundan içme suyu arıtma maliyetleri, 1990 yıllarının başlarında yaklaşık 1,7-2,0 \$/m³ seviyelerindeyken, bugün itibariyle ortalama 0,7-0,8 \$/m³ seviyelerine indirilmiştir. Ne var ki, bu proste deniz suyundan içme suyu temininin yaklaşık 0,5 \$/m³ değerlerinde dahi yapılabildiği, gerçek ölçekli uygulama örneklerinden bilinmektedir (Ghaffour ve diğerleri., 2013; Gilau ve Small, 2008)



Tablo 4. Ülkelere göre desalinasyon kapasiteleri

Tesisin Yeri	İlk üretim yılı	Üretim kapasitesi (m³/gün)	Arıtma maliyeti (\$/m³)
Eilat, İsrail	1998	10000	0,72
Lamarca, Güney Kıbrıs	2001	54000	0,83
Eilat, İsrail	2003	10000	0,81
Tampa Bay, Florida, Amerika	2003	94600	0,55
Fujairah, Birleşik Arap Emirlikleri	2005	170500	0,87
Ashkelon İsrail	2005	326000	0,7
Tuas, Singapur	2005	136800	0,78
Perth, Avustralya	2006	144000	1,17
Palmachim, İsrail	2007	120000	0,80
Tampa Bay, Florida	2007	95000	0,53
Kwinana, Avustralya	2009	140000	2,21
Barselona, İspanya	2009	200000	0,75
Hadera, İsrail	2009	347000	0,65
Minjur, Hindistan	2010	100000	1,03
Sydney, Avustralya	2010	250000	1,44
Ashdod, İsrail	2013	274000	0,60
Sorek, İsrail	2013	624000	0,52

1.4. Ağır Metaller

Ağır metal kirliliği, çevreye ve insan sağlığına doğrudan etki eden en önemli sorunlardan biridir (Karabayir ve diğerleri, 2020). Toksisitesi yüksek olan maddelerin, sudaki düşük miktarlarda durumunda bile insan sağlığına zarar veren hastalıklara sebebiyet verebilir. Eser miktarlarda bile zararlı olabilen bu maddelerin en önemli grubunu ağır metallerlerdir. Ağır metaller; fiziksel özellik bakımından 5 g/cm^3 ten daha yoğun olan metaller olarak tanımlanır. Ağır metallere, Bakır, Cıva, Çinko, Demir, Kadmiyum, Kobalt, Krom, Kursun, Nikel örnek olarak verilebilir ve sayıları 60'tan fazla metal bu gruba dahildir. Ağır metaller doğada genellikle karbonat, oksit, silikat ve sülfür halinde sabit bileşik olarak veya silikatlar içinde hapsolarak bulunurlar. Metallerin çevre üzerindeki etkileri her ne kadar yoğunluklarına göre gruplandırılmaya çalışılsa da, biyolojik etkileri yoğunluklarından daha fazladır. (Güven ve diğerleri, 2004).

Su kaynaklarının ağır metal kontaminasyonu, endüstriyel atıklar, toprakta bulunan ağır metallerin asit yağmurlarıyla çözünmesiyle göl, ırmak ve yeraltı sularına taşınarak geçer. Sulara taşınan ağır metaller seyrelerek, kısmen Karbonat, Sülfat, Sülfür olarak katı bileşik oluşturur ve su tabanına çökerler. Çökelen bu bileşikler sedimentte zenginleşirler. Sediment tabakasının adsorbsiyon kapasitesi sınırlı olacağından dolayı bir süre sonra sulardaki ağır metal konsantrasyonu artarak yükselir.

Ağır metallerin toksikliği, metalin yoğunluğu ve maruz kalınan doza göre değişiklik gösterir. Yaygın olarak rastlanılan ağır metallere, Ag, Co, Cr, Cu, Cd, Hg, Ni, Pb, Zn örnek verilebilir (Singh ve diğerleri, 2011).

Ağır metallerin toksikliğini etkileyen faktörler, Tablo 5' te gösterilmiştir.

Tablo 5. Ağır metallerin zehirliliğini etkileyen faktörler

FAKTÖRLER	ÇÖZÜNÜRLÜK	İYON (Kompleks, Şelat, Molekül)
Metallerin sudaki durumu	İnorganik, Partikül, Organik	Kolloidal Çökelti Adsorbe edilmiş
Zehirlerin veya diğer metallerin bulunuşu	Birlikte hareket İletişimsizlik Terslik	Biri diğerinin etkisini artırır. Birbirlerine etkide bulunmazlar Birbirlerinin etkisini azaltırlar
Organizmanın fizyolojisini etkileyecek faktörler ve sudaki formları	Sıcaklık Işık Tuzluluk Ph Oksijen	
Organizmanın yapısı	Hayat döngüsündeki değişim Üreme Yaş, Boy Cinsiyet Aktivite Kabuğunun kalınlaşması Metallere uyum	

1.4.1. Denizlerde ağır metal kirliliği

Denizlerdeki kirleticilerin önemli bir bölümünü ağır metallerdir. Ağır metaller sucul ortama girdiklerinde, ortamda askıda bulunan maddeye bağlanarak deniz tabanına çöker ve birikir. Metal bileşikleri ve çeşitli mineraller gölde, nehirde, körfezlerde ve okyanuslarda özellikle sedimentte geniş yayılım gösterirler. Sedimentteki ağır metal birikimi sucul organizmalara direkt etki ettiği gibi, insan sağlığına da besin zinciri yoluyla dolaylı olarak etki

eder. Ağır metaller, daha çok zeminde yaşayan balık, kabuklu, alg gibi canlıların bünyesinde iz miktar da da olsa birikebilir (Aksu ve Taşkın, 2012). Kıyı alanlarındaki ağır metal birikimi, gemicilik, tarım, kentleşme gibi antropojenik etkilerle artabilir (Aksu ve diğerleri, 2011) Doğada normalde düşük miktarda bulunan ağır metallerin, ortamdaki konsantrasyonlarının arttığı durumlarda toksik etki yaparlar. Denizel ortamlarda toksikasyona neden olan bazı ağır metallere, gümüş, cıva, bakır, kadmiyum ve kurşun örnek verilebilir.

Denizel ortamlardaki metal konsantrasyonu, son yıllarda daha da artmıştır. Süzerek beslenen bazı akuatik canlılar (midye, istiridye), ortamdaki metal kirliliğinin tespitinde biyoindikatör öneme sahiptir. Bu organizmalar aynı zamanda birer akuatik adsorbandır (Sharifuzzaman ve diğerleri, 2016).

Ağır metaller, denizlerde iz halinde bulunmalarına karşılık, organizmadaki veya kirleticilerin yoğun olduğu sedimentlerde farklı yoğunlukta bulunmaktadır. Ağır metaller çevre kirlenmesine neden olmakta, çok düşük yoğunluklarda dahi toksik etki göstermesi açısından akuatik ortam ve insan sağlığı açısından tehlike arz etmektedir (Sharifuzzaman ve diğerleri, 2016).

Suya atılan bazı maddeler, suyun kalitesini bozar ve su ürünlerinin yaşam ortamlarında olumsuzluklara sebep olur. Ortamdaki bazı maddeler ise, sucul canlıların bünyelerinde birikir ve bu canlıların gıda olarak tüketilmesi sonucunda canlıdan canlıya taşınır. Bu maddeler arasındaki en zararlıları, ağır metaller, radyoaktif maddeler, pestisitler ve diğer toksik maddelerdir. Cıva, kadmiyum ve kurşun toksik etileri ile sucul yaşamı olumsuz etkileyen kirleticilerdir (Sarı ve diğerleri, 2018).

Denizlerin kirlenmesinde, ağır metal taşınımında akarsular önemli rol oynayan unsurlardan biridir. Atık yükü fazla olan akarsuların denizlere döküldüğü noktalarda kirletici unsurların yoğunluğuda fazla olmaktadır. Bunun sonucunda ani balık ölümleri meydana gelmekte, alg, yosun ve plankton patlaması meydana gelmektedir. Denizel ortamdaki ağır metal konsantrasyonları Tablo 6' da verilmiştir.

Tablo 6. Temiz deniz suyundaki ağır metal konsantrasyonları.

ELEMENT	DENİZ SUYUNDAKİ KONSANTRAYONU (µg/L)
Bakır (Cu)	0,5 ppb
Çinko (Zn)	4,9 ppb
Demir	2ppb
Kadmiyum (Cd)	0,1 ppb
Kobalt(Co)	0,05 ppb
Krom (Cr)	0,3 ppb
Kurşun (Pb)	0,03 ppb
Mangan (Mn)	0,2 ppb
Nikel (Ni)	1,7 ppb

1.4.2. Ağır metal giderimi

Ağır metaller, 5 g/cm³'den daha yoğun olan elementlerdir. 16 adedi yapay olmak üzere 69 adet ağır metal bulunmaktadır. Ağır metaller içinde, antimon, arsenik, bakır, civa, çinko, demir, gümüş, kadmiyum, kalay, kobalt, krom, kurşun, nikel, talyum, vanadyum çoğunlukla kirliliğe neden olurlar (Sze ve diğerleri, 1996). Arsenik, kurşun gibi bazı ağır metaller çok toksiktir ve çok düşük miktarlarda dahi olumsuz etkilere sebep olabilirler (El-Naas ve diğerleri, 2007).

Ağır metaller, denizel ve diğer sucul ortamlara endüstriyel ve kentsel deşarjlarla bulaşarak su kirliliğini ve karasal deşarjlarla da toprak kirliliğinin oluşturan temel nedenlerden biridir. Ağır metallerin bir bölgedeki birikimi; bölgede bulunan insanların yaşam biçimlerine, bilgi düzeylerine ve bölgede bulunan endüstrinin tipine göre değişir (Chipasa, 2003). Endüstriyel ve evsel atıklardan kaynaklanan ağır metallerin su ekosistemi üzerine doğrudan olumsuz etki yapar, besin zincirindeki toksik maddelerin birikimini arttırarak biyolojik çeşitliliğin azalmasına sebep olur (Castr ve diğerleri, 2004). Elektrot kaplama, metal işleme ve kaplama, maden ve petrokimya endüstrilerinin atık sularında bulunan metaller yüksek seviyelerdedir (El-Naas ve diğerleri, 2007). Bu endüstrilerin atık sularının fiziksel ve kimyasal

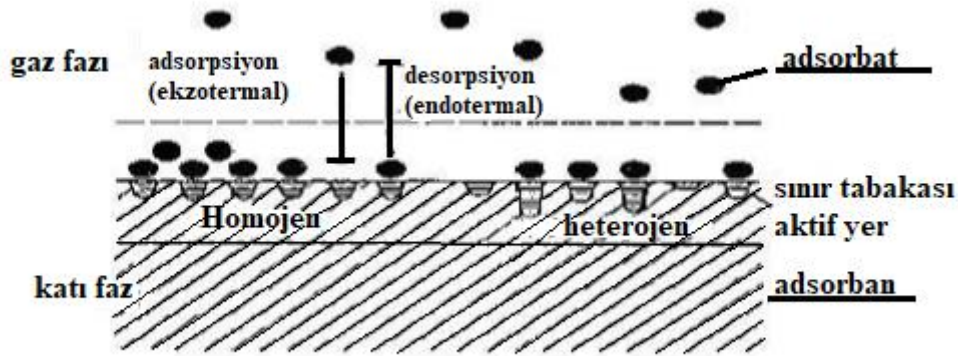
özellikleri sık sık değişim gösterir. Bu sular; asidik, biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ) yüksek, organik ve inorganik bileşenleri çözünmüş ya da uçucu kolloidal, emülsiyon ve parçacık şekillerde bulunduran, ortamdaki canlılar için oldukça zehirli etkiye sahip olan sulardır (Eccles, 2000). Ağır metaller bulundukları ortamlarda kalıcıdır, eser miktarlarda olsalar dahi ortamdan doğal yollarla elimine edilmesi zordur (Arief ve diğerleri, 2008).

Günümüzde ağır metal giderimi için; kimyasala indirgenme ve yükseltgenme, alkalın çökeltme, iyondeğişimi, elektrokimyasal kaldırım, süzme ve membran teknolojisi kullanılmaktadır (Al-Rub ve diğerleri, 2006; Dönmez ve diğerleri, 1999; Eccles, 2000; El-Naas ve diğerleri, 2007; Kratochvil ve Volesky, 1998; Castro ve diğerleri, 2004). Bu teknolojilerin uygulamasında, katı kalıntıların üretimi, organik bileşiklerin süreci engellemesi, arıtım kaynaklı tehlikeli iyonik metallerin dışarı atılması, zayıf seçicilik, 10 mg/l'den daha düşük metal derişimlerinin kaldırılmasında düşük etkiye sahip olması gibi birtakım sınırlamalar vardır (Al-Rub ve diğerleri, 2006; Eccles, 2000; Castro ve diğerleri, 2004). Ayrıca atık suyun arıtım ederinin yüksek olması ve sürekli kimyasal girişine gereksinim duyulması gibi kısıtlamaları da vardır (Al-Rub ve diğerleri., 2006). Ağır metal giderimi için, ters osmoz yöntemi, nanofiltrasyon, ultrafiltrasyon, pH değiştirilmesi ile parametrik pompalama, granül aktif karbon (GAC) gibi yöntemlerde denlenmektedir (El-Naas ve diğerleri, 2007). Ağır metal gideriminde, biyosorpsiyon yöntemi de kullanılmaktadır (Kratochvil ve Volesky, 1998; Castro ve diğerleri, 2004). Biyosorpsiyon; Mantar, bakteri, alg gibi biyolojik yapıların, sulu çözeltilerdeki atık maddelerin hücre yüzeyi veya içinde akümüle edilmesidir (Veglio ve Beolchini, 1997). Alglerin metali absorbe etme kapasitesi, diğer arıtıcı kaynaklardan daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Alglerin hücre çeperlerinin fiber benzeri yapıda oluşundan dolayı mantar ve maya gibi mikrobiyal biyokütle ile karşılaştırıldığında biyosorpsiyon kapasitesi yüksek bulunmuştur (Bayramoğlu ve Arıca, 2009). Algler, yaygın olarak kullanılan iyon değıştiriciler ve reçineler ile kıyaslandığında, düşük derişimlerdeki çözeltilerden metali neredeyse tamamen uzaklaştırırken, iyon değıştirici ve reçinelerin metali absorbe etme kapasitesi düşük ya da çözeltideki 10 mg/l metal derişiminin altındadır. Algal biyomas; endüstriyel atıklardaki ağır metallerin adsorpsiyonu için efektif bir şekilde kullanılabilir (Mehta ve Gaur, 2008).

1.4.3. Adsorpsiyon

Adsorpsiyon iki faz arasındaki ara yüzeyde moleküllerin temas ettikleri yüzeydeki fiziksel ve kimyasal çekme kuvvetinin etkisiyle katı yüzeye tutulmasıdır (Hamutoglu ve

diğerleri, 2012b). Adsorpsiyon, sıvı-sıvı, sıvı-katı, gaz-sıvı veya gaz-katı fazlar arasında gerçekleşebilir. Atom, molekül ya da iyonların katı yüzeyinde tutunmasına adsorpsiyon, yüzeye tutturulan maddelerin yüzeyden ayrılmasına desorpsiyon denir. Adsorpsiyon işleminde, tutunmanın olduğu yüzeye adsorblayıcı (adsorbent), yüzeye tutunan maddeye ise adsorban denir (Kim ve diğerleri, 2018).



Şekil 11. Katı yüzey üzerine, gaz moleküllerinin adsorpsiyonu ve desorpsiyonunun şematik olarak gösterimi

Adsorpsiyon prosesine, genel olarak adsorban türü, adsorplanan madde ile yüzey arasındaki konsantrasyon farkı, sıcaklık, temas süresi, ortamın pH' sı, temas süresi, elektrostatik yük farkı gibi faktörler etki etmektedir (Ahamad ve diğerleri, 2010).

Adsorpsiyon aynı zamanda ağır metal giderimi konusunda da etkilidir. Gerek ekonomik olması, gerekse operasyonunun basit ve yüksek verimli olmasından dolayı tercih edilir (Peng ve diğerleri, 2017).

Adsorpsiyon, adsorplayan madde yüzeyi ile adsorplanan kimyasal arasındaki çekim kuvvetlerinin türüne bağlı olarak üç değişik adsorpsiyon tipi tanımlanmaktadır. Bunlar, fiziksel adsorpsiyon, kimyasal adsorpsiyon ve iyonik adsorpsiyondur. (Weber, 1972).

1.4.3.1. Fiziksel adsorpsiyon

Adsorpsiyon, Van Der Waals kuvveti olarak bilinen ikincil kuvvetlerin yardımıyla gerçekleşiyorsa bu işlem fiziksel adsorpsiyon olarak tanımlanır (Blanco ve diğerleri, 2012). Yaygın olarak kullanılan bu adsorpsiyon türünde hemen hemen tüm katılar adsorplayıcı olabildikleri gibi, hemen hemen tüm sıvı ve gazlarda adsorplanan olabilirler. Bağ kuvvetleri nispeten zayıftır ve adsorpsiyon işlemi genelde tersinirdir. Adsorplanan, katının kristal örgüsü

içine girmez ve çözünmeyip çok katlı tabaka oluşturarak katının yüzeyini kaplar. Bu prosesin gerçekleşebilmesi için düşük sıcaklıklar yeterlidir. Aktivasyon enerjisi düşüktür, bağlar zayıf ve tersinirdir. Adsorplanan bileşenin çözeltideki derişiminin değışimiyle, adsorplanan moleküller desorbe olmaktadır (Carvalho ve diğeri, 2020)

1.4.3.2. Kimyasal adsorpsiyon

Kimyasal adsorpsiyon, adsorplanmış maddenin, adsorbanın yüzeyindeki atomlar tarafından kimyasal bağ ile tutunmasıyla gerçekleşir. Kimyasal bağın sağlamlığı her adsorbata göre değışir. Kimyasal adsorpsiyonda oluşan bağlar fiziksel adsorpsiyondaki bağlardan kuvvetlidir. Kimyasal adsorpsiyon “aktif adsorpsiyon” şeklinde de tanımlanabilir. Kimyasal adsorpsiyon çoğunlukla heterojen katalizörler ile etkileşim sonucu meydana gelir (Wang ve diğeri, 2010). Fiziksel adsorpsiyon bir ya da çok tabakalı olabilirken, kimyasal adsorpsiyon tek tabakalıdır. Kimyasal adsorpsiyonda oluşan bağ kuvvetli olduğundan işlem tersinmezdir. Kimyasal adsorpsiyon, adsorpsiyonun endotermik ya da ekzotermik olmasına ve aktivasyon enerjisine bağlı olarak sıcaklık yükseltilmesi ile artış ya da azalma gösterebilir. Adsorpsiyonda yüksek sıcaklık gereksinimi vardır (>10 kcal/mol) ve termodinamik anlamda tersinmezdir (Ling ve diğeri, 2020).

1.4.3.2.1. İyonik adsorpsiyon

İyonik adsorpsiyon, elektrostatik çekim kuvvetlerinin etkisiyle, yüzeydeki yüklü bölgelerle, iyonik özellikli adsorplanacak maddenin tutulması işlemidir. Adsorpsiyon, adsorplayıcı ve adsorplananların iyonik güçleri ve moleküler büyüklüklerine göre seçimli olarak oluşur. Ortamın iyonik şiddeti ve pH' sı bu tür adsorpsiyonu oldukça etkiler. Yüzeyde tutunan iyonlarla eş yüklü farklı iyonların aynı anda yüzeyi terk etmesi halinde ise bu olaya iyon değışimi adı verilir. İyon değışimi materyalleri, iyon değıştirici olmalarının yanı sıra aynı zamanda bir sorbent gibi davranırlar. İyon değıştiriciler bir elektrolit çözelti ile temas ettiklerinde, çözünmüş iyonlar iyon değışim ortamının hem yüzeyinde hem de gözeneklerinde konsantre olurlar. Zayıf elektrolit veya elektrolit olmayan bir çözeltide, iyon değıştiriciler tarafından adsorpsiyon, iyonik olmayan sorbentlerinkine benzerdir. Birbirlerinden farklı özelliklere sahip olmalarına rağmen, fiziksel, kimyasal ve iyonik adsorpsiyon arasında net bir ayırım yapılamaz, bazen birlikte veya sırayla oluşurlar (Park ve diğeri, 2017).

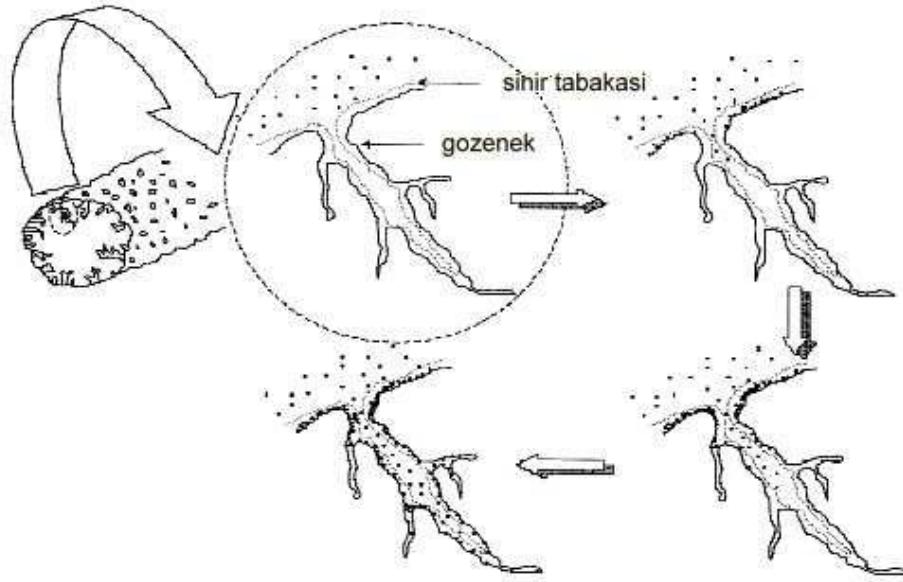
1.4.4. Adsorpiyona etki eden fatörler

- **Adsorbanın yüzey alanı:** Adsorpsiyon bir yüzey olayı olmasından dolayı, adsorbanın spesifik yüzey alanı ve adsorpsiyon miktarı ile doğru orantılıdır. Alan büyüdükçe adsorpsiyon da artar. Toplam yüzeyin, adsorpsiyona uygun olan kısmı spesifik yüzey alanı olarak adlandırılır.
- **Adsorbanın gözenek büyüklüğü:** Adsorbanın gözenek büyüklüğünün artması, tutunmayı arttıracığından dolayı adsorpsiyonla doğru orantılıdır.
- **Adsorbatın çözünürlüğü:** Çözeltideki maddenin çözünürlüğü, adsorpsiyon ile ters orantılıdır. Çözünürlüğün artması adsorpsiyonu düşürür.
- **Adsorbatın molekül büyüklüğü:** Adsorbatın molekül büyüklüğünün artması, gözeneklere adsorbe olma olayın azaltacağından dolayı, molekül büyüklüğü arttıkça adsorpsiyon düşer.
- **Adsorbatın iyon yükü:** Adsorpsiyon oranı, iyon yüklü olan moleküllerin nötr olanlara oranla daha azdır. Adsorban ile adsorbat aynı iyon yüküne sahiplerse bu durumda elektrostatik etkileşimden dolayı birbirlerini iterler. Bu durumda adsorpsiyon zorlaşır.
- **Çözeltinin pH değeri:** Adsorpsiyon hızı, maddelerin pH değerlerinin nötr olduğu durumlarda genellikle artar. Hidrojen ve hidroksit iyonlarının adsorplanma yetenekleri oldukça fazladır. Ortamda bol miktarda hidrojen ve hidroksit iyonunun bulunması durumunda bu iyonlar adsorbat iyonları ile hızlıca yüzeye bağlanırlar. Bu durumda yüzeyin adsorbat molekülleri ile daha az kaplanma riski olur.
- **Ortam sıcaklığı:** Adsorpsiyon reaksiyonlarında genellikle ortama ısı aktarılır (ekzotermik). Sıcaklığın düşmesi adsorpsiyonu arttırır. Endotermik reaksiyonlarda ise durum tam tersidir. Sıcaklığın artması adsorpsiyonu arttırır.
- **Çözelti karışımları:** Birden fazla bileşenin olan çözeltilerin adsorpsiyonu, saf çözeltilere göre daha düşüktür.
- **Yüzey gerilimi:** Yüzey geriliminin azalması, daha fazla etki yüzeyi sağlar ve adsorpsiyon artar. Yüzey geriliminin artması ise adsorpsiyonu düşürür.
- **Adsorbatın diğer özellikleri:** Adsorbatın hidrofilik ya da hidrofobik olması adsorpsiyonu etkiler. Hidrofilik bir madde (suda çözünebilen), hidrofobik (suda daha az çözünen)

maddeye göre daha az adsorbe olur. Polar adsorbatlar hidrofiliktirler. Polar olmayanlar ise genellikle hidrofobiktir. Karbon esaslı adsorbatlar, polimer adsorbatlar hidrofobiktir.

1.4.5. Adsorban

Adsorpsiyonun hızı ve kapasitesi adsorbanın yüzeyine bağlıdır. Genellikle adsorban olarak yüzey alanı büyük maddeler kullanılmaktadır. Yüzey alanı açısından bakıldığında aktif karbon kullanılabilecek en uygun adsorbanlardan biridir. Dünya genelinde yıllık bazda üretilen aktif karbonun ortalama %80'i adsorban amaçlı kullanım için üretilmektedir (Zhang ve diğerleri, 2020).



Sekil 12. Adsorban üzerine boyar madde iyonlarının adsorpsiyonunun örnek diyagramı

Aktif karbon terimi, geniş gözenekli ve kristal formlu karbonlu adsorbanlar için kullanılır. Aktif karbon, insan sağlığına zararı olmayan ve son derece kullanışlı olan bir adsorban olup, gözenekliliği ve iç yüzey alanı oldukça yüksektir. Bir çözeltideki iyon ve molekülleri gözenekli yapısıyla iç yüzeylerine adsorplayabildiklerinden dolayı adsorban olarak adlandırılırlar. Aktif karbon; bitümlü kömür, lignin, linyit, odun ve petrol kalıntılarından yapılır. Atıksu arıtımında çoğunlukla orta uçuculukta bitümlü kömür veya ligninden üretilmiş granül aktif karbon (GAK) kullanılır (Hasan ve diğerleri, 2020). Her aktif karbonun özelliği ve kapasitesi üretildiği malzeme ve aktifleştirilme şekline bağlı olarak değişiklik gösterir. Bitümlü

kömürden kullanılarak elde edilmiş granül aktif karbonun küçük boyutlu gözenekli, büyük yüzey alanlı ve yüksek yığın yoğunluğuna sahiptir. Linyitten üretilen aktif karbon, büyük gözenekli fakat düşük yüzey alanı ve yığın yoğunluğuna sahiptir. Moleküller adsorban yüzeyinde adsorplandıkça yeni moleküllerin adsorplanma kapasitesi, gözenekler dolduğundan dolayı düşer ve adsorban adsorpsiyon özelliğini kaybeder. Adsorpsiyon özelliğini kaybeden adsorbana özelliğini yeniden kazandırma işlemine “geri kazanım” denir. Bir adsorbanın geri kazanımla tekrar kullanılması adsorpsiyon kapasitesinde düşüşe neden olacaktır. Böyle bir durumda ortama ilave adsorban eklenerek adsorpsiyon kapasitesi arttırılabilir. Geri kazanılan karbondaki gözenek boyutundaki birikim tamamen giderilemediğinden, sonraki kullanımlarda bir önceki kullanıma oranla daha düşük kapasitede gerçekleşecektir.

Aktif karbonun geri kazanımı ekonomik açıdan maliyetli olması nedeniyle alternatif ucuz maliyetli adsorbanlar da araştırılmakta ve yenilenebilir adsorbanlar üzerine çalışılmaktadır. (Kim ve diğerleri, 2020)

1.4.5.1. Adsorbanların genel özellikleri

Adsorbanlar, akışkan faz içerisindeki maddelerin tutulmasında katı yüzey olarak kullanılan şekilsiz, granüler veya değişik geometrik şekillere sahip parçacıklardır.

Adsorbanlarda bulunması gereken otak özellikler aşağıdaki gibidir.

- **Yüksek adsorpsiyon kapasitesi:** Katı yüzeyin tutabileceği madde miktarının gösterir.
- **Geniş yüzey alanı:** Adsorbsiyon işleminde çözelti fazındaki madde ile adsorban yüzeyi etkin olacak biçimde temas etmelidir.
- **Gözenek yapısının uygunluğu:** Adsorbanların gözenek boyutları, adsorbe edilecek maddenin molekulyapısına uygun olmalı, moleküllerin gözeneklerden geçebilmesi gerekmektedir.
- **Mekanik dayanıklılık:** Kullanılan adsorban dış kaynaklı fiziksel etkilere karşı dayanıklı olmalıdır.
- **Rejenerasyon kolaylığı:** Adsorbe edilen maddenin adsorbandan kolaylıkla ayrılabilmesi gerekmektedir.

Adsorbsiyon işleminde en çok kullanılan adsorbanlar, aktif karbon, silika jel, aktif alümina, değişiktipteki zeolitler, bazı boksit türleri, polimerik yapıdaki reçineler ve uçucu küllerdir.

Ticari olarak kullanılan adsorbanlar e kullanım alanları Tablo 7' de gösterilmiştir.



Tablo 7. Ticari olarak, yaygın kullanılan adsorbanlar

		Referans
Silika Jel	Gazların ve organik çözücülerin kurutulması, Paketlemede nem tutucu olarak	(Park ve diğerleri, 2020)
Aktifleştirilmiş Alümina	Gazların ve organik çözücülerin kurutulması, Hidrojenden HCL uzaklaştırılması	(Abdo ve diğerleri, 2020)
Aktif Karbon	Havadan azot alınması, Hidrojenasyon proseslerinden hidrojen alınması, Çözücü buharlarının geri kazanılması, SO _x , NO _x 'in uzaklaştırılması, Helyum saflaştırılması, Nükleer atık gazlarının temizlenmesi, Şeker endüstrisinde renk giderimi, Fenol, halojenlenmiş bileşikler içeren suların arındırılması	(Shahrivar ve Gharabaghi, 2020)
Zeolitler	Havadan oksijenin alınması, Gazların kurutulması, Azeotroplardan su uzaklaştırılması Hidrojen saflaştırılması, Karbondioksit geri kazanımı, Oksijen ve argon ayırımı, Havadan asetilen, propan ve bütan uzaklaştırılması, Nükleer atık gazların temizlenmesi, Çözücü sistemlerin ayırımı Hg, NO _x ve SO _x içeren gazların temizlenmesi	(Pidko ve Hensen, 2016)
Killer	Organik pigmentlerin uzaklaştırılması, Madeni yağların işlenmesi, Poliklorobifenil (PCB)'in uzaklaştırılması	(Huggett, 2021)

1.4.6. Adsorbent

Adsorpsiyon işleminde tutunmanın olduğu yüzeye adsorbent (adsorplayıcı) denir. Adsorbentler, son yıllarda çeşitli materyallerden su daki kirlilik yükünü ortadan kaldırmak amacıyla geliştirilmiştir (Zhang ve diğerleri, 2020). Adsorbentler organik ve inorganik olmak üzere iki grupta kategorize edilebilir (Chua ve diğerleri, 2021) Adsorbentlerin sınıflandırılması Tablo 8’ de gösterilmiştir (Sajid ve diğerleri, 2018; Siyal ve diğerleri, 2020).

Tablo 8. Adsorbentlerin kategorizasyonu (Sharma ve diğerleri, 2015)

Adsorbent	
Organik Adsorbent	İnorganik Adsorbent
1- Karbon bazlı • Aktif karbon • Aktif karbon bezi • Aktif karbon fiber 2- Karbon nanomateryal bazlı • Grafen oksit • Karbon nanofiber • Karbon nanotüp 3- Polimer bazlı • Poli (amik asit) • Polisiklik aromatik hidrokarbonlar • İki işlevli reçine • Selülöz nanofiber • Polietilenimin • Polimerik dekstran • Poli (sülfobetain metakrilat) • Polivinil klorit	1- Metalik bazlı • Demir oksit • Çinko oksit • Seryum oksit • Aliminyum oksit • Manganez oksit • Zirkonyum diyoksit • Bakır oksit 2- Mineral bazlı • Montmorillonit • Bentonit • Kaolinit • Zeolit • Alümina • Silika • Katmanlı çift hidroksit

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Kullanılan Kimyasallar ve Materyaller

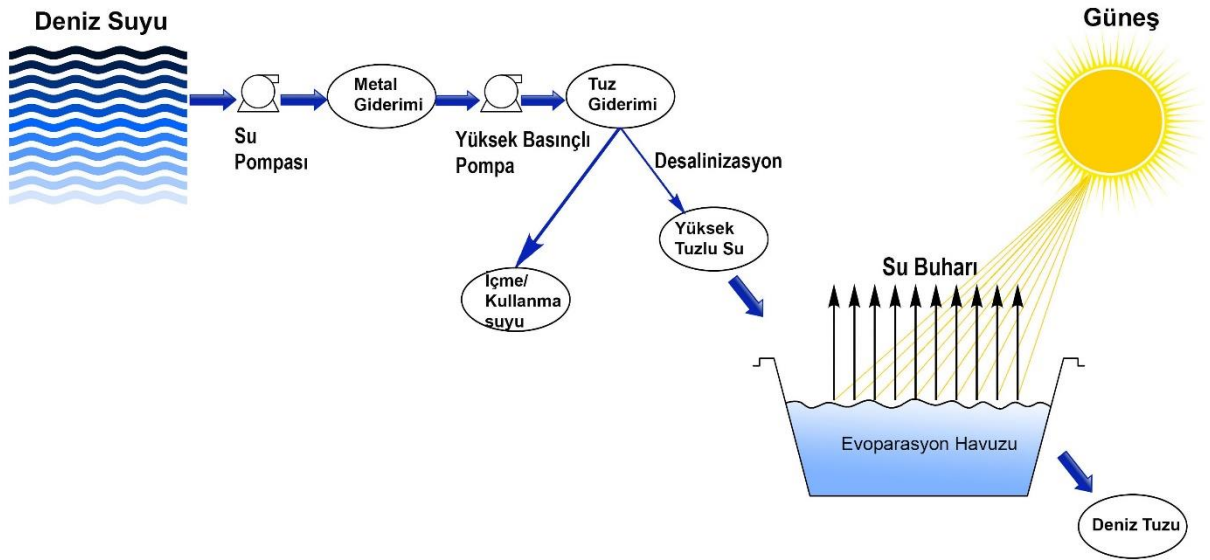
Melamin (Sigma-Aldrich, 99%), tereftaldehit (Sigma-Aldrich, 99 dimetil sülfoksit (DMSO, Aldrich, 99%), asetonitril (MeCN, Aldrich, 99%) herhangi bir ilave saflaştırma yapılmadan kullanılmıştır. Tüm çözücüler Merk' den alınmıştır ve alındığı gibi kullanılmıştır. Sodyum nitrit (NaNO_2 , Carlo Erba), magnezyum sülfat (MgSO_4 , Alfa Aesar, 99.5%), sodyum bikarbonat (NaHCO_3 , Aldrich, $\geq 99.7\%$), ve Silikon dioksit (SiO_2) parçacıkları (Ludox HS-40, Aldrich, H_2O içinde %40 ağırlıkça süspansiyon) alındığı gibi kullanılmıştır.

2.2. Sistem Düzenegi

Proje kapsamında Marmara Denizi'nde istasyon olarak belirlenmiş olan, Adalar açıkları ($40^\circ 53' 16.2''\text{N}$, $29^\circ 02' 14.5''\text{E}$), Florya açıkları ($40^\circ 57' 40.8''\text{N}$, $28^\circ 47' 26.0''\text{E}$) ve Küçükçekmece sahilinden ($40^\circ 58' 40.9''\text{N}$, $28^\circ 46' 09.9''\text{E}$) su örnekleri alınmıştır. Alınan örneklerin bir kısmı sudaki ağır metal varlığının belirlenmesi amacıyla ICP-MS (İndüktif Olarak Eşleştirilmiş Plazma- Kütle Spektrometresi) cihazında analiz edilmesi amacıyla ayrılmış, geriye kalan su numuneleri ağır metal giderimi ve desalinasyon (tuzdan arındırma) işlemi için laboratuvar ortamında saklanmıştır. Sudaki olası ağır metalin giderimi için laboratuvar ortamında melamin bazlı polimerik tutucu sentezlemek için gerekli kimyasallar temin edilmiş ve düzenek hazırlanmıştır. Laboratuvarında bulunan su numuneleri sentezlenen polimerden geçirilmiş ve desalinasyon işlemine tabi tutulmuştur. Ortaya çıkan suyun son olarak metal yüküne bakılması için ICP-MS cihazında kontrolü sağlanmıştır.



Şekil 13. Sistem Düzenegi



Şekil 14. Akış Şeması

2.3. İndüktif Eşleşmiş Plazma Kütle Spektroskopisi (ICP-MS)

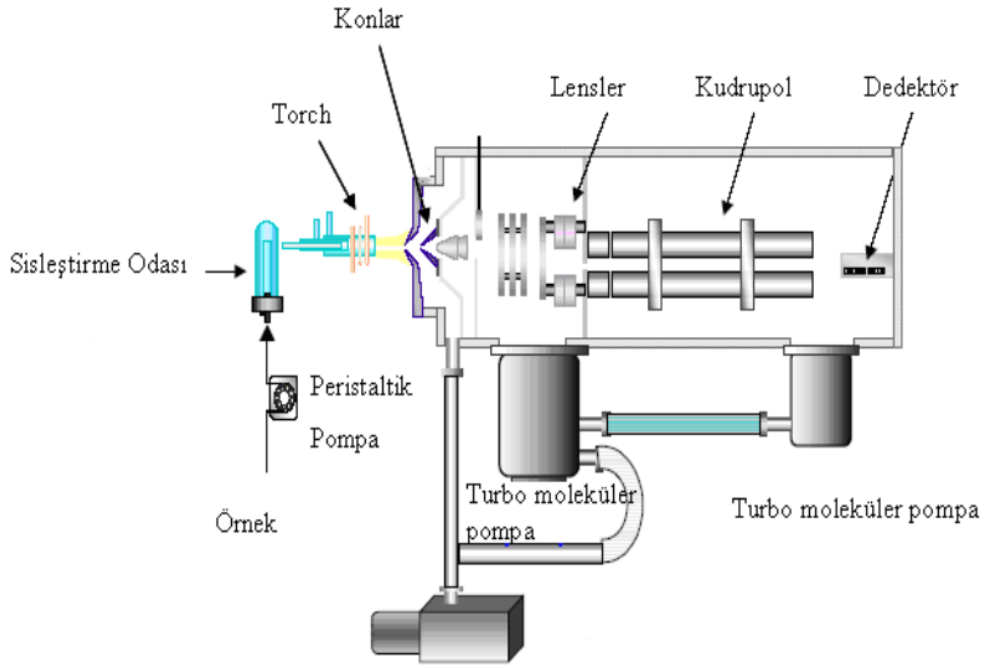
ICP-MS, 1970'lerde geliştirilmiş ve 1980'li yıllardan bu yana numunelerde bir ya da daha fazla elementin kalitatif, kantitatif veya yarı kantitatif tayinlerinde yaygın olarak kullanılır. Atomik emisyon tekniğine dayanan plazma kaynaklı elementel analiz yapan teknik olarak da kısaca ifade edilebilir. ICP-MS sistemi temel olarak plazma kaynağı ve kütle detektörü olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Genel olarak ICP-MS kullanılarak, atık sular, içme suları, gıda, petrokimya, jeokimya, jeolojik, hidrojeoloji alanlarında analizler yapılmaktadır. ICP-MS pek çok element analizi için gözlenme bakımından düşük referans sınırı, yüksek seçicilik, doğruluk ve kesinliğinin çok iyi olması nedeniyle tercih edilen önemli analitik tekniklerdendir (Taşkın ve diğerleri, 2011).

Plazma, yüksek miktarda elektron ve katyon içeren, elektriksel iletkenliğe sahip bir gaz karışımı olarak tanımlanır. Yüklü tanecikler birbirini dengeleyeceği için net yük sıfırdır. Atomik emisyon spektroskopisinde kullanılan plazma kaynakları:

1. İndüktif Eşli Plazma
2. Doğru Akımlı Plazma
3. Mikrodalga Uyarımlı Plazma'dır.

En çok kullanılanları indüktif eşleşmiş ve doğru akımlı plazmadır, mikrodalga uyarımlı plazma kaynağı üreticilerden de genellikle sağlanamadığı için elementel analizlerde geniş ölçüde kullanılamamaktadır (Dean, 2005).

İndüktif eşleşmiş plazma eş merkezli üç kuvars borudan oluşmaktadır. Bu borulardan toplam olarak dakikada 11-17 litrelik argon akışı sağlanmaktadır. Tesla bobiniyle argonun iyonlaşması başlatılır, oluşan iyonlar ve serbest kalan elektronlar değişken olarak uygulanan endüksiyon sarmalında üretilen manyetik alan ile etkileşirler. Oluşan Ar⁺ iyonları elektriksel alanda dairesel hareket yaparken topladığı enerji ile hızlanıp sıcaklığı yükselir ve diğer Ar atomlarına çarparak onları da iyonlaştırarak plazmayı oluşturmaktadır. Plazma sıcaklığı 10000 K'e kadar ulaşabilmektedir. Yüksek sıcaklıklara ulaşması çok sayıda elementin mikro düzeylerinin ve nano düzeylerinin analizine olanak sağlamaktadır.



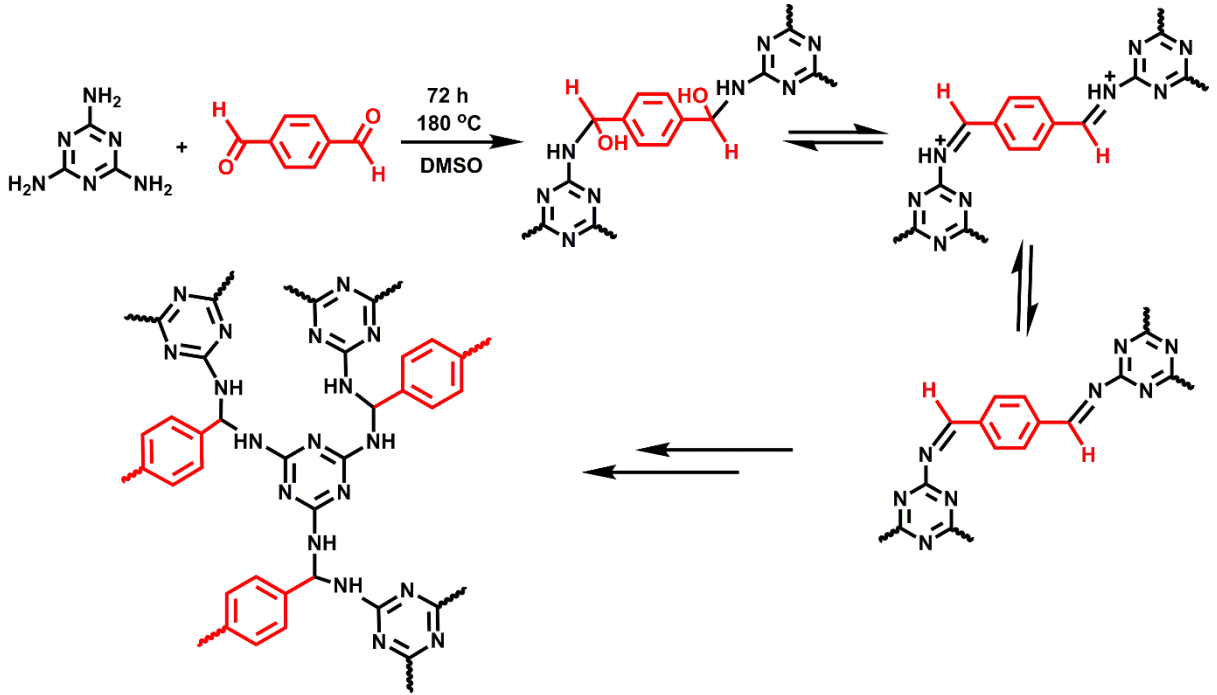
Şekil 15. ICP-MS Şematik Görünümü



Şekil 16. ICP – MS Cihazı

2.4. Melamin Bazlı Polimer Sentezlenmesi

Alev ile kurutulmuş, bir kondenser ve magnetik karıştırıcı çubuk ile donatılmış Schlenk tüpü, melamin (500mg, 3.96 mmol), terephthalaldehyde (1000 mg, 7.45 mmol) ve dimetil sülfoksit (DMSO, 15.5 mL) ile doldurulur. Azot gazı sistemden geçirildikten sonra, karışım sabit atmosferli bir ortamda 72 saat boyunca 180 °C’de ısıtılır. Karışım oda sıcaklığına kadar soğutulduğunda, çöken gözenekli ağ yapı, bir filtre kâğıdı ve Buchner hunis kullanılarak izole edilir ve bol miktarda aseton, tetrahidrofuran (THF) ve kloroform ile yıkanır. Çöken materyalin DMSO, THF, metanol ve en son 1,4 dioksan ile yıkandıktan sonra, tüm örnek 1,4 dioksan kullanılarak dondurulup kurutulur. Ürün %62 verimle sert, sarı tozlar halinde toplanır. Malzeme, nemli, asidik ya da bazik koşullara maruz kalsa da özelliklerinde bir değişiklik göstermez. (Polimerin elemental analizi: C:64.36%, N:27.22%, H:8.42%) (Taşkın ve diğerleri, 2015).

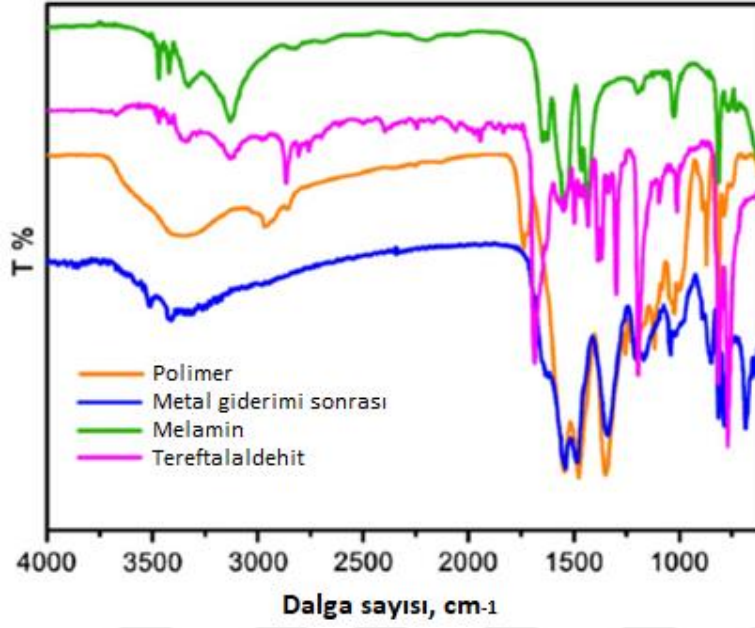


Şekil 17. Polimerin Genel Hazırlanış Şeması

3. BULGULAR

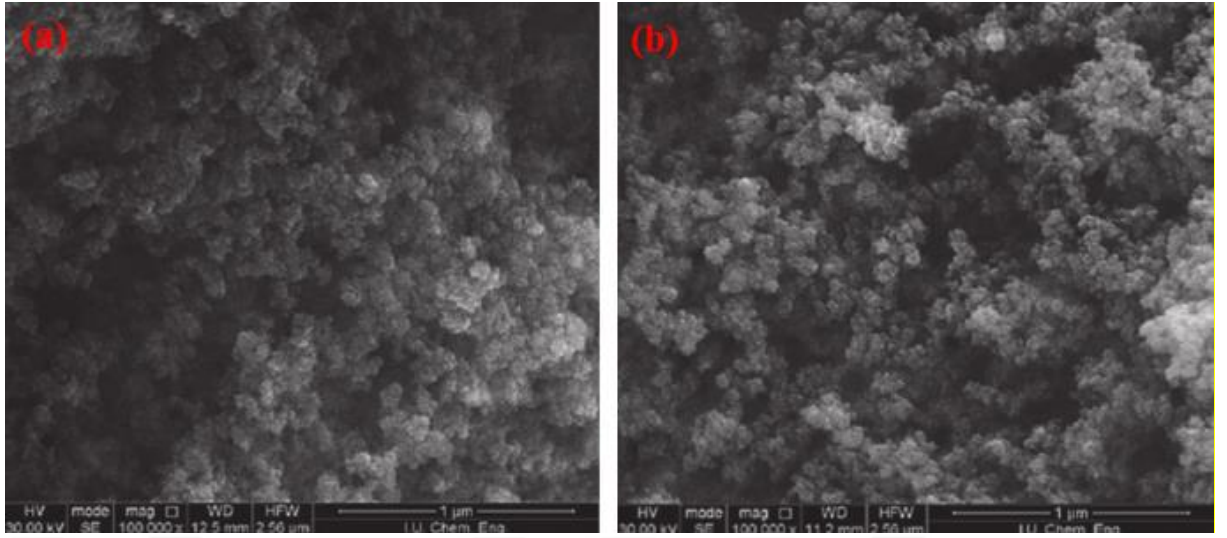
3.1. Polimer Karakterizasyonu

Sentezlenen melamin bazlı adsorban polimerin metal tutumundan öncesi ve sonrasındaki FTIR spektrumu Şekil 16 da gösterilmiştir. Melaminin ilk FTIR spektrumunda, melaminin amin grubuna karşılık gelen bantlar ve aldehit grubun formil (formik asitten türeyen O=CH- grubu) hidrokarbonu $3500 - 3200 \text{ cm}^{-1}$ (NH gerilme) aralığında ve 2857 cm^{-1} de (C-H gerilme), Aldehid fonksiyonunun C=O gerilme titreşimi 1623 cm^{-1} görülmekte ve metal ile koordinasyonundan kaynaklı kaymıştır. 1453 cm^{-1} ve 1474 cm^{-1} deki triazin halkasına karşılık gelen farklı bantların varlığı, melamin gruplarının varlığını doğrulamaktadır. Metal içeren çözelti iyileştirmeden sonra, 1651 cm^{-1} ' deki NH grubundaki deformasyon ve gerilme grupları daha ayırt edilebilir hale gelmiş olup bu durum da kompleks oluşumunu kanıtlar.



Şekil 18. Melamin, Tereftaldehit, Polimerin Metal Giderimi Öncesi ve Sonrası FTIR spektrumu

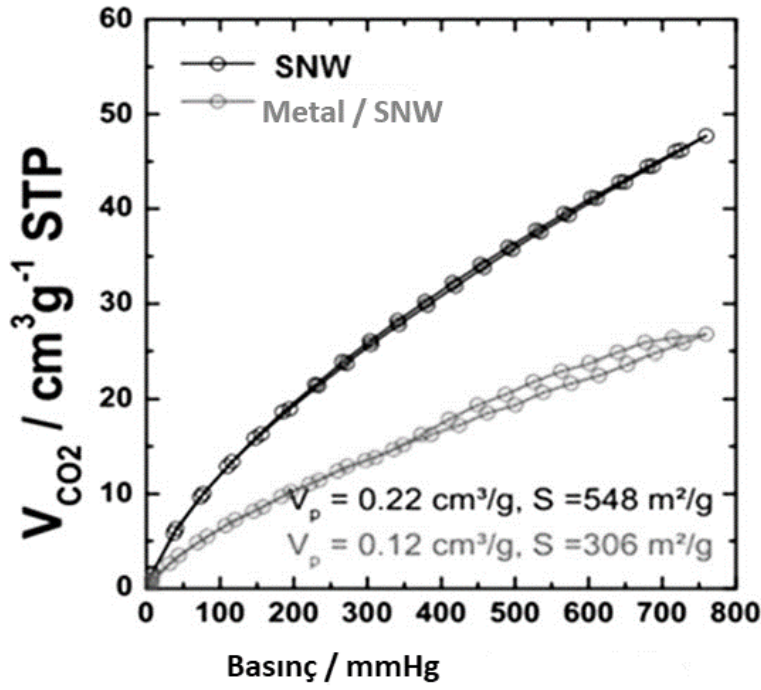
Tüm bu ayrıntılı karakterizasyonların yanı sıra adsorban polimerin morfolojisi, metal giderimi öncesinde ve sonrasında SEM ile incelenmiştir. Görüntüler Şekil 17’ de gösterilmiştir. İşlem öncesi ve sonrası değişim makroskobik ölçekte neredeyse hiç yoktur. Bununla birlikte SEM fotoğrafında (a) boşluklu yapının metal giderimi sonrasında (b) dolarak porları kapattığı görülmüştür.



Şekil 19. SEM fotoğrafları (a) adsorban polimer (b) metal giderimi sonrası.

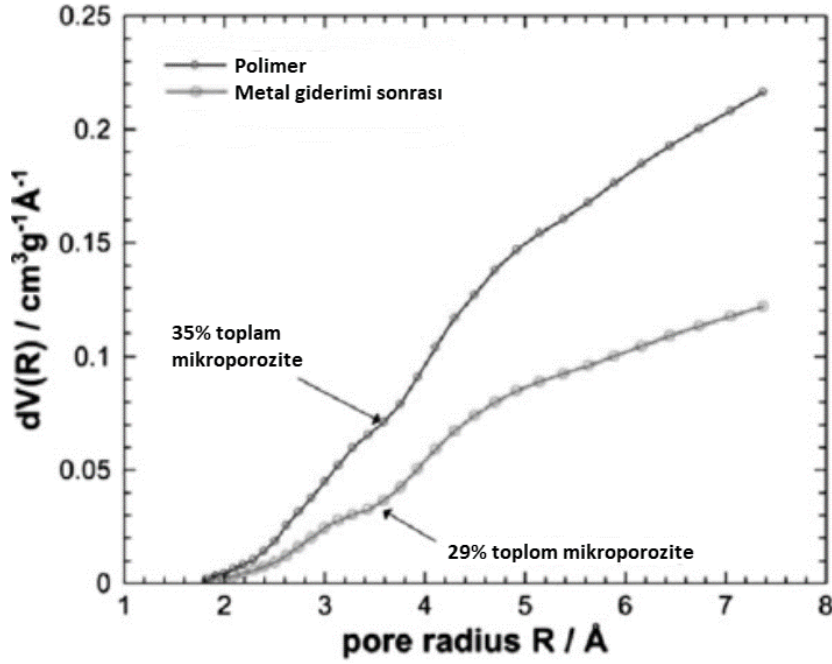
Geliştirilen ürünün adsorpsiyon davranışını hem görsel olarak hem de pratik olarak gözlemlemek için melamin bazlı polimerin gözenekliliği, metal ile muamele öncesi ve sonrası CO₂ adsorpsiyon/desorpsiyon analizi ile çalışılmıştır.

Şekil 18’ de görüldüğü gibi adsorpsiyon izotermi, düşük bağıl basınçlarda ve düzenli gaz adsorpsiyonu ile belirlenmiştir. Böylece, polimerin mikro gözenekli yapısının yansıtılması sağlanmış olup mikro gözenekli yapılara metallerin bağlanmasıyla meydana gelen değişim gözlemlenmiştir. Polimerin BET yüzey alan sonucunun da gösterdiği gibi yüzey alanı 548 m²/g’ den 306 m²/g değerlerine muamele sonunda yüzey alanında düşme olmuştur.



Şekil 20. Metal ile muamele öncesi ve sonrası CO₂ adsorpsiyon ve desorpsiyon izotermi

Polimerin metal ile muamele öncesi ve sonrası boyutları Şekil 19' da gösterilmiştir. Gözeneklerin boyutları her iki durumda oldukça benzerlik göstermekle beraber, muamele sonrası gözeneklerde nispeten küçülme gözlenmiştir.



Şekil 21. CO₂ adsorpsiyon izotermelerinden hesaplanan hücre yoğunluğu

3.2. Metal Analizleri

Belirtilen istasyondan alınan su numuneleri melamin bazlı polimerden geçirilmeden önce ICP-MS cihazına ağır metal içeriklerine bakılmıştır. Ağır metal olarak, Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn bakılmıştır. Her üç istasyonda da ağır metal olduğu tesbit edilmiştir. Her üç istasyondan alınan su örneklerinin ağır metal içerikleri, melamin bazlı polimerden geçirilmeden önceki ve sonraki değerleri Tablo 8 ve Tablo 9' da gösterilmiştir.

Tablo 9. İstasyonlardan alınan numunelerdeki Ağır Metal Sonuçları

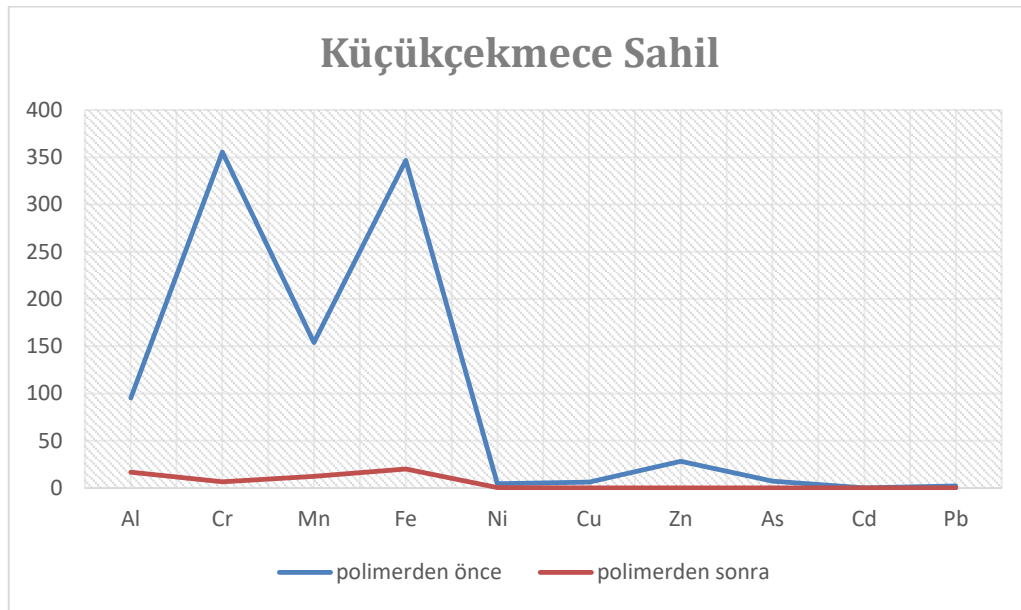
(ppb)	<i>İstasyonlar</i>		
	<i>Küçükçekmece Sahil</i>	<i>Florya Açıkları</i>	<i>Adalar Açıkları</i>
Al	95,18	60,19	42,13
Cr	355,47	318,55	195,14
Mn	154,00	101,79	29,33
Fe	346,52	203,39	113,20
Ni	4,49	10,22	TE
Cu	6,00	2,35	0,20
Zn	28,16	8,81	5,40
As	7,34	TE	TE
Cd	0,18	TE	TE
Pb	2,00	TE	TE

Tablo 10. Polimerden geçirilen numunelerin Ağır Metal Sonuçları

(ppb)	<i>İstasyonlar</i>		
	<i>Küçükçekmece Sahil</i>	<i>Florya Açıkları</i>	<i>Adalar Açıkları</i>
Al	16,76	19,50	18,10
Cr	6,65	5,96	6,34
Mn	12,10	3,80	2,90
Fe	20,00	18,00	21
Ni	0,44	1,3	TE
Cu	TE	TE	TE
Zn	TE	TE	TE
As	TE	TE	TE
Cd	0,18	TE	TE
Pb	TE	TE	TE

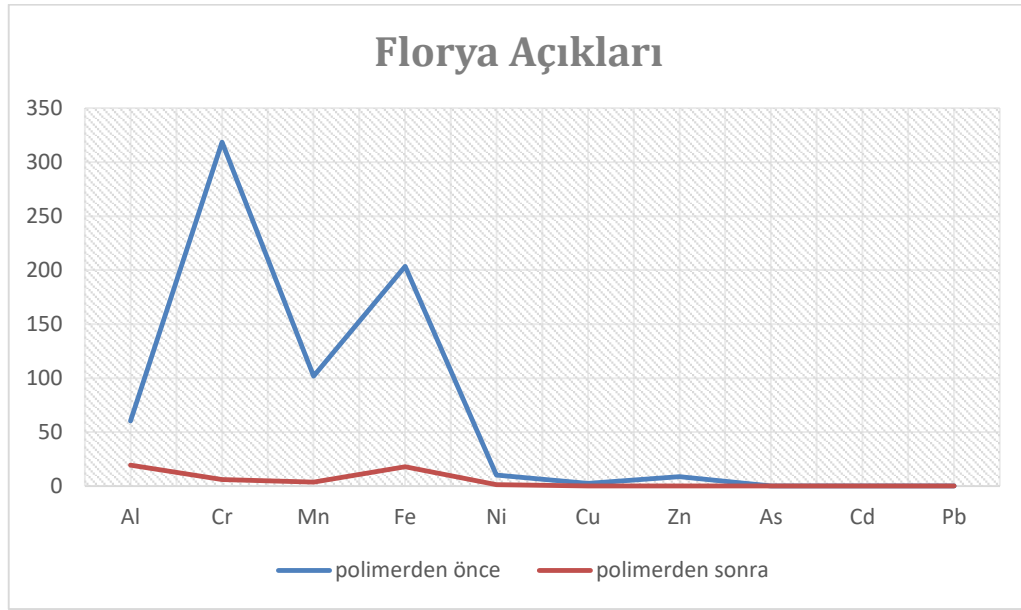
Küçükçekmece sahil bölgesinden alınan su numunesinden yapılan metal analizlerinde; Aliminyum (Al) 95,18 ppb, Krom (Cr) 355,47 ppb, Mangan (Mn) 154 ppb, Demir (Fe) 346,52 ppb, Nikel (Ni) 4,49 ppb, Bakır (Cu) 6 ppb, Çink (Zn) 28,16 ppb, Arsenik (As) 7,34 ppb, Kadmiyum (Cd) 0,18 ppb ve Kurşun (Pb) 2 ppb olarak ölçülmüştür.

Polimerle muameleden sonra yapılan analizlerde ise, Al 16,76 ppb, Cr 6,65 ppb, Mn, 12,10 ppb, Fe 20ppb, Ni 0,44ppb, Cd 0,18 ppb olarak ölçülürken, Cu, Zn, As, Pb tespit edilememiştir.



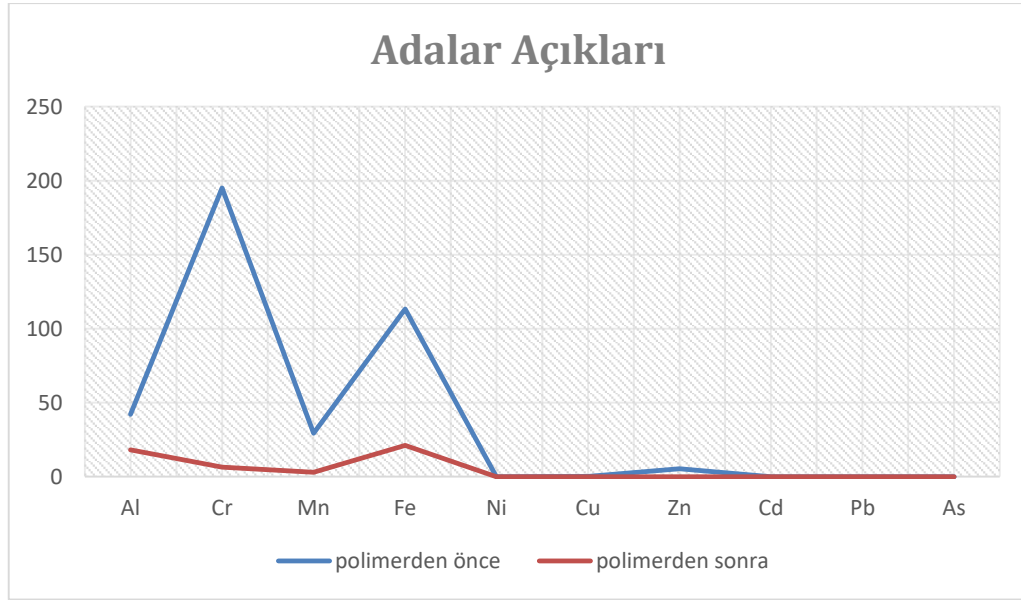
Şekil 22. Küçükçekmece Sahili polimer öncesi ve sonrası değişim

Florya açıklarından alınan su numunesinde polimer ile muamele öncesinde, Al 60,19 ppb, Cr 318,55 ppb, Mn 101,79 ppb, Fe 203,39 ppb, Ni 10,22 ppb, Cu 2,35 ppb, Zn 8,81 ppb olarak ölçülürken Cd, Pb ve As tesbit edilememiştir. Polimer ile muameleden sonra yapılan analizlerde ise, Al 19,50 ppb, Cr 5,96 ppb, Mn 3,80 ppb, Fe 18 ppb, Ni 1,3 ppb ölçülürken Cu ve Zn tesbit edilememiştir.



Şekil 23. Florya açıkları polimer öncesi ve sonrası değişim

Adalar açıklarından alınan su numunesinde, polimer ile muamele öncesi yapılan analizlerde; Al 42,13 ppb, Cr 195,14 ppb, Mn 29,33, Fe 113,20 ppb, Cu 0,2 ppb ve Zn 5,40 ppb ölçülmüş, Ni, Cd, Pb ve As tesbit edilememiştir. Polimer ile yapılan muamele sonucunda yapılan analizlerde; Al 18,10 ppb, Cr 6,34 ppb, Mn 2,90 ppb, Fe 21 ppb, olarak ölçülmüş, Ni, Cu ve Zn tespit edilememiştir.



Şekil 24. Adalar açıkları polimer öncesi ve sonrası değişim

4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Nüfusu her geçen yıl katlanarak artan İstanbul'un önümüzdeki yıllarda ciddi su sorunları yaşayabileceği açıktır. Bu bağlamda denizsu desalinasyonu metodunun gündeme gelmesi olasıdır. Tuz yönetimi, desalinasyon işleminin çevreye olumsuz etki edebilecek başlıca sorunudur. Temel bir desalinasyon modelinde prensip, içme-kullanma suyu elde etmek olduğundan dolayı, desalinasyon sonucu ortaya çıkan ürünler; içme-kullanma suyu ve yüksek yoğunluklu tuzludur. Yüksek tuzluluktaki suyun ve varsa içerisinde barındırdığı ağır metallerin doğrudan deşarjı, denizel ekosisteme, özellikle bentik canlılara olumsuz etkileri olacaktır.

Nüfusun yoğun yaşadığı böylesi yerleşim yerlerinde uygulanacak bir desalinasyon modelinde ise "sıfır deşarj" yönteminin benimsenmesi ve uygulanması; denizel çevrenin ve deniz canlılarının korunması açısından çok önemlidir. Desalinasyon sonucu ortaya çıkan mevcut tuz ve diğer ürünlerin geri kazanımlarının değerlendirilmesi de ayrıca önem arz etmektedir.

Desalinasyon, mineral bileşenleri tuzlu sudan uzaklaştırmada kullanılan bir işlemdir. Daha genel olarak, desalinasyon, tarım için bir sorun olan topraktaki tuzdan arındırmada olduğu gibi, hedef maddeden tuzların ve minerallerin çıkarılması anlamına da gelmektedir. Günümüzde deniz suyu, insan tüketimine veya sulamaya uygun su üretmek için tuzdan arındırılmaktadır. Tuzdan arındırma işleminin yan ürünü tuzlu sudur. Desalinasyon birçok gemide ve denizaltıda kullanılmaktadır. Tuzdan arındırmaya yönelik modern ilginin çoğu, tatlı suyun insan kullanımı için uygun maliyetli olarak sağlanmasına odaklanmıştır. Desaline edilmiş deniz suyu, geri dönüştürülmüş atık su ile birlikte yağıştan bağımsız az sayıdaki su kaynaklarından biridir.

Bu çalışma ile denizel ortamdan çekilen tuzlu suyun, ağır metallerinden arındırılarak farklı amaçlara yönelik kullanımına imkân sağlanmaktadır. Bunun için ağır metal giderimlerinde kullanılmak üzere uygun adsorban sentezi ile kartuş hazırlanmıştır. Önermiş

olduğumuz model ve sentezlenen polimer, desalinasyon işlemine başlamadan önce, mevcut suda bulunan metalin tutumunu ve bu metalin daha sonra değerlendirilebilmesini mümkün kılmaktadır. Kartuştan geçen karışım membran ile muamale edilerek yoğun tuzlu suyun ayrılması sağlanmıştır. Bu sayede denizel ortamdan sadece uygun basınç oluşturularak istenilen saflıkta tuzlu karışımları elde edilerek ticari amaçlara yönelik ürün kaynağı oluşturulmuştur. Sistemin maliyetleri sadece metal giderimi için kullanılan adsorban kartuş ve membrandan oluşmaktadır. Günümüzde kullanılan ayırıştırma yöntemlerine göre düşük maliyetinden dolayı rekabet gücü oldukça yüksektir.

Sıfır deşarj modelinde; güneş havuzu, membran damıtma, membran damıtma kristalizasyonu, elektrodializ, ters elektrodializ, adsorpsiyon gibi yöntemlerden yararlanılabilir. Metal yükünden arındırılmış denizsuyunun desalinasyonu, deniz tuzunun akvaryum, kış çalışmaları vd alanlarda kullanımını da mümkün kılar.

KAYNAKLAR

- Abbas, A. (2006). Model predictive control of a reverse osmosis desalination unit. *Desalination*, 194(1), 268-280. doi:<https://doi.org/10.1016/j.desal.2005.10.033>
- Abdo, S., Saidani-Scott, H., Borges, B., Abdelrahman, M. A. (2020). Cooling solar panels using saturated activated alumina with saline water: Experimental study. *Solar Energy*, 208, 345-356. doi:<https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.07.079>
- Ahamad, I., Prasad, R., Quraishi, M. A. (2010). Experimental and quantum chemical characterization of the adsorption of some Schiff base compounds of phthaloyl thiocarbohydrazide on the mild steel in acid solutions. *Materials Chemistry and Physics*, 124(2), 1155-1165. doi:<https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2010.08.051>
- Aksu, A., Balkis, N., Taşkin, Ö. S., Erşan, M. S. (2011). Toxic metal (Pb, Cd, As and Hg) and organochlorine residue levels in hake (*Merluccius merluccius*) from the Marmara Sea, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 182(1), 509-521. doi:10.1007/s10661-011-1893-1
- Aksu, A., Taşkin, Ö. S. (2012). Organochlorine residue and toxic metal (Pb, Cd and Cr) levels in the surface sediments of the Marmara Sea and the coast of Istanbul, Turkey. *Marine Pollution Bulletin*, 64(5), 1060-1062. doi:<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2012.02.018>
- Al-Amshawee, S., Yunus, M. Y. B. M., Azoddein, A. A. M., Hassell, D. G., Dakhil, I. H., Hasan, H. A. (2020). Electrodialysis desalination for water and wastewater: A review. *Chemical Engineering Journal*, 380, 122231. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.122231>
- Al-Rub, F. A. A., El-Naas, M. H., Ashour, I., Al-Marzouqi, M. (2006). Biosorption of copper on *Chlorella vulgaris* from single, binary and ternary metal aqueous solutions. *Process Biochemistry*, 41(2), 457-464. doi:<https://doi.org/10.1016/j.procbio.2005.07.018>
- Aliku, O. (2017). A Means of Increasing Irrigation Water Sources for Sustainable Crop Production. T. Yoner, (Ed.), *Desalination* (s. 47-62), Rijeka, Croatia, Intech. doi:<https://doi.org/10.5772/interchopen.69312>
- Banakar, V. V., Sabnis, S. S., Gogate, P. R., Raha, A., Saurabh. (2020). Improvements in heat transfer in thermal desalination operation based on removal of salts using ultrasound pretreatment. *Ultrasonics Sonochemistry*, 69, 105251. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105251>
- Bayramoğlu, G., Yakup Arica, M. (2009). Construction a hybrid biosorbent using *Scenedesmus quadricauda* and Ca-alginate for biosorption of Cu(II), Zn(II) and Ni(II): Kinetics and equilibrium studies. *Bioresource Technology*, 100(1), 186-193. doi:<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.05.050>
- Bennett, A. (2013). 50th Anniversary: Desalination: 50 years of progress. *Filtration + Separation*, 50(3), 32-39. doi:[https://doi.org/10.1016/S0015-1882\(13\)70128-9](https://doi.org/10.1016/S0015-1882(13)70128-9)

- Caldera, U., Bogdanov, D., Breyer, C. (2016). Local cost of seawater RO desalination based on solar PV and wind energy: A global estimate. *Desalination*, 385, 206-217. doi: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2016.02.004>.
- Campione, A., Gurreri, L., Ciofalo, M., Micale, G., Tamburini, A., Cipollina, A. (2018). Electrodialysis for water desalination: A critical assessment of recent developments on process fundamentals, models and applications. *Desalination*, 434, 121-160. doi: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2017.12.044>
- Can, M., Etemoğlu, A., Avcı, A. (2002). Deniz Suyundan Tatlı Su Eldesinin Teknik ve Ekonomik Analizi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 7, sayı 1. <https://doi.org/10.17482/uujfe.00578>
- Carvalho, T., Pereira, A. d. S., Bonomo, R. C. F., Franco, M., Finotelli, P. V., Amaral, P. F. F. (2020). Simple physical adsorption technique to immobilize *Yarrowia lipolytica* lipase purified by different methods on magnetic nanoparticles: Adsorption isotherms and thermodynamic approach. *International Journal of Biological Macromolecules*, 160, 889-902. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.05.174>
- Cath, T., Drewes, J., D. Lundin, C., Hancock, N. (2010). Forward Osmosis—Reverse Osmosis Process Offers a Novel Hybrid Solution for Water Purification and Reuse. *Desalination*, 2(4): 16-20. doi: <https://doi.org/10.1179/ida.2010.2.4.16>.
- Chipasa, K. (2003). Accumulation and Fate of Selected Heavy Metals in a Biological Wastewater Treatment System. 23(2): 135-143. doi: [https://doi.org/10.1016/S0956-053X\(02\)00065-X](https://doi.org/10.1016/S0956-053X(02)00065-X)
- Choi, S.-H. (2017). Thermal type seawater desalination with barometric vacuum and solar energy. *Energy*, 141, 1332-1349. doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.11.007>
- Choi, Y. H., Kweon, J. H., Kim, D. I., Lee, S. (2009). Evaluation of various pretreatment for particle and inorganic fouling control on performance of SWRO. *Desalination*, 247(1), 137-147. doi: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2008.12.019>
- Chua, S. F., Nouri, A., Ang, W. L., Mahmoudi, E., Mohammad, A. W., Benamor, A., Ba-Abbad, M. (2021). The emergence of multifunctional adsorbents and their role in environmental remediation. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(1), 104793. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104793>
- Cooley, H., Gleick, P., Wolff, G. (2006). *Desalination, With A Grain of Salt: A California Perspective*, Pacific Institute for Studies in Development, Environment and Security. ISBN 1893790134, 9781893790131.
- Crittenden, J. C., Montgomery Watson, H. (2012). *MWH's water treatment : principles and design*. Retrieved from http://www.123library.org/book_details/?id=51693
- Çetinkaya Dönmez, G., Aksu, Z., Öztürk, A., Kutsal, T. (1999). A comparative study on heavy metal biosorption characteristics of some algae. *Process Biochemistry*, 34(9), 885-892. doi: [https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(99\)00005-9](https://doi.org/10.1016/S0032-9592(99)00005-9)
- Davis, T. A. (2006). Zero discharge seawater desalination: Irrigation the production of freshwater, salt, magnesium and bromine. Retrieved from <https://www.usbr.gov/research/dwpr/reportpdfs/report111.pdf>
- Dean, R. J. (2005). *Practical Inductively Coupled Plasma Spectroscopy*.
- Delgado-Torres, A. M., García-Rodríguez, L. (2007). Double cascade organic Rankine cycle for solar-driven reverse osmosis desalination. *Desalination*, 216(1), 306-313. doi: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2006.12.017>

- Eccles, H. (2000). Treatment of metal-contaminated wastes: Why select a biological process? *Trends in Biotechnology*, 17(12): 462-465. doi: [https://doi.org/10.1016/S0167-7799\(99\)01381-5](https://doi.org/10.1016/S0167-7799(99)01381-5)
- El-Dessouky, H. T., Ettouney, H. M. (2002). Chapter 7 - Reverse Osmosis. In H. T. El-Dessouky H. M. Ettouney (Eds.), *Fundamentals of Salt Water Desalination* (pp. 409-437). Amsterdam: Elsevier Science B.V.
- El-Naas, M. H., Al-Rub, F. A., Ashour, I., Al Marzouqi, M. (2007). Effect of competitive interference on the biosorption of lead(II) by *Chlorella vulgaris*. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 46(12), 1391-1399. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cep.2006.11.003>
- Euronews, 2019: <http://tr.euronews.com/2015/08/26/su-kitligi-33-ulke-2040-ta-asiri-susikintisiyla-karsi-karsiya>, (Erişim Tarihi: 17/02/2019).
- Evans, L., Miller, J. (2002). Sweeping Gas Membrane Desalination Using Commercial Hydrophobic Hollow Fiber Membranes.
- Ezzeghni, U. (2016). Design of 10000 m³/d SWRO desalination plant: Pretreatment equipments, High pressure pump and Membrane assembly, Chisinau, Moldova, LAP LAMBERT Academic Publishing, sf.84.
- Fanucchi, M. V. (2017). Drinking Water and Sanitation. In S. R. Quah (Ed.), *International Encyclopedia of Public Health* (Second Edition) (pp. 350-360). Oxford: Academic Press.
- Forrestal, C., Xu, P., Ren, Z. (2012). Sustainable desalination using a microbial capacitive desalination cell. *Energy Environmental Science*, 5(5), 7161-7167. doi:10.1039/C2EE21121A
- García Blanco, A. A., Vallone, A. F., Gil, A., Sapag, K. (2012). A comparative study of various microporous materials to store hydrogen by physical adsorption. *International Journal of Hydrogen Energy*, 37(19), 14870-14880. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2012.01.166>
- Garg, K., Khullar, V., Das, S. K., Tyagi, H. (2018). Performance evaluation of a brine-recirculation multistage flash desalination system coupled with nanofluid-based direct absorption solar collector. *Renewable Energy*, 122, 140-151. doi:<https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.01.050>
- Ghaffour, N., Bundschuh, J., Mahmoudi, H., Goosen, M. (2015). Renewable energy-driven desalination technologies: A comprehensive review on challenges and potential applications of integrated systems. *Desalination*, 356, 94-114. doi:10.1016/j.desal.2014.10.024
- Ghaffour, N., Missimer, T. M., Amy, G. L. (2013). Technical review and evaluation of the economics of water desalination: Current and future challenges for better water supply sustainability. *Desalination*, 309, 197-207. doi:<https://doi.org/10.1016/j.desal.2012.10.015>
- Gilau, A. M., Small, M. J. (2008). Designing cost-effective seawater reverse osmosis system under optimal energy options. *Renewable Energy*, 33(4), 617-630. doi:<https://doi.org/10.1016/j.renene.2007.03.019>
- Godfray, H. C. J., Beddington, J. R., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. F., . . . Toulmin, C. (2010). Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People. *Science*, 327(5967), 812. doi:10.1126/science.1185383

- Greenlee, L. F., Lawler, D. F., Freeman, B. D., Marrot, B., Moulin, P. (2009). Reverse osmosis desalination: Water sources, technology, and today's challenges. *Water Research*, 43(9), 2317-2348. doi:<https://doi.org/10.1016/j.watres.2009.03.010>
- Gude, V. G. (2015). Desalination and Sustainability – An Appraisal and Current Perspective. *Water Research*, 89, 87-106. doi: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.11.012>
- Güven, A., Kahvecioğlu Feridun, O., Kartal Sireli, G., Timur, S. (2004). Metallerin Çevresel Etkileri -III. *Metallurji Dergisi*, 138, 64-71.
- Hamdan, L., Zarei-Chaleshtori, M., Chianelli, R., Gardner, E. (2008). Sustainable water and energy in Gaza Strip. *Renewable Energy*, 33, 1137-1146. doi:10.1016/j.renene.2007.10.002
- Hamed, O. A., Kosaka, H., Bamardouf, K. H., Al-Shail, K., Al-Ghamdi, A. S. (2016). Concentrating solar power for seawater thermal desalination. *Desalination*, 396, 70-78. doi:<https://doi.org/10.1016/j.desal.2016.06.008>
- Hamutoglu, R., Dinçsoy, A., Cansaran-Duman, D., Aras, S. (2012a). Derleme/Review Biyosorpsiyon, adsorpsiyon ve fitoremediasyon yöntemleri ve uygulamaları Biosorption, adsorption, phytoremediation methods and applications. *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 69(4): 235-253.
- Hamutoglu, R., Dinçsoy, A., Cansaran-Duman, D., Aras, S. (2012b). Derleme/Review Biyosorpsiyon, adsorpsiyon ve fitoremediasyon yöntemleri ve uygulamaları Biosorption, adsorption, phytoremediation methods and applications. 69, 235-253. doi:10.5505/TurkHijyen.2012.94914
- Hasan, M. N., Shenashen, M. A., Hasan, M. M., Znad, H., Awual, M. R. (2020). Assessing of cesium removal from wastewater using functionalized wood cellulosic adsorbent. *Chemosphere*, 128668. doi:<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128668>
- Huggett, J. M. (2021). Clay Minerals. In D. Alderton S. A. Elias (Eds.), *Encyclopedia of Geology* (Second Edition) (pp. 341-349). Oxford: Academic Press.
- IDA, 2016: <https://idadesal.org/international-desalination-association-and-global-water-intelligence-release-new-data-in-30th-worldwide-desalting-inventory/> (Erişim Tarihi: 20.02.2019)
- ISKI, 2016: <http://www.iski.gov.tr/web/assets/HaberlerImages/13-06-2016/tablo.jpg>
- Ismail, A. F., Khulbe, K. C., Matsuura, T. (2019). Chapter 6 - Hybrid System. In A. F. Ismail, K. C. Khulbe, T. Matsuura (Eds.), *Reverse Osmosis* (pp. 143-162): Elsevier.
- Istanbul, 2017: <http://www.istanbul.gov.tr/nufus-bakimindan-turkiyenin-en-buyuk-kenti-istanbul> (Erişim Tarihi: 17.02.2019)
- Kalogirou, S. A. (2005). Seawater desalination using renewable energy sources. *Progress in Energy and Combustion Science*, 31(3), 242-281. doi:<https://doi.org/10.1016/j.pecs.2005.03.001>
- Karabayir, E., Taskin, O. S., Simsek, F. B., Aksu, A., Caglar, N. B. (2020). Assessment of distribution of heavy metals and activity level of 210Pb in biota from the northern coast of the Marmara Sea and Western Black Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 161, 111759. doi:<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111759>
- Kentish, S., Kloester, E., Stevens, G., Scholes, C., Dumée, L. (2014). Electrodialysis in Aqueous-Organic Mixtures. *Separation Purification Reviews*, 44, null-null. doi:10.1080/15422119.2014.941111

- Khawaji, A. D., Kutubkhanah, I. K., Wie, J.-M. (2008). Advances in seawater desalination technologies. *Desalination*, 221(1), 47-69. doi:<https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.01.067>
- Kim, J., Do, J. Y., Park, N.-K., Hong, J.-P., Kang, M. (2018). Adsorption/desorption behavior of carbonyl sulfide gas on Scheelite type MWO₄ adsorbent. *Separation and Purification Technology*, 207, 58-67. doi:<https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.06.040>
- Kim, S. H., Cho, K., Kim, J.-N., Beum, H. T., Yoon, H. C., Lee, C. H. (2020). Improvement of cooling performance of water adsorption chiller by using aluminophosphate adsorbent. *Microporous and Mesoporous Materials*, 309, 110572. doi:<https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2020.110572>
- Kratochvil, D., Volesky, B. (1998). Advances in the biosorption of heavy metals. *Trends in Biotechnology*, 16(7), 291-300. doi:[https://doi.org/10.1016/S0167-7799\(98\)01218-9](https://doi.org/10.1016/S0167-7799(98)01218-9)
- La Cerva, M., Gurreri, L., Tedesco, M., Cipollina, A., Ciofalo, M., Tamburini, A., Micale, G. (2018). Determination of limiting current density and current efficiency in electrodialysis units. *Desalination*, 445, 138-148. doi:<https://doi.org/10.1016/j.desal.2018.07.028>
- Lamei, A., van der Zaag, P., von Münch, E. (2008). Basic cost equations to estimate unit production costs for RO desalination and long-distance piping to supply water to tourism-dominated arid coastal regions of Egypt. *Desalination*, 225(1), 1-12. doi:<https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.08.003>
- Lattemann, S., Höpner, T. (2008). Environmental impact and impact assessment of seawater desalination. *Desalination*, 220(1), 1-15. doi:<https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.03.009>
- Ling, Y., Tan, S., Wang, D., Wu, J., Luo, F., Liu, Q., Cao, Y. (2020). An Experimental and DFT Study on Enhanced Elemental Mercury Removal Performance via Cerium Chloride Modified Carbon Aerogel: A Synergistic Effect between Chemical Adsorption and Thermal Catalysis. *Chemical Engineering Journal*, 127344. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.127344>
- Lu, K., Cheng, Z. L., Chang, J., Luo, L., Chung, T.-S. (2019). Design of zero liquid discharge desalination (ZLDD) systems consisting of freeze desalination, membrane distillation, and crystallization powered by green energies. *Desalination*, 458, 66-75. doi:10.1016/j.desal.2019.02.001
- M. Hassan, A., Farooque, M., T. M. Jamaluddin, A., S. Al-Amoudi, A., A. K. Al-Sofi, M., F. Al-Rubaian, A., Rowaili, A. (2000). Demonstration plant based on the new NF-SWRO process. *Desalination*, 131(2000), 151-171..
- M. Hassan, A., Farooque, M., T. M. Jamaluddin, A., S. Al-Amoudi, A., Ak, M., F. Rubaian, A., A. R. Al-Tisan, I. (1999). Optimization of NF Pretreatment of Feed to Seawater Desalination Plants . Presented at IDA World Congress on Desalination Water Reuse, San Diego Aug. 29- Sep. 3.
- M. Sharifuzzaman, S., Rahman, D. M. H., Ashekuzzaman, S. M., Mahmudul Islam, M., Rahman Chowdhury, S., Hossain, M. S. (2016). Heavy Metals Accumulation in Coastal Sediments. In (pp. 21-42).
- Matin, A., Khan, Z. a., Zaidi, J., Boyce, M. C. (2011). Biofouling in Reverse Osmosis Membranes for Seawater Desalination: Phenomena and Prevention. *Desalination*, 281(1), 1-16. doi:<https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.06.063>.

- Mehta, S., P Gaur, J. (2008). Use of Algae for Removing Heavy Metal Ions From Wastewater: Progress and Prospects. *Critical Reviews in Biotechnology*, 25(3): 113-152. doi:<https://doi.org/10.1080/07388550500248571>
- Meyer, R., Gammeter, A., Smith, P., Kühne, H., Nösberger, P., Günthard, H. (1973). Torsion of the nitro group in nitroethylene. *Journal of Molecular Spectroscopy*, 46(3), 397-400. doi:[https://doi.org/10.1016/0022-2852\(73\)90052-0](https://doi.org/10.1016/0022-2852(73)90052-0)
- Miller, S., Shemer, H., Semiat, R. (2015). Energy and environmental issues in desalination. *Desalination*, 366, 2-8. doi:<https://doi.org/10.1016/j.desal.2014.11.034>
- Murata, M., Kimuro, H., Kanekuni, N., Ohkuma, N., Ogasawara, H., Fujioka, T. (1994). Small-scale sewage plant experiment by pretreatment and methanization of suspended solids. *Desalination*, 98(1), 217-224. doi:[https://doi.org/10.1016/0011-9164\(94\)00146-4](https://doi.org/10.1016/0011-9164(94)00146-4)
- Nakoa, K., Rahaoui, K., Date, A., Akbarzadeh, A. (2016). Sustainable zero liquid discharge desalination (SZLDD). *Solar Energy*, 135, 337-347. doi:<https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.05.047>
- Ng, K. C., Thu, K., Kim, Y., Chakraborty, A., Amy, G. (2013). Adsorption desalination: An emerging low-cost thermal desalination method. *Desalination*, 308, 161-179. doi:<https://doi.org/10.1016/j.desal.2012.07.030>
- Ochie Arief, V., Trilestari, K., Sunarso, J., Indraswati, N., Ismadji, S. (2008). Recent Progress on Biosorption of Heavy Metals from Liquids Using Low Cost Biosorbents: Characterization, Biosorption Parameters and Mechanism Studies., 36(12), 937-962. doi:10.1002/clen.200800167
- Ohya, H., Suzuki, T., Nakao, S. (2001). Integrated system for complete usage of components in seawater: A proposal of inorganic chemical combinat on seawater. *Desalination*, 134: 29-36.
- Öktem, A., Aksoy, A., (2014). Türkiye'nin Su Riskleri Raporu. İstanbul, Türkiye: Ofset yapımevi
- Park, D., Hong, S.-H., Kim, K.-M., Lee, C.-H. (2020). Adsorption equilibria and kinetics of silica gel for N₂O, O₂, N₂, and CO₂. *Separation and Purification Technology*, 251, 117326. doi:<https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.117326>
- Park, S., Kang, S.-W., Kim, K. (2017). Competition between ionic adsorption and desorption on electrochemical double layer capacitor electrodes in acetonitrile solutions at different currents and temperatures. *Journal of Power Sources*, 372, 8-15. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2017.10.047>
- Peña-Castro, J. M., Martínez-Jerónimo, F., Esparza-García, F., Cañizares-Villanueva, R. O. (2004). Heavy metals removal by the microalga *Scenedesmus incrassatulus* in continuous cultures. *Bioresource Technology*, 94(2), 219-222. doi:<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2003.12.005>
- Peña-Castro, J. M., Martínez-Jerónimo, F., Esparza-García, F., Cañizares-Villanueva, R. O. (2004). Phenotypic plasticity in *Scenedesmus incrassatulus* (Chlorophyceae) in response to heavy metals stress. *Chemosphere*, 57(11), 1629-1636. doi:<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.06.041>
- Peng, W., Li, H., Liu, Y., Song, S. (2017). A review on heavy metal ions adsorption from water by graphene oxide and its composites. *Journal of Molecular Liquids*, 230, 496-504. doi:<https://doi.org/10.1016/j.molliq.2017.01.064>

- Pidko, E. A., Hensen, E. J. M. (2016). Chapter 3 - Computational Chemistry of Zeolite Catalysis. In B. F. Sels L. M. Kustov (Eds.), *Zeolites and Zeolite-Like Materials* (pp. 111-135). Amsterdam: Elsevier.
- Qadir, M., Sharma, B. R., Bruggeman, A., Choukr-Allah, R., Karajeh, F. (2007). Non-conventional water resources and opportunities for water augmentation to achieve food security in water scarce countries. *Agricultural Water Management*, 87(1), 2-22. doi:<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2006.03.018>
- Sadhwani, J. J., Veza, J. M., Santana, C. (2005). Case studies on environmental impact of seawater desalination. *Desalination*, 185(1), 1-8. doi:<https://doi.org/10.1016/j.desal.2005.02.072>
- Sajid, M., Nazal, M. K., Ihsanullah, Baig, N., Osman, A. M. (2018). Removal of heavy metals and organic pollutants from water using dendritic polymers based adsorbents: A critical review. *Separation and Purification Technology*, 191, 400-423. doi:<https://doi.org/10.1016/j.seppur.2017.09.011>
- Sarai Atab, M., Smallbone, A. J., Roskilly, A. P. (2016). An operational and economic study of a reverse osmosis desalination system for potable water and land irrigation. *Desalination*, 397, 174-184. doi:<https://doi.org/10.1016/j.desal.2016.06.020>
- Sarı, E., Çağatay, M. N., Acar, D., Belivermiş, M., Kılıç, Ö., Arslan, T. N., Tutay, A., Kurt, M.A., Sezer, N. (2018). Geochronology and sources of heavy metal pollution in sediments of Istanbul Strait (Bosporus) outlet area, SW Black Sea, Turkey. *Chemosphere*, 205, 387-395. doi:<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.04.096>
- Seager, R., Vecchi, G. (2010). Greenhouse Warming and the 21st Century Hydroclimate of Southwestern North America. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(50): 21277-21282. doi:<https://doi.org/10.1073/pnas.0910856107>
- Shahrivar, J., Gharabaghi, M. (2020). Separation of AuCN₂⁻ by activated carbon and functionalized graphene/activated carbon composite. *Advanced Powder Technology*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.appt.2020.10.005>
- Sharma, V. K., McDonald, T. J., Kim, H., Garg, V. K. (2015). Magnetic graphene-carbon nanotube iron nanocomposites as adsorbents and antibacterial agents for water purification. *Advances in Colloid and Interface Science*, 225, 229-240. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cis.2015.10.006>
- Singh, R., Gautam, N., Mishra, A., Gupta, R. (2011). Heavy metals and living systems: An overview. *Indian journal of pharmacology*, 43(3), 246-253. doi:10.4103/0253-7613.81505
- Siyal, A. A., Shamsuddin, M. R., Low, A., Rabat, N. E. (2020). A review on recent developments in the adsorption of surfactants from wastewater. *Journal of Environmental Management*, 254, 109797. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109797>
- Smith, A. J., Khow, J., Lodge, B., Bavister, G. (2001). Desalination of poor quality brackish groundwater for non-potable use. *Desalination*, 139(1), 207-215. doi:[https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(01\)00312-5](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(01)00312-5)
- Svendsen, M., Turrall, H. (2007). Reinventing Irrigation. In (pp. 645).
- Sze, K. F., Lu, Y. J., Wong, P. K. (1996). Removal and recovery of copper ion (Cu²⁺) from electroplating effluent by a bioreactor containing magnetite-immobilized cells of *Pseudomonas putida* 5X. *Resources, Conservation and Recycling*, 18(1), 175-193. doi:[https://doi.org/10.1016/S0921-3449\(96\)01176-7](https://doi.org/10.1016/S0921-3449(96)01176-7)

- Taniguchi, M., Fusaoka, Y., Nishikawa, T., Kurihara, M. (2004). Boron removal in RO seawater desalination. *Desalination*, 167, 419-426. doi:<https://doi.org/10.1016/j.desal.2004.06.157>
- Taskin, O. S., Dadashi-Silab, S., Kiskan, B., Weber, J., Yagci, Y. (2015). Highly Efficient and Reusable Microporous Schiff Base Network Polymer as Heterogeneous Catalyst for CuAAC Click Reaction. *Macromolecular Chemistry and Physics*, Vol.216, Issue 16 Pages 1746-1753. doi:<https://doi.org/10.1002/macp.201500141>
- Taskin, O. S., Ersoy, N., Aksu, A., Kiskan, B., Balkis, N., Yagci, Y. (2016). Melamine-based microporous polymer for highly efficient removal of copper(II) from aqueous solution. *Polymer International*, 65(4), 439-445. doi:10.1002/pi.5074
- Taşkın, Ö. S., Aksu, A., Balkis, N. (2011). Metal (Al, Fe, Mn and Cu) distributions and origins of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the surface sediments of the Marmara Sea and the coast of Istanbul, Turkey. *Marine Pollution Bulletin*, 62(11), 2568-2570. doi:<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.08.013>
- Valavala, R., Sohn, J.-S., Han, J.-H., Her, N.-G., Yoon, Y.-M. (2011). Pretreatment in Reverse Osmosis Seawater Desalination: A Short Review , 16(4): 205-212. doi:<https://doi.org/10.4491/eer.2011.16.4.205>
- Veglio, F., Beolchini, F. (1997). Removal of metals by biosorption: a review. *Hydrometallurgy*, 44(3), 301-316. doi:[https://doi.org/10.1016/S0304-386X\(96\)00059-X](https://doi.org/10.1016/S0304-386X(96)00059-X)
- Wang, C., Ma, L., Hossain, M., Wang, H., Zou, S., Hickman, J. J., Su, M. (2010). Direct visualization of molecular scale chemical adsorptions on solids using plasmonic nanoparticle arrays. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 150(2), 667-672. doi:<https://doi.org/10.1016/j.snb.2010.08.022>
- Weber, W. J., Jr. (1972). *Physicochemical processes for water quality control*: New York (N.Y.) : Wiley-Interscience.
- WRI, 2013: <http://www.wri.org/resources/charts-graphs/water-stress-country>, (Erişim Tarihi: 17.02.2019).
- Zhang, T., Wang, W., Zhao, Y., Bai, H., Wen, T., Kang, S., Song, G., Song, S., Komarneni, S. (2020). Removal of heavy metals and dyes by clay-based adsorbents: From natural clays to 1D and 2D nano-composites. *Chemical Engineering Journal*, 127574. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.127574>

ÖZGEÇMİŞ

Adı-Soyadı :

Doğum Tarihi :

Doğum Yeri : İstanbul

Lise : (2001-2005) Semiha Şakir Y.D.A.L

Lisans : (2005-2009) Çukurova Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi

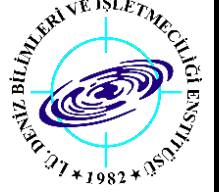
Yüksek Lisans : (2009-2011) İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, Denizel Çevre

Doktora : (2015-2022) İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, Denizel Çevre

Çalıştığı Kurum : (2010- devam ediyor) İstanbul Akvaryum



T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
DENİZ BİLİMLERİ VE İŞLETMECİLİĞİ ENSTİTÜSÜ
TEZ BENZERLİK RAPORU UYGUNLUK FORMU



ÖĞRENCİNİN ADI SOYADI : UĞUR ÇAĞLAR
ÖĞRENCİ NO : 300214004
ÖĞRETİM YILI : 2022
ANABİLİM DALI / BİLİM DALI : DENİZEL ÇEVRE / KIYI MÜHENDİSLİĞİ
PROGRAM TÜRÜ : YÜKSEK LİSANS ☐ DOKTORA ☒
TEZ DANIŞMANI ÜNVANI ADI SOYADI : PROF. DR. CEM GAZİOĞLU
II. TEZ DANIŞMANI ÜNVAN ADI SOYADI : DOÇ. DR. ABDULLAH AKSU
TEZ BAŞLIĞI : Melamin Bazlı Polimerik Malzemeler ile Denizsuyu Desalinasyon Yönteminin ve Açığa Çıkan Ürünlerin Geri Kazanımların Değerlendirilmesi

DENİZ BİLİMLERİ VE İŞLETMECİLİĞİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE,

Yukarıda başlığı verilen tez çalışmamın Kapak sayfası, Türkçe ve İngilizce özet, giriş ve amaç, genel bilgiler, materyal-metot, bulgular, tartışma, sonuç ve kaynaklar bölümlerinden oluşan toplam. 67. sayfalık kısmına ilişkin, 16/11/2021 tarihinde Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsünün kullandığı TURNİTİN programı ile, *Lisansüstü Tezlere ait Benzerlik Raporlarının Alınması ve Kullanılmasına İlişkin Uygulama Esaslarının* 5inci madde ikinci fıkrasında belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış nihai rapora göre benzerlik oranı % 9 'dur .

Tezimin benzerlik oranı, 06/12/2017 tarih ve 20 sayılı Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü Yönetim Kurul Kararıyla Tezin intihal kapsamı dışında değerlendirilmesi için kabul edilmiş olan üst sınır benzerlik oranını aşmamaktadır.

İntihal programı ile raporlanan Tezime ait Benzerlik oranım Üst sınır benzerlik oranının altında olsa dahi aksinin tespit edilmesi durumunda her türlü yasal sorumluluğu kabul ettiğimi ve hukuki sonuçlarına razı olduğumu beyan ederim.

Gereğini arz ederim.

İmza
Öğrenci Ad-Soyadı
Tarih:30/..12../2021..

EK: TURNİTİN Benzerlik Nihai Raporu ilk sayfa çıktısı

DANIŞMAN ONAYI
UYGUNDUR / UYGUN DEĞİLDİR
(Ünvan, Ad Soyadı, İmza)

İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM VE ÖĞRETİM YÖNETMELİĞİ (08.09.2016/29825)

(Yüksek Lisans) MADDE 36 – (2) Tezle ilgili benzerlik ön incelemesi, danışmanın bilgisi dahilinde öğrenci ile birlikte Üniversitenin kabul ettiği yazılım programı kullanılarak yapılır. Enstitü, söz konusu teze ilişkin intihal yazılım programı nihai raporunu alarak danışmana ve jüri üyelerine gönderir. Rapordaki verilerde veya sınav jüri üyesi/üyelerinin somut kanıtlarla belgeledikleri verilere göre gerçek bir intihalin tespiti halinde; tez, gerekçesi ile birlikte, karar verilmek üzere enstitü yönetim kuruluna gönderilir.

(Doktora) MADDE 50 – (4) Öğrenci, doktora tezinin savunmasından önce tezini, düzeltme verilen tezlerde ise düzeltilmiş tezini danışmanına sunar. Tezle ilgili benzerlik ön incelemesi, danışmanın bilgisi dahilinde öğrenci ile birlikte Üniversitenin kabul ettiği yazılım programı kullanılarak yapılır. Enstitü, söz konusu teze ilişkin intihal yazılım programı nihai raporunu alarak danışmana ve jüri üyelerine gönderir. Rapordaki verilerde veya sınav jüri üyesi/üyelerinin somut kanıtlarla belgeledikleri verilere göre gerçek bir intihalin tespiti halinde; tez, gerekçesi ile birlikte, karar verilmek üzere enstitü yönetim kuruluna gönderilir

MELAMİN BAZLI POLİMERİK MALZEMELER İLE DENİZSUYU DESALİNASYON YÖNTEMİNİN VE AÇIĞA ÇIKAN ÜRÜNLERİNİN GERİ KAZANIMLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Yazar Uğur Çağlar

Gönderim Tarihi: 16-Kas-2021 12:10PM (UTC+0300)

Gönderim Numarası: 1704429263

Dosya adı: A_I_A_IKAN_R_NLER_N_N_GER_KAZANIMLARININ_DE_ERLEND_R_LMES.docx (3.1M)

Kelime sayısı: 13435

Karakter sayısı: 93876

MELAMİN BAZLI POLİMERİK MALZEMELER İLE DENİZSUYU DESALİNASYON YÖNTEMİNİN VE AÇIĞA ÇIKAN ÜRÜNLERİNİN GERİ KAZANIMLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

ORJİNALLİK RAPORU

%**9**

BENZERLİK ENDEKSİ

%**7**

İNTERNET KAYNAKLARI

%**1**

YAYINLAR

%**4**

ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

BİRİNCİL KAYNAKLAR

1

adudspace.adu.edu.tr:8080

İnternet Kaynağı

%**1**

2

Submitted to Beykent Universitesi

Öğrenci Ödevi

%**1**

3

www.nobel.gen.tr

İnternet Kaynağı

%**1**

4

polen.itu.edu.tr

İnternet Kaynağı

%**1**

5

www.enginmuh.com

İnternet Kaynağı

%**1**

6

www.yumpu.com

İnternet Kaynağı

<%**1**

7

Submitted to Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Öğrenci Ödevi

<%**1**

8

acikarsiv.ankara.edu.tr

İnternet Kaynağı

<%**1**

9	Cüneyt Kaya, Gökhan Sert, Nalan Kabay, Müşerref Arda, Mithat Yüksel, Özdemir Egemen. "Pre-treatment with nanofiltration (NF) in seawater desalination—Preliminary integrated membrane tests in Urla, Turkey", Desalination, 2015 Yayın	<% 1
10	scholarworks.uno.edu İnternet Kaynağı	<% 1
11	Submitted to University of Edinburgh Öğrenci Ödevi	<% 1
12	es.scribd.com İnternet Kaynağı	<% 1
13	arifcil.tr.gg İnternet Kaynağı	<% 1
14	www.boomsocial.com İnternet Kaynağı	<% 1
15	Submitted to ACISCHOOLS Öğrenci Ödevi	<% 1
16	Submitted to Anadolu University Öğrenci Ödevi	<% 1
17	Submitted to Ankara University Öğrenci Ödevi	<% 1
18	Taskin, Omer Suat, Sajjad Dadashi-Silab, Baris Kiskan, Jens Weber, and Yusuf Yagci. "Highly	<% 1

Efficient and Reusable Microporous Schiff
Base Network Polymer as a Heterogeneous
Catalyst for CuAAC Click Reaction",
Macromolecular Chemistry and Physics, 2015.

Yayın

19	Submitted to Yüzüncü Yıl Üniversitesi Öğrenci Ödevi	<% 1
20	darts.jaxa.jp İnternet Kaynağı	<% 1
21	www.ncbi.nlm.nih.gov İnternet Kaynağı	<% 1
22	www.nufusu.com İnternet Kaynağı	<% 1
23	Submitted to Omer Halisdemir University Öğrenci Ödevi	<% 1
24	hdl.handle.net İnternet Kaynağı	<% 1
25	Submitted to Istanbul Aydin University Öğrenci Ödevi	<% 1
26	Submitted to The Scientific & Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) Öğrenci Ödevi	<% 1
27	repository.udca.edu.co İnternet Kaynağı	<% 1
28	www.yeminlisozluk.com İnternet Kaynağı	<% 1

<% 1

29

mafiadoc.com

İnternet Kaynağı

<% 1

30

www.comu.edu.tr

İnternet Kaynağı

<% 1

31

www.esm.versar.com

İnternet Kaynağı

<% 1

32

www.sosyalyardimlar.gov.tr

İnternet Kaynağı

<% 1

33

www.suvecevre.com

İnternet Kaynağı

<% 1

34

Submitted to Eskisehir Osmangazi University

Öğrenci Ödevi

<% 1

35

Taskin, Omer Suat, Nagihan Ersoy, Abdullah Aksu, Baris Kiskan, Nuray Balkis, and Yusuf Yagci. "Melamine-based Microporous Polymer for Highly Efficient Removal of Copper (II) from the Aqueous Solution", Polymer International, 2016.

Yayın

<% 1

36

nek.istanbul.edu.tr:4444

İnternet Kaynağı

<% 1

37

ttm.istanbul.edu.tr

İnternet Kaynağı

<% 1

38

webgazete.haberturk.com

İnternet Kaynağı

<% 1

39

www.dogakoleji.com

İnternet Kaynağı

<% 1

40

www.ilbank.gov.tr

İnternet Kaynağı

<% 1

41

web.deu.edu.tr

İnternet Kaynağı

<% 1

42

www.artuklu.edu.tr

İnternet Kaynağı

<% 1

43

www.mku.edu.tr

İnternet Kaynağı

<% 1

44

[Submitted to Colorado State University,
Global Campus](#)

Öğrenci Ödevi

<% 1

Alıntıları çıkart

üzerinde

Eşleşmeleri çıkar

< 5 words

Bibliyografyayı Çıkart

üzerinde