



**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**KARADENİZ'İN TUZSUZLAŞTIRILMASINDA
ELEKTRODİYALİZ YÖNTEMİNİN DENENMESİ VE
PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

Doktora Tezi

Sinem KAYA

Danışman
Prof. Dr. Yüksel ARDALI

SAMSUN
2021

**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**



**KARADENİZ'İN TUZSUZLAŞTIRILMASINDA
ELEKTRODİYALİZ YÖNTEMİNİN DENENMESİ VE
PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

Doktora Tezi

Sinem KAYA

Danışman

Prof. Dr. Yüksel ARDALI

Bu Doktora Tezi çalışması Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Proje Yönetim Ofisi, Bilimsel Araştırma Projeler Birimi tarafından PYO. MUH.1904.18.002 No'lu proje ile desteklenmiştir.

SAMSUN
2021

TEZ KABUL VE ONAYI

Sinem KAYA tarafından, **Prof. Dr. Yüksel ARDALI** danışmanlığında hazırlanan **“Karadeniz’in Tuzsuzlaştırılmasında Elektrodializ Yönteminin Denenmesi ve Performansının Değerlendirilmesi”** başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından 3.12.2021 tarihinde yapılan sınav sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

	Unvanı Adı Soyadı Üniversitesi Ana Bilim/Ana Sanat Dalı	İmza	Sonuç
Başkan	Doç. Dr. Ece Ümmü DEVECİ Niğde Ömer Halis DEMİR Üniversitesi Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı		☒ Kabul
			☐ Ret
Üye	Prof. Dr. Yüksel ARDALI Ondokuz Mayıs Üniversitesi Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı		☒ Kabul
			☐ Ret
Üye	Prof. Dr. Nurdan Gamze TURAN Ondokuz Mayıs Üniversitesi Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı		☒ Kabul
			☐ Ret
Üye	Doç. Dr. Sema YURDAKUL Süleyman DEMİREL Üniversitesi Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı		☒ Kabul
			☐ Ret
Üye	Doç. Dr. Fulya AYDIN TEMEL Giresun Üniversitesi Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı		☒ Kabul
			☐ Ret

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen ve yukarıda adları yazılı jüri üyeleri tarafından uygun görülmüştür.

ONAY

... / ... / ...

Prof. Dr. Ali BOLAT
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Hazırladığım Doktora tezinin bütün aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara riayet ettiğimi, çalışmada doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin Kaynaklar'da gösterilenlerden oluştuğunu, her unsurun enstitü yazım kılavuzuna uygun yazıldığını ve TÜBİTAK Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu Yönetmeliği'nin 3. bölüm 9. maddesinde belirtilen durumlara aykırı davranılmadığını taahhüt ve beyan ederim.

Etik Kurul Gerekli mi ?

Evet ☐ (Gerekli ise ekler kısmına ekleyiniz)

Hayır ☒

03/12/2021
Sinem KAYA

TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI

Tez Başlığı : Karadeniz'in Tuzsuzlaştırılmasında Elektrodializ Yönteminin Denenmesi ve Performansının Değerlendirilmesi

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafından 06.10.2021 tarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı : % 12

Tek kaynak oranı : % 1 çıkmıştır.

03 /12/ 2021
Prof. Dr. Yüksel ARDALI

ÖZET

KARADENİZ'İN TUZSUZLAŞTIRILMASINDA ELEKTRODİYALİZ YÖNTEMİNİN DENENMESİ VE PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Sinem KAYA

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora, Aralık/2021

Danışman: Prof. Dr. Yüksel ARDALI

Son zamanlarda hızlı nüfus artışı, kuraklık ve iklim değişikliğinin, su kaynaklarının sürdürülebilirliği üzerinde tehdit oluşturmaları, toplumların su temininde idari ve ekonomik önlemler alma konusunda girişimde bulunmalarını zorunlu hale getirmiştir. Bu girişimlerden birtanesi de alternatif su kaynağı elde etmek amacıyla deniz suyunun tuzsuzlaştırılarak kullanılması olmuştur.

Bu çalışmada Karadeniz'den alınan deniz suyunun tuzsuzlaştırılması amacıyla laboratuvar ölçekli elektrodializ sistemi kurulmuştur. Bu sistemde 10, 20, 30 V voltaj, 1, 2, 3 A akım ve 35, 50, 75 mL/dk debi değerlerinde tuzsuzlaştırma performansı incelenmiştir. Elektrodializ hücresi içerisine yerleştirilen poliviniliden florid (PVDF) membranlara katyon seçicilik özelliği kazandırmak amacı ile kafur sülfonik asit (CSA), dodeksibenzono sülfonik asit (DBSA) ve paratoluen sülfonik asit (PTSA) gibi negatif fonksiyonel gruplar içeren bileşikler ile modifikasyon yapılmıştır. Anyon seçicilik özelliği kazandırmak amacı ile ise N-metil-2-prolidan (NMP) gibi pozitif fonksiyonel gruplar içeren bileşik ile modifikasyon yapılmıştır. Membranların modifikasyon öncesinde ve sonrasındaki morfolojileri ve fonksiyonel grupları Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) ve Fourier Dönüşümlü Kızılıötesi Spektroskopisi (FT-IR) teknikleri ile incelenmiştir. Ayrıca modifiye membranların su tutma kapasitesi, taşınım sayısı, iyon iletkenliği, seçici geçirgenliği ve iyon değiştirme kapasiteleri incelenmiştir. Bu çalışma sonucunda deniz suyunun elektrodializ sistemi ile tuzsuzlaştırılmasında optimum voltaj, akım ve debi değerleri belirlenmiştir. Elektrodializ sisteminin performansı giderim verimi, giderilen madde miktarı ve özgül enerji tüketimi incelenerek değerlendirilmiştir.

Çalışma sonucunda en yüksek giderim verimi S-PVDF-DBSA/NMP-PVDF membran çiftinde 60. dk sonunda 10 V, 2 A ve 50 mL/dk değerlerinde anolit çıkış suyu %71.99 ve katolit çıkış suyu ise %73.98 olarak elde edilmiştir. Elde edilen veriler ışığında modifiye membran içeren elektrodializ yönteminin deniz suyunun tuzsuzlaştırılarak kullanma suyu amacı ile kullanılmasında uygun yöntem olacağı sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Elektrodializ, Anyon seçici membran, Katyon Seçici Membran, Modifikasyon, Tuzsuzlaştırma.

ABSTRACT

TESTING AND EVALUATION OF ELECTRODIALYSIS METHOD ON DESALINATION OF BLACKSEA

Sinem KAYA

Ondokuz Mayıs University

Institute of Graduate Studies

Department of Environmental Engineering

Ph.D., December/2021

Supervisor: Prof. Dr. Yüksel ARDALI

The recent rapid population growth, drought and climate change become a threat to the sustainability of water resources entail necessary for societies to take administrative and economic precautions for the water supply. One of these precautions to acquire alternative water resources, use seawater with desalination.

In this study, a comprehensive electrodialysis system was established by desalinating the sea purchased from the Black Sea. In this system, desalination performance was investigated at 10, 20, 30 V voltage, 1, 2, 3 A current and 35, 50, 75 mL/min flow rates. In order to impart cation selectivity to polyvinylidene fluoride (PVDF) membranes placed in the electrodialysis cell, modifications were made with compounds containing negative functional groups such as camphor sulfonic acid (CSA), dodecylbenzenesulfonic acid (DBSA) and paratoluene sulfonic acid (PTSA). In order to gain anion selectivity, modification was made with a compound containing positive functional groups such as N-methyl-2-pyrrolidone (NMP). The morphologies and functional groups of the membranes before and after modification were investigated by Scanning Electron Microscope (SEM) and Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) techniques. In addition, the water holding capacity, transport number, ion conductivity, selective permeability and ion exchange capacity of the modified membranes were investigated. As a result of this study, optimum voltage, current and flow values were determined in the desalination of sea water with the electrodialysis system. The performance of the Electrodialysis system was evaluated by investigating the removal efficiency, the amount of substance removed and the specific energy consumption.

As a result of the study, the highest removal efficiency was obtained as 71.99% in the anolyte effluent and 73.98% in the catholyte effluent at the values of 10 V, 2 A and 50 mL/min at the end of the 60th minute in the S-PVDF-DBSA/NMP-PVDF membrane couple. In the light of the data obtained, it was concluded that the electrodialysis method with modified membrane would be the appropriate method for desalinating sea water and using it for potable water.

Keywords: Electrodialysis, Anion exchange membrane, Cation exchange membrane, Modification, Desalination.

ÖN SÖZ VE TEŞEKKÜR

Doktora tezi çalışmam boyunca bilgi, birikim ve tecrübelerini hiçbir zaman benden esirgemeyen, daima her konuda desteğini hissettiğim Danışmanım Prof. Dr. Yüksel ARDALI'ya teşekkürü bir borç bilirim.

Bütün çalışmam boyunca benden maddi ve manevi desteğini esirgemeyen her zaman yanımda olan kız kardeşim Dr. Öğretim Üyesi Gediz UĞUZ'a şükranlarımı sunarım.

Laboratuvar çalışmalarında malzeme temininde yardımını esirgemeyen Araştırma Görevlisi Bilge AYDIN ER'e şükranlarımı sunarım.

Çalışmamdan teknik desteğini hiçbir zaman esirgemeyen çok değerli arkadaşım Makine Mühendisi Metin BÜYÜKÇORAK'a şükranlarımı sunarım.

Tez çalışmamın başından sonuna kadar tamamlanmasında büyük fedakarlık gösteren anneme, babama ve ağabeyime çok teşekkür ederim.

Tez çalışmamın aksamaması için evladım ile ilgilenen ve büyük fedakarlık gösteren kayınvalidem ve kayınpederime çok teşekkür ederim.

Son olarak çalışmamın enerji kaynağı olarak gördüğüm eşim Serhan ve biricik oğlum Korhan'ıma çok teşekkür ederim.

Sinem KAYA

İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL VE ONAYI.....	i
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI.....	ii
TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI.....	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
TABLolar DİZİNİ.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	2
2.1.Deniz Suyundan Tuz Giderme Yöntemleri.....	2
2.1.1.Termal Yöntemler.....	7
2.1.2.Membran Prosesleri.....	11
2.2.Deniz Suyunun Tuzsuzlaştırılması İşlemi Sonrasında Kullanımı.....	17
2.3.Deniz Suyu ve Özellikleri.....	19
2.3.1.Deniz Suyunun Sıcaklığı.....	20
2.3.2.Deniz Suyunun Tuzluluğu.....	20
2.3.3.Deniz Suyunun Yoğunluğu.....	23
2.3.4.Deniz Suyunun İletkenliği.....	24
2.3.5.Deniz Suyunda Bulunan Partikül Maddeler.....	25
2.3.6.Deniz Suyunda Bulunan Çözünmüş Gazlar.....	25
2.3.7.Deniz Suyunun pH Değeri.....	26
2.4.Elektrodiyaliz Sistemi.....	26
2.4.1.Elektrodiyaliz Sistemini Oluşturan Parçalar.....	27
2.4.2.Elektrodiyaliz İşleminde Etkili Olan Parametreler.....	29
2.5.Elektrodiyaliz Sisteminin Giderim Verimi, Giderilen Madde Miktarı ve Özgül Enerji Tüketimi Üzerinden Performansının Değerlendirilmesi.....	38
2.5.1.Giderim Verimi.....	38
2.5.2.Giderilen Madde Miktarı.....	38
2.5.3.Özgül Enerji Tüketimi.....	38
2.6.Kaynak Özetleri.....	40
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	46
3.1.Materyaller.....	46
3.1.1.Deniz Suyu.....	46
3.1.2.Elektrodiyaliz Sistemi.....	46
3.2.Yöntem.....	49
3.2.1.Membran Modifikasyonunun İncelenmesi ve Değerlendirilmesi.....	50
3.2.2.Laboratuvar Ölçekli Kurulan Elektrodiyaliz Sistemindeki Tuzsuzlaştırma Performansının Değerlendirilmesi.....	52
3.2.3.Elektrodiyaliz Sisteminin Giderim Verimi, Giderilen Madde Miktarı Özgül Enerji Tüketimi Üzerinden Performansının Değerlendirilmesi.....	53
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	54
4.1.Membran Modifikasyonunun İncelenmesi ve Değerlendirilmesi.....	54
4.1.1.Modifiye Edilmiş Membranların Fonksiyonel Gruplarının İncelenmesi....	54
4.1.2. Modifiye Edilmiş Membranların Morfolojilerinin İncelenmesi.....	57

4.1.3.Modifiye Edilmiş Membranların Su Tutma Kapasitelerinin, Taşınım Sayılarının, Seçici Geçirgenliğinin, İyon İletkenliğinin ve İyon Değiştirme Kapasitelerinin İncelenmesi.....	60
4.2.Laboratuvar Ölçekli Kurulan Elektrodializ Sistemindeki Tuzsuzlaştırma Performansının Değerlendirilmesi.....	62
4.2.1.Tuzluluk Tayini.....	62
4.2.2.Sınırlayıcı Akım Yoğunluğu Değerinin Belirlenmesi.....	63
4.2.3.Voltajın Etkisi.....	66
4.2.4.Akımın Etkisi.....	88
4.2.5.Debinin Etkisi.....	109
4.2.6.Laboratuvar Ölçekli Kurulmuş Olan Elektrodializ Sisteminin Kurulum ve İşletim Maliyeti.....	131
4.2.7.Ölçeklendirme (Scale-Up) Çalışması ile Elektrodializ Sisteminin Kurulum ve İşletim Maliyeti.....	132
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	133
KAYNAKLAR.....	138
ÖZGEÇMİŞ.....	144

SİMGELER VE KISALTMALAR

CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
CGI	: İklim Değişikliği Girişimi
CSA	: Kafur sülfonik asit
DBSA	: Dodeksibenzono sülfonik asit
EC	: Elektriksel iletkenlik
ESA	: Avrupa Uzay Ajansı
EDBM	: Bipolar membran elektrodiyalizi
FT-IR	: Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi
GMM	: Giderilen Madde Miktarı
GV	: Giderim Verimi
GWİ	: Küresel Su İstihbaratı
IDA	: Uluslararası Tuzsuzlaştırma Birliği
MATLAB	: Çok paradigmalı sayısal hesaplama yazılımı
NMP	: N-metil-2 prolidan
ÖET	: Özgöl Enerji Tüketimi
PES	: Polieter sülfon
PTSA	: Paratoluen sülfonik asit
PVC	: Polivinil klorür
PVDF	: Poliviniliden florür
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
SKKY	: Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği
TÇKM	: Toplam çözünmüş katı madde
TO	: Ters Osmoz

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	Deniz suyundan tuz giderme yöntemleri.....	6
Şekil 2.2.	Çok kademeli damıtma yönteminin şematik gösterimi.....	8
Şekil 2.3.	Çok kademeli şok damıtma yönteminin şematik gösterimi.....	9
Şekil 2.4.	Güneşle damıtma yönteminin şematik gösterimi.....	11
Şekil 2.5.	Membran yöntemler ile ayırma yönteminin şematik gösterimi.....	11
Şekil 2.6.	Deniz suyunun tuzsuzlaştırılmasında tuzluluğa bağlı olarak en yaygın kullanılan membran uygulamaları.....	12
Şekil 2.7.	Osmoz ve ters osmoz işleminin gösterimi.....	14
Şekil 2.8.	Ters osmoz tesisinin basit bileşenleri.....	14
Şekil 2.9.	Spiral sargılı membran modeli.....	16
Şekil 2.10.	Dünya'daki deniz yüzeyleri için tuzluluk değerleri.....	22
Şekil 2.11.	Avrupa Uzay Ajansı (ESA)'nın 2012 ve 2017 yılları sonunda uydular vasıtası ile elde ettiği deniz yüzeyi tuzluluk oranlarına ait veriler.....	23
Şekil 2.12.	Elektrodiyaliz işleminin basitçe çalışma prensibi.....	26
Şekil 2.13.	Membran yüzeyinde meydana gelen derişim polarizasyonu.....	37
Şekil 3.1.	Elektrodiyaliz sistemi şematik gösterimi.....	47
Şekil 3.2.	Laboratuvar ölçekli kurulan elektrodiyaliz sistemi (a) çıkış deniz suyu haznesi, (b) giriş deniz suyu haznesi, (c) pompa, (d) güç kaynağı, (e) elektrodiyaliz hücresi.....	47
Şekil 3.3.	Elektrodiyaliz hücresi (1) deniz suyu girişi (orta akış), (2) anolit çıkış suyu, (3) katolit çıkış suyu.....	48
Şekil 3.4.	Elektrodiyaliz hücresi bileşenleri (a) paslanmaz çelik dış çerçeve, (b) PTFE dış çerçeve, (c) PTFE iç çerçeve, (d) platinyum kaplı titanyum elektrot, (e) conta.....	49
Şekil 3.5.	PVDF'nin kimyasal yapı formülü.....	50
Şekil 3.6.	Membran modifikasyonunda kullanılan kimyasalların yapı formülü (a) CSA, (b) DBSA, (c) PTSA, (d) NMP, (e) anilin.....	51
Şekil 4.1.	Membranların ayrıık IR spektrumları (a) PVDF, (b) S-PVDF-CSA, (c) S-PVDF-DBSA, (d) S-PVDF-PTSA, (e) NMP-PVDF.....	54
Şekil 4.2.	PVDF, S-PVDF-CSA, S-PVDF-DBSA, S-PVDF-PTSA ve NMP-PVDF membranlarının birleşik IR spektrumları.....	55
Şekil 4.3.	PVDF, S-PVDF-CSA, S-PVDF-DBSA, S-PVDF-PTSA ve NMP-PVDF membranlarının 850-1100 cm ⁻¹ dalga sayısı aralığında yakınlaştırılmış IR spektrumları.....	56
Şekil 4.4.	Membranların x1000, x5000 ve x10000 büyütmede SEM görüntüleri (a) PVDF, (b) S-PVDF-CSA, (c) S-PVDF-DBSA, (d) S-PVDF-PTSA, (e) NMP-PVDF.....	57
Şekil 4.5.	S-PVDF-CSA membranının SEM-EDS görüntüsü (Kükürt elementi dağılımı).....	58
Şekil 4.6.	S-PVDF-DBSA membranının SEM-EDS görüntüsü (Kükürt elementi dağılımı).....	59
Şekil 4.7.	S-PVDF-PTSA membranının SEM-EDS görüntüsü (Kükürt elementi dağılımı).....	59
Şekil 4.8.	NMP-PVDF membranının SEM-EDS görüntüsü (Azot elementi dağılımı).....	60
Şekil 4.9.	(a) D1 membran çifti için anolit çıkış suyu voltaj değerlerine karşılık gelen akım değerleri (C: 20 g/l NaCl; 50 mL/dk debi) (b) D1 membran çifti için katolit çıkış suyu voltaj değerlerine karşılık gelen akım değerleri (C: 20 g/l NaCl; 50 mL/dk debi).....	64

Şekil 4.10.	(a) D2 membran çifti için anolit çıkış suyu voltaj değerlerine karşılık gelen akım değerleri (C: 20 g/l NaCl; 50 mL/dk debi) (b) D2 membran çifti için katolit çıkış suyu voltaj değerlerine karşılık gelen akım değerleri (C: 20 g/l NaCl; Q: 50 mL/dk debi).....	65
Şekil 4.11.	(a) D3 membran çifti için anolit çıkış suyu voltaj değerlerine karşılık gelen akım değerleri (C: 20 g/l NaCl; 50 mL/dk debi) (b) D3 membran çifti için katolit çıkış suyu voltaj değerlerine karşılık gelen akım değerleri (C: 20 g/l NaCl; Q: 50 mL/dk debi).....	66
Şekil 4.12.	D1 membran çifti için anolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde voltajın GV üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, I: 2 A, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23).....	68
Şekil 4.13.	D1 membran çifti için anolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde voltajın GMM üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, I: 2 A, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23).....	69
Şekil 4.14.	D1 membran çifti için anolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde voltajın ÖET üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, I: 2 A, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23).....	70
Şekil 4.15.	D1 membran çifti için katolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde voltajın GV üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, I: 2 A, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23).....	71
Şekil 4.16.	D1 membran çifti için katolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde voltajın GMM üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, I: 2 A, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23).....	72
Şekil 4.17.	D1 membran çifti için katolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde voltajın ÖET üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, I: 2 A, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23).....	73
Şekil 4.18.	D2 membran çifti için anolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde voltajın GV üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, I: 2 A, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23).....	75
Şekil 4.19.	D2 membran çifti için anolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde voltajın GMM üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, I: 2 A, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23).....	76
Şekil 4.20.	D2 membran çifti için anolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde voltajın ÖET üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, I: 2 A, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23).....	77
Şekil 4.21.	D2 membran çifti için katolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde voltajın GV üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, I: 2 A, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23).....	78
Şekil 4.22.	D2 membran çifti için katolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde voltajın GMM üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, I: 2 A, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23).....	79

Şekil 4.23.	D2 membran çifti için katolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde voltajın ÖET üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, I: 2 A, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23).....	80
Şekil 4.24.	D3 membran çifti için anolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde voltajın GV üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, I: 2 A, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23).....	82
Şekil 4.25.	D3 membran çifti için anolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde voltajın GMM üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, I: 2 A, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23).....	83
Şekil 4.26.	D3 membran çifti için anolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde voltajın ÖET üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, I: 2 A, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23).....	84
Şekil 4.27.	D3 membran çifti için katolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde voltajın GV üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, I: 2 A, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23).....	85
Şekil 4.28.	D3 membran çifti için katolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde voltajın GMM üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, I: 2 A, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23).....	86
Şekil 4.29.	D3 membran çifti için katolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde voltajın ÖET üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, I: 2 A, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23).....	87
Şekil 4.30.	D1 membran çifti için anolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde akımın GV üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23).....	89
Şekil 4.31.	D1 membran çifti için anolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde akımın GMM üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23).....	90
Şekil 4.32.	D1 membran çifti için anolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde akımın ÖET üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23).....	91
Şekil 4.33.	D1 membran çifti için katolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde akımın GV üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23).....	93
Şekil 4.34.	D1 membran çifti için katolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde akımın GMM üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23).....	94
Şekil 4.35.	D1 membran çifti için katolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde akımın ÖET üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23).....	95

Şekil 4.36.	D2 membran çifti için anolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde akımın GV üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23).....	96
Şekil 4.37.	D2 membran çifti için anolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde akımın GMM üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23).....	97
Şekil 4.38.	D2 membran çifti için anolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde akımın ÖET üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23).....	98
Şekil 4.39.	D2 membran çifti için katolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde akımın GV üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23).....	100
Şekil 4.40.	D2 membran çifti için katolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde akımın GMM üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23).....	101
Şekil 4.41.	D2 membran çifti için katolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde akımın ÖET üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23).....	102
Şekil 4.42.	D3 membran çifti için anolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde akımın GV üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23).....	103
Şekil 4.43.	D3 membran çifti için anolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde akımın GV üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23).....	104
Şekil 4.44.	D3 membran çifti için anolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde akımın ÖET üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23).....	105
Şekil 4.45.	D3 membran çifti için katolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde akımın GV üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23).....	107
Şekil 4.46.	D3 membran çifti için katolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde akımın GMM üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23).....	108
Şekil 4.47.	D3 membran çifti için katolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde akımın ÖET üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23).....	109
Şekil 4.48.	D1 membran çifti için anolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde debinin GV üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, I: 2 A, pH: 8.23).....	111

Şekil 4.49.	D1 membran çifti için anolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde debinin GV üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, I: 2 A, pH: 8.23).....	112
Şekil 4.50.	D1 membran çifti için anolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde debinin ÖET üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, I: 2 A, pH: 8.23).....	113
Şekil 4.51.	D1 membran çifti için katolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde debinin GV üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23).....	114
Şekil 4.52.	D1 membran çifti için katolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde debinin GMM üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, I: 2 A, pH: 8.23).....	115
Şekil 4.53.	D1 membran çifti için katolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde debinin ÖET üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, I: 2 A, pH: 8.23).....	116
Şekil 4.54.	D2 membran çifti için anolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde debinin GV üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, I: 2 A, pH: 8.23).....	118
Şekil 4.55.	D2 membran çifti için anolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde debinin GMM üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, I: 2 A, pH: 8.23).....	119
Şekil 4.56.	D2 membran çifti için anolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde debinin ÖET üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, I: 2 A, pH: 8.23).....	120
Şekil 4.57.	D2 membran çifti için katolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde debinin GV üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23).....	121
Şekil 4.58.	D2 membran çifti için katolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde debinin GMM üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, I: 2 A, pH: 8.23).....	122
Şekil 4.59.	D2 membran çifti için katolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde debinin ÖET üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, I: 2 A, pH: 8.23).....	123
Şekil 4.60.	D3 membran çifti için anolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde debinin GV üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, I: 2 A, pH: 8.23).....	125
Şekil 4.61.	D3 membran çifti için anolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde debinin GMM üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, I: 2 A, pH: 8.23).....	126

Şekil 4.62.	D3 membran çifti için anolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde debinin ÖET üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, I: 2 A, pH: 8.23).....	127
Şekil 4.63.	D3 membran çifti için katolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde debinin GV üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23).....	128
Şekil 4.64.	D3 membran çifti için katolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde debinin GMM üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, I: 2 A, pH: 8.23).....	129
Şekil 4.65.	D3 membran çifti için katolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde debinin ÖET üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, I: 2 A, pH: 8.23).....	130



TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 2.1.	Türkiye’de kıyı çizgisine sınırı bulunan yerleşim yerleri ve nüfus yoğunluğu.....	5
Tablo 2.2.	Nüfusa bağlı evsel su ihtiyacı.....	6
Tablo 2.3.	Membran prosesleri karakterleri-1.....	12
Tablo 2.4.	Membran prosesleri karakterleri-2.....	13
Tablo 2.5.	Ters osmoz tesislerinde membran öncesi yapılması gereken ön arıtım yöntemleri.....	15
Tablo 2.6.	Kıta içi su kaynaklarının sınıflarına göre Na ⁺ , Cl ⁻ ve TÇKM parametreleri için kalite kriterleri.....	18
Tablo 2.7.	Sulama sularının Schofield sistemine göre sınıflandırılması.....	19
Tablo 2.8.	Deniz suyu içerisinde bulunan bazı elementler ve konsantrasyonları.....	20
Tablo 2.9.	Denizlerdeki tuzluluğu meydana getiren iyonlar ve ağırlıkça bulunma oranları.....	21
Tablo 2.10.	Dünya üzerindeki farklı deniz sularının kimyasal özellikleri.....	21
Tablo 2.11.	Dünya üzerindeki çeşitli denizlerin tuzluluk oranları.....	22
Tablo 2.12.	Elektriksel iletkenlik değerleri ve tuzluluk sınıfları.....	25
Tablo 2.13.	Membran modifikasyonu ve tuz giderimi konusunda yapılan çalışmaların özeti.....	44
Tablo 3.1.	Giriş ve çıkış sularının tanımlanması.....	46
Tablo 3.2.	Karadeniz deniz suyuna ait özellikler.....	46
Tablo 3.3.	Elektrodiyaliz sisteminin bileşenlerinin işlevi ve özellikleri.....	47
Tablo 3.4.	Elektrodiyaliz hücresi bileşenleri.....	48
Tablo 3.5.	Modifikasyon sonucunda elde edilen yeni membranların tanımlanması.....	51
Tablo 3.6.	Elektrodiyaliz hücresine yerleştirilerek deneme yapılan membran grupları.....	52
Tablo 3.7.	Sınırlayıcı akım yoğunluğunun belirlenmesinde kullanılan membran çiftleri ve şartlar.....	53
Tablo 4.1.	Modifiye edilmiş membranların su tutma kapasitelerinin, taşınım sayılarının, seçici geçirgenliğinin, iyon iletkenliğinin ve iyon değiştirme (seçme) kapasiteleri.....	60
Tablo 4.2.	Çalışmada kullanılan deniz suyuna ait özellikler.....	62
Tablo 4.3.	D1 membran çifti anolit ve katolit çıkış suyu için voltaj değerlerine karşılık gelen akım değerleri (C: 20 g/l NaCl; Q: 50 mL/dk debi).....	63
Tablo 4.4.	D2 membran çifti anolit ve katolit çıkış suyu için voltaj değerlerine karşılık gelen akım değerleri (C: 20 g/l NaCl; Q: 50 mL/dk debi).....	64
Tablo 4.5.	D3 membran çifti anolit ve katolit çıkış suyu için voltaj değerlerine karşılık gelen akım değerleri (C: 20 g/l NaCl; Q: 50 mL/dk debi).....	65
Tablo 4.6.	D1 membran çifti için anolit su çıkışından alınan örnekler için deniz suyundan tuz gideriminde voltajın performans değerleri üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 µS/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, I: 2 A, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23).....	67
Tablo 4.7.	D1 membran çifti için katolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde voltajın performans değerleri üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 µS/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, I: 2 A, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23).....	71
Tablo 4.8.	D2 membran çifti için anolit su çıkışından alınan örnekler için deniz suyundan tuz gideriminde voltajın performans değerleri üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 µS/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, I: 2 A, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23).....	74

Tablo 4.9.	D2 membran çifti için katolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde voltajın performans değerleri üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, I: 2 A, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23).....	78
Tablo 4.10.	D3 membran çifti için anolit su çıkışından alınan örnekler için deniz suyundan tuz gideriminde voltajın performans değerleri üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, I: 2 A, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23).....	81
Tablo 4.11.	D3 membran çifti için katolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde voltajın performans değerleri üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, I: 2 A, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23).....	85
Tablo 4.12.	D1 membran çifti için anolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde akımın performans değerleri üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23).....	89
Tablo 4.13.	D1 membran çifti için katolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde akımın performans değerleri üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23).....	92
Tablo 4.14.	D2 membran çifti için anolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde akımın performans değerleri üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23).....	96
Tablo 4.15.	D2 membran çifti için katolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde akımın performans değerleri üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23).....	99
Tablo 4.16.	D3 membran çifti için anolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde akımın performans değerleri üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23).....	103
Tablo 4.17.	D3 membran çifti için katolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde akımın performans değerleri üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23).....	106
Tablo 4.18.	D1 membran çifti için anolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde debinin performans değerleri üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, I: 2 A, pH: 8.23).....	110
Tablo 4.19.	D1 membran çifti için katolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde debinin performans değerleri üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, I: 2 A, pH: 8.23).....	114
Tablo 4.20.	D2 membran çifti için anolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde debinin performans değerleri üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, I: 2 A, pH: 8.23).....	117
Tablo 4.21.	D2 membran çifti için Katolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde debinin performans değerleri üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, I: 2 A, pH: 8.23).....	121

Tablo 4.22.	D3 membran çifti için anolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde debinin performans değerleri üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, I: 2 A, pH: 8.23).....	124
Tablo 4.23.	D3 membran çifti için katolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde debinin performans değerleri üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, I: 2 A, pH: 8.23).....	128
Tablo 4.24.	Laboratuvar ölçekli kurulan elektrodializ sisteminin kurulum maliyeti.....	131
Tablo 4.25.	Laboratuvar ölçekli kurulan elektrodializ sisteminin işletim maliyeti.....	131
Tablo 4.26.	4000 m ³ /gün (2780 L/dk) kapasiteli elektrodializ sisteminin kurulum maliyeti.....	132
Tablo 4.27.	4000 m ³ /gün (2780 L/dk) kapasiteli elektrodializ sisteminin işletim maliyeti.....	132



1. GİRİŞ

Günümüzde su ihtiyacının sağlıklı, güvenli ve sürdürülebilir bir şekilde karşılanması birçok ülkenin gündemine aldığı önemli konulardan bir tanesidir. Hızlı nüfus artışı, kuraklık ve iklim değişikliği gibi etkenlerin su kaynaklarının güvenliği ve sürdürülebilirliği üzerinde tehdit oluşturduğu, sanayileşme ve turizm faaliyetlerinin artması ile birlikte su kaynaklarının hızlı bir şekilde tükenmeye başladığı görülmektedir. Artan su ihtiyacını karşılamak amacıyla yeraltı su kaynaklarına başvurulması mevcut su kaynaklarının ihtiyacı karşılamada yetersiz olduğunu göstermektedir.

Son yıllarda birçok ülke yeterli ve kaliteli su temini amacıyla idari ve ekonomik önlemler alma yolunda girişimlerde bulunmuştur. Bu girişimlerden bir tanesi de deniz suyunun tuzsuzlaştırılarak mevcut su kaynaklarına alternatif olarak yeni bir su kaynağı haline getirilmesi olmuştur. Özellikle su fakiri ve denize kıyısı olan birçok ülkenin su ihtiyacını karşılamada kaynak olarak deniz suyuna başvurduğu görülmektedir.

Deniz suyunun tuzsuzlaştırılmasında yaygın olarak termal yöntemler ve membran prosesleri kullanılmaktadır. Son yıllarda deniz suyunun tuzsuzlaştırılmasında membran proseslerin gelişmesi ve maliyetlerinin azalması, bu teknolojilerinin kullanımını cazip hale getirmiştir. Termal yöntemlerin beraberinde kurulan ısıtma tesislerinin emisyonları göz önüne alındığında membran proseslerin çevreye olan etkileri daha az olup yüksek enerji verimliliğine sahiptir. Ekosisteme katkı sağlayan membran prosesleri deniz suyunun tuzsuzlaştırılmasında önemli bir yere sahiptir.

Elektrodiyaliz yöntemi 2 nm'ye kadar tüm çözünmüş iyonik tuzları gidermede yüksek verime sahip olup düşük enerji gerektirmesi sebebiyle deniz suyunun tuzsuzlaştırılmasında tercih edilen bir yöntemdir. Elektrodiyaliz yönteminde itici kuvvet; elektriksel alandır ve işletme basıncına ihtiyaç duyulmamaktadır.

Bu tez çalışmasının amacı, elektrodiyaliz yönteminde kullanılan elektrodiyaliz hücre içerisine yerleştirilen membranların modifikasyonunun Karadeniz deniz suyunun tuzsuzlaştırılması üzerine etkisinin araştırılarak elektrodiyaliz yönteminin performansının değerlendirilmesidir. Tuzlu su kaynakları bakımında zengin olan ülkemizde gün geçtikçe artan tatlı su sıkıntısını aşmak ve giderek artan su ihtiyacını karşılamak için deniz suyunun tuzsuzlaştırılmasında elektrodiyaliz prosesinin uygulanabilirliğinin araştırılması ise çalışmanın önemini teşkil etmektedir.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Deniz Suyundan Tuz Giderme Yöntemleri

Onyedinci ve ondokuzuncu yüzyıllarda gemilerde tatlı su ihtiyacını karşılamak amacıyla basit damıtma yöntemleri uygulanmaya başlanmıştır. Deniz suyundan tatlı su elde etmek amacıyla buharlaşma prensibi ile kurulu ilk tesislerin 1928 yılında Hollanda, 1930 yılında Mısır ve 1938’de Suudi Arabistan’da olduğu bilinmektedir (El-Desseuky, 2002; Lattemann, vd., 2010). Hızla gelişen endüstriye paralel olarak bu tesislerin sayısında 1935 yılından 1960’lı yıllara kadar %17’lik bir artış gözlenmiştir (Bremere, vd., 2001).

Şeker ve tuz üretiminde hali hazırda kullanılmakta olan çok kademeli damıtma işlemi deniz suyundan tatlı su eldesinde de kullanılmaya başlanmış olup 1960’lı yıllarda yerini çok kademeli şok damıtma işlemine bırakmıştır (Lattemann, vd., 2010).

İlk geniş ölçekli distilasyon tesisi 450 m³/gün kapasite ile 1950 yılında Kuveyt’te kurulmuştur (Delyannis & Belessiotis, 2010). 1960’lı yıllarda dünyanın en büyük distilasyon tesisi 6000 m³/gün kapasite ile Manş adalarında kurulmuştur. Bu tesislerde gelişen teknolojiye bağlı olarak yapılan revizyon işlemleri sonucunda işletme maliyetlerinde %50 azalma gözlenmiştir (El-Desseuky, 2002).

1970’li yıllarda Japon üreticileri deniz suyundan tatlı su eldesinde özellikle çok kademeli şok damıtma işlemleri için önemli bir güç olarak pazarda yerini almıştır. 1980’li yıllarda düşük sıcaklıklı buhar sıkıştırmalı tesisler inşaa edilmeye başlanmıştır. 1990’lı yıllarda düşük sıcaklıklı tek ve çok kademeli damıtma tesislerinin tasarımına başlanmış ve işleme alınmıştır. 2000’li yıllarda yüksek verimli çok kademeli şok damıtma tesisleri kurularak işletilmeye başlanmıştır (El-Desseuky, 2002).

Deniz suyundan tuz gideriminde membranların kullanılması ilk olarak 1950’li yıllarda gündeme selüloz asetat membranların bulunması ile gündeme gelmiştir. Bu membranların düşük akıya sahip olması ile deniz suyundan tuz gideriminin oldukça zor olduğunu göstermiştir. 1960’lı yıllarda asimetrik selüloz membranların geliştirilmesi ile yüksek akı elde edilmiştir (Williams, 2003). 1963 yılında Kaliforniya üniversitesinde yüksek tuz giderimine sahip asimetrik selüloz membranlar Loeb ve Sourirajan tarafından keşfedilmiştir (M. Wilf vd., 2011). Yaşanan bu gelişmeler membranların deniz suyundan tuz gideriminde yaygın olarak kullanılabilirliğine işaret etmiştir (Williams, 2003).

Elektrodiyaliz işlemi ilk olarak 1960'lı yıllarda özellikle Amerika'da acı sulardan tuz giderme amacıyla kullanılmaya başlanmıştır.

Deniz suyundan tuz giderme amacıyla ters osmoz (TO) sistemleri 1970'li yıllarda kullanılmaya başlanmıştır (Buros, 1999).

Hızla gelişen ve ilerleyen teknoloji sayesinde membranlar sürekli olarak geliştirilmiştir. Yapılan geliştirmeler sayesinde süzüntü suyu miktarı 3 katına çıkmıştır. Aynı zamanda gelişmeler ile birlikte membran üretim maliyetleri de azalmıştır. 1980'li yıllar ile kıyaslama yapıldığında bugün kurulan tesislerin maliyetlerinin 30 kat azaldığı görülmüştür (Torunoğlu ve Orhon, 2010).

Deniz suyundan tatlı suyun elde edildiği tesis sayısı artan su ihtiyacına bağlı olarak hızla artmaktadır. 2006 yılı itibari ile dünyada deniz suyundan $44.1 \times 10^6 \text{ m}^3$ tatlı su elde edilmiştir. 2011 yılının sonunda bu rakam $66.5 \times 10^6 \text{ m}^3$ 'e ulaşmıştır (Anonim, 2021a). 2013 yılı itibari ile küresel kapasitenin $80.9 \times 10^6 \text{ m}^3$ olduğu Küresel Su İstihbaratı (GWI) tarafından ilan edilmiştir. Bu rakamların gelecekte daha fazla artacağı öngörülmektedir.

2007 yılında yayınlanmış olan rapora göre denizlerin, dünya çapında tuz gidermede kullanılan kaynaklar arasında %63 ile en büyük paya sahip olduğu açıklanmıştır. Denizleri %19'luk oran ile acı sular takip etmektedir.

Dünyada deniz suyundan tatlı su eldesinde termal damıtma işlemlerinin kullanım oranı %61 iken %35 oranında ters osmoz (TO) işleminden yararlanılmaktadır.

Deniz suyu %49'luk bir oranla günlük kapasitesi 50.000 m^3 'ten büyük tesislerde tuzsuzlaştırılmaktadır (Başaran, 2015).

Tuzsuzlaştırma için büyük ölçekli termal damıtma yöntemleri ile kurulmuş tesislere genel olarak Orta Doğu ülkelerinde rastlanmakta olup günlük kapasitesi $1.6 \times 10^6 \text{ m}^3$ 'e kadar kurulu tesisler mevcuttur. Orta Doğu ülkelerinin dışında deniz suyundan tatlı su eldesinde yaygın olarak TO işlemi kullanılmaktadır (Lattemann, vd., 2010).

2011 yılı itibari ile dünyada toplam 150 ülkede 300.000.000 insanın su ihtiyacını karşılayacak şekilde 15.988 sayıda tuzsuzlaştırma tesisinin bulunduğu Uluslararası Tuzsuzlaştırma Birliği (IDA) Dünya Kongresi sonuç bildirgesinde yayınlanmıştır (Başaran, 2015).

Dünyada deniz suyundan tatlı su elde eden en büyük ülke Suudi Arabistan'dır. Ülkede yıllık $2.07 \times 10^9 \text{ m}^3$ deniz suyunun tuzsuzlaştırılması gerçekleştirilmektedir.

Dünyada deniz suyundan üretilen tatlı suyun %18'ini meydana getirmektedir. 2025 yılında $5.2 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{gün}$ suyun, deniz suyundan karşılanması planlanmaktadır (Ouda, 2013). Tuzsuzlaştırma prosesleri olarak %14 TO ve %86 oranında termal yöntemler kullanılmaktadır.

Sahip olduğu ileri teknolojik imkanlar sayesinde İsrail deniz sularından tatlı su elde edilmesinde ileri arıtım tesislerine sahiptir (Kislev, 2011). Ülkede sınırlı tatlı su kaynaklarının bulunması bu alana eğilimi arttırmıştır (Fixler, 2011).

İsrail'de 2000 yılında deniz suyundan elde edilen tatlı miktarı $50 \times 10^6 \text{ m}^3$ iken bu rakam 2013 yılında $540 \times 10^6 \text{ m}^3$ 'e ulaşmıştır. Deniz suyun tuzsuzlaştırılmasında, ağırlıklı olarak deniz suyu kullanılmakta olup yaygın olarak TO tesisleri kullanılmaktadır.

Deniz suyunun tuzsuzlaştırılması çalışmalarına Çin'in 60 yıl önce başladığı bilinmektedir. Dünya nüfusunun %10'unu teşkil eden Çin'in nüfusunun %43'ü kıyı bölgelerde yaşamaktadır. Hızla artan nüfus ülkede mevcut su kaynakları ile su talebi arasındaki oranın bozulmasına neden olmuş ve Çin'de diğer ülkeler gibi tatlı su kaynağı olarak deniz suyuna başvurmuştur.

Çin'de 10'u büyük ölçekli olmak üzere toplam 75 adet tuzsuzlaştırma tesisi ile günlük $0.8-1.0 \times 10^6 \text{ m}^3$ tatlı su elde edilmektedir. Bu rakamın $2.5-3.0 \times 10^6 \text{ m}^3$ 'e çıkarılması hedeflenmektedir. Genellikle tuzsuzlaştırma işlemlerinde TO yöntemlerinin kurulmuş olduğu görülmektedir.

Deniz suyunun tuzsuzlaştırılması çalışmaları üzerine İspanya'da 1960'lı yıllarda yoğunlaşmıştır. İlk tuz giderme tesisleri Kanarya Adalarına kurulmuştur. Ülke turizme ve yeraltı sularının tuzlulaşmasına bağlı olarak su stresi altında bulunmaktadır. Yoğun olarak TO tesisleri deniz suyundan tatlı su elde edilmesi amacıyla kurulmuştur (Başaran, 2015).

Su zengini ülkeler arasında gösterilen Yunanistan su kalitesinde görülen kötüleşmeye bağlı olarak yaşanan su kıtlığı ve turizme bağlı olarak yaz mevsiminde artan nüfus nedeniyle de su sıkıntısı nedeni ile deniz suyunun tatlı su elde etme yoluna başvurmuştur. Ülkede toplam 157 adet tesiste bir günde 109.115 m^3 tatlı su elde edilmektedir. Elde edilen tatlı suyun %51'i deniz suyundan elde edilirken %41'i acı sulardan elde edilmektedir. Deniz suyundan tatlı su eldesinde genel olarak TO tesisleri kullanılmaktadır (Stefopoulou, vd., 2008).

Diğer su zengini ülkeler arasında yer alan Avustralya'da son yıllarda yağışların azalması ile barajlardaki su doluluk oranlarında ciddi azalmalara sebep olmuştur.

Artan su ihtiyacının karşılanması amacıyla tuzsuzlaştırma işlemlerine başvurulmuştur. Bu konuda ülke 50 yıllık bir tecrübeye sahiptir. Bir günde toplamda $1.7 \times 10^6 \text{ m}^3$ sudan tatlı su elde etme kapasitesine sahip tesis bulunmaktadır. Genel olarak tuzsuzlaştırma için TO tesisleri kurulmuştur. 2014 yılı sonu itibarıyla ülkede 9 adet büyük ölçekli TO tesisi bulunmaktadır.

Türkiye'nin adalar dahil sahip olduğu 8.333 km'lik kıyı şeridinin, %20.34'ü Karadeniz, %11.20'si Marmara, %33.66'sı Ege Denizi ve %20.07'si Akdeniz'de bulunmaktadır (Başaran, 2015).

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) analiz sonuçlarına göre kıyı çizgisine 10 büyükşehir il merkezi, 6 il merkezi ve 126 ilçe merkezinin sınırı bulunmaktadır.

Türkiye'nin toplam nüfusunun yaklaşık %40'ını kıyı bölgelerde yaşayan nüfus oluşturmaktadır. Ülkemizde geriye kalan %60'luk nüfus iç kesimlere yerleşmiş olup nüfus yoğunluğu kırsala yayılmıştır. Kıyıda olan yerleşim bölgelerinde nüfus yoğunluğu şehir merkezlerinde toplanmıştır. Nüfus yoğunluğunun olduğu kıyı bölgelerde önemli turizm faaliyetlerinin olması ve sanayi tesislerinin kurulması alışlagelmiş su kaynaklarının yetersiz hale getirmiştir.

Türkiye'de kıyı çizgisine sınırı bulunan yerleşim yerleri ve nüfus yoğunluğu Tablo 2.1'de gösterilmektedir (Anonim, 2020b).

Tablo 2.1. Türkiye'de kıyı çizgisine sınırı bulunan yerleşim yerleri ve nüfus yoğunluğu (Anonim, 2020b)

Yerleşim Yeri	İdare Türü	Nüfus
İstanbul	Büyükşehir	15519267
İzmir	Büyükşehir	4367251
Antalya	Büyükşehir	2511700
Mersin	Büyükşehir	1840425
Samsun	Büyükşehir	1348542
Kocaeli	Büyükşehir	1953035
Trabzon	Büyükşehir	808974
Tekirdağ	Büyükşehir	1055412
Ordu	Büyükşehir	754198
Muğla	Büyükşehir	983142
Yalova	İl	270976
Sinop	İl	218243
Rize	İl	343212
Giresun	İl	448400
Çanakkale	İl	542157
Bartın	İl	198249
Toplam Nüfus		33162183
Türkiye Nüfusu		83549972

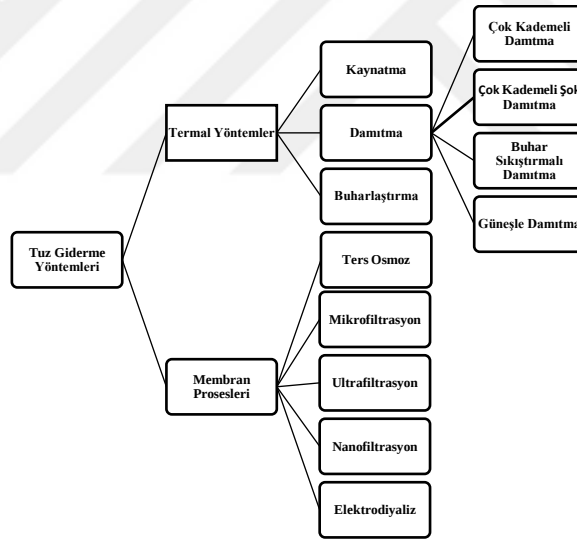
Su ihtiyacının karşılanması amacıyla kıyı bölgelerde bulunan 58 yerleşim yerinde yeraltı suyu, 42 yerleşim yerinde yüzey suyu ve 57 yerleşim yerinde hem yeraltı suyu hem de yüzey sularından faydalanılmaktadır.

Evsel su ihtiyacı, endüstriyel su ihtiyacı ve su kayıp kaçaklarının toplamı kentsel su ihtiyacını belirlemektedir. Tablo 2.2’de nüfusa bağlı olarak gerekli evsel su miktarları gösterilmektedir (Başaran, 2015).

Tablo 2.2. Nüfusa bağlı evsel su ihtiyacı (Başaran, 2015)

Nüfus (N) Kişi	Evsel Su İhtiyacı (q_{evsel}) (L/kişi/gün)
≤ 10000	70
$50000 < N \leq 100000$	80
$50000 < N \leq 100000$	100
$N > 100000$	120

Deniz suyundan tuz giderme yöntemleri yaygın olarak termal yöntemler ve membran prosesler olmak üzere 2 sınıfta değerlendirilmektedir. Bu sınıflar Şekil 2.1’de gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Deniz suyundan tuz giderme yöntemleri (Can ve Etemoğlu, 2002)

Deniz suyunun tuzsuzlaştırılmasında çok kademeli damıtma, çok kademeli şok damıtma, buhar sıkıştırılmalı damıtma ve güneşle damıtma yöntemleri en yaygın uygulanan termal yöntemlerdir. Mikrofiltrasyon (MF), ultrafiltrasyon (UF), nanofiltrasyon (NF), ters osmoz (TO) ve elektrodializ (ED) yöntemleri ise en yaygın uygulanan membran prosesleridir.

2.1.1. Termal Yöntemler

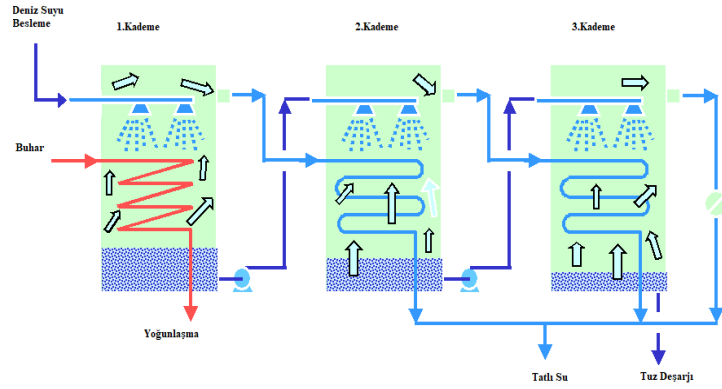
Su moleküllerinin ısı olarak sıvı halden gaz haline geçme olayına buharlaşma adı verilirken gaz moleküllerinin ısı vererek sıvı hale geçmesi olayına yoğunlaşma adı verilmektedir. Buharlaşma ve yoğunlaşma olayı birbirinin tersi olarak gerçekleşmektedir. Deniz suyundan tuz giderilmesi işlemleri buharlaşma ve yoğunlaşma olaylarına dayanmaktadır. Buharlaştırma işlemlerinin diğer adı termal işlemlerdir. Bu işlemlerde çoğunlukla ısı enerjisi kaynağı olarak termal enerji ve güneş enerjisi kullanılmaktadır. Ayrıca bu işlemlerde sıvı ve katı fazın birbirinden ayrılması gerçekleştiğinden bu işlemleri damıtma yöntemleri olarak tanımlamakta mümkündür.

Tuzlu bir çözelti olan deniz suyunun ısı olarak buharlaşma ile önce gaz haline geçmesi sağlanır. Daha sonra gaz haline geçen su moleküllerinin ısı vererek yoğunlaşma ile tekrar sıvı haline geçmesi sağlanır. Bu işlemler sonucunda tuz ve suyun farklı kanallarda toplanması sağlanarak fiziksel ayırım sonucu tuz giderme işlemi tamamlanmaktadır.

Tuzluluk oranı 45.000 mg/L'den fazla olan sularda daha düşük sıcaklık gerektirmesi sebebiyle termal damıtma yöntemleri vakum işlemleri ile birlikte uygulanmaktadır (Aydın ve Ardalı, 2012).

2.1.1.1. Çok Kademeli Damıtma Yöntemi

Çok kademeli damıtma yöntemi daha çok endüstriyel amaçlı olarak kullanılmaktayken yerini maliyet ve dayanıklılık açısından daha iyi olan çok kademeli şok damıtma işlemine bırakmıştır. Son on yılda yaşanan teknolojik gelişmeler beraberinde yapılan çalışmalar ile çok kademeli damıtma yöntemine olan ilginin yeniden artmasına neden olmuştur. Çok kademeli damıtma tesislerinde ihtiyaç duyulan ısıнын daha düşük olduğu görülmüştür (Vishwanathappa, 2005). Çok kademeli damıtma yöntemi de düşük basınçlarda birbirini takip eden kademelerden meydana gelmektedir (Abdul-Wahab ve Abdo, 2007). Çok kademeli damıtma yönteminin şematik gösterimi Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Çok kademeli damıtma yönteminin şematik gösterimi (Anonim, 2015)

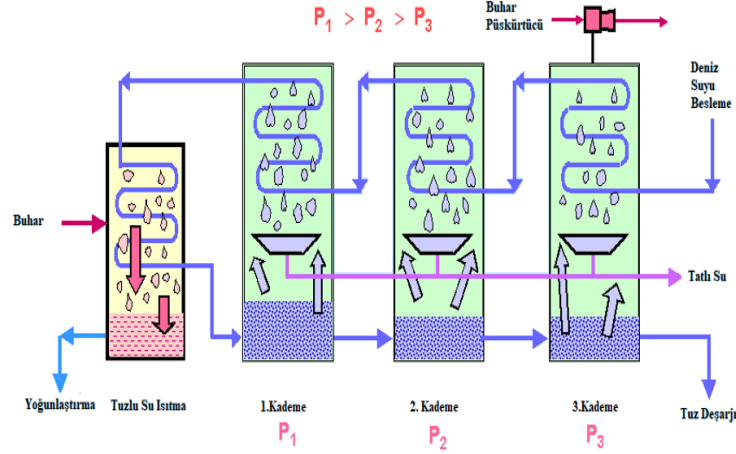
Çok kademeli damıtma tesisinde deniz suyu ısıtılmış su buharı dolu tüpler üzerine ani buharlaşma gerçekleştirmek üzere püskürtülür. Oluşan su buharı ikinci kademeye geçer ve burada buharlaşmanın tersine olarak yoğunlaşır ve tekrar toplanır (Ali vd., 2011).

Çok kademeli damıtma yönteminde seri halde yerleştirilen buharlaştırıcılar üzerine besleme suyu pompalanır ve kalan besleme suyunun ısısı diğer bir kademe için ısı enerjisi olarak kullanılır. Bu olaylar birbirini takip eder (Udono, 2005).

Tipik bir çok kademeli damıtma tesisi 8-16 kademedan oluşmakta olup işletme debisi 2000-10000 m³/gündür (Vishwanathappa, 2005).

2.1.1.2. Çok Kademeli Şok Damıtma Yöntemi

Çok kademeli şok damıtma yöntemi, en eski bilinen ve en iyi damıtma yöntemlerinden birisidir. Bu işlemde birbirine seri bağlı kademeler ile tuzlu suyun kaynama sıcaklığına kadar ısıtılması ile oluşan buharlaşma sonucunda soğutularak basıncının düşürülmesi sağlanarak tuz giderimi gerçekleştirilmektedir. Her bir kademede buharlaşan su yoğunlaştırılarak tuzundan ayrılmış suyun toplanması sağlanır. Çok kademeli şok damıtma yönteminin şematik gösterimi Şekil 2.3'te gösterilmektedir.



Şekil 2.3. Çok kademeli şok damıtma yönteminin şematik gösterimi (Anonim, 2015)

Planlanmış bir damıtma tesisi için kademe sayısının fazla olması verim ile birlikte maliyeti de arttırmaktadır. Son on yılda bu tesislerin maliyetinin giderek azaldığı görülmektedir.

Çok kademeli şok damıtma yönteminde deniz suyunun bir kanal içinde ısıtılması sonucunda oluşan su buharı daha sonra şoklama adı altında kanal boyunca daha düşük basınçlı yeni bir kademeye geçer ve burada kanala çarpan su buharı yoğunlaşarak toplanır. Döngü halinde devam eden bu işlem 4 ila 40 kademedan oluşabilir. En verimli işletme sıcaklığı 90-120 °C'dir. 120 °C'den yüksek sıcaklıklar metal yüzeylerde korozyona neden olabilmektedir (Vishwanathappa, 2005).

Çok kademeli şok damıtma yöntemleri Suudi Arabistan, Birleşik Arap Emirlikler ve Kuveyt gibi Orta Doğu ülkelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Birleşik Arap Emirliklerinde bulunan Shuweiat arıtma tesisi günde 75.000 m³ su damıtma kapasitesine sahip en büyük çok kademeli şok damıtma tesisidir (Vishwanathappa, 2005).

2.1.1.3. Buhar Sıkıştırırmalı Damıtma Yöntemi

Buhar sıkıştırırmalı damıtma yöntemi; buharlaştırma işleminin sürekliliğinin sağlanabilmesi için basıncın düşürülmesine dayanan yoğun ve etkili olan damıtma yöntemidir (Miller, 2003).

Kompresör yardımı ile yükselen sıcaklık ve basınç sonucunda oluşan buharın işlemde tekrar tekrar kullanılması avantajdır. Buhar sıkıştırırmalı damıtma yönteminde oluşan buhar, mekanik ve termal yöntemlerle sıkıştırılmaktadır (Sharqawy, vd., 2011).

Termal buhar sıkıştırırmalı damıtma yöntemi, kendiliğinden oluşan vakum sayesinde yüksek verimliliğe sahip olup işletilebilirliği kolay bir işlemdir. Bu işlemde

deniz suyu ısı değiştiricilerden geçirilerek sisteme püskürtme yolu ile verilmektedir. Ani ısı değişimi ile açığa çıkan buhar jet kompresörü yardımı ile sıkıştırılarak tatlı su eldesi gerçekleştirilmektedir (Miller, 2003).

Termal buhar sıkıştırmalı damıtma yöntemi için tasarlanmış tesisler genellikle çok kademeli olup ve 20000 m³/gün debi ile işletilmektedir (Lacoursire, 1994).

Mekanik buhar sıkıştırmalı damıtma yönteminde; ısı değiştirici içerisinde tatlı, tuzlu ve deniz suyu olmak üzere 3 farklı tip su geçmektedir. Bu işlemi diğer buhar sıkıştırmalı işlemlerden ayıran husus, oluşan su buharının bir kompresör vasıtası ile sıkıştırılmasıdır. Sıkıştırılan buhar aynı zamanda basıncının artmış olması sebebiyle tekrar deniz suyunun verildiği ısı değiştirici kanallarına verilmektedir. Böylelikle tekrar yoğunlaşma sağlanarak tatlı su eldesi gerçekleştirilmektedir.

Mekanik buhar sıkıştırmalı damıtma yöntemi için kullanılan enerji kaynağı mekanik enerji olup dünya çapında deniz suyu arıtım kapasitesinde %4'lk paya sahiptir (Udono, 2005).

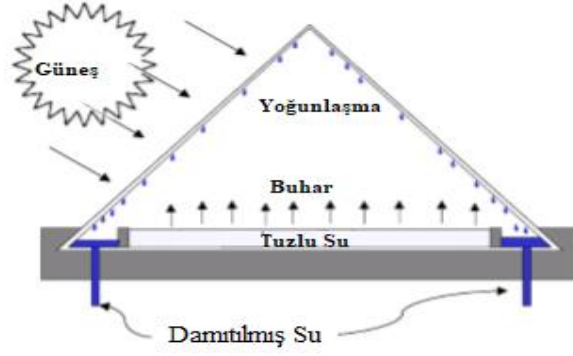
Mekanik buhar sıkıştırmalı damıtma yöntemine sahip tesisler tek kademeli olarak çoğunlukla otel ve sanayi tesislerinde 20-2000 m³/gün işletme debisinde işletilmektedir (Lacoursire, 1994).

2.1.1.4. Güneşle Damıtma Yöntemi

Güneşle damıtma yöntemi ile oluşturulan tesisler genellikle küçük olup basit şekli ile seraya benzemektedirler (Pankratz, 2008). Bu tesisler tatlı su eldesi için oldukça temiz teknolojiye sahiptirler (Miller, vd., 2005).

Güneşle damıtma yönteminde tesislerde kullanılan damıtıcılar faydalanılabilen güneş enerjisi miktarına göre aktif ve pasif güneş damıtıcı olarak sınıflandırılmaktadır. Sahadaki su derinliği, sahanın imal edildiği malzeme, rüzgar hızı, ışıma miktarı, sıcaklık ve güneş ışığının eğim açısı gibi parametreler damıtıcıların verimliliğini etkilemektedir.

Pasif güneş damıtma sistemlerinde su sıcaklığını arttıran enerji kaynağı yalnızca güneş olduğundan buharlaşma miktarı düşüktür. Buharlaşma miktarının arttırılması amacıyla termal enerji kaynağına ihtiyaç duyulmuş olması nedeniyle aktif güneş damıtma sistemleri geliştirilmiştir (Ayala vd., 2011). Güneşle damıtma yönteminin şematik gösterimi şekil 2.4' te gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Güneşle damıtma yönteminin şematik gösterimi (Miller, 2003)

Şekil 2.6’da gösterilen güneşle damıtma yönteminde güneş enerjisi eğimli geçirirli panel boyunca içeri girmektedir. Deniz suyunun, güneş enerjisinin emiliminin sağlanması amacıyla siyah tabanlı sığ bir havuzda tutulması ile ısıtılmış olan deniz suyu bir müddet sonra buharlaşmaya ve daha sonrasında ise yoğunlaşmaya başlar. Yoğunlaşan suyun toplanması sağlanarak tipik olarak 1 günde yaklaşık 1 m² su havuzu yüzeyinden 2.5-3 m³ tatlı su eldesi gerçekleştirilmiş olur (Miller, 2003; Udono, 2005).

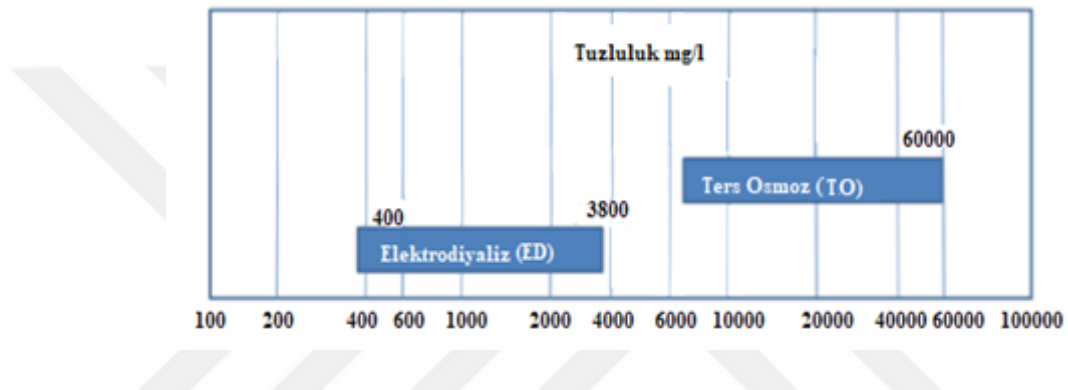
2.1.2. Membran Prosesleri

Birbirine karışmış iki ayrı fazı birbirinden ayıran seçici ve geçirgen özelliğe sahip genellikle besleme çözeltisindeki çözünmüş ve partikülleri ayırmada kullanılan aynı zamanda taşıma gerçekleştirme özelliğe sahip tabakaya membran adı verilmektedir. Membran üzerinden geçen besleme çözeltisi, tabaka üzerinden süzülerek geçen süzüntü ve membrandan geçemeyen kirlenici yoğunluğunun gözlemlendiği konsantre olmak üzere iki ayrı akımda membran ortamından ayrılmaktadır (Başaran, 2015). Membran prosesleri ile ayırma yönteminin şematik gösterimi Şekil 2.5’te gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Membran yöntemler ile ayırma yönteminin şematik gösterimi (Başaran, 2015)

Membranlar, özelliklerine ve tiplerine bağlı olarak çözelti içerisindeki bazı bileşenleri geçirirken bazılarının geçmesini engelleyerek yüzeylerinde veya gözeneklerini üzerinde tutmaktadır. Membran üzerinde ayırımın gerçekleşebilmesi için ayırma faktörü ve itici kuvvetler önemli parametrelerdir. Basınç değişimi (ΔP), konsantrasyon değişimi (ΔC), elektriksel potansiyel değişimi (ΔE) ve sıcaklık değişimleri (ΔT) membran ayırımında etkili olan itici kuvvetlerdir. Membran üzerinde en etkili olan itici kuvvet basınç değişimidir (Aslan, 2016). Deniz suyunun tuzsuzlaştırılmasında tuzluluğa bağlı olarak en yaygın kullanılan membran Yöntemler Şekil 2.6'da gösterilmektedir.



Şekil 2.6. Deniz suyunun tuzsuzlaştırılmasında tuzluluğa bağlı olarak en yaygın kullanılan membran uygulamaları (Başaran, 2015)

Deniz suyunun tuzsuzlaştırılmasında en yaygın uygulanan membran prosesleri TO ve ED'dir. TO daha çok tuz, çözünmüş madde ve organik madde miktarı yüksek olan deniz sularının tuzsuzlaştırılmasında uygulanmaktadır (Başaran, 2015).

Membran proseslerinin karakterleri ile ilgili bilgiler Tablo 2.3 ve Tablo 2.4'te gösterilmektedir.

Tablo 2.3. Membran prosesleri karakterleri-1 (Tchobanoglous, vd., 2004)

Membran Yöntemi	İtikleyici Kuvvet	Çapı (nm)	Uygulama Aralığı (μm)	İşletme Basıncı (Bar)	Debi (L/m^2sa)
Mikrofiltrasyon	Basınç Vakum	>50 nm	0.08-2.0	0.1-2	18.9-66.6
Ultrafiltrasyon	Basınç	2-50 nm	0.005-0.2	1-5	16.9-34
Nanofiltrasyon	Basınç	<2 nm	0.001-0.01	5-30	8.3-34.0
Ters Osmoz	Basınç	<2 nm	0.0001-0.001	20-100	13.30-20.41
Elektrodializ	Elektriksel Potansiyel Değişimi	<2 nm	-	-	-

Tablo 2.4. Membran prosesleri karakterleri-2 (Tchobanoglous, vd., 2004)

Membran Yöntemi	Süzüntü İçeriği	Giderilen İçerik	Membran Yapısı	Membran Çeşidi
Mikrofiltrasyon	Su, çözünmüş katılar	Askıda katı madde, bulanıklık, protozoa oocysts, cytys, bazı bakteriler, virüsler	Polipropilen, akrilonitril, naylon, politetraflorürü, etilen	Spiral sargılı, hollow fiber, levha tipi
Ultrafiltrasyon	Su, küçük moleküller	Makromoleküller, Kolloidler, birçok bakteri, bazı virüsler, proteinler,	Selüloz asetat, aromatik poliamids	Spiral sargılı, hollow fiber, levha tipi,
Nanofiltrasyon	Su, çok küçük moleküller, iyonik çözünmüşler	Küçük moleküller, sertliğin bir kısmı, virüsler	Selüloz asetat, aromatik poliamids	Spiral sargılı, hollow fiber, levha tipi
Ters Osmoz	Su, çok küçük moleküller, iyonik çözünmüşler	Çok küçük moleküller, renk, sertlik, sülfatlar, nitrat, sodyum, diğer iyonlar	Selüloz asetat aromatik poliamids	Spiral sargılı, hollow fiber, film kompozit
Elektrodiyaliz	Su, iyonik çözünmüşler	İyonik çözünmüş tuzlar	-	-

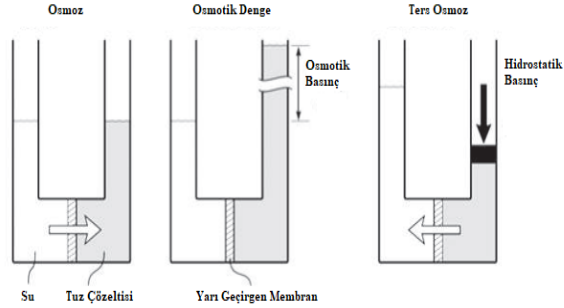
2.1.2.1. Ters Osmoz (TO)

Deniz suyunun tuzsuzlaştırılmasında TO membranları hızla gelişen bir teknoloji olup geniş çapta kullanılmaktadır (Greenlee, vd., 2009). Deniz suyu tuzsuzlaştırılması için uygulanan RO sistemlerinde sıcaklık ve tuz konsantrasyonu en önemli işletme parametreleridir (Wilf ve Bartels, 2005).

TO'da tuzlu su çözeltisinden çözünenlerin ayrılması işlemi basınç yardımı ile gerçekleşmektedir. Deniz suyu bir kanal içerisinde membrana doğru basınçlı bir şekilde iletilmektedir. Suyun membran boyunca geçmesi sağlanırken tuz membrandan karşı tarafa geçememektedir (Vishwanathappa, 2005).

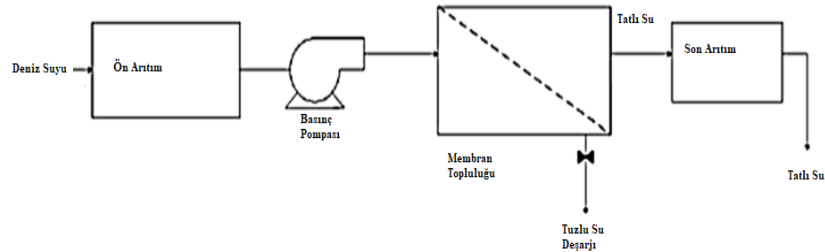
Osmoz işleminde yoğunluğu az olan sıvı çözelti yoğunluğu fazla olan sıvı çözeltiye doğru kendiliğinden hareket ederek yoğunluğu fazla olan çözeltiyi seyreltir ve bu işlem osmotik basınç dengeleninceye kadar devam eder. TO işleminde ise osmotik basınçtan daha büyük bir basınç uygulanarak ve oluşan ters akışla yüksek

yoğunluğa sahip sıvı çözelti içerisindeki maddeler membranın bir tarafında kalarak diğer tarafa düşük yoğunluklu su olarak geçmesi sağlanır (Arı, 2009). Osmoz ve ters osmoz işlemi Şekil 2.7’de gösterilmektedir.



Şekil 2.7. Osmoz ve ters osmoz işleminin gösterimi (Arı, 2009)

Deniz suyunun tuzsuzlaştırılması amacıyla kurulan bir ters osmoz tesisinde membranların işletiminde zorlukların en aza indirgenmesi amacıyla ön arıtım gerekmektedir (Aslan, 2016). Bir ters osmoz tesisinin basit bileşenleri Şekil 2.8’de gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Ters osmoz tesisinin basit bileşenleri (Vishwanathappa M., 2005)

TO tesislerinde membranların kirlenme nedeniyle tıkanarak performansının düşmesini engellemek amacıyla ön arıtım gerekli bir işlem olarak görülmektedir (Bonnelye, vd., 2004; Khajavi, vd., 2010; Yang, vd., 2009).

Ön arıtmada askıda katı madde ve mikroorganizma giderimi gerçekleşmektedir. (Leea, vd., 2010; Shon, vd., 2008; Ye, vd., 2010).

Bir TO tesisinde yapılması gereken ön arıtım yöntemleri Tablo 2.5’te gösterilmektedir.

Tablo 2.5. Ters osmoz tesislerinde membran öncesi yapılması gereken ön arıtım yöntemleri
(Çakmakcı, 2013)

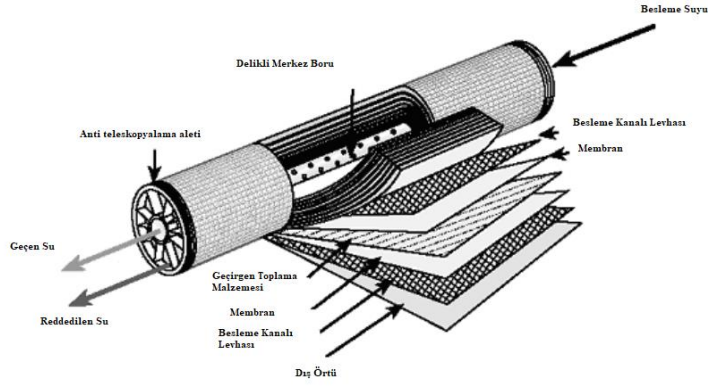
Kirletici	Zararı	Önlemi
Askıda katı madde (AKM), silt, kum	Membranlarda tıkanma, bozunma, bakteriyolojik kirlilik	Koagülasyon, flokülasyon, filtrasyon, kartuş filtreleme
Kalsiyum karbonat (CaCO_3), kalsiyum sülfat (CaSO_4)	Membranlarda kireçleme, tıkanma, bozunma, bakteriyolojik kirlilik	Besleme suyuna antiskalant kullanımı
Silika	Membranlarda kireçleme, tıkanma bozunma, bakteriyolojik kirlilik	Besleme suyuna kireç ve Antiskalant kullanımı
Organik madde Yağ ve Gres	Membranlarda tıkanma, bozunma, bakteriyolojik kirlilik	Koagülasyon, flokülasyon, difüzör havalandırma, aktif karbon filtrasyonu, kartuş filtreleme
Mikroorganizma	Membranlarda tıkanma, bozunma,	Klor ile dezenfeksiyon, ozon ile dezenfeksiyon
Serbest Klor	Bakteriyolojik kirlilik, Membran üzerinde oksidasyon	Besleme suyuna sodyum biosülfat kullanımı

TO tesislerinde seçilecek ön arıtım yöntemleri deniz suyunun karakterizasyonuna ve membranın malzemesine bağlıdır ve genellikle adsorpsiyon, koagülasyon, flokülasyon ve mikrofiltrasyon gibi İşlemlerdir. Ön arıtım İşlemleri için nanofiltrasyon ve mikrofiltrasyon işlemleri üzerinde çalışmalar yürütülmektedir (Aydın F., Ardalı, 2012).

Bir TO tesisinde ön arıtıma ek olarak suyun membran boyunca iletilmesini sağlamak amacıyla basınç sağlayıcı pompalar kullanılmaktadır. Deniz suları için gerekli olan basınç 800-1180 psig'dir (Vishwanathappa, 2005).

TO tesisinde membranlar yarı geçirgen ve hassastırlar. Genel olarak Polivinil klorür (PVC), polivinilidin florür (PVDF), polieter sülfon (PES) ve organik membranlar tercih edilmektedir (Aydın ve Ardalı, 2012).

TO tesislerinde en yaygın ve başarılı olarak kullanılan ticari membranlardan biri spiral sargılı modeldir. Spiral sargılı membran modeli Şekil 2.9'da gösterilmektedir. Kullanılacak membranın tasarımı deniz suyu konsantrasyonuna bağlıdır (Akgül vd., 2008).



Şekil 2.9. Spiral sargılı membran modeli

TO tesislerinde son arıtım kısmı suyun dengelenmesi, dağıtılması, pH ayarlanması ve gazlardan arındırma işlemlerini teşkil etmektedir (Darton ve Buckley, 2001; Vishwanathappa, 2005).

2.1.2.2. Mikrofiltrasyon (MF)

Çapı 0.05 ile 2 μm aralığında olan makromolekülleri ve askıda katıları ayırmada kullanılan MF işlemi düşük basınç (100-400 kPa) uygulamalı olup kullanılan membranların gözenek boyutu 0.1-1.4 μm 'dir. Nişasta, bakteri, yağ, maya, silt ve algleri mikrofiltrasyon yöntemi ile gidermek mümkündür.

MF yaygın olarak su ve atıksuların arıtımında, metal ve boya endüstrisi atıksularının arıtımında, doğal ve organik sentetik maddelerin ayırımında ve nanofiltrasyon ve ters osmoz işlemine bir ön arıtım prosesi olarak kullanılmaktadır.

Su ve atıksu arıtma işlemlerinde yaygın olarak spiral sargılı, tübüler ve hallow fiber modüller kullanılmaktadır. Spiral sargılı olanların temizliğinin tübüler ve hallow fiber olanlara kıyasla zor olması sebebiyle daha az tercih edilmektedir (Aslan, 2016).

2.1.2.3. Ultrafiltrasyon (UF)

Çapı 0.1 – 0.01 μm aralığında olan partikülleri ayırmak amacıyla kullanılan fiziksel bir filtrasyon sürecidir. UF membranları için tipik molekül ayırma sınırı yaklaşık 1.000 - 100.000 kg/kmol arasındadır. UF işlemi için uygulanan basınç 1 ile 15 bar arasındadır (Dedebaş, 2009).

UF membranları ile genellikle kolloidal maddeler, askıda katı maddeler, yüksek molekül ağırlıklı maddeler ve bakteriler giderilebilmektedir. Ultrafiltrasyon membran süreçleri genellikle tekstil, gıda, ilaç, kimya (yağ-su karışımları, boya geri kazanımı), süt, kağıt, deri endüstrilerinde kullanılmaktadır (Zengin, 2014).

2.1.2.4. Nanofiltrasyon (NF)

İyonik yükü yüksek ve moleköl ağırlığı 200'den büyük olan organikleri içeren çözeltileri düşük basınç ile NF ile gidermek mümkündür (Topacık, 2006). TO ile UF membranları arasında olan NF membranları için uygulanan basınç genellikle 5–30 Bar'dır (Karakaş, 2008). İşletme kolaylığı, güvenilirliği, göreceli olarak az enerji harcaması ve yüksek verimli çalışması nanofiltrasyonun avantajları olarak sayılabilir (Eriksson, 1988). Ağır metal gideriminde kullanılabilirliği yönünde çalışmalar ve araştırmalar mevcuttur (Strathmann, 2010).

2.1.2.5. Elektrodializ (ED)

Membran arıtım yöntemlerinde önemli role sahip olan elektrodializ yönteminin ana bileşenleri iyon değiştirici membranlardır (Sadrazadeh, vd., 2007). Elektrodializ işlemi, adından da anlaşılabilir olduğu gibi elektroliz ve diyaliz işlemlerinin bir araya gelmesi ile teşkil edilmektedir (Ergün, 2008). Diyaliz işleminin verimliliğini arttırmak amacıyla sisteme elektrotlar yardımı ile akım uygulanması sonucu meydana çıkmıştır (Çetin, 2006).

Diyaliz işleminde, anyon ve kation değiştirici membranlar ile iyon transferini gerçekleştirildiğinde yüklü iyonlar denge sağlanıncaya kadar karşı tarafa geçmeye devam etmektedir. Bu dengeye Donnan dengesi adı verilmektedir. Donnan dengesi, membran tarafından ayırımı meydana gelmiş iki çözelti arasındaki dengedir (Coşkun K., 2009). Donnan dengesi adı altında meydana gelen diyalize de Donnan diyalizi adı verilmektedir (Ogumi vd., 1992). Donnan diyalizine akım uygulanması ile ayırımın gerçekleştirilmesi sonucunda elektrodializ meydana gelmektedir (Deveci, 2007).

2.2. Deniz Suyunun Tuzsuzlaştırılması İşlemi Sonrasında Kullanımı

Son yıllarda kuraklık ve iklim değişikliği gibi etkenler konvansiyonel olmayan su kaynaklarının su kaynağı olarak kullanılmasını gereklilik haline getirmiştir (CEDEX, 2008). Konvansiyonel olmayan su kaynaklarının konvansiyonel olan kaynaklara göre kullanım amacına göre arıtımı çok daha karışık ve yüksek maliyetlidir (Brewster, 1985).

Yaşanan teknolojik gelişmeler ile birlikte deniz suyundan tatlı su eldesi aşamalarındaki tuz giderme prosesi diğer konvansiyonel olmayan yöntemlere göre insan sağlığı açısından daha kontrol edilebilir ve uygulanabilir hale gelmiştir. Dünya'da su kullanım alanları enerji, sanayi, kentsel ve tarımsal alanlardır (Baran, 2021).

31.12.2004 tarih ve 25687 Resmi Gazetede yayınlanan “Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği” su ortamlarının kalite sınıflandırmaları ve kullanım amaçlarını, su kalitesinin korunmasına ilişkin planlama esasları ve yasaklarını, atıksuların boşaltım ilkelerini ve boşaltım izni esaslarını, atıksu altyapı tesisleri ile ilgili esasları ve su kirliliğinin önlenmesi amacıyla yapılacak izleme ve denetleme usul ve esaslarını kapsamaktadır (SKKY, 2004).

SKKY’de kullanım amaçlarının belirlenmiş olup olmadığına bakılmaksızın bütün su kaynaklarının dengeli ve sağlıklı ortamlar olarak muhafazası esasına göre, su kaynaklarının korunmasına ve kullanım planlanmasına temel teşkil etmek üzere, yapılmış veya yapılacak kullanım sınıflarına uygunluk açısından su kaynaklarından beklenen fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikler su kalitesi kriterlerini meydana getirmektedir.

Kıta içi yüzeysel suların, yeraltı sularının ve deniz sularının çeşitli kullanım amaçlarına göre sınıflandırılmasını su kalitesi kriterleri çerçevesinde sağlamak SKKY esaslarındandır.

SKKY ekinde yer alan Tablo 1’de kıta içi su kaynaklarının sınıflarına göre kalite kriterleri belirlenmiştir. Tablo 2.6’da Na^+ , Cl^- ve TÇKM (toplam çözünmüş katı madde) parametreleri için SKKY ile belirlenen Su kalite sınıfları gösterilmiştir.

Tablo 2.6. Kıta içi su kaynaklarının sınıflarına göre Na^+ , Cl^- ve TÇKM parametreleri için kalite kriterleri (SKKY, 2004)

Parametre (mg/l)	Su Kalitesi Sınıfları			
	1	2	3	4
Sodyum iyonu (Na^+)	125	125	250	>250
Klorür iyonu (Cl^-)	25	200	400	>400
Toplam çözünmüş madde	500	1500	5000	>5000

Sulama sularının kalitelerinin yani kullanım için uygunluklarının belirlenmesinde göz önüne alınacak en önemli kriterlerden birtanesi de TÇKM’dir.

Bilindiği gibi tuzlar toprak çözeltisi içerisinde osmotik basınca neden olduklarından bitkinin su kullanımını azaltmaktadır. Bu durumda bitkiler kuraklık etkisinde kalan bitkilerin gösterdikleri tepkileri gösterirler ve turgorlarını kaybetmeye, yapraklarının sararmasına, solmasına ve devam etmesi halinde bitkinin ölmesine neden olurlar. Bu nedenle sulama sularının içerdiği toplam tuzluluk miktarı bir sınıflandırma kriteri olarak göz önüne alınır.

TÇKM konsantrasyonu, ölçümü kolay olduğundan ve çözelti tuz konsantrasyonu ile doğrusal bir ilişki göstermesinden ötürü, elektriksel iletkenlik

şeklinde, dS/m ya da milimhos/cm olarak, yaygın biçimde ifade edilmektedir. Bunun yanında toplam çözünmüş katılar şeklinde ppm ya da mg/L şeklinde de belirtilebilmektedir.

Schofield (1933) sistemi suların sulama amaçlı kullanımında ortaya atılmış ilk sınıflandırma sistemlerindendir. Tablo 2.7’de gösterilmekte olan bu sistemde sular EC (elektrik iletlenliği) ve % Na⁺ ve Cl⁻ konsantrasyon değerlerine göre 5 sınıf altında toplanmıştır.

Tablo 2.7. Sulama sularının Schofield sistemine göre sınıflandırılması (Baran, 2021)

Sınıflar	ECx 10 ⁶ , (25°C)	%Na	Cl ⁻ meq/l*
Mükemmel	<250	<20	<4
İyi	250-750	20-40	4-7
İzin verilebilir	750-2000	40-60	7-12
Şüpheli	2000-3000	60-80	12-20
Uygun değil	>3000	>80	>20

(*1 meq/l Cl⁻ = 78.96 ppm Cl⁻)

Cl⁻, belirli konsantrasyonların üzerine çıktığında, bitki organlarına zarar verdiğinden olumsuz etkiler yapmaktadır. Pek çok araştırmacı tarafından yapılan çalışmalar sonucunda şeftali ve diğer sert çekirdekli meyvelerde Cl⁻ iyonunun toksik etki yaptığı, narenciye, avokado, asma, soya, yonca, arpa, karnabahar, pamuk, patates, susam, şeker pancarı, ayçiçeği, domates gibi pek çok sayıda bitkide yaprak adsorpsiyonu ve yaprak yanmalarına neden olduğu ortaya konmuştur (Baran, 2021).

2.3. Deniz Suyu ve Özellikleri

Yeryüzündeki suların %97’sini oluşturan deniz sularının karakteristiğini belirleyen en önemli parametreler sıcaklık, basınç ve tuzluluktur. Bunlara ek olarak yoğunluk, çözünmüş gazlar, partikül maddeler ve pH gibi diğer parametrelerde deniz suyunun karakteristiğinin belirlenmesinde büyük öneme sahiptir. Enlem, tuzluluk, akıntılar ve rüzgar deniz suyunun sıcaklığı üzerinde etkiye sahip iken derinlik ise deniz suyunun basıncı üzerinde etkiye sahiptir. Tuzluluk deniz suyu içerisinde magnezyum klorür (MgCl₂) ve sodyum klorür (NaCl) gibi çözünmüş katıların bir göstergesi olup yağış ve buharlaşmadan etkilenmektedir (Aydın ve Ardalı, 2012).

Yeryüzünde var olduğu bilinen 92 elementin hemen hemen hepsinin deniz sularına geçmiş olduğu ölçümlerle tespit edilmiştir. Tablo 2.8’de deniz suyunda tespit edilen bazı elementlerin ve çözünmüş formlarının konsantrasyonları hakkında bilgi verilmektedir (Brown, vd., 2004).

Tablo 2.8. Deniz suyu içerisinde bulunan bazı elementler ve konsantrasyonları (Brown, vd., 2004)

Element	Konsantrasyon (mg/L)	Element	Konsantrasyon (mg/L)
Klor (Cl)	19500	Fosfor (P)	6×10^{-2}
Sodyum (Na)	10770	İyot (I)	6×10^{-2}
Magnezyum (Mg)	1290	Baryum (Ba)	2×10^{-2}
Kükürt (S)	905	Uranyum (U)	3.2×10^{-3}
Kalsiyum (Ca)	412	Vanadyum (V)	2×10^{-3}
Potasyum (K)	380	Arsenik (As)	2×10^{-3}
Brom (Br)	67	Titanyum (Ti)	1×10^{-3}
Karbon (C)	28	Çinko (Zn)	5×10^{-4}
Azot (N)	11.5	Nikel (Ni)	4.8×10^{-4}
Oksijen (O)	6	Alüminyum (Al)	4×10^{-4}
Bor (B)	4	Bakır (Cu)	1×10^{-4}
Flor (F)	1.30	Demir (Fe)	5.5×10^{-5}
Argon (Ar)	0.43	Manganez (Mn)	3×10^{-5}
Lityum (Li)	0.18	Helyum (He)	6.8×10^{-6}
Rubidyum (Rb)	0.12	Kalay (Sn)	6×10^{-7}

Deniz suyu, aynı zamanda yaşayan deniz canlılarından kaynaklanan organik kirleticileri de içermektedir. Bütün molekül tiplerini içermekte olan bu kirleticilerin tuzla birlikte hem içme suyu standartlarını sağlamak hem de termal ve membran tuzsuzlaştırma sistemlerinin tıkanmasını önlemek amacı ile giderilmesi gerekmektedir. Bunların dışında alg patlamaları bulanıklığa ve toplam organik karbonda artışa sebep olmaktadır. Bunun sonucunda membranlar daha hızlı tıkanmaktadır. Toplam organik karbondaki artış, membranların üzerinde gelişebilecek bakteriler için besin sağlamaktadır. Bu gibi durumlarda sıklıkla sensörler kullanılarak oluşumun saptandığı anda membranın beslenmesi durdurulmaktadır (Ali vd., 2011).

2.3.1. Deniz Suyunun Sıcaklığı

Güneş ışınları ile ısınan denizler ısıyı kendi bünyelerinde tutabilme özelliğine sahiptir. Güneş ışınları denizlerde 100 m derinliğe kadar ulaşabilmek ile birlikte büyük kısmı 10 m'de absorblanmaktadır. Denizin derinlerine inildikçe sıcaklığın azaldığı bilinmektedir (Brown vd., 2004).

Deniz suyunun ısıyı iletme kapasitesi düşük olduğundan su içerisinde 200-300 m derinliklere kadar ısı transferi dalgalar, rüzgarlar ve diğer etmenler ile meydana gelen karışım sayesinde gerçekleşmektedir (Brown, vd., 2004).

2.3.2. Deniz Suyunun Tuzluluğu

Tuzluluk 1000 g deniz suyu içerisindeki çözünmüş katı maddelerin konsantrasyonunun gram cinsinden değeri olarak ifade edilmektedir.

Deniz suyunda tuzluluk, başta klorür (Cl⁻) iyonu olmak üzere çeşitli iyonlar ve minerallerin çözünmesinden kaynaklanmaktadır. Deniz suyunda bütün bu çözünmüş

minerallerin ve Cl^- iyonlarının tamamı toplam çözünmüş katı maddeler (TÇKM) olarak adlandırılmaktadır. Deniz suyunun ağırlıkça ortalama %3.5'i TÇKM'yi içermektedir. Minerallerin yeryüzündeki kayaların çözünmesi sonucu meydana geldiği bilinirken Cl^- iyonlarının ise yeryüzünün oluşumu sırasında meydana gelen volkanik hareketler sonucu açığa çıkan hidroklorik asit (HCl) gazından ileri geldiği bilinmektedir.

Denizlerdeki tuzluluk derecesi tuzluluğu meydana getiren iyon konsantrasyonu, girişimde bulunan acı, tatlı ve tuzlu sular, buharlaşma ve yağışlar ile bağlantılıdır. Denizlerdeki tuzluluğun yaklaşık %99.9'unu meydana getiren 11 iyon ve ağırlıkça bulunma oranları Tablo 2.9'da gösterilmektedir (Brown, vd., 2004).

Tablo 2.9. Denizlerdeki tuzluluğu meydana getiren iyonlar ve ağırlıkça bulunma oranları (Başaran, 2015)

İyon	Gösterimi	% Ağırlık	Toplam
Klorür	Cl^-	1.90	Negatif İyonlar %2.20
Sülfat	SO_4^{-2}	0.26	
Bikarbonat	HCO_3^-	0.01	
Bromür	Br^-	0.01	
Borat	H_2BO_3^-	0.01	
Florür	F^-	0.01	Pozitif İyonlar %1.26
Sodyum	Na^+	1.05	
Magnezyum	Mg^{+2}	0.13	
Kalsiyum	Ca^{+2}	0.04	
Potasyum	K^{+2}	0.04	
Stronsiyum	Sr^{+2}	0.01	
		Toplam	%3.45

Dünyada farklı denizlerden alınmış su örneklerinin incelenmesi sonucu tespit edilen kimyasal özellikler Tablo 2.10'da gösterilmektedir (Başaran, 2015).

Tablo 2.10. Dünya üzerindeki farklı deniz sularının kimyasal özellikleri (Başaran, 2015)

Parametre (mg/L)	Konum						
	1	2	3	4	5	6	7
TÇKM	40679	33300	35137	39151	37100	24400	19100
pH	8.1	7.7	8.0	8.3	8.3	8.3	8.2
HCO_3^-	162	175	141	159	146	187	157
SO_4^{-2}	3186	2280	2709	3010	2790	1860	1490
Cl^-	22599	26000	19370	21573	20500	13200	10420
Na^+	12200	10700	10779	11998	11544	7700	5930
Ca^{+2}	481	432	421	455	1302	282	226
Mg^{+2}	1557	1290	1293	1446	415	853	646
K^{+2}	481	381	386	432	388	276	220

1. Batı Akdeniz, 2. Pasifik Okyanusu, 3. Atlantik Okyanusu, 4. Hint Okyanusu, 5. Doğu Akdeniz , 6. Marmara Denizi, 7. Karadeniz (Pankratz, 2008)

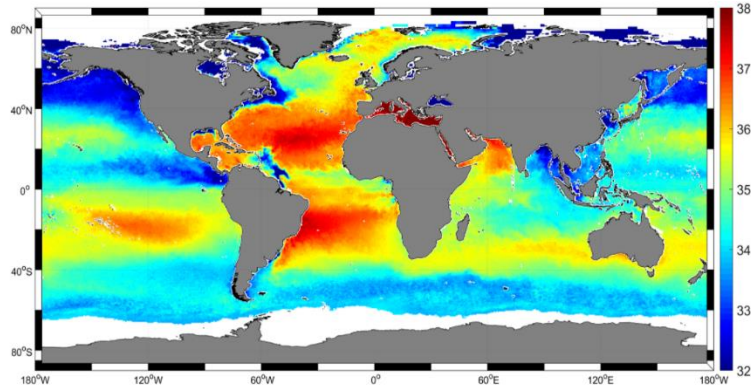
Deniz suyunun tuzluluğunun, derinliği boyunca meydana gelen karışımlar ve dış etkiler sonucunda farklılaştığı bilinmektedir. En büyük ve hızlı değişimin denizin 100 m ile 1000 m arasındaki derinliklerde olduğu gözlemlenmiş olup bu tabakaya haloklin tabaka adı verilmiştir. Bu tabakadaki tuzluluk değişimi sıcaklık ve çözülmüş oksijen ile bağlantılıdır (Brown, vd., 2004).

Dünya üzerindeki çeşitli denizlerin tuzluluk oranları Tablo 2.11’de gösterilmektedir.

Tablo 2.11. Dünya üzerindeki çeşitli denizlerin tuzluluk oranları (Janisch, 1994)

Denizler	Tuz Konsantrasyonu (‰)
Standart Deniz Suyu	35
Baltık Denizi	7
Hazar Denizi	13
Pasifik Okyanusu	34
Atlantik Okyanusu	36
Kızıldeniz	43
Basra Körfezi	43
Karadeniz	18
Marmara Denizi	22
Ege Denizi	38
Akdeniz	43

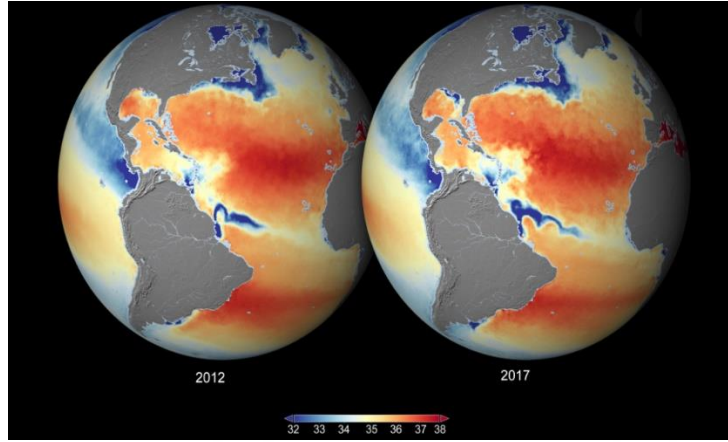
Büyük su kütleleri arasında buz tabakalarının erimesinden kaynaklanan tatlı su girişimleri ile tuzluluk oranları farklılık göstermektedir. Şekil 2.10’da Avrupa Uzay Ajansı (ESA)’dan 2019 yılında elde edilen deniz yüzeyleri tuzluluk oranları gösterilmektedir.



Şekil 2.10. Dünya’daki deniz yüzeyleri için tuzluluk değerleri (Reul, vd., 2020)

Avrupa Uzay Ajansı (ESA) İklim Değişikliği Girişimi (CGI) projesi ile okyanusların yüzeylerindeki tuzluluğun son zamanlarda gündemde olan iklim değişikliğine etkisini incelemek için deniz yüzeyinin tuzluluk seviyesini gösteren tuzluluk oranı haritalarını uydu yardımı ile çıkartmıştır. Yapılan çalışmalar ile 1950’lerden bu yana tuzlu olan bölgelerin tuz oranının arttığı, daha az tuzlu olan

bölgelerin tuz oranının ise daha da azaldığı görülmüştür. Şekil 2.11’de Avrupa Uzay Ajansı’nın 2012-2017 yılları sonunda uydular yardımı ile elde ettiği deniz yüzeyi tuzluluk oranları gösterilmektedir (Reul, vd., 2020).



Şekil 2.11. Avrupa Uzay Ajansı (ESA)’nın 2012 ve 2017 yılları sonunda uydular vasıtası ile elde ettiği deniz yüzeyi tuzluluk oranlarına ait veriler (Anonim, 2020a)

Tuzluluk ölçümü için gravimetrik yöntemlerin kullanılmasının oldukça zor olması sebebiyle yaygın olarak titrasyon metodu ile Cl^- tayini metodu kullanılmaktadır. Tayin edilen Cl^- miktarından Eşitlik 2.1’de gösterilen ampirik formül ile tuzluluk miktarı hesaplanabilmektedir (Başaran, 2015).

$$S = 1.80655 \text{Cl}^- \quad (2.1)$$

Elektriksel iletkenliğin cihazlar ile ölçülmesi ile Eşitlik 2.2’de gösterilen ampirik formül ile deniz suyu tuzluluk oranı (R) hesaplanabilmektedir.

$$R = \frac{\text{Deniz Suyunun İletkenliği}}{\text{Standart KCl Çözeltisinin İletkenliği}} \quad (2.2)$$

R_{15} değeri 15 °C ve 1 atm basınçtaki şartlarda elde edilerek Eşitlik 2.3 ile tuzluluk hesaplanabilmektedir.

$$S = 0.008 - (0.1692 R_{15}^{1/2}) + (25.3851 R_{15}) + (14.0941 R_{15}^{3/2}) - (7.0261 R_{15}^2) + (2.7081 R_{15}^{5/2}) \quad (2.3)$$

Tuzluluğun hesaplanmasında kullanılan diğer bir alternatif ise bilgisayar algoritmalarının kullanılmasıdır (Brown, vd., 2004).

2.3.3. Deniz Suyunun Yoğunluğu

Deniz suyunun yoğunluğunu etkileyen faktörler; sıcaklık, basınç, derinlik ve tuzluluktur. Deniz suyunun yoğunluğu 4 °C’deki yoğunluğu 1000 kg/m³ olan saf suyun

yoğunluğundan fazla olup 1025 kg/m^3 'tür. Denizlerde yoğunluk genellikle derinlere inildikçe artmaktadır. Derinliğe bağlı olarak yoğunluğun hızlı bir şekilde değiştiği tabakaya pinoklin adı verilmektedir (Can ve Etemoğlu, 2002).

2.3.4. Deniz Suyunun İletkenliği

Suyun elektrik akımını iletebilme özelliğinin sayısal olarak ifade edilmesine elektriksel iletkenlik adı verilmektedir.

Suların elektriksel iletkenliği, iyonların suda varlığına, toplam derişimine, hareketliliklerine ve sıcaklığa bağlıdır. Sıcaklık arttıkça iletkenliğin arttığı bilinmektedir (Hem, 1985).

Su içindeki hidrojen (H^+) ve hidroksit (OH^-) iyonlarının iletkenlik üzerinde etkileri yok denecek kadar azdır. Bu durum saf suyun iletkenliğinin iletkenlik ölçeğinin başlangıcı olarak kabul edilmesine neden olmaktadır. Ölçü birimi olarak siemens/cm (S/cm) veya $1/\text{ohmcm}$ ($1/\Omega\text{cm}$) kullanılmaktadır. Saf suyun iletkenliği $0.055 \mu\text{S/cm}$ civarındadır (Anonim, 2021b).

Sudaki iyonların derişimindeki artış ile elektriksel iletkenliğin artması, dolaylı olarak toplam iyon derişimi ve tuzluluk hakkında iyi bir göstergedir (Day ve Nightingale, 1984).

Yapılan çalışmalar ile deniz sularının iletkenliğinin, yaz aylarında, kar sularının erimesine bağlı olarak kış aylarına göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir (Özyurt, vd., 2001).

Deniz sularının mineral ve iyon zenginliğini gösteren en önemli parametrelerden birisi de TÇKM'dir (Bharadwaj, vd., 2002). Tabiatta suların sınıflandırılması kaynakların TÇKM içeriğine göre yapılmıştır. 1500 mg/L TÇKM değeri "tatlı su" kaynakları için üst limittir. $1000\text{-}5000 \text{ mg/L}$ aralığındaki TÇKM değerine sahip sular genel olarak "acı su" olarak tabir edilirken $5000\text{-}15000 \text{ mg/L}$ aralığındaki TÇKM değerine sahip sular "çok acı su" ve daha yüksek konsantrasyonlarda TÇKM içeren sular, "tuzlu su" olarak tabir edilmektedir (Anonim, 2021b).

Sudaki iyonların derişimindeki artış ile elektriksel iletkenliğin artması dolaylı olarak TÇKM hakkında iyi bir göstergedir (Day ve Nightingale, 1984).

TÇKM değeri arttıkça iletkenlik artar. İletkenlik değerini, ölçme tekniği TÇKM ile iletkenlik arasındaki ilişkiye dayanan taşınabilir ölçüm cihazları ile tayin etmek mümkündür. Bu cihazlar ile suyun iletkenliğine karşılık gelen TÇKM değerini tespit etmek mümkündür.

Taşınabilir iletkenlik ölçen cihazların kalibrasyonu ölçüm sonuçları için önem arz etmektedir. Kalibrasyonları titizlik ile takip edilmiş cihazlar için 1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ cinsinden iletkenlik değeri yaklaşık 0.5 mg/L TÇKM değerine karşılık gelmektedir (Anonim, 2021b).

Elektriksel iletkenlik değerleri ve bu değerlere karşılık gelen tuzluluk sınıfları Tablo 2.12’de gösterilmektedir (Durhasan, 2006).

Tablo 2.12. Elektriksel iletkenlik değerleri ve tuzluluk sınıfları (Durhasan, 2006)

Elektriksel İletkenlik ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Tuzluluk sınıfı
0-100	Tuzsuz
100-250	Az Tuzlu
250-750	Orta Tuzlu
750-2250	Yüksek Tuzlu
2250’den büyük	Çok Yüksek Tuzlu

İletkenlik ile bağlantılı olarak sularda TÇKM, iyon ve minerallerin zenginliğini gösteren bir parametredir.

2.3.5. Deniz Suyunda Bulunan Partikül Maddeler

Deniz suyunda bulunan partikül maddelerin nehirler ve rüzgarlar yoluyla ile taşındığı ve volkanik faaliyetler sonucu meydana geldiği bilinmektedir. Bunların yanı sıra denizlerde meydana gelen biyolojik faaliyetler sonucu oluşan atıklarda partikül madde kaynağıdır. Boyutları 100 μm ’den büyük olan bu partiküller deniz tabanına hızlı bir şekilde çökerler. Boyutları 100 μm ’den küçük olan partiküller oldukça yavaş çökerek yüzeye yakın yerlerde toplanırlar (Brown, vd., 2004).

2.3.6. Deniz Suyunda Bulunan Çözünmüş Gazlar

Deniz suyundaki gazların kaynağının hava ile deniz yüzeyi arasında meydana gelen gaz alışverişi olduğu bilinmektedir. Ayrıca denizlerde meydana gelen biyolojik aktivitelerinde denizlerdeki oksijen (O_2) ve karbondioksit (CO_2) içeriğinde etkili olduğu bilinmektedir. Deniz suyunda gazların çözünürlüğünü etkileyen parametreler tuzluluk, sıcaklık ve basınçtır. Gazların çözünürlüğünün tuzluluk ve sıcaklık ile azaldığı basınç ile arttığı bilinmektedir. Deniz yüzeyinde gazlar dalgalar, sıcaklık değişimi ve difüzyon ile dağılırken derinliklerde daha çok akıntı ve türbülanslar ile dağılmaktadır.

Deniz sularında en yüksek içeriğe sahip olan CO_2 gazı yüksek basınç altında çözünerek karbonik asite dönüşmektedir.

Deniz sularının yüzeyinde O_2 miktarının dalga hareketleri sonucunda fazla olduğu bilinmektedir. Denizlerde yaşayan fitoplankton ve alglerin fotosentez

sonucunda oksijen miktarını arttırdığı bilinmektedir. Deniz yüzeyinden derinliklere gidildikçe O₂ miktarının azaldığı görülmektedir (Brown, vd., 2004).

2.3.7. Deniz Suyunun pH Değeri

Deniz suyunun pH değerini daha çok içeriğindeki karbonlu bileşikler belirlemektedir. CO₂ gazı asidik etki gösterdiğinden deniz suyunun pH değerini düşürmektedir. Bunun yanı sıra deniz suyunda bulunan karbonatlı bileşiklerin deniz suyu pH değerini arttırdığı bilinmektedir. Deniz suyunun nötre yakın olarak pH değerinin 7.8 – 8.2 arasında olduğu bilinmektedir.

Deniz suyunda derinliklere inildikçe sıcaklık azalmakta, basınç düşmekte ve buna bağlı olarak CO₂ çözünürlüğü artmaktadır. Bu sebeple derinliklere doğru gidildikçe deniz suyu pH değerinin düştüğü bilinmektedir (Brown, vd., 2004).

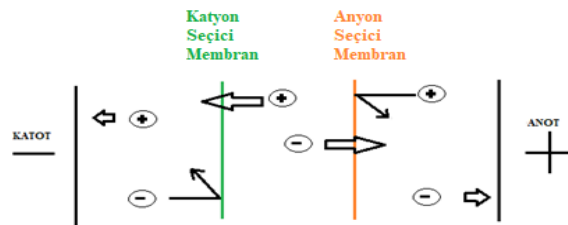
2.4. Elektrodializ Sistemi

Elektrodializ sistemi; elektrodializ hücre, pompa, güç kaynağı ve besleme suyundan meydana gelmektedir.

Elektrodializ sisteminin ana bileşeni elektrodializ hücredir. Elektrodializ hücresinin elektrotlar (anot ve katot), iyon seçici membranlar (anyon ve katyon seçici membranlar) meydana getirmektedir. Elektrodializ hücresinin verilen elektrik akımı ile birlikte iyonlar, iyon seçici membranlara doğru harekete geçer ve ayırım gerçekleştirilmiş olur. Katyonlar, katyon seçici membranlardan geçebilirken anyon seçici membranlardan geçemezler. Aynı şekilde anyonlarda, anyon seçici membranlardan geçebilirken katyon seçici membranlardan geçemezler (Çetin, 2006).

Elektrodializ işleminde difüzyon ve elektrik akımı en etkili mekanizmalardır (Tezakıl, 2008). Elektrodializ hücresinin tasarımı ve şekli giderilecek olan iyon konsantrasyonunda etkilidir (Valero, vd., 2020).

Elektrodializ işleminin çalışma prensibi basitçe Şekil 2.12’de gösterilmektedir.



Şekil 2.12. Elektrodializ işleminin basitçe çalışma prensibi (Aytaç, 2016).

Elektrodiyaliz hücrede anyon ve katyon seçici membranlar birbirlerinden contalar vasıtası ile ayrılmaktadır (Aytaç, 2016).

Bir elektrodiyaliz hücre içerisindeki iyon seçici membranların sayısı değişebilmek ile birlikte bir endüstriyel ölçekli elektrodiyaliz hücresinde 100 ile 200 adet arasında bulunabilmektedir. Genellikle uygulamalarda levha ve dolambaçlı akışlı yığın tasarımlı hücreler kullanılmaktadır. Levha akışlı elektrodiyaliz hücrelerinde membranlar dikey yerleştirilirken, dolambaçlı akışlı hücrelerde membranlar yatay yerleştirilmektedir (Strathmann, 2010).

Elektrodiyaliz hücre sistemleri en yaygın olarak deniz suyunun tuzsuzlaştırılmasında, birçok endüstride tuz ve asitin birbirinden ayırımında ve saf su üretimi işlemlerinde kullanılmaktadır (Aytaç, 2016).

Elektrodiyaliz işleminde akım sürekli ve kesikli şekilde teşkil edilirken membranlarda tıkanma, kirlenme ve bozulma problemleri yaşanabilmektedir (Karabacakoğlu, 2001).

Elektrodiyaliz sisteminin verimi; hücre çifti sayısı, uygulanan voltaj, debi, çözelti konsantrasyonu ve sıcaklık gibi parametrelerden etkilenmektedir. Suyun sertliği ve organik açıdan kirliliği de membran tıkanmalarına sebep olacağından verimi etkileyen diğer önemli parametrelerdir (Káňavová, vd., 2014).

Elektrodiyaliz işlemi; öncesinde basit bir ön arıtımın yeterli olması, düşük basınçta işletilebilmesi, yüksek basınçlı pompalara ihtiyaç duyulmaması, sessiz işletilebilmesi, membran koruyucuya ihtiyaç duyulmaması, işletme ve bakım maliyetinin düşük olması, iyon gideriminde yüksek verime sahip olması ve yüksek derişimli sularda etkili olması gibi avantajlara sahiptir. İyon dışındaki organik kökenli kirleticiler üzerinde etkili olmaması ve enerji ihtiyacı elektrodiyaliz işleminin dezavantajlarından (Scott, 1996).

Elektrodiyaliz işlemi tuzlu suyun tuzsuzlaştırılmasında 50 yılı aşkın süredir kullanılan bir yöntem olmak ile birlikte son yıllarda yaşanan gelişmeler ile gıda ve kimya olmak üzere çeşitli endüstrilerde de uygulanmaya başlanmıştır (Strathmann, 2010).

2.4.1. Elektrodiyaliz Sisteminin Oluşturan Parçalar

Bir Elektrodiyaliz sisteminin temeli elektrodiyaliz hücredir. Elektrodiyaliz hücreyi meydana getiren en önemli unsur içerisine yerleştirilen anyon ve katyon seçici membranlardır. Elektrotlar, güç kaynağı ve pompalar elektrodiyaliz sisteminin diğer önemli parçalarıdır.

Elektrodiyaliz hücre içerisindeki katot ve anot levha üzerindeki akım elektrotlar sayesinde üretilmektedir (Tezakıl, 2008). Elektrik akımı, doğru akım güç kaynağı (DC) tarafından sağlanmaktadır (Valero, vd., 2020). Elektrodiyaliz hücresi içerisindeki anot levhalarında korozyon oluşumunun önüne geçilebilmek amacıyla kullanılacak malzemenin gelen elektrik akımı ile çözünmemesi önemli bir husustur. Genellikle platin, titanyum, paslanmaz çelik ve grafit malzemeler kullanılmaktadır (Tezakıl, 2008). Ucuz ve kolay ulaşılabilir olması sebebiyle en çok paslanmaz çelik kullanılmaktadır (Karabacakoğlu, 2001). Atıksudaki Cl^- miktarı ve yüksek amper uygulaması elektrotların ömrünü olumsuz yönde etkilemektedir (Tezakıl, 2008).

Yüksek mukavemet, yüksek kimyasal stabilite, yüksek elektriksel iletkenlik, fiziki olarak kolay işlenebilirlik, elektrokatalitik özelliğe sahiplik, uzun ömürlülük, düşük maliyet, emniyet ve kolay elde edilebilirlik gibi hususlar elektrot seçiminde önemli rol oynamaktadır (Hacıoğlu, 2006).

Elektrodiyaliz hücre içerisindeki membranlara elektrik iletimi elektrolit çözeltiler sayesinde meydana gelmektedir. Elektrolit çözeltisi işlem esnasında kullanılacak enerji miktarını etkileyen bir parametredir. En çok kullanılan elektrolitler Na_2SO_4 , NaCl , NaOH ve HCl gibi çözeltileridir (Aytaç, 2016). Sistemde tuz giderimi gerçekleştirilecek olan deniz suyu başlı başına bir elektrolit çözeltisidir.

İyon seçici membranlar anyon ve katyon seçici membranlar olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Katyon seçici membranlar SO_3^- gibi katyonların taşınmasına izin veren ve anyonların taşınmasına izin vermeyen negatif yüklü grupları içermektedir. Anyon seçici membranlar ise NH_3^{4+} gibi anyonların taşınmasına izin veren ve katyonların taşınmasına izin vermeyen pozitif yüklü grupları içermektedir. Bahsedilen grupların kimyasal bağlarına göre membranları homojen ve heterojen olarak gruplandırmak mümkündür. Yaygın olarak kullanılan membranlar homojen yapıda olup hidrokarbon ve florokarbon polimerlerdir. İyon seçici membranlar zeolit, bentonit ve fosfat gibi inorganik tuzlardan da üretilmektedir. Bu membranların gözenek boyutları büyük ve elektrokimyasal özellikleri polimerik membranlar kadar iyi olmadığından pek tercih edilmemektedirler. Organik membranlara göre ısıya dayanıklılıkları da iyi değildir. Polimerik iyon seçici membranların silika gibi inorganik bir yapı ile birlikte meydana gelmesi ile mükemmel iletkenlik ve kimyasal stabilite sağlanmış olur.

Günümüzde iyon seçici membranların modifikasyonu ilgi görmektedir olup bu konuda araştırmalar yapılmaktadır. İyon seçici membranların uygulamaları temiz

üretime sahip olup vazgeçilmezdir (Xu, 2005). İyon seçici membranlarda iyonların taşınımının sağlanması amacıyla farklı yüzey modifikasyonları üzerinde çalışmalar devam etmektedir. Membran yüzeyleri performansı, biyo uyumluluk için belirli proteinler, proteinler ve çözücüler için membran seçiciliği ve diğer iyonlar için geliştirilmektedir (Tan ve Belanger, 2003).

Yüksek seçici geçirgenlik, düşük elektriksel direnç, kimyasal ve mekanik stabilite iyi bir iyon seçici membranda olması gereken özelliklerdir (Vogel ve Meier-Haack, 2014).

Membranlar arasında gerek seyreltik gerek derişik çözeltilerin basınçlı bir şekilde iletilmesi pompalar vasıtası ile gerçekleşmektedir. İletilme işlemi elektrodializ hücresi ile besleme suyu kaynağı arasında gerçekleşmektedir.

Elektrodializ hücre içerisine yerleştirilmiş elektrotlara verilen voltaj ve akım yardımı ile besleme suyundaki iyonların membranlar arasındaki hareketini gerçekleştirmektedir. Sistemin akım ve voltaj kontrollü olarak çalıştırılması sağlanmaktadır. Genellikle doğru akım güç kaynakları tercih edilmektedir

2.4.2. Elektrodializ İşleminde Etkili Olan Parametreler

Elektrodializ işleminde çözelti konsantrasyonu, akım, voltaj, debi, sıcaklık, pH ve membran türü verim üzerinde etkiye sahip olan en önemli parametrelerdir (Aytaç, 2016).

Elektrodializ işlemine girecek olan çözelti konsantrasyonu, içerisinde bulunacak iyon miktarına bağlı olarak iletkenliğin ve iyonik kuvvetin artmasına katkıda bulunacağından önemli bir parametredir (Kabay, vd., 2008). Çözelti içerisindeki iyon miktarının fazlalığı dolaylı yoldan akımı arttırarak verimi arttırmaktadır (Mohammadi, vd., 2004). Ancak çözelti konsantrasyonunun fazlalığı elektrodializ hücre içerisinde bulunan membranların tıkanmasına neden olarak verim üzerinde negatif etki yaratmaktadır (Sadrzadeh ve Kaviani, vd., 2007).

Elektrodializ işleminde iyonların hareket etmesinde etkili olan kuvvet elektriksel kuvvettir. Bu kuvvetin kontrolü akım veya voltaj değişimi ile gerçekleştirilmektedir. Bu kuvvetin kontrolünde akımın veya voltajın seçimi çalışma aralığı, elektrodializ hücresinin türü ve güç kaynağının tipine bağlıdır. Elektrodializ sistemine uygulanan akım yoğunluğunun veya voltajın büyüklüğü ile iyonların anot veya katoda doğru ilerleme hızları belirlenebileceğinden bu iki parametre verim açısından oldukça büyük öneme sahiptir. Ayrıca iyon seçici membrandan geçen iyon miktarı da elektriksel kuvvete bağlıdır (Güvenç ve Karabacakoglu, 2005).

Elektrodiyaliz hücre sistemlerinde çözelti konsantrasyonunun fazla olması istenmeyeceğinden voltaj da düşük olacağından bu hücrelerin akım kontrolü ile işletilmesi gerekmektedir (Gherasim, vd., 2014).

Elektrodiyaliz sistemine uygulanan akım yoğunluğu ile giderim verimi doğru orantılı olup akım yoğunluğunun artması ile verimin arttığı yapılan çalışmalarda gözlenmiştir. Ancak akım yoğunluğunun artması ile sistemin sıcaklığının artması durumu sistemi olumsuz etkilemektedir. Ayrıca akım yoğunluğunun artması elektrik enerjisi ihtiyacını da arttırdığından ekonomik açıdan olumsuz bir durumdur (Kabay, vd., 2003; Rohman, vd., 2010).

Elektrodiyaliz sistemine uygulanan voltaj ile giderim verimi ters orantılı olup voltajın artması ile verimin azaldığı yapılan çalışmalarda gözlenmiştir (Wang ve Yang, 2001).

Yapılacak çalışmalarda akım yoğunluğu ve voltaj büyüklüğü optimum koşulları sağlayacak şekilde belirlenmelidir.

Elektrodiyaliz işleminde sıcaklık verimi etkileyen diğer bir önemli parametredir. Sıcaklığın elektrodiyaliz sistemi için olumlu ve olumsuz etkilerinin olduğu yapılan çalışmalarda gözlenmiştir (Mohammadi, vd., 2004). Artan sıcaklık ile suda meydana gelecek buharlaşma sonucu giderim veriminin hatalı hesaplanma durumu olumsuzluklardandır (Aytaç, 2016). Ayrıca sıcaklık artışının elektrodiyaliz hücre verimine olumlu katkı sağladığı çalışmalarda ortaya çıkmıştır (Mohammadi, vd., 2004). Bu sebeplerden dolayı kurulacak tesislerde uygun sıcaklığın seçilmesi önem arz etmektedir (Aytaç, 2016).

Elektrodiyaliz hücresi sistemleri kesikli ve sürekli debilerde işletilebilmektedir. Sistemin sürekli ve yüksek debide işletilmesi su ile hücrenin temas süresini azaltacağından giderim veriminin düşmesine neden olmaktadır. Bu durumun aksi olarak sürekli ve düşük debide işletilmesi su ile hücrenin temas süresini arttıracığından elektrik tüketiminin ve sistemin sıcaklığın artmasına neden olmaktadır. Bu durum işletim maliyeti açısından olumsuzluk meydana getirmektedir (Aytaç, 2016).

Kesikli debide işletilen elektrodiyaliz sistemlerinde debinin etkisi sürekli debide işletilen elektrodiyaliz sistemlerine oranla önemsizdir. Bu tip sistemlerde elektrodiyaliz hücre ile temas eden su miktarı hücrenin birim yüzeyi boyunca sabittir. Debinin fazla olması hem kesikli hem de sürekli sistemler için membranlarda sürtünme kaynaklı yıpranmalara sebep olduğundan olumsuz etki oluşturmaktadır (Aytaç, 2016). Bunun yanı sıra sistemlerde debinin fazla olması elektrodiyaliz

hücresinin üzerinde bulunan ince film tabakasının oluşmasını engelleyerek iyon geçişini artmasına neden olmaktadır (Wang ve Yang, 2001).

Elektrodiyaliz yöntemi ile tuzsuzlaştırma işleminin yapıldığı bir çalışmada debinin artması ile tuz giderim veriminin düştüğü saptanmıştır. Buna neden olarak ise yüksek debinin membran yüzeyi ile sıvı arasındaki temas süresini azaltmış olması sonucu taşınımın istenilen düzeyde olmamasının olduğu belirlenmiştir (Sadrazadeh, vd., 2007).

Kasyon seçici membranların yapılarında sülfonik asit, karboksilik asit, fosfonik asit, fosfinik asit ve arsenik asiti içerirken anyon değişim membranları yapılarında quarter amin, tersiyer amin, sekonder amin, primer amin, quaterner fosfonyum ve tersiyer sülfonyum içermektedirler. Anyon ve kasyonların transfer derecesi pH değerleri ile orantılıdır. Örneğin bir anyon seçici membran H^+ iyonlarının katota geçmesini engelleyeceğinden pH değerinde farklılıklar gözlemlenebilir.

Elektrodiyaliz hücresinde kullanılacak membranın seçiminde membran kalınlığı, iyon değiştirme kapasitesi ve iletkenlik önemlidir. Sıcaklık ve pH membranların verimli bir şekilde çalışma aralığının seçiminde diğer önemli parametrelerdir (Aytaç, 2016).

Günümüzde yapılan çalışmalarda elektrodiyaliz hücresi içerisinde yer alan anyon ve kasyon seçici membranların morfolojik yönden değerlendirilmesinin yaygın olarak Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile fonksiyonel gruplarının değerlendirmesinin ise Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FT-IR) yardımı ile yapıldığı görülmektedir (Farrokhzad, vd., 2015).

Elektrodiyaliz hücresinde yer alan membranların performansları, su tutma kapasitesi, taşınım sayısı, iyon iletkenliği, seçici geçirgenliği ve iyon değiştirme kapasitesi ile değerlendirilmektedir.

Membranın su tutma kapasitesi; membran kararlılığı için önemli bir özelliktir. Su sıcaklığı, ortam nemi, çeşitli kimyasallar ile modifikasyon ve membranın temizliği membranın su tutma kapasitesinde etkili olan parametrelerdir.

Membranın su tutma kapasitesini; kuru ve ıslak membranlar arasındaki kütle farkı yardımı göz önünden bulundurarak Eşitlik 2.4 ile hesaplamak mümkündür (Farrokhzad, vd., 2015).

$$\text{Membranın Su Tutma Kapasitesi (\%)} = \frac{W_w - W_d}{W_d} \times 100 \quad (2.4)$$

Burada;

W_w : Saf suya daldırılıp 24 saat sonra çıkarılan ıslanmış membranın ağırlığı (g)

W_d : 60 °C’de vakumlu fırında 4 saat kurutulan membranın ağırlığıdır (g).

Membran için taşınım sayısı; akımın taşıdığı iyon sayısı olarak tanımlanmaktadır. Taşınım sayısı membran sistemlerinde kullanılacak enerji tüketimi için önemlidir. Taşınım sayısı ne kadar fazla olursa ihtiyaç duyulan enerji miktarı o kadar azalacaktır (Zhang, vd., 2015).

Taşınım sayısı membranın iki yüzeyi arasında meydana gelen elektriksel potansiyel farkının ölçülmesi sonucu Nernst eşitliği yardımı ile hesaplamak mümkündür.

Membranın iki yüzeyi arasındaki elektriksel potansiyel farkını membran ile ayrılmış iki odalı hücre vasıtası ile konsantrasyon farkına bağlı olarak voltmetre yardımı ile ölçmek mümkündür (Farrokhzad, vd., 2015).

Elektriksel potansiyel farkını Eşitlik 2.5’te gösterilen Nernst eşitliği ile hesaplamak mümkündür (Farrokhzad, vd., 2015).

$$E = \frac{RT}{nF} \times \ln \frac{C_1}{C_2} \quad (2.5)$$

Burada;

E : Elektriksel potansiyel (V),

R : Üniversal gaz sabiti (8.3143 kJ/kmol°K)

T : Ortam Sıcaklığı (°K)

n : İyon değeri

F : Faraday Sabiti (96485.3 C/mol)

C_1 : Seyreltik çözelti konsantrasyonu (M)

C_2 : Derişik çözelti konsantrasyonudur (M).

Bir ED hücresi içerisindeki membranın taşınım sayısını ölçülen elektriksel potansiyel farkı kullanılarak Eşitlik 2.6 ile hesaplamak mümkündür (Farrokhzad, vd., 2015).

$$E = (2t_+^m - 1) \frac{RT}{nF} \times \ln \frac{\alpha_1}{\alpha_2} \quad (2.6)$$

Burada;

E : Elektriksel potansiyel (V)

t_+^m : Membran taşınım sayısı

R : Üniversal gaz sabiti (8.3143 kJ/kmol K)

T : Ortam sıcaklığı (°K)

n : İyon değeri

F : Faraday sabiti (96485.3 C/mol)

α_1 : Seyreltik çözeltideki iyon aktivitesi

α_2 : Derişik çözeltideki iyon aktivitesidir.

İyon aktivitesini Eşitlik 2.7 ile hesaplamak mümkündür (Farrokhzad, vd., 2015).

$$\alpha = \gamma \times C \quad (2.7)$$

Burada;

Γ : İyon aktivite katsayısı

C : İyon konsantrasyonudur (M).

Membranın seçici geçirgen özelliği; iyonların membran boyunca iyon akışı ile ilgili olarak diğer tarafa geçirebileceği iyonların sayısının bir ölçütüdür. Bir membranın seçici ve geçirgenliğini Eşitlik 2.8 ile hesaplamak mümkündür (Farrokhzad, vd., 2015).

$$P_s = \frac{(t_+^m - t_+^{sol})}{1 - t_+^{sol}} \quad (2.8)$$

Burada;

P_s : Membranın seçici geçirgenliği

t_+^m : Membranın taşınım sayısı

t_+^{sol} : Membranın içinde olduğu çözeltinin taşınım sayısıdır.

NaCl için taşınım sayısı yaklaşık olarak 0.39 'dur.

Membranın iyon iletkenliği; çözeltide bulunan iyonlara bağlı olarak meydana gelen akıma karşı uyguladığı kuvvet olan direnç ile ilgilidir. Membranın iyon iletkenliği uygulanan direnç kuvvetinin tam tersi olan bir kuvvettir. Membranın iyon iletkenliğini membran direnci yardımı ile aşağıdaki formül yardımı ile hesaplamak mümkündür

Bir ED hücresine yerleştirilen membranın direncini Eşitlik 2.9 ile hesaplamak mümkündür (Zhang, vd., 2015).

$$R_m = R_{cell} - R_{sol} \quad (2.9)$$

Burada;

R_{cell} : İçerisine membran yerleştirilmiş hücre direnci (Ω)

R_{sol} : Çözelti direncidir (Ω).

R_{cell} içerisinde 0.5 M NaCl çözeltisi bulunan bir hücre içerisine belirli aralıklarla membrana eşit mesafede yerleştirilmiş elektrotlar kullanılarak multimetre yardımı ile ölçülmüştür.

R_{sol} içerisinde 0.5 M NaCl çözeltisi bulunan bir hücre içerisine belirli aralıklarla membran olmadan eşit mesafede yerleştirilmiş elektrotlar kullanılarak multimetre yardımı ile ölçülmüştür (Zhang, vd., 2015).

Membran direncinin hesaplanması ile membranın iyon iletkenliğini Eşitlik 2.10 ile hesaplamak mümkündür (Zhang, vd., 2015).

$$\sigma = \frac{L}{R_m A} \quad (2.10)$$

Burada ;

σ : Membranın iyon iletkenliği (s/cm) veya ($1/\Omega\text{cm}$)

L : Membran kalınlığı (cm)

R_m : Membranın akıma karşı uyguladığı direnç (Ω)

A : Membranın yüzey alanıdır (cm^2).

1 g kuru membran yüzeyindeki anyon veya katyon seçebilen fonksiyonel gruplarının miliekivalans (meq) cinsinden toplamı olarak tanımlanmaktadır.

Membranın iyon değiştirme kapasitesini; klasik titrasyon yöntemi ile hesaplamak mümkündür.

Kasyon seçici membran için iyon değiştirme (seçme) kapasitesini Eşitlik 2.11 ile hesaplamak mümkündür (Farrokhzad, vd., 2015).

$$IEC = \frac{N_{NaOH} \times V_{NaOH}}{W_{dry}} \quad (2.11)$$

Burada;

IEC : Membranın iyon değiştirme kapasitesi (meq/g)

V_{NaOH} : Membran daldırılan sulu çözeltiden çıkarıldıktan sonra kalan çözelti için 0.01 M NaOH ile renk değişimi gözleninceye kadar ilave edilen NaOH özeltisinin hacmi (mL)

N_{NaOH} : NaOH'in Normalitesi (Molarite x tesir değerliği)

W_{dry} : Kuru membran ağırlığıdır (g).

Anyon seçici membran için iyon değiştirme kapasitesini Eşitlik 2.12 ile hesaplamak mümkündür (Zhang, vd., 2015).

$$IEC = \frac{N_{AgNO_3} \times V_{AgNO_3}}{W_{dry}} \quad (2.12)$$

Burada;

IEC : Membranın iyon değiştirme kapasitesi (meq/g)

V_{AgNO_3} : Membran daldırılan sulu çözeltiden çıkarıldıktan sonra kalan çözelti için 0.01 M $AgNO_3$ ile renk değişimi gözleninceye kadar ilave edilen $AgNO_3$ özeltisinin hacmi

N_{AgNO_3} : $AgNO_3$ 'ın Normalitesi (Molarite x Tesir Değerliği)

W_{dry} : Kuru membran ağırlığıdır (g).

Membran yüzeyi ile temas edecek olan çözeltinin pH'sının membran stabilitesi üzerinde etkisi bulunmaktadır (Aytaç, 2016).

Yapılan alışmalar membranlar için uygun pH'ın 0-8 aralığında olduğunu göstermiştir. Bazı ticari membranlar için uygun çalışma aralığı belirlenmiştir. Bu aralık dışındaki pH'larda membranlarda bozulmalar gözlenmiştir. Çözeltinin pH değeri içerisinde bulunan iyonlar ile belirlenmektedir (Davis ve Genders, 1997).

Yapılan başka bir çalışmada pH değerinin giderim verimine etkisinin olmadığı belirlenmiştir (Güvenç & Karabacakoğlu, 2005). Diğer bir çalışmada 3'n altında olan pH değerlerinin enerji tüketimini arttırdığı belirtilmektedir (Kabay, vd., 2003).

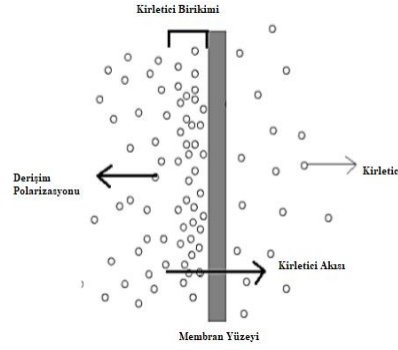
Elektrodiyaliz hücresi içerisine yerleştirilecek membran için sınırlayıcı akım, membranın yüzey alanı üzerindeki düşük akım, yüksek direnç ve kirlilik göz ardı edildiğinde geçebilecek maksimum akım miktarı sınırlayıcı akım yoğunluğu olarak tanımlanmaktadır. Elektrodiyaliz sisteminin çalışmasında en etkili parametrelerden birtanesidir. Sınırlayıcı akım değerine ulaşılırken katyon değişim membranı üzerindeki katyonlar ve anyon değişim membranları üzerindeki anyon konsantrasyonu giderek azalır ve sıfıra doğru yaklaşır (Karabacakoğlu, 2001). Elektrodiyaliz hücresinde sınırlayıcı akım miktarına ulaşıldığında diğer parametrelerin verim üzerinde etkisi sabit kalmaktadır. Bu sınırdan sonra sistemde verim artışında azalma meydana gelecektir ve harcanan enerji fayda maliyet analizi açısından değerlendirildiğinde negatif yönde etki yaptığı görülecektir.

Sınırlayıcı akım miktarı matematiksel modeller ile hesaplanacağı gibi elektriksel dirence karşı gerekli olan akım miktarı grafiğinde doğruların ekstrapolasyonların kesişimi yardımı ile de belirlenebilmektedir. (Káňavová, vd., 2014; Yan-Jun vd., 2000).

Membranlarda tıkanıklığın sebebi giderim yapılacak sıvı içerisinde bulunan kolloidal maddeler, makromoleküller, tuzlar, proteinler, lipidler ve bakterilerin membran yüzeyi üzerinde meydana getirdiği film tabakasıdır.

Membranların tıkanmasında etkili olan diğer parametreler sıcaklık, iyonik kuvvet, pH, giderimi yapılacak çözelti konsantrasyonudur. Elektrodiyaliz tesislerinde membran tıkanıklıklarının önüne geçilmesi amacıyla mutlaka ön arıtma işlemine ihtiyaç duyulmaktadır. Sık aralıklarla membran temizliğinin yapılması ile tıkanıklık probleminin önüne geçilebilir.

Elektrodiyaliz işleminde çözelti içerisindeki çözünmüş maddeler zamanla arıtım esnasında membran yüzeyine birikmektedir. Bu birikme sonucunda kalın bir tabaka meydana gelir. Bu tabaka iyonların membrandan geçişine izin vermeyerek çözeltiye doğru geri iter. Bu durum derişim polarizasyonu olarak adlandırılmaktadır. Şekil 2.13'te derişim polarizasyonu gösterilmektedir (Hacıoğlu, 2006).



Şekil 2.13. Membran yüzeyinde meydana gelen derişim polarizasyonu (Aytaç, 2016)

Türbülans artışı ve çözünenin difüzyon katsayısının artması membran yüzeyi üzerindeki tabakanın kalınlığı azaltır ve derişim polarizasyonunu da azaltır. Membran akısı ve içsel zenginleştirmenin artması ile derişim polarizasyonunda artış meydana gelmektedir (Baker, 2012).

Membran kirlenmesi, membranın içinde ya da üzerinde tutunan; partikül, kolloid, tuz, emülsiyon, süspansiyon ve makromoleküllerin tersinir olarak yer değiştirilmeleri şeklinde ifade edilebilir. Kirlenme olayı oldukça karmaşık bir olay olup, teorik olarak da tanımlı zordur. Membrandaki bir çözelti için kirlenme olayı pH, derişim, iyonik güç, sıcaklık gibi fiziksel ve kimyasal parametrelere bağlıdır. Sonuç olarak akı azalması problemi, süreç tasarımı için önemle dikkate alınmalıdır.

Her membran sistemi, kendine özgü süreç koşullarına göre temizlenmelidir. Temizleme metotları; mekanik temizleme, hidrolik temizleme, elektriksel temizleme ve kimyasal temizleme olarak sınıflandırılabilir. Bu metotların seçimi; kullanılan membranın türüne, kimyasal direncine, hücrenin tasarımına ve kirliliğin çeşidine göre gerçekleştirilmelidir. Hidrolik temizleme yöntemi yalnızca MF ve UF membranlarında kullanılırken, mekanik temizleme ise, sadece tübüler sistemlere uygulanabilmektedir.

Kimyasal temizleme yöntemi ise, bazı kimyasalların ayrı ayrı ya da karışımı şeklinde kullanılarak membranların temizlenmesinde faydalanan en önemli temizleme metotlarından birisidir. Kimyasalların derişimi, temizleme işlem süresi ve temizlenen membranın kimyasal direnci oldukça önemlidir. En çok kullanılan kimyasallar ise asitler ve bazlardır. Bunlar ortamın pH'sını değiştirerek kirliliğin çözünmesini ve gevşemesini sağlarlar.

Membranlarda kirlenme sorunu; kek oluşumu (tersinir tıkanma), gözenek tıkanması (tersinir olmayan tıkanma) ve gözenek adsorpsiyonu (geri dönüşümsüz tıkanma) olmak üzere 3 farklı şekilde gerçekleşmektedir (Mulder, 1997).

2.5. Elektrodializ Sisteminin Giderim Verimi, Giderilen Madde Miktarı ve Özgül Enerji Tüketimi Üzerinden Performansının Değerlendirilmesi

Bir elektrodializ sisteminde farklı işletme parametrelerini karşılaştırabilmek için bazı matematiksel modeller üzerinden karşılaştırma yapılması gerekmektedir. Bu kıstaslar arasında giderim verimi (GV), giderilen madde miktarı (GMM) ve özgül elektriksel enerji tüketimi (ÖET) öne çıkanlardır.

2.5.1. Giderim Verimi

Giderim verimi (GV) deniz suyunun elektrodializ işlemine tabi tutulması ile ne kadarlık bir tuz gideriminin sağlandığı ile ilgili fikir vermektedir. GV'ni (% RE) Eşitlik 2.13 ile hesaplamak mümkündür (Marder, vd., 2004).

$$RE = 100 \times \frac{C_0 - C_i}{C_0} \quad (2.13)$$

Burada;

C_0 : İyonun başlangıç derişimi (mg/L)

C_i : İyonun t anındaki derişimidir (mg/L).

2.5.2. Giderilen Madde Miktarı

Giderilen madde miktarı (GMM), elektrodializ sisteminden deniz suyundan uzaklaştırılan tuz miktarının mg cinsinden değeridir. GMM'nı mg cinsinden Eşitlik 2.14 ile hesaplamak mümkündür. GMM arttıkça giderim veriminin arttığı bilinmektedir (Aytaç, 2016).

$$GMM = (C_0 - C_i) \times V \quad (2.14)$$

Burada;

C_0 : İyonun başlangıç derişimi

C_i : İyonun t anındaki derişimi

V : Sıvı hacmidir (L).

2.5.3. Özgül Enerji Tüketimi

Elektrodializ sisteminde enerji tüketimi başına giderilen madde miktarını Whg^{-1} birim cinsinden Eşitlik 2.15 ile hesaplamak mümkündür. Özgül enerji tüketimi (ÖET), SEEC olarak ifade edilebilir (Aytaç, 2016).

$$SEEC = \frac{E \int_0^t dt}{\Delta n} \quad (2.15)$$

Burada;

E : Uygulanan potansiyel (V)

I : Uygulanan akımın büyüklüğü (A)

T : Zaman aralığı (saat)

Δn : t zamanda giderilen madde miktarıdır (g).

Elektrodiyaliz süreçlerinde toplam verim için en önemli faktör, ayırma işleminde harcanan enerji miktarıdır. Enerji tüketimini Eşitlik 2.16 ile hesaplamak mümkündür (Aytaç, 2016).

$$E = I^2 R = V.I \quad (2.16)$$

Burada;

E : Enerji tüketimi (kW)

I : Elektrodiyaliz hücresinden geçen akım (A)

R : Elektrodiyaliz hücresinin direncidir (Ω).

Ticari olarak kullanılan elektrodiyaliz sistemlerinde derişim polarizasyonu, çözeltilerin yüksek hızlarda sistemden geçirilmesiyle kontrol altında tutulabilmektedir. Güncel olarak kullanılan elektrodiyaliz sistemlerinde ise akış pompaları, toplam gücün yaklaşık %25'ini tüketirler. Bu şartlar altında derişim polarizasyonu, gerçek enerji tüketiminin teorik enerji tüketiminden fazla olmasından dolayı tam anlamıyla kontrol edilemez. Dolayısıyla elektrodiyaliz sistemlerinde karşılaşılan çoğu olumsuzluklar, derişim polarizasyonunun kontrol edilmesindeki türlü zorluklarla ilgilidir (Strathman,1991).

2.6. Kaynak Özetleri

Zhang ve arkadaşları, PVDF membranları kullanarak 1-methyl-2-pyrrolidone (NMP) kimyasalı ile modifikasyon gerçekleştirmişlerdir. Modifikasyon işlemi sonucunda oluşan yeni membranın iyon değiştirme kapasitesi, tutulan iyon konsantrasyonu, su tutma kapasitesi ve taşınım sayılarını incelemişler ve iyon değiştirme kapasitesini arttığını gözlemlemişlerdir. Bu çalışma ile iyon değiştirme kapasitesi, su tutma kapasitesi, taşınım sayısı arasındaki ilişkiyi göstermişlerdir. Oluşturulan yeni anyon seçici membranların su saflaştırma endüstrisi uygulamalarında kullanılabilirliğinin uygun olduğu sonucuna ulaşmışlardır (Zhang, vd., 2015).

Farrokhzad ve arkadaşları, yüzey fonksiyonel grupları yardımı ile modifikasyon sonucunda katyon seçici membranların üretimi konusunda çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında PVDF üzerinde sülfonlama işlemi gerçekleştirerek yeni bir katyon seçici membran meydana getirmişlerdir. CSA, DBSA ve PTSA gibi kimyasallar ile sülfonlama işlemini gerçekleştirmişlerdir. Bu maddelerin tuz giderim verimi ve membran seçiciliği üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Modifikasyon sonucu elde edilen yeni katyon seçici membranların fonksiyonel grupları ve morfolojileri FT-IR ve SEM yardımı ile incelenmiştir. Yapılan modifikasyon işlemi ile birlikte membranların iyon değiştirme kapasitesilerinin, taşınım sayılarının, iyon iletkenliklerinin ve su tutma kapasitelerinin azaldığını gözlemlemişlerdir (Farrokhzad, vd., 2015).

Galama ve arkadaşları, deniz suyunun tuzsuzlaştırılması için büyük öneme sahip olan elektrodializ işlemi için enerji kayıplarını hesaplamıştır. Deniz suyunun tuzsuzlaştırılmasında yaygın olarak kullanılan ters osmoz işlemine alternatif olarak elektrodializ ve ters osmoz işleminin kombine hale getirmişlerdir. Denemeler geri dönüşümlü yataklı elektrodializ hücre ile yapılmıştır. Enerji tüketiminde elektrodializ hücre yatağından kaynaklanan enerji kaybının önemli olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Su transferi esnasında meydana gelen enerji kayıplarının enerji tüketimindeki payının ise genel olarak sistemdeki düşük olduğu gözlemlenmiştir (Galama, vd., 2014).

Sadrzadeh ve arkadaşı tuzsuzlaştıma amacıyla laboratuvar ölçekli olarak elektrodializ sistemi kurmuşlar ve Taguchi metodunu kullanarak değerlendirme yapmışlardır. Denemeler 25 °C, 40 °C ve 55 °C derece sıcaklık 5 V, 7 V ve 9 V direnç, 0.07 mL/s, 0.13 mL/s ve 0.25 mL/s debi koşullarında ve 10000 mg/L, 20000 mg/L ve 40000 mg/L konsantrasyonlarında tuzlu sular kullanılarak yapılmıştır. Maksimum tuzsuzlaştırmanın düşük debi ve düşük besleme konsantrasyonunda yüksek voltaj ve yüksek ısıda olduğu görülmüştür (0.07 mL/s, 10000 mg/L, 9 V ve 55 °C). ANOVA analiz metodu her bir faktörün tuzsuzlaştırmaya olan etkisini hesaplamak için kullanılmıştır. Sonuç olarak bütün parametrelerin tuzsuzlaştırma etkisinde önemli bir katkıya sahip olduğu görülmüştür. Elektrodializ prosesinin veriminde en fazla etkili parametrenin %82.4'lük katkı ile besleme konsantrasyonu olduğu görülmüştür (Sadrzadeh ve Mohammadi, 2008).

Khan ve arkadaşları, Bromlu poli (2.6-dimetil-1, 4-fenilen oksit-BBPO) ve dimetanolamin (DMEA) ile modifiye edilmiş anyon değiştirici membranların (AEMs) Elektrodializ işleminde kullanılmasını incelemişlerdir. Modifiye edilmiş

membranların fonksiyonel gruplarını ve morfolojilerini FT-IR ve SEM aracılığı ile incelemişlerdir. Hazırlanan modifiye edilen membranların fizikokimyasal ve elektrokimyasal özellikleri detaylı olarak incelenmiştir. Modifiye işlemi sonrasında membranların iyon değiştirme kapasitesinin 0.66 mmol/g'dan 1.38 mmol/g'a ve su alımı kapasitesinin %11.60'dan %48.50'e çıktığı görülmüştür. İletim katsayısının ise 0,94'ten 0,98'e çıktığı görülmüştür. Modifiye edilen membranların oda sıcaklığındaki bazik ortamda kimyasal stabilitelerinin daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Modifiye edilen membranların verimlerinin aynı koşullarda kullanılan diğer bir ticari membrana (Neosepta AMX) göre daha yüksek verime sahip olduğu görülmüştür (Khan, vd., 2016).

Liu ve arkadaşları, deniz suyunun tuzsuzlaştırılmasında nanofiltasyon (NF) ve elektrodializ içerikli entegre membran teknolojisinin kullanılmasını incelemişlerdir. Bu işlemde tek ve çift değerlikli iyonların sudan ayrılması için sırasıyla Nanofiltrasyon ve elektrodializde denenmiştir. Nanofiltrasyon işleminde yüksek oranda SO_4^{2-} itici homojen bir membran türü kullanılmış olup sonuç olarak besleme konsantrasyonu ve işletim basıncının membran geçirimsizliğinde ve iyonların seçilmesinde etkisinin büyük olduğu görülmüştür. NF'da Ca^{+2} ve Mg^{+2} iyonlarının reddedilmelerinin %40 ve %87 olduğu görülmüştür. Sudaki yüksek Ca^{+2} konsantrasyonunun elektrodializ sisteminin verimini düşürdüğü görülmüştür. Elektrodializ işleminde tuz giderme veriminin 5 saatlik bir deneme sonucunda uygulanan 15 V direnç altında %70'e ulaştığı gözlemlenmiştir (Liu, vd., 2016).

Hong-Joo Lee ve arkadaşları, elektrodializ sistemin tasarımı ve çalışmasının bir dizi sabit parametreye dayanmasını araştırmışlardır. Bu parametreler besleme konsantrasyonu, membran özelliği, debi ve yoğunluktur. Bu parametrelerin elektrodializ işleminin veriminde birbirleri ile ilişkili olduğu görülmüştür. Bir elektrodializ sisteminde yüksek giderim veriminin yakalanabilmesi için işletim parametrelerinin maliyet açısından optimize edilmesinin gerekliliğini görmüşlerdir. Bundan yola çıkarak tuzsuzlaştırma için elektrodializ sisteminin tasarımını ve optimizasyonunu yapmışlardır. Denemeler yapmışlar ve sınırlayıcı akım yoğunlunu belirlemişlerdir (Lee, vd., 2002).

Guibin Peng ve arkadaşları, 2-kloroasetamit ve N-tetrametil-1.4 Diaminobütan ile modifiye edilmiş olan hegzaflopropilen PVDF karışıklı membranın üzerinde oluşan çapraz bağların elektrodializ sisteminin verimi üzerine etkisini incelemişlerdir. Modifiye işlemi sonucunda anyon seçici membranın iyon değiştirme

kapasitesinin 1.38-1.84 mmol/g aralığında olduğunu rapor etmişlerdir. Modifiye edilmemiş membranun su tutma kapasitesinin 80 °C’de %35.89 iken modifiye edilmiş membranın su tutma kapasitesinin 80 °C’de %13.14 ile %22.45 arasında olduğunu yani azaldığını gözlemlemişlerdir. İlave olarak florin tabanlı yapının varlığının anyon seçici membranın mekanik ve termal kararlılığı üzerinde olumlu etkisinin olduğunu gözlemlemişlerdir. Denemeler 150 dk boyunca gerçekleştirilmiş ve akım veriminin %78.6 ve enerji tüketimin 2.01 kWsa/kg NaCl olduğunu gözlemlemişlerdir. Akım veriminin %76.4 enerji tüketimi 2.26 kWsa/kg NaCl olan modifiye edilmemiş membran ile karşılaştırma yapıldığında modifiye işleminin akım verimini arttırdığı ve enerji tüketimini azalttığını gözlemlemişlerdir. Anyon seçici membranın üzerinde uygulanan modifiye işleminin elektrodializ işleminde kullanılması ile tuzsuzlaştırma veriminde artış olduğunu gözlemlemişlerdir (Peng, vd., 2021).

Doornbusch ve arkadaşları, Ca^{+2} ve Mg^{+2} gibi çok değerlikli iyonların deniz suyunun tuzsuzlaştırılmasında pilot ölçekli kurulan elektrodializ sisteminin performansı üzerine etkilerini incelemişlerdir. Besleme suyu olarak doğal deniz suyu kullanmışlardır. Elektrodializ sistemi içerisinde alışlagelmiş katyon seçici membranlar ve en çok tercih edilen katyon seçici membranlar kullanarak çok değerlikli iyonların giderim verimlerini karşılaştırmışlardır. Belirlenen her iki katyon seçici membranda da kalsiyum ve magnezyum gideriminin düşük akım yoğunluğu altında düşük olduğunu gözlemlemişlerdir. Mg^{+2} giderilme oranının Ca^{+2} giderilme oranına göre daha fazla olduğunu gözlemlemişlerdir. Tuzluluk oranının giderim sonucunda 27 g/L’den 1.9 g/L’ye düşmüş olduğunu gözlemlemişlerdir. Sistemin performansı 18 gün boyunca izlenmiş ve çok kademeli elektrodializ işleminin deniz suyunun tuzunun giderilmesinde ortalama enerji tüketiminin 3 kWsa/m³ olduğunu rapor etmişlerdir (Doornbusch, vd., 2021).

Doornbusch ve arkadaşları, deniz suyunun tuzsuzlaştırılmasında çok kademeli elektrodializ sisteminde kullanılan membranların yüzey alanı, membran özellikleri ve bekleme süresinin iletim mekanizması ve osmotik iletim üzerine etkisini araştırmışlardır. Bekleme süresinin tuz ve ozmotik iletimde etkili olduğunu görmüşlerdir. Uzun bekleme süresinin ilk kademede faydalı olduğunu ve daha sonraki kademelerde ise kısa bekleme sürelerinin faydalı olduğunu gözlemlemişlerdir. Kısa bekleme sürelerinin tuzsuzlaştırma verimini düşürdüğünü gözlemlemişlerdir (Doornbusch, vd., 2021).

Yadav ve arkadaşları, polimer tabanlı (hegzafloropropilen ve PVDF karışımı) anyon seçici membranın modifikasyonunun elektrodializ işlemi üzerine etkisini incelemişlerdir. Modifikasyon sonucu oluşan yeni membranların iyon iletim davranışları, kararlılıkları ve elektrodializ sistemi için uygunluklarını analiz etmişlerdir. Modifiye edilmiş membranlarda su tutma kapasitesinin %44.3 iyon değiştirme kapasitesinin 1.56 meq/g, iyon iletkenliğinin 21.1 mS/cm olduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca yüksek taşınım katsayısını 0.94 olarak saptamışlardır. Modifikasyon işleminin elektrodializ sistemi içerisinde tuzsuzlaştırma verimini arttırdığını gözlemlemişlerdir. Modifiye edilmiş membranlar ile yapılan tuzsuzlaştırma işleminde enerji tüketiminin 1.05 kWsa/kg olduğunu ve enerji tüketiminde %87.33'lük bir azalma olduğunu görmüşlerdir (Yadav, vd., 2021).

Xu ve arkadaşları, küçük ölçekli olarak kurulan fotovoltaik elektrodializ sisteminde tuzsuzlaştırma veriminde etkili olan faktörleri araştırmışlardır. Bu amaçla çok paradigmalı sayısal hesaplama yazılımı olan MATLAB üzerinden elektrodializ tuzsuzlaştırma modeli oluşturarak tuzsuzlaştırma verimi üzerine voltaj, akış hızı, membran yüzey alanı ve elektrodializ hücresinin boyutlarının etkisini incelemişlerdir. Bu modelin fotovoltaik elektrodializ sisteminin tuz giderim veriminde doğru tahminler elde ettiğini kanıtlamışlardır. Sonuç olarak tuz giderim veriminin yüksek akış hızı ile arttığını yüksek voltaj ve yüksek membran yüzey alanı ile birlikte azaldığını gözlemlemişlerdir (Xu, vd., 2020).

Sadrzadeh and Mohammadi yaptıkları bir çalışmada, deniz suyunu laboratuvar ölçekli bir elektrodializ hücresi kullanarak tuzdan arındırmaya çalışmışlardır. Elektrodializ işleminin kararlı halde çalışmasında, çalışma koşulları için 2 – 6 V voltaj, 0.1–5.0 mL/s debi ve 5000–30.000 ppm besleme suyu konsantrasyonları seçilmiş ve ölçümleri gerçekleştirmişlerdir. Daha sonra, her bir çalışmada akım yoğunluğunu Ohm yasası kullanarak değerlendirmişlerdir. Son olarak da, bir elektrodializ hücresinin optimum uygulanabilirlik aralığını belirlemede önemli bir parametre olan mevcut akım verimliliğini hesaplamışlardır. 1.5 mL/s'den daha büyük akış hızlarının ve daha yüksek besleme konsantrasyonlarının daha yüksek akım verimi değerlerine yol açtığını, bununla birlikte, daha düşük akış hızlarında tam tersi davranış gözlemlemişlerdir (Sadrzadeh ve Mohammadi, 2008).

Yang ve diğerleri, aktif membran alanı 88 cm² olan laboratuvar ölçekli elektrodializ sistemi kullanarak deniz suyu tuzsuzlaştırma çalışmaları yapmışlardır. Bipolar membran kullanılarak sürekli olarak işletilen elektrodializ sisteminde 30 L/sa

debi ve 57 mA/cm² akım yoğunluğunda 1 M asit ve baz eldesi gerçekleştirmişlerdir. Uzun süreli işletim sonunda elektron mikroskobu ile yapılan incelemede iyon değiştirici membranlar üzerinde bir birikim olmadığını ve bipolar membran elektrodializ (EDBM) sisteminin uzun süreli işletimler için ideal olduğunu vurgulamışlardır (Yang, vd., 2009).

Kawate ve arkadaşları, Neosepta CL-25T and Neosepta AVS-4T katyon ve anyon seçici membranlarını kullanarak her biri 478 hücreden oluşan 3 adet elektrodializ sistemine sahip olan Tokuyama soda tesisinde elektrodializ ile deniz suyundan konsantre tuz elde edilmesini incelemişlerdir. (Kawate, vd., 1983).

Membran modifikasyonu ve tuz giderimi konusunda yapılan çalışmaların özeti Tablo 2.13'te gösterilmektedir.

Tablo 2.13. Membran modifikasyonu ve tuz giderimi konusunda yapılan çalışmaların özeti

Yöntem	İncelenen Parametreler	Sonuçlar	Kaynak
Membran Modifikasyonu (PVDF) (1-metil-2 proliadan)	İyon değiştirme kapasitesi, tutulan iyon konsantrasyonu, su tutma kapasitesi, taşınım sayısı	İyon değiştirme kapasitesinde artış tespit edilmiştir.	Zhang, vd., 2015
Membran Modifikasyonu (PVDF) (CSA, DBSA, PTSA)	Fonksiyonel gruplar, morfolojier ve tuz giderim verimine etkisi (FT-IR ve SEM)	Membranların iyon değiştirme kapasitesi, iyon iletkenliği, taşınım sayısı ve su tutma kapasitesinde azalma tespit edilmiştir.	Farrokhzad, vd., 2015
Elektrodializ Ters osmoz	Tuz gideriminde enerji kayıpları	Elektrodializ hücre yatağında meydana gelen enerji kayıplarının enerji tüketimi üzerinde etkili olduğu tespit edilmiştir.	Galama, vd., 2014
Elektrodializ	Sıcaklık, voltaj, debi, konsantrasyonun tuz giderim verimine etkisi (Taguchi Metodu-ANOVA)	En yüksek verim 0.07 mL/s, 10000 mg/L, 9 V ve 55 °C koşullarda sağlanmıştır. %82.4'lük katkı ile sisteme en fazla etki eden parametrenin konsantrasyon olduğu tespit edilmiştir.	Sadrzadeh, vd., 2008
Elektrodializ (Neosepta AMX) (2.6 dimetil-1, 4-PPO, DEA)	Fonksiyonel gruplar, morfolojilerin tuz giderim verimine etkisi (FT-IR ve SEM)	İyon değiştirme kapasitesinde %109.1 artış, su tutma kapasitesinde %318 artış, iletim katsayısında %4.1 artış ile modifikasyonun verime etkili olduğu tespit edilmiştir.	Khan, vd., 2016
Nanofiltrasyon Elektrodializ	Besleme konsantrasyonu ve işletim basıncının tuz giderim verimine etkisi	İlave edilen Ca ²⁺ ve Mg ²⁺ iyonlarının reddeilme oranları sırasıyla %40 ve %87 olduğu ve ilave edilen Ca ²⁺ iyonlarının elektrodializ sisteminin verimini düşürdüğü ve tuz giderim veriminin 15 V direnç altında 5 saatlik bir bekleme süresinde %70'e çıktığı görülmüştür.)	Liu, vd., 2016
Elektrodializ Hegzafloro propilen karışımli PVDF (2-kloroasetamit, N-tetrametil-1.4 diaminobütan)	İyon değiştirme kapasitesi, tutulan iyon konsantrasyonu, su tutma kapasitesi, taşınım sayısı, akım veriminin tuz giderim verimine etkisi	Modifikasyon sonucunda 80 °C'de su tutma kapasitesinin yaklaşık %42 oranında azalmış olduğu, florin tabanlı yapının termal kararlılıkta olumlu etki yaptığı, 150 dksonunda akım verimin %76.4 değerinden %78.6 değerine çıktığı ve elektrik tüketiminin 2.26 kWsa/kg'dan 2.01 kWsa/kg değerine azaldığı tespit edilmiştir.	Peng, vd., 2021

Tablo 2.13. Membran modifikasyonu ve tuz giderimi konusunda yapılan çalışmaların özeti (Devamı)

Yöntem	İncelenen Parametreler	Sonuçlar	Kaynak
Elektrodiyaliz (Katyon seçici membran)	Ca ²⁺ ve Mg ²⁺ iyonlarının tuz giderim verimine etkisi, membranların yüzey alanı, özellikleri, bekleme sürelerinin iletim mekanizması ve osmotik iletim üzerine etkisi	Tuz miktarının 27 g/L'den 1.9 g/L değerine azaldığı ve ortalama elektrik tüketiminin 3 kWsa/m ³ olduğu tespit edilmiştir.	Doornbusch, vd., 2021
Membran Modifikasyonu (Polimer tabanlı hegzaflo-ro propilen karışımı PVDF)	Modifiye membranların iyon iletim davranışları, kararlılıkları ve elektrodiyaliz için uygunlukları, Modifiye membranların iyon değiştirme kapasitesi, su tutma kapasitesi, iyon iletkenliğinin tuz giderim verimine etkisi	Modifikasyon sonrasında su tutma kapasitesi +44.3, iyon değiştirme kapasitesi 1.56 meq/g, iyon iletkenliği 21 mS/cm, taşınım katsayısı 0.94 olarak tespit edilmiş ve elektrik tüketiminde &87.332lük bir azalma tespit edilmiştir.	Yadav, vd., 2021
Fotovoltaik elektrodiyaliz	Elektrodiyaliz sisteminde tuz giderim verimi üzerine voltaj, akış hızı ve membran yüzey alanı gibi faktörlerin etkisi (MATLAB)	Yüksek akış hızında tuz giderim veriminin arttığını, yüksek voltaj ve membran yüzey alanında ise azaldığı tespit edilmiştir.	Xu, vd., 2020
Elektrodiyaliz (Bipolar membran)	Debi, konsantrasyon ve akım yoğunluğunun tuz giderim verimi üzerine etkisi (SEM)	30 L/sa debi ve 57 mA/cm ² akım yoğunluğunda sistemin uzun süreli çalışmasında problem oluşturmayacağı tespit edilmiştir.	Yang, vd., 2009
Elektrodiyaliz (Neosepta CL Neosepta AVS-4T)	Deniz suyundan konsantre tuz elde edilmesi	Çalışma koşulları için konsantre tuz elde edilebilirliğinin uygun olduğu tespit edilmiştir.	Kawate, vd., 1983

Bu çalışmada Karadeniz'den alınan deniz suyunun tuzsuzlaştırılması amacıyla laboratuvar ölçekli sistemi kurulmuş olup sistemin, 10, 20, 30 V voltaj 1, 2, 3 A akım ve 35, 50, 75 mL/dk debi değerlerinde tuzsulaştırma performansı araştırılmıştır. Elektrodiyaliz hücresi içerisine yerleştirilen poliviniliden florid (PVDF) membranlara katyon seçicilik özelliği; kafur sülfonik asit (CSA), dodeksibenzono sülfonik asit (DBSA) ve paratoluen sülfonik asit (PTSA) gibi negatif fonksiyonel gruplar içeren bileşikler ile, anyon seçicilik özelliği ise N-metil-2-prolidan (NMP) gibi pozitif fonksiyonel gruplar içeren bileşik ile modifikasyon işlemi sonucunda kazandırılmıştır. Elde edilen anyon ve katyon seçici membranların morfolojileri ve fonksiyonel grupları Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) ve Fourier Dönüşümlü Kızılıötesi Spektroskopisi (FT-IR) teknikleri ile incelenmiştir. Modifiye membranların su tutma kapasitesi, taşınım sayısı, iyon iletkenliği, seçici geçirgenliği ve iyon değiştirme kapasiteleri incelenmiştir. Elektrodiyaliz sisteminin performansı giderim verimi, giderilen madde miktarı ve özgül enerji tüketimi incelenerek değerlendirilmiştir. Elektrodiyaliz sistemi için optimum çalışma koşullarının belirlenmesi çalışması yapılmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyaller

Çalışma boyunca kullanılan materyaller; deniz suyu, anolit ve katolit suları ile birlikte Elektrodializ hücre, doğru akım güç kaynağı, pompa ve ara elemanlardan meydana gelen laboratuvar ölçekli olarak kurulan Elektrodializ sistemidir.

3.1.1. Deniz Suyu

Çalışmada deniz suyu olarak Samsun ili, Atakum ilçesi, Çobanlı mevkiinde bulunan 400 m uzunluğundaki iskele vasıtası ile deniz yüzeyinin 3 m derinliğinden temin edilen Karadeniz deniz suyu kullanılmıştır. Elektrodializ sistemi boyunca ilerleyen deniz suyu sistemden anolit ve katolit çıkış suları olarak çıkmaktadır. Giriş ve çıkış suları Tablo 3.1’de tanımlanmaktadır.

Tablo 3.1. Deniz suyunun tanımlanması

Adı	Özelliği
G1	Tuz giderimi gerçekleştirilecek olan deniz suyu (giriş) numunesi (orta akış)
DA*	Tuz giderimi gerçekleştirilmiş olan negatif iyonlarca zengin olan anolit suyu
DK*	Tuz giderimi gerçekleştirilmiş olan pozitif iyonlarca zengin olan katolit suyu

*Herbir membran çifti için ayrı ayrı adlandırılacaktır. (Örn: D1A ve D1K gibi)

Tuzsuzlaştırma işlemi yapılacak olan Karadeniz deniz suyuna ait özellikler aşağıda Tablo 3.2’de gösterilmiştir.

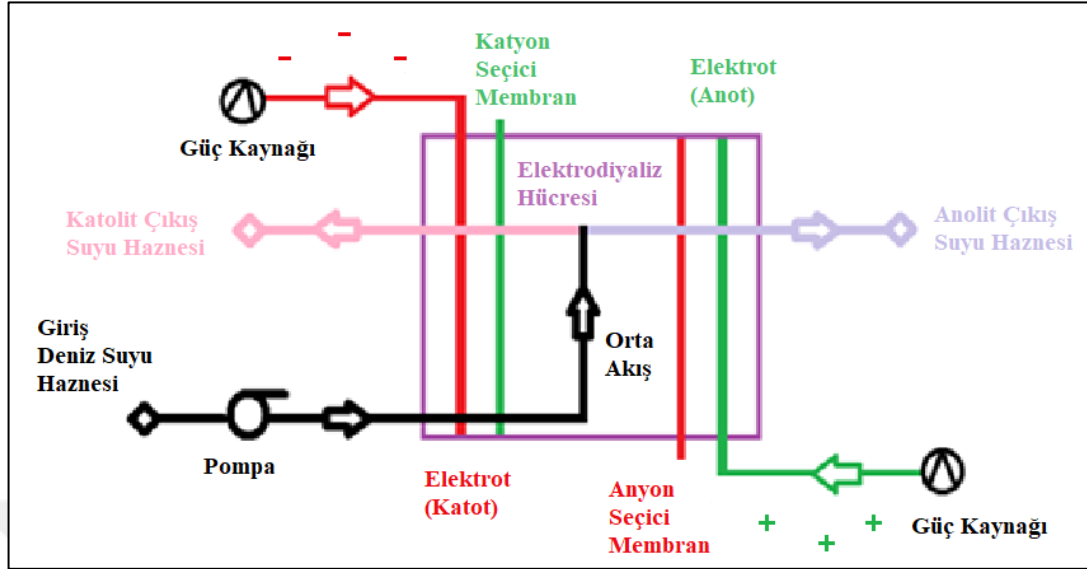
Tablo 3.2. Karadeniz deniz suyuna ait özellikler

Adı	Sıcaklık (°C)	pH	Elektriksel İletkenlik (µS/cm)	Yoğunluk (g/mL)	R Oranı	Tuzluluk (‰ S)
Deniz Suyu	15	8.23	979	1.025	0.693	23.3

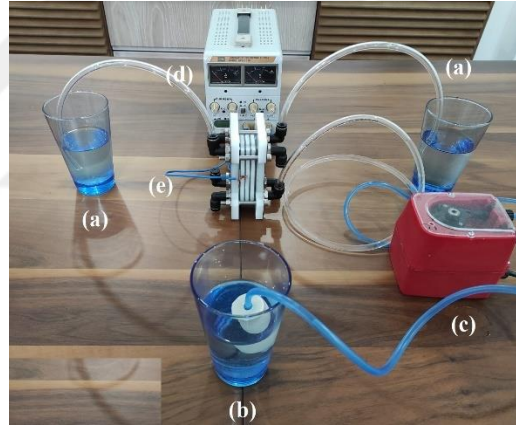
Sıcaklığı 15 °C ve pH’sı 8.23 ölçülen deniz suyunun için elektriksel iletkenliğinin ölçülmesi sonucunda tuzluluğu 23.3 g olarak hesaplanmıştır.

3.1.2. Elektrodializ Sistemi

Sistemi; elektrodializ hücre, peristaltik pompa, doğru akım güç kaynağı, giriş suyu haznesi, anolit çıkış suyu haznesi, katolit çıkış suyu haznesi ve yardımcı bileşenlerden oluşmaktadır. Şekil 3.1’de elektrodializ sistemine ait şematik gösterim verilmektedir. Şekil 3.2’de laboratuvar ölçekli kurulan elektrodializ sistemi gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Elektrodiyaliz sistemi şematik gösterimi



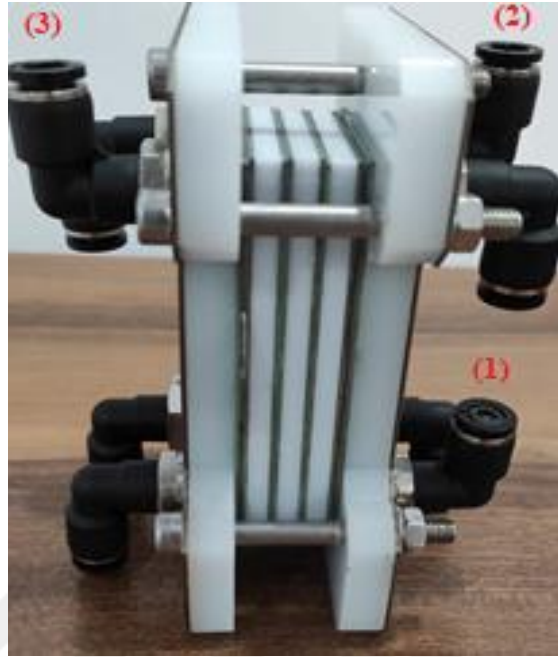
Şekil 3.2. Laboratuvar ölçekli kurulan elektrodiyaliz sistemi (a) çıkış deniz suyu haznesi, (b) giriş deniz suyu haznesi, (c) pompa, (d) güç kaynağı, (e) elektrodiyaliz hücresi

Elektrodiyaliz sistemini oluşturan bileşenlerinin işlevi ve özellikleri ve işlevleri Tablo 3.3'te gösterilmektedir.

Tablo 3.3. Elektrodiyaliz sisteminin bileşenlerinin işlevi ve özellikleri

Adı	İşlevi	Özellik
Elektrodiyaliz hücre	Tuz giderimini sağlamaktır.	Özel tasarım
Peristaltik pompa	Deniz suyunun iletimini sağlamaktır.	Ayarlanabilir debi
Doğru akım güç kaynağı	İyonların iletimini sağlamaktır.	Ayarlanabilir voltaj ve akım
Giriş suyu haznesi	Deniz suyunu sisteme iletmektir.	Karadeniz
Anolit çıkış suyu haznesi	Çıkış suyunu biriktirmektir.	Anyonca zengin çıkış suyu
Katolit çıkış suyu haznesi	Çıkış suyunu biriktirmektir.	Katyonca zengin çıkış suyu

Elektrodiyaliz hücresi literatür araştırmaları sonucu tasarlanmış ve özel olarak sanayide üretilmiştir. Elektrodiyaliz hücresi Şekil 3.3'te gösterilmektedir.



Şekil 3.3. Elektrodiyaliz hücresi (1) deniz suyu girişi (orta akış) (2) anolit çıkış suyu (3) katolit çıkış suyu

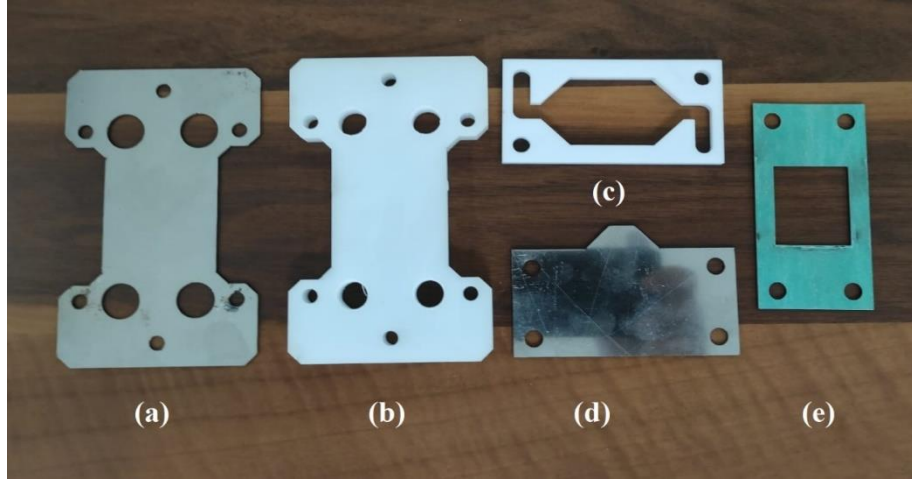
Elektrodiyaliz hücrede 4'ü giriş 4'ü çıkış olmak üzere toplamda 8 adet sıvı kanalı bulunmaktadır. Elektrodiyaliz hücrenin sağından 1 giriş ve 1 çıkış solundan ise 1 çıkış olmak üzere toplamda 3 adet kanal bulunmaktadır. Diğer 5 adet sıvı kanalı kapalı durumda tutulmaktadır.

Elektrodiyaliz hücresi içerisine 1 No'lu kanaldan giren deniz suyu hücrenin özel tasarımı sayesinde gerçekleşen akış sayesinde 2 No'lu kanaldan anolit çıkış suyu ve 3 No'lu kanaldan katolit çıkış suyu olarak hücreyi terketmektedir.

Elektrodiyaliz hücrenin bileşenleri dış çerçeveler, iç çerçeveler, elektrotlar, membranlar, contalar ve vidalardır. Elektrodiyaliz hücresi bileşenlerine ait özellikler ve işlevler Tablo 3.4'te gösterilmektedir. Elektrodiyaliz hücresi bileşenleri Şekil 3.4'te gösterilmektedir.

Tablo 3.4. Elektrodiyaliz hücresi bileşenleri

Adı	Materyal	İşlevi	Adet
En dış çerçeveler	Paslanmaz çelik	Hücreyi bütünleştirmektir.	2
Dış çerçeveler	Politetrafloroetilen (PTFE)	Hücreyi bütünleştirmektir	2
Vidalar	Paslanmaz çelik	Hücreyi bütünleştirmektedir.	6
Hücre içi çerçeveler	Politetrafloroetilen (PTFE)	Sıvı akışına yön vermektedir.	3
Elektrotlar	Platinyum kaplı titanyum	İyon hareketini sağlamaktadır.	2
Conta	Fiber	Sıvı kaçaklarını engellemektir.	8



Şekil 3.4. Elektrodializ hücresi bileşenleri (a) paslanmaz çelik dış çerçeve, (b) PTFE dış çerçeve, (c) PTFE iç çerçeve, (d) platinyum kaplı titanyum elektrot, (e) conta

Elektrodializ hücre içerisine yerleştirilen membranlar PVDF ve hidrofilik membranlar olup Merck Millipore firmasından ticari olarak temin edilmiştir. Temin edilen membran daire şeklinde, 47 mm çapında, 0.45 μm gözenek çapında, 125 μm kalınlığında, %70 poroziteye sahip PVDF ve hidrofilik özelliktedir.

PVDF membranlar katyon seçicilik özelliği kazandırmak amacı ile çeşitli sülfat grupları ile modifiye edilmiştir. Anyon seçicilik özelliği kazandırmak amacı ile ise aminler (N-metil-2-prolidan-NMP) ile modifiye edilmiştir (Zhang, vd., 2015).

Elektrodializ sistemi için ihtiyaç duyulan akım ve voltaj 30V-3A değerlerine kadar ayarlanabilir bir güç kaynağı vasıtası ile sağlanmıştır. Güç kaynağı sayesinde elektrodializ hücresi içerisindeki elektrotların artı (anot) ve eksi yük (katot) ile yüklenmesi sağlanmıştır.

Elektrotların yüzeylerinin kullanıma bağlı olarak zamanla pasifleşmesi öngörüldüğünden 5 günlük kullanımın ardından düzenli olarak temizlenmiştir.

Elektrodializ hücresi boyunca deniz (giriş) suyunun iletimi peristaltik pompa vasıtası ile gerçekleştirilmiştir. Pompanın debisi manuel olarak ayarlanmaktadır. Ulaşabildiği maksimum debi 85 mL/dk'dır.

3.2. Yöntem

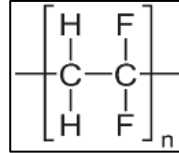
Çalışma boyunca uygulanan yöntemler elektrodializ hücre içerisine yerleştirilen membranların modifikasyonunun ve elektrodializ hücrenin tuzsuzlaştırma veriminin incelenmesi ve değerlendirilmesi olmak üzere iki başlık altında toplanmıştır.

3.2.1. Membran Modifikasyonunun İncelenmesi ve Değerlendirilmesi

Membran modifikasyonu için hidrofilik özellikte PVDF membran kullanılmıştır. PVDF membranlara modifikasyon işlemleri yardımı ile anyon ve katyon seçicilik özelliği kazandırılmıştır.

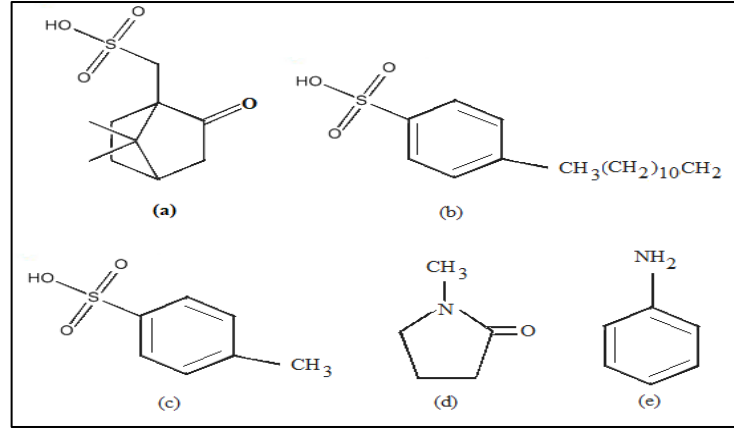
Katyon seçici membranlar yapıları gereği negatif yüklü gruplara sahip olmalıdır. Ticari olarak temin edilen hidrofilik özelliğe sahip olan PVDF membranların üzerlerinde negatif yüklü gruplar oluşturmak üzere sülfonlama işlemi yapılmıştır.

Sülfonlama işlemi sırasıyla şu şekilde gerçekleştirilmiştir. Membranlar hazırlanan klorosülfonik asit çözeltisinde 80 °C’de 45 dk bekletilmiştir. Daha sonra membranlar sırası ile 1.2 dikloroetan ve saf su ile yıkandıktan sonra 50 °C’de vakumlu fırında kurutulmuştur. Kurutulan membranlar 0.5 M sülfirik asit ve anilin çözeltisinde 1 saat bekletilmiş ve saf su ile yıkanmıştır. Sonrasında sırası ile 0.5 M amonyum peroksodisülfat çözeltisi içerisinde 4 saat 0.5 M amonyak çözeltisi içerisinde 12 saat bekletilmiş ve saf su ile yıkanmıştır. Bu işlemler sonucunda sülfonlama işlemi tamamlanmış olup son olarak membranlar 0.1 M CSA, DBSA ve PTSA çözeltilerinde 12 saat bekletilerek 3 farklı sülfonik asit türü için modifikasyon işlemi tamamlanmıştır (Farrokhzad vd., 2015). PVDF membranının kimyasal yapı formülü Şekil 3.5’te gösterilmiştir.



Şekil 3.5. PVDF’nin kimyasal yapı formülü (Anonim, 2021c)

PVDF membranların modifikasyonunda kullanılan CSA, DBSA, PTSA, NMP ve anilin için kimyasal yapı formülleri Şekil 3.6’da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Membran modifikasyonunda kullanılan kimyasalların yapı formülü (a)CSA, (b) DBSA, (c) PTSA, (d) NMP, (e) Anilin (Anonim, 2021c)

Anyon seçici membranlar yapıları gereği pozitif yüklü gruplara sahip olmalıdır. Ticari olarak temin edilen hidrofilik özelliğe sahip olan PVDF membranların üzerlerinde pozitif yüklü gruplar oluşturmak üzere önce HCl içerisinde çözünmüş anilin çözeltisi içerisinde 1 saat bekletilmiştir. Sonrasında sırası ile 0.5 M amonyum peroksodisülfat çözeltisi içerisinde 4 saat bekletilmiştir. 0.1 M HCl çözeltisinde yıkanan membranlar 0.5 M amonyak çözeltisi içerisinde 12 saat bekletilmiştir. Son olarak membranlar 0.1 M NMP çözeltisinde 12 saat bekletilerek modifikasyon işlemi tamamlanmıştır (Zhang vd., 2015).

Modifikasyon sonucunda elde edilen anyon ve katyon seçici membranların tanımlanması Tablo 3.5'te gösterilmektedir.

Tablo 3.5. Modifikasyon sonucunda elde edilen yeni membranların tanımlanması

Adı	Türü
S-PVDF-CSA	CSA ile sülfolama işlemi sonucunda elde edilen katyon seçici membran
S-PVDF-DBSA	DBSA sülfonik asit ile sülfolama işlemi sonucunda elde edilen katyon seçici membran
S-PVDF-PTSA	PTSA asit ile sülfolama işlemi sonucunda elde edilen katyon seçici membran
NMP-PVDF	NMP ile aminleme işlemi sonucunda elde edilen anyon seçici membran

Modifiye edilmiş membranlar elektrodializ hücresinde gruplar halinde tuz giderimi işleminde denenmiştir. Tablo 3.6'da elektrodializ hücresine yerleştirilen ve performansı değerlendirilen membran grupları tanımlanmıştır.

Tablo 3.6. Elektrodializ hücresine yerleştirilerek deneme yapılan membran grupları

Adı	Katyon Seçici Membran	Anyon Seçici Membran
D1	S-PVDF-CSA	NMP-PVDF
D2	S-PVDF-DBSA	NMP-PVDF
D3	S-PVDF-PTSA	NMP-PVDF

Membranlar her kullanımdan önce 30 °C sıcaklıkta saf suda 1 saat bekletilerek temizlenmiştir. Elektrodializ hücresi içerisine yerleştirilmiş membranların temizlenmesi işlemi ise her 3 saatin sonunda hücre içerisine pompa ile iletilen safsuyun sıyırma etkisi ile gerçekleştirilmiştir. Böylece membranlarda tıkanıklık probleminin önüne geçilmiştir.

Modifikasyon sonucu elde edilen yeni membranların fonksiyonel grupları ve morfolojileri Perkin-Elmer Spectrum Two Model FT-IR ve Jeol JSM 7001 F Model Elektron Taramalı Mikroskopu (SEM) aracılığı ile incelenmiştir.

Elektrodializ hücresinde yerleştirilen membranların performansları, su tutma kapasitesi, taşınım sayısı, iyon iletkenliği, seçici geçirgenliği ve iyon değiştirme hesaplanmıştır.

3.2.2. Laboratuvar Ölçekli Kurulan Elektrodializ Sistemindeki Tuzsuzlaştırma Performansının Değerlendirilmesi

Elektrodializ sistemi kurularak deniz suyunun tuzsuzlaştırılması işlemi voltaj, debi ve akım gibi işletme koşullarının sistemin performans göstergeleri olan giderim verimi (GV), giderilen madde miktarı (GMM), özgül elektriksel enerji tüketimine (ÖET) olan etkileri incelenmiş ve değerlendirilmiştir.

3.2.2.1. Elektrodializ Sistemi ile Tuzsuzlaştırma Yöntemi

Elektrodializ hücresi içerisine yerleştirilen D1, D2 ve D3 membran çiftleri için tuzsuzlaştırma performansı incelenerek değerlendirilmiştir. Çalışma 1 A, 2 A ve 3 A olmak üzere 3 farklı akım, 35 mL/dk, 50 mL/dk ve 75 mL/dk debi olmak üzere 3 farklı debi, 10 V, 20 V ve 30 V olmak üzere 3 farklı voltaj koşulları altında gerçekleştirilmiştir. Her bir deneme için 10 dk, 30 dk, 60 dk, 120 dk, 180 dk, 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonlarında anolit ve katolit çıkış sularından numuneler alınarak analizler gerçekleştirilmiştir. Voltaj, akım ve debinin etkisi incelenerek giderim verimi, giderilen madde miktarı ve özgül elektriksel enerji tüketimi değerlendirilmiştir.

3.2.2.2. Tuzluluk Miktarının Belirlenmesi

Tuzluluk iletkenlik ölçümü yardımı ile hesaplanarak tayin edilmiştir. Her bir numunenin sıcaklığı ve iletkenliği HACH marka HQ40D model portatif ölçüm cihazı yardımı ile tespit edilmiştir. Tespit edilen elektriksel iletkenlik ile önce tuzluluk oranı (R) hesaplanmış ve Eşitlik 2.3'teki ampirik formül ile giriş ve çıkış deniz sularının tuzluluğu (S) hesaplanmıştır.

3.2.2.3. Sınırlayıcı Akım Yoğunluğunun Belirlenmesi

Elektrodiyaliz süreçlerinin en önemli işletme şartlarından biri olan sınırlayıcı akım yoğunluğu değerlerinin saptanması amacıyla farklı konsantrasyonlarda NaCl içeren çözeltilere farklı voltaj değerleri uygulanarak sistemden geçen direnç değerlerin ölçülerek akım değerleri hesaplanmıştır. Sistem debisi sabit olarak seçilmiştir. Elektrodiyaliz hücre içerisine yerleştirilen anyon ve katyon değiştirici membran çiftleri Tablo 3.7'de gösterilmiştir.

Tablo 3.7. Sınırlayıcı akım yoğunluğunun belirlenmesinde kullanılan membran çiftleri ve şartlar

Adı	Anyon Seçici Membran	Katyon Seçici Membran	Debi (mL/dk)
D1	NMP-PVDF	S-PVDF-CSA	50
D2	NMP-PVDF	S-PVDF-DBSA	50
D3	NMP-PVDF	S-PVDF-PTSA	50

3.2.3. Elektrodiyaliz Sisteminin Giderim Verimi, Giderilen Madde Miktarı Özgül Enerji Tüketimi Üzerinden Performansının Değerlendirilmesi

Çalışma için debiler 35 mL/dk, 50 mL/dk ve 75 mL/dk, akım değerleri 1A, 2A, 3A ve voltaj değerleri 10 V, 20 V, 30 V olarak belirlenmiştir.

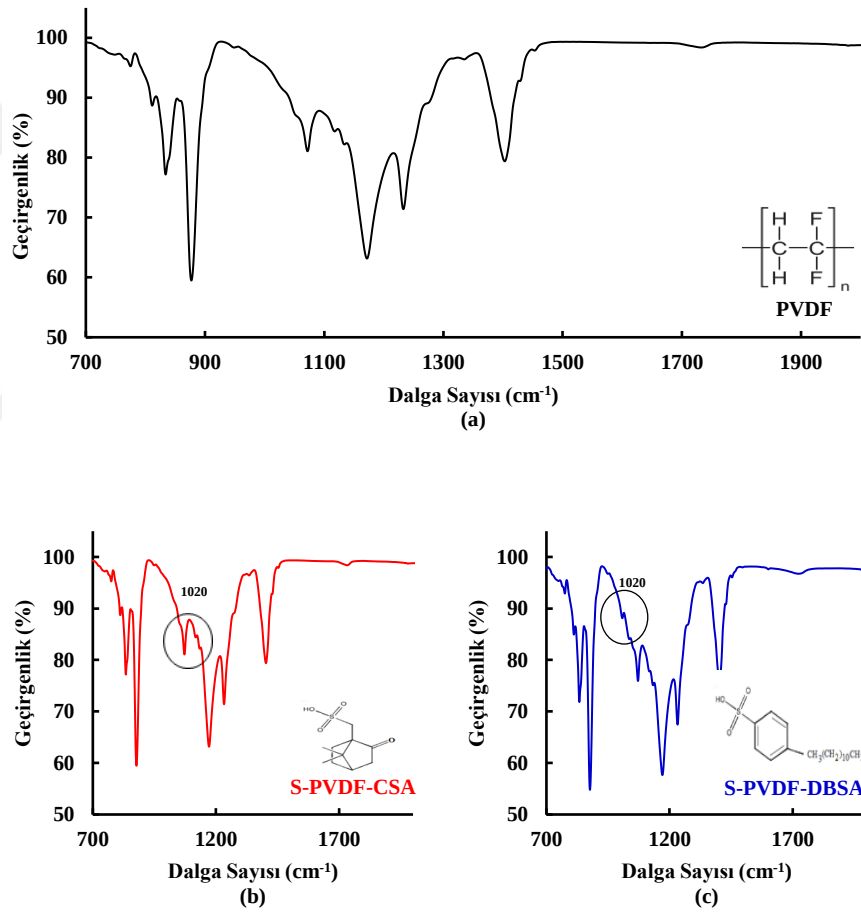
Tuzsulaştırma için süre 6 saat olarak seçilmiş ve yukarıda belirtilen debi, akım ve voltajlarda 10 dk, 30 dk, 60 dk, 120 dk, 180 dk, 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda numuneler alınmıştır. Alınan her bir numune üzerinden elektrodiyaliz sisteminin giderim verimi, giderilen madde miktarı ve özgül elektriksel enerji tüketimi üzerinden performans değerlendirmeleri yapılmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

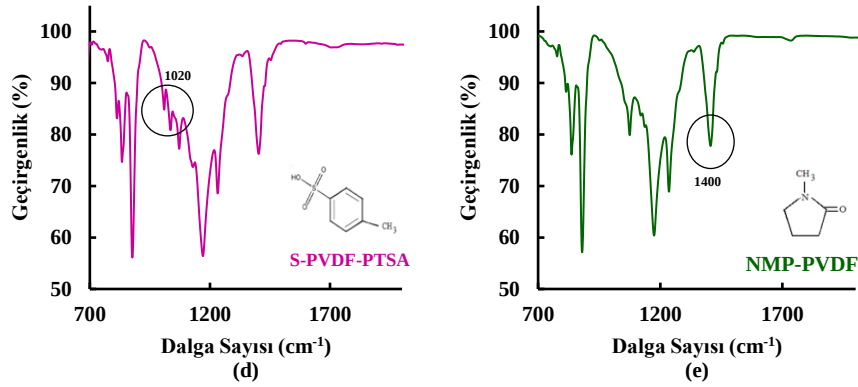
4.1. Membran Modifikasyonunun İncelenmesi ve Değerlendirilmesi

4.1.1. Modifiye Edilmiş Membranların Fonksiyonel Gruplarının İncelenmesi

PVDF membranların CSA, DBSA, PTSA ve NMP ile modifikasyonu sonucunda membran yüzeyinde oluşan fonksiyonel gruplar FT-IR spektrumları aracılığı ile belirlenmiştir. Modifikasyon işlemi sonucu elde edilen S-PVDF-CSA, S-PVDF-DBSA, S-PVDF-PTSA, NMP-PVDF membranların ve işlem görmemiş PVDF membranının FT-IR spektrumları ayrıık olarak Şekil 4.1’de gösterilmiştir.

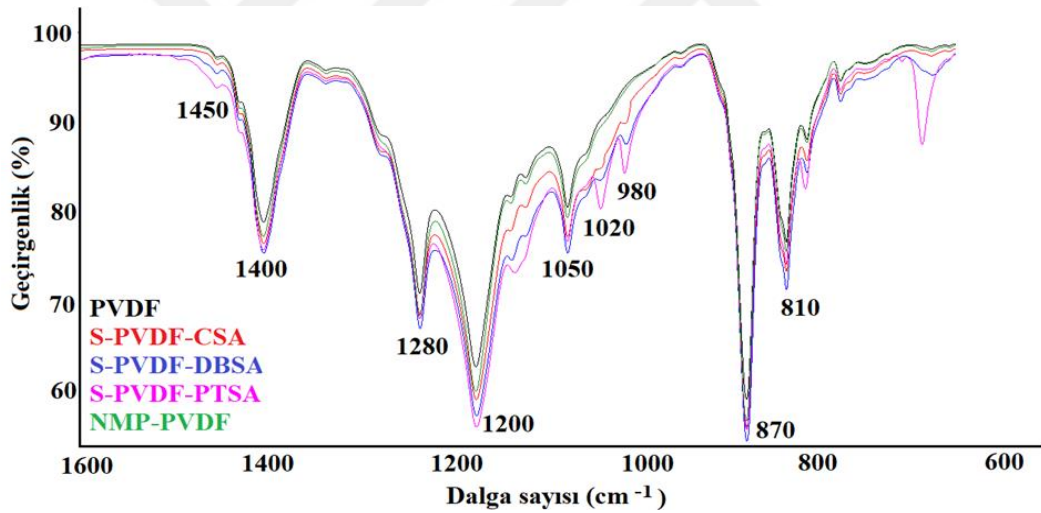


Şekil 4.1. Membranların ayrıık IR spektrumları a)PVDF, (b) S-PVDF-CSA, (c) S-PVDF-DBSA, (d) S-PVDF-PTSA, (e) NMP-PVDF



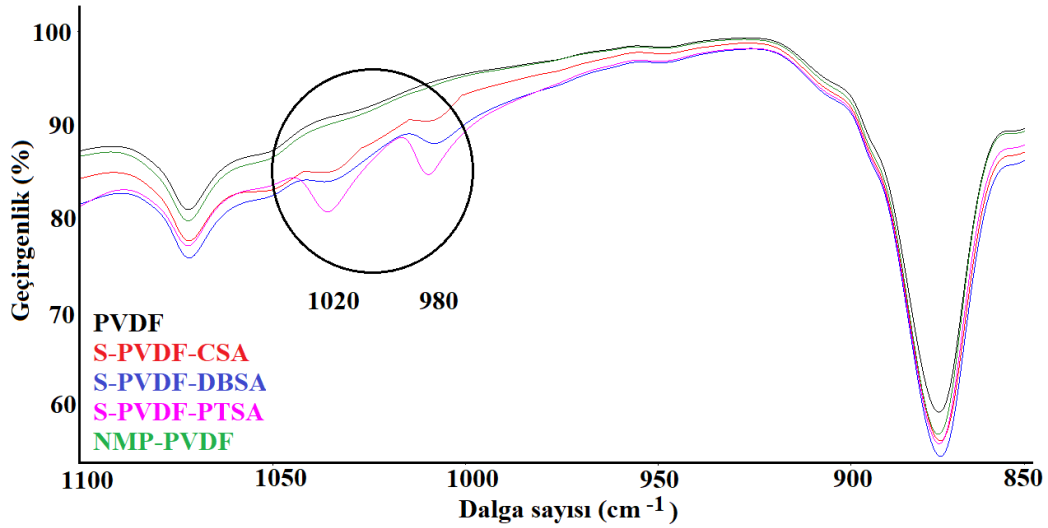
Şekil 4.2. Membranların ayırık IR spektrumları a)PVDF, (b) S-PVDF-CSA, (c) S-PVDF-DBSA, (d) S-PVDF-PTSA, (e) NMP-PVDF (Devamı)

Modifikasyon işlemi sonucu elde edilen S-PVDF-CSA, S-PVDF-DBSA, S-PVDF-PTSA, NMP-PVDF membranların ve işlem görmemiş PVDF membranının birleşik FT-IR spektrumları Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.3. PVDF, S-PVDF-CSA, S-PVDF-DBSA, S-PVDF-PTSA ve NMP-PVDF membranlarının birleşik IR spektrumları

Modifikasyon işlemi sonucu elde edilen S-PVDF-CSA, S-PVDF-DBSA, S-PVDF-PTSA, NMP-PVDF membranların ve işlem görmemiş PVDF membranının 850-1100 cm⁻¹ dalga sayısı aralığında yakınlştırılmış IR spektrumları Şekil 4.3’te gösterilmiştir.



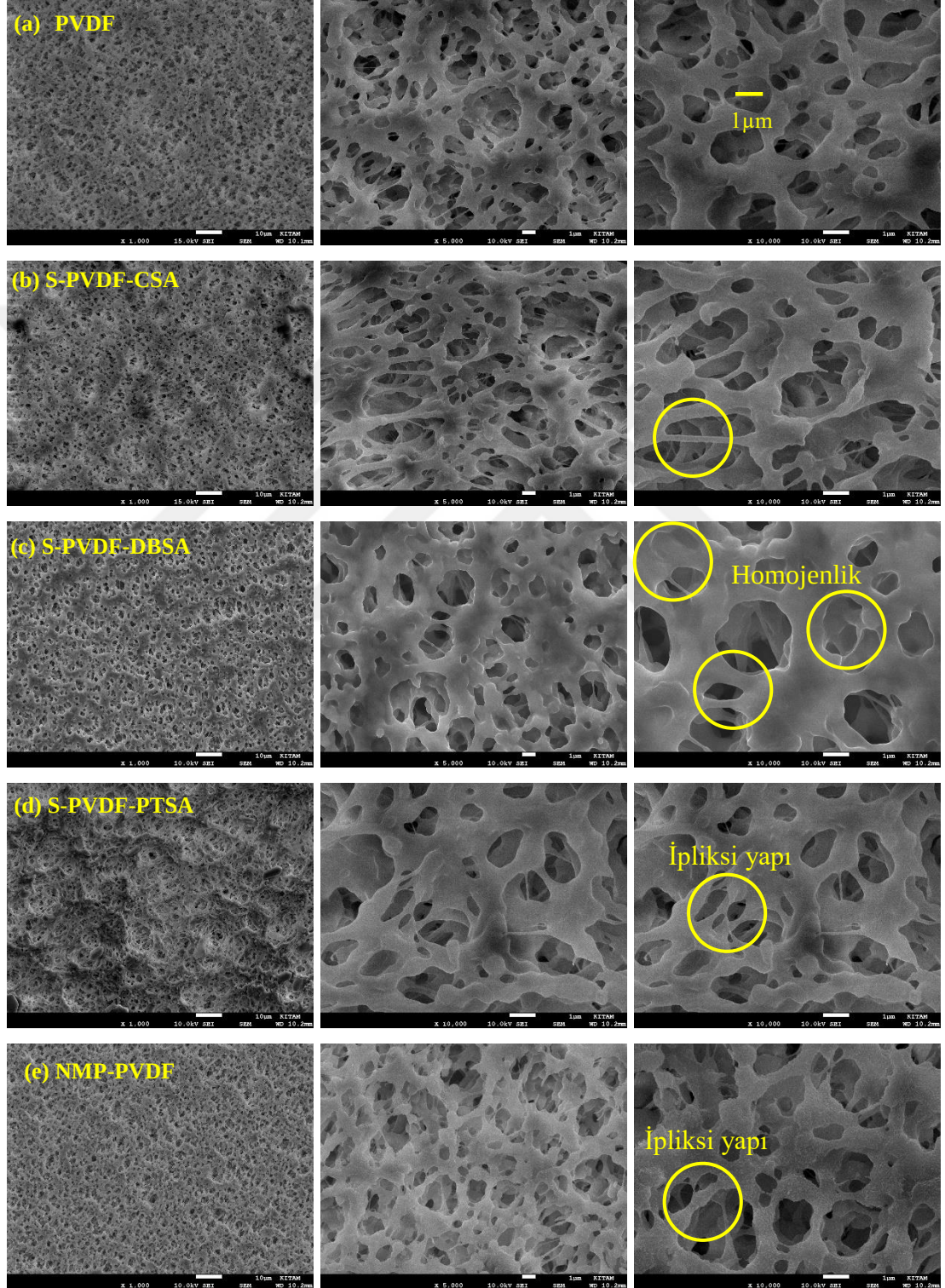
Şekil 4.4. PVDF, S-PVDF-CSA, S-PVDF-DBSA, S-PVDF-PTSA ve NMP-PVDF membranlarının 850-1100 cm^{-1} dalga sayısı aralığında yakınlaştırılmış IR spektrumları

Şekil 4.3'te gösterilen önce anilin daha sonra CSA, DBSA, PTSA ile sülfonlanmış membranların, NMP ile aminlenmiş membranın ve PVDF membranının FT-IR spektrumları gösterilerek literatürdeki standart IR pik tablosu eşliğinde değerlendirilmiştir. IR spektrumları incelendiğinde; temel membran esas malzemesi olan ve PVDF için karakteristik C-H pik gerilmelerinin (en yüksek geçirimsizliğinin) 810 ve 870 cm^{-1} dalga sayısı aralığında olduğu Şekil 4.2'de açıkça görülmektedir. 1100-1400 cm^{-1} dalga sayısı aralığındaki keskin pik gerilmelerinin PVDF yapısındaki C-F bağlarını işaret ettiği Şekil 4.2'de görülmektedir. PVDF membranının üzerindeki modifikasyon işleminin etkisi ile oluşan sülfon gruplarından kaynaklı S=O titreşimleri yaklaşık 980 ve 1020 cm^{-1} dalga sayısı aralığında S-PVDF-CSA, S-PVDF-DBSA ve S-PVDF-PTSA örneklerinde olduğu Şekil 4.3'te görülmektedir. NMP kaynaklı N-H bağları yaklaşık 1400 cm^{-1} dalga sayısında anilin kaynaklı N-H bağları ile örtüştüğü Şekil 4.1'de görülmektedir (Anonim, 2021d).

Şekil 4.3'te S-PVDF-CSA, S-PVDF-DBSA ve S-PVDF-PTSA NMP ile modifiye edilmiş PVDF membranının spektrumları modifiye edilmemiş PVDF membranının IR spektrumları ile karşılaştırıldığında geçirgenlik değerlerinin azalmış olduğu gösterilmektedir. Bu durum modifikasyon işleminin gerçekleştiğini göstermektedir.

4.1.2. Modifiye Edilmiş Membranların Morfolojilerinin İncelenmesi

Modifikasyonu sonucunda elde edilen membranların ve PVDF membranının morfolojileri Jeol JSM 7001 F Model Elektron Taramalı Mikroskobu (SEM) aracılığı ile görüntülenerek Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Membranların x1000, x5000 ve x10000 büyütmede SEM görüntüleri (a) PVDF, (b) S-PVDF-CSA, (c) S-PVDF-DBSA, (d) S-PVDF-PTSA, (e) NMP-PVDF

Modifikasyon işlemi sonucunda membran yüzeyinde meydana gelen değişimleri fiziksel olarak göstermek için kıyaslama yapmak amacıyla, modifikasyon işlemi yapılmamış PVDF membranının SEM görüntülerinden faydalanılmıştır.

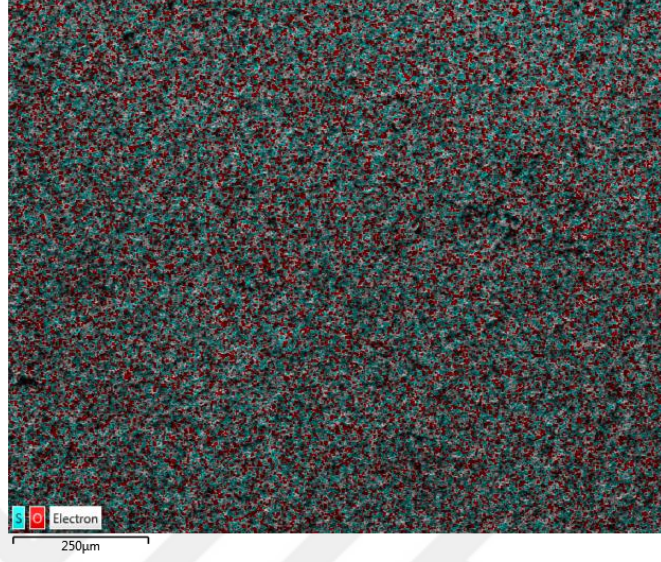
Şekil 4.4.'te x1000, x5000 ve x10000 büyütmede alınan SEM görüntülerinden faydalanılarak modifikasyon işlemi sonucunda membranların yüzeysel gözenek boyutlarında değişiklik olup olmadığı, bu değişikliklerin homojenliği ve membranların mukavemeti, modifikasyonsuz PVDF membranların gözenekleri ile karşılaştırılmıştır. Şekil 4.4.'te görüldüğü gibi modifikasyonsuz PVDF membranının 10000x büyütmede ortalama gözenek çapı yaklaşık 1 μm olarak gözlemlenmiştir. Modifikasyon işlemi sonucunda x10000 büyütmede elde edilen SEM görüntüsünde, modifikasyon işlemi sonucunda membranların modifikasyonsuz PVDF membranların gözenekleri ile karşılaştırıldığında yüzeysel gözenek boyutlarındaki artış açıkça görülmektedir. Görüntüler incelendiğinde gözenek boyutlarındaki en iyi homojen dağılım S-PVDF-DBSA membranında görülmektedir. Ayrıca x10000 büyütmede diğer modifikasyonlu membranlar incelendiğinde, gözenek boyutlarındaki aşırı artışı ile ipliksi yapıların oluşmasının membranların mukavemetinde azalma etkisi meydana getirmesi beklenmekte olduğu sonucuna varılmıştır.

PVDF membranların modifikasyonu sonucunda elde edilen S-PVDF-CSA, S-PVDF-DBSA, S-PVDF-PTSA, NMP-PVDF membranların yüzeylerindeki modifikasyon bileşiklerindeki elementlerin varlığı Taramalı Elektron Mikroskobu Enerji Dağılımı Spektrometresi (SEM-EDS) aracılığı ile görüntülenerek Şekil 4.5, Şekil 4.6, Şekil 4.7. ve Şekil 4.8'de sırası ile gösterilmiştir.



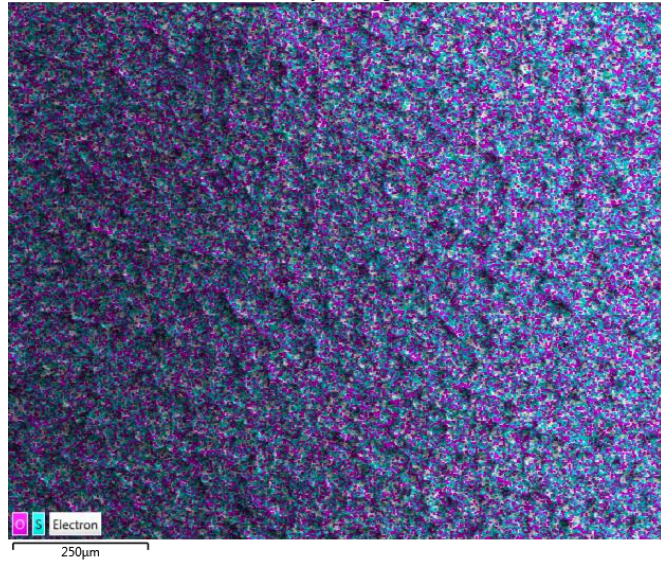
Şekil 4.6. S-PVDF-CSA membranının SEM-EDS görüntüsü (Kükürt elementi dağılımı)

Şekil 4.5’te membran modifikasyonunda kullanılan CSA bileşiğinin yapısındaki sülfonik gruplardan kaynaklı kükürt elementlerinin varlığı ve homojen dağılımı SEM-EDS görüntülerinde açıkça görülmektedir.



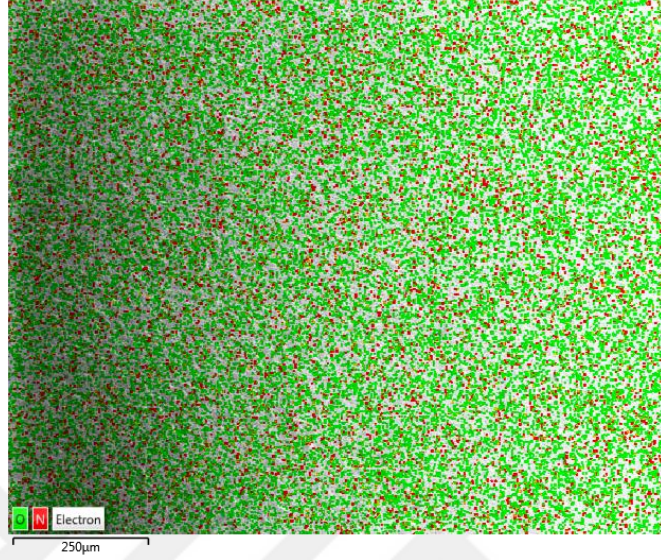
Şekil 4.7. S-PVDF-DBSA membranının SEM-EDS görüntüsü (Kükürt elementi dağılımı)

Şekil 4.6’da membran modifikasyonunda kullanılan DBSA bileşiğinin yapısındaki sülfonik gruplardan kaynaklı kükürt elementlerinin varlığı ve homojen dağılımı SEM-EDS görüntülerinde açıkça görülmektedir.



Şekil 4.8. S- PVDF-PTSA membranının SEM-EDS görüntüsü (Kükürt elementi dağılımı)

Şekil 4.7’de membran modifikasyonunda kullanılan PTSA bileşiğinin yapısındaki sülfonik gruplardan kaynaklı kükürt elementlerinin varlığı ve homojen dağılımı SEM-EDS görüntülerinde açıkça görülmektedir.



Şekil 4.9. NMP-PVDF membranının SEM-EDS görüntüsü (Azot elementi dağılımı)

Şekil 4.8’de ise membran modifikasyonunda kullanılan NMP bileşiği kaynaklı azot elementlerinin varlığı ve homojen dağılımı SEM-EDS görüntülerinde açıkça görülmektedir.

4.1.3. Modifiye Edilmiş Membranların Su Tutma Kapasitelerinin, Taşınım Sayılarının, Seçici Geçirgenliğinin, İyon İletkenliğinin ve İyon Değiştirme Kapasitelerinin İncelenmesi

Modifiye edilmiş membranların su tutma kapasitelerinin, taşınım sayılarının, seçici geçirgenliğinin, iyon iletkenliğinin ve iyon değiştirme kapasitelerinin incelenmesi Tablo 4.1’de gösterilmiştir.

Tablo 4.1. Modifiye Edilmiş Membranların Su Tutma Kapasitelerinin, Taşınım Sayılarının, Seçici Geçirgenliğinin, İyon İletkenliğinin ve İyon Değiştirme Kapasiteleri

Membran Tipi	Su Tutma Kapasitesi (%)	Taşınım Sayısı	Membranın Seçici Geçirgenliği	Membranın İyon İletkenliği (mS/cm)	İyon Değiştirme (Seçme) Kapasitesi (mEq/g)
PVDF	14.30	0.97	1.99	8.01	-
S-PVDF-CSA	9.70	0.82	2.05	2.06	0.44
S-PVDF-DBSA	8.40	0.86	1.89	0.78	0.44
S-PVDF-PTSA	7.90	0.76	1.47	1.13	0.41
NMP-PVDF	2.30	0.51	2.23	0.33	0.59

Membranın su tutma kapasitesi membranın kararlılığı ve iyon (anyon ve katyon) seçiciliği üzerinde etkili olan önemli bir özelliktir.

Modifikasyon işlemi sülfonik asitlerin sulu çözeltileri yardımı ile yapılmıştır. Tablo 4.1'den yüksek su tutma kapasitesine sahip membranda sülfonlama işleminin verimliliğinin yüksek olduğu görülmektedir. Diğer bir ifade ile membranlar üzerinde anyon ve katyon seçici grupların sayısının fazlalığını göstermektedir. Modifikasyon sonrasında S-PVDF-CSA, S-PVDF-DBSA, PVDF-PTSA katyon seçici membranların su tutma kapasiteleri sırası ile %9.70, %8.40, %7.90 ve NMP-PVDF anyon seçici membranının su tutma kapasitesi ise %2.30 olarak belirlenmiştir. Modifikasyon işlemi gerçekleştirilmemiş PVDF membranının su tutma kapasitesi ise %14.30 olarak belirlenmiştir. Yapılan modifikasyon işlemi ile birlikte membranların su tutma kapasitesinin azaldığı görülmüştür. En yüksek su tutma kapasitesine sahip membranın S-PVDF-CSA olduğu görülmektedir.

Tablo 4.1'de PVDF, S-PVDF-CSA, S-PVDF-DBSA, S-PVDF-PTSA ve NMP-PVDF membranları için taşınım sayılarının sırası ile 0.9733, 0.8217, 0.8634, 0.7620 ve 0.5084 şeklinde olduğu görülmektedir. Modifikasyon işlemi ile birlikte taşınım sayısının azaldığı görülmektedir. Taşınım sayısı en yüksek olan membran S-PVDF-DBSA'dır. Taşınım sayısının tuz giderme verimine ve elektrik enerjisi tüketimine etkisi ilerleyen bölümlerde değerlendirilmiştir.

Tablo 4.1'de PVDF, S-PVDF-CSA, S-PVDF-DBSA, S-PVDF-PTSA ve NMP-PVDF membranlarının seçici geçirgenliklerinin sırası ile 1.98, 2.05, 1.89, 1.47 ve 2.23 şeklinde olduğu görülmektedir. Modifikasyon işlemi ile birlikte seçici geçirgenliğin azaldığı görülmektedir. Seçici geçirgenliği en yüksek olan katyon seçici membran S-PVDF-CSA'dır. Seçici geçirgenliği en yüksek membran NMP-PVDF anyon seçici membranıdır. Seçici geçirgenliğin tuz giderme verimine ve elektrik enerjisi tüketimine etkisi ilerleyen bölümlerde değerlendirilmiştir.

Tablo 4.1'de PVDF, S-PVDF-CSA, S-PVDF-DBSA, S-PVDF-PTSA ve NMP-PVDF membranlarının iyon iletkenliklerinin sırası ile 8.01, 2.06, 0.78, 1.13 ve 0.33 şeklinde olduğu görülmektedir. Su tutma kapasitesi en az olan NMP-PVDF anyon seçici membranının iyon iletkenliğinin de en az olduğu görülmektedir. İyon iletkenliği membranın su tutma kapasitesi ile doğrudan ilgilidir. Membranların modifikasyon işlem sonrasında iyon iletkenliğinin azalmış olduğu gözlenmiştir.

Tablo 4.1'de S-PVDF-CSA, S-PVDF-DBSA, PVDF-PTSA ve NMP-PVDF katyon seçici membranların iyon değiştirme kapasitelerinin sırası ile 0.44, 0.44, 0.41

ve 0.59 şeklinde olduğu görülmektedir. Modifikasyon işlemi sonrasında katyon seçici membranlardan en yüksek iyon değiştirme kapasitene sahip olan membranın S-PVDF-DBSA olduğu görülmüştür. Yine modifikasyon işlemi sonrasında anyon seçici membran olan NMP-PVDF'nin iyon değiştirme kapasitesinin diğer membranlardan yüksek olduğu görülmüştür. İyon değiştirme kapasitesinin yüksek olması membranların üzerinde taşıdığı fonksiyonel grupların fazlalığını ifade etmekte olup tuz giderme verimine olumlu etki yapacağı düşünülmektedir.

4.2. Laboratuvar Ölçekli Kurulan Elektrodializ Sistemindeki Tuzsuzlaştırma Performansının Değerlendirilmesi

Elektrodializ sistemi kurularak deniz suyunun tuzsuzlaştırılması işlemi voltaj, debi ve akım gibi işletme parametrelerinin; sistemin performans göstergeleri olan akı, giderim verimi, giderilen madde miktarı, özgül elektriksel enerji tüketimi ve akım verimine olan etkileri incelenmiştir.

Elektrodializ sisteminin performansının değerlendirilmesinde yukarıda bahsi geçen performans göstergeleri için sisteme giriş ve sistemden çıkış konsantrasyonlarının belirlenmesinde tuzluluk miktarından geçiş yapılmıştır.

4.2.1. Tuzluluk Tayini

Tuzluluk iletkenlik ölçümü yardımı ile hesaplanarak tayin edilmiştir. Her bir numunenin sıcaklığı ve iletkenliği HACH marka HQ40D model portatif ölçüm cihazı yardımı ile tespit edilmiştir. Tespit edilen elektriksel iletkenlik ile önce R hesaplanmış ve Eşitlik 6.1'deki ampirik formül yardımı ile giriş ve çıkış deniz suyunun tuzluluğu (S) hesaplanmıştır.

Tuzsuzlaştırma işlemi yapılacak olan Karadeniz deniz suyu ait özellikler aşağıda Tablo 4.2'da gösterilmiştir.

Tablo 4.2. Çalışmada kullanılan deniz suyu ait özellikler

Adı	Sıcaklık (°C)	pH	Elektriksel İletkenlik (μS/cm)	Yoğunluk (g/mL)	R Oranı	Tuzluluk (‰ S)
Giriş Suyu	15	8.23	979	1.025	0.693	23.3

Sıcaklığı 15 °C ve pH'sı 8.23 ölçülen deniz suyunun için elektriksel iletkenliğinin ölçülmesi sonucunda tuzluluğu 23.3 g olarak hesaplanmıştır.

4.2.2. Sınırlayıcı Akım Yoğunluğu Değerinin Belirlenmesi

Elektrodiyaliz süreçlerinin en önemli işletme şartlarından biri olan sınırlayıcı akım yoğunluğu değerinin belirlenmesi, deniz suyunu temsilen 10 g/L, 20 g/L ve 30 g/L NaCl konsantrasyonlarındaki çözeltilere 10 V, 20 V ve 30 V voltaj değerleri uygulanarak sistemden geçen direnç değerleri ölçülerek akım değerleri hesaplanmıştır. Sistem debisi sabit olarak 50 mL/dk debi seçilmiştir. Elektrodiyaliz hücrenin üç bölmeli olması ve ohmik bölgede çalışma şansının yakalanabilmesi amacıyla tuzlu su çözeltileri düşük derişimde hazırlanmıştır.

Yapılan ölçümler ve hesaplamalar sonucunda D1, D2 ve D3 membran çiftleri için sisteme uygulanan voltaj değerlerine karşılık gelen akım değerleri Tablo 4.3, Tablo 4.4 ve Tablo 4.5'te görülmektedir.

D1 membran çiftleri için sisteme uygulanan voltaj değerlerine karşılık gelen akım değerleri Tablo 4.3'te görülmektedir.

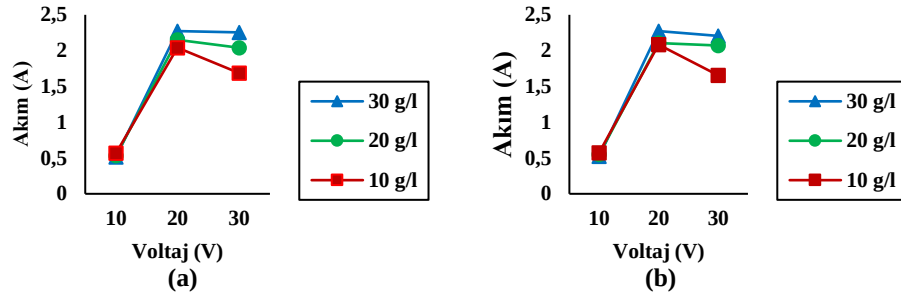
Tablo 4.3. D1 membran çifti anolit ve katolit çıkış suyu için voltaj değerlerine karşılık gelen akım değerleri (20 g/l NaCl; 50 mL/dk debi)

Membran Çifti	Derişim (mg/l)	Voltaj (V)	Direnç (Ω)	Akım (A)	Debi (mL/dk)
D1A	30	10	19.40	0.52	50
D1A	20	10	18.70	0.53	50
D1A	10	10	17.60	0.57	50
D1A	30	20	8.80	2.27	50
D1A	20	20	9.30	2.15	50
D1A	10	20	9.80	2.04	50
D1A	30	30	13.30	2.26	50
D1A	20	30	14.70	2.04	50
D1A	10	30	17.80	1.69	50
D1K	30	10	19.10	0.52	50
D1K	20	10	18.20	0.55	50
D1K	10	10	17.40	0.57	50
D1K	30	20	8.80	2.27	50
D1K	20	20	9.50	2.11	50
D1K	10	20	9.60	2.08	50
D1K	30	30	13.60	2.21	50
D1K	20	30	14.50	2.07	50
D1K	10	30	18.10	1.66	50

*D1A: Anolit çıkış suyu örnekleri

*D1K: Katolit çıkış suyu örnekleri

D1 membran çifti için sınırlayıcı akım yoğunluğu değerinin 20 g/l değerinde 30 V voltaja karşılık gelen akım değerlerinin ise yaklaşık 2A olduğu Şekil 4.9'da görülmektedir.



Şekil 4.10. (a) D1 membran çifti için anolit çıkış suyu voltaj değerlerine karşılık gelen akım değerleri (20 g/l NaCl; 50 mL/dk debi) (b) D1 membran çifti için katolit çıkış suyu voltaj değerlerine karşılık gelen akım değerleri (20 g/l NaCl; 50 mL/dk debi)

D2 membran çiftleri için sisteme uygulanan voltaj değerlerine karşılık gelen akım değerleri Tablo 4.4'te görülmektedir.

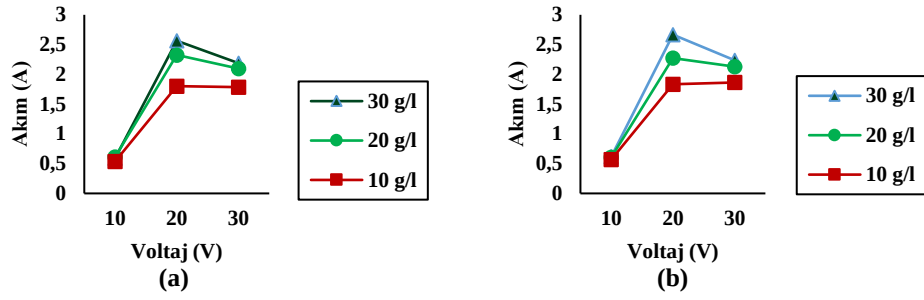
Tablo 4.4. D2 membran çifti anolit ve katolit çıkış suyu için voltaj değerlerine karşılık gelen akım değerleri (20 g/l NaCl; 50 mL/dk debi)

Membran Çifti	Derişim (mg/l)	Voltaj (V)	Direnç (Ω)	Akım (A)	Debi (mL/dk)
D2A	30	10	16.90	0.59	50
D2A	20	10	16.30	0.61	50
D2A	10	10	18.60	0.54	50
D2A	30	20	7.80	2.56	50
D2A	20	20	8.60	2.33	50
D2A	10	20	11.10	1.80	50
D2A	30	30	13.70	2.19	50
D2A	20	30	14.30	2.10	50
D2A	10	30	16.80	1.79	50
D2K	30	10	16.20	0.62	50
D2K	20	10	16.50	0.61	50
D2K	10	10	17.60	0.57	50
D2K	30	20	7.50	2.67	50
D2K	20	20	8.80	2.27	50
D2K	10	20	10.90	1.83	50
D2K	30	30	13.40	2.24	50
D2K	20	30	14.10	2.13	50
D2K	10	30	16.10	1.86	50

*D1A: Anolit çıkış suyu örnekleri

*D1K: Katolit çıkış suyu örnekleri

D2 membran çifti için sınırlayıcı akım yoğunluğu değerinin 20 g/L değerinde 30 V voltaja karşılık gelen akım değerlerinin ise yaklaşık 2A olduğu Şekil 4.10'da görülmektedir.



Şekil 4.11. (a) D2 membran çifti için anolit çıkış suyu voltaj değerlerine karşılık gelen akım değerleri (20 g/l NaCl; 50 mL/dk debi) (b) D2 membran çifti için katolit çıkış suyu voltaj değerlerine karşılık gelen akım değerleri (20 g/l NaCl; 50 mL/dk debi)

D3 membran çiftleri için sisteme uygulanan voltaj değerlerine karşılık gelen akım değerleri Tablo 4.5'te görülmektedir.

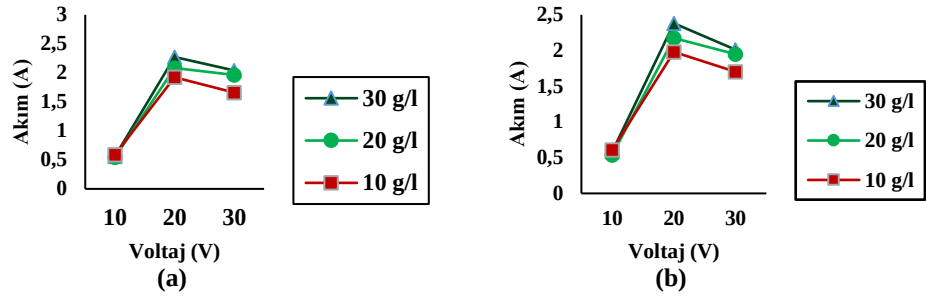
Tablo 4.5. D3 membran çifti anolit ve katolit çıkış suyu için voltaj değerlerine karşılık gelen akım değerleri (20 g/l NaCl; 50 mL/dk debi)

Membran Çifti	Derişim (mg/l)	Voltaj (V)	Direnç (Ω)	Akım (A)	Debi (mL/dk)
D3A	30	10	17.80	0.56	50
D3A	20	10	18.30	0.55	50
D3A	10	10	16.90	0.59	50
D3A	30	20	8.80	2.27	50
D3A	20	20	9.60	2.08	50
D3A	10	20	10.40	1.92	50
D3A	30	30	14.70	2.04	50
D3A	20	30	15.30	1.96	50
D3A	10	30	18.10	1.66	50
D3K	30	10	17.10	0.58	50
D3K	20	10	18.60	0.54	50
D3K	10	10	16.40	0.61	50
D3K	30	20	8.40	2.38	50
D3K	20	20	9.20	2.17	50
D3K	10	20	10.10	1.98	50
D3K	30	30	14.90	2.01	50
D3K	20	30	15.40	1.95	50
D3K	10	30	17.60	1.70	50

*D1A: Anolit çıkış suyu örnekleri

*D1K: Katolit çıkış suyu örnekleri

D3 membran çifti için sınırlayıcı akım yoğunluğu değerinin 20 g/L değerinde 30 V voltaja karşılık gelen akım değerlerinin ise yaklaşık 2A olduğu Şekil 4.11'de görülmektedir.



Şekil 4.12. (a) D3 membran çifti için anolit çıkış suyu voltaj değerlerine karşılık gelen akım değerleri (20 g/l NaCl; 50 mL/dk debi) (b) D3 membran çifti için katolit çıkış suyu voltaj değerlerine karşılık gelen akım değerleri (20 g/l NaCl; 50 mL/dk debi)

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda işletme şartlarına göre sınırlayıcı akım yoğunluğu değeri bütün membran çiftleri için 20 g/l değerinde 30 V voltaja karşılık gelen akım değerleri ise üç membran çifti için de yaklaşık 2 A değerinde olduğu görülmüştür.

Sınırlayıcı akım yoğunluğu çalışmalarında belirlenen 2 A akım değerinin 20 g/L konsantrasyonundaki hazırlanmış NaCl çözeltisi için belirlenmiş olması tez çalışmasında kullanılan deniz suyunun giriş tuzluluğunun 23.29 g olması sebebiyle voltajın ve debinin etkisinin incelenmesinde sabit akımın 2 A olarak seçilmesinde etkili olmuştur.

4.2.3. Voltajın Etkisi

Elektrodiyaliz sisteminde deniz suyu içerisindeki tuz iyonlarının elektrodiyaliz hücresi boyunca hareket ederek membranlardan geçmesini sağlayan kuvvet elektriksel kuvvettir. Tuz iyonları bir DC güç kaynağı sayesinde sisteme uygulanan, voltaj veya akım ile kontrol edilerek hareketli hale getirilmektedir.

Yapılan çalışmada içerisine membran çiftleri yerleştirilmiş elektrodiyaliz hücresi deniz suyunun tuzsuzlaştırılmasında kullanılmıştır. Başlangıçta iletkenliği ölçülmüş olan deniz suyunun elektrodiyaliz hücresinden geçirilmesi esnasında elektrodiyaliz hücresine elektrotlar ile 10, 20 ve 30 V değerlerinde voltaj uygulanmıştır. Voltajın GV, GMM ve ÖET üzerine olan etkisi incelenmiştir.

Çalışmada sınırlayıcı akım yoğunluğu; 8.23 pH ve 50 mL/dk debi değerlerinde 20 g/L konsantrasyona sahip NaCl çözeltisi için 30 V ve 2 A olarak belirlenmiştir. Elektrodiyaliz hücrenin hem anolit hem katolit kısımlarından örnekler alınmış ve değerlendirmeler ayrı olarak yapılmıştır.

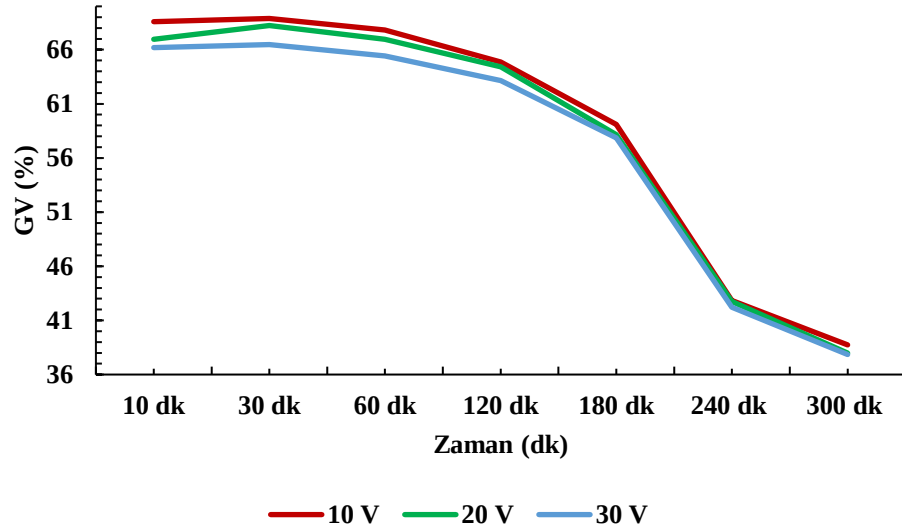
Elektrodiyaliz sisteminin anolit ve katolit su çıkışlarından 10, 30, 60, 120, 180, 240, 300 ve 360.dk'ların sonunda örnekler alınmıştır. Alınan herbir örnek için uygulanan voltaj değerlerine karşılık gelen iletkenlik, tuzluluk, GV, GMM ve ÖET değerleri belirlenmiştir.

D1 membran çifti yerleştirilmiş olan elektrodiyaliz hücresinin anolit su çıkışından alınan herbir örnek için uygulanan voltaj değerlerine karşılık gelen iletkenlik, tuzluluk, GV, GMM ve ÖET değerleri Tablo 4.6'da gösterilmiştir.

Tablo 4.6. D1 membran çifti için anolit su çıkışından alınan örnekler için deniz suyundan tuz gideriminde voltajın performans değerleri üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, I: 2 A, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23)

Adı	Zaman (dk)	Voltaj (V)	İletkenlik (μ S/cm)	Tuzluluk (g)	GMM (g)	GV (%)	ÖET (Wsa/g)
D1A	10	10	312.30	7.43	15.86	68.10	0.63
		20	314.36	7.48	15.81	67.89	0.42
		30	329.73	7.84	15.45	66.32	0.22
	30	10	307.70	7.32	15.97	68.57	1.25
		20	323.46	7.70	15.59	66.96	0,85
		30	331.10	7.88	15.41	66.18	0.43
	60	10	304.66	7.25	16.04	68.88	1.87
		20	311.03	7.40	15.89	68.23	1.26
		30	328.26	7.81	15.48	66.47	0.65
	120	10	315.04	7.49	15.80	67.82	3.80
		20	323.36	7.69	15.60	66.97	2.56
		30	338.44	8.05	15.24	65.43	1.31
	180	10	344.12	8.19	15.10	64.85	3.97
		20	348.33	8.29	15.00	64.42	2.67
		30	360.96	8.59	14.70	63.13	1.36
	240	10	400.41	9.53	13.76	59.10	4.36
		20	409.61	9.74	13.55	58.16	2.95
		30	412.65	9.82	13.47	57.85	1.48
	300	10	559.69	13.31	9.98	42.83	6.01
		20	560.38	13.33	9.96	42.76	4.02
		30	565.57	13.45	9.84	42.23	2.03
	360	10	599.74	14.27	9.02	38.74	6.65
		20	607.18	14.44	8.85	37.98	4.52
		30	608.45	14.47	8.82	37.85	2.27

Şekil 4.12'de D1 membran çifti için anolit su çıkışından 10, 30, 60, 120, 180, 240, 300 ve 360 dk'ların sonunda alınan örnekler için voltajın GV üzerine etkisi gösterilmiştir.



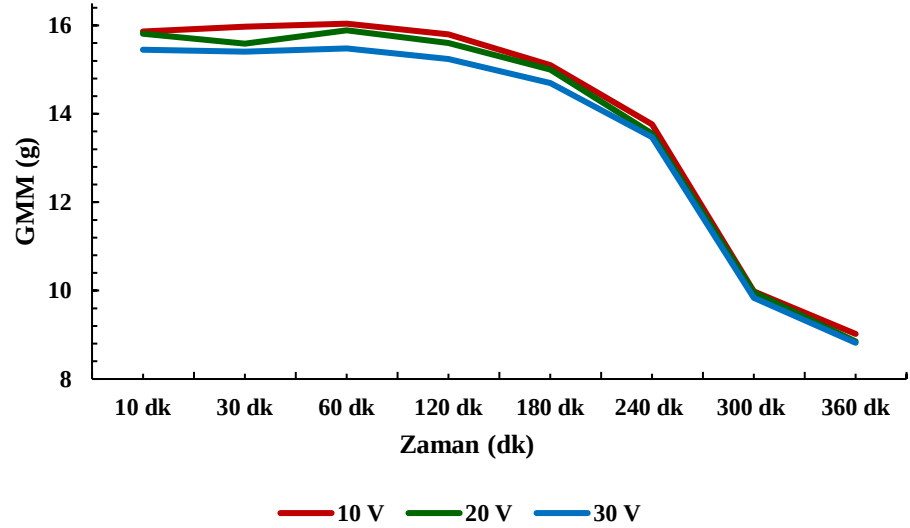
Şekil 4.13. D1 membran çifti için anolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde voltajın GV üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, I: 2 A, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23)

Şekil 4.12’de GV’nin uygulanan 10 V voltaj değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile %68.10, %68.57, %68.88, %67.82 olduğu, 180 dk’nın sonunda %64.85 olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk’ların sonunda sırası ile %59.10, %42.83ve %38.74 değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.12’de GV’nin uygulanan 20 V voltaj değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile %67.89, %66.96, %68.23, %66.97 olduğu, 180 dk’nın sonunda %64.42 olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk’ların sonunda sırası ile %58.16, %42.76 ve %37.98 değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.12’de GV’nin uygulanan 30 V voltaj değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile %66.32, %66.18, %66.47, %65.43 olduğu, 180 dk’nın sonunda %63.13 olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk’ların sonunda sırası ile %57.85, %42.23 ve %37.85 değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.13’te D1 membran çifti için anolit su çıkışından 10, 30, 60, 120, 180, 240, 300 ve 360 dk’ların sonunda alınan örnekler için voltajın GMM üzerine etkisi gösterilmiştir.



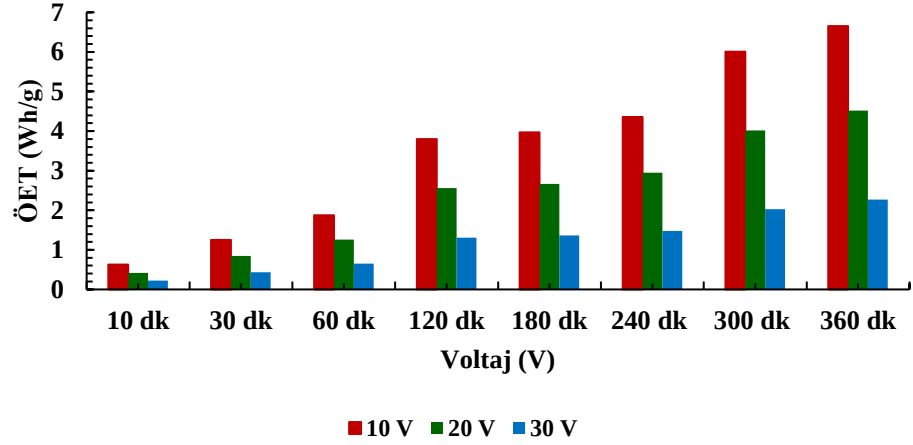
Şekil 4.14. D1 membran çifti için anolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde voltajın GMM üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, I: 2 A, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23)

Şekil 4.13'te GMM'nın uygulanan 10 V voltaj değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 15.86 g, 15.97 g 16.04 g, 15.80 g olduğu, 180 dk'nın sonunda 15.10 g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk'ların sonunda sırası ile 13.76 g, 9.98 g ve 9.02 g değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.13'te GMM'nın uygulanan 20 V voltaj değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 15.81 g, 15.59 g 15.89 g, 15.60 g olduğu, 180 dk'nın sonunda 15.00 g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk'ların sonunda sırası ile 13.55 g, 9.96 g ve 8.85 g değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.13'te GMM'nın uygulanan 30 V voltaj değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 15.45 g, 15.41 g 15.48 g, 15.24 g olduğu, 180 dk'nın sonunda 14.70 g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk'ların sonunda sırası ile 13.47 g, 9.84 g ve 8.82 g değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.14'te D1 membran çifti için anolit su çıkışından 10, 30, 60, 120, 180, 240, 300 ve 360 dk'ların sonunda alınan örnekler için voltajın ÖET üzerine etkisi gösterilmiştir.



Şekil 4.15. D1 membran çifti için anolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde voltajın ÖET üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, I: 2 A, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23)

Şekil 4.14'te ÖET'nin uygulanan 10 V voltaj değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 0.63 Wsa/g, 1.25 Wsa/g, 1.87 Wsa/g ve 3.80 Wsa/g olduğu, 180 dk'nın sonunda 3.97 Wsa/g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk'ların sonunda sırası ile 4.36 Wsa/g, 6.01 Wsa/g ve 6.65 Wsa/g değerine çıktığı görülmektedir.

Şekil 4.14'te ÖET'nin uygulanan 20 V voltaj değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 0.42 Wsa/g, 0.85 Wsa/g, 1.26 Wsa/g ve 2.56 Wsa/g olduğu, 180 dk'nın sonunda 2.67 Wsa/g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk'ların sonunda sırası ile 2.95 Wsa/g, 4.02 Wsa/g ve 4.52 Wsa/g değerine çıktığı görülmektedir.

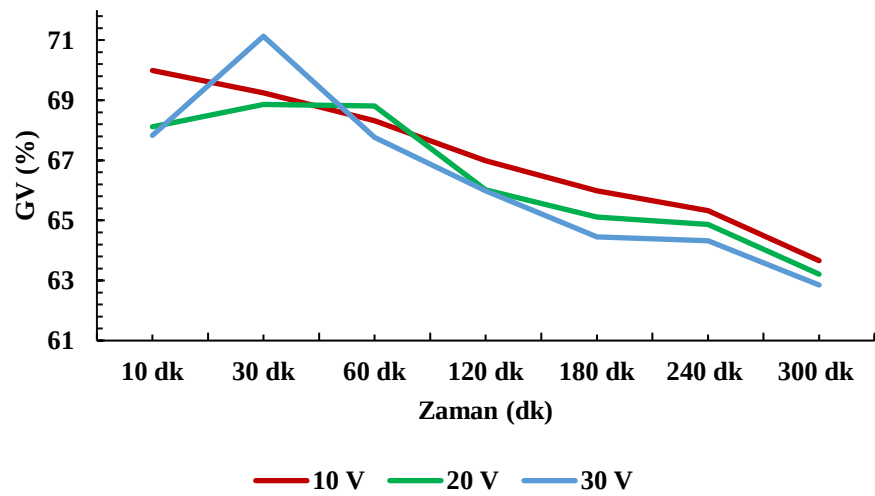
Şekil 4.14'te ÖET'nin uygulanan 30 V voltaj değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 0.22 Wsa/g, 0.43 Wsa/g, 0.65 Wsa/g ve 1.31 Wsa/g olduğu, 180 dk'nın sonunda 1.36 Wsa/g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk'ların sonunda sırası ile 1.48 Wsa/g, 2.03 Wsa/g ve 2.27 Wsa/g değerine çıktığı görülmektedir.

D1 membran çifti yerleştirilmiş olan elektrodializ hücresinin katolit su çıkışından alınan her bir örnek için uygulanan voltaj değerlerine karşılık gelen iletkenlik, tuzluluk, GV, GMM ve ÖET değerleri Tablo 4.7'de gösterilmiştir.

Tablo 4.7. D1 membran çifti için katolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde voltajın performans değerleri üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 $\mu\text{S/cm}$, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, I: 2 A, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23)

Adı	Zaman (dk)	Voltaj (V)	İletkenlik ($\mu\text{S/cm}$)	Tuzluluk (g)	GMM (g)	GV (%)	ÖET (Wsa/g)
D1K	10	10	294.19	7.00	16.29	69.95	0.61
		20	304.96	7.25	16.04	68.85	0.42
		30	307.80	7.32	15.97	68.56	0.21
	30	10	293.80	6.99	16.30	69.99	1.23
		20	312.11	7.42	15.87	68.12	0,84
		30	314.94	7.49	15.80	67.83	0.42
	60	10	301.04	7.16	16.13	69.25	1.86
		20	304.86	7.25	16.04	68.86	1.25
		30	282.64	6.72	16.57	71.13	0.60
	120	10	310.15	7.38	15.91	68.32	3.77
		20	305.35	7.26	16.03	68.81	2.50
		30	315.53	7.51	15.78	67.77	1.27
	180	10	323.17	7.69	15.60	66.99	3.85
		20	332.66	7.91	15.38	66.02	2.60
		30	333.06	7.92	15.37	65.98	1.30
	240	10	333.06	7.92	15.37	65.98	3.90
		20	341.57	8.13	15.16	65.11	2.64
		30	348.03	8.28	15.01	64.45	1.33
	300	10	339.52	8.08	15.21	65.32	3.94
		20	343.92	8.18	15.11	64.87	2.65
		30	349.31	8.31	14.98	64.32	1.34
	360	10	355.77	8.46	14.83	63.66	4.05
		20	360.17	8.57	14.72	63.21	2.72
		30	363.70	8.65	14.64	62.85	1.37

Şekil 4.15'te D1 membran çifti için katolit su çıkışından 10, 30, 60, 120, 180, 240, 300 ve 360 dk'ların sonunda alınan örnekler için voltajın GV üzerine etkisi gösterilmiştir.



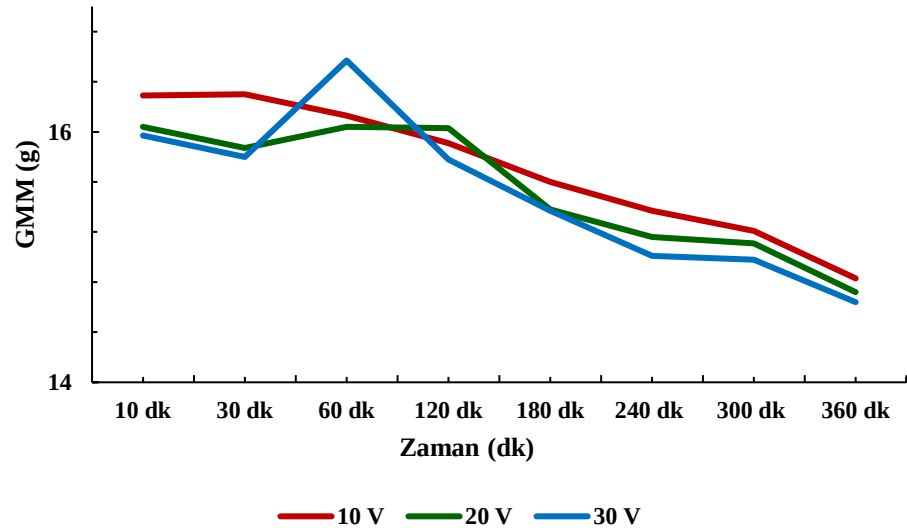
Şekil 4.16. D1 membran çifti için katolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde voltajın GV üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 $\mu\text{S/cm}$, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, I: 2 A, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23)

Şekil 4.15'te GV'nin uygulanan 10 V voltaj değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile %69.95, %69.99, %69.25, %68.32 olduğu, 180 dk'nın sonunda %66.99 olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk'ların sonunda sırası ile %65.98, %65.32 ve %63.66 değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.15'te GV'nin uygulanan 20 V voltaj değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile %68.85, %68.12, %68.86, %68.81 olduğu, 180 dk'nın sonunda %66.02 olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk'ların sonunda sırası ile %65.11, %64.87 ve %63.21 değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.15'te GV'nin uygulanan 30 V voltaj değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile %68.56, %67.83, %71.13, %67.77 olduğu, 180 dk'nın sonunda %65.98 olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk'ların sonunda sırası ile %64.45, %64.32 ve %62.85 değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.16'da D1 membran çifti için katolit su çıkışından 10, 30, 60, 120, 180, 240, 300 ve 360 dk'ların sonunda alınan örnekler için voltajın GMM üzerine etkisi gösterilmiştir.



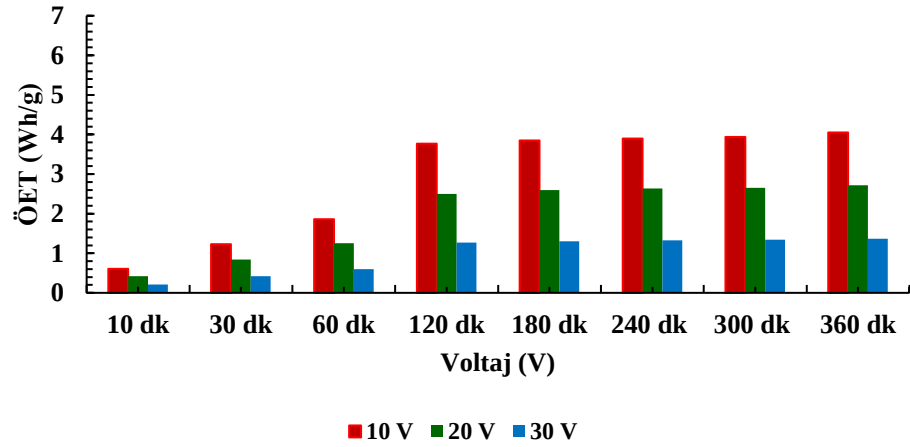
Şekil 4.17. D1 membran çifti için katolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde voltajın GMM üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, I: 2 A, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23)

Şekil 4.16'da GMM'nin uygulanan 10 V voltaj değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 16.29 g, 16.30 g 16.13 g, 15.91 g olduğu, 180 dk'nın sonunda 15.60 g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk'ların sonunda sırası ile 15.37 g, 15.21 g ve 14.83 g değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.16'da GMM'nin uygulanan 20 V voltaj değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 16.04 g, 15.87 g 16.04 g, 16.03 g olduğu, 180 dk'nın sonunda 15.38 g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk'ların sonunda sırası ile 15.16 g, 15.11 g ve 14.72 g değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.16'da GMM'nin uygulanan 30 V voltaj değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 15.97 g, 15.80 g 16.57 g, 15.78 g olduğu, 180 dk'nın sonunda 15.37 g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk'ların sonunda sırası ile 15.01 g, 14.98 g ve 14.64 g değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.17'de D1 membran çifti için katolit su çıkışından 10, 30, 60, 120, 180, 240, 300 ve 360 dk'ların sonunda alınan örnekler için voltajın ÖET üzerine etkisi gösterilmiştir.



Şekil 4.18. D1 membran çifti için katolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde voltajın ÖET üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, I: 2 A, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23)

Şekil 4.17'de ÖET'nin uygulanan 10 V voltaj değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 0.61 Wsa/g, 1.23 Wsa/g, 1.86 Wsa/g ve 3.77 Wsa/g olduğu, 180 dk'nın sonunda 3.85 Wsa/g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk'ların sonunda sırası ile 3.90 Wsa/g, 3.94 Wsa/g ve 4.05 Wsa/g değerine çıktığı görülmektedir.

Şekil 4.17'de ÖET'nin uygulanan 20 V voltaj değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 0.42 Wsa/g, 0.84 Wsa/g, 1.25 Wsa/g ve 2.50 Wsa/g olduğu, 180 dk'nın sonunda 2.60 Wsa/g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk'ların sonunda sırası ile 2.64 Wsa/g, 2.65 Wsa/g ve 2.72 Wsa/g değerine çıktığı görülmektedir.

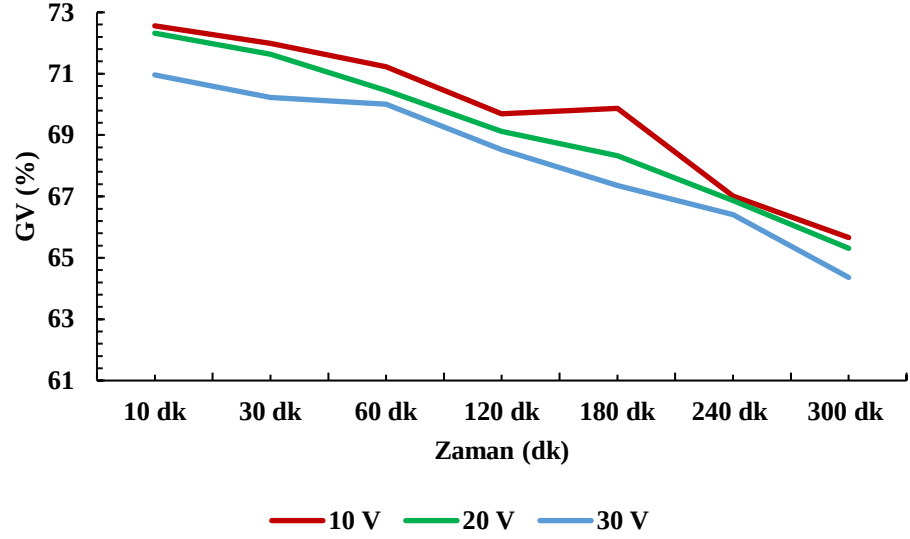
Şekil 4.17’de ÖET’nin uygulanan 30 V voltaj değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 0.21 Wsa/g, 0.42 Wsa/g, 0.60 Wsa/g ve 1.27 Wsa/g olduğu, 180 dk’nın sonunda 1.30 Wsa/g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk’ların sonunda sırası ile 1.33 Wsa/g, 1.34 Wsa/g ve 1.37 Wsa/g değerine çıktığı görülmektedir.

D2 membran çifti yerleştirilmiş olan elektrodializ hücresinin anolit su çıkışından alınan herbir örnek için uygulanan voltaj değerlerine karşılık gelen iletkenlik, tuzluluk, GV, GMM ve ÖET değerleri Tablo 4.8’de gösterilmiştir.

Tablo 4.8. D2 membran çifti için anolit su çıkışından alınan örnekler için deniz suyundan tuz gideriminde voltajın performans değerleri üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, I: 2 A, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23)

Adı	Zaman (dk)	Voltaj (V)	İletkenlik (μ S/cm)	Tuzluluk (g)	GMM (g)	GV (%)	ÖET (Wsa/g)
D2A	10	10	282.83	6.73	16.56	71.11	0.60
		20	284.11	6.76	16.53	70.98	0.40
		30	292.53	6.96	16.33	70.12	0.20
	30	10	268.64	6.39	16.90	72.56	1.18
		20	270.99	6.45	16.84	72.32	0.79
		30	284.30	6.76	16.53	70.96	0.40
	60	10	274.22	6.52	16.77	71.99	1.79
		20	277.74	6.61	16.68	71.63	1.20
		30	291.45	6.93	16.36	70.23	0.61
	120	10	281.66	6.70	16.59	71.23	3.62
		20	289.29	6.88	16.41	70.45	2.44
		30	293.60	6.98	16.31	70.01	1.23
	180	10	296.73	7.06	16.23	69.69	3.70
		20	302.32	7.19	16.10	69.12	2.48
		30	308.09	7.33	15.96	68.53	1.25
	240	10	294.97	7.02	16.27	69.87	3.69
		20	310.05	7.38	15.91	68.33	2.51
		30	319.55	7.60	15.69	67.36	1.27
	300	10	322.97	7.68	15.61	67.01	3.84
		20	324.34	7.72	15.57	66.87	2.57
		30	328.85	7.82	15.47	66.41	1.29
	360	10	336.19	8.00	15.29	65.66	3.92
		20	339.62	8.08	15.21	65.31	2.63
		30	348.92	8.30	14.99	64.36	1.33

Şekil 4.18’de D2 membran çifti için anolit su çıkışından 10, 30, 60, 120, 180, 240, 300 ve 360 dk’ların sonunda alınan örnekler için voltajın GV üzerine etkisi gösterilmiştir.



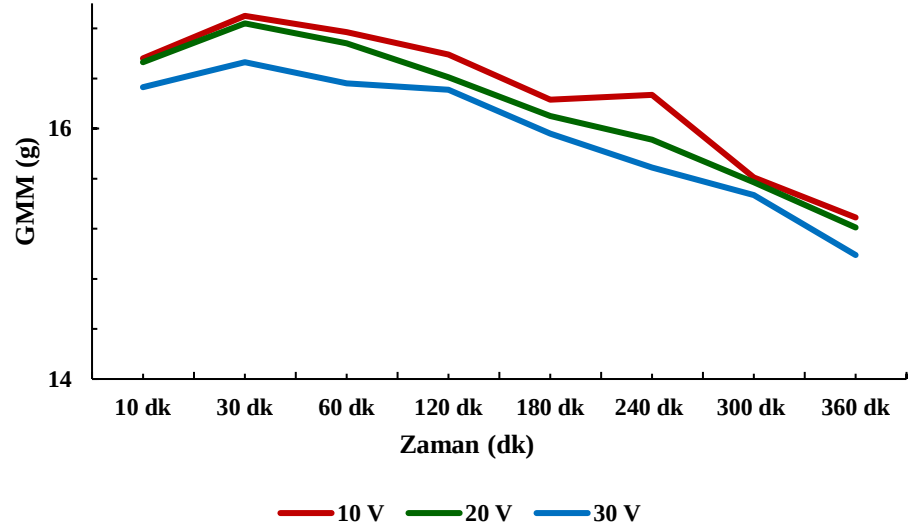
Şekil 4.19. D2 membran çifti için anolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde voltajın GV üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, I: 2 A, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23)

Şekil 4.18’de GV’nin uygulanan 30 V voltaj değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile %71.11, %72.56, %71.99, %71.23 olduğu, 180 dk’nın sonunda %69.69 olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk’ların sonunda sırası ile %69.87, %67.01 ve %65.66 değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.18’de GV’nin uygulanan 20 V voltaj değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile %70.98, %72.32, %71.63, %70.45 olduğu, 180 dk’nın sonunda %69.12 olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk’ların sonunda sırası ile %68.33, %66.87 ve %65.31 değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.18’de GV’nin uygulanan 10 V voltaj değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile %70.12, %70.96, %70.23, %70.01 olduğu, 180 dk’nın sonunda %68.53 olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk’ların sonunda sırası ile %67.36, %66.41 ve %64.36 değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.19’da D2 membran çifti için anolit su çıkışından 10, 30, 60, 120, 180, 240, 300 ve 360 dk’ların sonunda alınan örnekler için voltajın GMM üzerine etkisi gösterilmiştir.



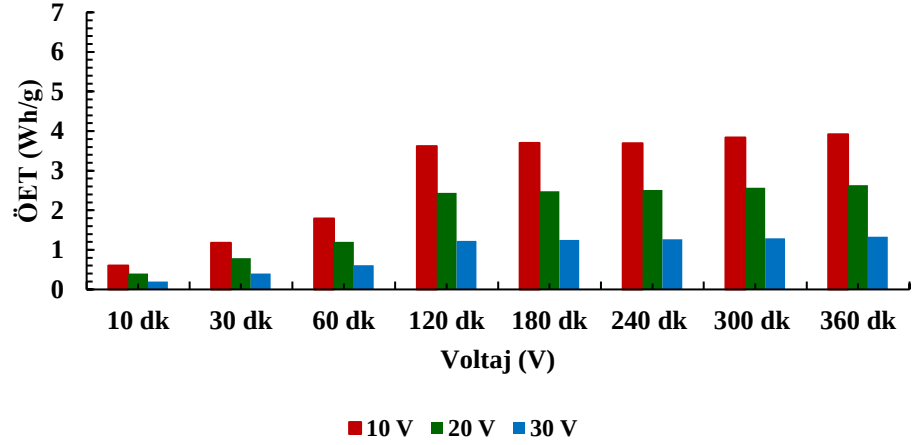
Şekil 4.20. D2 membran çifti için anolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde voltajın GMM üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, I: 2 A, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23)

Şekil 4.19'da GMM'nin uygulanan 10 V voltaj değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 16.56 g, 16.90 g, 16.77 g, 16.59 g olduğu, 180 dk'nın sonunda 16.23 g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk'ların sonunda sırası ile 16.27 g, 15.61 g ve 15.29 g değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.19'da GMM'nin uygulanan 20 V voltaj değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 16.53 g, 16.84 g, 16.68 g, 16.41 g olduğu, 180 dk'nın sonunda 16.10 g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk'ların sonunda sırası ile 15.91 g, 15.57 g ve 15.21 g değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.19'da GMM'nin uygulanan 30 V voltaj değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 16.33 g, 16.53 g 16.36 g, 16.31 g olduğu, 180 dk'nın sonunda 15.96 g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk'ların sonunda sırası ile 15.69 g, 15.47 g ve 14.99 g değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.20'de D2 membran çifti için anolit su çıkışından 10, 30, 60, 120, 180, 240, 300 ve 360 dk'ların sonunda alınan örnekler için voltajın ÖET üzerine etkisi gösterilmiştir.



Şekil 4.21. D2 membran çifti için anolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde voltajın ÖET üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 $\mu\text{S}/\text{cm}$, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, I: 2 A, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23)

Şekil 4.20’de ÖET’nin uygulanan 10 V voltaj değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 0.60 Wsa/g, 1.18 Wsa/g, 1.79 Wsa/g ve 3.62 Wsa/g olduğu, 180 dk’nın sonunda 3.70 Wsa/g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk’ların sonunda sırası ile 3.69 Wsa/g, 3.84 Wsa/g ve 3.92 Wsa/g değerine çıktığı görülmektedir.

Şekil 4.20’de ÖET’nin uygulanan 20 V voltaj değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 0.40 Wsa/g, 0.79 Wsa/g, 1.20 Wsa/g ve 2.44 Wsa/g olduğu, 180 dk’nın sonunda 2.48 Wsa/g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk’ların sonunda sırası ile 2.51 Wsa/g, 2.57 Wsa/g ve 2.63 Wsa/g değerine çıktığı görülmektedir.

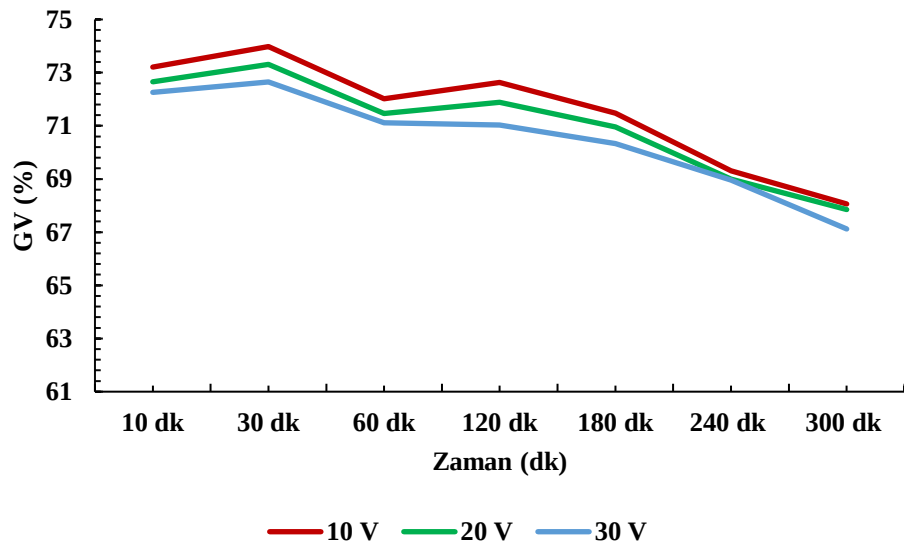
Şekil 4.20’de ÖET’nin uygulanan 30 V voltaj değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 0.20 Wsa/g, 0.40 Wsa/g, 0.61 Wsa/g ve 1.23 Wsa/g olduğu, 180 dk’nın sonunda 1.25 Wsa/g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk’ların sonunda sırası ile 1.27 Wsa/g, 1.29 Wsa/g ve 1.33 Wsa/g değerine çıktığı görülmektedir.

D2 membran çifti yerleştirilmiş olan elektrodiyaliz hücresinin katolit su çıkışından alınan her bir örnek için uygulanan voltaj değerlerine karşılık gelen iletkenlik, tuzluluk, GV, GMM ve ÖET değerleri Tablo 4.9’da gösterilmiştir.

Tablo 4.9. D2 membran çifti için katolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde voltajın performans değerleri üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 $\mu\text{S/cm}$, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, I: 2 A, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23)

Adı	Zaman (dk)	Voltaj (V)	İletkenlik ($\mu\text{S/cm}$)	Tuzluluk (g)	GMM (g)	GV (%)	ÖET (Wsa/g)
D2K	10	10	274.22	6.52	16.77	71.99	0.60
		20	279.50	6.65	16.64	71.45	0.40
		30	282.54	6.72	16.57	71.14	0.20
	30	10	262.27	6.24	17.05	73.21	1.17
		20	267.66	6.37	16.92	72.66	0.79
		30	271.57	6.46	16.83	72.26	0.40
	60	10	254.74	6.06	17.23	73.98	1.74
		20	261.30	6.22	17.07	73.31	1.17
		30	267.76	6.37	16.92	72.65	0.59
	120	10	273.92	6.52	16.77	72.02	3.58
		20	279.41	6.65	16.64	71.46	2.40
		30	282.83	6.73	16.56	71.11	1.21
	180	10	267.95	6.37	16.92	72.63	3.55
		20	275.29	6.55	16.74	71.88	2.39
		30	283.62	6.75	16.54	71.03	1.21
	240	10	279.31	6.64	16.65	71.47	3.60
		20	284.30	6.76	16.53	70.96	2.42
		30	290.47	6.91	16.38	70.33	1.22
	300	10	300.46	7.15	16.14	69.31	3.72
		20	303.59	7.22	16.07	68.99	2.49
		30	303.88	7.23	16.06	68.96	1.25
	360	10	312.69	7.44	15.85	68.06	3.79
		20	314.75	7.49	15.80	67.85	2.53
		30	321.90	7.66	15.63	67.12	1.28

Şekil 4.21’de D2 membran çifti için katolit su çıkışından 10, 30, 60, 120, 180, 240, 300 ve 360 dk’ların sonunda alınan örnekler için voltajın GV üzerine etkisi gösterilmiştir.



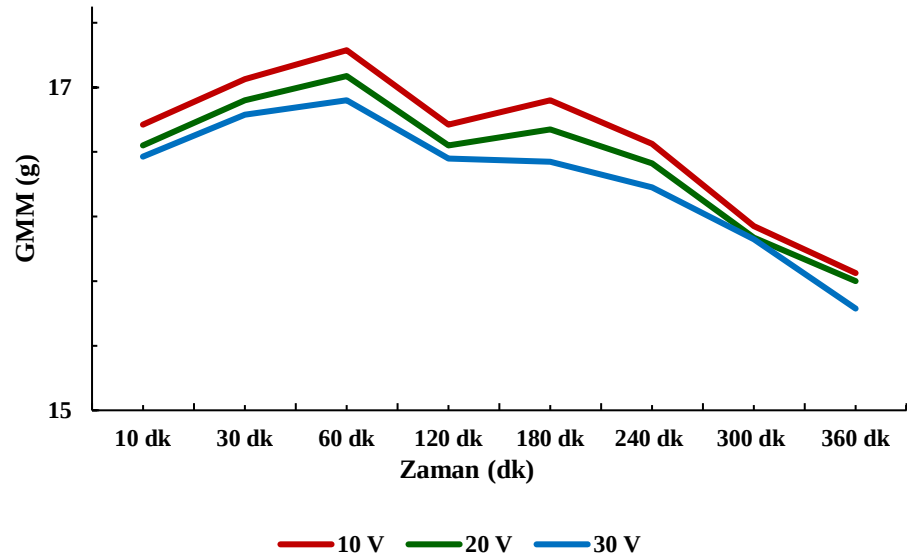
Şekil 4.22. D2 membran çifti için katolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde voltajın GV üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 $\mu\text{S/cm}$, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, I: 2 A, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23)

Şekil 4.21’de GV’nin uygulanan 10 V voltaj değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile %71.99, %73.21, %73.98, %72.02 olduğu, 180 dk’nın sonunda %72.63 olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk’ların sonunda sırası ile %71.47, %69.31 ve %68.06 değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.21’de GV’nin uygulanan 20 V voltaj değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile %71.45, %72.66, %73.31, %71.46 olduğu, 180 dk’nın sonunda %71.88 olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk’ların sonunda sırası ile %70.96, %68.99 ve %67.85 değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.21’de GV’nin uygulanan 30 V voltaj değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile %71.14, %72.26, %72.65, %71.11 olduğu, 180 dk’nın sonunda %71.03 olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk’ların sonunda sırası ile %70.33, %68.96 ve %67.12 değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.22’de D2 membran çifti için katolit su çıkışından 10, 30, 60, 120, 180, 240, 300 ve 360 dk’ların sonunda alınan örnekler için voltajın GMM üzerine etkisi gösterilmiştir.



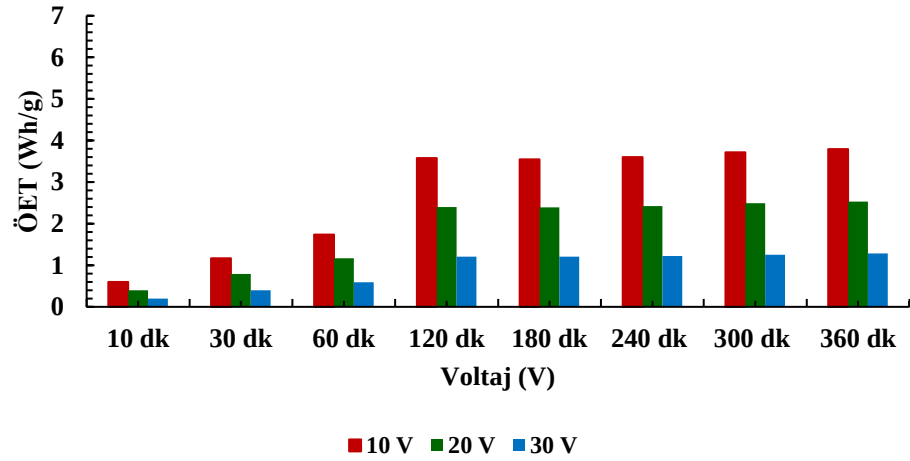
Şekil 4.23. D2 membran çifti için katolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde voltajın GMM üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, I: 2 A, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23)

Şekil 4.22’de GMM’nin uygulanan 10 V voltaj değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 16.77 g, 17.05 g, 17.23 g, 16.77 g olduğu, 180 dk’nın sonunda 16.92 g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk’ların sonunda sırası ile 16.65 g, 16.14 g ve 15.85 g değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.22’de GMM’nin uygulanan 20 V voltaj değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 16.64 g, 16.92 g, 17.07 g, 16.64 g olduğu, 180 dk’nın sonunda 16.74 g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk’ların sonunda sırası ile 16.53 g, 16.07 g ve 15.80 g değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.22’de GMM’nin uygulanan 30 V voltaj değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 16.57 g, 16.83 g, 16.92 g, 16.56 g olduğu, 180 dk’nın sonunda 16.54 g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk’ların sonunda sırası ile 16.38 g, 16.06 g ve 15.63 g değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.23’te D2 membran çifti için katolit su çıkışından 10, 30, 60, 120, 180, 240, 300 ve 360 dk’ların sonunda alınan örnekler için voltajın ÖET üzerine etkisi gösterilmiştir.



Şekil 4.24. D2 membran çifti için katolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde voltajın ÖET üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 $\mu\text{S}/\text{cm}$, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, I: 2 A, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23)

Şekil 4.23’te ÖET’nin uygulanan 10 V voltaj değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 0.60 Wsa/g, 1.17 Wsa/g, 1.74 Wsa/g ve 3.58 Wsa/g olduğu, 180 dk’nın sonunda 3.55 Wsa/g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk’ların sonunda sırası ile 3.60 Wsa/g, 3.72 Wsa/g ve 3.79 Wsa/g değerine çıktığı görülmektedir.

Şekil 4.23’te ÖET’nin uygulanan 20 V voltaj değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 0.40 Wsa/g, 0.79 Wsa/g, 1.17 Wsa/g ve 2.40 Wsa/g olduğu, 180 dk’nın sonunda 2.39 Wsa/g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk’ların sonunda sırası ile 2.42 Wsa/g, 2.49 Wsa/g ve 2.53 Wsa/g değerine çıktığı görülmektedir.

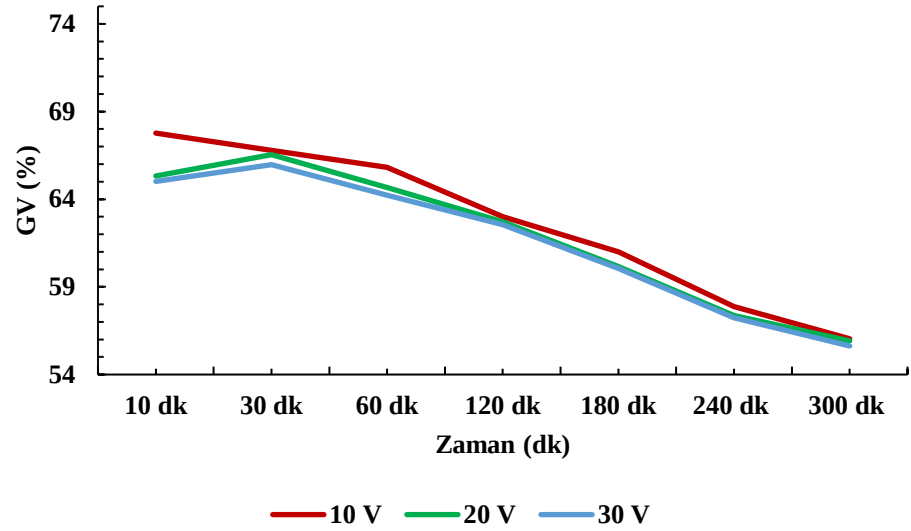
Şekil 4.23'te ÖET'nin uygulanan 30 V voltaj değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 0.20 Wsa/g, 0.40 Wsa/g, 0.59 Wsa/g ve 1.21 Wsa/g olduğu, 180 dk'nın sonunda 1.21 Wsa/g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk'ların sonunda sırası ile 1.22 Wsa/g, 1.25 Wsa/g ve 1.28 Wsa/g değerine çıktığı görülmektedir.

D3 membran çifti yerleştirilmiş olan elektrodiyaliz hücresinin anolit su çıkışından alınan herbir örnek için uygulanan voltaj değerlerine karşılık gelen iletkenlik, tuzluluk, GV, GMM ve ÖET değerleri Tablo 4.10'da gösterilmiştir.

Tablo 4.10. D3 membran çifti için anolit su çıkışından alınan örnekler için deniz suyundan tuz gideriminde voltajın performans değerleri üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, I: 2 A, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23)

Adı	Zaman (dk)	Voltaj (V)	İletkenlik (μ S/cm)	Tuzluluk (g)	GMM (g)	GV (%)	ÖET (Wsa/g)
D3A	10	10	335.01	7.97	15.32	65.78	0.65
		20	343.73	8.18	15.11	64.89	0.44
		30	348.33	8.29	15.00	64.42	0.22
	30	10	315.53	7.51	15.78	67.77	1.27
		20	339.42	8.07	15.22	65.33	0.88
		30	342.45	8.15	15.14	65.02	0.44
	60	10	325.22	7.74	15.55	66.78	1.93
		20	327.57	7.79	15.50	66.54	1.29
		30	333.15	7.93	15.36	65.97	0.65
	120	10	334.62	7.96	15.33	65.82	3.91
		20	345.98	8.23	15.06	64.66	2.66
		30	350.19	8.33	14.96	64.23	1.34
	180	10	362.13	8.61	14.68	63.01	4.09
		20	365.07	8.68	14.61	62.71	2.74
		30	366.64	8.72	14.57	62.55	1.37
	240	10	381.91	9.09	14.20	60.99	4.22
		20	390.03	9.28	14.01	60.16	2.85
		30	391.11	9.30	13.99	60.05	1.43
	300	10	412.35	9.81	13.48	57.88	4.45
		20	417.45	9.93	13.36	57.36	2.99
		30	418.72	9.96	13.33	57.23	1.50
	360	10	430.37	10.24	13.05	56.04	4.60
		20	431.54	10.27	13.02	55.92	3.07
		30	434.38	10.33	12.96	55.63	1.54

Şekil 4.24'te D3 membran çifti için anolit su çıkışından 10, 30, 60, 120, 180, 240, 300 ve 360 dk'ların sonunda alınan örnekler için voltajın GV üzerine etkisi gösterilmiştir.



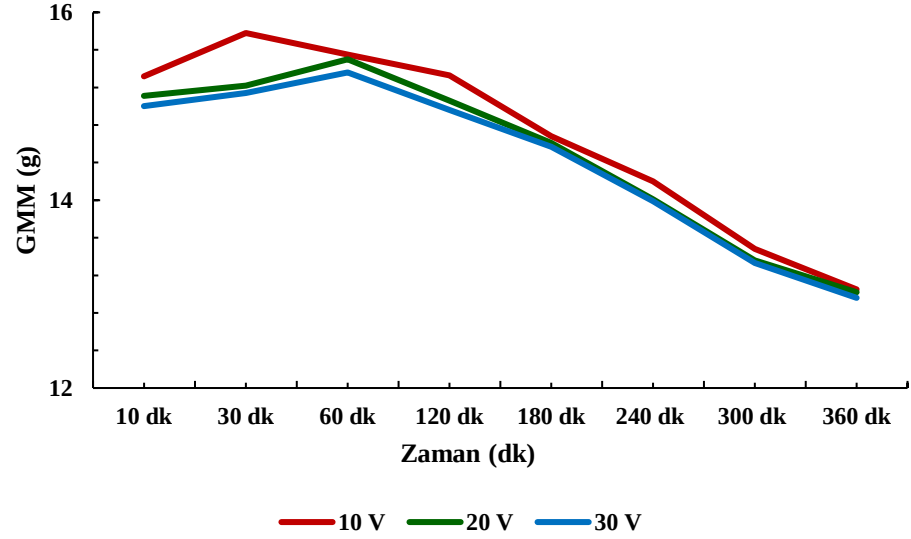
Şekil 4.25. D3 membran çifti için anolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde voltajın GV üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, I: 2 A, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23)

Şekil 4.24'te GV'nin uygulanan 10 V voltaj değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile %65.78, %67.77, %66.78, %65.82 olduğu, 180 dk'nın sonunda %63.01 olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk'ların sonunda sırası ile %60.99, %57.88 ve %56.04 değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.24'te GV'nin uygulanan 20 V voltaj değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile %64.89, %65.33, %66.54, %64.66 olduğu, 180 dk'nın sonunda %62.71 olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk'ların sonunda sırası ile %60.16, %57.36 ve %55.92 değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.24'te GV'nin uygulanan 30 V voltaj değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile %64.42, %65.02 %65.97, %64.23 olduğu, 180 dk'nın sonunda %62.55 olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk'ların sonunda sırası ile %60.05, %57.23 ve %55.63 değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.25'te D3 membran çifti için anolit su çıkışından 10, 30, 60, 120, 180, 240, 300 ve 360 dk'ların sonunda alınan örnekler için voltajın GMM üzerine etkisi gösterilmiştir.



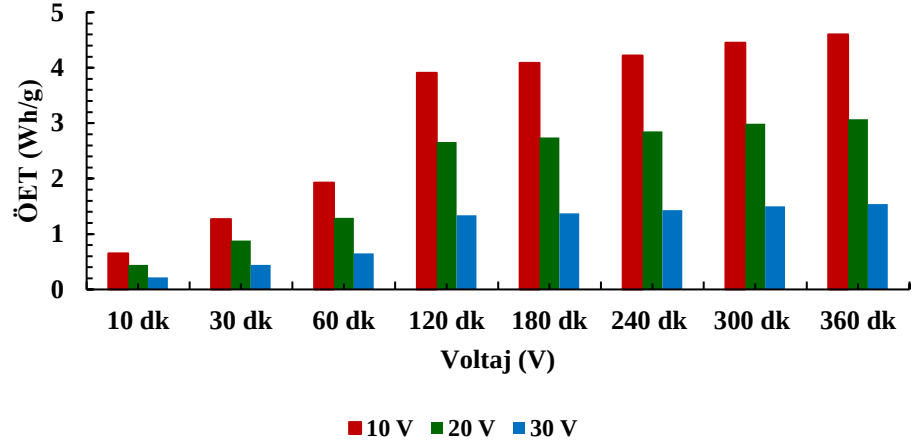
Şekil 4.26. D3 membran çifti için anolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde voltajın GMM üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 $\mu\text{S}/\text{cm}$, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, I: 2 A, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23)

Şekil 4.25'te GMM'nın uygulanan 10 V voltaj değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 15.32 g, 15.78 g, 15.55 g, 15.33 g olduğu, 180 dk'nın sonunda 14.68 g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk'ların sonunda sırası ile 14.20 g, 13.48 g ve 13.05 g değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.25'te GMM'nın uygulanan 20 V voltaj değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 15.11 g, 15.22 g, 15.50 g, 15.06 g olduğu, 180 dk'nın sonunda 14.61 g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk'ların sonunda sırası ile 14.01 g, 13.36 g ve 13.02 g değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.25'de GMM'nın uygulanan 30 V voltaj değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 15.00 g, 15.14 g, 15.36 g, 14.96 g olduğu, 180 dk'nın sonunda 14.57 g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk'ların sonunda sırası ile 13.99 g, 13.33 g ve 12.96 g değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.26'da D3 membran çifti için anolit su çıkışından 10, 30, 60, 120, 180, 240, 300 ve 360 dk'ların sonunda alınan örnekler için voltajın ÖET üzerine etkisi gösterilmiştir.



Şekil 4.27. D3 membran çifti için anolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde voltajın ÖET üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 $\mu\text{S}/\text{cm}$, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, I: 2 A, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23)

Şekil 4.26'da ÖET'nin uygulanan 10 V voltaj değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 0.65 Wsa/g, 1.27 Wsa/g, 1.93 Wsa/g ve 3.91 Wsa/g olduğu, 180 dk'nın sonunda 4.09 Wsa/g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk'ların sonunda sırası ile 4.22 Wsa/g, 4.45 Wsa/g ve 4.60 Wsa/g değerine çıktığı görülmektedir.

Şekil 4.26'da ÖET'nin uygulanan 20 V voltaj değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 0.44 Wsa/g, 0.88 Wsa/g, 1.29 Wsa/g ve 2.66 Wsa/g olduğu, 180 dk'nın sonunda 2.74 Wsa/g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk'ların sonunda sırası ile 2.85 Wsa/g, 2.99 Wsa/g ve 3.07 Wsa/g değerine çıktığı görülmektedir.

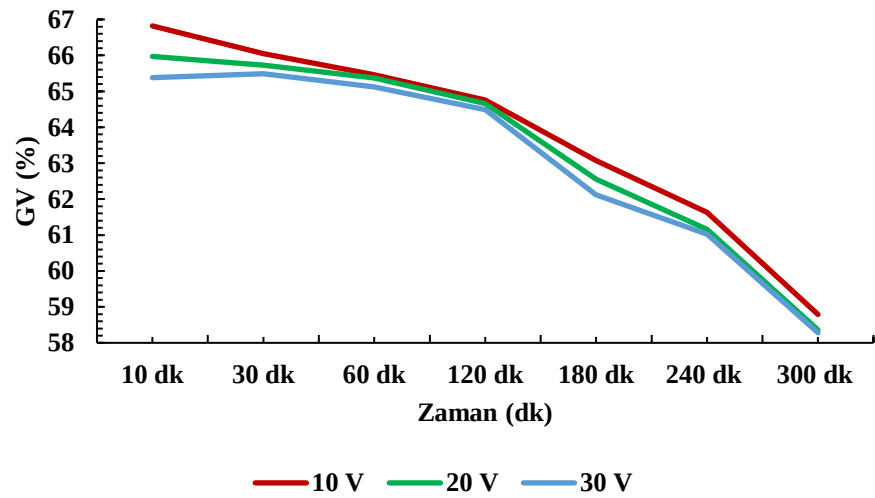
Şekil 4.26'da ÖET'nin uygulanan 30 V voltaj değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 0.22 Wsa/g, 0.44 Wsa/g, 0.65 Wsa/g ve 1.34 Wsa/g olduğu, 180 dk'nın sonunda 1.37 Wsa/g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile 1.43 Wsa/g, 1.50 Wsa/g ve 1.54 Wsa/g değerine çıktığı görülmektedir.

D3 membran çifti yerleştirilmiş olan elektrodializ hücresinin katolit su çıkışından alınan her bir örnek için uygulanan voltaj değerlerine karşılık gelen iletkenlik, tuzluluk, GV, GMM ve ÖET değerleri Tablo 4.11'de gösterilmiştir.

Tablo 4.11. D3 membran çifti için katolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde voltajın performans değerleri üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 $\mu\text{S/cm}$, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, I: 2 A, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23)

Adı	Zaman (dk)	Voltaj (V)	İletkenlik ($\mu\text{S/cm}$)	Tuzluluk (g)	GMM (g)	GV (%)	ÖET (Wsa/g)
D3K	10	10	330.12	7.85	15.44	66.28	0.65
		20	331.69	7.89	15.40	66.12	0.43
		30	337.56	8.03	15.26	65.52	0.22
	30	10	324.83	7.73	15.56	66.82	1.29
		20	333.15	7.93	15.36	65.97	0.87
		30	338.93	8.06	15.23	65.38	0.44
	60	10	332.37	7.91	15.38	66.05	1.95
		20	335.50	7.98	15.31	65.73	1.31
		30	337.85	8.04	15.25	65.49	0.66
	120	10	338.15	8.04	15.25	65.46	3.94
		20	339.03	8.07	15.22	65.37	2.63
		30	341.48	8.12	15.17	65.12	1.32
	180	10	345.00	8.21	15.08	64.76	3.98
		20	345.98	8.23	15.06	64.66	2.66
		30	347.64	8.27	15.02	64.49	1.33
	240	10	361.54	8.60	14.69	63.07	4.08
		20	366.54	8.72	14.57	62.56	2.75
		30	370.85	8.82	14.47	62.12	1.38
	300	10	375.64	8.94	14.35	61.63	4.18
		20	380.24	9.05	14.24	61.16	2.81
		30	381.61	9.08	14.21	61.02	1.41
	360	10	403.45	9.60	13.69	58.79	4.38
		20	407.66	9.70	13.59	58.36	2.94
		30	408.44	9.72	13.57	58.28	1.47

Şekil 4.27’de D3 membran çifti için katolit su çıkışından 10, 30, 60, 120, 180, 240, 300 ve 360 dk’ların sonunda alınan örnekler için voltajın GV üzerine etkisi gösterilmiştir.



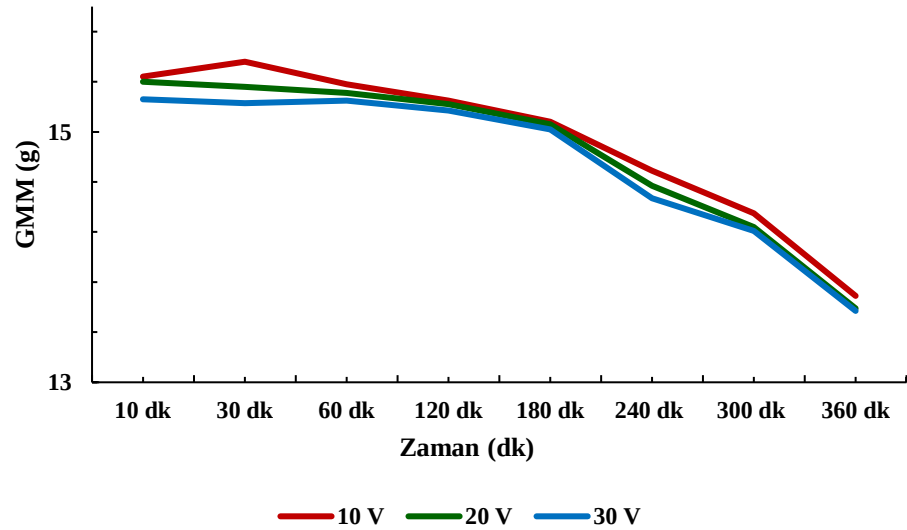
Şekil 4.28. D3 membran çifti için katolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde voltajın GV üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 $\mu\text{S/cm}$, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, I: 2 A, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23)

Şekil 4.27’de GV’nin uygulanan 10 V voltaj değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile %66.28, %66.82, %66.05, %65.46 olduğu, 180 dk’nın sonunda %64.76 olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk’ların sonunda sırası ile %63.07, %61.63 ve %58.79 değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.27’de GV’nin uygulanan 20 V voltaj değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile %66.12, %65.97, %65.73, %65.37 olduğu, 180 dk’nın sonunda %64.66 olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk’ların sonunda sırası ile %62.56, %61.16 ve %58.36 değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.27’de GV’nin uygulanan 30 V voltaj değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile %65.52, %65.38, %65.49, %65.12 olduğu, 180 dk’nın sonunda %64.49 olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk’ların sonunda sırası ile %62.12, %61.02 ve %58.28 değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.28’de D3 membran çifti için katolit su çıkışından 10, 30, 60, 120, 180, 240, 300 ve 360 dk’ların sonunda alınan örnekler için voltajın GMM üzerine etkisi gösterilmiştir.



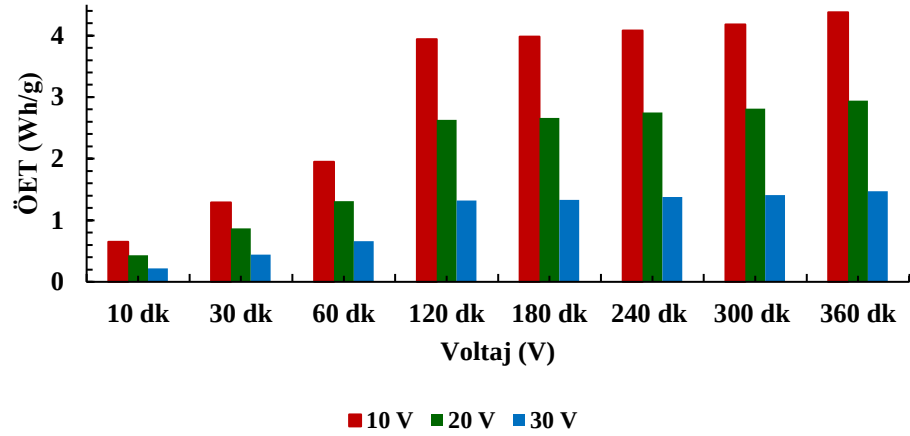
Şekil 4.29. D3 membran çifti için katolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde voltajın GMM üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, I: 2 A, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23)

Şekil 4.28’de GMM’nin uygulanan 10 V voltaj değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 15.44 g, 15.56 g, 15.38 g, 15.25 g olduğu, 180 dk’nın sonunda 15.08 g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk’ların sonunda sırası ile 14.69 g, 14.35 g ve 13.69 g değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.28’de GMM’nin uygulanan 20 V voltaj değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 15.40 g, 15.36 g, 15.31 g, 15.22 g olduğu, 180 dk’nın sonunda 15.06 g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk’ların sonunda sırası ile 14.57 g, 14.24 g ve 13.59 g değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.28’de GMM’nin uygulanan 30 V voltaj değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 15.26 g, 15.23 g, 15.25 g, 15.17 g olduğu, 180 dk’nın sonunda 15.02 g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk’ların sonunda sırası ile 14.47 g, 14.21 g ve 13.57 g değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.29’da D3 membran çifti için katolit su çıkışından 10, 30, 60, 120, 180, 240, 300 ve 360 dk’ların sonunda alınan örnekler için voltajın ÖET üzerine etkisi gösterilmiştir.



Şekil 4.30. D3 membran çifti için katolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde voltajın ÖET üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 $\mu\text{S}/\text{cm}$, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, I: 2 A, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23)

Şekil 4.29’da ÖET’nin uygulanan 10 V voltaj değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 0.65 Wsa/g, 1.29 Wsa/g, 1.95 Wsa/g ve 3.94 Wsa/g olduğu, 180 dk’nın sonunda 3.98 Wsa/g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk’ların sonunda sırası ile 4.08 Wsa/g, 4.18 Wsa/g ve 4.38 Wsa/g değerine çıktığı görülmektedir.

Şekil 4.29’da ÖET’nin uygulanan 20 V voltaj değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 0.43 Wsa/g, 0.87 Wsa/g, 1.31 Wsa/g ve 2.63 Wsa/g olduğu, 180 dk’nın sonunda 2.66 Wsa/g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk’ların sonunda sırası ile 2.75 Wsa/g, 2.81 Wsa/g ve 2.94 Wsa/g değerine çıktığı görülmektedir.

Şekil 4.29'da ÖET'nin uygulanan 30 V voltaj değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 0.22 Wsa/g, 0.44 Wsa/g, 0.66 Wsa/g ve 1.32 Wsa/g olduğu, 180 dk'nın sonunda 1.33 Wsa/g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile 1.38 Wsa/g, 1.41 Wsa/g ve 1.47 Wsa/g değerine çıktığı görülmektedir.

4.2.4. Akımın Etkisi

Elektrodiyaliz sisteminde deniz suyu içerisindeki tuz iyonlarının elektrodiyaliz hücresi boyunca hareket ederek membranlardan geçmesini sağlayan kuvvet elektriksel kuvvettir. Tuz iyonları bir DC güç kaynağı sayesinde sisteme uygulanan, voltaj veya akım ile kontrol edilerek hareketli hale getirilmektedir.

Yapılan çalışmada içerisine membran çiftleri yerleştirilmiş elektrodiyaliz hücresi deniz suyunun tuzsuzlaştırılmasında kullanılmıştır. Başlangıçta iletkenliği ölçülmüş olan deniz suyunun elektrodiyaliz hücresinden geçirilmesi esnasında elektrodiyaliz hücresine elektrotlar ile 1 A, 2 A ve 3 A değerlerinde akım uygulanmıştır. Akımın giderim verimi, giderilen madde miktarı ve özgül elektriksel enerji tüketimi ve üzerine olan etkisi incelenmiştir.

Çalışmada sınırlayıcı akım yoğunluğu; 8.23 pH ve 50 mL/dk debi değerlerinde 20 g/L konsantrasyona sahip NaCl çözeltisi için 30 V ve 2 A olarak belirlenmiştir. Elektrodiyaliz hücrenin hem anolit hem katolit kısımlarından örnekler alınmış ve değerlendirmeler ayrı olarak yapılmıştır.

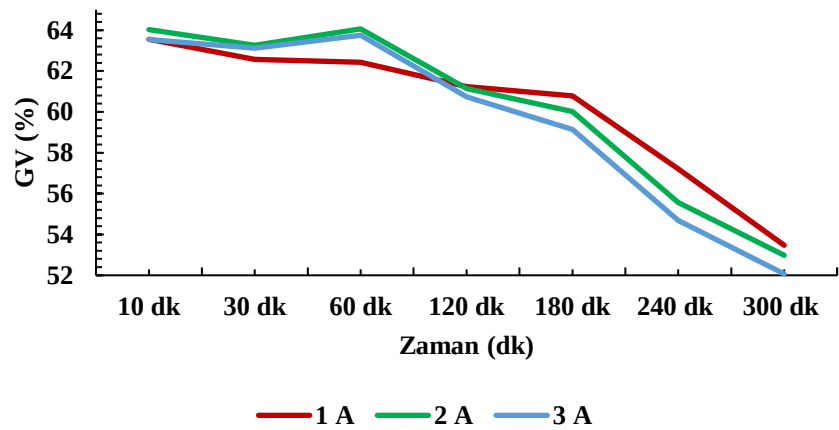
Elektrodiyaliz sisteminin anolit ve katolit su çıkışlarından 10, 30, 60, 120, 180, 240, 300 ve 360. dk'ların sonunda örnekler alınmıştır. Alınan her bir örnek için uygulanan akım değerlerine karşılık gelen iletkenlik, tuzluluk, GV, GMM ve ÖET değerleri belirlenmiştir.

D1 membran çifti yerleştirilmiş olan elektrodiyaliz hücresinin anolit su çıkışından alınan her bir örnek için uygulanan akım değerlerine karşılık gelen iletkenlik, tuzluluk, GV, GMM ve ÖET değerleri Tablo 4.12'de gösterilmiştir.

Tablo 4.12. D1 membran çifti için anolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde akımın performans değerleri üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 $\mu\text{S}/\text{cm}$, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23)

Adı	Zaman (dk)	Akım (I)	İletkenlik ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Tuzluluk (g)	GMM (g)	GV (%)	ÖET (Wsa/g)
D1A	10	1	359.68	8.56	14.73	63.26	0.23
		2	351.07	8.35	14.94	64.14	0.45
		3	348.23	8.28	15.01	64.43	0.67
	30	1	356.85	8.49	14.80	63.55	0.45
		2	352.15	8.38	14.91	64.03	0.89
		3	356.94	8.49	14.80	63.54	1.35
	60	1	366.54	8.72	14.57	62.56	0.69
		2	359.78	8.56	14.73	63.25	1.36
		3	361.06	8.59	14.70	63.12	2.04
	120	1	367.91	8.75	14.54	62.42	1.38
		2	351.85	8.37	14.92	64.06	2.68
		3	354.89	8.44	14.85	63.75	4.04
	180	1	379.56	9.03	14.26	61.23	1.40
		2	380.44	9.05	14.24	61.14	2.81
		3	384.45	9.15	14.14	60.73	4.24
	240	1	383.96	9.13	14.16	60.78	1.41
		2	391.50	9.31	13.98	60.01	2.86
		3	400.02	9.52	13.77	59.14	4.36
	300	1	418.91	9.97	13.32	57.21	1.50
		2	435.07	10.35	12.94	55.56	3.09
		3	443.58	10.55	12.74	54.69	4.71
	360	1	455.53	10.84	12.45	53.47	1.61
		2	460.33	10.95	12.34	52.98	3.24
		3	469.23	11.16	12.13	52.07	4.95

Şekil 4.30'da D1 membran çifti için anolit su çıkışından 10, 30, 60, 120, 180, 240, 300 ve 360 dk'ların sonunda alınan örnekler için akımın GV üzerine etkisi gösterilmiştir.



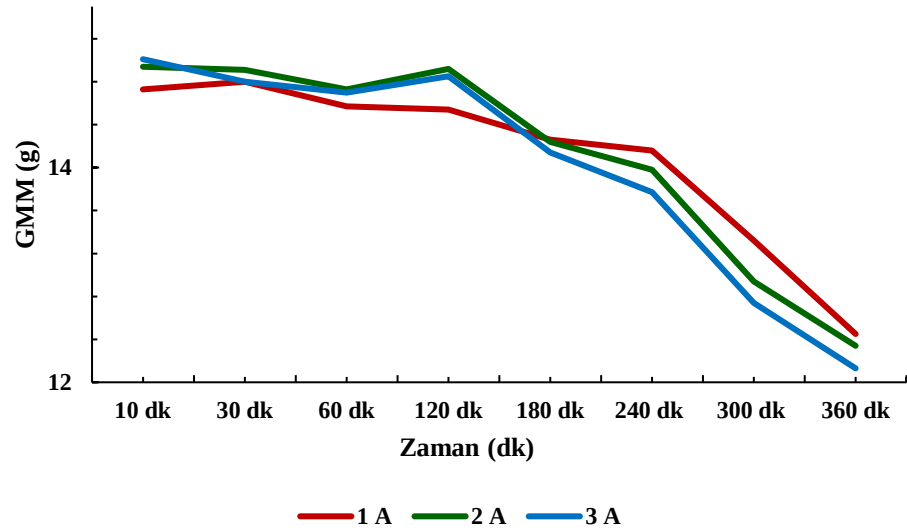
Şekil 4.31. D1 membran çifti için anolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde akımın GV üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 $\mu\text{S}/\text{cm}$, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23)

Şekil 4.30'da GV'nin uygulanan 1 A akım değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile %63.26, %63.55 %62.56, %62.42 olduğu, 180 dk'nın sonunda %61.23 olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk'ların sonunda sırası ile %60.78, %57.21 ve %53.47 değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.30'da GV'nin uygulanan 2 A akım değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile %64.14, %64.03, %63.12, %64.06 olduğu, 180 dk'nın sonunda %61.14 olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk'ların sonunda sırası ile %60.01, %55.56 ve %52.98 değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.30'da GV'nin uygulanan 3 A akım değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile %64.43, %63.54, %63.12, %63.75 olduğu, 180 dk'nın sonunda %60.73 olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk'ların sonunda sırası ile %59.14, %54.69 ve %52.07 değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.31'de D1 membran çifti için anolit su çıkışından 10, 30, 60, 120, 180, 240, 300 ve 360 dk'ların sonunda alınan örnekler için akımın GMM üzerine etkisi gösterilmiştir.



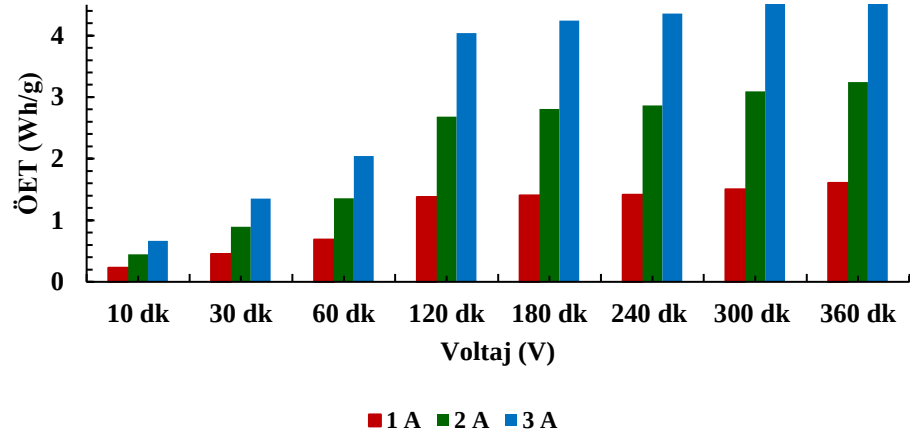
Şekil 4.32. D1 membran çifti için anolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde akımın GMM üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23)

Şekil 4.31'de GMM'nin uygulanan 1 A akım değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 14.73 g, 14.80 g, 14.57 g, 14.54 g olduğu, 180 dk'nın sonunda 14.26 g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk'ların sonunda sırası ile 14.16 g, 13.32 g ve 12.45 g değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.31’de GMM’nin uygulanan 2 A akım değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 14.94 g, 14.91 g, 14.73 g, 14.92 g olduğu, 180 dk’nın sonunda 14.24 g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk’ların sonunda sırası ile 13.98 g, 12.94 g ve 12.34 g değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.31’de GMM’nin uygulanan 3 A akım değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 15.01 g, 14.80 g, 14.70 g, 14.85 g olduğu, 180 dk’nın sonunda 14.14 g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk’ların sonunda sırası ile 13.77 g, 12.74 g ve 12.13 g değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.32’de D1 membran çifti için anolit su çıkışından 10, 30, 60, 120, 180, 240, 300 ve 360.dk’ların sonunda alınan örnekler için ÖET üzerine etkisi gösterilmiştir.



Şekil 4.33. D1 membran çifti için anolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde akımın ÖET üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23)

Şekil 4.32’de ÖET’nin uygulanan 1 A akım değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 0.23 Wsa/g, 0.45 Wsa/g, 0.69 Wsa/g ve 1.38 Wsa/g olduğu, 180 dk’nın sonunda 1.40 Wsa/g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk’ların sonunda sırası ile 1.41 Wsa/g, 1.50 Wsa/g ve 1.61 Wsa/g değerine çıktığı görülmektedir.

Şekil 4.32’de ÖET’nin uygulanan 2 A akım değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 0.45 Wsa/g, 0.89 Wsa/g, 1.36 Wsa/g ve 2.68 Wsa/g olduğu, 180 dk’nın sonunda 2.81 Wsa/g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk’ların sonunda sırası ile 2.86 Wsa/g, 3.09 Wsa/g ve 3.24 Wsa/g değerine çıktığı görülmektedir.

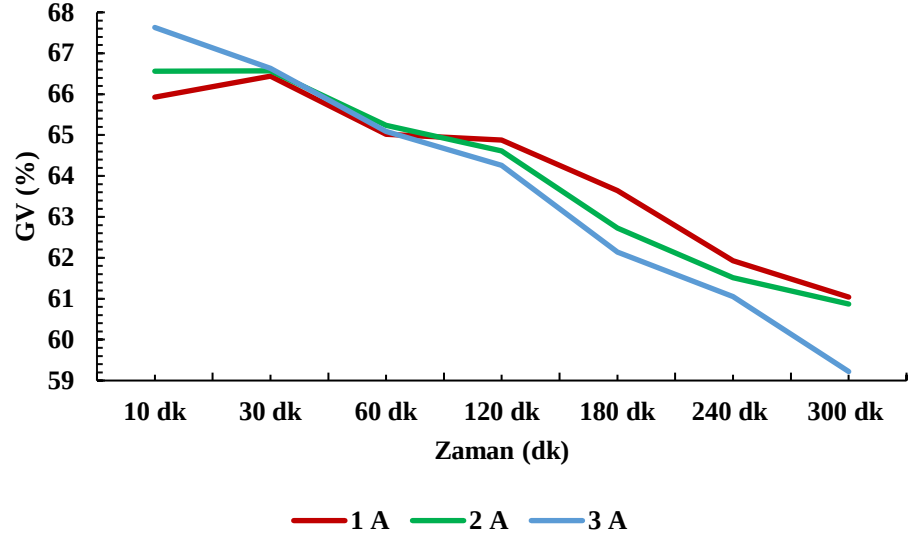
Şekil 4.32’de ÖET’nin uygulanan 3 A akım değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 0.67 Wsa/g, 1.35 Wsa/g, 2.04 Wsa/g ve 4.04 Wsa/g olduğu, 180 dk’nın sonunda 4.24Wsa/g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk’ların sonunda sırası ile 4.36 Wsa/g, 4.71 Wsa/g ve 4.95 Wsa/g değerine çıktığı görülmektedir.

D1 membran çifti yerleştirilmiş olan elektrodializ hücresinin katolit su çıkışından alınan herbir örnek için uygulanan akım değerlerine karşılık gelen iletkenlik, tuzluluk, GV, GMM ve ÖET değerleri Tablo 4.13’te gösterilmiştir.

Tablo 4.13. D1 membran çifti için katolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde akımın performans değerleri üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23)

Adı	Zaman (dk)	Akım (I)	İletkenlik (μ S/cm)	Tuzluluk (g)	GMM (g)	GV (%)	ÖET (Wsa/g)
D1K	10	1	341.48	8.12	15.17	65.12	0.22
		2	336.19	8.00	15.29	65.66	0.44
		3	335.31	7.98	15.31	65.75	0.65
	30	1	333.55	7.93	15.36	65.93	0.43
		2	327.38	7.79	15.50	66.56	0.86
		3	316.90	7.54	15.75	67.63	1.27
	60	1	328.55	7.82	15.47	66.44	0.65
		2	327.28	7.79	15.50	66.57	1.29
		3	326.69	7.77	15.52	66.63	1.93
	120	1	342.45	8.15	15.14	65.02	1.32
		2	340.30	8.10	15.19	65.24	2.63
		3	341.77	8.13	15.16	65.09	3.96
	180	1	343.82	8.18	15.11	64.88	1.32
		2	346.47	8.24	15.05	64.61	2.66
		3	349.89	8.32	14.97	64.26	4.01
	240	1	355.96	8.47	14.82	63.64	1.35
		2	364.87	8.68	14.61	62.73	2.74
		3	370.65	8.82	14.47	62.14	4.15
	300	1	372.71	8.87	14.42	61.93	1.39
		2	376.82	8.96	14.33	61.51	2.79
		3	381.32	9.07	14.22	61.05	4.22
	360	1	381.42	9.07	14.22	61.04	1.41
		2	383.08	9.11	14.18	60.87	2.82
		3	399.24	9.50	13.79	59.22	4.35

Şekil 4.33’te D1 membran çifti için katolit su çıkışından 10, 30, 60, 120, 180, 240, 300 ve 360 dk’ların sonunda alınan örnekler için akımın GV üzerine etkisi gösterilmiştir.



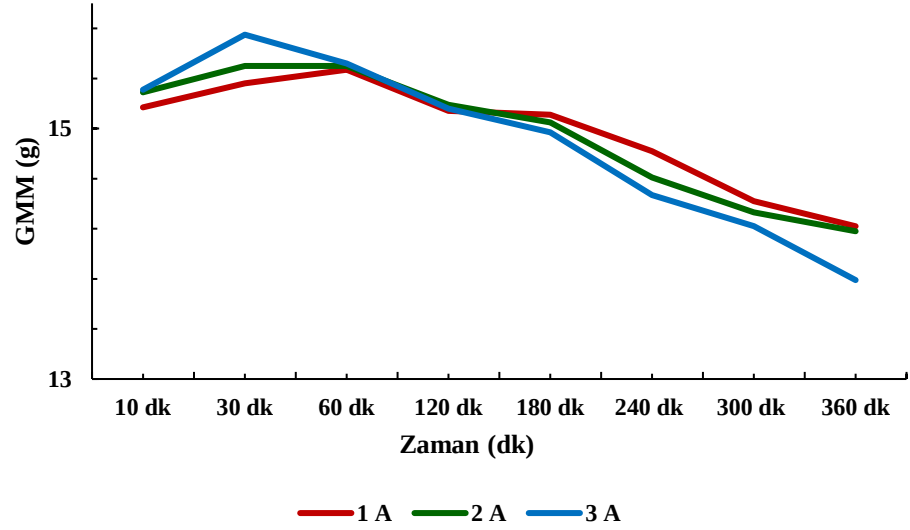
Şekil 4.34. D1 membran çifti için katolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde akımın GV üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23)

Şekil 4.33'te GV'nin uygulanan 1 A akım değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile %65.12, %65.93 %66.44, %65.02 olduğu, 180 dk'nın sonunda %64.88 olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk'ların sonunda sırası ile %63.64, %61.93 ve %61.04 değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.33'te GV'nin uygulanan 2 A akım değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile %65.66, %66.56, %66.57, %65.24 olduğu, 180 dk'nın sonunda %64.61 olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk'ların sonunda sırası ile %62.73, %61.51 ve %60.87 değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.33'te GV'nin uygulanan 3 A akım değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile %65.75, %67.63, %66.63, %65.09 olduğu, 180 dk'nın sonunda %64.26 olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk'ların sonunda sırası ile %62.14, %61.05 ve %59.22 değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.34'te D1 membran çifti için katolit su çıkışından 10, 30, 60, 120, 180, 240, 300 ve 360.dk'ların sonunda alınan örnekler için akımın GMM üzerine etkisi gösterilmiştir.



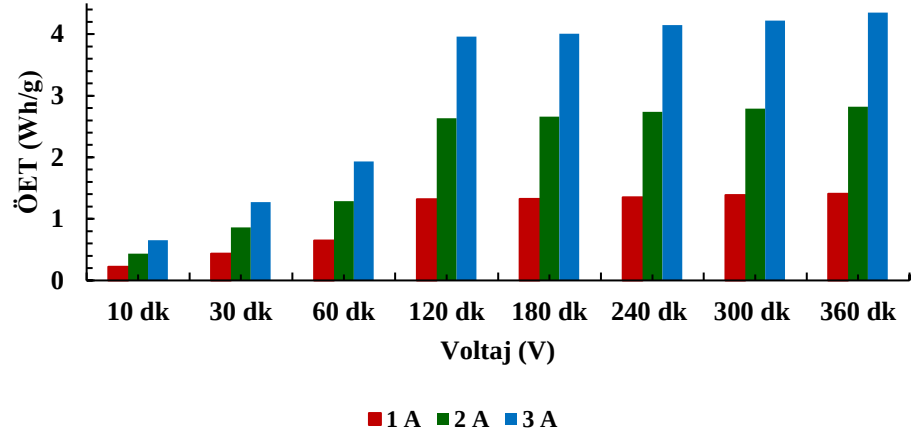
Şekil 4.35. D1 membran çifti için katolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde akımın GMM üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 $\mu\text{S/cm}$, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23)

Şekil 4.34'te GMM'nin uygulanan 1 A akım değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 15.17 g, 15.36 g, 15.47 g, 15.14 g olduğu, 180 dk'nın sonunda 15.11 g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile 14.82 g, 14.42 g ve 14.22 g değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.34'te GMM'nin uygulanan 2 A akım değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 15.29 g, 15.50 g, 15.50 g, 15.19 g olduğu, 180 dk'nın sonunda 15.05 g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile 14.61 g, 14.33 g ve 14.18 g değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.34'te GMM'nin uygulanan 3 A akım değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 15.31 g, 15.75 g, 15.52 g, 15.16 g olduğu, 180 dk'nın sonunda 14.97 g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile 14.47 g, 14.22 g ve 13.79 g değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.35'de D1 membran çifti için katolit su çıkışından 10, 30, 60, 120, 180, 240, 300 ve 360.dk'ların sonunda alınan örnekler için akımın ÖET üzerine etkisi gösterilmiştir.



Şekil 4.36. D1 membran çifti için katolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde akımın ÖET üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23)

Şekil 4.35'te ÖET'nin uygulanan 1 A akım değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 0.22 Wsa/g, 0.43 Wsa/g, 0.65 Wsa/g ve 1.32 Wsa/g olduğu, 180 dk'nın sonunda 1.32 Wsa/g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile 1.35 Wsa/g, 1.39 Wsa/g ve 1.41 Wsa/g değerine çıktığı görülmektedir.

Şekil 4.35'te ÖET'nin uygulanan 2 A akım değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 0.44 Wsa/g, 0.86 Wsa/g, 1.29 Wsa/g ve 2.63 Wsa/g olduğu, 180 dk'nın sonunda 2.66 Wsa/g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile 2.74 Wsa/g, 2.79 Wsa/g ve 2.82 Wsa/g değerine çıktığı görülmektedir.

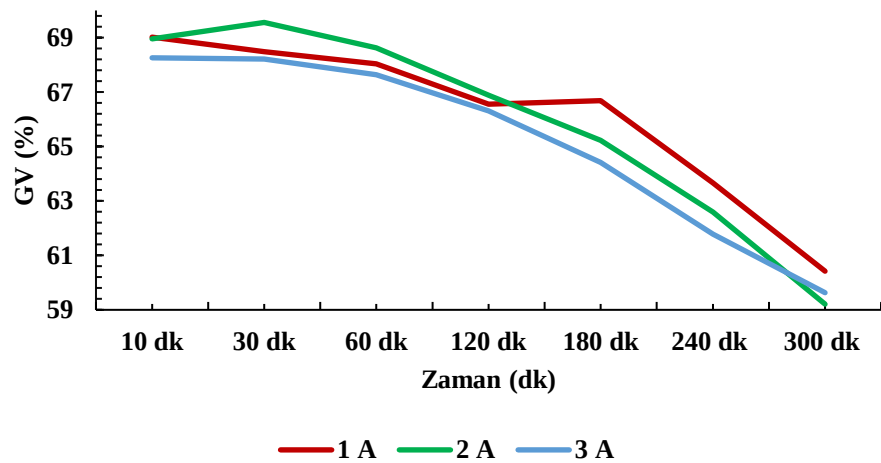
Şekil 4.35'te ÖET'nin uygulanan 3 A akım değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 0.65 Wsa/g, 1.27 Wsa/g, 1.93 Wsa/g ve 3.96 Wsa/g olduğu, 180 dk'nın sonunda 4.01 Wsa/g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile 4.15 Wsa/g, 4.22 Wsa/g ve 4.35 Wsa/g değerine çıktığı görülmektedir.

D2 membran çifti yerleştirilmiş olan elektrodiyaliz hücresinin anolit su çıkışından alınan her bir örnek için uygulanan akım değerlerine karşılık gelen iletkenlik, tuzluluk GV, GMM ve ÖET değerleri Tablo 4.14'te gösterilmiştir.

Tablo 4.14. D2 membran çifti için anolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde akımın performans değerleri üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 $\mu\text{S/cm}$, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23)

Adı	Zaman (dk)	Akım (I)	İletkenlik ($\mu\text{S/cm}$)	Tuzluluk (g)	GMM (g)	GV (%)	ÖET (Wsa/g)
D2A	10	1	311.71	7.42	15.87	68.16	0.21
		2	307.11	7.31	15.98	68.63	0.42
		3	307.99	7.33	15.96	68.54	0.63
	30	1	303.29	7.22	16.07	69.02	0.41
		2	303.88	7.23	16.06	68.96	0,83
		3	310,73	7.39	15.90	68.26	1.26
	60	1	308.58	7.34	15.95	68.48	0.63
		2	298.01	7.09	16.20	69.56	1.23
		3	311.22	7.40	15.89	68.21	1.89
	120	1	312.89	7.44	15.85	68.04	1.26
		2	307.11	7.31	15.98	68.63	2.50
		3	316.80	7.54	15.75	67.64	3.81
	180	1	327.38	7.79	15.50	66.56	1.29
		2	324.24	7.71	15.58	66.88	2.57
		3	329.83	7.85	15.44	66.31	3.89
	240	1	326.20	7.76	15.53	66.68	1.29
		2	340.40	8.10	15.19	65.23	2.63
		3	348.43	8.29	15.00	64.41	4.00
	300	1	355.77	8.46	14.83	63.66	1.35
		2	366.24	8.71	14.58	62.59	2.74
		3	374.17	8.90	14.39	61.78	4.17
	360	1	387.49	9.22	14.07	60.42	1.42
		2	399.33	9.50	13.79	59.21	2.90
		3	395.22	9.40	13.89	59.63	4.32

Şekil 4.36’da D2 membran çifti için anolit su çıkışından 10, 30, 60, 120, 180, 240, 300 ve 360.dk’ların sonunda alınan örnekler için akımın GV üzerine etkisi gösterilmiştir.



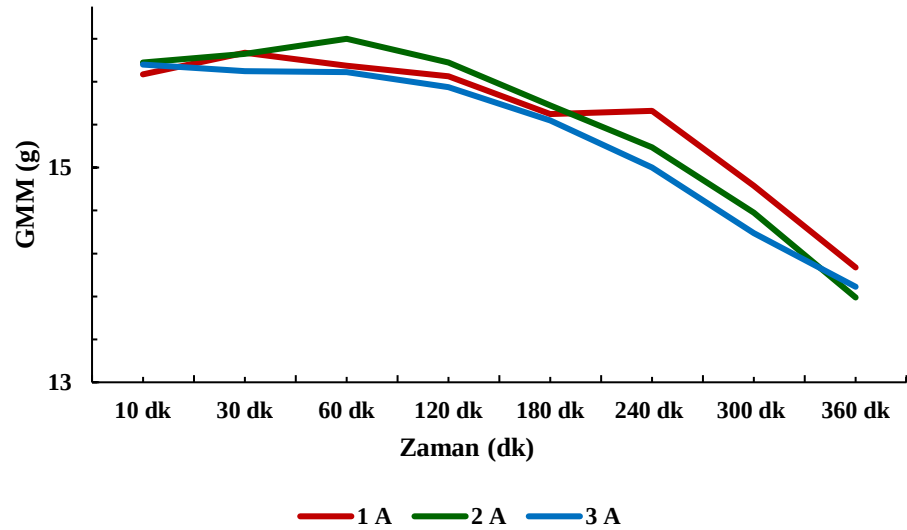
Şekil 4.37. D2 membran çifti için anolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde akımın GV üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 $\mu\text{S/cm}$, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23)

Şekil 4.36'da GV'nin uygulanan 1 A akım değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile %68.16, %69.02 %68.48, %68.04 olduğu, 180 dk'nın sonunda %66.56 olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk'ların sonunda sırası ile %66.68, %63.66 ve %60.42 değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.36'da GV'nin uygulanan 2 A akım değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile %68.63, %68.96, %69.56, %68.63 olduğu, 180 dk'nın sonunda %66.88 olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile %65.23, %62.59 ve %59.21 değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.36'da GV'nin uygulanan 3 A akım değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile %68.54, %68.26, %68.21, %67.64 olduğu, 180 dk'nın sonunda %66.31 olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile %64.41, %61.78 ve %59.63 değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.37'de D2 membran çifti için anolit su çıkışından 10, 30, 60, 120, 180, 240, 300 ve 360.dk'ların sonunda alınan örnekler için akımın GMM üzerine etkisi gösterilmiştir.



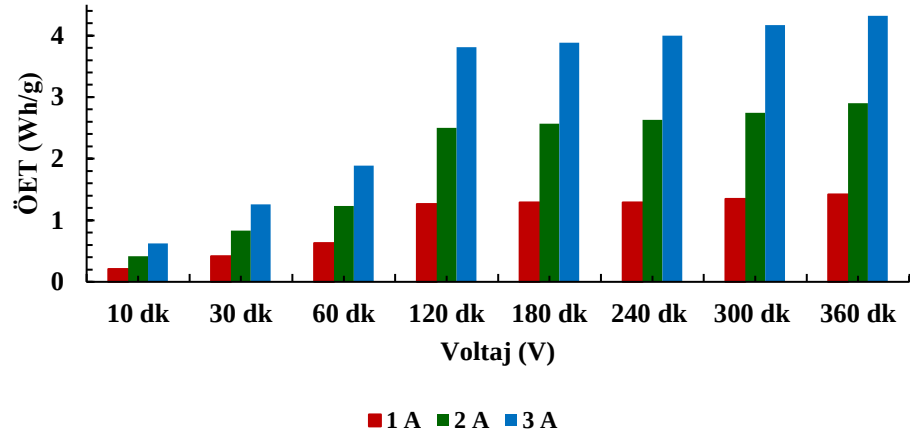
Şekil 4.38. D2 membran çifti için anolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde akımın GMM üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23)

Şekil 4.37'de GMM'nin uygulanan 1 A akım değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 15.87 g, 16.07 g, 15.95 g, 15.85 g olduğu, 180 dk'nın sonunda 15.50 g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile 15.53 g, 14.83 g ve 14.07 g değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.37’de GMM’nin uygulanan 2 A akım değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 15.98 g, 16.06 g, 16.20 g, 15.98 g olduğu, 180 dk’nın sonunda 15.58 g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile 15.19 g, 14.58 g ve 13.79 g değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.37’de GMM’nin uygulanan 3 A akım değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 15.96 g, 15.90 g, 15.89 g, 15.75 g olduğu, 180 dk’nın sonunda 15.44 g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile 15.00 g, 14.39 g ve 13.89 g değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.38’de D2 membran çifti için anolit su çıkışından 10, 30, 60, 120, 180, 240, 300 ve 360.dk’ların sonunda alınan örnekler için akımın ÖET üzerine etkisi gösterilmiştir.



Şekil 4.39. D2 membran çifti için anolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde akımın ÖET üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23)

Şekil 4.38’de ÖET’nin uygulanan 1 A akım değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 0.21 Wsa/g, 0.41 Wsa/g, 0.63 Wsa/g ve 1.26 Wsa/g olduğu, 180 dk’nın sonunda 1.29 Wsa/g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile 1.29 Wsa/g, 1.35 Wsa/g ve 1.42 Wsa/g değerine çıktığı görülmektedir.

Şekil 4.38’de ÖET’nin uygulanan 2 A akım değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 0.42 Wsa/g, 0.83 Wsa/g, 1.23 Wsa/g ve 2.50 Wsa/g olduğu, 180 dk’nın sonunda 2.57 Wsa/g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile 2.63 Wsa/g, 2.74 Wsa/g ve 2.90 Wsa/g değerine çıktığı görülmektedir.

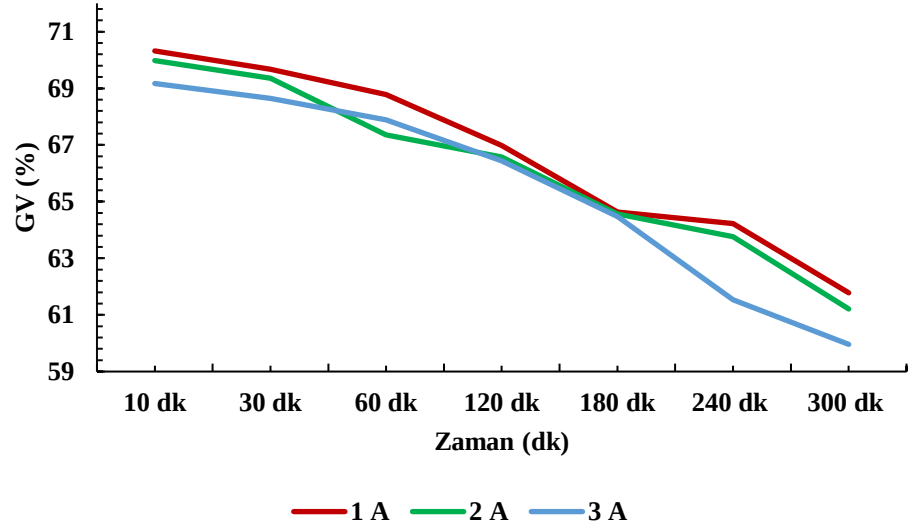
Şekil 4.38’de ÖET’nin uygulanan 3 A akım değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 0.63 Wsa/g, 1.26 Wsa/g, 0.89 Wsa/g ve 3.81 Wsa/g olduğu, 180 dk’nın sonunda 3.89 Wsa/g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile 4.00 Wsa/g, 4.17 Wsa/g ve 4.32 Wsa/g değerine çıktığı görülmektedir.

D2 membran çifti yerleştirilmiş olan elektrodializ hücresinin katolit su çıkışından alınan herbir örnek için uygulanan akım değerlerine karşılık gelen iletkenlik, tuzluluk, GV, GMM ve ÖET değerleri Tablo 4.15’de gösterilmiştir.

Tablo 4.15. D2 membran çifti için katolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde akımın performans değerleri üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23)

Adı	Zaman (dk)	Akım (I)	İletkenlik (μ S/cm)	Tuzluluk (g)	GMM (g)	GV (%)	ÖET (Wsa/g)
D2K	10	1	285.28	6.79	16.50	70.86	0.20
		2	291.64	6.94	16.35	70.21	0.41
		3	282.15	6.71	16.58	71.18	0.60
	30	1	290.57	6.91	16.38	70.32	0.41
		2	293.90	6.99	16.30	69.98	0.82
		3	301.83	7.18	16.11	69.17	1.24
	60	1	296.93	7.06	16.23	69.67	0.62
		2	299.97	7.14	16.15	69.36	1.24
		3	307.01	7.30	15.99	68.64	1.88
	120	1	305.64	7.27	16.02	68.78	1.25
		2	319.55	7.60	15.69	67.36	2.55
		3	314.36	7.48	15.81	67.89	3.79
	180	1	323.27	7.69	15.60	66.98	1.28
		2	327.18	7.78	15.51	66.58	2.58
		3	328.55	7.82	15.47	66.44	3.88
	240	1	346.27	8.24	15.05	64.63	1.33
		2	346.96	8.25	15.04	64.56	2.66
		3	347.84	8.27	15.02	64.47	4.00
	300	1	350.19	8.33	14.96	64.23	1.34
		2	354.79	8.44	14.85	63.76	2.69
		3	376.52	8.96	14.33	61.54	4.19
	360	1	374.17	8.90	14.39	61.78	1.39
		2	379.75	9.03	14.26	61.21	2.81
		3	391.99	9.33	13.96	59.96	4.30

Şekil 4.39’da D2 membran çifti için katolit su çıkışından 10, 30, 60, 120, 180, 240, 300 ve 360.dk’ların sonunda alınan örnekler için akımın GV üzerine etkisi gösterilmiştir.



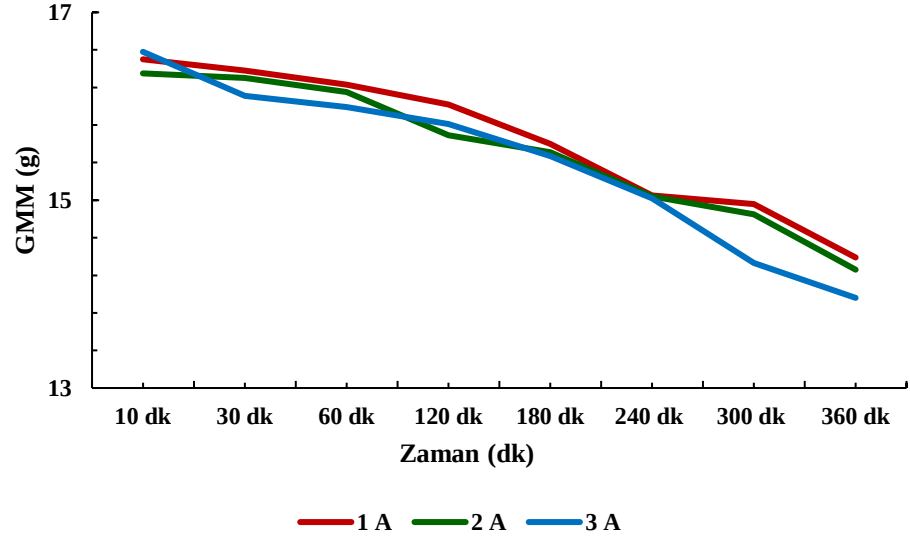
Şekil 4.40. D2 membran çifti için katolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde akımın GV üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23)

Şekil 4.39’da GV’nin uygulanan 1 A akım değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile %70.86, %70.32 %69.67, %68.78 olduğu, 180 dk’nın sonunda %66.98 olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile %64.63, %64.23 ve %61.78 değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.39’da GV’nin uygulanan 2 A akım değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile %70.71, %69.98, %69.36, %67.36 olduğu, 180 dk’nın sonunda %66.58 olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile %64.56, %63.76 ve %61.21 değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.39’da GV’nin uygulanan 3 A akım değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile %71.18, %69.17, %68.64, %67.89 olduğu, 180 dk’nın sonunda %66.44 olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile %64.23, %61.54 ve %59.96 değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.40’da D2 membran çifti için katolit su çıkışından 10, 30, 60, 120, 180, 240, 300 ve 360.dk’ların sonunda alınan örnekler için akımın GMM üzerine etkisi gösterilmiştir.



Şekil 4.41. D2 membran çifti için katolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde akımın GMM üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23)

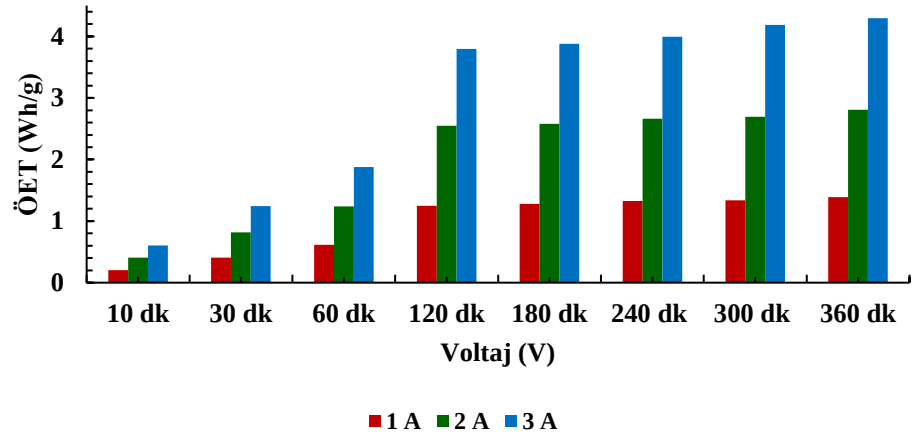
Şekil 4.40'ta GMM'nin uygulanan 1 A akım değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 16.50 g, 16.38 g, 16.23 g, 16.02 g olduğu, 180 dk'nın sonunda 15.60 g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile 15.05 g, 14.96 g ve 14.39 g değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.40'ta GMM'nin uygulanan 2 A akım değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 16.35 g, 16.30 g, 16.23 g, 16.02 g olduğu, 180 dk'nın sonunda 15.60 g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile 15.05 g, 14.85 g ve 14.26 g değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.40'ta GMM'nin uygulanan 3 A akım değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 16.58 g, 16.11 g, 15.99 g, 15.81 g olduğu, 180 dk'nın sonunda 15.47 g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile 15.02 g, 14.33 g ve 13.96 g değerine idniği görülmektedir.

Şekil 4.40'ta 180 dk sonrasında GMM'nin elektrodiyaliz hücresine yerleştirilen membranlarda meydana gelen tıkanmaya bağlı olarak tüm akım değerleri için azaldığı 360 dk sonunda giderim veriminin başlangıca göre azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.41'de D2 membran çifti için katolit su çıkışından 10, 30, 60, 120, 180, 240, 300 ve 360.dk'ların sonunda alınan örnekler için akımın ÖET üzerine etkisi gösterilmiştir.



Şekil 4.42. D2 membran çifti için katolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde akımın ÖET üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 $\mu\text{S/cm}$, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23)

Şekil 4.41’de ÖET’nin uygulanan 1 A akım değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 0.20 Wsa/g, 0.41 Wsa/g, 0.62 Wsa/g ve 1.25 Wsa/g olduğu, 180 dk’nın sonunda 1.28 Wsa/g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile 1.33 Wsa/g, 1.34 Wsa/g ve 1.39 Wsa/g değerine çıktığı görülmektedir.

Şekil 4.41’de ÖET’nin uygulanan 2 A akım değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 0.41 Wsa/g, 0.82 Wsa/g, 1.24 Wsa/g ve 2.55 Wsa/g olduğu, 180 dk’nın sonunda 2.58 Wsa/g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile 2.66 Wsa/g, 2.69 Wsa/g ve 2.81 Wsa/g değerine çıktığı görülmektedir.

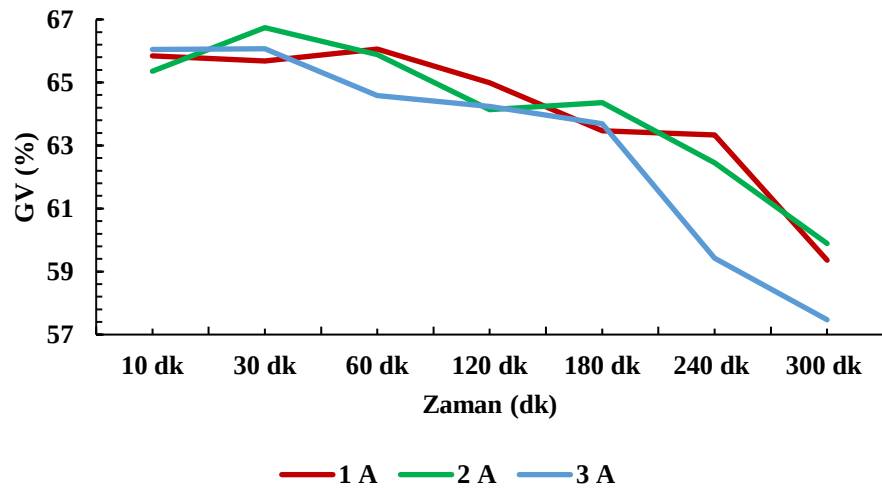
Şekil 4.41’de ÖET’nin uygulanan 3 A akım değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 0.60 Wsa/g, 1.24 Wsa/g, 1.88 Wsa/g ve 3.79 Wsa/g olduğu, 180 dk’nın sonunda 3.88 Wsa/g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile 4.00 Wsa/g, 4.19 Wsa/g ve 4.30 Wsa/g değerine çıktığı görülmektedir.

D3 membran çifti yerleştirilmiş olan ED hücresinin anolit su çıkışından alınan her bir örnek için uygulanan akım değerlerine karşılık gelen iletkenlik, tuzluluk, GV, GMM ve ÖET değerleri Tablo 4.16’da gösterilmiştir.

Tablo 4.16. D3 membran çifti için anolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde akımın performans değerleri üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 $\mu\text{S}/\text{cm}$, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23)

Adı	Zaman (dk)	Akım (I)	İletkenlik ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Tuzluluk (g)	GMM (g)	GV (%)	ÖET (Wsa/g)
D3A	10	1	340.40	8.10	15.19	65.23	0.22
		2	328.36	7.81	15.48	66.46	0.43
		3	324.34	7.72	15.57	66.87	0.64
	30	1	334.43	7.96	15.33	65.84	0.43
		2	339.13	8.07	15.22	65.36	0.88
		3	332.37	7.91	15.38	66.05	1.30
	60	1	335.99	7.99	15.30	65.68	0.65
		2	325.62	7.75	15.54	66.74	1.29
		3	332.17	7.90	15.39	66.07	1.95
	120	1	332.27	7.90	15.39	66.06	1.30
		2	334.03	7.95	15.34	65.88	2.61
		3	346.76	8.25	15.04	64.58	3.99
	180	1	342.75	8.15	15.14	64.99	1.32
		2	351.07	8.35	14.94	64.14	2.68
		3	350.09	8.33	14.96	64.24	4.01
	240	1	357.63	8.51	14.78	63.47	1.35
		2	348.92	8.30	14.99	64.36	2.67
		3	355.47	8.46	14.83	63.69	4.04
	300	1	359.00	8.54	14.75	63.33	1.36
		2	367.61	8.75	14.54	62.45	2.75
		3	397.28	9.45	13.84	59.42	4.34
	360	1	397.87	9.47	13.82	59.36	1.45
		2	392.68	9.34	13.95	59.89	2.87
		3	416.37	9.91	13.38	57.47	4.48

Şekil 4.42’de D3 membran çifti için anolit su çıkışından 10, 30, 60, 120, 180, 240, 300 ve 360.dk’ların sonunda alınan örnekler için akımın GV üzerine etkisi gösterilmiştir.



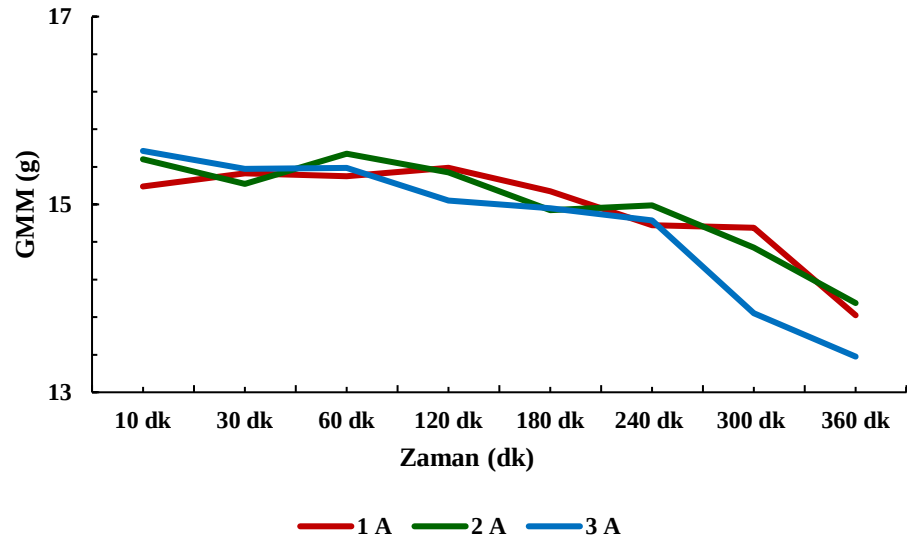
Şekil 4.43. D3 membran çifti için anolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde akımın GV üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 $\mu\text{S}/\text{cm}$, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23)

Şekil 4.42’de GV’nin uygulanan 1 A akım değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile %65.23, %65.84 %65.68, %66.06 olduğu, 180 dk’nın sonunda %64.99 olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile %63.47, %63.33 ve %59.36 değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.42’de GV’nin uygulanan 2 A akım değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile %66.46, %65.36, %66.74, %65.88 olduğu, 180 dk’nın sonunda %64.14 olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile %64.36, %62.45 ve %59.89 değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.42’de GV’nin uygulanan 3 A akım değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile %66.87, %66.05, %66.07, %64.58 olduğu, 180 dk’nın sonunda %64.24 olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile %63.69, %59.42 ve %57.47 değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.43’te D3 membran çifti için anolit su çıkışından 10, 30, 60, 120, 180, 240, 300 ve 360.dk’ların sonunda alınan örnekler için akımın GMM üzerine etkisi gösterilmiştir.



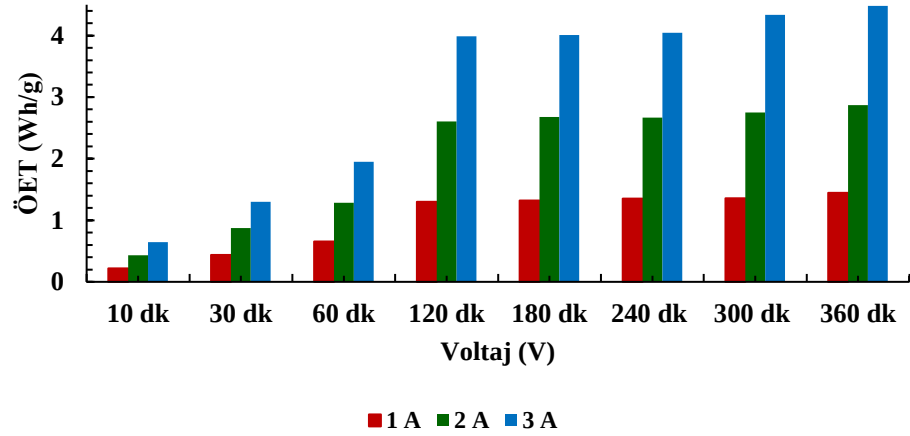
Şekil 4.44. D3 membran çifti için anolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde akımın GMM üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23)

Şekil 4.43’te GMM’nin uygulanan 1 A akım değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 15.19 g, 15.33 g, 15.30 g, 15.39 g olduğu, 180 dk’nın sonunda 15.14 g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile 14.78 g, 14.75 g ve 13.82 g değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.43'te GMM'nin uygulanan 2 A akım değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 15.48 g, 15.22 g, 15.54 g, 15.34 g olduğu, 180 dk'nın sonunda 14.94 g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile 14.99 g, 14.54 g ve 13.95 g değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.43'te GMM'nin uygulanan 3 A akım değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 15.57 g, 15.38 g, 15.39 g, 15.04 g olduğu, 180 dk'nın sonunda 14.96 g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile 14.83 g, 13.84 g ve 13.38 g değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.44'te D3 membran çifti için anolit su çıkışından 10, 30, 60, 120, 180, 240, 300 ve 360 dk'ların sonunda alınan örnekler için akımın ÖET üzerine etkisi gösterilmiştir.



Şekil 4.45. D3 membran çifti için anolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde akımın ÖET üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23)

Şekil 4.44'te ÖET'nin uygulanan 1 A akım değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 0.22 Wsa/g, 0.43 Wsa/g, 0.65 Wsa/g ve 1.30 Wsa/g olduğu, 180 dk'nın sonunda 1.32 Wsa/g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile 1.35 Wsa/g, 1.36 Wsa/g ve 1.45 Wsa/g değerine çıktığı görülmektedir.

Şekil 4.44'te ÖET'nin uygulanan 2 A akım değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 0.43 Wsa/g, 0.88 Wsa/g, 1.29 Wsa/g ve 2.61 Wsa/g olduğu, 180 dk'nın sonunda 2.68 Wsa/g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile 2.67 Wsa/g, 2.75 Wsa/g ve 2.87 Wsa/g değerine çıktığı görülmektedir.

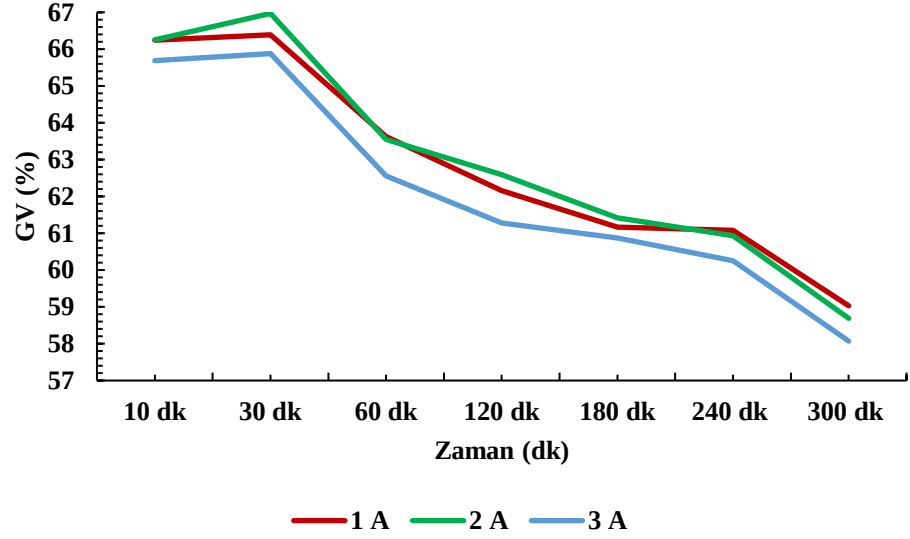
Şekil 4.44'te ÖET'nin uygulanan 3 A akım değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 0.64 Wsa/g, 1.30 Wsa/g, 1.95 Wsa/g ve 3.99 Wsa/g olduğu, 180 dk'nın sonunda 4.01 Wsa/g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile 4.04 Wsa/g 4.34 Wsa/g ve 4.48 Wsa/g değerine çıktığı görülmektedir.

D3 membran çifti yerleştirilmiş olan elektrodializ hücresinin katolit su çıkışından alınan herbir örnek için uygulanan akım değerlerine karşılık gelen iletkenlik, tuzluluk, GV, GMM ve ÖET değerleri Tablo 4.17'de gösterilmiştir.

Tablo 4.17. D3 membran çifti için katolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde akımın performans değerleri üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23)

Adı	Zaman (dk)	Akım (I)	İletkenlik (μ S/cm)	Tuzluluk (g)	GMM (g)	GV (%)	ÖET (Wsa/g)
D3K	10	1	329.34	7.83	15.46	66.36	0.22
		2	324.34	7.72	15.57	66.87	0.43
		3	323.17	7.69	15.60	66.99	0.64
	30	1	330.51	7.86	15.43	66.24	0.43
		2	330.41	7.86	15.43	66.25	0.86
		3	335.89	7.99	15.30	65.69	1.31
	60	1	329.04	7.83	15.46	66.39	0.65
		2	323.36	7.69	15.60	66.97	1.28
		3	334.03	7.95	15.34	65.88	1.96
	120	1	356.06	8.47	14.82	63.63	1.35
		2	356.85	8.49	14.80	63.55	2.70
		3	366.54	8.72	14.57	62.56	4.12
	180	1	370.45	8.81	14.48	62.16	1.38
		2	366.24	8.71	14.58	62.59	2.74
		3	379.07	9.02	14.27	61.28	4.20
	240	1	380.15	9.04	14.25	61.17	1.40
		2	377.70	8.99	14.30	61.42	2.80
		3	383.08	9.11	14.18	60.87	4.23
	300	1	381.03	9.06	14.23	61.08	1.41
		2	382.50	9.10	14.19	60.93	2.82
		3	389.15	9.26	14.03	60.25	4.28
	360	1	401.10	9.54	13.75	59.03	1.45
		2	404.42	9.62	13.67	58.69	2.93
		3	410.49	9.77	13.52	58.07	4.44

Şekil 4.45'te D3membran çifti için katolit su çıkışından 10, 30, 60, 120, 180, 240, 300 ve 360.dk'ların sonunda alınan örnekler için akımın GV üzerine etkisi gösterilmiştir.



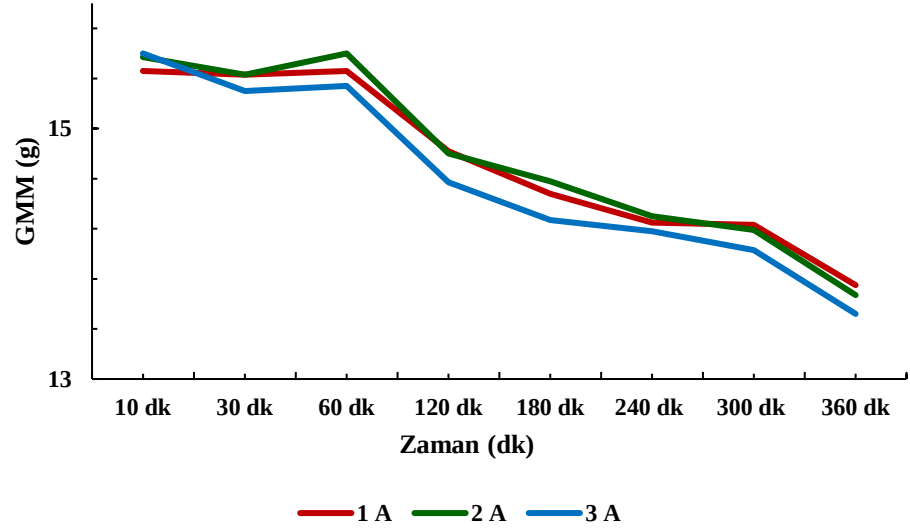
Şekil 4.46. D3 membran çifti için katolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde akımın GV üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23)

Şekil 4.45'te giderim veriminin uygulanan 1 A akım değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile %66.36, %66.24, %66.39, %63.63 olduğu, 180 dk'nın sonunda %62.16 olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile %61.17, %61.08 ve %59.03 değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.45'te GV'nin uygulanan 2 A akım değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile %66.87, %66.25, %66.97, %63.55 olduğu, 180 dk'nın sonunda %62.59 olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile %61.42, %60.93 ve %58.69 değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.45'te GV'nin uygulanan 3 A akım değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile %66.99, %65.69, %65.88, %62.56 olduğu, 180 dk'nın sonunda %61.28 olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile %60.87, %60.25 ve %58.07 değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.46'da D3 membran çifti için katolit su çıkışından 10, 30, 60, 120, 180, 240, 300 ve 360.dk'ların sonunda alınan örnekler için akımın GMM üzerine etkisi gösterilmiştir.



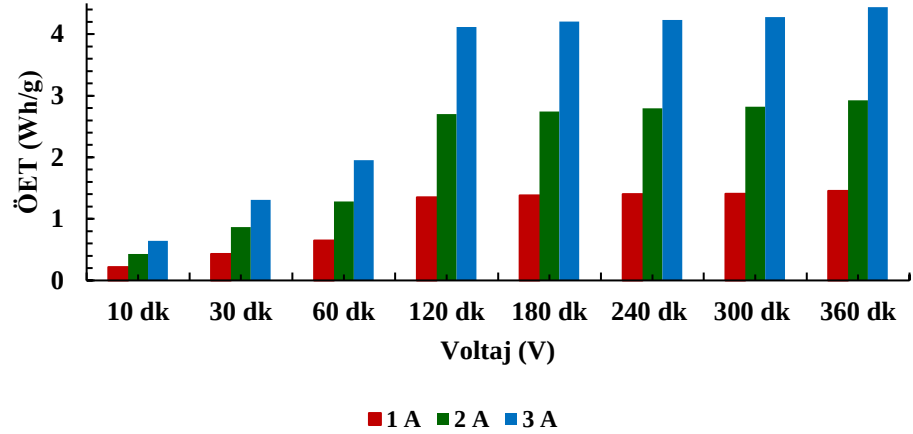
Şekil 4.47. D3 membran çifti için katolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde akımın GMM üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 $\mu\text{S}/\text{cm}$, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23)

Şekil 4.46'da GMM'nin uygulanan 1 A akım değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 15.46 g, 15.43 g, 15.46 g, 14.82 g olduğu, 180 dk'nın sonunda 14.48 g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile 14.25 g, 14.23 g ve 13.75 g değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.46'da GMM'nin uygulanan 2 A akım değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 15.57 g, 15.43 g, 15.60 g, 14.80 g olduğu, 180 dk'nın sonunda 14.58 g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile 14.30 g, 14.19 g ve 13.67 g değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.46'da GMM'nin uygulanan 3 A akım değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 15.60 g, 15.30 g, 15.34 g, 14.57 g olduğu, 180 dk'nın sonunda 14.27 g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile 14.17 g, 14.03 g ve 13.52 g değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.47'de D3 membran çifti için katolit su çıkışından 10, 30, 60, 120, 180, 240, 300 ve 360.dk'ların sonunda alınan örnekler için akımın ÖET üzerine etkisi gösterilmiştir.



Şekil 4.48. D3 membran çifti için katolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde akımın ÖET üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23)

Şekil 4.47’de ÖET’nin uygulanan 1 A akım değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 0.22 Wsa/g, 0.43 Wsa/g, 0.65 Wsa/g ve 1.35 Wsa/g olduğu, 180 dk’nın sonunda 1.38 Wsa/g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile 1.40 Wsa/g, 1.41 Wsa/g ve 1.45 Wsa/g değerine çıktığı görülmektedir.

Şekil 4.47’de ÖET’nin uygulanan 2 A akım değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 0.43 Wsa/g, 0.86 Wsa/g, 1.28 Wsa/g ve 2.70 Wsa/g olduğu, 180 dk’nın sonunda 2.74 Wsa/g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile 2.80 Wsa/g, 2.82 Wsa/g ve 2.93 Wsa/g değerine çıktığı görülmektedir.

Şekil 4.47’de ÖET’nin uygulanan 3 A akım değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 0.64 Wsa/g, 1.31 Wsa/g, 1.96 Wsa/g ve 4.12 Wsa/g olduğu, 180 dk’nın sonunda 4.20 Wsa/g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile 4.23 Wsa/g, 4.28 Wsa/g ve 4.44 Wsa/g değerine çıktığı görülmektedir.

4.2.5. Debinin Etkisi

Elektrodiyaliz hücresi sistemleri kesikli ve sürekli debilerde işletilebilmektedir. Sistemin sürekli ve yüksek debide işletilmesi su ile hücrenin temas süresini azaltacağından giderim verimi ve işletme maliyeti açısından önemlidir.

Yapılan çalışmada içerisine membran çiftleri yerleştirilmiş elektrodiyaliz hücresi deniz suyunun tuzsuzlaştırılmasında kullanılmıştır. Başlangıçta iletkenliği

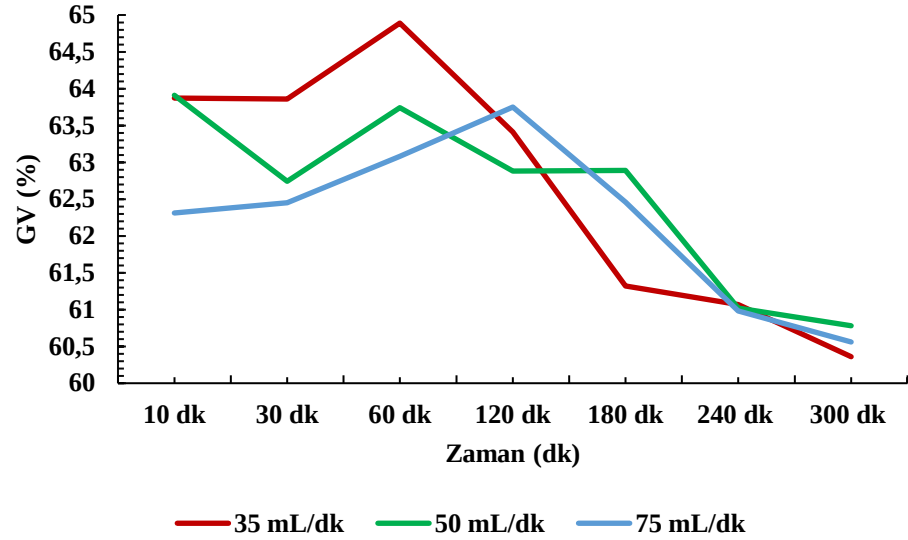
ölçülmüş olan deniz suyunun elektrodializ hücresinden geçirilmesi esnasında elektrodializ hücresine pompa ile 35 mL/dk, 50 mL/dk ve 75 mL/dk debi değerinde gerçekleştirilmiştir. Debinin giderim verimi, giderilen madde miktarı ve özgül elektriksel enerji tüketimi ve üzerine olan etkisi incelenmiştir.

Çalışmada sınırlayıcı akım yoğunluğu; 8.23 pH ve 50 mL/dk debi değerlerinde 20 g/L konsantrasyona sahip NaCl çözeltisi için 30 V ve 2A olarak belirlenmiştir. Elektrodializ hücrenin hem anolit hem katolit kısımlarından örnekler alınmış ve değerlendirmeler ayrı olarak yapılmıştır. Elektrodializ hücresine deniz suyu pompa ile 35 mL/dk, 50 mL/dk ve 75 mL/dk debi değerinde gerçekleştirilmiştir. Elektrodializ sisteminin anolit ve katolit su çıkışlarından 10, 30, 60, 120, 180, 240, 300 ve 360.dk'ların sonunda örnekler alınmıştır. Alınan herbir örnek için uygulanan akım değerlerine karşılık gelen iletkenlik, tuzluluk, GV, GMM ve ÖET değerleri belirlenmiştir. D1 membran çifti yerleştirilmiş olan elektrodializ hücresinin anolit su çıkışından alınan herbir örnek için uygulanan akım değerlerine karşılık gelen iletkenlik, tuzluluk, GV, GMM ve ÖET değerleri Tablo 4.18'de gösterilmiştir.

Tablo 4.18. D1 membran çifti için anolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde debinin performans değerleri üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, I: 2A, pH: 8.23)

Adı	Zaman (dk)	Debi (mL/dk)	İletkenlik (μ S/cm)	Tuzluluk (g)	GMM (g)	GV (%)	ÖET (Wsa/g)
D1A	10	35	354.59	8.44	14.85	63.78	0.45
		50	363.31	8.64	14.65	62.89	0.46
		75	367.71	8.75	14.54	62.44	0.46
	30	35	353.71	8.41	14.88	63.87	0,90
		50	353.32	8.41	14.88	63.91	0,90
		75	368.99	8.78	14.51	62.31	0,92
	60	35	353.81	8.42	14.87	63.86	1.34
		50	364.78	8.68	14.61	62.74	1.37
		75	367.61	8.75	14.54	62.45	1.38
	120	35	343.73	8.18	15.11	64.89	2.65
		50	354.99	8.44	14.85	63.74	2.69
		75	361.45	8.60	14.69	63.08	2.72
	180	35	358.22	8.52	14.77	63.41	2.71
		50	363.40	8.65	14.64	62.88	2.73
		75	354.89	8.44	14.85	63.75	2.69
	240	35	378.68	9.01	14.28	61.32	2.80
		50	363.31	8.64	14.65	62.89	2.73
		75	367.52	8.74	14.55	62.46	2.75
	300	35	381.12	9.07	14.22	61.07	2.81
		50	381.61	9.08	14.21	61.02	2.81
		75	382.01	9.09	14.20	60,98	2.82
	360	35	388.08	9.23	14.06	60.36	2.85
		50	383.96	9.13	14.16	60,78	2.83
		75	386.12	9.19	14.10	60.56	2.84

Şekil 4.48’de D1 membran çifti için anolit su çıkışından 10, 30, 60, 120, 180, 240, 300 ve 360.dk’ların sonunda alınan örnekler için debinin GV üzerine etkisi gösterilmiştir.



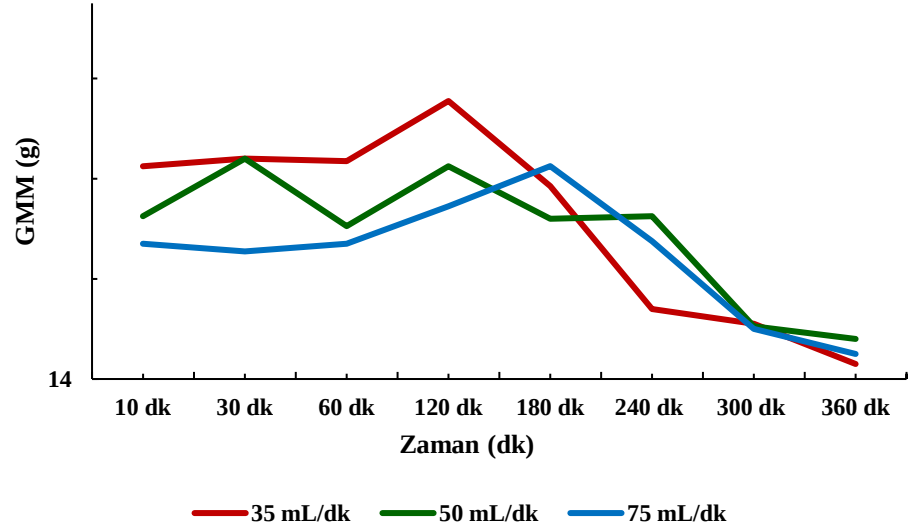
Şekil 4.49. D1 membran çifti için anolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde debinin GV üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, I: 2 A, pH: 8.23)

Şekil 4.48’de GV’nin uygulanan 35 mL/dk debi için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile %63.78, %63.87, %63.86, %64.89 olduğu, 180 dk’nın sonunda %63.41 olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile %61.32, %61.07 ve %60.36 değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.48’de GV’nin uygulanan 50 mL/dk debi değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile %62.89, %63.91, %62.74, %63.74 olduğu, 180 dk’nın sonunda %62.88 olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile %62.89, %61.02 ve %60.78 değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.48’de GV’nin uygulanan 75 mL/dk debi değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile %62.44, %62.31, %62.45, %63.08 olduğu, 180 dk’nın sonunda %63.75 olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile %62.46, %60.98 ve %60.56 değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.49’da D1 membran çifti için anolit su çıkışından 10, 30, 60, 120, 180, 240, 300 ve 360.dk’ların sonunda alınan örnekler için debinin GMM üzerine etkisi gösterilmiştir.



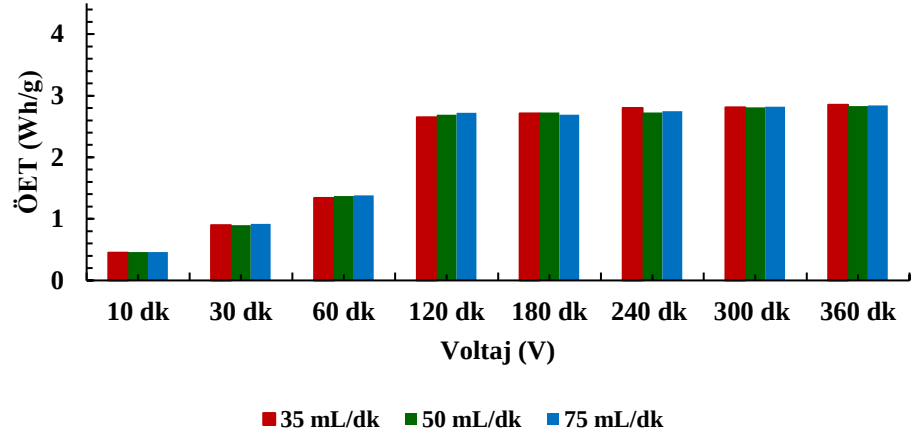
Şekil 4.50. D1 membran çifti için anolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde debinin GMM üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, I: 2 A, pH: 8.23)

Şekil 4.49’da GMM’nın uygulanan 35 mL/dk debi değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 14.85 g, 14.88 g, 14.87 g, 15.11 g olduğu, 180 dk’nın sonunda 14.77 g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile 14.28 g, 14.22 g ve 14.06 g değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.49’da GMM’nın uygulanan 50 mL/dk debi değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 14.65 g, 14.88 g, 14.61 g, 14.85 g olduğu, 180 dk’nın sonunda 14.64 g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile 14.65 g, 14.21 g ve 14.16 g değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.49’da GMM’nın uygulanan 75 mL/dk debi değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 14.54 g, 14.51 g, 14.54 g, 14.69 g olduğu, 180 dk’nın sonunda 14.85 g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile 14.55 g, 14.20 g ve 14.10 g değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.50’de D1 membran çifti için anolit su çıkışından 10, 30, 60, 120, 180, 240, 300 ve 360.dk’ların sonunda alınan örnekler için debinin ÖET üzerine etkisi gösterilmiştir.



Şekil 4.51. D1 membran çifti için anolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde debinin ÖET üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, I: 2 A, pH: 8.23)

Şekil 4.50’de ÖET’nin uygulanan 35 mL/dk debi değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 0.45 Wsa/g, 0.90 Wsa/g, 1.34 Wsa/g ve 2.65 Wsa/g olduğu, 180 dk’nın sonunda 2.71 Wsa/g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile 2.80 Wsa/g, 2.81 Wsa/g ve 2.85 Wsa/g değerine çıktığı görülmektedir.

Şekil 4.50’de ÖET’nin uygulanan 50 mL/dk debi değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 0.46 Wsa/g, 0.90 Wsa/g, 1.38 Wsa/g ve 2.69 Wsa/g olduğu, 180 dk’nın sonunda 2.69 Wsa/g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile 2.73 Wsa/g, 2.81 Wsa/g ve 2.83 Wsa/g değerine çıktığı görülmektedir.

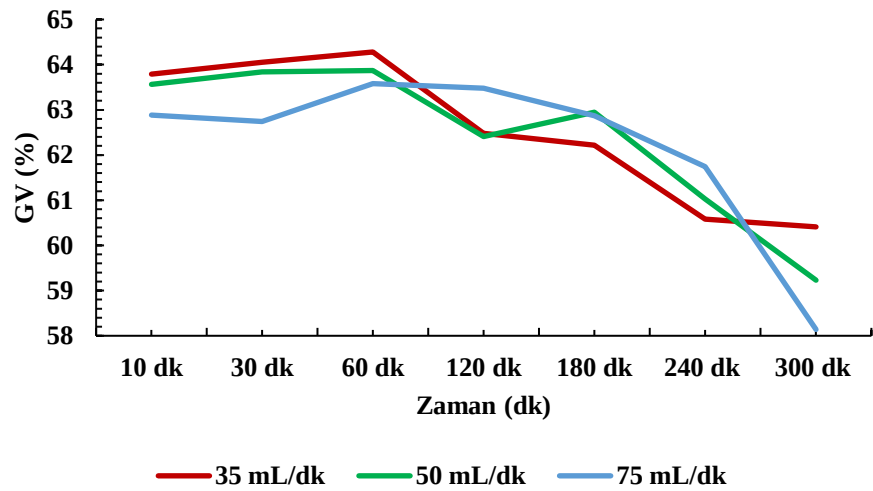
Şekil 4.50’de ÖET’nin uygulanan 75 mL/dk debi değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 0.46 Wsa/g, 0.92 Wsa/g, 1.38 Wsa/g ve 2.72 Wsa/g olduğu, 180 dk’nın sonunda 2.69 Wsa/g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile 2.75 Wsa/g, 2.82 Wsa/g ve 2.85 Wsa/g değerine çıktığı görülmektedir.

D1 membran çifti yerleştirilmiş olan elektrodializ hücresinin katolit su çıkışından alınan her bir örnek için uygulanan debi değerlerine karşılık gelen iletkenlik, tuzluluk, GV, GMM ve ÖET değerleri Tablo 4.19’da gösterilmiştir.

Tablo 4.19. D1 membran çifti için katolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde debinin performans değerleri üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, I: 2A, pH: 8.23)

Adı	Zaman (dk)	Debi (mL/dk)	İletkenlik (μ S/cm)	Tuzluluk (g)	GMM (g)	GV (%)	ÖET (Wsa/g)
D1K	10	35	351.17	8.35	14.94	64.13	0.45
		50	345.39	8.22	15.07	64.72	0.44
		75	354.01	8.42	14.87	63.84	0.45
	30	35	354.50	8.43	14.86	63.79	0,90
		50	356.75	8.49	14.80	63.56	0,90
		75	363.40	8.65	14.64	62.88	0,91
	60	35	351.95	8.37	14.92	64.05	1.34
		50	354.01	8.42	14.87	63.84	1.35
		75	364.78	8.68	14.61	62.74	1.37
	120	35	349.70	8.32	14.97	64.28	2.67
		50	353.71	8.41	14.88	63.87	2.69
		75	356.55	8.48	14.81	63.58	2.70
	180	35	367.32	8.74	14.55	62.48	2.75
		50	368.01	8.75	14.54	62.41	2.75
		75	357.53	8.51	14.78	63.48	2.71
	240	35	369.87	8.80	14.49	62.22	2.76
		50	362.72	8.63	14.66	62.95	2.73
		75	363.50	8.65	14.64	62.87	2.73
	300	35	385.92	9.18	14.11	60.58	2.84
		50	381.52	9.08	14.21	61.03	2.81
		75	374.57	8.91	14.38	61.74	2.78
	360	35	409.81	9.75	13.54	60.41	2.95
		50	399.14	9.50	13.79	59.23	2.90
		75	387.59	9.22	14.07	58.14	2.84

Şekil 4.51’de D1 membran çifti için katolit su çıkışından 10, 30, 60, 120, 180, 240, 300 ve 360.dk’ların sonunda alınan örnekler için debinin GV üzerine etkisi gösterilmiştir.



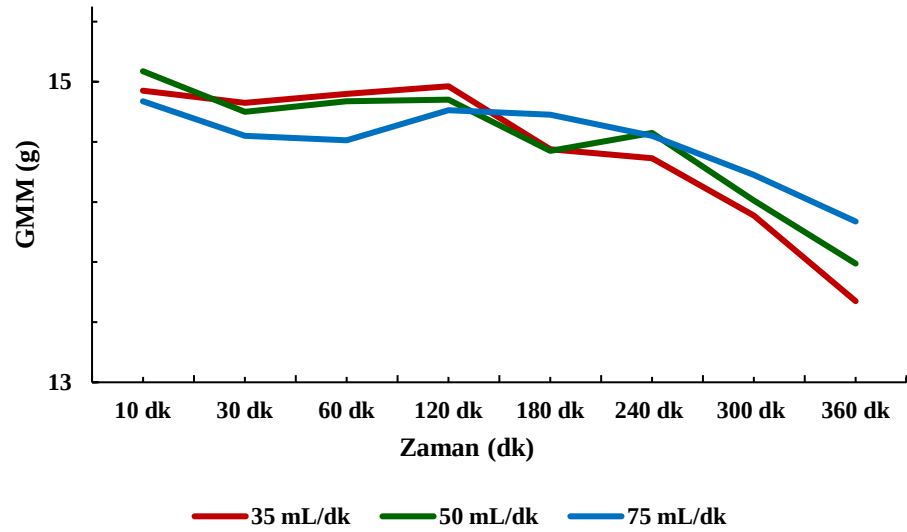
Şekil 4.52. D1 membran çifti için katolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde debinin GV üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23)

Şekil 4.51’de GV’nin uygulanan 35 mL/dk debi için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile %64.13, %63.79, %64.05, %64.28 olduğu, 180 dk’nın sonunda %62.48 olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile %62.22, %60.58 ve %58.14 değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.51’de GV’nin uygulanan 50 mL/dk debi değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile %64.72, %63.56, %63.84, %63.87 olduğu, 180 dk’nın sonunda %62.41 olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile %62.95, %61.03 ve %59.23 değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.51’de GV’nin uygulanan 75 mL/dk debi değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile %63.84, %62.88, %62.74, %63.58 olduğu, 180 dk’nın sonunda %63.48 olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile %62.87, %61.74 ve %60.41 değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.52’de D1 membran çifti için katolit su çıkışından 10, 30, 60, 120, 180, 240, 300 ve 360.dk’ların sonunda alınan örnekler için debinin GMM üzerine etkisi gösterilmiştir.



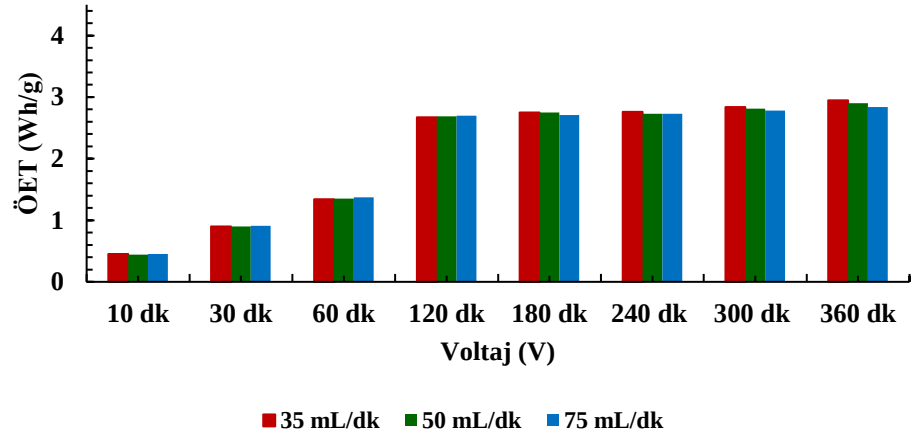
Şekil 4.53. D1 membran çifti için katolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde debinin GMM üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, I: 2 A, pH: 8.23)

Şekil 4.52’de GMM’nin uygulanan 35 mL/dk debi değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 14.94 g, 14.86 g, 14.92 g, 14.78 g olduğu, 180 dk’nın sonunda 14.55 g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile 14.49 g, 14.11 g ve 13.54 g değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.52’de GMM’nın uygulanan 50 mL/dk debi değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 15.07 g, 14.80 g, 14.92 g, 14.97 g olduğu, 180 dk’nın sonunda 14.54 g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile 14.66 g, 14.21 g ve 13.79 g değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.52’de GMM’nın uygulanan 75 mL/dk debi değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 14.87 g, 14.64 g, 14.61 g, 14.81 g olduğu, 180 dk’nın sonunda 14.78 g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile 14.64 g, 14.38 g ve 14.07 g değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.53’de D1 membran çifti için katolit su çıkışından 10, 30, 60, 120, 180, 240, 300 ve 360.dk’ların sonunda alınan örnekler için debinin ÖET üzerine etkisi gösterilmiştir.



Şekil 4.54. D1 membran çifti için katolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde debinin ÖET üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, I: 2 A, pH: 8.23)

Şekil 4.53’te ÖET’nin uygulanan 35 mL/dk debi değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 0.45 Wsa/g, 0.90 Wsa/g, 1.34 Wsa/g ve 2.67 Wsa/g olduğu, 180 dk’nın sonunda 2.75 Wsa/g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile 2.76 Wsa/g, 2.84 Wsa/g ve 2.95 Wsa/g değerine çıktığı görülmektedir.

Şekil 4.53’te ÖET’nin uygulanan 50 mL/dk debi değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 0.44 Wsa/g, 0.90 Wsa/g, 1.35 Wsa/g ve 2.69 Wsa/g olduğu, 180 dk’nın sonunda 2.75 Wsa/g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile 2.73 Wsa/g, 2.81 Wsa/g ve 2.90 Wsa/g değerine çıktığı görülmektedir.

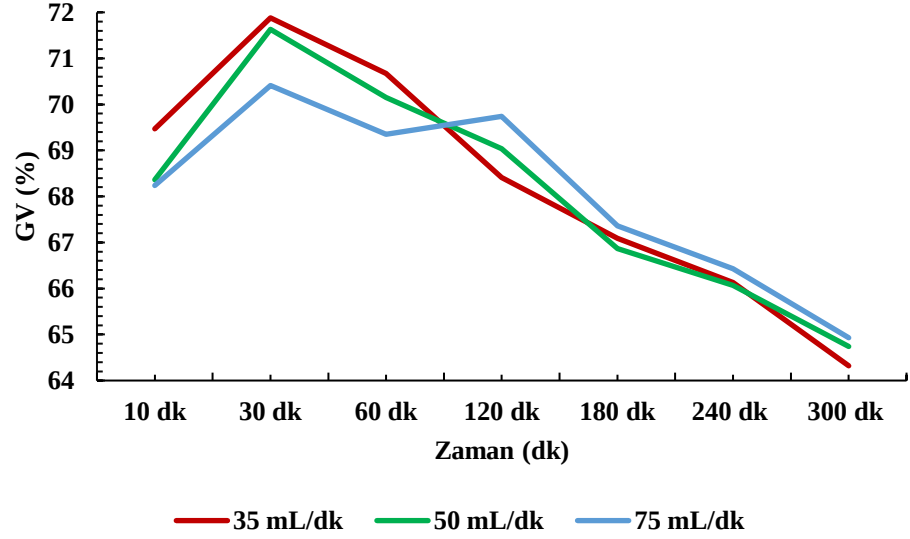
Şekil 4.53'te ÖET'nin uygulanan 75 mL/dk debi değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 0.45 Wsa/g, 0.91 Wsa/g, 1.37 Wsa/g ve 2.70 Wsa/g olduğu, 180 dk'nın sonunda 2.71 Wsa/g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile 2.73 Wsa/g, 2.78 Wsa/g ve 2.84 Wsa/g değerine çıktığı görülmektedir.

D2 membran çifti yerleştirilmiş olan elektrodiyaliz hücresinin anolit su çıkışından alınan herbir örnek için uygulanan debi değerlerine karşılık gelen iletkenlik, tuzluluk, GV, GMM ve ÖET değerleri Tablo 4.20'de gösterilmiştir.

Tablo 4.20. D2 membran çifti için anolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde debinin performans değerleri üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, I: 2A, pH: 8.23)

Adı	Zaman (dk)	Debi (mL/dk)	İletkenlik (μ S/cm)	Tuzluluk (g)	GMM (g)	GV (%)	ÖET (Wsa/g)
D2A	10	35	298.20	7.09	16.20	69.54	0.41
		50	304.76	7.25	16.04	68.87	0.42
		75	317.59	7.56	15.73	67.56	0.42
	30	35	298.89	7.11	16.18	69.47	0,82
		50	309.76	7.37	15.92	68.36	0,84
		75	310,93	7.40	15.89	68.24	0,84
	60	35	275.29	6.55	16.74	71.88	1.19
		50	277.74	6.61	16.68	71.63	1.20
		75	289.69	6.89	16.40	70.41	1.22
	120	35	287.14	6.83	16.46	70.67	2.43
		50	292.23	6.95	16.34	70.15	2.45
		75	300.06	7.14	16.15	69.35	2.48
	180	35	309.27	7.36	15.93	68.41	2.51
		50	303.10	7.21	16.08	69.04	2.49
		75	296.25	7.05	16.24	69.74	2.46
	240	35	322.19	7.66	15.63	67.09	2.56
		50	324.34	7.72	15.57	66.87	2.57
		75	319.55	7.60	15.69	67.36	2.55
	300	35	331.59	7.89	15.40	66.13	2.60
		50	332.17	7.90	15.39	66.07	2.60
		75	328.65	7.82	15.47	66.43	2.59
	360	35	349.31	8.31	14.98	64.32	2.67
		50	345.20	8.21	15.08	64.74	2.65
		75	343.34	8.17	15.12	64.93	2.65

Şekil 4.54'te D2 membran çifti için anolit su çıkışından 10, 30, 60, 120, 180, 240, 300 ve 360.dk'ların sonunda alınan örnekler için debinin GV üzerine etkisi gösterilmiştir.



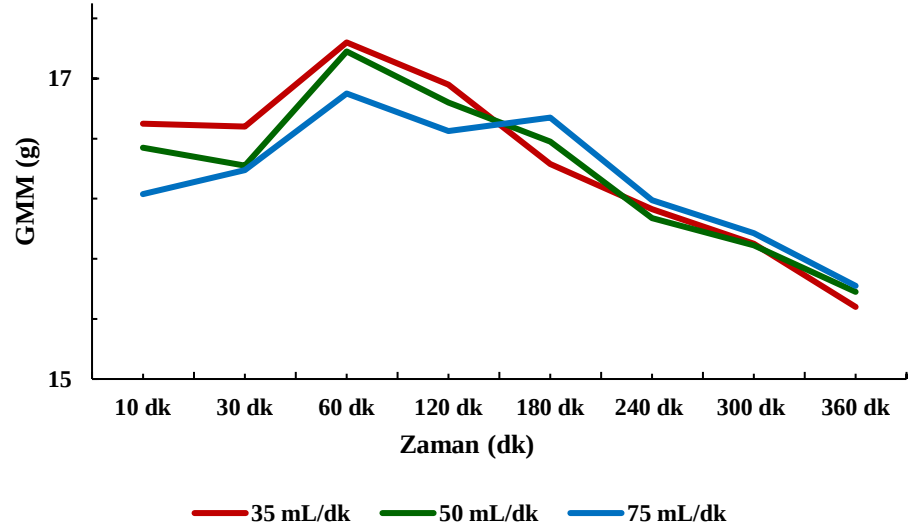
Şekil 4.55. D2 membran çifti için anolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde debinin GV üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, I: 2 A, pH: 8.23)

Şekil 4.54'te GV uygulanan 35 mL/dk debi için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile %69.54, %69.47, %71.88, %70.67 olduğu, 180 dk'nın sonunda %68.41 olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile %67.09, %66.13 ve %64.32 değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.54'te GV uygulanan 50 mL/dk debi değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile %68.87, %68.24, %70.41, %69.35 olduğu, 180 dk'nın sonunda %69.04 olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile %66.87, %66.07 ve %64.74 değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.54'te GV uygulanan 75 mL/dk debi değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile %67.56, %68.24 %70.41, %69.35 olduğu, 180 dk'nın sonunda %69.74 olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile %67.36, %66.43 ve %64.93 değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.55'te D2 membran çifti için anolit su çıkışından 10, 30, 60, 120, 180, 240, 300 ve 360.dk'ların sonunda alınan örnekler için debinin GMM üzerine etkisi gösterilmiştir.



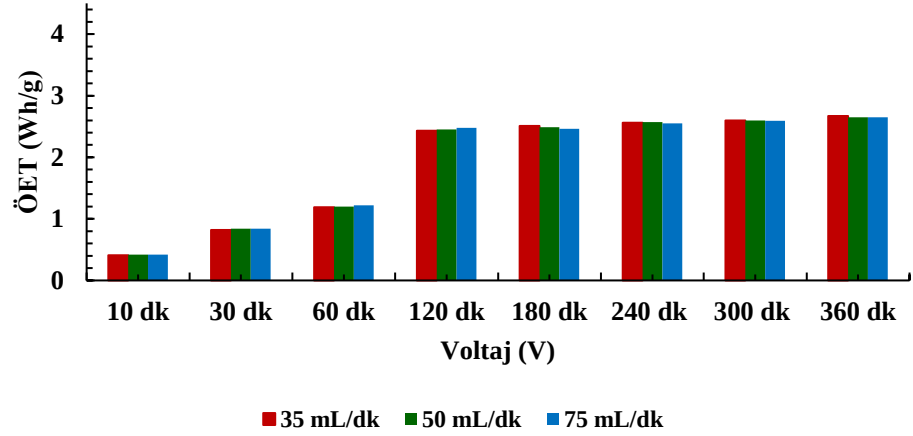
Şekil 4.56. D2 membran çifti için anolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde debinin GMM üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, I: 2 A, pH: 8.23)

Şekil 4.55'te GMM uygulanan 35 mL/dk debi değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 16.20 g, 16.18 g, 16.74 g, 16.46 g olduğu, 180 dk'nın sonunda 15.93 g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile 15.63 g, 15.40 g ve 14.98 g değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.55'te GMM'nin uygulanan 50 mL/dk debi değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 16.04 g, 15.92 g, 16.68 g, 16.34 g olduğu, 180 dk'nın sonunda 16.08 g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile 15.57 g, 15.39 g ve 15.08 g değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.55'te GMM'nin uygulanan 75 mL/dk debi değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 15.73 g, 15.89 g, 16.40 g, 16.15 g olduğu, 180 dk'nın sonunda 16.24 g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile 15.69 g, 15.47 g ve 15.12 g değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.56'da D2 membran çifti için anolit su çıkışından 10, 30, 60, 120, 180, 240, 300 ve 360.dk'ların sonunda alınan örnekler için debinin ÖET üzerine etkisi gösterilmiştir.



Şekil 4.57. D2 membran çifti için anolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde debinin ÖET üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, I: 2 A, pH: 8.23)

Şekil 4.56'da ÖET'nin uygulanan 35 mL/dk debi değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 0.41 Wsa/g, 0.82 Wsa/g, 1.19 Wsa/g ve 2.43 Wsa/g olduğu, 180 dk'nın sonunda 2.51 Wsa/g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile 2.56 Wsa/g, 2.60 Wsa/g ve 2.67 Wsa/g değerine çıktığı görülmektedir.

Şekil 4.56'da ÖET'nin uygulanan 50 mL/dk debi değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 0.42 Wsa/g, 0.84 Wsa/g, 1.22 Wsa/g ve 2.45 Wsa/g olduğu, 180 dk'nın sonunda 2.49 Wsa/g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile 2.57 Wsa/g, 2.60 Wsa/g ve 2.65 Wsa/g değerine çıktığı görülmektedir.

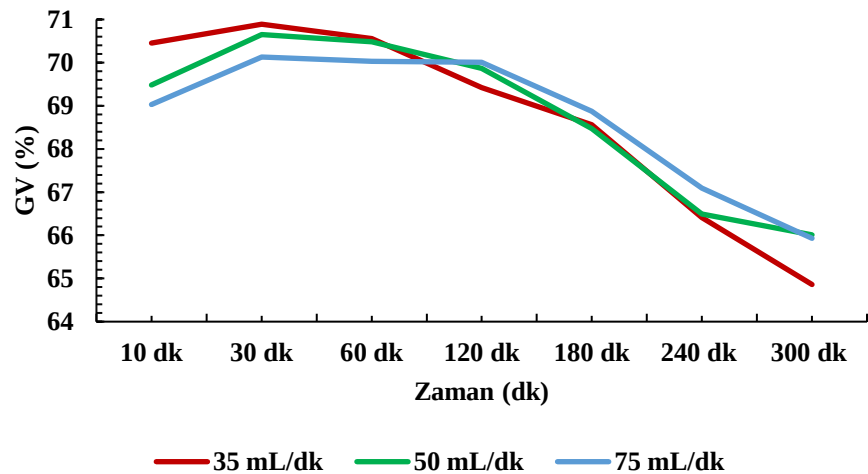
Şekil 4.56'da ÖET'nin uygulanan 75 mL/dk debi değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 0.42 Wsa/g, 0.84 Wsa/g, 1.22 Wsa/g ve 2.48 Wsa/g olduğu, 180 dk'nın sonunda 2.46 Wsa/g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile 2.55 Wsa/g, 2.59 Wsa/g ve 2.65 Wsa/g değerine çıktığı görülmektedir.

D2 membran çifti yerleştirilmiş olan elektrodializ hücresinin katolit su çıkışından alınan her bir örnek için uygulanan debi değerlerine karşılık gelen iletkenlik, tuzluluk, GV, GMM ve ÖET değerleri Tablo 4.21'de gösterilmiştir.

Tablo 4.21. D2 membran çifti için Katolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde debinin performans değerleri üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, I: 2A, pH: 8.23)

Adı	Zaman (dk)	Debi (mL/dk)	İletkenlik (μ S/cm)	Tuzluluk (g)	GMM (g)	GV (%)	ÖET (Wsa/g)
D2K	10	35	305.64	7.27	16.02	68.78	0.42
		50	312.11	7.42	15.87	68.12	0.42
		75	313.48	7.46	15.83	67.98	0.42
	30	35	289.29	6.88	16.41	70.45	0,81
		50	298.79	7.11	16.18	69.48	0,82
		75	303.20	7.21	16.08	69.03	0,83
	60	35	284.99	6.78	16.51	70,89	1.21
		50	287.34	6.84	16.45	70.65	1.22
		75	292.43	6.96	16.33	70.13	1.22
	120	35	288.22	6.89	16.43	70.56	2.43
		50	289.00	6.88	16.41	70.48	2.44
		75	293.41	6.98	16.31	70.03	2.45
	180	35	299.38	7.12	16.17	69.42	2.47
		50	294.97	7.02	16.27	69.87	2.46
		75	293.60	6.98	16.31	70.01	2.45
	240	35	307.80	7.32	15.97	68.56	2.51
		50	308.68	7.34	15.95	68.47	2.51
		75	304.76	7.25	16.04	68.87	2.49
	300	35	328.85	7.82	15.47	66.41	2.59
		50	328.06	7.80	15.49	66.49	2.58
		75	322.19	7.66	15.63	67.09	2.56
	360	35	344.02	8.18	15.11	64.86	2.65
		50	332.76	7.92	15.37	66.01	2.60
		75	333.55	7.93	15.36	65.93	2.60

Şekil 4.57’de D2 membran çifti için katolit su çıkışından 10, 30, 60, 120, 180, 240, 300 ve 360.dk’ların sonunda alınan örnekler için debinin GV üzerine etkisi gösterilmiştir.



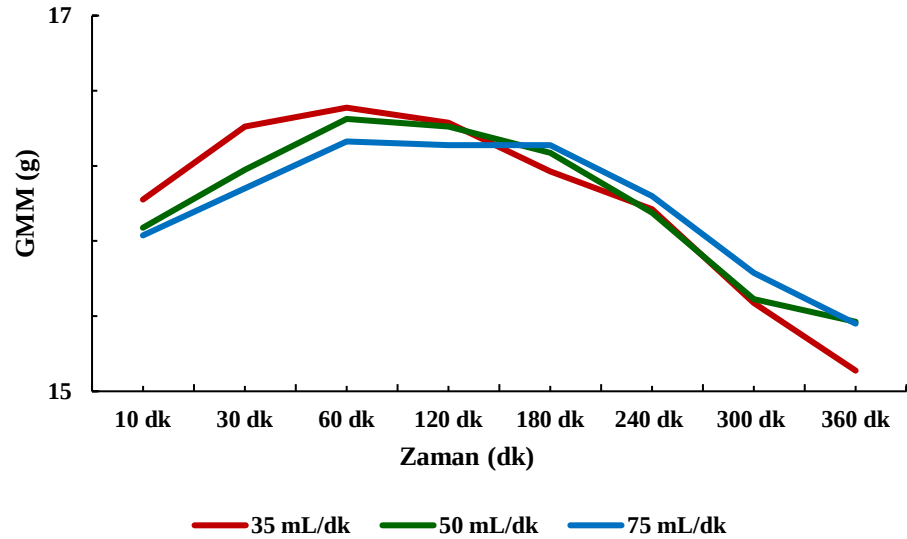
Şekil 4.58. D2 membran çifti için katolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde debinin GV üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23)

Şekil 4.57’de GV’nin uygulanan 35 mL/dk debi için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile %68.78, %70.45, %70.89, %70.56 olduğu, 180 dk’nın sonunda %69.42 olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile %68.56, %66.41 ve %64.86 değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.57’de GV’nin uygulanan 50 mL/dk debi değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile %68.12, %66.48, %70.65, %70.48 olduğu, 180 dk’nın sonunda %69.87 olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile %68.47, %66.49 ve %65.93 değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.57’de GV’nin uygulanan 75 mL/dk debi değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile %67.98, %69.03, %70.13, %70.03 olduğu, 180 dk’nın sonunda %70.01 olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile %68.87, %67.09 ve %65.93 değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.58’de D2 membran çifti için katolit su çıkışından 10, 30, 60, 120, 180, 240, 300 ve 360.dk’ların sonunda alınan örnekler için debinin GMM üzerine etkisi gösterilmiştir.



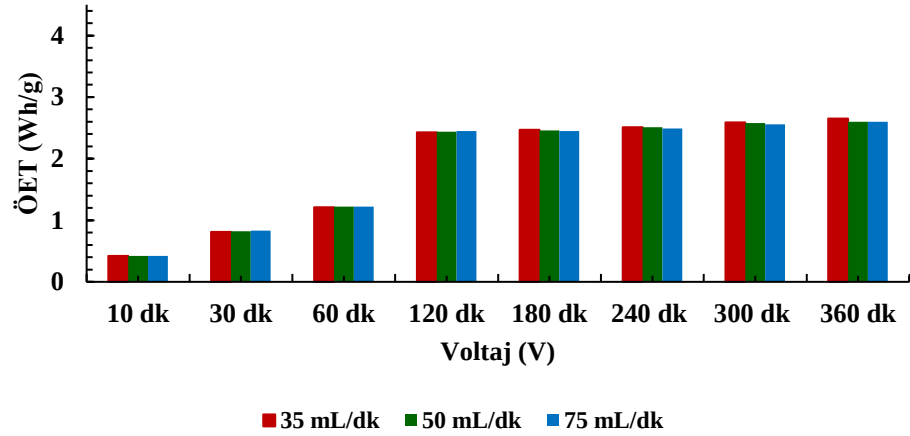
Şekil 4.59. D2 membran çifti için katolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde debinin GMM üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, I: 2 A, pH: 8.23)

Şekil 4.58’de GMM’nin uygulanan 35 mL/dk debi değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 16.02 g, 16.41 g, 16.51 g, 16.43 g olduğu, 180 dk’nın sonunda 16.17 g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile 15.97 g, 15.47 g ve 15.11 g değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.58’de GMM’nın uygulanan 50 mL/dk debi değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 15.87 g, 16.18 g, 16.45 g, 16.41 g olduğu, 180 dk’nın sonunda 16.27 g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile 15.95 g, 15.49 g ve 15.37 g değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.58’de GMM’nın uygulanan 75 mL/dk debi değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 15.83 g, 16.08 g, 16.33 g, 16.31 g olduğu, 180 dk’nın sonunda 16.31 g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile 16.04 g, 15.63 g ve 15.36 g değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.59’da D2 membran çifti için katolit su çıkışından 10, 30, 60, 120, 180, 240, 300 ve 360.dk’ların sonunda alınan örnekler için debinin ÖET üzerine etkisi gösterilmiştir.



Şekil 4.60. D2 membran çifti için katolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde debinin özgül elektriksel enerji tüketimi üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, I: 2 A, pH: 8.23)

Şekil 4.59’da ÖET’nin uygulanan 35 mL/dk debi değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 0.425 Wsa/g, 0.81 Wsa/g, 1.21 Wsa/g ve 2.43 Wsa/g olduğu, 180 dk’nın sonunda 2.47 Wsa/g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile 2.51 Wsa/g, 2.59 Wsa/g ve 2.65 Wsa/g değerine çıktığı görülmektedir.

Şekil 4.59’da ÖET’nin uygulanan 50 mL/dk debi değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 0.42 Wsa/g, 0.82 Wsa/g, 1.22 Wsa/g ve 2.44 Wsa/g olduğu, 180 dk’nın sonunda 2.46 Wsa/g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile 2.51 Wsa/g, 2.58 Wsa/g ve 2.60 Wsa/g değerine çıktığı görülmektedir.

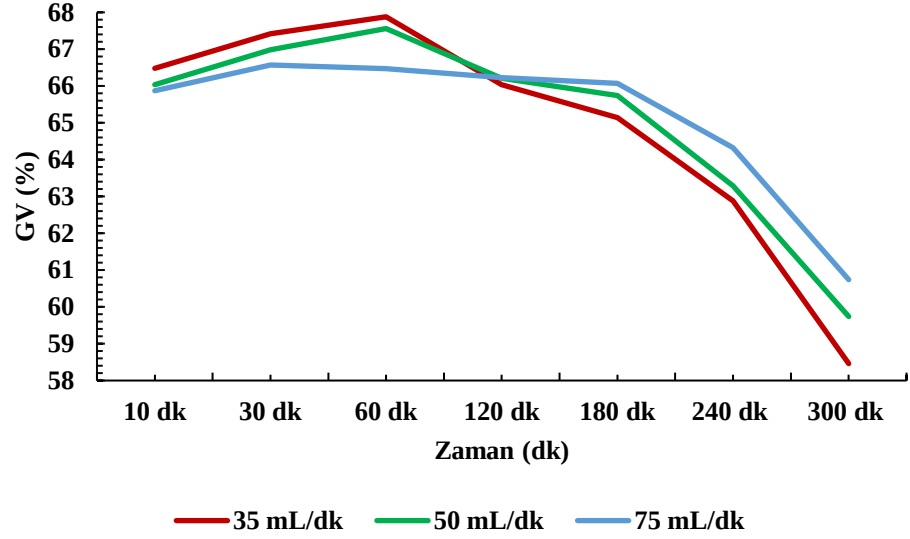
Şekil 4.59’da ÖET’nin uygulanan 75 mL/dk debi değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 0.42 Wsa/g, 0.83 Wsa/g, 1.22 Wsa/g ve 2.45 Wsa/g olduğu, 180 dk’nın sonunda 2.45 Wsa/g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile 2.49 Wsa/g, 2.56 Wsa/g ve 2.60 Wsa/g değerine çıktığı görülmektedir.

D3 membran çifti yerleştirilmiş olan elektrodializ hücresinin anolit su çıkışından alınan herbir örnek için uygulanan debi değerlerine karşılık gelen iletkenlik, tuzluluk, GV, GMM ve ÖET değerleri Tablo 4.22’de gösterilmiştir.

Tablo 4.22. D3 membran çifti için anolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde debinin performans değerleri üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, I: 2A, pH: 8.23)

Adı	Zaman (dk)	Debi (mL/dk)	İletkenlik (μ S/cm)	Tuzluluk (g)	GMM (g)	GV (%)	ÖET (Wsa/g)
D3A	10	35	340.30	8.10	15.19	65.24	0.44
		50	343.73	8.18	15.11	64.89	0.44
		75	350.19	8.33	14.96	64.23	0.45
	30	35	328.16	7.81	15.48	66.48	0,86
		50	332.47	7.91	15.38	66.04	0,87
		75	334.13	7.95	15.34	65.87	0,87
	60	35	318.96	7.59	15.70	67.42	1.27
		50	323.27	7.69	15.60	66.98	1.28
		75	327.28	7.79	15.50	66.57	1.29
	120	35	314.45	7.48	15.81	67.88	2.53
		50	317.59	7.56	15.73	67.56	2.54
		75	328.26	7.81	15.48	66.47	2.58
	180	35	332.47	7.91	15.38	66.04	2.60
		50	330,80	7.87	15.42	66.21	2.59
		75	330.61	7.87	15.42	66.23	2.59
	240	35	341.28	8.12	15.17	65.14	2.64
		50	335.41	7.98	15.31	65.74	2.61
		75	332.17	7.92	15.39	66.07	2.60
	300	35	363.40	8.65	14.64	62.88	2.73
		50	359.39	8.55	14.74	63.29	2.71
		75	349.31	8.31	14.98	64.32	2.67
	360	35	406.68	9.67	13.62	58.46	2.94
		50	394.15	9.38	13.91	59.74	2.87
		75	384.36	9.14	14.15	60,74	2.83

Şekil 4.60’da D3 membran çifti için anolit su çıkışından 10, 30, 60, 120, 180, 240, 300 ve 360.dk’ların sonunda alınan örnekler için debinin GV üzerine etkisi gösterilmiştir.



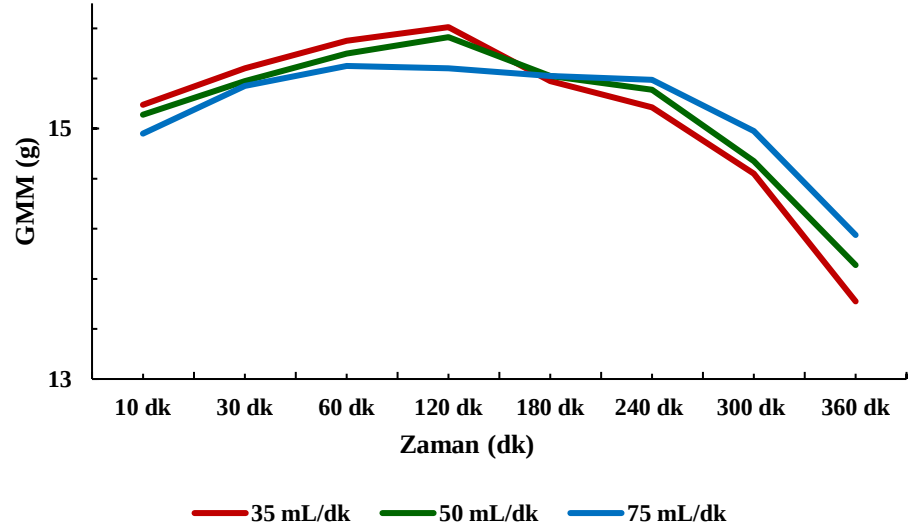
Şekil 4.61. D3 membran çifti için anolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde debinin GV üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, I: 2 A, pH: 8.23)

Şekil 4.60'da GV'nin uygulanan 35 mL/dk debi için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile %65.24, %66.48, %67.42, %67.88 olduğu, 180 dk'nın sonunda %66.04 olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile %65.14, %62.88 ve %58.46 değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.60'da GV'nin uygulanan 50 mL/dk debi değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile %64.89, %66.04, %66.98, %67.56 olduğu, 180 dk'nın sonunda %66.21 olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile %65.74, %63.29 ve %59.74 değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.60'da GV'nin uygulanan 75 mL/dk debi değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile %64.23, %65.87, %66.57, %66.47 olduğu, 180 dk'nın sonunda %66.23 olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile %66.07, %64.32 ve %60.74 değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.61'de D3 membran çifti için anolit su çıkışından 10, 30, 60, 120, 180, 240, 300 ve 360.dk'ların sonunda alınan örnekler için debinin GMM üzerine etkisi gösterilmiştir.



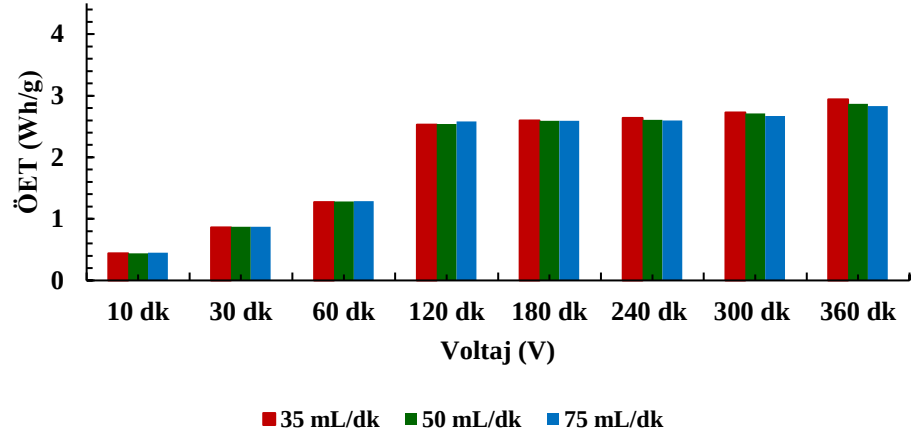
Şekil 4.62. D3 membran çifti için anolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde debinin GMM üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, I: 2 A, pH: 8.23)

Şekil 4.61’de GMM’nın uygulanan 35 mL/dk debi değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 15.19 g, 15.48 g, 15.70 g, 15.81 g olduğu, 180 dk’nın sonunda 15.38 g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile 15.17 g, 14.64 g ve 13.62 g değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.61’de GMM’nın uygulanan 50 mL/dk debi değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 15.11 g, 15.38 g, 15.60 g, 15.73 g olduğu, 180 dk’nın sonunda 15.42 g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile 15.31 g, 14.74 g ve 13.91 g değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.61’de GMM’nın uygulanan 75 mL/dk debi değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 14.96 g, 15.34 g, 15.50 g, 15.48 g olduğu, 180 dk’nın sonunda 15.42 g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile 15.39 g, 14.98 g ve 14.15 g değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.62’de D3 membran çifti için anolit su çıkışından 10, 30, 60, 120, 180, 240, 300 ve 360.dk’ların sonunda alınan örnekler için debinin ÖET üzerine etkisi gösterilmiştir.



Şekil 4.63. D3 membran çifti için anolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde debinin ÖET üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, I: 2 A, pH: 8.23)

Şekil 4.62’de ÖET’nin uygulanan 35 mL/dk debi değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 0.44 Wsa/g, 0.86 Wsa/g, 1.27 Wsa/g ve 2.53 Wsa/g olduğu, 180 dk’nın sonunda 2.60 Wsa/g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile 2.64 Wsa/g, 2.73 Wsa/g ve 2.94 Wsa/g değerine çıktığı görülmektedir.

Şekil 4.62’de ÖET’nin uygulanan 50 mL/dk debi değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 0.44 Wsa/g, 0.87 Wsa/g, 1.28 Wsa/g ve 2.54 Wsa/g olduğu, 180 dk’nın sonunda 2.59 Wsa/g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile 2.61 Wsa/g, 2.71 Wsa/g ve 2.87 Wsa/g değerine çıktığı görülmektedir.

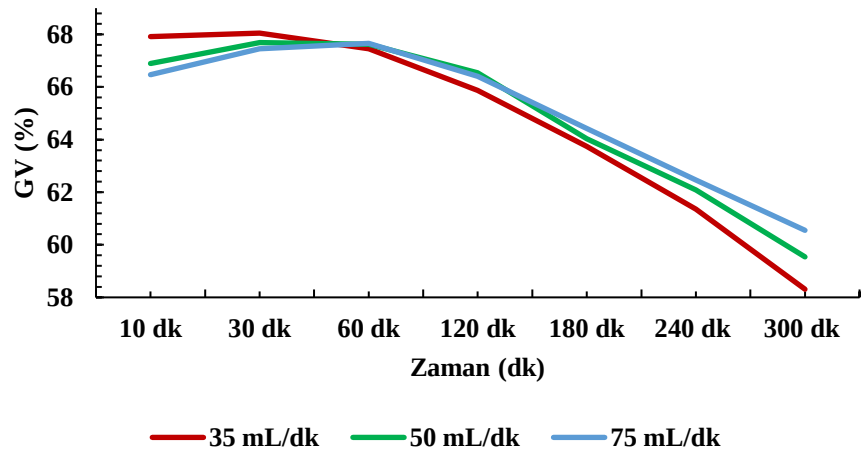
Şekil 4.62’de ÖET’nin uygulanan 75 mL/dk debi değeri için 10, 30, 60, 120 dk’ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 0.45 Wsa/g, 0.87 Wsa/g, 1.29 Wsa/g ve 2.58 Wsa/g olduğu, 180 dk’nın sonunda 2.59 Wsa/g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile 2.60 Wsa/g, 2.67 Wsa/g ve 2.83 Wsa/g değerine çıktığı görülmektedir.

D3 membran çifti yerleştirilmiş olan elektrodializ hücresinin katolit su çıkışından alınan her bir örnek için uygulanan debi değerlerine karşılık gelen iletkenlik, tuzluluk, GV, GMM ve ÖET değerleri Tablo 4.23’te gösterilmiştir.

Tablo 4.23. D3 membran çifti için katolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde debinin performans değerleri üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 $\mu\text{S/cm}$, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, I: 2A, pH: 8.23)

Adı	Zaman (dk)	Debi (mL/dk)	İletkenlik ($\mu\text{S/cm}$)	Tuzluluk (g)	GMM (g)	GV (%)	ÖET (Wsa/g)
D3K	10	35	322.68	7.68	15.61	67.04	0.43
		50	324.15	7.71	15.58	66.89	0.43
		75	341.48	8.12	15.17	65.12	0.44
	30	35	314.06	7.47	15.82	67.92	0,84
		50	324.15	7.71	15.58	66.89	0,86
		75	328.26	7.81	15.48	66.47	0,86
	60	35	312.79	7.44	15.85	68.05	1.26
		50	316.31	7.52	15.77	67.69	1.27
		75	318.66	7.58	15.71	67.45	1.27
	120	35	318.66	7.58	15.71	67.45	2.55
		50	316.90	7.54	15.75	67.63	2.54
		75	316.61	7.53	15.76	67.66	2.54
	180	35	334.13	7.95	15.34	65.87	2.61
		50	327.57	7.79	15.50	66.54	2.58
		75	328.85	7.82	15.47	66.41	2.59
	240	35	354.99	8.44	14.85	63.74	2.69
		50	352.15	8.38	14.91	64.03	2.68
		75	348.33	8.29	15.00	64.42	2.67
	300	35	378.29	9.00	14.29	61.36	2.80
		50	371.24	8.83	14.46	62.08	2.77
		75	367.52	8.74	14.55	62.46	2.75
	360	35	408.15	9.71	13.58	58.31	2.95
		50	396.10	9.42	13.87	59.54	2.88
		75	386.22	9.19	14.10	60.55	2.84

Şekil 4.63'te D3 membran çifti için katolit su çıkışından 10, 30, 60, 120, 180, 240, 300 ve 360.dk'ların sonunda alınan örnekler için debinin GV üzerine etkisi gösterilmiştir.



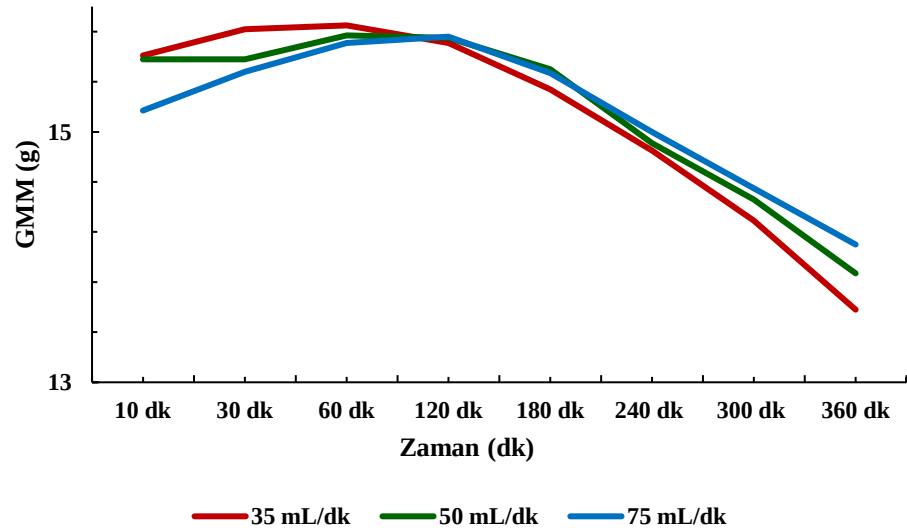
Şekil 4.64. D3 membran çifti için katolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde debinin GV üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 $\mu\text{S/cm}$, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, Q: 50 mL/dk, pH: 8.23)

Şekil 4.63'te GV'nin uygulanan 35 mL/dk debi için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile %67.04, %67.92, %68.05, %67.45 olduğu, 180 dk'nın sonunda %65.87 olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile %63.74, %61.36 ve %58.31 değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.63'te GV'nin uygulanan 50 mL/dk debi değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile %66.89, %66.89, %67.69, %67.63 olduğu, 180 dk'nın sonunda %66.54 olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile %64.03, %62.08 ve %59.54 değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.63'te GV'nin uygulanan 75 mL/dk debi değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile %65.12, %66.47, %67.45, %67.66 olduğu, 180 dk'nın sonunda %66.41 olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile %64.42, %62.46 ve %60.55 değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.64'de D3 membran çifti için katolit su çıkışından 10, 30, 60, 120, 180, 240, 300 ve 360.dk'ların sonunda alınan örnekler için debinin GMM üzerine etkisi gösterilmiştir.



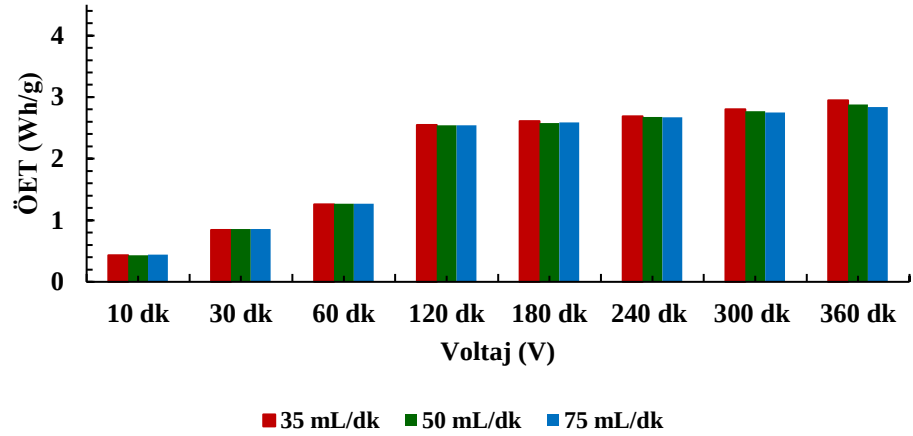
Şekil 4.65. D3 membran çifti için katolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde debinin GMM üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, I: 2 A, pH: 8.23)

Şekil 4.64'te GMM'nin uygulanan 35 mL/dk debi değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 15.61 g, 15.82 g, 15.85 g, 15.71 g olduğu, 180 dk'nın sonunda 15.34 g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile 14.85 g, 14.29 g ve 13.58 g değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.64'te GMM'nin uygulanan 50 mL/dk debi değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 15.58 g, 15.58 g, 15.77 g, 15.75 g olduğu, 180 dk'nın sonunda 15.50 g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile 14.91 g, 14.46 g ve 13.87 g değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.64'te GMM'nin uygulanan 75 mL/dk debi değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 15.17 g, 15.48 g, 15.71 g, 15.76 g olduğu, 180 dk'nın sonunda 15.47 g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile 15.00 g, 14.55 g ve 14.10 g değerine azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.65'te D3 membran çifti için katolit su çıkışından 10, 30, 60, 120, 180, 240, 300 ve 360.dk'ların sonunda alınan örnekler için debinin ÖET üzerine etkisi gösterilmiştir.



Şekil 4.66. D3 membran çifti için katolit su çıkışından alınan numuneler için deniz suyundan tuz gideriminde debinin ÖET üzerine etkisi (giriş suyu iletkenliği: 979 μ S/cm, giriş suyu tuzluluğu: 23.29 g, V: 20 V, I: 2 A, pH: 8.23)

Şekil 4.65'te ÖET'nin uygulanan 35 mL/dk debi değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 0.43 Wsa/g, 0.84 Wsa/g, 1.26 Wsa/g ve 2.55 Wsa/g olduğu, 180 dk'nın sonunda 2.61 Wsa/g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile 2.69 Wsa/g, 2.80 Wsa/g ve 2.95 Wsa/g değerine çıktığı görülmektedir.

Şekil 4.65'te ÖET'nin uygulanan 50 mL/dk debi değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 0.43 Wsa/g, 0.86 Wsa/g, 1.27 Wsa/g ve 2.54 Wsa/g olduğu, 180 dk'nın sonunda 2.58 Wsa/g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile 2.68 Wsa/g, 2.77 Wsa/g ve 2.88 Wsa/g değerine çıktığı görülmektedir.

Şekil 4.65'te ÖET'nin uygulanan 75 mL/dk debi değeri için 10, 30, 60, 120 dk'ların sonunda alınan örnekler için sırası ile 0.44 Wsa/g, 0.86 Wsa/g, 1.27 Wsa/g ve 2.54 Wsa/g olduğu, 180 dk'nın sonunda 2.59 Wsa/g olduğu 240 dk, 300 dk ve 360 dk sonunda sırası ile 2.67 Wsa/g, 2.75 Wsa/g ve 2.84 Wsa/g değerine çıktığı görülmektedir.

4.2.6. Laboratuvar Ölçekli Kurulmuş Olan Elektrodializ Sisteminin Kurulum ve İşletim Maliyeti

Çalışmada kullanılan laboratuvar ölçekli elektrodializ sisteminin maliyet hesabı için seçilen debi 50 mL/dk ($0.072 \text{ m}^3/\text{gün}$) olup sistemin bileşenleri ile birlikte kurulum maliyetleri Tablo 4.24'te gösterilmektedir.

Tablo 4.24. Laboratuvar ölçekli kurulan Elektrodializ sisteminin kurulum maliyeti

Adı	Maliyet (₺)	Maliyet (\$)*
Elektrodializ hücre (Membran, Kimyasal Madde, Ekipman)	1 0000	795
3 Adet Peristaltik pompa (810 L/dk)	500	40
Doğru akım güç kaynağı (Ayarlanabilir, 30 V-3A)	6000	475
Toplam	16500	1310

*1 Aralık 2021 tarihinde 1 adet Amerikan Doları 12.59 Türk Lirasıdır.

Çalışmada kullanılan laboratuvar ölçekli elektrodializ sisteminin işletim maliyeti Tablo 4.25'te gösterilmektedir.

Tablo 4.25. Laboratuvar ölçekli kurulan elektrodializ sisteminin işletim maliyeti

Adı	Enerji (kW/sa)	Birim Fiyat (₺)*	Maliyet (₺)	Maliyet (\$)***
Persistaltik Pompa (3 Adet)	0.02	0.71	0.01	0.0008
Doğru akım güç kaynağı	0.09	0.71	0.06	0.0048
Toplam	0.11	0.71	0.08	0.0064

*İşyerleri için 2021 yılı Aralık dönemi ulusal tarifede elektrik birim fiyatı 0.71 Türk Lirasıdır.

***1 Aralık 2021 tarihinde 1 adet Amerikan Doları 12.59 Türk Lirasıdır.

Laboratuvar ölçekli kurulan elektrodializ sisteminin 1 günlük toplam işletim maliyeti toplam 1.92 Türk lirasıdır.

4.2.7. Ölçeklendirme (Scale-Up) Çalışması ile Elektrodializ (ED) Sisteminin Kurulum ve İşletim Maliyeti

Ülkemizde Balıkesir Büyükşehir Belediyesine ait deniz suyunun tuzsuzlaştırılması ile içme suyu elde edilmesi amacıyla TO yöntemi ile kurulan tesiste günlük ortalama 4000 m³ sudan içme suyu elde edildiği bilgisinden yararlanılarak elektrodializ sistemi için ölçeklendirme çalışması yapılmıştır. Tablo 4.26’da 4000 m³/gün kapasiteli elektrodializ Sistemi için kurulum maliyeti gösterilmektedir.

Tablo 4.26. 4000 m³/gün (2780 l/dk) kapasiteli elektrodializ sisteminin kurulum maliyeti

Adı	Maliyet (₺)	Maliyet (\$)*
Elektrodializ hücre (Membran, Kimyasal Madde, Ekipman)	3000000	238000
3 Adet Peristaltik pompa (810 L/dk)	54000	4300
Doğru akım güç kaynağı (Ayarlanabilir, 30 V-3A)	3336000	265000
Toplam	6390000	507300

*1 Aralık 2021 tarihinde 1 adet Amerikan Doları 12.59 Türk Lirasıdır.

Tablo 4.27’de 4000 m³/gün kapasiteli elektrodializ sistemi için kurulum maliyeti gösterilmektedir.

Tablo 4.27. 4000 m³/gün (2780 l/dk) kapasiteli elektrodializ sisteminin işletim maliyeti

Adı	Enerji (kW/sa)	Birim Fiyat (₺)*	Maliyet (₺)	Maliyet (\$) **
Persistaltik Pompa (3 Adet)	3	0.71	2.13	0.17
Doğru akım güç kaynağı	50	0.71	35.50	2.83
Toplam	53	0.71	37.63	4.00

*İşyerleri için 2021 yılı Aralık dönemi ulusal tarifede elektrik birim fiyatı 0.71 Türk Lirasıdır.

**1 Aralık 2021 tarihinde 1 adet Amerikan Doları 12.59 Türk Lirasıdır.

1 günde harcanan toplam elektrik enerjisi miktarı 1.272 kW (53x24) olup maliyeti 903.12 ₺ ve 71.73 \$ ‘dır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Dünya nüfusunun hızla artması ve kırsal nüfusun hızla kentlere göç etmesi başta su tüketimi olmak üzere bir çok alanda tüketimde aşırı bir artışa sebep olmuştur. Son yıllarda iklim değişikliği, kuraklık, israf, bilinçsiz kullanım gibi çeşitli sebepler ile su kaynaklarının tükenerek yetersiz hale geleceği öngörülmektedir. Mevcut tatlı su kaynaklarının gelecekte su ihtiyacını karşılamayacağı düşünüldüğünden deniz sularının tuzsuzlaştırılarak alternatif su kaynağı eldesinde kullanılması birçok ülkenin gündemi haline gelmiştir. Ülkeler bu amaçla girişimlerde bulunmuşlar ve deniz suyunun tuzsuzlaştırılmasında kullanılan yöntemleri araştırmaya ve denemeye başlamışlardır.

Deniz suyundan temiz su üretimi için ekonomik ve çevresel etkiler yönünden alternatif olabilecek elektrodializ yönteminin uygunluğu araştırılmıştır. Deniz suyunun tuzsuzlaştırılmasında elektrodializ yöntemi termal yöntemlere düşük emisyonu sahip olması ve ters osmoz yöntemine göre az enerji gerektirmesi (işletme basıncına ihtiyaç olmaması, elektrik akımı yardımı ile), 2 nm' ye kadar tüm çözünmüş katı maddelerin gideriminde etkili olması gibi sebepler ile tercih edilen bir yöntemdir. Bu yöntemde elektrik akımının etkisi ile meydana gelen ayırma işlemi tuz gideriminin temelini oluşturmaktadır. Tuzların katyon ve anyonlardan oluşan bileşikler olduğu dikkate alındığında membran yüzeylerinin anyon ve katyonlar ile modifikasyonunun tuz giderim verimine etki edeceği düşünülmüştür.

Bu çalışmada Karadeniz deniz suyundan tuz giderimi amacıyla laboratuvar ölçekli elektrodializ sistemi kurulmuş olup hem membran modifikasyonunun sistemin performansına etkisi hem de voltaj, akım ve debi parametrelerinin sistem performansı üzerine etkisi incelenmiştir.

Elektrodializ sisteminde yer alan hücre içerisine yerleştirilen poliviniliden florid (PVDF) membranlara, çeşitli kimyasal bileşikler ile yapılan modifikasyon sonucunda katyon ve anyon seçicilik özelliği ile kazandırılmıştır. Katyon seçicilik özelliği, CSA, DBSA, PTSA gibi negatif fonksiyonel gruplar içeren bileşikler ile kazandırılmıştır. PVDF membranlara anyon seçicilik özelliği ise NMP gibi pozitif fonksiyonel gruplar içeren bileşik ile modifikasyon işlemi sonucunda kazandırılmıştır.

PVDF membranların CSA, DBSA, PTSA ve NMP ile modifikasyonu sonucunda membran yüzeyinde oluşması beklenen fonksiyonel grupların varlığı yani yapısal analizleri FT-IR spektrumları aracılığı modifikasyon işleminin etkinliği tespit

edilmiştir. Modifikasyon işlemi sonucunda membran yüzeylerinde oluşan sülfon gruplarından kaynaklı S=O titreşimleri yaklaşık 980 ve 1020 cm^{-1} dalga sayısı aralığında S-PVDF-CSA, S-PVDF-DBSA ve S-PVDF-PTSA örneklerinde görülmüştür. N-metil-2-prolidon kaynaklı N-H bağları ise yaklaşık 1400 cm^{-1} dalga sayısında tespit edilmiştir.

SEM tekniği yani görüntüleme ile modifiye edilmiş membranların yüzey morfolojileri incelenerek modifikasyon işleminin etkinliği araştırılmıştır. Modifiye edilmiş membranlar, modifikasyonsuz PVDF membranların gözenekleri ile karşılaştırıldığında yüzeysel gözenek boyutlarındaki artış açıkça görülmüştür. Gözenek boyutlarındaki en iyi homojenlik S-PVDF-DBSA membranında tespit edilmiştir. Gözenek boyutlarındaki aşırı artış ile iplikli yapıların oluşmasının membranların mukavemetinde azalma etkisi meydana getirmesi beklenmekte olduğu sonucuna varılmıştır.

PVDF membranların, sülfon bileşikleri ve NMP ile modifikasyon sonucunda elde edilen membranların yüzeylerindeki S ve N elementlerinin varlığı SEM-EDS tekniği ile tespit edilerek modifikasyon işleminin etkinliği incelenmiştir.

Sülfonlama işleminin performansı membranın su tutma kapasitesi ile doğrudan ilişkilidir. Modifikasyon işlemi gerçekleştirilmemiş PVDF membranının su tutma kapasitesi ise %14.3'tür. Elde edilen sonuçlara göre, sülfon grupları ile modifiye edilmiş membranlar arasında en yüksek su tutma kapasitesi S-PVDF-CSA katyon seçici membranında görülmüştür.

Membranlar için taşınım sayıları incelendiğinde, modifiye edilmemiş membranların taşınım sayısına en yakın taşınım sayısı S-PVDF-DBSA membranında belirlenmiştir. Modifikasyon işlemi ile birlikte taşınım sayısının azaldığı görülmektedir. Taşınım sayısı membran sistemlerinde kullanılacak enerji tüketimi için önemlidir. Taşınım sayısı ne kadar fazla olursa ihtiyaç duyulan enerji miktarı o kadar azalacaktır. Taşınım sayısının belirlenmesi modifiye edilen S-PVDF-DBSA membranların seçiminin ekonomik olacağı sonucuna ulaşılmıştır.

Membranların seçicilik ve geçirgenlikleri incelendiğinde, modifikasyon işlemi ile birlikte seçici geçirgenliğin azaldığı görülmektedir. Seçici geçirgenliği en yüksek olan katyon seçici membran S-PVDF-CSA olarak belirlenmiştir. En yüksek seçici geçirgenlik NMP-PVDF membranda gözlenmiştir. İyonların membran boyunca iyon akışı ile ilgili olarak diğer tarafa geçirebileceği iyonların sayısının bir ölçütü olan

seçicilik geçirgenlik özelliği, tuz giderme verimi ve elektrik enerjisi tüketime ile doğrudan ilişkilidir.

Membranlarda, iyon iletkenliği membran su tutma kapasitesi ile doğrudan ilgilidir. Membranların modifikasyon işlem sonrasında iyon iletkenliğinin azalmış olduğu gözlenmiştir. Su tutma kapasitesi en az olan NMP-PVDF anyon seçici membranının iyon iletkenliğinin de en az olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu durumun membranlarda tıkanmaya sebep olabileceği düşünülmektedir.

Modifikasyon işlemi sonrasında katyon seçici membranlardan en yüksek iyon değiştirme kapasitesine sahip olan membran S-PVDF-DBSA olarak belirlenmiştir. Yine modifikasyon işlemi sonrasında anyon seçici membran olan NMP-PVDF'nin iyon değiştirme kapasitesinin diğer membranlardan yüksek olduğu grlmştir. İyon değiştirme kapasitesinin yüksek olması membranların üzerinde taşıdığı fonksiyonel grupların fazlalığını ifade etmekte olup tuz giderme verimine olumlu etki yaptığı düşünülmektedir.

Elektrodiyaliz süreçlerinin en önemli işletme şartlarından biri olan sınırlayıcı akım yoğunluğu değeri bütün membran çiftleri için 20 g/l değerinde 30 V voltaja karşılık gelen akım değerleri ise üç membran çifti için de yaklaşık 2A aralığında belirlenmiştir.

Sınırlayıcı akım yoğunluğu çalışmalarında belirlenen 2 A akım değerinin 20 g/l konsantrasyonundaki hazırlanmış NaCl zeltisi için belirlenmiş olması tez çalışmasında kullanılan deniz suyunun giriş tuzluluğunun 23.29 g olması sebebiyle voltajın ve debinin etkisinin incelenmesinde sabit akımın 2 A olarak seçilmesinde etkili olmuştur. Membran çiftlerinin 10 ve 30. dk'dan sonra sınırlayıcı akım değerine ulaştığı grlmştir. 2 A değerinden sonra akımın artırılması ile sistemin veriminin azaldığı grlmştir.

Sistemde herbir membran çifti ile yapılan denemelerde, uygulanan voltaj değerlerinin artması ile birlikte giderim verimi ve giderilen madde miktarında azalmanın olduğu özgül elektriksel enerji tketimeinin azalmış olduğu grlmştir.

Sistemde herbir membran çifti ile yapılan denemelerde, uygulanan akım değerlerinin artması ile birlikte giderim verimi ve giderilen madde miktarında azalmanın olduğu özgül elektriksel enerji tketimeinin artmış olduğu grlmştir.

Sınırlayıcı akım yoğunluğu değeri olan 2 A değerine ulaşılmasından sonra giderim veriminin ve giderilen madde miktarının giderek azaldığı ve özgül enerji tketimeinin ise giderek arttığı sonucuna ulaşılmıştır.

Sistemde herbir membran çifti ile yapılan denemelerde, uygulanan debi değerlerinin artması ile birlikte zamanla giderim verimi ve giderilen madde miktarında azalmanın olduğu özgül elektriksel enerji tüketiminin artmış olduğu görülmüştür.

Çalışma sonucunda, çalışılan üç farklı modifiye membran çiftinden en yüksek gözenek açıklığı, taşınım sayısı ve iyon değiştirme kapasitesine sahip olan S-PVDF-DBSA/NMP-PVDF membran çiftinin kurulan elektrodializ yöntemi için en verimli membran çifti olduğu belirlenmiştir. S-PVDF-DBSA/NMP-PVDF membran çiftini en yüksek su tutma kapasitesi, iyon iletkenliği ve seçici geçirgenliğe sahip olan membran çiftinin oluşturan S-PVDF-CSA/NMP-PVDF membranının takip ettiği görülmüştür.

En yüksek giderim veriminin, giderilen madde miktarının ve en düşük özgül enerji tüketiminin en yüksek gözenek açıklığı, taşınım sayısı ve iyon değiştirme kapasitesine sahip S-PVDF-DBSA/NMP-PVDF membran çiftinde olduğu görülmüştür. Sistem performansının değerlendirilmesi membran modifikasyonu değerlendirme konusunda membranın morfolojisinin, taşınım sayısı ve iyon değiştirme kapasitesinin önemli parametreler olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

S-PVDF-DBSA/NMP-PVDF membran çiftinin en yüksek su tutma kapasitesi, iyon iletkenliği ve seçici geçirgenliğe sahip olduğu görülmüştür. Sistem performansının değerlendirilmesi membran modifikasyonu değerlendirme konusunda membranın su tutma kapasitesinin, iyon iletkenliğinin ve seçici geçirgenliğinin diğer önemli parametreler olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Laboratuvar ölçekli kurulan elektrodializ sisteminin 1 günlük toplam işletim maliyeti toplam 1.92 Türk lirasıdır. Ölçeklendirme (Scale up) çalışması sonucunda 4000 m³/gün kapasiteli bir tesis için uygulanan elektrodializ yönteminde işletim maliyeti 903.12 Türk lirası olarak hesaplanmıştır. Enerji giderlerinin işletme basıncına ihtiyaç duyulan ters osmoz yöntemine göre düşük olduğu görülmüştür.

Tuzlu su kaynakları bakımında zengin olan ülkemizde gün geçtikçe artan tatlı su sıkıntısını aşmak ve giderek artan su ihtiyacını karşılamak için elektrodializ prosesinin uygun olduğu görülmüştür. Bu yöntemle çevreye herhangi bir zarar verilmeden tuz giderimi mümkün olmuş olacaktır.

Deniz suyunun elektrodializ yöntemi ile tuzsuzlaştırılmasını takiben kullanma suyu olarak kullanılabilmesi amacıyla ilave arıtma yöntemleri gerekmektedir. Elektrodializ yönteminin uygulanmasından hemen önce sistemin tıkanarak kesintiye uğramasını engellemek amacıyla ızgaralar ve elekleri teşkil eden ön arıtım gerekmektedir. Izgara ve eleklerden sonra çöktürme tanklarının kullanılması uygun

olacaktır. Ön arıtmadan sonra elektrodializ sistemine giren deniz suyunun tuzu giderilmiş olacak ancak içeriğinde deşarjlardan kaynaklı organik kirleticiler ve metaller vb. diğer kirletici parametreleri içermeye devam edeceği bilinmektedir. Tuz giderimi işleminden sonra kullanım amacına göre suyun analizi gerçekleştirilerek uygun arıtma yöntemlerinin seçilmesi uygun olacaktır. Suyun içerdiği kirleticilere göre uygun arıtma yöntemlerinin eklenmesinin uygun olduğu düşünülmekte ve önerilmektedir.

Sonuç olarak yapılan araştırmalarda voltaj, akım ve debi değişiminin tuzsuzlaştırma verimi üzerine etkili faktörler olduğu belirlenmiştir. Membran modifikasyonunun elektrodializ yönteminin tuz giderim verimine olumlu katkısının olduğu tespit edilmiştir. Bütün bulgulara ek olarak, elektrodializ prosesine etki eden sıcaklık, basınç, membran gözenek boyutu v.b. ek parametrelerin incelenmesi önerilmektedir.

Modifiye edilmiş uygun membran çiftlerinin elektrodializ prosesinde, kullanılarak enerji giderleri düşük, çevre dostu prosesler oluşturularak deniz suyu ve tuzlu su kaynaklarının tuzsuzlaştırılmasında kullanılabilir olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

KAYNAKLAR

- Abdul-Wahab, S. A., vd., (2007). Optimization of multistage flash desalination process by using a two-level factorial design. *Applied Thermal Engineering*. (s. 413–421).
- Akgul, D., vd., (2008). Cost analysis of seawater desalination with reverse osmosis in Turkey. (s. 123–131).
- Ali, M. T., vd., (2011). A comprehensive techno-economical review of indirect solar desalination. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. (s. 4187–4199).
- Anonim, (2015). Membran ayırma yöntemleri. https://yandex.com.tr/gorsel/search?pos=38&from=tabbar&p=1&img_url=https%3A%2F%2Fsalttonseasense.files.wordpress.com%2F2015%2F10%2F2.png&text=thermal%20distillation&rpt=simage (Erişim tarihi: 30.11.2021).
- Anonim, (2020a). İklim değişikliğinin okyanuslara etkisi. <https://www.webtekno.com/iklim-degisikliginin-okyanuslara-etkisini-gosteren-harita-h80931.html>. (Erişim Tarihi 27.08.2021)
- Anonim, (2020b). Türkiye’de kıyı çizgisine sınırı bulunan yerleşim yerleri ve nüfus yoğunluğu. https://www.google.com/search?safe=active&rlz=1C1GCEB_enTR962TR962&q=T%C3%9C%C4%B0K+n%C3%BCfus+verileri&sa=X&ved=2ahUKEwjQ54bovIP1AhVmRPEDHbBxDlcQ1QJ6BAGEAE&cshid=1640590762711305&biw=1920&bih=969&dpr=1 (Erişim Tarihi: 01.09.2021)
- Anonim, (2021a). Global Water Intelligence (GWI). <https://www.globalwaterintel.com> (Erişim tarihi: 28.08.2021)
- Anonim, (2021b). İletkenlik ve tuzluluk. <https://www.rosuaritma.com/iletkenlik-ve-tds-nedir>
- Anonim, (2021c). Dünya ansiklopedik bilgi. http://tr.swewe.net/word_list.htm/?class_88_257&Kimyasal_adı (Erişim tarihi: 03.09.2021)
- Anonim, (2021d). Teknik doküman. <https://www.sigmaaldrich.com/technical-documents/articles/biology/irtable.html> (Erişim tarihi: 01.07.201).
- Arı, P. H., (2009). Türkiye’de İçme Suyu Amaçlı Büyük Kapasiteli Membran Sistemlerinin Maliyet Analizi. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Aslan, M., (2016). Membran Teknolojileri, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.
- Ayala, C. O., vd., (2011). Local model predictive controller in a solar desalination plant collector field. *Renewable Energy*. (s. 3001–3012).
- Aydın F., ve Ardalı, Y. (2012). Deniz Suyu Arıtım Teknolojileri. *Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi Sigma* 30, (s. 156–178).
- Aytaç, E., (2016). Elektrodializ Yöntemi ile Atıksulardan Kurşun, Bakır ve Nikel Gideriminin Araştırılması. Bülent Ecevit Üniversitesi.
- Baker, R. W., (2012). *Membrane Technology and Applications*.
- Baran, M.A., (2021). Sulama Suyu Kalite Kriterleri ve Suların Sınıflandırılması.
- Başaran, Y., (2015). Türkiye’de Deniz Suyundan İçme Suyu Üretiminin Maliyet Değerlendirmesi. (s. 157).
- Bharadwaj, V., vd., (2002). The effect of chain length of polyethylene glycol on properties of castor oil based polyurethane elastomers. *Journal of Macromolecular Science - Pure and Applied Chemistry*. (s. 115-127).
- Bonnelye, V., vd., (2004). Reverse osmosis on open intake seawater: Pre-treatment strategy. (s.191–2009).

- Bremere, I., vd., (2001). How water scarcity will effect the growth in the desalination market in the coming 25 years. (s. 7-15).
- Brewster M.R., vd., (1985). Non-conventional Water Resources I. Economics and Experiences in Developing Countries, Natural Resources Forum at United Nations.
- Brown, E., Colling, A., Park D., Phillips J, Rothery D., W. J. (2004). Seawater:Its Composition, Properties and Behaviour. (s. 55)
- Buros, O.K., (1999). The ABCs of Desalting FMC Corporation, International Desalination Association (IDA).
- Çakmakcı, M., vd., (2013). Su Arıtma Tesislerinin Tasarım Ve İşletme Esasları.
- Can M., vd., (2002). Deniz suyundan tatlı su eldesinin teknik ve ekonomik analizi. Uludağ Üniversitesi Mühendislik - Mimarlık Fakültesi Dergisi.
- Non-conventional water resources uses study in the Mediterranean Final Report. (CEDEX, 2008)
- Çetin, B., (2006). Bakır ve Nikel İyonlarının Hibrit İyon Değişimi - Elektrodializ Süreci ile Giderilmesi. Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Coşkun, K., (2009). Kimyasal ve Elektrokimyasal Yöntemlerle İletken Polimerlerin Sentezi Ve Membran Uygulamaları. Süleyman Demirel Üniversitesi.
- Darton, E. G., ve Buckley, E.,(2001). Thirteen years' experiences treating a seawater RO plant. (s. 55–62).
- Davis, T.A., vd., (1997). A First Course in Ion Permeable Membranes. The Electrochemical Consultancy. Romsey.
- Day, B. A., ve Nightingale, H. I., (1984). Relationships between ground- water silica, total dissolved solids, and specific electrical conductivity. (s. 576)
- Dedebaş, T., (2009). Peyniraltı Suyundan Ultrafiltrasyon Yöntemi ile α - Laktoalbumin Eldesi. Süleyman Demirel Üniversitesi.
- Delyannis, E., ve Belessiotis, V., (2010).Desalination: The recent development path. (s. 206–213)
- Deveci, F., (2007). Elektrodializ Yöntemi İle SO₄²⁻ ve BO₃⁻ 'ün Endüstriyel Atık Sulardan Gideriminin İncelenmesi. Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü.
- Doornbusch, G., vd., (2021). Multistage electrodialysis for desalination of natural seawater. (s. 505).
- Durhasan, D., (2006). Baraj Göllerinden Su Temininde Derinliğin Su Kalitesine Etkileri. Çukurova Üniversitesi.
- El-Desseuky, H.T., (2002). Fundamentals of Salt Water Desalination.
- Ergün, E., (2008). Elektrodializ Yöntemi ile Sulardan Florürün Giderilmesi, Selçuk Üniversitesi.
- Eriksson, P., (1988). Nanofiltration extends the range of membrane filtration. Environmental Progress, (s. 58–62).
- Farrokhzad, H., vd., (2015). Surface modification of composite ion exchange membranes by polyaniline. Reactive and Functional Polymers. (s. 161-166)
- Fixler O. (2011). Deputy Director General of Israel Water Authority. Challenges and Solutions for the Water Sector in Israel and the Region Sunumu.
- Galama, A., vd., (2014). Seawater predesalination with electrodialysis. (s. 342).

- Gherasim, C. V., vd., (2014). Investigation of batch electrodialysis process for removal of lead ions from aqueous solutions. *Chemical Engineering Journal*. (s. 324-334).
- Greenlee, L., vd., (2009). Reverse osmosis desalination: Water sources, technology, and today's challenges. *Water Research*. (s. 2317-2348).
- Güvenç, A., ve Karabacakoğlu, B., (2005). Use of electrodialysis to remove silver ions from model solutions and wastewater. (s. 7-17).
- Hacıoğlu, B., (2006). Elektrodializ Yöntemi ile Model Çözeltilerden Sitrik Asit Geri Kazanımı. Osmangazi Üniversitesi.
- Hem, J.D., (1985). Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water: U.S. Geological Survey Water. U.S. Geological Survey.
- Janisch, E., (1994). Drechsler Gate, Solare Meerwasserentsalzung, Deutschland.
- Kabay, N., vd., (2003). Effect of feed characteristics on the separation performances of monovalent and divalent salts by electrodialysis. (s. 95-100).
- Kabay, N., (2008). Separation of fluoride from aqueous solution by electrodialysis: Effect of process parameters and other ionic species. *Journal of Hazardous Materials*. (s. 107-113).
- Káňavová, N., vd., (2014). Determination of limiting current density for different electrodialysis modules. *Chemical Papers*. (s. 324-329).
- Karabacakoğlu, B., (2001). Seyreltik Çözeltilerden Gümüş İyonlarının Uzaklaştırılmasında Elektrodializin Uygulanması. Doktora Tezi. Osmangazi Üniversitesi.
- Karakaş, İ. H., (2008). Bor Endüstrisi Atıksularının Nanofiltrasyonla Arıtılabilirliğinin İncelenmesi. Atatürk Üniversitesi.
- Kawate, H., vd., (1983). Energy Savings in Salt Manufacture by Ion Exchange Membrane Electrodialysis. Sixth International Symposium on Salt. (s. 471-479).
- Khajavi, S., vd., (2010). Production of ultra pure water by desalination of seawater using a hydroxy sodalite membrane. *Journal of Membrane Science*. (s. 52-57).
- Khan, M. I., vd., (2016). Preparation of BPPO-based anion exchange membranes for desalination Via electrodialysis.
- Kislev, Y., (2011). TAUB CENTER for Social Policy Studies in Israel, Policy Programme Paper. The Water Economy of Israel.
- Lacoursière, S., (1994). Water Purification by Membrane Distillation. McGill Univerity, Montreal. Canada.
- Lattemann, S., vd., (2010). Global Desalination Situation, Sustainability. *Science and Engineering*. (s. 7-38).
- Lee, H. J., vd., (2002). Designing of an electrodialysis desalination plant. (s. 267-286).
- Leea, J., vd., (2010). Fate of *Bacillus* sp. and *Pseudomonas* sp. Isolated from Seawater During Chlorination and Microfiltration as Pretreatments of a Desalination Plant. *Journal of Membrane Science*. (s. 208-216).
- Liu, J., vd., (2016). Concentrating brine from seawater desalination process by nanofiltration-electrodialysis integrated membrane technology. (s. 53-61).
- Marder, L., vd., (2004). Cadmium electroplating wastewater treatment using a laboratory-scale electrodialysis system. *Separation and Purification Technology*. (s. 247-255).
- Miller, J. E., (2003). Review of Water Resources and Desalination Technologies, and Report. Materials Chemistry Department, Sandia National Laboratories.

- Miller, S. J., vd., (2005). Conversion of waste plastic to lubricating base oil. *Energy and Fuels*.
- Mohammadi, T., vd., (2004). Effect of operating parameters on Pb²⁺ separation from wastewater using electrodialysis. (s. 379-385).
- Mulder, M., (1997). *Basic Principles of Membrane Technology*. Kluwer Academic Publishers. (s. 14-16).
- Ogumi, Z., vd., (1992). Diffusion of aniline through perfluorosulfonate ion exchange membrane. *Journal of Membrane Science*. (s. 205–212).
- Ouda, O., vd., (2013). Review of Saudi Arabia Municipal Water Tariff. *World Environment*. (s. 66-70).
- Özyurt, N.N., vd., (2001). Processes affecting the physical and chemical properties of Akkuyu Bay sea water (Mersin - Turkey). In *Bulletin of Earth Sciences Application and Research Centre of Hacettepe University*.
- Pankratz, T., (2008). MEDRC workshop on Membrane Technology Used in Desalination and Wastewater Treatment for Reuse.
- Peng, G., vd., (2021). A two-step strategy for the preparation of anion-exchange membranes based on poly(vinylidene fluoride-co-hexafluoropropylene) for electrodialysis desalination.
- Rayan, A., M., ve Khaled, I., (2003). Seawater desalination by reverse osmosis (case study).
- Reul, N., vd., (2020). Sea surface salinity estimates from spaceborne L-band radiometers: An overview of the first decade of observation (s. 2010–2019). *Remote Sensing of Environment*.
- Rohman, F. S., vd., (2010). Modeling of batch electrodialysis for hydrochloric acid recovery. *Chemical Engineering Journal*. (s. 466-479). 162(2), 466–479.
- Sadrzadeh, M., vd., (2007). Mathematical modeling of desalination by electrodialysis. (s. 538-546).
- Sadrzadeh, M., ve Mohammadi, T., (2008). Sea water desalination using electrodialysis. (s. 440-447).
- Sadrzadeh, M., vd., (2007). Separation of monovalent, divalent and trivalent ions from wastewater at various operating conditions using electrodialysis. (s. 53–61).
- Sampathkumar, K., vd., (2010). Active solar distillation-A detailed review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. (s.1503–1526).
- Scott, K., (1996). Overview of the application of synthetic membrane processes. *Industrial Membrane Separation Technology. Modern at Large: Cultural Dimensions of Globalization*. (s. 6276).
- Sharqawy, M. H., vd., (2011). On exergy calculations of seawater with applications in desalination systems. *International Journal of Thermal Sciences*. (s.187–196).
- Shatat, M. I. M., ve Mahkamov, K., (2010). Determination of rational design parameters of a multi-stage solar water desalination still using transient mathematical modelling. *Renewable Energy*. (s. 52–61).
- Shon, H. K., vd., (2008). Comparison of physico-chemical pretreatment methods to seawater reverse osmosis: Detailed analyses of molecular weight distribution of organic matter in initial stage. *Journal of Membrane Science*. (s. 151-158).
- Su Kirliliği ve Kontrol Yönetmeliği. (SKKY, 2004).
- Stefopoulou, A., vd., (2008). Institutional and policy framework analysis in relation to the application of autonomous desalination systems - Greece. (s. 455-467).

- Strathman, H., (1991). Electrodialysis in Membrane Separation Systems.
- Strathmann, H., (2010). Electrodialysis, a mature technology with a multitude of new applications. (s. 268-288).
- Tan, S.L.A., ve Belanger, D., (2003). Characterization of sulfonated cation-exchange membranes modified with polyaniline. Abstracts of Papers of the American Chemical Society. (s. 225).
- Tchobanoglous, G., vd., (2004). Wastewater Engineering: Treatment and Reuse In Chemical engineering.
- Tezakıl, F., (2008). Sertlik Gideriminde Elektrodializ ve Elektrodeiyonizasyon Yöntemlerinin Kullanılması. Osmangazi Üniversitesi.
- Topacık, M. S., (2006). Çöp Sızıntı Suyunun Nanofiltrasyon İle Arıtılması. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Torunoğlu, O., ve Orhon, P., (2010). Türkiye’de kurulabilecek tuz gideren membran teknolojisi sistemleri için bilimsel esaslı tasarıma dayalı maliyet analizlerinin yapılması. İTÜ Dergisi, (s. 97–110).
- Udono, K., (2005). Modelling Seawater Desalination with Waste Incineration Energy Using Dynamic Systems.
- Valero., F., vd., (2020). Electrodialysis Technology. Theory and Applications In Mean Field Simulation for Monte Carlo Integration.
- Vishwanathappa, M., (2005). Desalination of Seawater Using a High-Efficiency Jet Ejector, Master of Science. Texas A&M University.
- Vogel, C., ve Meier-Haack, J., (2014). Preparation of ion-exchange materials and membranes. (s. 156-174).
- Wang, T. T., ve Yang, W. C., (2001). Factors affecting the current and the voltage efficiencies of the synthesis of quaternary ammonium hydroxides by electrolysis-electrodialysis. Chemical Engineering Journal. (s. 161-169).
- Wilf, M., vd., (2011). The guidebook to membrane desalination technology : reverse osmosis, nanofiltration and hybrid systems : process, design, applications and economics.
- Wilf, M., ve Bartels, C., (2005). Optimization of seawater RO systems design. (s. 1-12).
- Williams, M. E., (2003). A Review of Reverse Osmosis Theory,. In Inc., Harriman, TN.
- Xu, H., vd., (2020). Performance study on a small-scale photovoltaic electrodialysis system for desalination. Renewable Energy. (s. 1008-1013).
- Xu, T., (2005). Ion exchange membranes. State of their development and perspective. Journal of Membrane Science. (s. 1-29).
- Yadav, V., vd., (2021). Long side-chain type partially cross-linked poly (vinylidene fluoride-co-hexafluoropropylene) anion exchange membranes for desalination via electrodialysis. Journal of Membrane Science. (s. 622).
- Yan-Jun, Z., vd., (2000). Fouling and Cleaning of Membrane - A Literature Review. Journal of Environmental Sciences. (s. 241-251).
- Yang, H. L., vd., (2009). Application of nanosilver surface modification to RO membrane and spacer for mitigating biofouling in seawater desalination. Water Research. (s. 3777–3786).
- Ye, Y., vd., (2010). Effects of operating conditions on submerged hollow fibre membrane systems used as pre-treatment for seawater reverse osmosis. Journal of Membrane Science. (s. 78–88).

- Yu, Y., vd., (2010). Effect of solution chemistry on organic fouling of reverse osmosis membranes in seawater desalination. *Journal of Membrane Science*. (s. 205-213).
- Zengin, İ. H., (2014). Yüzeyi Kaplanmış Ultrafiltrasyon Membranları İle İçme Sularındaki Organik Kirleticiler in Arıtılabilirliği. Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Zhang, Y., vd., (2015). Synthesis and characterisation of superhydrophilic conductive heterogeneous PANI/PVDF anion-exchange membranes.



ÖZ GEÇMİŞ

Sinem KAYA, Samsun Yabancı Dil Ağırlıklı Lisesi’ni bitirdikten sonra Ondokuz Mayıs Üniversitesi Çevre Mühendisliği Fakültesi’nden 2011 yılında mezun oldu. 2015 yılında OMÜ LEE Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans programını bitirdi. Mezuniyetinden bu yana Çevre Yüksek Mühendisi olarak görev yapan Sinem KAYA, iyi derecede İngilizce bilmektedir. Temel ilgi alanları, Doğa sporları, yürüyüş, resim sanatı. 03/12/2021

İletişim Bilgileri

Öğrenci no : 14210514

ORCID ID : 0000-0002-5468-9662

Yayınlar:

- 1.
- 2.

Kazanılan Ödüller, Teşvikler ve Burslar

- 1.
- 2.