

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

**EKMEK ÜRETİMİNDE KULLANILAN HAM SUYUN
ARITIM PROSESLERİNİN VE SU KALİTESİNİN
İNCELENMESİ**

Selin ÖZGÖZ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Semih ÖTLEŞ

İkinci Danışmanı : Prof. Dr. Nalan KABAY (Kimya Mühendisliği Bölümü)

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Bilim Dalı Kodu: 614.01.00

Sunuş Tarihi: 17.09.2014

Bornova-İZMİR

2014

Sayın **Selin ÖZGÖZ** tarafından **Yüksek Lisans** tezi olarak sunulan “**Ekmek Üretiminde Kullanılan Ham Suyun Arıtım Proseslerinin ve Su Kalitesinin İncelenmesi**” başlıklı bu çalışma E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi’nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve **17.09.2014** tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/~~oyçokluğu~~ ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

Jüri Başkanı :Prof. Dr. Semih ÖTLEŞ

Raportör Üye :Prof. Dr. Nalan KABAY

Üye :Prof. Dr. Özdemir EGEMEN

Üye :Doç. Dr. Müşerref ARDA

Üye :Yrd. Doç. Dr. Özgül ÖZDESTAN

İmza

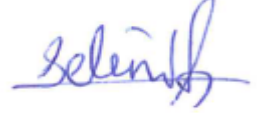


EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “**Ekmek Üretiminde Kullanılan Ham Suyun Arıtım Proseslerinin Ve Su Kalitesinin İncelenmesi**” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

17/09/2014



Selin Özgöz

ÖZET**EKMEK ÜRETİMİNDE KULLANILAN HAM SUYUN ARITIM
PROSESLERİNİN VE SU KALİTESİNİN İNCELENMESİ****ÖZGÖZ, Selin**

Yüksek Lisans Tezi, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Semih ÖTLEŞ

İkinci Tez Danışmanı: Prof. Dr. Nalan KABAY

17 Eylül 2014, 122 sayfa

Bu çalışma, E.Ü. Kimya Mühendisliği Bölümü'nde bulunan laboratuvar ölçekli ters ozmos membran test sistemi (SEPA CF II GE-OSMONICS) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada; İzmir' de faaliyet gösteren bir ekmek fabrikasından alınan ham su ve ara kademe suyundan, ekmek üretiminde kullanılacak kalitede su üretimi için nanofiltrasyon ve ters ozmos gibi membran arıtma yöntemlerinin uygulanabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla, laboratuvar çalışmalarında farklı tipte membranlar ile aynı çalışma koşulları altında çalışılmıştır. Kullanılan membran tipinin, ürün su kalitesi üzerine etkisi incelenmiş ve membran performansları karşılaştırılmıştır. Tez çalışmasında ayrıca, İzmir' de faaliyet gösteren ekmek fabrikasından alınan ters ozmos çıkışı atık suya (konsantre) elektrodializ (ED) işleminin uygulanması ile ters ozmos çıkışı atık sudan, suyun geri kazanılıp işletme içinde yeniden kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Çalışma sonuçları incelendiğinde, tüm membranlardan elde edilen ürün suyu kimyasal kalite değerleri, ekmek üretimine uygun kalitede ve 'İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmelik' hükümlerindeki değerlere uygun niteliktedir.

İzmir' de faaliyet gösteren ekmek fabrikasından alınan ters ozmos çıkışı atık suya elektrodializ işleminin uygulanması ile suyun iletkenliği ve sertliği yüksek oranda azaltılarak konsantreden suyun geri kazanılması sağlanmıştır.

Anahtar sözcükler: Ekmek üretimi, elektrodializ, membran, nanofiltrasyon, su, su kalitesi, ters ozmos

ABSTRACT**INVESTIGATION OF THE WATER TREATMENT PROCESSES
AND THE QUALITY OF RAW WATER USED IN BREAD
PRODUCTION****OZGOZ, Selin**

MSC Thesis, Department of Food Engineering

Supervisor : Prof. Dr. Semih OTLES

Co-Supervisor : Prof. Dr. Nalan KABAY

September 17, 2014, 122 pages

This study was performed with laboratory scale reverse osmosis membrane test system (GE-Osmonics SEPA CF II) at Chemical Engineering Department of Ege University. In this study, the applicability of treatment methods such as nanofiltration and reverse osmosis was investigated for water production to be used in the quality of bread production from raw water and intermediate stage water is taking from bread factory operating in Izmir. For this purpose, it was studied with different types of membranes under the same working conditions in the laboratory studies. It was investigated the effect of using membrane type on product water quality and membrane performances were compared. The quality of product water values were compared with the values of ‘Regulation on Water Intended for Human Consumption’. It was investigated the application of electrodialysis process to waste water in the output of reverse osmosis is taking from bread factory operating in Izmir for the re-use of water in the bread factory. For this purpose, it was intended that water recovery from concentrate with electrodialysis process.

Results of studies showed that, obtained product water chemical quality values from all membrane are suitable the values of ‘Regulation on Water Intended for Human Consumption’. Water recovery from the concentrate stream of RO process of bread factory was carried out by reducing water conductivity and hardness highly with the application of electrodialysis process.

Keywords: Bread production, electrodialysis, membrane, nanofiltration, reverse osmosis, water, water quality

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, finansal olarak Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi (EU-2012-MUH-081) tarafından desteklenmiştir.

Yüksek lisans tezimin her aşamasında bilgilerini ve yardımlarını esirgemeyen değerli danışman hocalarım Prof. Dr. Semih ÖTLEŞ ve Prof. Dr. Nalan KABAY'a, çalışmalarımın başından beri bana yardımcı olan Prof. Dr. Mithat YÜKSEL'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalarım süresince yardımları ile bana destek veren Prof. Dr. Ümran YÜKSEL, Dr. Özgür ARAR ve Y. Doç. Dr. İdil YILMAZ İPEK'e çok teşekkür ederim. Çalışmalarım boyunca değerli yardımları ve destekleri için Süleyman ATAKUL'a çok teşekkür ederim. Tezimi okuyan jüri üyeleri Prof. Dr. Özdemir EGEMEN, Doç. Dr. Müşerref ARDA, Y. Doç. Dr. Özgül ÖZDESTAN'a çok teşekkür ederim.

Şili çalışmalarımın gerçekleştirilmesine katkıda bulunan CHILTURPOL2 projesine ve Şili'deki çalışmalarım süresince yardımlarını benden esirgemeyen değerli hocalarım Prof. Dr. Bernabe Luis Rivas Quiroz ve Dr. Julio Antonio Sanchez' e çok teşekkür ederim.

AAS analizlerinde yardımcı olan Mehmet AKÇAY'a ve TOK analizlerinde yardımcı olan Gürsel SERİN'e teşekkür ederim. Çalışmalarımı yaptığım Kimya Mühendisliği Bölümü Araştırma laboratuvarındaki desteklerinden dolayı laboratuvar arkadaşlarım Gökhan SERT, Cüneyt KAYA, Samuel BUNANİ, Yeşim SOYOĞLU, Esra ALTIOK, Seyhan SOLAK, Arash ARIANFAR, Eren YÖRÜKOĞLU ve Gülşah ÖZKULA'ya çok teşekkür ederim.

Yüksek lisans çalışmasına başlamamda en büyük desteği sağlayan, çalışmalarımı bitirmemde yardımcı olan ve tüm hayatımda bana gösterdiği ilgi, sevgi, hoşgörü ve yardımlarından dolayı Ayten ACARER'e şükranlarımı sunarım.

Tüm hayatım boyunca maddi manevi destekleri ile bana güç veren, sabır, ilgi, sevgi ve yardımlarını benden esirgemeyen canım ailem Seher ÖZGÖZ, Kerim ÖZGÖZ ve Süleyman ÖZGÖZ'e çok teşekkür ederim. Tüm hayatım boyunca manevi desteklerini hep yanımda hissettiğim Fatma KUYUCU ve rahmetli anneannem Cevriye BEYLİ'ye şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER**Sayfa**

ÖZET	vii
ABSTRACT	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xviii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xxvii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xxix
1. GİRİŞ	1
1.1. Ekmek Üretimi	3
1.1.1. Ekmeğin besin değeri	4
1.1.2. Ekmeğin sağlık yönünden önemi	6
1.2. Ekmeğin Temel Bileşenleri	6
1.3. Ekmek Üretiminde Kullanılan Ham Suyun Arıtım Prosesleri	9
1.4. Membran Prosesler ile Su Arıtımı	12
1.4.1. Gıda endüstrisinde membran işlemleri	15
1.4.2. Mikrofiltrasyon (MF)	17
1.4.3. Ultrafiltrasyon (UF)	18
1.4.4. Nanofiltrasyon (NF)	18

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
1.4.5. Ters ozmos (RO)	19
1.5. ED ile Konsantre Bileşen'in Arıtımı	31
1.5.1. ED yönteminde kullanılan iyon değiştirici membranlar	32
1.5.2. Limit akımın bulunması	34
1.6. Çalışmanın Amacı	35
2. MATERYAL ve METOD	36
2.1. Ham Su ve Ara Kademe Suyun Özellikleri	36
2.2. Membranlar	36
2.2.1. HL-NF ve DL-NF membranları	37
2.2.2. CK-RO membranı	37
2.2.3. BW30-RO membranı	38
2.3. Kimyasallar	39
2.4. Çapraz Akışlı Membran Test Sistemi	40
2.4.1. Düz tabaka membran test ünitesi	42
2.4.2. Hidrolik el pompası	44
2.4.3. Besleme tankı	46

İÇİNDEKİLER (devam)**Sayfa**

2.4.4. Yüksek basınç pompası	46
2.4.5. Kontrol paneli	47
2.5. Ölçüm Ekipmanları	47
2.5.1. pH metre	47
2.5.2. İletkenlik ölçer	48
2.5.3. Atomik absorpsiyon spektrofotometresi	48
2.5.4. Spektrokuant nova 60 test kiti	49
2.5.5. Bulanıklık ölçer	50
2.5.6. İyon kromatografı (IC) ekipmanı	50
2.5.7. TOK cihazı	51
2.5.8. Spektrofotometre	51
2.6. Analitik Yöntemler	52
2.6.1. AAS analizi	52
2.6.2. IC analizi	52
2.6.3. Azometin-H yöntemi ile bor analizi	54
2.7. Ekmek Fabrikası Su Arıtım Sistemi	55

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
2.7.1. Multimedya (kum) filtre	56
2.7.2. Aktif karbon filtresi	56
2.7.3. Kartuş filtre	57
2.7.4. Ters ozmos (RO) sistemi	57
3. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA	61
3.1. Ham Suyun ve Ara Kademe Suyun Arıtımında Membran Tipinin Etkisinin İncelenmesi	61
3.1.1. RO membranları ile yapılan testler	61
3.1.2. NF membranları ile yapılan testler	89
3.2. Ham Suyun Ekmek Fabrikasındaki RO Sistemi ile Arıtılması Sonucu Elde Edilen Ürün Suyu Kalitesi	107
3.3. Ekmek Üretiminde Kullanılan Ham Suyun Ters Ozmos Konsantre Bileşeninden Elektrodializ (ED) ile Su Eldesi	108
3.3.1. Limit akım ölçümü	108
3.3.2. ED ile RO konsantresinin desalinasyonu	109
3.3.3. Özgül güç tüketimi (SPC)	112
4. SONUÇ	114
KAYNAKLAR DİZİNİ	115

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

ÖZGEÇMİŞ 121

EKLER

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1 Ekmek üretim akış şeması	4
1.2 İzmir’ de faaliyet gösteren ekmek fabrikasındaki ham su arıtım sistemi akış şeması	11
1.3 Başlıca membran tipleri	13
1.4 (a) Dead-end filtrasyon, (b) Çapraz akış filtrasyon	14
1.5 RO işleminin şematiği	22
1.6 İnce film kompozit RO membranında tabakaların şematik gösterimi	24
1.7 Bir plaka ve çerçeve modülünün şematiği	25
1.8 Spiral sarım modülünün şeması	26
1.9 Oyuk fiber RO membran modülünün basitleştirilmiş enine kesiti	27
1.10 Tekli tübüler membran	28
1.11 Konsantrasyon polarizasyonu	29
1.12 Kirlenme mekanizmaları (a) tamamen tıkanma, (b) standart tıkanma, (c) orta düzeyde tıkanma, (d) kek filtrasyonu	30
1.13 ED akış şeması	32
1.14 Katyon değiştirici membranın yapısı	33
1.15 Limit akım ölçümünün şematik olarak gösterilişi	34

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Laboratuvar ölçekli çapraz akışlı düz tabaka membran test ünitesi.	41
2.2 Hücre alt gövdesi a) o-halkalar ve işaret direği, b) membran, c) besleme ayırıcısı.	42
2.3 Konsantre vanası ve konsantre manometresi.....	43
2.4 Hücre üst gövdesi ve süzüntü taşıyıcısı.	43
2.5 Hücre tutucu.....	44
2.6 Hücre tutucu ve hidrolik el pompası.....	44
2.7 Besleme tankı.....	46
2.8 Yüksek basınç pompası.	47
2.9 Kontrol paneli ve frekans ayarlama sistemi.....	47
2.10 Taşınabilir dijital pH metre (WTW pH 315i/SET).....	48
2.11 Taşınabilir Mettler Toledo iletkenlik ölçer.	48
2.12 Varian 10 plus atomik absorpsiyon spektrofotometresi.	49
2.13 Kolorimetre spektrokuant nova 60 test kiti.	49
2.14 Termoreaktör spektrokuant TR 320.....	50
2.15 Mikro TPI alanlı taşınabilir bulanıklık ölçer cihazı.....	50

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.16 Shimadzu LC-10 Ai model iyon kromatografi cihazı.....	51
2.17 TOK cihazı (Shimadzu TOC-VCPH Model).....	51
2.18 JASCO V-530 UV/VIS model spektrofotometre.....	52
2.19 Klorür iyonuna ait iyon kromatografisi kalibrasyon eğrisi.	53
2.20 Sülfat iyonuna ait iyon kromatografisi kalibrasyon eğrisi.	54
2.21 Bor için kalibrasyon eğrisi.	55
2.22 Ekmek fabrikasındaki RO su arıtma sistemine ait akım şeması.	56
2.23 Kum filtre, aktif karbon filtre ve kartuş filtre sistemleri.	57
2.24 RO membran sistemi.....	59
2.25 Demineralize su depolama tankları.	59
2.26 Üretim hattı suyu, kazan hattı suyu ve besleme hattı suyu boru sistemleri. ..	60
3.1 Uygulanan farklı basınçlarda CK-RO membranının süzüntü akısı değerleri. .	62
3.2 Ham sudan CK-RO membranı ile zamana karşı süzüntü akısı değerleri.	64
3.3 Ham sudan CK-RO membranı ile zamana karşı iletkenlik giderimi.	64
3.4 Ham sudan CK-RO membranı ile zamana karşı toplam çözünen katı giderimi	65

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.5 Ham sudan CK-RO membranı ile zamana karşı tuzluluk giderimi.	65
3.6 Ham sudan CK-RO membranı ile zamana karşı renk giderimi.	66
3.7 Ham sudan CK-RO membranı ile zamana karşı KOİ giderimi.	66
3.8 Ham sudan CK-RO membranı ile zamana karşı TOK giderimi.	67
3.9 Ham sudan CK-RO membranı ile zamana karşı silisyum giderimi.	67
3.10 Ham sudan CK-RO membranı ile zamana karşı bulanıklık giderimi.	68
3.11 Ham sudan CK-RO membranı ile zamana karşı fosfat-P giderimi.	68
3.12 Ham sudan CK-RO membranı ile zamana karşı nitrat-N giderimi.	69
3.13 Ham sudan CK-RO membranı ile zamana karşı nitrit-N giderimi.	69
3.14 Ham sudan CK-RO membranı ile zamana karşı amonyum-N giderimi.	70
3.15 Ham sudan CK-RO membranı ile zamana karşı bikarbonat giderimi.	70
3.16 Ham sudan CK-RO membranı ile zamana karşı sülfat giderimi.	71
3.17 Ham sudan CK-RO membranı ile zamana karşı klorür giderimi.	71
3.18 Ham sudan CK-RO membranı ile zamana karşı Na ⁺ giderimi.	72
3.19 Ham sudan CK-RO membranı ile zamana karşı K ⁺ giderimi.	72
3.20 Ham sudan CK-RO membranı ile zamana karşı Ca ²⁺ giderimi.	73

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.21 Ham sudan CK-RO membranı ile zamana karşı Mg^{2+} giderimi.	73
3.22 Ham sudan CK-RO membranı ile zamana karşı bor giderimi.	74
3.23 Uygulanan farklı basınçlarda BW30-RO membranının süzöntü akısı değerleri	76
3.24 Ara kademe su için BW30-RO membranı ile elde edilen zamana karşı süzöntü akısı değerleri.	77
3.25 Ara kademe su için BW30-RO membranı ile elde edilen zamana karşı iletkenlik giderimi.	77
3.26 Ara kademe su için BW30-RO membranı ile elde edilen zamana karşı TÇK giderimi.	78
3.27 Ara kademe su için BW30-RO membranı ile elde edilen zamana karşı tuzluluk giderimi.	79
3.28 Ara kademe su için BW30-RO membranı ile elde edilen zamana karşı renk giderimi.	79
3.29 Ara kademe su için BW30-RO membranı ile elde edilen zamana karşı KOİ giderimi.	80
3.30 Ara kademe su için BW30-RO membranı ile elde edilen zamana karşı TOK giderimi.	80
3.31 Ara kademe su için BW30-RO membranı ile elde edilen zamana karşı silisyum giderimi.....	81

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.32 Ara kademe su için BW30-RO membranı ile elde edilen zamana karşı bulanıklık giderimi.....	82
3.33 Ara kademe su için BW30-RO membranı ile elde edilen zamana karşı fosfat-P giderimi.....	82
3.34 Ara kademe su için BW30 membranı ile elde edilen zamana karşı nitrat-N giderimi.....	83
3.35 Ara kademe su için BW30-RO membranı ile elde edilen zamana karşı nitrit-N giderimi.....	83
3.36 Ara kademe su için BW30-RO membranı ile elde edilen zamana karşı amonyum-N giderimi.....	84
3.37 Ara kademe su için BW30-RO membranı ile elde edilen zamana karşı HCO_3^- giderimi.....	84
3.38 Ara kademe su için BW30-RO membranı ile elde edilen zamana karşı Cl^- giderimi.....	85
3.39 Ara kademe su için BW30-RO membranı ile elde edilen zamana karşı SO_4^{2-} giderimi.....	85
3.40 Ara kademe su için BW30-RO membranı ile elde edilen zamana karşı Na^+ giderimi.....	86
3.41 Ara kademe su için BW30-RO membranı ile elde edilen zamana karşı potasyum iyonu giderimi.	87

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.42 Ara kademe su için BW30-RO membranı ile elde edilen zamana karşı Ca^{2+} giderimi.	87
3.43 Ara kademe su için BW30-RO membranı ile elde edilen zamana karşı Mg^{2+} giderimi.	88
3.44 Ara kademe su için BW30-RO membranı ile elde edilen zamana karşı bor giderimi.	88
3.45 Uygulanan farklı basınçlarda HL-NF membranının süzüntü akısı değerleri.	91
3.46 Uygulanan farklı basınçlarda DL-NF membranının süzüntü akısı değerleri.	91
3.47 Ham su için NF membranları ile elde edilen zamana karşı süzüntü akısı değerleri.	92
3.48 Ham su için NF membranları ile elde edilen zamana karşı iletkenlik giderimi.	92
3.49 Ham su için NF membranları ile elde edilen zamana karşı TÇK giderimi.	93
3.50 Ham su için NF membranları ile elde edilen zamana karşı tuzluluk giderimi.	94
3.51 Ham su için NF membranları ile elde edilen zamana karşı renk giderimi.	94
3.52 Ham su için NF membranları ile elde edilen zamana karşı KOİ giderimi.	95
3.53 Ham su için NF membranları ile elde edilen zamana karşı TOK giderimi.	96

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.54 Ham su için NF membranları ile elde edilen zamana karşı silisyum giderimi.	96
3.55 Ham su için NF membranları ile elde edilen zamana karşı bulanıklık giderimi.....	97
3.56 Ham su için NF membranları ile elde edilen zamana karşı fosfat-P giderimi.	98
3.57 Ham su için NF membranları ile elde edilen zamana karşı nitrat-N giderimi.	98
3.58 Ham su için NF membranları ile elde edilen zamana karşı nitrit-N giderimi.	99
3.59 Ham su için NF membranları ile elde edilen zamana karşı amonyum-N giderimi.....	100
3.60 Ham su için NF membranları ile elde edilen zamana karşı HCO_3^- giderimi.	100
3.61 Ham su için NF membranları ile elde edilen zamana karşı SO_4^{2-} giderimi.	101
3.62 Ham su için NF membranları ile elde edilen zamana karşı Cl^- giderimi.	102
3.63 Ham su için NF membranları ile elde edilen zamana karşı Na^+ giderimi. ..	102
3.64 Ham su için NF membranları ile elde edilen zamana karşı K^+ giderimi.	103
3.65 Ham su için NF membranları ile elde edilen zamana karşı Ca^{2+} giderimi. .	104

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.66 Ham su için NF membranları ile elde edilen zamana karşı Mg^{2+} giderimi.	104
3.67 Ham su için NF membranları ile elde edilen zamana karşı bor giderimi. ...	105
3.68 Limit akım yoğunluğunun hesaplanması.	109
3.69 ED çalışmasında zamana karşı değişen değerler.	110
3.70 ED tekrar çalışmasında zamana karşı değişen değerler.	110
3.71 RO konsantre bileşeninden ED ile zamana karşı Na^{+} giderimi.	111
3.72 RO konsantre bileşeninden ED ile zamana karşı K^{+} giderimi.	111
3.73 RO konsantre bileşeninden ED ile zamana karşı Ca^{2+} giderimi.	112
3.74 RO konsantre bileşeninden ED ile zamana karşı Mg^{2+} giderimi.	112

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
1.1 Ekmek ve ekmek çeşitlerinin kimyasal özellikleri	3
1.2 Ekmek ve ekmek çeşitlerinin besin değeri	5
1.3 Membran proseslerinin genel özellikleri	15
1.4 Membran işlemleri	16
1.5 NF membranlarının giderim performansları	19
1.6 Membran modül konfigürasyonları	24
1.7 RO arıtımı için tipik performans değerleri	31
2.1 Ekmek fabrikasından alınan ham su, ara kademe suyu ve RO ile arıtılan suyun özellikleri.	36
2.2 Düz tabaka NF membranlarının özellikleri	38
2.3 Düz tabaka CK RO membranının özellikleri	38
2.4 Düz tabaka BW30-RO membranının özellikleri	39
2.5 Kitlerin ölçüm aralığı.....	40
2.6 Membran test ünitesi çalışma parametreleri.	45
2.7 Test ünitesinin malzemeleri.	45
2.8 Düz tabaka membran test ünitesi bölümlerinin boyutları ve ağırlıkları.	45

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.9 Üst sıcaklık limitleri.....	46
3.1 CK -RO membranı için deneysel veri ve hesaplanan değerler.	61
3.2 Volumetrik akıların ve membran geçirgenliğinin hesaplanması.	63
3.3 TS 266 standartları ile RO membranlarının besleme/süzüntü suyu özelliklerinin karşılaştırılması.	75
3.4 BW30-RO membranı için deneysel veri ve hesaplanan değerler.	76
3.5 TS 266 standartları ile BW30-RO membranının besleme/süzüntü suyu özelliklerinin karşılaştırılması.	89
3.6 HL-NF membranı için deneysel veri ve hesaplanan değerler.	90
3.7 DL-NF membranı için deneysel veri ve hesaplanan değerler.	90
3.8 TS 266 standartları ile HL-NF membranının besleme/süzüntü suyu özelliklerinin karşılaştırılması.	106
3.9 TS 266 standartları ile DL-NF membranının besleme/süzüntü suyu özelliklerinin karşılaştırılması.	107
3.10 TS 266 standartları ile ekmek fabrikası RO çıkışı ürün suyu kalite parametrelerinin karşılaştırılması.	108

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
$\Delta\pi$	Membrana karşı ozmotik basınç
Δp	Membrana karşı basınç farkı
C_f	Besleme derişimi, (mg/L)
C_p	Süzüntü derişimi, (mg/L)
C_{j0}	Membranın besleme bölümündeki tuz derişimi
C_{jl}	Membranın süzüntü bölümündeki tuz derişimi
i	Çözünme sabiti
J_v	Su akışı ($L/m^2 \cdot \text{saat}$)
Q_c	Membran ünitesinden konsantre akış hızı (L/saat)
Q_f	Membran ünitesinden besleme akış hızı (L/saat)
Q_p	Süzüntü akış hızı (L/saat)
L_p	Membran geçirgenliği ($L/m^2 \cdot \text{saat} \cdot \text{bar}$)
P	Basınç (bar)
R	İdeal gaz sabiti
R	Çözünen giderimi (%)
T	Mutlak sıcaklık (K)
V	Hacim

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

Simgeler

Açıklama

X_w Suyun molar fraksiyonu

π Ozmotik basınç

Φ Düzeltme faktörü

Kısaltmalar

Açıklama

CA Selüloz asetat

ED Elektrodializ

KOİ Kimyasal oksijen ihtiyacı

MWCO Molecular weight cut-off (Molekül ağırlığı ayırma sınırı)

MF Mikrofiltrasyon

NF Nanofiltrasyon

NTU Nefelometrik bulanıklık birimi

PA Poliamid

PE Polietilen

psu Pratik tuzluluk birimi

RO Ters Ozmos

SDI Çamur yoğunluk indeksi

TÇK Toplam Çözünmüş Katı Madde (mg/L)

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
TOK	Toplam Organik Karbon (mg/L)
UF	Ultrafiltrasyon

1. GİRİŞ

Ekmeğin tarihi incelendiğinde medeniyetlerin tarihi kadar eski olduğu görülmektedir. Ekmek, insanoğlunun bilinen en eski, en temel ve önemli gıda maddesidir. Kabul gören en eski hikayeye göre, ateşin bulunuşunun ardından ilk insanlar, su ile ıslatılmış ve kendi haline bırakılmış buğday kırmasında gözeneklerin meydana geldiğini görmüşler ve gözenekli kütleyi sıcak taşlar üzerinde pişirdikleri zaman tad ve lezzetinin iyi olduğunu keşfetmişlerdir. Cilalı Taş Devri'nde kestane, meşe palamudu gibi bazı bitkisel ürünlerin ezilip suyla karıştırıldıktan sonra elde edilen hamurun, kızgın taşlar üzerinde ya da kül içerisinde pişirilerek yendiği de bilinmektedir. Yapılan araştırmalardan elde edilen bilgilere göre, MÖ. 4000 yıllarında Babilliler'in özel fırınlarda ekmek pişirmeyi bildikleri, yine MÖ. 4300 yıllarında da değirmencilik ve fırıncılık sanatının gerçekleştirildiği yapılan kazılarla elde edilen bulgulardan anlaşılmaktadır (Tanık, 2006).

Bugünkü anlamda mayalanarak diğer bir deyişle fermantasyona bırakılarak pişirilen ekmek, tarihi bulgulara göre ilk defa Eski Mısır'da M.Ö. 1800 yıllarında tesadüfi olarak bulunmuştur. Mısırlılar'ın ekmeğin zenginleştirilmesinden de haberdar oldukları ve ekmeğe hurma, bal gibi maddeler ekledikleri belirlenmiştir. M.Ö. 2600 yıllarında Eski Mısırlılar, buğday unu ve su karışımından elde edilen hamura, maya eklediklerinde ekmeğin daha yumuşak, daha kabarık olduğunun farkına varmışlardır. Çeşitli sınıflardan oluşan Mısır halkı, ekmeği uzun zamandan beri bilmekteydi. Ancak mayanın tesadüfen bulunmasının ardından beyaz ekmek, soyluların ve sarayın simgesi haline gelmiştir. Zenginlerin ve soyluların rağbet ettiği bu mayalı ekmekler o kadar değer kazanmıştır ki, Eski Mısır'da bu ekmekler para yerine bile kullanılmaya başlanmıştır. 'Ekmek Beslenme ve Sağlık Yönünden Önemi' isimli çalışmada Prof. Dr. Ayşe Baysal ve Uz. Dyt. Nuriye Över'in belirttiğine göre; Mısır'da bulunan fosillerin diş yapıları, bu insanların kepekli, kalın kabuklu ekmek çiğnediklerini belirtmektedir. 1991 yılında Mısır'da yapılan Giza Piramidi kazılarında M.Ö. 2575-2134 yılları arasında, piramidin yapımında çalışan işçilerin ekmek yapımı için kullandıkları fırınlar bulunmuştur (Baysal ve Över, 1994). Bunun dışında Mısırlılar'ın mezar hediyelerinden biri olarak ekmek verdikleri de görülmüştür. Mısır'dan yayılan kabarık ekmek hamuru başka yerlerde de değişik maddelerden mayalanmıştır. Yunanlılar ve Romalılar darı ununu üzüm şirasına batırmışlar, Galyalılar ve İberyalılar bira köpüğünü kullanmışlardır. Mısırlılar'dan ve Yahudiler'den fırıncılık sanatını öğrenen Yunanlılar, Doğu usulüne benzer ekmekler yapmaya

başlamışlardır. Romalılar “pişmiş buğday” sistemini uzun süre koruduktan sonra M.Ö. 600 yılında Yunanlılar’dan ekmek yapmayı öğrenmişlerdir. Yunanlılar ve Romalılar tarafından çok önceden beri bilinmekte olan bira mayasının geleneksel ekmek mayasına katılması ile daha yumuşak ve lezzetli ekmek elde edilmiştir. Mısır’dan Roma’ya ve ardından Batı Avrupa’ya yayılan mayalı ekmek, son asırlarda hemen bütün dünyada sofralarda yerini almıştır (Kuter, 2011).

Ticari fırınların yapılmaya başlandığı M.Ö. 500 yılından sonra, ekmeğin kabarması için bazı karışımlardan yararlanılmaya başlandığı anlaşılmaktadır. Bunlardan biri, şıraya karıştırılmış darıdan yapılan ve uzun zaman saklanabilen bir karışımdır. Bir diğeri ise, buğday kırmısı ile beyaz şıradan yoğurulan ve üç gün kadar bekletilen hamurun maya olarak kullanılmasıdır. Fırıncılar, yıllar boyu ekmeği kabartmak için fermentasyona bağlı kalmışlardır ve bir önceki hamurdan alınan hamurla aşı yapılarak kullanılan ekşi hamur metodu, gün geçtikçe özelliğini yitirmekle birlikte bazı bölgelerde halen uygulanmaktadır (Kuter, 2011).

Türkler’de ekmek, genelde yerleşik düzene geçmeden önceki göçebe dönemde altında, yufka veya lavaş olarak adlandırılmakta ve mayasız olarak yapılmaktaydı. İsmail Tokalak, ‘Bizans Osmanlı Sentezi’ isimli önemli çalışmasında Bizans ve Osmanlı’da ortak yemek kültürü bölümünde, ekmeğin temel klasik gıda olduğunu belirtmiştir. Türklerin peksimeti (arpa ekmeği), iki kere pişirerek suyunu almış galeta ve peksimet şekline dönüştürerek daha uzun süre dayanmasını sağladıklarını belirtmiş ve I. Dünya Savaşı’nda ve Kurtuluş Savaşı’nda Türk askerlerinin temel gıdasının peksimet olduğunu, suya batırılarak ve yumuşatılarak yenildiğini belirtmiştir. Osmanlı sarayında ise, saray ekmeğinin has ekmek olarak adlandırıldığını ve has fırın adı verilen fırınlarda pişirildiğini belirtmiştir (Kuter, 2011).

19. yüzyılda Hollanda’da buğday temeline dayanan maya bulunmuş ve kullanılmaya başlanılmıştır. Orta ve diğer Avrupa ülkelerine ekmek daha sonraları güneyden yayılmıştır. Avrupalılar buğdaydan önce çavdar gibi diğer tahıl ürünlerini kullanmışlar, ancak 15. yüzyılda buğdaydan beyaz ekmek yapımına başlamışlardır. Mikroorganizmaların ve mayanın aktif olarak bilinmesinden (19. yüzyıl) sonra ekmek üretimi sanayi dalı haline gelmiştir. Yüzyılımızın ikinci yarısına yaklaşırken artık ekmek yapımında modern tekniklerin ortaya çıktığı ve makineleşmenin başladığı görülmektedir. Bir anlamda bu süre içerisinde ekmek sektörünün hızla sanayileştiği söylenebilir. Özellikle ABD’de başlayan makineleşme giderek gelişmiş ve diğer ülkeler de bunu izlemişlerdir. Bir yandan

da ekmek tadının ayrıntılarına girildiği, böylece tüketiciye bol çeşit sunulmaya başlandığı görülmektedir. Ülkemizde de dünyadaki bu gelişime 1975 yılından sonra büyük önem verilmiş ve İstanbul başta olmak üzere Ankara, Eskişehir, İzmir, Bursa ve Antalya gibi illerde çeşitli tipte ekmek üretimine başlanmıştır. Günümüzde artık makineleşmiş işletmelerin giderek arttığı ve modern teknikler kullanılarak ekmek imalatı yapıldığı görülmektedir (Tanık, 2006).

1.1. Ekmek Üretimi

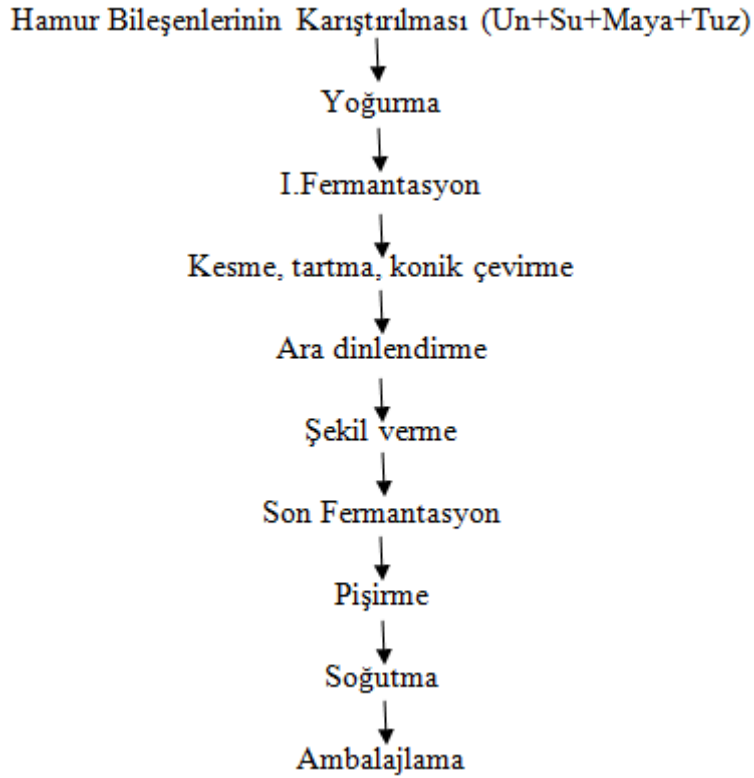
Ekmek, ekmeklik buğday ununa içilebilir nitelikte su, tuz, maya (*Saccharomyces cerevisiae*), gerektiğinde “Türk Gıda Kodeksi” yönetmeliğinde izin verilen katkı maddeleri ile Tarım ve Köyişleri Bakanlığı’nda üretim izni alınmış şeker, enzim ve benzeri maddeleri içeren ekmek katkı karışımları eklenerek hazırlanan hamurun, tekniğine uygun bir şekilde yoğrulup, çeşitli şekillerde hazırlanıp fermantasyona bırakılması ve pişirilmesi ile ele geçen bir üründür. Ekmeğin tanımında geçen karışıma, çavdar ununa diğer tahıl unları, soya unu, patates unu, süt tozu, peynir altı suyu, bitkisel yağ, buğday kepeği, susam, tahin, ceviz, zeytin ve benzeri maddeler katılarak tekniğine uygun ve çeşitli şekillerde yapılan ürünlerdir (TGK, 2012).

Ekmek, kendine has nötr bir aromaya sahip olması nedeni ile diğer gıdalar için iyi bir taşıyıcı özellik gösterir. Bu nedenle asırlardır beslenmemizin temelini oluşturur. Besleyici ve doyurucu olması, ucuz olması, kolay temin edilmesi bu gıdanın özellikle gelişmekte olan ülkelerde karbonhidrat ve protein kaynağı olarak insan beslenmesinde, önemli bir yer tutmasına neden olmuştur (Gül, 2007).

Çizelge 1.1 Ekmek ve ekmek çeşitlerinin kimyasal özellikleri (Tanık, 2006).

Ekmek ve Ekmek Çeşitleri Özellikleri	Rutubet % (m/m) en çok	Kül (tuz hariç) % (m/m) en çok kuru maddede	Tuz % (m/m) en çok kuru maddede
Ekmek	38	0.85	1.75
Kepekli Ekmek	42	2.5	1.75
Tam Tane Ekmeği	42	2.3	1.75
Çavdar-Buğday Ekmeği	42	1.2	1.75
Diğer Ekmek Çeşitleri	42	2.0	1.75

Ekmek ve ekmek çeşitlerinde olması gereken özellikler, duyuşal ve kimyasal olarak iki grupta toplanabilir. Duyuşal özellikler, ekmeğe dışından bakıldığında iyi pişmiş ve kabarmış olmalı, kendine has görünüşte ve kokuda olmalı, kabuk renk dağılımı olabildiği kadar homojen olmalı, basık ve yanık olmamalıdır. Ekmek kesildiği zaman iç kısmı süngerimsi yapıda olmalı, gözenekleri mümkün olduğunca homojen olmalı, büyük hava boşlukları bulunmamalı, hamur ve yapışkan olmamalı, karışmamış halde un, tuz katkı maddeleri, bunların toprakları ve yabancı madde bulunmamalıdır. Ekmek rengi ise beyaz krem ve homojen olmalı, ekmek kendine has tat ve kokuda olmalıdır. Ekmekte yabancı tat ve koku hissedilmemelidir. Ekmeğin kimyasal özellikleri ise Çizelge 1.1' e uygun olmalıdır. Ekmek üretimi akış şeması Şekil 1.1' de gösterilmiştir (Tanık, 2006).



Şekil 1.1 Ekmek üretim akış şeması (Megep, 2008).

1.1.1. Ekmeğin besin değeri

Ekmeğin hammaddesi buğday unudur. Buğdayda bulunan bütün besin öğeleri ekmekte de vardır. Ancak, yeterli ve dengeli beslenme için gerekli olan vitaminler ve mineraller, daha çok buğdayın özünde (embriyosu) ve dış kabuğunda bulunduğundan, öğütülürken saflaştırma durumuna göre undaki

miktarları azalmaktadır. Bunun yanında, mayalanma ile bazı vitaminlerin miktarlarında artış olmakta minerallerin vücuda yararlılıkları artmaktadır. Çizelge 1.2.'de görüldüğü üzere ekmekte A ve C vitamini dışındaki vitamin ve mineraller, enerji ve protein içeriğine oranlı olarak bulunmaktadır. Tam buğday unundan yapılan ekmeğin vitamin ve mineral içeriği beyaz un ekmeğinden çok daha yüksektir. Aynı zamanda vücutta enzimler tarafından sindirilemeyen karbonhidratların oluşturduğu diyet lifi miktarı da saflaştırılmamış undan yapılan ekmekte yüksektir. Bunun yanında, kepekli ve çavdar ekmeğinin enerji değeri, beyaz ekmekten daha düşüktür (Baysal ve Över, 1994).

Çizelge 1.2 Ekmek ve ekmek çeşitlerinin besin değeri (Tanık, 2006).

Ekmek Türü	Nem (g)	Protein (g)	Enerji (kal)	Karbonhidrat		Kalsiyum (mg)	Demir (mg)	Vit. B ₁ (mg)	Vit. B ₂ (mg)	Niasin (mg)
				Top.	Diyet lifi					
Beyaz Ekmek	31.8	9.1	276	56.4	0.2	7	0.7	0.09	0.06	0.8
Çavdar Ekmeği	35.5	9.1	243	52.1	0.4	75	1.6	0.18	0.07	1.4
Tam Buğday Ekmeği (Kepekli)	34.0	9.1	246	53.1	1.1	84	2.4	0.23	0.14	1.2
Yetişkin bireylerin günlük gereksinimlerini karşılama durumu (%) (erkek ve kadın ortalaması)										
		13-14	10-12			3-9	4-16	9-21	4-10	5-9

Yetişkin kadın ve erkeğin ortalama günlük gereksinimleri düşünüldüğünde; 300 g ekmek; enerjinin % 30-36'sını, demirin % 2-48'ini, proteinin % 39-42'sini, kalsiyumun % 9-57'sini, B₁ vitamininin % 27-63'ünü, B₂ vitamininin %12-30'unu, niasinin % 15-27'sini karşılamaktadır (Baysal, 1990). Protein gereksiniminin saptanmasında enerjinin proteinden gelen oranı ile besinin protein kalitesi de önemlidir. Ekmeğin proteinden gelen enerji oranı %13 ile 15 arasında değişmektedir. Ekmek proteininde insan vücudunda diğer azotlu maddelerden yapılamayan lizin aminoasidi sınırlı oranda bulunmaktadır. Bu durum alınan proteinin vücuda yararlılığı azaltır. Bu nedenle ekmeğin protein değerinin aminoasit içeriğine göre düzeltilmesi gerekir. Bu düzeltme yapıldığında, ekmeğin brüt protein değeri % 9.1 iken, net protein değeri % 4.2'ye, protein/enerji oranı ise % 6-7'ye düşmektedir. Bu değer, alınan enerji yeterli olduğunda, yetişkin insanın en az protein gereksinmesini sağlayabilmektedir. Başka bir deyişle, yetişkin insan ekmekten yeterli düzeyde enerji aldığında, protein gereksinimini de karşılayabilmektedir (Baysal ve Över, 1994).

1.1.2. Ekmeğin sağlık yönünden önemi

İnsanoğlunun vazgeçemediği temel besini olarak kabul edilen ekmeğin gerek geçmişte, gerekse günümüzde sağlık alanında da yerini almaktadır. Ekmeğin insan sağlığı üzerine çeşitli olumlu etkileri vardır. Ekmek yapımında kullanılan mayanın vücudumuz için hayati önem taşıdığı noktalar vardır. Bağışıklık sistemimizin ilk savunmasını yapan makrofajlar (beyaz kan hücreleri) üzerindeki özel yüzeylere bağlanarak, bağışıklık sistemini aktif hale getirmesinden dolayı güçlü bir immun sistem destekleyicisi olan Beta-Glukan, ekmeğin mayasında bulunan tamamen doğal bir besin kaynağıdır. Aynı zamanda Beta-glukan, kolesterol ve kan şekeri düzeylerinin azalmasına katkıda bulunur, vücutta yıpranmış, hasar görmüş dokuların iyileşmesine yardım eder ve antioksidan özellik gösterir (Kuter, 2011).

Tam tahıllar ve tam buğday ekmeği tüketiminin, enerji ve besin öğelerinin karşılanması, hastalıklardan korunma ve sağlığın geliştirilmesi ile ilişkili olduğu birçok çalışmada bildirilmektedir (Santra et al., 2013; Gil et al., 2011). Tam tahıllar ve tam buğday ekmeği, kompleks karbonhidrat, bitkisel protein, diyet posası, B grubu vitaminleri, E vitamini, mineraller, bitkisel kimyasallar, prebiyotik ve antioksidan gibi sağlığı geliştiren maddelerce zengindir. Ayrıca, bu ürünlerin glisemik indeksleri, enerji ve yağ içeriklerinin düşük olması da sağlık açısından yararları arasında sıralanmaktadır (Elgün ve Demir, 2008). Tam tahıl tüketiminin, kalp-damar hastalıkları, bazı kanser türleri, tip II diyabet, yüksek tansiyon ve obezite üzerinde etkili olduğu belirtilmektedir (Gil et al., 2011). Tam buğday ekmeğindeki diyet posasının ise, kalp-damar hastalıkları, kabızlık, bazı kanser türleri, obezite ve tip II diyabet riskini düşürebileceği, doyumluk hissi vererek daha az kalori alınmasına ve ağırlık yönetimine yardımcı olabileceği vurgulanmaktadır. Tam tahılların besin ögesi ve diğer bileşenleri birlikte içermeleri, sağlık üzerinde sinerjik etki yaratmaktadır (Aktaş, 2013).

1.2. Ekmeğin Temel Bileşenleri

Ekmek yapımında kullanılan temel hammaddeler; un, su, maya ve tuzdur. Bunun yanı sıra, ekmeğin teknolojik özellikleri üzerinde etkili olabilecek olumsuzlukları azaltarak ekmeğin niteliklerini iyileştirmek amacıyla çeşitli katkı maddeleri de kullanılmaktadır (Çelik, 2008). Ekmek yapımındaki temel bileşenlerin işlev ve önemleri, şu şekilde açıklanmaktadır;

Un: Buğday, arpa, yulaf vb. hububatın çeşitli yöntemlerle öğütülmesi sonucu elde edilmiş tozlarına denir. Yarı işlenmiş bir gıdadır. Ekmeğe karakteristik özelliğini verir ve kalitesini doğrudan etkiler. Un, son derece karışık ve kompozisyonu değişebilen bir madde olup, başlıca bileşenleri proteinler, karbonhidratlar, lipitler, mineral maddeler, vitaminler, su ve enzimler sayılabilir. Her biri farklı önem ve işleve sahip olan bu kimyasal madde gruplarının un içindeki miktarları ve birbirlerine oranlarının yanı sıra iç kompozisyonları da çeşitli etmenlere bağlı olarak büyük değişiklikler göstermektedir (Lazsisty, 1986; Pylar, 1988). Ülkemizde ekmekçilikte en yaygın kullanılan un, buğday unudur. Buğday ununda bulunan temel proteinler, gliadin ve glutenin suda çözüldüklerinde farklı özellikler gösterirler. Gliadin vizkos ve yapışkan, gluten ise lastiksi özellik göstermektedir. Hamurun ince açılmasını ve gaz tutmasını sağlayan glutendir ve gliadin ile gluteninin birleşimiyle meydana gelmektedir (Ergönül, 2007). Gliadin ve glutenin proteinleri, hamurun yoğrulması sırasında özü meydana getirmektedirler (Hoseney, 1983). Ekmek üretiminde kullanılacak olan unun sert buğdaydan elde edilen yüksek oranda gluten ve protein içeren un olması istenir ve yeterli olgunlukta olması gerekmektedir. Unun olgunlaştırılması esnasında un proteinleri ve lipit maddeleri arasında meydana gelen bir takım kimyasal reaksiyonlar sonucunda, hamurun gaz tutma kapasitesi artmakta ve ekmeklik kalitesi iyileşmektedir (Coşkun, 2003; Elgün et al., 2002). Unda bulunan karbonhidratlardan en önemlisi nişasta olup, unun % 65-70'ini oluşturmakta ve amiloz ve amilopektin olmak üzere iki farklı fraksiyondan meydana gelmektedir. Unda bulunan diğer karbonhidratlar ise pentozanlar ve selüloz ile bazı mono ve oligosakkaritlerdir (Ercan ve Velioğlu, 1990). Lipitler unda miktar olarak az bulunmalarına rağmen ekmek kalitesi ve hacmi üzerinde önemli etkiye sahiptirler. Un lipitlerinden polar galaktolipid ve fosfolipidler hacim artırıcı etki yaparken, monogliserid ve serbest yağ asitleri hacim azaltıcı etki yapmaktadırlar. Trigliseridlerin tek başlarına bir etkileri olmamasına rağmen diğer lipitler ile beraber etkili olmaktadır (Özer, 1998).

Ekmek mayası: Hamurda bulunan, basit şekerleri fermentasyona uğratarak, fermentasyon sonucu oluşan CO₂ gazı ile hamurun kabarmasını, fermentasyon ürünü diğer maddelerle de hamurun olgunlaşmasını ve aroma oluşumunu sağlayan, tek hücreli mikroorganizmalar olan *Saccharomyces cerevisiae*'dir (Kent, 1984; Pylar, 1988; Ünal, 1991). Ekmek mayası kendine has tatta olmalı, içerisinde gözle görülebilen yabancı madde bulunmamalı, bozuşmuş veya kokuşmuş olmamalıdır (Çelik, 2008).

Tuz: Hamur ve ekmeğin başlıca bileşenlerinden olan tuz, ekmeğe tat vermesinin yanı sıra özü yumuşatıcı etkiye sahip proteazların etkinliğini azaltarak özün yumuşamasını önler. Ayrıca, fermentasyon sırasında mayanın çalışmasını dolayısıyla gaz oluşumunu ve hamurun olgunlaşmasını düzenler (Blanshard et al., 1988). Tuz, ekmek içi su aktivitesini düşürerek mikrobiyolojik bozulmayı geciktirmek ve küf gelişimini inhibe edici etkisinden dolayı ekmeğin raf ömrünü uzatmak amacıyla da ekmekte kullanılan temel ingredientlerden birisidir (Elgün ve Ertugay 2002). Ekmek yapımında kullanılacak tuz yeterli incelikte, temiz, parlak ve beyaz olmalı, fermentasyonu etkileyecek iyot ve benzeri mineralleri içermemelidir (Çelik, 2008).

Su: Ekmek üretiminde, toplam hamur kitlesinin hemen hemen % 40'ını oluşturur. Bu nedenle su, ekmek yapımında en temel bileşenlerden birisidir. Kullanılan suyun miktar ve bileşimi, hamurun kalitesine doğrudan etki eder. Su, hamurda diğer bileşenlerin karışmasını sağlayan hamura arzu edilen viskoelastik yapıyı kazandıran, fermentasyonu sağlayan ve son ürün kalitesine etkili olan temel bir bileşendir. Nişastanın ve sakarozun hidrolizi, pişme esnasında nişastanın jelatinizasyonu için de önemlidir. Hamur yapımı sırasında su, tuz, şeker ve çözünür proteinler gibi bileşenleri biraraya getirmekte ve çözünmeyen proteinleri de gluteni oluşturmak üzere hidrate etmektedir. Alkol fermentasyonun başlaması ve yayılması için gerekli yaş ortamı su sağlamaktadır. Suyun, hamurun reolojik özellikleri ve enzim aktivitesi üzerine de önemli etkisi vardır (Ergönül, 2007). Ekmek üretiminde su sertliği önemlidir ve suyun sertliği kalsiyum ve magnezyum iyonlarının varlığıyla ilgilidir. Sularda optimum sertlik derecesi 125-250 mg/L CaCO_3 olup ekmek yapımında en uygun olarak kullanılan sular, orta sertlikteki sulardır. Suda bulunan mineral maddeler hem gluteni kuvvetlendirici etki yapar, hem de maya için besin kaynağıdır. Ancak mineral maddelerin aşırı miktarda bulunması da istenmeyen bir durumdur (Megep, 2008). Sert suların ekmek üzerine çeşitli etkileri vardır. Fazla miktardaki mineraller, un glutenini (özü) sertleştirerek hamurun işlenebilirliğini azaltır. Sert sularla yapılan hamurun asitliği düşük olduğundan mayanın normal çalışmasını sürdürebilmesi için gereken ortam sağlanamaz, maya aktivitesi düşer ve fermentasyon (mayalanma) yavaşlar. Sertleşen hamurda maya için gerekli besin akışı azaldığından mayanın hamur içindeki çalışması kısıtlanır. Hamur içinde bulunan enzimler de asidik ortamlarda (pH=4-5) optimum aktivite gösterirler. Sert sular asitliği düşürdüğünden enzimlerin faaliyetleri kısıtlanır. Bu da hamurun olgunlaşması ve fermentasyonunu olumsuz etkiler. Yumuşak suların da ekmek üzerine çeşitli etkileri vardır. Yumuşak sularda, un glutenini (özü) güçlendiren minerallerin

olmaması veya az olması nedeniyle hamurda yumuşak, yapışkan ve çalışılması zor bir yapı oluşur. Hamur yumuşak ve yapışkan olduğu için unun su kaldırma oranı düşer ve yaklaşık %2 oranında azalır. Böylece üretilen ekmek miktarında azalma olur. Hamur zayıftır, gaz tutma kapasitesi düşük olduğundan ekmekler hacimsiz olur. Ekmek kabuk rengi soluk kalır (Ünal, 1991).

Ekmek üretiminde kullanılacak suyun özellikleri şu şekildedir;

- 1) Mikrobiyolojik açıdan arı (saf),
- 2) Pestisit gibi topraktan suya bulaşabilecek olan kirliliklerden arındırılmış,
- 3) Kötü koku ve tat verici maddelerden, bulanıklık yapıcı maddelerden arındırılmış,
- 4) 125-250 ppm CaCO_3 (mg/L) orta sertlikte,
- 5) İçme suyu kalitesinde,
- 6) ‘İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmelik’ hükümlerine uygun nitelikte,
- 7) Toplam bakteri sayısı 100 CFU / mL ‘den az olmalıdır (Ünal, 1991; Giannou et al., 2003).

1.3. Ekmek Üretiminde Kullanılan Ham Suyun Arıtım Prosesleri

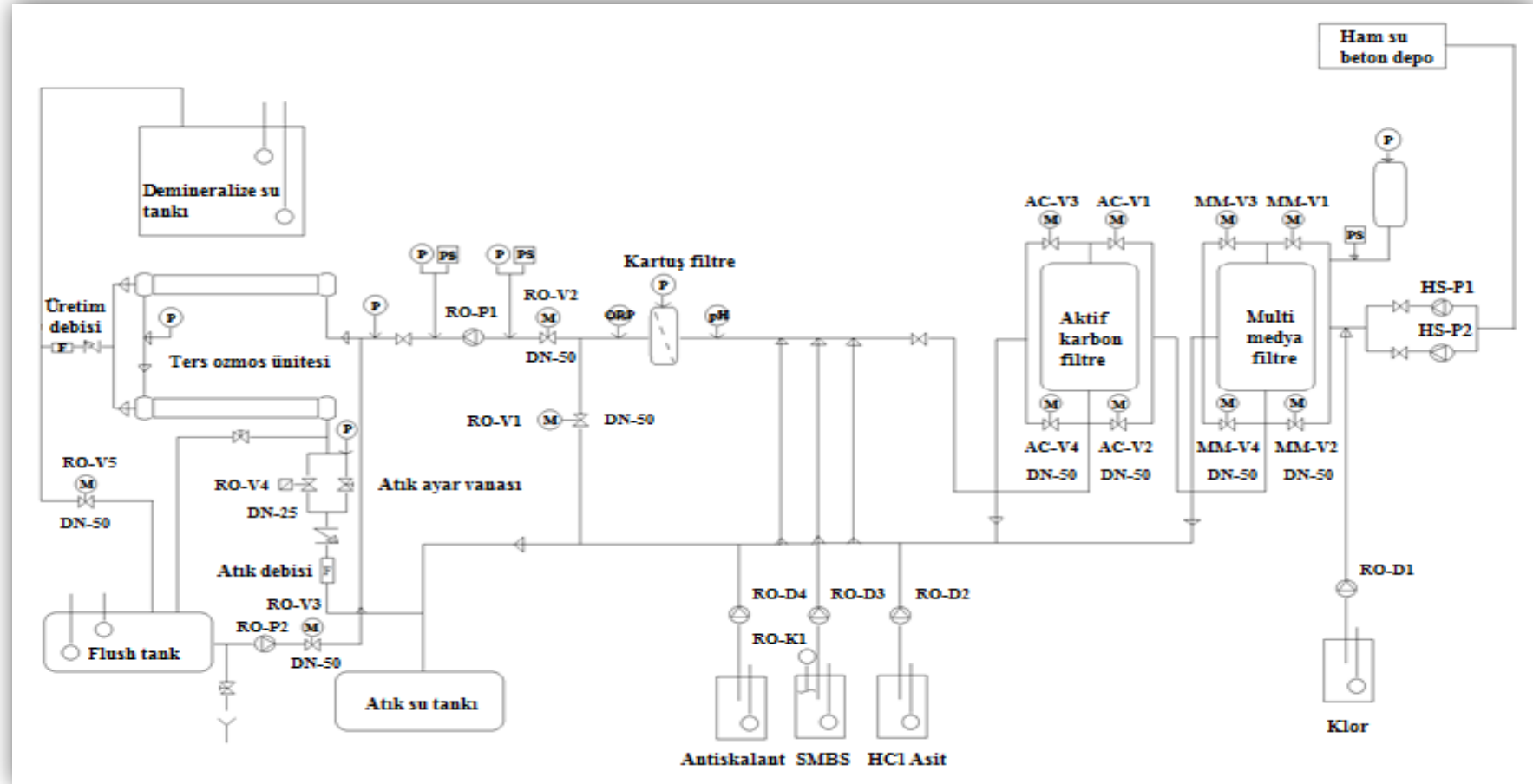
Su, doğası gereği saf halde bulunma eğiliminde olmasına rağmen çok iyi bir çözücü olmasından dolayı çeşitli mineraller ve gazlar su içerisinde çözünmektedir. Ayrıca suya kirlilik veren çözünmemiş katı partiküller de su içerisinde taşınabilmekte ve suya bulanıklık vermektedir. Su arıtma işlemleri, safhalar halinde su içerisinde bulunan safsızlıkların arıtılması işlemlerini kapsamaktadır. Bu safsızlıklar üç başlık halinde sıralanabilir:

- 1) Çözünmemiş katı partiküller (suya bulanıklık kazandıran)
- 2) Çözünmüş katı maddeler (mineral tuzları)

3) Çözünmüş gazlar.

Su, kullanılacağı prosese göre bu safsızlıklardan arındırılarak kullanılır. İzmir’de faaliyet gösteren ekmek fabrikasının ham su arıtım sisteminde çözünmemiş katı parçacıklar kum filtresi ve kartuş filtrede, çözünmüş mineraller ise ters ozmos sisteminde arıtmakta ve su mümkün olduğu ölçüde saflaştırılarak daha yüksek kalitede su sağlanmaktadır. Suyun içerisinde bulunan gazlar için bu sistemde bir arıtma işlemi uygulanmamıştır. Şekil 1.2’de ham su arıtım sistemi akış şeması gösterilmektedir.

Ham su, işletme arıtım sistemi dışındaki ham su havuzunda birikmektedir. Oradan 35-50 tonluk ham su dinlendirme deposuna ve dinlendirme deposundan da ham su arıtım sistemine gelmektedir. Arıtım sistemine gelen ham suya mikroorganizmalardan arındırmak için klorlama işlemi (1.5 mg/L aktif klor) yapılmaktadır. Ham su, ilk olarak ham su pompaları ile kum filtreye girmektedir. Daha sonra aktif karbon filtreden ve kartuş filtreden geçmektedir. Suda bulunan Ca^{2+} , Mg^{2+} gibi çökelebilecek iyonları çözünür halde tutabilmek için suya antiskalant (6-7 mg/L) ve aşırı kloru bağlamak için sodyum metabisülfid verilmektedir. Eğer suyun pH’ı yüksek ise düşürmek için HCl asit ilavesi de bu aşamada yapılmaktadır. Su, yüksek basınç pompası ile ters ozmos membranlarına beslenmektedir. Ters ozmos membranlarından çıkan arıtılmış su, kriterlere uygun değilse atık su tankına verilmektedir. Eğer kriterlere uygun ise yerinde temizlemenin yapıldığı (CIP) yıkama tankına verilmektedir. Tanktaki su uygun seviyeye geldiğinde CIP tankına su geçişini sağlayan valf kapanmakta ve arıtılmış su, demineralize su depolama tanklarına verilmeye başlanmaktadır. Bu depolama tanklarından, ihtiyaç duyuldukça pompalar yardımı ile üretim alanına arıtılmış (demineralize) su gönderilmektedir. Arıtılmış su, üretim alanına verilirken önce ultraviyole (UV) işleminden daha sonra dolamit filtreden (suyun pH ayarının uygun aralığa getirilmesi için) geçirilerek, ekmek üretimi için kullanılabilir hale getirilmektedir.



Şekil 1.2 İzmir’ de faaliyet gösteren ekmek fabrikasındaki ham su arıtım sistemi akış şeması.

1.4. Membran Prosesler ile Su Arıtımı

Membran prosesler, fiziksel veya fiziko-kimyasal ayırmaları gerçekleştirmek için tasarlanmış proseslerdir. Su arıtımında uygulanabilen bir membran, bazı bileşikleri diğerlerinden daha kolay olarak geçirebilen malzemedir (Judd, 2006). Geçirmediği türlere göre, içinden geçen maddeler için daha geçirgen olduğundan dolayı membranlar, yarı geçirgen malzemeler olarak tanımlanırlar.

Membran teknolojisinde en yaygın olarak kullanılan terimler; besleme suyu (feed), süzüntü suyu (permeate) ve konsantre bileşen (concentrate/brine) dir. Membran sistemiyle temas eden giriş suyu, besleme suyu olarak adlandırılır. Membranın içinden süzülerek geçen kısma süzüntü suyu (ürün su) denir. Membran içinden geçemeyen kısım ise, konsantre atık olarak isimlendirilir. Akı, birim zamanda, birim membran alanı içinden geçen süzüntü hacmidir ve $L/m^2.gün$ ya da $kg/m^2.saniye$ olarak ifade edilip, membran performansının en önemli ölçütüdür (Asano et al., 2007).

Membran prosesler, farklı şekillerde sınıflandırılabilir. Sınıflandırmada gözönüne alınan başlıca hususlar:

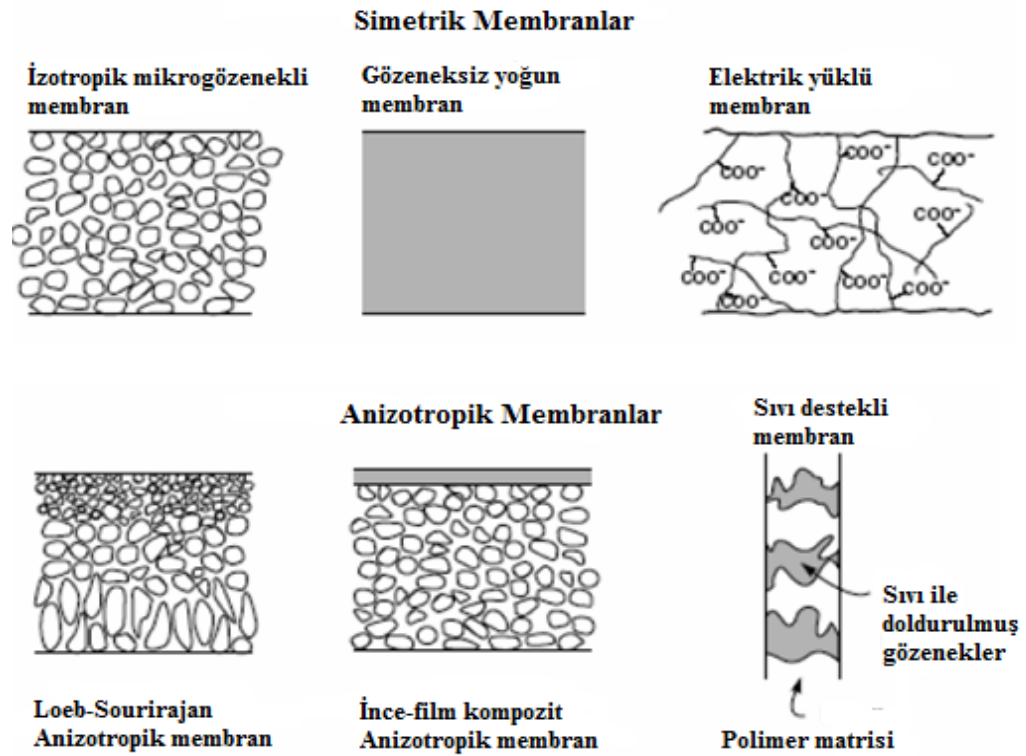
- Ayırmayı belirleyen itici güç,
- Ayırma mekanizması,
- Membranın gözenek boyutu
- Ayırmanın nominal boyutu,
- Membran malzemesinin yapıldığı malzemedir.

Başlıca membran türleri Şekil 1.3’de gösterilmiştir. Membran türlerinin sınıflandırılması aşağıda belirtilmiştir (Ravanchi et al., 2009):

- İzotropik membranlar
 - Mikro gözenekli membranlar
 - Gözenekli olmayan yoğun membranlar

- Yüklü membranlar
- Anizotropik membranlar
- Seramik, metal ve sıvı membranlar

Membran prosesler, mikrofiltasyon (MF), ultrafiltasyon (UF), nanofiltasyon (NF), ters ozmos (RO), diyaliz ve elektrodializ (ED) şeklinde sınıflandırılabilir. Membran proseslerin genel özellikleri, Çizelge 1.3’de özetlenmiştir.



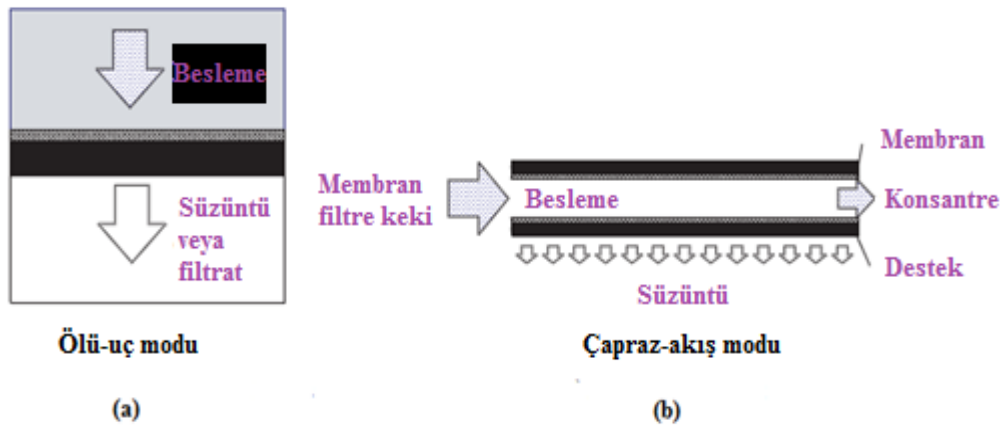
Şekil 1.3 Başlıca membran tipleri (Baker, 2004).

Membran prosesleri ile deniz suyundan içme suyu eldesi, acı sudan tuz giderme, endüstriyel atıksuların arıtılması, kolloidal süspansiyonların saflaştırılması, deniz suyu ön muamelesi, yer altı suyu işleme, organik çözücülerin ayrılması, azeotropik karışımların ayrılması, denge limitli reaksiyonlarda dönüşümü arttırma, reaksiyon karışımından bir bileşeni kontrollü uzaklaştırma, yakıt hücresi uygulamaları, havadan oksijen ve azotun ayrılması ile havadan hidrokarbon buharlarının ayrılması, kandan atık metabolitlerin uzaklaştırılması, sulu çözeltilerden iyonik yapıdaki değerli metallerin geri kazanımı ya da

derişiklendirilmesi gibi çok sayıda endüstriyel uygulama gerçekleştirilebilir (Salt ve Dinçer, 2006). Arıtılan suyun kalitesinin çok iyi olmasından dolayı membran prosesler, yeraltı sularının yeniden doldurulması, gri suyun geri dönüşümü ve endüstriyel atık suların geri dönüşümü gibi spesifik uygulamalarda da kullanılmaktadır (Lazarova ve Bahri, 2005).

Süspanse katılar, bakteriler, parazitler ve virüsler NF, UF ve MF yöntemleri ile sulardan kolayca uzaklaştırılabilmektedir. Sadece virüsler, yüksek gözenekli MF membranlarından geçebilirler (Lazarova ve Bahri, 2005). MF ve UF yöntemleri, daha az geçirgenliğe sahip NF, RO ve ED membranlarının kirlenmesine engel olabilmek için ön arıtma yöntemi olarak da kullanılabilmektedir (Asano et al., 2007).

Membran filtrasyon işlemleri, iki farklı şekilde gerçekleştirilmektedir: Dead-end (tıkanabilen) ve cross-flow (çapraz akış). Birinci tip uygulamada (Şekil 1.4a), sıvı akışı membrana dik olacak şekilde yapılmakta, böylece alıkonulan partikül ve türler membran yüzeyinde birikmektedir. Bu nedenle akışı sürekli kılmak için, gerekli basınç artmakta ve bir süre sonra filtrenin yenilenmesi gerekmektedir (Nunes ve Peinemann, 2006). Çapraz akışlı sistemlerde ise (Şekil 1.4b), besleme çözeltisi membran yüzeyinin üzerinden sirküle edilerek bu sayede partiküllerden arındırılmış süzüntü suyu ile partikülleri içeren konsantre bileşen birbirinden ayrılabilir. Çapraz akış filtrasyonu için gereken ekipman, biraz daha komplikedir. Ancak bu sistemler kullanıldığında, membran ömrü daha uzun olmaktadır (Nunes ve Peinemann, 2006).



Şekil 1.4 (a) Dead-end filtrasyon, (b) Çapraz akış filtrasyon (Judd ve Jefferson, 2003).

Çizelge 1.3 Membran proseslerinin genel özellikleri (Asano et al., 2007).

Membran proses	İtici güç	Ayırma mekanizması	Gözenek boyutu	Kullanılan gözenek boyut aralığı (µm)	Malzeme
MF	Basınç farkı	Eleme	Makropor (> 50 nm)	0.008-2.0	Akrilonitril, seramik polipropilen, polisulfon, PTFE ^a , PVDF ^b , naylon, teflon
UF			Mezopor (2-50 nm)	0.005-0.2	Aromatik poliamid, seramik selüloz asetat, polipropilen, polisulfon, PVDF ^b , teflon
NF		Eleme, Difüzyon, moleküler dışlama	Mikropor (< 2 nm)	0.001-0.01	Selülozik, aromatik poliamid, polisulfon, PVDF ^b , TFC ^c
RO		Difüzyon, moleküler dışlama	Yoğun (< 2 nm)	0.0001-0.001	Selülosik, aromatik poliamid, TFC ^c
Diyaliz	Derişim farkı	Difüzyon	Mezopor (2-50 nm)	-	Döküm yapılmış iyon değiştirici reçine
ED	Elektriksel potansiyel farkı	İyon değişimi	-	-	Döküm yapılmış iyon değiştirici reçine

^a Politetrafluoretilen.^b Poliviniliden flüorür.^c İnce film kompozit.

1.4.1. Gıda endüstrisinde membran işlemleri

Membran esaslı su arıtım işlemlerinin gelişimi, Çizelge 1.4'de belirtildiği gibi, geleneksel tekniklere göre bazı avantajlar sağladığından dolayı önemlidir (Judd ve Jefferson, 2003):

- 1) Ayırma, bir faz değişimi gerektirmeden gerçekleştirilir ve bu nedenle enerji tüketimi açısından membran işlemleri destilasyondan daha verimlidir.
- 2) Proses esnasında membran yüzeyinde çok az birikim oluşur veya hiç birikme olmaz. Bu nedenle rejenerasyon döngüsü gerekmeden, adsorpsiyona dayalı ayırma işlemlerinin aksine, sürekli olarak kararlı hal koşullarında çalışılır.
- 3) Genellikle kimyasal koagülant veya flokülant ilavesine dayanan geleneksel durultmanın aksine, çok az kimyasal ilavesi gerekir veya hiç kimyasal ilavesi gerekmez.

Çizelge 1.4 Membran işlemleri (Judd ve Jefferson, 2003).

Proses	Hedef
Mikrofiltrasyon (MF)	Mikroorganizmaları içeren askıdaki katı maddelerin giderimi
Ultrafiltrasyon (UF)	Büyük çözünen katı moleküllerin ve askıdaki kolloidal parçacıkların giderimi
Nanofiltrasyon (NF)	Belirli yükler ya da polar moleküllerin ve tek değerlikli iyonların seçici giderimi
Ters Ozmos (RO)	İnorganik iyonların giderimi
Elektrodiyaliz (ED) ve diyaliz	Sudan iyonların selektif ekstraksiyonu ve/ veya atık akışındaki bu iyonların konsantrasyonu
Pervaporasyon (PV)	Moleküler gaz ve/veya uçucu çözünenlerin selektif ekstraksiyonu
Gaz transferi (GT)	Su içine veya dışına moleküler gaz transferi

Membran teknolojisindeki gelişmeler, 1960'larda üretilen yüksek performanslı ters ozmos membranlarının, kurak bölgelerde deniz suyu desalinasyon tesislerinde ilk kez kullanılmaya başlanmasıyla ortaya çıkmıştır

(Loeb ve Sourirajan, 1963). O zamandan beri, su arıtma kapasitesine göre membran üretimi, yirminci yüzyılın özellikle son on yılında mikrofiltrasyon ve ultrafiltrasyon teknolojilerindeki artış ile zamanla katlanarak artmıştır (Bunani et al., 2013).

Endüstriyel sektörler içinde membran işlemlerinin uygulaması giderek yaygınlaşmaktadır ve birçok durumda bu uygulamalar iyi sonuç vermiştir. Ultrafiltrasyonun kolloid yapıda maddeleri sulardan uzaklaştırmak için kullanıldığı ve ters ozmozun hem birincil deiyonizasyon (ve bunu takiben bir iyon değiştirme işlemi kullanılarak ileri arıtma işlemi) hem de durulama suyunun ileri arıtımı için kullanıldığı yarı iletken üretim tesisinde, membran prosesler ultra saf su üretiminde çok önemlidir. Kartuş mikrofiltreler, kazan besleme sularından yabancı askıda katı maddelerin giderimi için düzenli olarak kullanılmaktadır (Bunani et al., 2013).

Membran prosesleri ile, meyve suyunun berraklaştırılması ve derişiklendirilmesi, protein çözeltilerinin derişiklendirilmesi, protein üretiminde fermentasyon besiyerleri ve steril filtrasyondan primer hücre geri kazanımı, substrattan bakteri ayırma, fermentasyon besiyerlerinin derişiklendirilmesi, meyve suyunda durultma, bira ve şarap endüstrisinde soğuk sterilizasyon, alkollü içki dealkolizasyonu, asit, tuz ve meyve suyu çözeltilerinin derişiklendirilmesi, sulu çözeltilerden alkol ve uçucu bileşenlerin uzaklaştırılması, süt proteini veya protein fraksiyonları saflaştırılması, şeker şuruplarında konsantrasyon ve durultma ve su arıtımı gibi gıda endüstrisinde pek çok alanda uygulama gerçekleştirilebilir (Salt ve Dinçer, 2006; Yetişemiyen ve Yıldız, 2012).

1.4.2. Mikrofiltrasyon (MF)

MF, gözenekli bir ortam boyunca sıvılardan 0.1 μm - 10 μm aralığındaki biyolojik varlıkları veya parçacıkları uzaklaştıran bir ayırma işlemidir. Bu tür ayırmalarda kullanılan membranlar, tipik olarak 0.05 μm -10 μm aralığında gözenek ayırma boyutundadırlar. Bu membranlar, seramik, polimer ve sinterlenmiş seramik malzemelerden yapılmıştır (Cotruvo et al., 1998).

MF, su ve atık su arıtımı, gıda, biyoteknoloji, ilaç sanayi ve tıbbi uygulamaları içeren geniş uygulama alanlarında umut verici bir teknoloji olarak kabul edilmektedir. Bununla birlikte MF membranları, hizmet ömrü ve bununla

ilgili membran değişim maliyetleri gibi bazı sınırlamalara sahiptir (Starbard, 2008).

1.4.3. Ultrafiltrasyon (UF)

UF öncelikle boyut-dışlama temelinde itici gücü basınç olan membran ayırma işlemidir. UF membranları tipik olarak 2-50 nm aralığında gözenek boyutuna sahiptir ve sıvı (su) membran boyunca geçerken 3000-500000 Da moleküler aralığındaki türleri tutmaktadır (Kulkarni et al., 1992). Ultrafiltrasyon membranları gözenekli bir film tabakasına sahiptir. En önemli ultrafiltrasyon membran özellikleri, membran verimliliği (akı) ve ayırma derecesidir.

Bu membranların geçirgenlik özellikleri, büyük ölçüde kullanılan UF membranlarının gözenek boyutu dağılımı tarafından yönetilmektedir (Kulkarni et al., 1992).

1.4.4. Nanofiltrasyon (NF)

NF, moleküler veya iyonik türlerin giderimi yeteneği açısından ultrafiltrasyon ve ters ozmos arasında yer alan, itici gücü basınç olan bir membran işlemidir. NF membranları genellikle küçük organik molekül ve inorganik tuzlar için özellikle de çok değerlikli iyonlar da dahil olmak üzere iyi bir giderim sağlar (Drioli ve Giorno, 2009).

NF, genellikle kalsiyum ve magnezyum gibi suya sertlik özelliği veren iyonların giderilmesinden sorumlu olmasına rağmen, yüksek tuz gideriminin gerekli olmadığı uygulamalarda da kullanılmaktadır. NF membranları, genellikle tek değerlikli iyonların geçmesine izin veren fakat yüksek oranda çok değerlikli katyonların gideriminde yaygın olarak kullanılmaktadır (Asano et al., 2007). NF membranlarının çeşitli maddeler için giderim performansları Çizelge 1.5’de gösterilmiştir.

Çizelge 1.5 NF membranlarının giderim performansları (Bunani et al., 2013; Wong, 2003).

Madde	Giderim (%)
Toplam çözünen katılar	40–60
Toplam organik karbon	90–98
Renk	90–96
Sertlik	80–85
Sodyum klorür	10–50
Sodyum sülfat	80–95
Kalsiyum klörür	10–50
Magnezyum sülfat	80–95
Nitrat	10–30
Florür	10–50
Arsenik (+5)	< 40
Atrazin	85–90

1.4.5. Ters ozmos (RO)

RO veya hiperfiltrasyon, suyu geçiren fakat tuza karşı geçirgen olmayan membranlar kullanılarak gerçekleştirilen, tuzdan arındırma işlemidir. Çözünen tuzlar içeren basınçlandırılmış su, membranın besleme bölümü ile temas halindedir. Tuzdan arındırılmış su, düşük basınçlı süzüntü olarak membrandan çekilir (Baker, 2004). RO membranı, sıvıdaki pek çok iyonu ve çözünmüş diğer pek çok büyük bileşikler tutar ve bu işlem yüksek kalitede su sağlamak için kullanılmaktadır. Polimerik RO membranları, makroskopik bir gözenek yapısına sahip değildir fakat çözünenlerin çözündürebileceği polimer ağından meydana gelmektedir (Rijn, 2004).

1.4.5.1. RO işlemine ait temel prensipler

a) RO prensibi

Osmotik basınç şu şekilde tanımlanmaktadır:

$$\pi = -\frac{R \cdot T}{V_b} \ln(x_w) \quad (1.1)$$

Π , Osmotik basınç, V_b , suyun molar hacmi, X_w , suyun mol fraksiyonu ve R , ideal gaz sabitidir.

Seyreltik çözeltilerde ozmotik basınç, van't Hoff eşitliği kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$\pi = \frac{n_s}{V} R \cdot T \quad \text{veya} \quad \pi = C \cdot R \cdot T \quad (1.2, 1.3)$$

Çözeltilerde iyonların durumunu da gözönünde bulunduran Van't Hoff eşitliği şu şekilde yeniden yazılabilir:

$$\pi = i\phi C \cdot R \cdot T \quad (1.4)$$

i , Çözünenin iyonlarına ayrışması ile ortaya çıkan çözünenin her molündeki molekül ve iyonların sayısına eşdeğer olan ayrışma parametresidir. ϕ , sayılabilir non-idealiteyi içine alan düzeltme faktörüdür (Fritzman et al., 2006).

RO membran işlemlerinde, tuz ve su süzüntü akıları çözelti-difüzyon taşınma mekanizmasına göre tanımlanmaktadır. Su akısı, J_i basınç ve konsantrasyon değişimi aşağıdaki denklemler ile gösterilir (Baker, 2004):

$$J_i = A(\Delta P - \Delta \pi) \quad (1.5)$$

ΔP membrana karşı basınç farkıdır, $\Delta \pi$ membrana karşı ozmotik basınç diferansiyeli ve A sabittir.

Bu denklem göstermektedir ki, uygulanan düşük basınçta $\Delta P < \Delta \pi$ olduğu zaman normal ozmos ile seyreltik kısımdan membranın konsantre tuz çözeltisi tarafına su akar, $\Delta P = \Delta \pi$ olduğu zaman akış olmaz ve uygulanan basınç ozmotik basınçtan yüksek olduğunda $\Delta P > \Delta \pi$ ise, konsantreden membranın seyreltik tuz çözeltisi tarafına su akar.

RO membranına karşı tuz akısı J_j aşağıdaki denklem ile tanımlanmaktadır (Baker, 2004):

$$J_j = B(C_{j0} - C_{jl}) \quad (1.6)$$

B, tuz geçirgenlik sabiti, C_{j0} ve C_{jl} sırasıyla membranin besleme ve süzöntü bölümlerindeki tuz konsantrasyonlarıdır. Süzöntü içindeki tuz konsantrasyonu genellikle beslemedeki tuz konsantrasyonundan daha azdır ve bu nedenle eşitlik aşağıdaki gibi basitleştirilmiştir (Baker, 2004):

$$J_j = BC_{j0} \quad (1.7)$$

Uygulanan basıncın, su akısını etkilediği fakat tuz akısının basınçtan bağımsız olduğu anlaşılmaktadır. Bu, membranın basınç artışına karşı daha seçici olacağı anlamına gelmektedir (Baker, 2004).

Seçicilik pek çok yolla ölçülebilmektedir ancak geleneksel olarak, tuz giderimi R olarak belirtilmekte ve aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmaktadır (Baker, 2004):

$$R (\%) = \left[1 - \frac{C_{jl}}{C_{j0}} \right] \times 100 \quad (1.8)$$

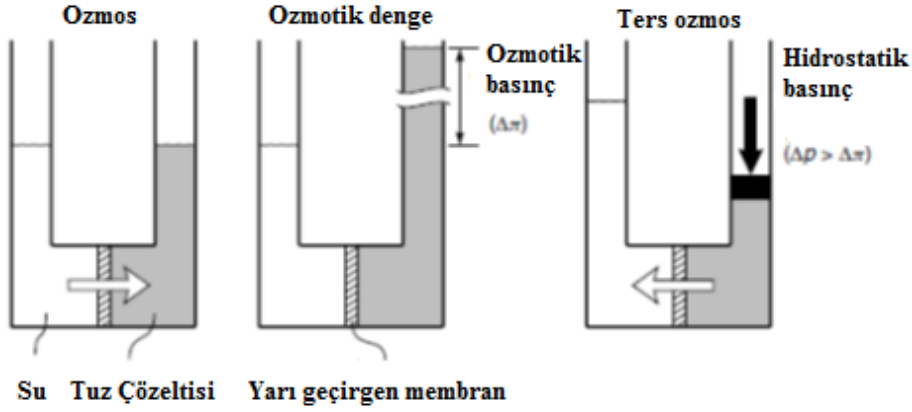
Membranın süzöntü tarafındaki tuz konsantrasyonunun membran akıları ile ilişkili olduğu aşağıdaki ifade ile belirtilmektedir:

$$C_{jl} = \frac{J_j}{J_i} \times \rho_i \quad (1.9)$$

ρ_i , su yoğunluğudur (g/cm^3). Denklem (1.1)'in (1.5)'e birleşmesi ile membran giderimi şu şekilde açıklanabilir (Baker, 2004):

$$R (\%) = \left[1 - \frac{\rho_i \cdot B}{A(\Delta P - \Delta \pi)} \right] \times 100 \quad (1.10)$$

Yarı geçirgen membran, çözünmüş madde içeren basınçlandırılmış bir besleme akımına maruz bırakıldığında, besleme bölgesi üzerinden uygulanan basınç, beslemenin ozmotik basıncından daha yüksek olmak zorundadır. Böylece çözücünün membran boyunca akması gerçekleşir (Şekil 1.5).



Şekil 1.5 RO işleminin şematik gösterimi (Baker, 2004).

b) RO membranları

İlk kez gerçekleştirilen RO çalışmalarının çoğu, deniz suyunun desalinasyonu için yapılmıştır. 500 ppm'den daha az tuz içeren kabul edilebilir bir süzüntü suyu üretmek için desalinasyon aşamasında %99.3'den daha yüksek bir tuz giderimi sağlanmalıdır. İlk geliştirilen RO membranları, 1500 psi'ye kadar çok yüksek basınçlarda çalıştırıldığı zaman bu hedef değere ulaşabilmektedir. Günümüzde, tuzdan arındırma işlemlerinde kullanılan membranların tuz derişimi daha yüksek olan besleme çözeltilerinin arıtımında kullanılabilecek türde membranlar olması istenmektedir. Bu uygulamalarda yaklaşık %99 tuz giderimi için membranlar 150-400 psi aralığındaki basınçlarda çalıştırılmıştır (Baker, 2004). RO membranlarının üretiminde kullanılan en yaygın iki polimer türü, poliamid ve selüloz asetatdır. Bu polimerlerden yapılan membranlar, performans, fiziksel özellikler, yapısal farklılığı içeren birçok yönden farklıdırlar. Bu özellikler aşağıda belirtilmiştir (Kucera, 2010).

Selüloz asetat membranlar

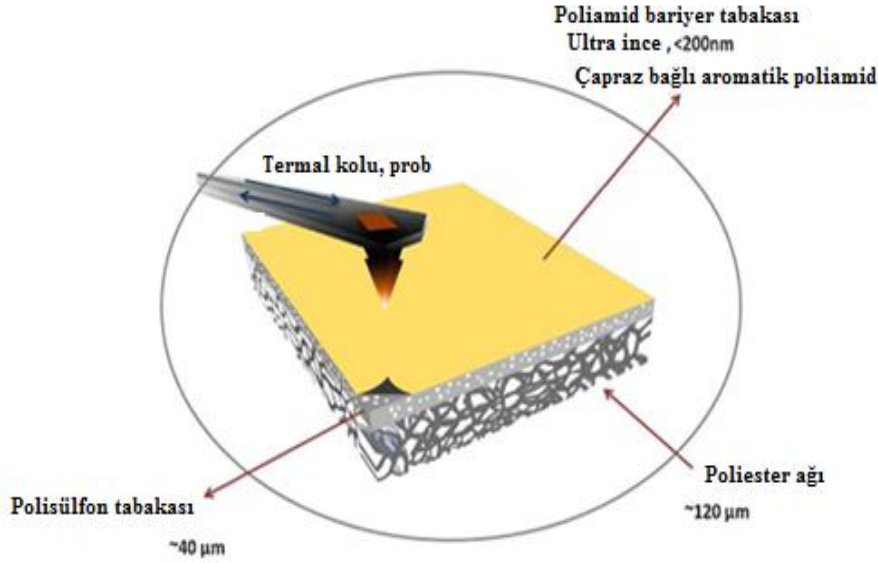
Selüloz asetat tipte membranlar, sıvı bazlı ayırma için kullanılan ilk membranlardan biridir. Asimetrik selüloz asetat membranlar, ters ozmoz ile tuzlu suyun desalinasyonu (tuzdan arındırma) için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu işlemler için selüloz asetat membran kullanmanın başlıca yararı, bu tür membranların kimyasal ve malzeme özelliklerinin uygun olmasıdır. Selüloz asetat membranların giderim yüzdesi ve akısı, daha sonra kompozit membranlar tarafından aşılmıştır. Bununla birlikte selüloz asetat membranlar hala az da olsa kullanılmaktadır çünkü sentezlenmeleri daha kolaydır. Selüloz asetat membranları

mekanik olarak dayanıklı, ayrıca klor ve diğer oksidanlar tarafından bozulmaya dirençlidir. Bu tür etkiler kompozit membranlar için bir sorun teşkil etmektedir. Selüloz asetat membranlar, 1 (mg/L) klor düzeyine kadar tolere edebilir bu nedenle klorlama besleme suyunu sterilize etmek için kullanılabilir ve bu besleme akışında büyük bir avantaj sağlar (Baker, 2004). Selüloz asetat membranların su ve tuz geçirgenliği, membran yapımı için kullanılan polimerin asetilasyon derecesine oldukça hassastır (Reid ve Breton, 1959; Rosenbaum et al., 1967; Lonsdale et al., 1965). Maalesef su geçirgenliği düşük bu membranlar, düşük su akısına sahiptir.

Poliamid membranlar

Aromatik poliamid, RO membranları için başka bir polimerik malzemedir. Aromatik poliamid polimerlerde, aromatik halkalar bir amid bağı ile bağlanmıştır ($-\text{CONH}-$). Aromatik halka meta değişimi ile $-\text{NH}-$ bağlanırken, halka polimerik malzemeye esneklik veren $-\text{CO}-$ meta ve para değişimi karışımı ile bağlanmıştır. Kompozit ince film membranların seçici tabakası pozisyonunda ara yüzey polimerizasyonu tarafından sentezlenen aromatik poliamid olduğundan, aromatik poliamid ters ozmos membranları için en önemli malzeme olmuştur (Khulbe et al., 2008).

Özellikle membran esaslı tuzdan arındırma işlemlerinde, düşük proses maliyeti nedeniyle ince film kompozit RO membranlarından yararlanılır. Kompozit ince film RO membranı genel olarak üç tabakadan oluşur: 200 nm veya daha az kalınlıkta çapraz-bağlı bir poliamid engelleyici tabaka, gözenekli bir destek tabakası (sıklıkla polisülfon) ve bir poliester ağıdır (Şekil 1.6). Polisülfon ve poliester tabakalarının her ikisi de, çapraz bağlı poliamid engelleyici tabaka için mekanik destek sağlar (Maruf et al., 2012).



Şekil 1.6 İnce film kompozit RO membranında tabakaların şematik gösterimi (Maruf et al., 2012).

c) RO modülleri

Endüstriyel uygulamalar için RO membranları nispeten küçük hacim içine büyük miktarda membran alanı paketlenen yapılandırmalar kullanılarak modularize edilmiştir. Membranların, geniş sistemden daha küçük modüller içine yerleştirilebilen bu tip konfigürasyon, proses maliyetini düşürür (Kucera, 2010). Dört ana türde membran modülü vardır: Plaka ve çerçeve, tubuler, spiral sarım ve oyuk fiber. Bu dört yapılandırma Çizelge 1.6'da özetlenmiştir.

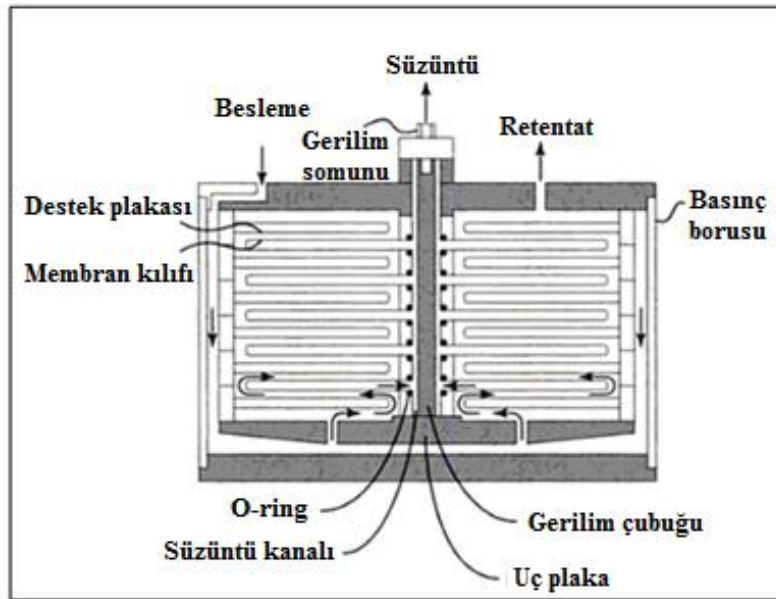
Çizelge 1.6 Membran modül konfigürasyonları (Signh, 2006).

Özellik	Plaka ve Çerçeve	Tubuler	Spiral Sarım	İçi Oyuk Fiber
Paketleme Yoğunluğu, ft^2/ft^3	45-150	6-120	150-380	150-1500
Kirlenme Potansiyeli	Orta	Düşük	Yüksek	Çok Yüksek
Temizleme Kolaylığı	İyi	Mükemmel	Zayıf	Zayıf
Bağlı İmalat Maliyeti	Yüksek	Yüksek	Orta	Düşük

Plaka ve çerçeve modülleri

Plaka ve çerçeve yapıda RO modülleri genellikle yüksek askıda katı giderimi için kullanılır. Bu modüller, düz tabaka içine modülerize edilmiş genellikle iki membranın her plaka arasına yerleştirildiği arka arkaya dizili düz levha membranlardan oluşmaktadır. Plakalar daha sonra destekleyici bir bölme içinde dizilir. Besleme ve ürün suyun akmasında kanallar açılmasını sağlayan, membranların birbirine yapışmasını önlemek için tasarlanmış aralama malzemeleri vardır (Kucera, 2010).

Plaka ve çerçeve modüller, artık sadece ED'de ve pervoparasyon sistemlerinde ve sınırlı sayıda yüksek kirlilikteki besleme ile RO ve UF uygulamalarında kullanılmaktadır. Besleme çözeltisi, serideki her plaka üzerine yönlendirilir (Şekil 1.7). Süzüntü, membran kısmına girer ve merkez süzüntü toplama kanalı yoluyla toplanır (Baker, 2004).

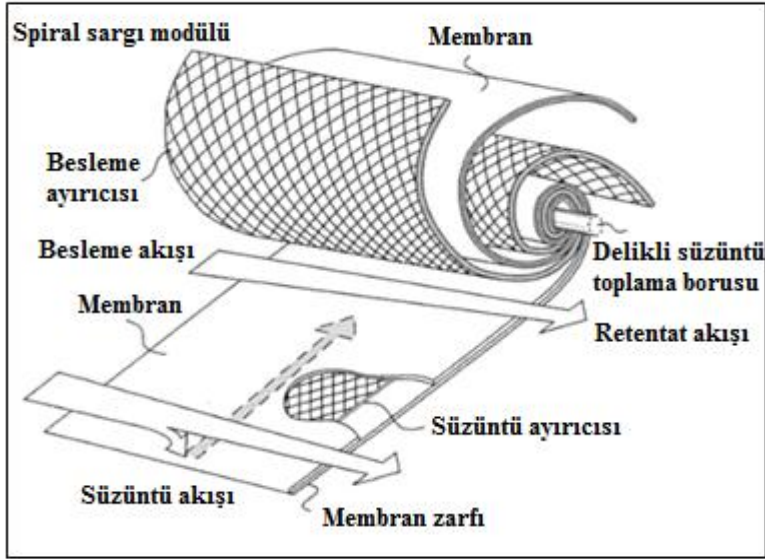


Şekil 1.7 Bir plaka ve çerçeve modülünün şematığı (Baker, 2004).

Spiral sarım modülü

Temel olarak spiral sarım elementleri, polimer takviyeli malzemesi olan bir oluk tarafından ayrılan iki tabaka membrandan oluşmaktadır. Bu yapı, hem çalışma basıncına karşı membranı destekler, hem de ürün suyu için bir çıkış yolu

sağlar (Porter, 1990). Şekil 1.8’ de gösterilen spiral sarım modülleri, RO için dizayn edilen en yaygın modüllerdir (Baker, 2004).

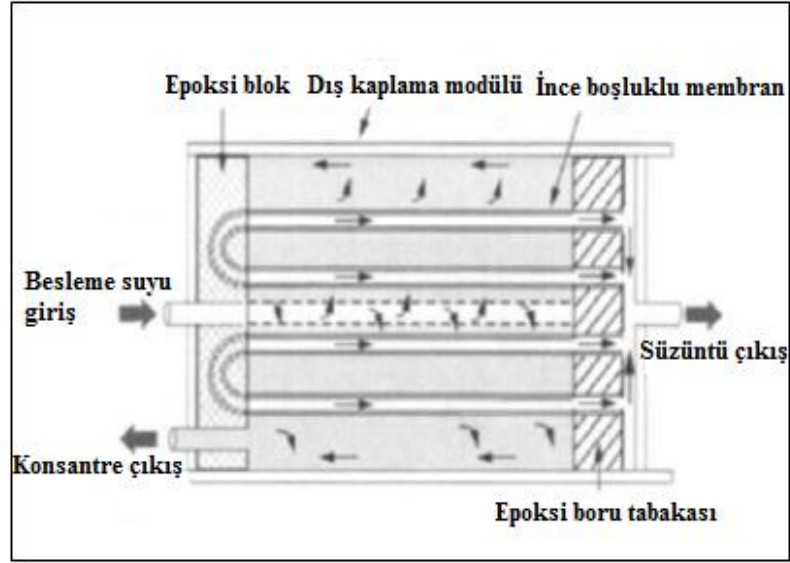


Şekil 1.8 Spiral sarım modülünün şeması (Baker, 2004).

Oyuk fiber modül

Oyuk fiber membranlar, polietersülfon, polisülfon, polipropilen, poliviniliden florür ve selüloz esterleri içeren çeşitli polimerlerden yapılmaktadır. Bu lifler genellikle, orta kesme oranları ile laminar akışı sağlayan 0.2-1.8 mm aralığında iç çaplara sahiptir (Şekil 1.9) (Reis ve Zydney, 2007).

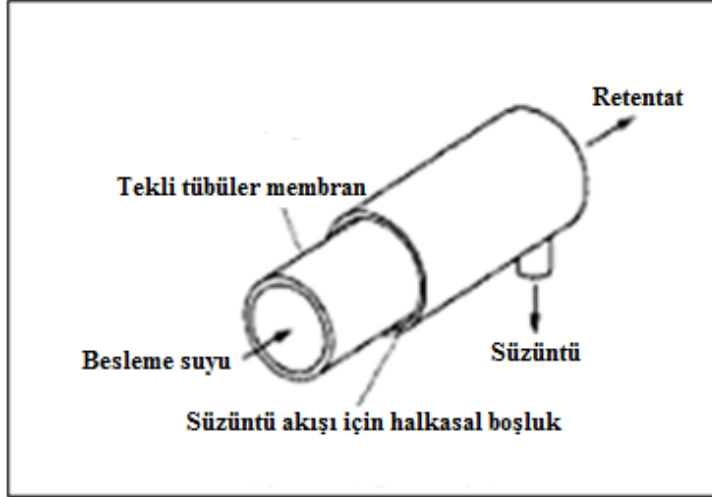
Bu fiberler, çalışma basıncına dayanmak için gerekli olan mukavemete sahip, kalın duvarlı silindirlere sahiptir. Bu tür modüller, yüksek paketleme yoğunluğuna sahiptir; fakat süzüntü akışı düz tabaka membranlardan önemli ölçüde daha düşüktür (Porter, 1990).



Şekil 1.9 Oyuk fiber RO membran modülünün basitleştirilmiş enine kesiti (Kucera, 2010).

Tubuler modül

Boru şekilli konfigürasyonda, membran bir destek borusunun içine kalıplanmıştır. Bir dizi tüpler (ya tek başına ya da bir paket içinde) daha sonra uygun basınçlı kanal içine yerleştirilmektedir. Besleme suyu besleme kanalına doğru pompalanmaktadır ve ürün suyu tüplerin çıkışında toplanmaktadır. Alıkonulan bileşen (retentate), besleme tübü içinden akmaya devam eder (Şekil 1.10). Tubuler birimlerin temizlenmesi kolaydır ve bu işlem membran boyunca sirküle edilen kimyasallar ile gerçekleştirilir. Tubuler ünite, hacimlerine kıyasla nispeten daha düşük bir ürün verimi ile üretilmektedir ve bu tür membranlar genellikle daha pahalıdır (Asano et al., 2007).



Şekil 1.10 Tekli tübüler membran (Asano et al., 2007).

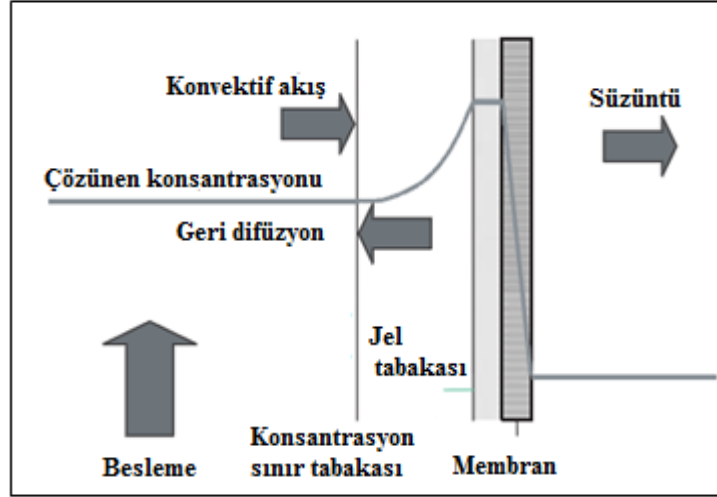
1.4.5.2. Konsantrasyon polarizasyonu ve membran kirlenmesi

Membran filtrasyon işlemlerinde, membran direncindeki artış pek çok sayıda faktörden kaynaklanmaktadır (Judd, 2006). Bu faktörler;

- 1) Membran yüzeyine yakın alıkonulan çözünen madde derişimi,
- 2) Membran yüzeyinde az çözünür makromolekül türlerinin çökmesi (jel tabaka formasyonu),
- 3) Membran üzerinde kalmış katı maddelerin birikimi (kek tabakası oluşumu).

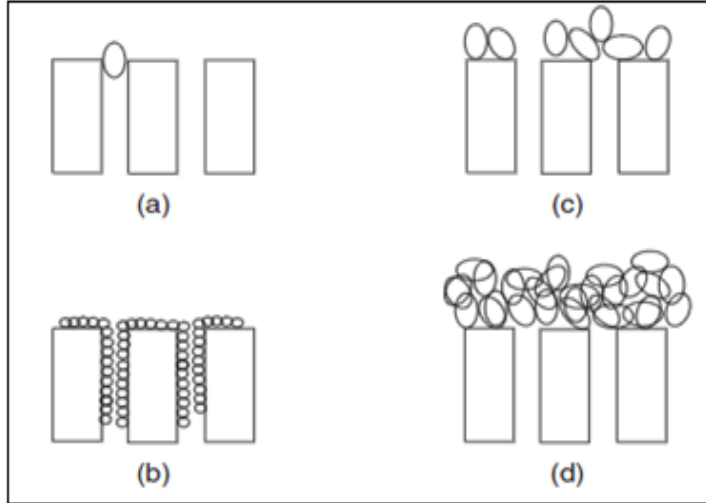
Yukarıda bahsedilenlerin hepsi membran kirlenmesine katkıda bulunur. Konsantrasyon polarizasyonu Şekil 1.11’de açıklanmıştır (Judd, 2006).

Membran kirlenmesi, süzöntü akış düşüşünün ve RO sistemlerindeki ürün kalite kaybının ana nedenidir. Bu nedenle kirlenme kontrolü, RO sistem tasarımında ve işletilmesinde önemlidir. Kirlenmenin nedeni ve önlenmesi, büyük ölçüde artırılan besleme suyunun kalitesine bağlıdır ve uygun kontrol prosedürleri işletmenin her bir aşaması için tasarlanmalıdır.



Şekil 1.11 Konsantrasyon polarizasyonu (Judd, 2006).

Genel olarak, kirlenme kaynakları dört ana kategoriye ayrılmaktadır: Çökelek oluşumu, alüvyon, bakteri ve organik madde. Birden fazla kategori aynı esnada da ortaya çıkabilir (Baker, 2004). Çökelek oluşumuna, besleme suyu içinde çözünen metal tuzlarının membran yüzeyinde çökmesi neden olur. Alüvyon, membran yüzeyi üzerinde biriken her türlü asılı partikül tarafından oluşturulur. Tipik alüvyon kaynakları, organik kolloidler, demir korozyon ürünleri, çöken demir hidroksit, yosun ve ince partiküllü maddelerdir (Baker, 2004). İlk filtrasyon çalışmalarında tespit edildiği gibi, filtrasyon bir seri kirlenme mekanizmasıyla ilerler (Grace, 1956). Bu mekanizmalar: tamamen tıkanma, standart tıkanma, orta düzeyde tıkanma ve kek filtrasyonudur (Şekil 1.12).



Şekil 1.12 Kirlenme mekanizmaları (a) tamamen tıkanma, (b) standart tıkanma, (c) orta düzeyde tıkanma, (d) kek filtrasyonu (Grace, 1959).

1.4.5.3. Membran temizliği

Membranlar fiziksel veya kimyasal yöntemlerle temizlenebilir. Fiziksel temizleme yöntemleri, membran yüzeyinden kirleticileri çıkarmak ve uzaklaştırmak için mekanik olarak uygulanır. Kullanılan fiziksel yöntemler: ileri yıkama, ters yıkama, geri yıkama, titreşimler, hava geçirme ve CO₂ geçirilmesidir (Ebrahim, 1994). Kimyasal temizleme yöntemleri, kirleticiler ve membran yüzeyi arasında adhezyon kuvvetleri ve kirleticiler arasındaki kohezyon kuvvetlerini zayıflatmak için uygulanan kimyasal reaksiyonlara bağlıdır. Temizlemeyi oluşturan kimyasal reaksiyonlar: hidroliz, peptitleşme, sabunlaştırma, çözündürme, dağılım ve şelatlaştırmadır (Trägårdh, 1989).

RO membranları için fiziksel, kimyasal ve fiziko-kimyasal temizleme yöntemleri üzerinde gerçekleştirilen detaylı araştırma olmadığı belirtilmektedir (Ebrahim, 1994; Bartlett et al., 1995). Çeşitli kirlenme kontrol basamaklarını incelemek için, daha sistematik bir çalışma gereklidir (Sheikholeslami, 1999). Membran temizleme etkinliği, temizleme sırasının yanı sıra; hidrodinamik koşullar, derişim ve kimyasal temizleme sıcaklığı gibi birden çok parametrenin bir fonksiyonudur. Öte yandan, sıcaklık ve pH gibi bazı parametrelerin temizleme etkinliği üzerinde çok doğrusal olmayan etkilere sahip olduğu vurgulanmıştır (Chen et al., 2003).

1.4.5.4. RO işlem performansları

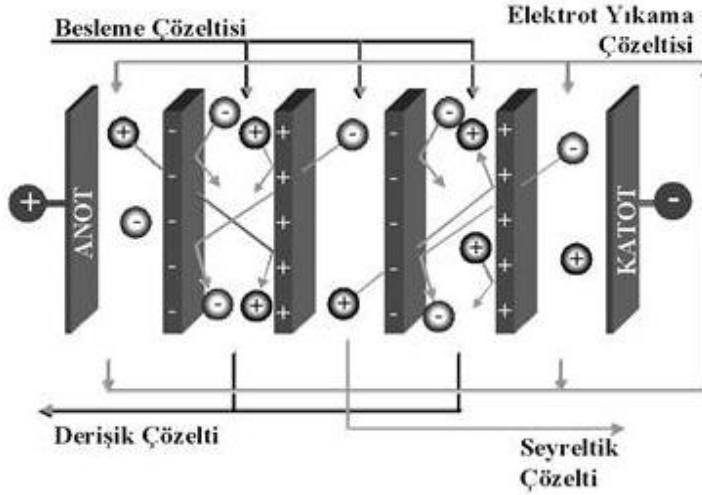
Ham sudan ekmek üretimine uygun nitelikte su üretiminde, ham su içindeki çözünmüş bileşenlerin giderimi için RO, UF veya MF gibi filtrasyon yöntemleri kullanılmaktadır. Çözünen bileşenlerin giderimine göre RO işlem performansı, arıtılacak suyun özellikleri, kullanılan membran türü ve işletme stratejilerinin özellikleri ile ilgili olarak değerlendirilir (Asano et al., 2007). RO tarafından sudaki bazı bileşenlerin tipik giderilme yüzdesi, Çizelge 1.7’de gösterilmiştir.

Çizelge 1.7 RO arıtımı için tipik performans değerleri (Wong, 2003).

Bileşen	Giderim (%)
Toplam çözünen katılar	90–98
Toplam organik karbon	90–98
Renk	90–96
Sertlik	90–98
Sodyum klorür	90–99
Sodyum sülfat	90–99
Kalsiyum klorür	90–99
Magnezyum sülfat	95–99
Nitrat	84–96
Florür	90–98
Arsenik (+5)	85–95
Atrazin	90–96

1.5. ED ile Konsantre Bileşen’in Arıtımı

Elektrodiyaliz (ED), elektrokimyasal bir prosestir. ED hücresi anot ve katot arasına anyon ve katyon değiştirici membranların yan yana dizilmesi ile oluşturulmuştur. Bu sisteme potansiyel uygulandığında; anyonlar pozitif yüklü anyon değiştirici membran içinden geçerek anoda, katyonlar ise negatif yüklü katyon değiştirici membrandan geçerek katoda doğru hareket ederler. Bu süreç sonunda bazı bölmelerde iyon derişimi artarken diğer bölmelerde ise eşdeğeri oranında iyon derişiminde azalma olur. ED’in akış şeması Şekil 1.13’de gösterilmiştir (Yörükoğlu et al., 2011).

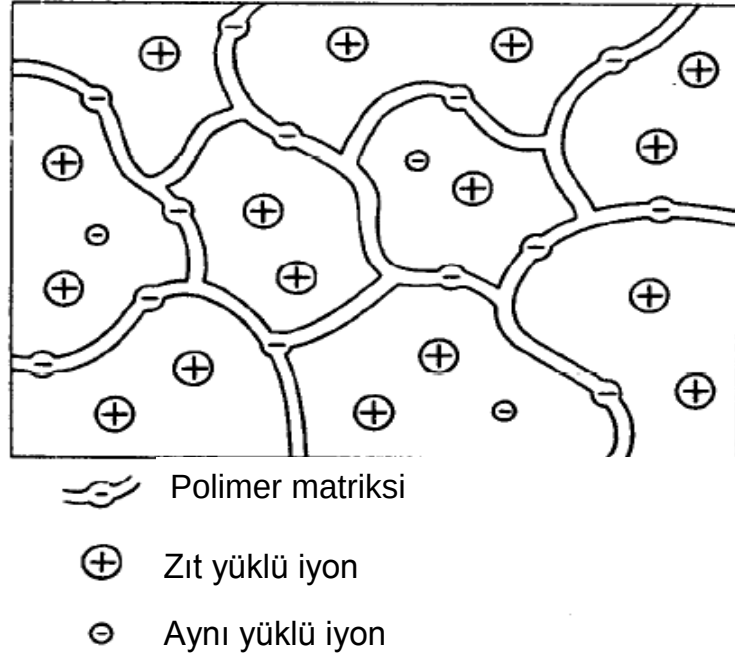


Şekil 1.13 ED akış şeması (Yörükoğlu et al., 2011).

1.5.1. ED yönteminde kullanılan iyon değiştirici membranlar

Bu tip membranlar yüksek yoğunluklu veya mikro gözenekli olabilir, ancak çoğunlukla çok ince mikro gözeneklere sahiptir ve gözenek duvarları pozitif veya negatif yüklü iyonlar taşır. Sabit yükün işaretine bağlı olarak anyonik, ya da katyonik olarak adlandırılırlar. Katyon değiştirici membranlar, katyonların geçişine izin verip, $-\text{SO}_3^-$, $-\text{COO}^-$, $-\text{PO}_3^{2-}$, $-\text{PO}_3\text{H}^-$, $-\text{C}_6\text{H}_4\text{O}^-$ gibi sabit negatif yüklü gruplar içerir. Anyon değiştirici membranlar ise, anyonları geçirip, $-\text{NH}_3^+$, $-\text{NRH}_2^+$, $-\text{NR}_3^+$, $-\text{PR}_3^+$, $-\text{SR}_2^+$ gibi katyonları geri iten sabit pozitif yüklü gruplar içerir (Yörükoğlu et al., 2011).

Ayrırma işlemi, çözeltideki iyonların yük ve derişimine göre gerçekleşir. Yüklü membranlarla ayrırma işlemi, membran yapısındaki sabit iyonlarla aynı yüke sahip iyonların dışarıda tutulmasıyla gerçekleştirilir. İyon değiştirici membranlar elektrolitik çözeltilerin artılmasında kullanılır. Şekil 1.14’de negatif yüklü grupların kimyasal olarak polimer zincirlerine bağlandığı bir katyon değiştirici membranın yapısı gösterilmiştir (Yörükoğlu et al., 2011).



Şekil 1.14 Katyon değiştirici membranın yapısı (Yörükoğlu et al., 2011).

Bağlı gruplara zıt yüklü olan iyonlar bu kısımlarda değişebilirler. Zıt yüklü iyonların derişimi (örneğin Na^+) oldukça yüksektir bu yüzden zıt yüklü iyonlar elektrik akımının çoğunu membran içinden taşırlar. Polimer zincirlerine bağlı olan iyonlar aynı yüklü iyonların geçişini engeller. Bağlı iyonların derişimi çok düşük olduğu için uygulanan akımın çok küçük bir miktarının membran içinden geçişini sağlarlar (Yörükoğlu et al., 2011).

İyon değiştirici polimerler suda bir miktar çözünabildiklerinden, çapraz bağlanma, iyon değiştirici membranların çözünmesini önlemek için gereklidir. Çapraz bağlanmanın derecesi ve bağlı yük yoğunluğu membranların özelliklerini zıt yönde etkiler. Yüksek çapraz bağlanma seçimliliği ve membran kararlılığını artırır. Yüksek çapraz bağlanma şişmeyi azaltır bu da membranın elektriksel direncinin artmasına neden olur. Membrana bağlı iyon derişiminin artması elektriksel direnci düşürür ve seçimliliği artırır. Bağlı iyon derişiminin artması membranın şişme kapasitesini arttırdığı için yüksek çapraz bağ derecesi gerektirir. Sonuç olarak bağlı iyon derişiminin artması, seçimlilik, elektriksel direnç ve boyutsal kararlılık arasında uyum, çapraz bağlanmanın ve bağlı yük yoğunluğunun uygun şekilde gerçekleştirilmesi ile başılır (Yörükoğlu et al., 2011).

1.6. Çalışmanın Amacı

Bu çalışma kapsamında, İzmir’ de faaliyet gösteren bir ekmek fabrikasından artezyen (ham su) ve ara kademe su numunesi alınmıştır. Ham su ve ara kademe sudan, ekmek üretiminde kullanılacak kalitede uygun nitelikte ürün su kalitesine ulaşabilmek için ters ozmos (RO) ve nanofiltrasyon (NF) membranları kullanılmıştır. Bu aşamada, çapraz akışlı düz tabaka membran test ünitesi (SEPA CF-II) kullanılarak farklı tipte membranlar test edilmiştir. Kullanılan membran tipinin, ürün su kalitesi üzerine etkisi incelenmiş ve membran performansları karşılaştırılmıştır. Ürün suyu kalite değerleri, ekmek üretimine uygun kalitede ‘İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmelik’ değerleri ile karşılaştırılmıştır.

İzmir’ de faaliyet gösteren ekmek fabrikasından alınan RO çıkışı atık suya (konsantre) elektrodializ (ED) işleminin uygulanması ile RO konsantre bileşeninden suyun geri kazanılması incelenmiştir.

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Ham Su ve Ara Kademe Suyun Özellikleri

Deneyler için kullanılan ham su ve ara kademe suyu İzmir’ de faaliyet gösteren bir ekmek fabrikasından temin edilmiştir. Ara kademe suyu, ekmek fabrikasında bulunan RO arıtım sisteminin ön arıtım kademesinde bulunan kum filtre, aktif karbon filtre ve kartuş filtreden geçirildikten sonra elde edilmiştir. Ham su, ara kademe suyu ve RO çıkışı suyun özellikleri Çizelge 2.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1 Ekmek fabrikasından alınan ham su, ara kademe suyu ve RO ile arıtılan suyun özellikleri.

	Ham su	Ara Kademe Suyu	RO Süzöntü Suyu
pH	8.09	7.95	6.25
İletkenlik ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	970.0	919.0	18.3
TÇK (mg/L)	485.0	460.0	9.20
Tuzluluk (psu)	0.51	0.48	0.02
Renk (Hz)	8.5	7.0	2.9
NO_2^- (mg/L)	0.020	0.020	0.007
HCO_3^- (mg/L)	10.0	10.0	0.5
TOK (mg/L)	34.82	29.12	1.590
KOİ (mg/L)	12.0	11.8	< 4.0
Si (mg/L)	122.0	85.0	0.25
Bor (mg/L)	0.85	0.60	0.40
Ca^{2+} (mg/L)	48.0	45.0	0.62
Na^+ (mg/L)	205.0	164.0	8.0
K^+ (mg/L)	23.0	10.0	0.79
Mg^{2+} (mg/L)	24.0	21.0	0
NH_4^+ (mg/L)	0.191	0.190	0.12
NO_3^- (mg/L)	0.56	0.78	0.24
$\text{PO}_4\text{-P}$ (mg/L)	0.27	0.24	< 0.05
Cl^- (mg/L)	112.0	100.0	< 2.5
SO_4^{2-} (mg/L)	18.0	15.0	< 5.0
Bulanıklık (NTU)	0,96	0,91	0.18

2.2. Membranlar

Sepa CF-II membran test hücresinde, 140 cm^2 (22-inç²) etkin membran alanı için 19 cm x 14 cm (7.5-inç x 5.5-inç) boyutlarında düz tabaka membran yerleştirilerek testler gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada 2 farklı NF ve 2 farklı RO membranı ile deneyler yapılmıştır.

NF membranı olarak HL-NF ve DL-NF membranları kullanılmıştır. RO membranlarından CK-RO ve BW30-RO membranları kullanılmıştır.

Matematiksel olarak, bazı temel hesaplamalar aşağıdaki eşitlikler kullanılarak yapılmıştır:

Akı: Birim alan başına saatte toplanan süzüntü hacmi olarak tanımlanmaktadır (Osmonics, 2001):

$$Akı = \frac{\text{Süzüntü Hacmi (L)}}{\text{Membran Alanı (m}^2\text{)} \times \text{Zaman (saat)}} \quad 2.1$$

Membran Geçirgenliği: Görünen bir membran geçirgenliği (L_p), görünen konsantrasyon polarizasyonu düzeltilmesi ihmal edildiğinde elde edilir (Osmonics, 2001):

$$(L_p)_{\text{görünen}} = \frac{J_v}{\Delta P - \pi_b} \quad 2.2$$

π_b : Çözeltinin ozmotik basıncı, bar J_v : Süzüntü Akısı, L/m².saat , ΔP : Membrana karşı uygulanan diferansiyel basınç, bar.

2.2.1. HL-NF ve DL-NF membranları

GE Osmonics HL-NF ve DL-NF membranları, aromatik poliamid ince-film kompozit membranlardır. NF membranlarının başlıca özellikleri, Çizelge 2.2’de özetlenmiştir.

2.2.2. CK RO membranı

GE Osmonics CK-RO membranı selüloz asetat seçici bir tabakaya sahiptir. Fonksiyonel grupları hidroksil ve asetattır. Film kalınlığı yaklaşık olarak 3.3 mm’dir. Formal yüke sahip değildir. 50 psi çalışma basıncında saf su akısı 300 gfd’dir. Bu membran klor toleranslıdır. Düz tabaka CK RO membranının başlıca özellikleri Çizelge 2.3’de verilmiştir (Sharp, 2004).

Çizelge 2.2 Düz tabaka NF membranlarının özellikleri (GE Osmonics Water & Process Technologies, 2014).

Membran Türü	HL	DL
Üretici	GE Osmonics	GE Osmonics
Materyal	İnce Film Materyal	İnce Film Materyal
Maksimum Çalışma Sıcaklığı	50 °C	50 °C
Maksimum Çalışma Basıncı	41 bar	41 bar
pH Aralığı, Sürekli Çalışma	3-9	3-9
Maksimum Besleme Çökelti Yoğunluğu Endeksi	SDI < 5	SDI 5
Maksimum Klor konsantrasyonu	Saatte 1000 ppm	Saatte 500 ppm
Minimum Tuz Giderimi ^{1,2}	% 95	% 96
Moleküler Ağırlıklı Kesme Sınırı	150-300	150-300

¹ 24 saat çalışmadan sonra ortalama tuz giderimi,

² Deneme koşulları: 760 işletme basıncında 2000 mg/L MgSO₄ çözeltisi, 25 °C, pH 7.5 ve %15 geri kazanım.

Çizelge 2.3 Düz tabaka CK RO membranının özellikleri (Sharp, 2004).

Membran Türü	CK
Üretici	GE Osmonics
Materyal	Selüloz Asetat
Maksimum Çalışma Sıcaklığı	< 30 °C
Çalışma Basıncı	14 bar
Tipik İşletme Akısı	10-20 gfd
pH Aralığı, Sürekli Çalışma	5- 6.5

2.2.3. BW30-RO membranı

DOW FİLMTEC BW30-RO membranı, aromatik poliamid ince-film kompozit membranıdır ve yüksek kalitede süzüntü (arıtılmış su) sağlar. BW30-RO membranının başlıca özellikleri Çizelge 2.4’de verilmiştir.

Çizelge 2.4 Düz tabaka BW30-RO membranının özellikleri (Dow Water and Process Solutions, 2014).

Membran türü	BW30-RO
Üretici	DOW FİLMTEC
Materyal	İnce-Film Kompozit
Maksimum Çalışma Sıcaklığı^a	45 °C
Maksimum Çalışma Basıncı	41 bar
pH Aralığı, Sürekli Çalışma^a	2-11
Süzüntü Akış Hızı	43 m ³ /gün
Maksimum Besleme Çökelti Yoğunluğu Endeksi	SDI 5
Serbest Klor Toleransı^b	< 0.1 mg/L
Stabilize Tuz Giderimi	% 99.5
Minumum Tuz Giderimi^c	% 99

^aYukarıdaki maksimum sıcaklık, sürekli çalışma için pH 10' da 35°C' dir.

^b Belirli koşullar altında, serbest klor ve diğer oksitleyici ajanlar erken membran bozulmasına neden olur.

^c Deneme koşulları: 2,000 mg/L NaCl, 15.5 bar, 25°C, pH 8 ve %15 geri kazanım.

2.3. Kimyasallar

KOİ, fosfat-P, nitrat-N, amonyum-N, nitrit-N ve silisyum analizleri için hazır kimyasallar kullanılmıştır. Sülfat ve klorür analizlerinde kullanılan kimyasallar iyon kromatografisi için mobil faz hazırlamak ve pH ayarı içindir. 0.0511 M HCl, HCO₃⁻ titrasyon analizi için kullanılmıştır. Kullanılan kimyasallar aşağıda listelenmiştir:

- Spectrokuant KOİ Test kitleri (Merck)
- Spectrokuant Fosfat Test kitleri (Merck)
- Spectrokuant Nitrat Test kitleri (Merck)
- Spectrokuant Nitrit Test kitleri (Merck)
- Spectrokuant Amonyum Test kitleri (Merck)
- Spectrokuant Silikat Test kitleri (Merck)
- Vanilik Asit (C₈H₈O₄), > 98% (İyon kromatografisi için)

- N-Metildiethanolamin ($C_5H_{13}NO_2$), % 99, d: 1.038 g/mL (İyon kromatografisi için)
- HCl (0.0511 M)
- Azometin-H çözeltisi
- Asetik asit/asetat tampon çözelti
- Askorbik asit
- Ulta saf su (Milli-Q).

Çizelge 2.5 Kitlerin ölçüm aralığı.

Kit türü	Ölçüm hücresi	Ölçüm aralığı (mg/L)
KOİ Testi	Hücre Testi (14560)	4.0 – 40.0
	Hücre Testi (14540)	10 – 150
Fosfat Testi (PO_4 -P)	Hücre Testi (14543)	0.05 – 5.00
	Hücre Testi (14729)	0.50 – 25.0
Nitrit Testi (NO_2 -N)	10mm	0.02 – 1.00
	50mm	0.002 – 0.200
Nitrat Testi (NO_3 -N)	10mm	1.0 – 25.0
	50mm	0.10 – 5.00
Amonyum Testi (NH_4 -N)	10mm	0.05 – 3.00
	50mm	0.010 – 0.500
Silikat Testi (Si)	10mm	0.50 – 50.0
	50mm	0.005 – 0.750

2.4. Çapraz Akışlı Membran Test Sistemi

Deneyisel çalışmalarda laboratuvar ölçekli çapraz akışlı düz tabaka membran test ünitesi (SEPA CF II GE Osmonics) kullanılmıştır.

SEPA CF II membran elemanı hücresi doğru ve hızlı performans verileri ile minimal ürün miktarı, masraf ve zaman sağlar. Bu tasarım daha büyük, ticari olarak temin edilebilen membran elemanlarının akış dinamiklerini simüle eder.

Düz tabaka membran ünitesi, kontrol paneli, hidrolik el pompası, yüksek basınç pompası ve besleme tankları Şekil 2.1’de görüldüğü gibi özel imal edilen paslanmaz çelik masa üzerine yerleştirilmiştir.



Şekil 2.1 Laboratuvar ölçekli çapraz akışlı düz tabaka membran test ünitesi.

Besleme tankında bulunan ham su, yüksek basınç pompası vasıtasıyla (Hydra Cell D/G-03-X Tipi) hücre gövdesinin altında bulunan noktadan RO membran test ünitesine pompalanmaktadır. Ham su, test hücresi içine membran yüzeyine teğet olarak giriş yapmaktadır. Ham suyun bir kısmı membran içinden süzülerek, ürün su (süzüntü) olarak hücre gövdesinin üstünde bulunan toplayıcı kanalı ile yüzeye çıkar. Ürün su, hücre gövdesinin üst kısmında bulunan üretim çıkış hattından alınır. Ham suyun membran yüzeyinden geçemeyen kısmı (konsantre) ise, konsantre vanası ile kontrol edilen konsantre hattı ile sistemden alınır. Süzüntü ve konsantre besleme tankına geri gönderilir. Membran hücre basıncı ve konsantre akış hızı, konsantre vanası yardımıyla ayarlanır.

Deneyler sabit basınç altında (10 bar), BW30-RO, CK-RO, HL-NF ve DL - NF membranları için 6 saat süresince gerçekleştirilmiştir. Deney süresince, süzüntü ve konsantre, besleme tankına geri beslenerek, sabit 20 L'lik besleme hacmi ve sabit konsantre akış hızında (96 L/saat) çalışılmıştır. Her 30 dakikada bir sıcaklık, akış hızı, iletkenlik, toplam çözünmüş katı miktarı (TÇK) ölçümü için süzüntüden, konsantreden ve besleme tankından örnekler alınmıştır. Diğer tüm analizleri gerçekleştirmek için ise belirli dakikalarda, 200 mL'lik numune kaplarına su örnekleri toplanmıştır.

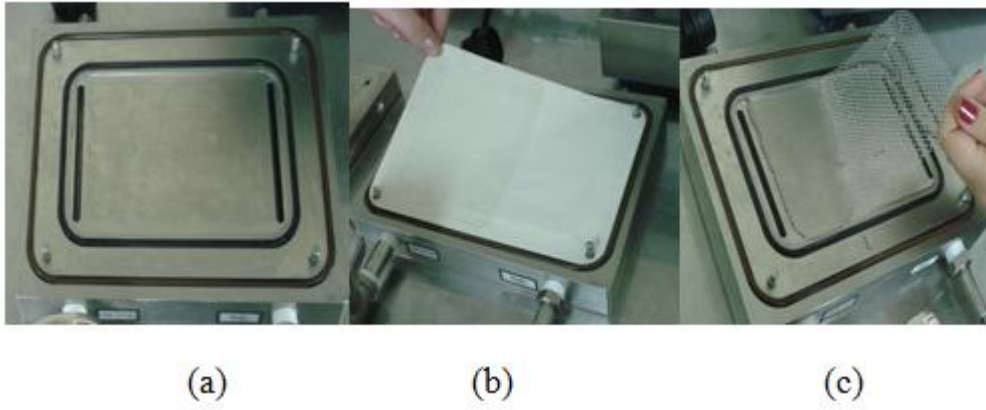
2.4.1. Düz tabaka membran test ünitesi

Membran ünitesi hücre alt gövdesi, hücre üst gövdesi ve hücre tutucudan oluşmaktadır.

- **Hücre alt gövdesi:**

Hücre alt gövdesi üzerinde o-halkalar, (Şekil 2.2a), düz tabaka membran, (Şekil 2.2b) ve besleme ayırıcısı (Şekil 2.2c) vardır.

O-halkalar sistemden sızıntıyı önlemek amacıyla oluklar içinde düz olmalıdır. Besleme ayırıcıları hücre alt gövdesinin merkez boşluğuna yerleştirilmiştir ve düz olarak uzanmaktadır. Besleme ayırıcısı kullanılarak membranın sisteme direkt teması önlenmiştir.



Şekil 2.2 Hücre alt gövdesi a) o-halkalar ve işaret direği, b) membran, c) besleme ayırıcısı.

İşaret direklerini kullanarak (Şekil 2.2a) membran, gövde üzerinde güvenilir bir pozisyonda tutulabilir. Genelde, substrat üzerine kaplanmış membranlar parlak, aktif bir yüzeye sahiptir. Membran, besleme ayırıcısına doğru parlak ve aktif yüzeyi aşağı gelecek şekilde yerleştirilmiştir.

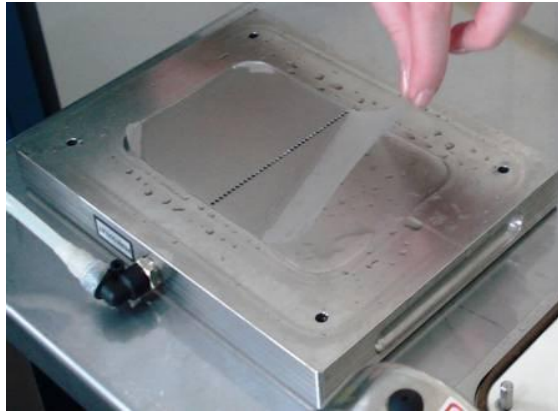
Konsantre vanası ve konsantre manometresi hücre alt gövdesi ile bağlantıya sahiptir. Konsantre hücrenin çıkışına monte edilen paslanmaz çelik konsantre akış kontrol valfi, membran yüzeyi üzerine doğru akış ve basınç kontrolünü sağlar.



Şekil 2.3 Konsantre vanası ve konsantre manometresi.

- **Hücre üst gövdesi:**

Süzüntü taşıyıcı, hücre üst gövdesi üzerine yerleştirilmiştir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 Hücre üst gövdesi ve süzöntü taşıyıcısı.

- **Hücre tutucu**

Monte edilmiş hücre gövdesi, hücre tutucu içine yerleştirilmektedir (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 Hücre tutucu.

2.4.2. Hidrolik el pompası

Hidrolik el pompası, (Enerpac, maksimum basınç 69 bar) hücre tutucuyu basınç altında tutmak için kullanılmaktadır (Şekil 2.6). Hidrolik el pompası mekanizması, hücreyi hızlı bir şekilde kapatır ve mükemmel bir sızdırmazlık sağlamak için homojen bir basınç sağlar.



Şekil 2.6 Hücre tutucu ve hidrolik el pompası.

Çizelge 2.6'da düz tabaka membran test ünitesinin çalışma parametreleri verilmiştir.

Çizelge 2.6 Membran test ünitesi çalışma parametreleri.

Etkin Membran Alanı (cm²)	140
Tutma Hacmi (L)	70
Maksimum Basınç (bar)	69
Maksimum Sıcaklık (°C)	177
pH Aralığı	Membrana bağlı
Çapraz Akış Hızı	Değişken (Şekil 2.7)

SEPA CF II membran elemanı hücresi, hücre gövdesine gerçek sıvı akışını sınırlamak üzere tasarlanmıştır. Tutucu, normal çalışma boyunca çözelti ile temas etmez. Tutucu, çözeltinin dökülmesi nedeniyle oluşabilecek oksidasyon ve korozyonu önlemek için yüksek dereceli anodize alüminyumdan yapılmıştır. Genelde kimyasal uyumluluğu sadece hücre gövdesi ile ilgili, tutucu ile ilgili değildir. Test ünitesinin malzemeleri Çizelge 2.7’de verilmiştir. Çizelge 2.8’de düz tabaka membran ünitesi boyutları ve ağırlıkları verilmiştir. Membran, besleme ayırıcısı, süzöntüler, o-halkalar ve hücre gövdesinin tesisat malzemeleri, maksimum sıcaklıkları belirlemektedir (Çizelge 2.9).

Çizelge 2.7 Test ünitesinin malzemeleri.

Membran Ünite Bölümü	Materyal
Hücre gövdesi	Paslanmaz çelik
Tutucu	Anodize Alüminyum
Konsantre akış kontrol vanası	Paslanmaz çelik
Konsantre basınç ölçer	Paslanmaz çelik
O-halkalar	Viton

Çizelge 2.8 Düz tabaka membran test ünitesi bölümlerinin boyutları ve ağırlıkları.

Makine Bölümü	Bölüm Boyutları(cm)	Bölüm Boyutlarının Ağırlığı (kg)
Hücre gövdesi	16.51 x 21.3 x 5.0	28
Tutucu	20 x 28 x 20	21
Membran	19.1 x 14.0	0.5
Süzöntü Taşıyıcı	14.6 x 9.5	0.5

Çizelge 2.9 Üst sıcaklık limitleri.

Hücre	177°C
Membran Elemanı	Değişken
Besleme Ayırıcısı	82°C
Süzüntü Taşıyıcısı	82°C

2.4.3. Besleme tankı

Maksimum 50 L kapasiteli yüksek yoğunluklu polietilenden yapılmış besleme tankı kullanılmıştır (Şekil 2.7).



Şekil 2.7 Besleme tankı.

2.4.4. Yüksek basınç pompası

Hydra Cell D/G-03-X tip yüksek basınç pompası kullanılmıştır. Maksimum kapasitesi 11.3 L/dak ve maksimum basıncı 70 bar'dır. Yüksek basınç pompası besleme akış hızını ayarlamak için bir dijital değişken frekanslı enerji (Siemens) ile donatılmıştır ve 1.1 kW motor gücündedir (Şekil 2.8).



Şekil 2.8 Yüksek basınç pompası.

2.4.5. Kontrol paneli

Dijital değişken enerji frekansı, kontrol paneli içine yerleştirilmiştir.

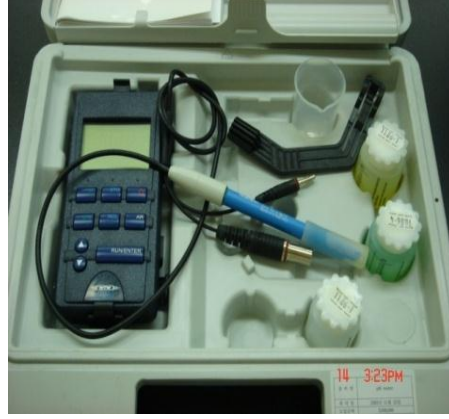


Şekil 2.9 Kontrol paneli ve frekans ayarlama sistemi.

2.5. Ölçüm Ekipmanları

2.5.1. pH metre

Su örneklerinin pH değerleri, taşınabilir dijital pH metre ile ölçülmektedir (WTW pH 315i/SET) (Şekil 2.10).



Şekil 2.10 Taşınabilir dijital pH metre (WTW pH 315i/SET).

2.5.2. İletkenlik ölçer

Toplam çözünmüş katı (TÇK), iletkenlik, tuzluluk ve sıcaklık ölçümleri, taşınabilir Mettler Toledo model iletkenlik ölçer ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.11).



Şekil 2.11 Taşınabilir Mettler Toledo iletkenlik ölçer.

2.5.3. Atomik absorpsiyon spektrofotometresi

Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} iyon derişimleri, Varian 10 Plus Model Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresi ile belirlenmiştir (Şekil 2.12).



Şekil 2.12 Varian 10 plus atomik absorpsiyon spektrofotometresi.

2.5.4. Spektrokant Nova 60 Test Kiti

Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), fosfat-P, nitrat-N, amonyum-N, nitrit-N, renk ve silisyum analizleri kolorimetrik olarak gerçekleştirilmiştir (Spektrokant Nova 60 test kiti Merck Modeli) (Şekil 2.13).



Şekil 2.13 Kolorimetre spektrokant nova 60 test kiti.

KOİ ve fosfat-P gibi bazı parametreler ısıtmaya ihtiyaç duymaktadır. Bu amaçla bir termoreaktör kullanılmıştır (Spektrokant TR 320 Merck Modeli) (Şekil 2.14).



Şekil 2.14 Termoreaktör spektrokuant TR 320.

2.5.5. Bulanıklık ölçer

Bulanıklık, Mikro TPI alanlı taşınabilir bulanıklık ölçer cihazı ile ölçülmüştür (Şekil 2.15).



Şekil 2.15 Mikro TPI alanlı taşınabilir bulanıklık ölçer cihazı.

2.5.6. İyon kromatografi (IC) Ekipmanı

Klorür ve sülfat iyonlarının analizleri, Shimadzu model iyon kromatografi cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.16).



Şekil 2.16 Shimadzu LC-10 Ai model iyon kromatografi cihazı.

2.5.7. TOK cihazı

Toplam organik karbon (TOK), TOK cihazı kullanılarak ölçülmüştür (Shimadzu TOC-VCPH Model) (Şekil 2.17).



Şekil 2.17 TOK cihazı (Shimadzu TOC-VCPH Model).

2.5.8. Spektrofotometre

Bor analizleri, Azometin-H yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde Jasco V-530 model spektrofotometre kullanılmıştır (Şekil 2.18).



Şekil 2.18 JASCO V-530 UV/VIS model spektrofotometre.

2.6. Analitik Yöntemler

2.6.1. AAS analizi

Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} iyon derişimleri, Varian 10 Plus Model Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresi kullanılarak sırasıyla 589 nm, 766.5 nm, 285.2 nm ve 422.7 nm dalgaboyunda ölçüm yapılarak belirlenmiştir.

Öncelikle standart çözeltiler ile kalibrasyon eğrisi elde edilmiştir. Bilinmeyen örneklerin derişimleri, elde edilen kalibrasyon eğrisinden hesaplanmıştır.

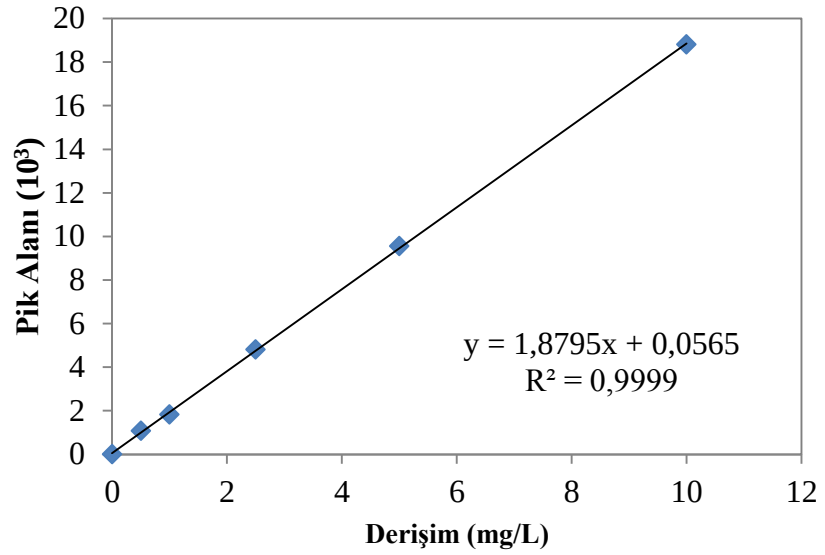
2.6.2. IC analizi

Klorür ve sülfat iyonlarının analizleri, Shimadzu (LC 10 Ai) model iyon kromatografisi cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Cihaz, sıvı basma pompası, CDD 6A model iletkenlik dedektörü, CTA 10A model fırın ve CBM 10A model sistem kontrolöründen oluşmaktadır. MCI JEL kolon (4.6 mm I.D x 150 mm) analiz boyunca kullanılmıştır. MCI JEL kolonu, dar bir parçacık boyutu dağılımı ile küresel paketleme olan MCI JEL iyon değıştirici reçine ile doldurulmuştur. Bu kolon, mükemmel ayırma ve kısa bir analiz süresi sağlar. Bu kolonun fonksiyonel grubu NR_3^+ olup, mobil faz (3.0 mM vanilik asit, 2.8 mM N-metildietanolamin, pH: 6.2), 1.2 mL/dak akış hızında kolon içinden geçirilmiştir.

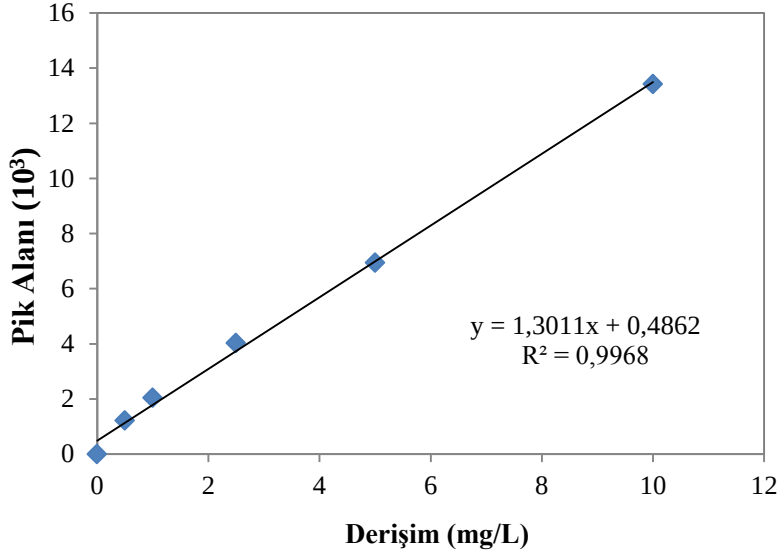
İyon kromatografisi enjeksiyon portu, yaygın olarak enjeksiyon valfi ve numune döngüsünden oluşmaktadır. Numune, enjeksiyon valfi yoluyla döngü içine enjekte edilmektedir.

Çalışmadan önce numunelerin süzülmesi, kolonu tıkayan küçük partiküllerin uzaklaştırılmasını sağlar. Bu nedenle, tüm su numunelerinin kullanımdan önce, 0.25 µm membran filtrelerden geçirilerek önceden süzülmesi gerekir.

Standart çözeltiler, iyon kromatografisi ile analizlenmiştir. Bilinmeyen örneklerin derişimleri, elde edilen kalibrasyon eğrilerinden hesaplanmıştır (Şekil 2.19 ve 2.20).



Şekil 2.19 Klorür iyonuna ait iyon kromatografisi kalibrasyon eğrisi.



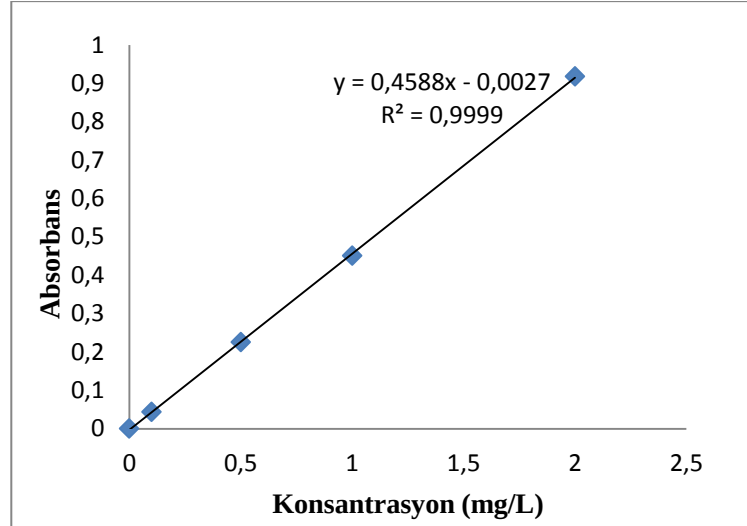
Şekil 2.20 Sülfat iyonuna ait iyon kromatografisi kalibrasyon eğrisi.

2.6.3. Azometin–H yöntemi ile bor analizi

Bor analizleri, Azometin-H yöntemi ile yapılmıştır. Bu yöntemde örnek başına, 0.025 g Azometin, 0.05 g askorbik asit hassas terazide tartılır. Üzerine örnek başına 2.5 mL su olacak şekilde dereceli silindir yardımıyla ölçülerek eklenir ve 1 saat karıştırıcıda çözeltinin homojen hale gelmesi sağlanır.

Azometin çözeltisi hazırlandıktan sonra, 10 mL su örneği alınır. Üzerine otomatik pipet ile 2.5 mL azometin çözeltisi eklenir. Daha sonra 2.5 mL asetik asit/asetat tampon çözelti de eklenerek karışım 1 saat karanlıkta bekletilir.

1 saat sonunda, örneklerdeki bor miktarı 415 nm dalgaboyunda spektrofotometrede ölçülür. Önce standartlardaki bor miktarı ölçülür. Standart değerlerinden kalibrasyon eğrisi elde edilir. Daha sonra bilinmeyen örneklerin derişimi, elde edilen kalibrasyon eğrisinden hesaplanır (Şekil 2.21).



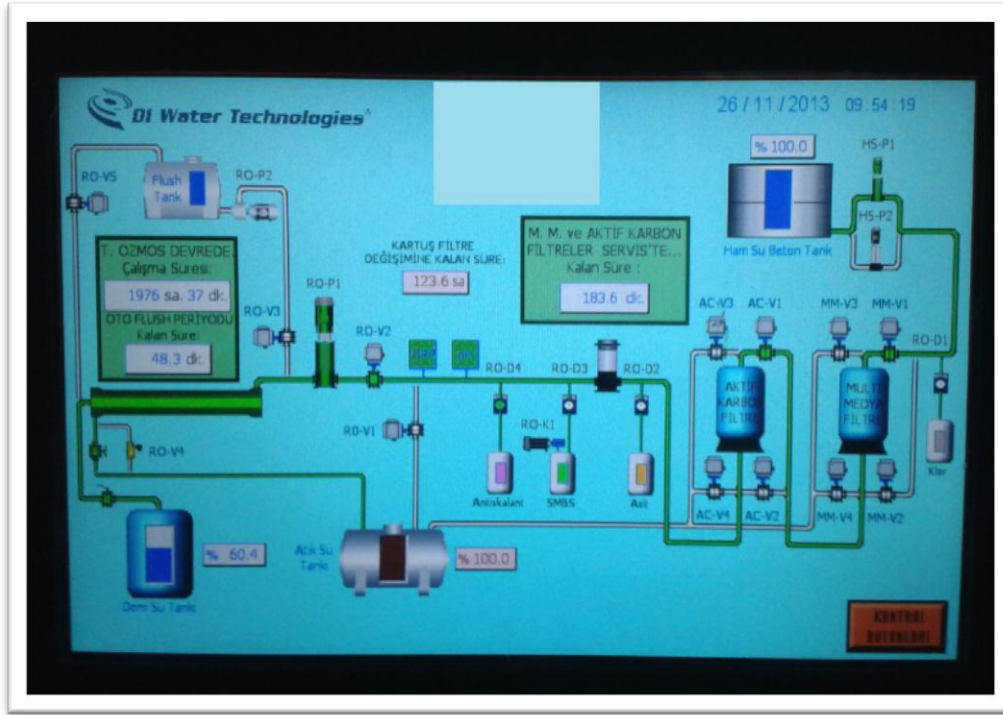
Şekil 2.21 Bor için kalibrasyon eğrisi.

2.7. Ekmek Fabrikası Su Arıtım Sistemi

İzmir’ de faaliyet gösteren ekmek fabrikasında buhar kazanına ve işletmeye besisi suyu sağlaması için Ters ozmos (RO) prensibi ile kurulmuş olan arıtma sistemi, 3 temel üniteden oluşmaktadır:

- 1) Multimedya (kum) filtre
- 2) Aktif karbon filtre
- 3) Ters ozmos (RO) sistemi.

Kuyudan elde edilen ham su, önce multimedya (kum) filtre sisteminden geçmekte ve suda bulanıklık yaratan 20 mikrondan büyük parçacıklar bu filtrede tutulmaktadır. Sonra aktif karbon filtreden geçen su, 5 mikronluk kartuş filtreye girmektedir. Suyun içindeki bulanıklık yaratan parçacıkların büyük kısmı tutulmaktadır. Buradan ters ozmos sistemine alınan su, yüksek basınç pompası ile sistem dizayn değeri olan 9.5 bar seviyesine basınçlandırılmakta ve membranlardan geçirilmektedir. Membranların çıkışında demineralize edilmiş su, depo tankına alınmaktadır. Su arıtma sisteminin akım şeması, Şekil 2.22’de gösterilmiştir.



Şekil 2.22 Ekmek fabrikasındaki RO su arıtma sistemine ait akım şeması.

2.7.1. Multimedya (kum) filtre

Multimedya (kum) filtre sistemi 762 mm çapında 1800 mm yükseklikte FRP ve polietilenden imal edilmiş basınçlı kaptır. Multimedya filtre içerisine iç hacminin % 65'i oranında medya yataklaması yapılmıştır. Alt dağıtım ise, 24'' çaplı ahtapot difüzör ile yapılmaktadır. Çalışma basıncı maksimum 10 bar ile minimum 0 bar arasındadır. Çalışma sıcaklığı ise maksimum 50°C ile minimum 1°C aralığındadır. Zaman içerisinde multimedya katmanları sertlik ve askıda parçacıklar nedeni ile yıpranabilir ve taneciklerin keskin yapıları aşınabilir. Bu nedenle filtrasyon işleminin iyi yapılabilmesi için 3 yılda bir filtre katmanlarının kuvars ve antrasit ile yenilenmesi gerekmektedir.

2.7.2. Aktif karbon filtresi

Aktif Karbon filtre sistemi, 762 mm çapında 1800 mm yüksekliğinde FRP ve polietilenden imal edilmiş basınçlı kaptır. Aktif karbon filtre içerisinde iç hacminin %65'i oranında aktif karbon medya yataklaması yapılmıştır. Aktif karbon filtre içerisinde 250 L aktif karbon bulunmaktadır. Alt dağıtım ise 24'' çaplı ahtapot difüzör ile yapılmaktadır. Çalışma basıncı maksimum 10 bar ile minimum 0 bar arasındadır. Çalışma sıcaklığı ise maksimum 50°C ile minimum

1°C aralığındadır. Zaman içerisinde filtrasyon işleminin iyi yapılabilmesi için yılda bir defa aktif karbonun değiştirilmesi gerekmektedir.

2.7.3. Kartuş filtre

Ters ozmos sistemi girişinde bir adet kartuş filtre grubu bulunmaktadır. İçerisinde 9 adet 40'' uzunlukta kartuşlar bulunmaktadır.



Şekil 2.23 Kum filtre, aktif karbon filtre ve kartuş filtre sistemleri.

2.7.4. Ters ozmos (RO) sistemi

RO sistemi, arıtma sisteminin temelini oluşturan bölümdür. Ham su, ön filtrasyon adımları olan multimedya filtre, aktif karbon filtre ve kartuş filtreden geçtikten ve pH ayarlaması yapıldıktan sonra fazla klorun deaktive edilmesi ve antiskalant ilavesi ile ters ozmos sistemine girmektedir. RO sistemi, suyun içerisinde yüksek olan çözünmüş mineralleri arıtarak saflaştırmakta ve ham suyu permeate (arıtılmış, temiz su) ve konsantre (atık, tuzca zengin) olarak ikiye ayırmaktadır. Üretilen temiz su, daha sonra ürün suyu tankına kendi basıncı ile ulaşmakta, konsantre su ise kanaldan (atık su tankı içine) dışarı atılmaktadır. Sistem % 65 verimle çalıştığı için temiz su miktarı giren suyun % 65' ini, atık su miktarı ise % 35'ini oluşturmaktadır. RO girişinde 1 adet kartuş filtre vardır. Kartuş filtre içerisinde 9 adet 40'' boyunda polipropilenden (PP) imal edilmiş 1 mikron ve üzerindeki parçacıkları filtre eden spun tip kartuşlar bulunmaktadır. Aktif karbon filtresinden gelen su, bu filtreden geçerek RO sistemine girer. RO-P₁ ters ozmos yüksek basınç pompası, Grundfos CRN-10 tipi 11 bar, 10 m³/saat

kapasiteli bir pompadır. Bu pompa filtre edilmiş ham suyun membranlardan geçirilerek suyun, demineralize su olmasını sağlar.

RO-D₁ dozaj pompası, ham su hidrofor pompalarının girişine hipoklorit (klor) dozajlar. Bu pompa hidrofor pompaları ile birlikte çalışır. Kartuş filtre girişine RO-D₂ ile hidroklorik asit (HCl asit), çıkışına da RO-D₃ ile SMBS (Sodyum metabisülfıt) ve RO-D₄ ile antiskalant kimyasalları dozajlanmaktadır.

Ham su içerisinde bulunan bakteri ve mikroorganizmaların kontrolü için, ham su hidrofor pompalarının girişine dozaj pompası ile (1.5 mg/L) hipoklorit verilmektedir. RO sistemi giriş alkalinitesinin düşürülmesi için HCl asit dozajlaması yapılmaktadır. Asit dozaj pompası, suyun pH değerini set değerinde tutacak şekilde asit dozajı yapar. Ham suya dozajı yapılan hipokloritin RO membranlarına girmesi durumunda membranlar zarar görür ve kullanım ömürleri kısılır. Bu nedenle ham su RO membranlarına girmeden hemen önce sodyum metabisülfıt dozajı yapılarak klorun etkisi sıfırlanır. SMBS dozaj pompası sabit miktarda dozajlama yapar. RO membranları mikron mertebesinde gözenekli yapılar olup yüksek sertlik nedeni ile membranların tıkanmasını ve verimden düşmesini engellemek için sisteme uygun antiskalant verilmesi gerekmektedir. Antiskalant, sertlik kristallerinin membran üzerine yapışmasını engellemekte ve sistemde verim düşmesinin önüne geçmektedir.

RO sistemi 2 kademeli membran grubundan oluşmaktadır. 1. kademe membranlar 3 adettir. Bu membranlardan arıtılan su kılıf tapalarının ortasında yer alan arıtılmış su, toplama hattından dışarı alınır. Membranların dışında kalan arıtılmamış su ise, 1. kademe membran grubunun çıkışından 2. kademe membran grubuna girer. 1. kademedeki arıtılmamış suyun tekrar arıtılabilmesi ve sistemin daha verimli çalışması için 2. kademe membran grubu bulunmaktadır. 3 adet aynı tip membranın bulunduğu 2. kademe grubunun temiz su çıkışı, 1. kademe membran grubundan gelen permeate hattı ile birleşmekte ve arıtılmış su olarak demineralize su tanklarına kendi basıncı ile gitmektedir. Bu hattın basıncı 1.5 bar dolayındadır. Membran gruplarının diğer uçlarında ise her kademedeki ayrı ayrı numune alınıp analizlerin yapılabilmesi için numune vanaları bulunmaktadır.

RO membranları ile arıtılan ham su, demineralize su depolama tanklarına verilmeye başlanmaktadır. Bu depolama tanklarından ihtiyaç duyuldukça pompalar ile üretim alanına, arıtılmış su gönderilmektedir.



Şekil 2.24 RO membran sistemi.



Şekil 2.25 Demineralize su depolama tankları.



Şekil 2.26 Üretim hattı suyu, kazan hattı suyu ve besleme hattı suyu boru sistemleri.

3. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

3.1. Ham Suyun ve Ara Kademe Suyun Arıtımında Membran Tipinin Etkisinin İncelenmesi

3.1.1. RO membranları ile yapılan testler

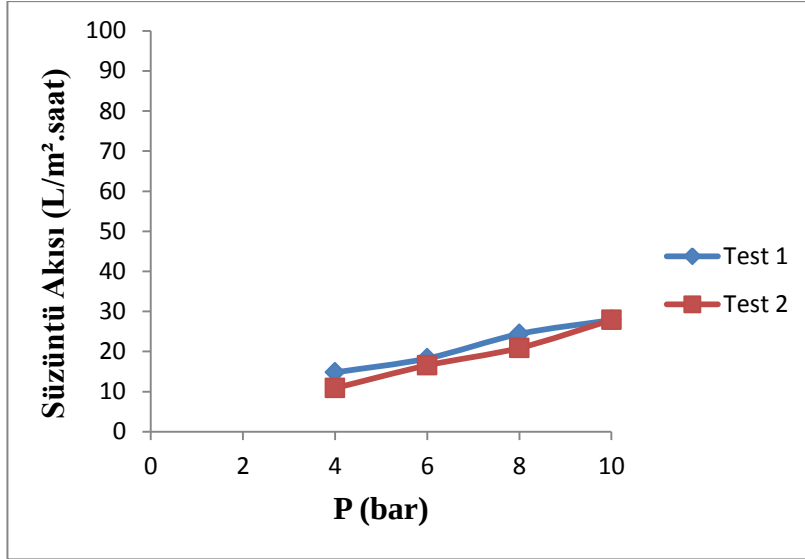
3.1.1.1. Ham su arıtma testleri

RO membranının geçirgenliği ve sızıntı akısı değerleri

CK-RO membranının geçirgenliği ve hacimsel akı değerleri, membran içinden besleme suyu olarak deiyonize su geçirilmesi ile belirlenmiştir. Konsantre bileşenin akış hızı 96 L/saat olarak sabit tutulmuştur. Çizelge 3.1’de elde edilen deneysel veriler ve CK-RO membranı için hesaplanan akı ve geçirgenlik gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 CK -RO membranı için deneysel veri ve hesaplanan değerler.

P	Qc	Qp	Jv	Lp
(Bar)	(L/saat)	(L/saat)	(L/saat.m ²)	(L/(saat.m ² .bar))
4	96	0.204	14.80	3.70
6	96	0.252	18.28	3.04
8	96	0.336	24.38	3.04
10	96	0.384	27.86	2.78
8	96	0.288	20.89	2.61
6	96	0.228	16.54	2.75
4	96	0.150	10.88	2.72



Şekil 3.1 Uygulanan farklı basınçlarda CK-RO membranının süzüntü akısı değerleri.

Volumetrik akıların hesaplanması

CK-RO membranının deneysel verileri Çizelge 3.1’de özetlenmiştir.

Volumetrik akıların ve membran geçirgenliğinin hesaplanmasında aşağıdaki denklemler kullanılmaktadır:

$$Ak_1 = \frac{\text{Süzüntü hacmi (L)}}{\text{Membran alanı (m}^2\text{)} \times \text{Zaman (saat)}}$$

$$(Lp)_{\text{görünür}} = \frac{J_v}{\Delta P - \pi_b}$$

π_b , Saf suyun ozmotik basıncı, 0 olarak kabul edilmiştir.

Çizelge 3.2’de sırasıyla akış hızı (L/saat), süzüntü akısı (L/saat.m²) ve membran geçirgenliği (L/saat.m².bar) değerleri aşağıda belirtildiği şekilde hesaplanmaktadır.

$$Q_p \text{ (Süzüntü akış hızı) (L/h)} = \frac{Q_p \left(\frac{\text{mL}}{\text{dak}} \right) \times 60}{1000}, \text{ L/saat biriminde akış hızı}$$

verilerinin dönüşümü,

$$J_v \text{ (Süzüntü akısı)} = \frac{Q_p}{0.014},$$

$L_p = \frac{J_v}{P}$, (L/m².saat.bar) membran geçirgenliği deđeridir.

$$\text{Ortalama membran geçirgenliği} = \frac{3.70+3.04+3.04+2.78+2.61+2.75+2.72}{7}$$

$$= 2.95$$

P (bar), uygulanan farklı basınçlardır.

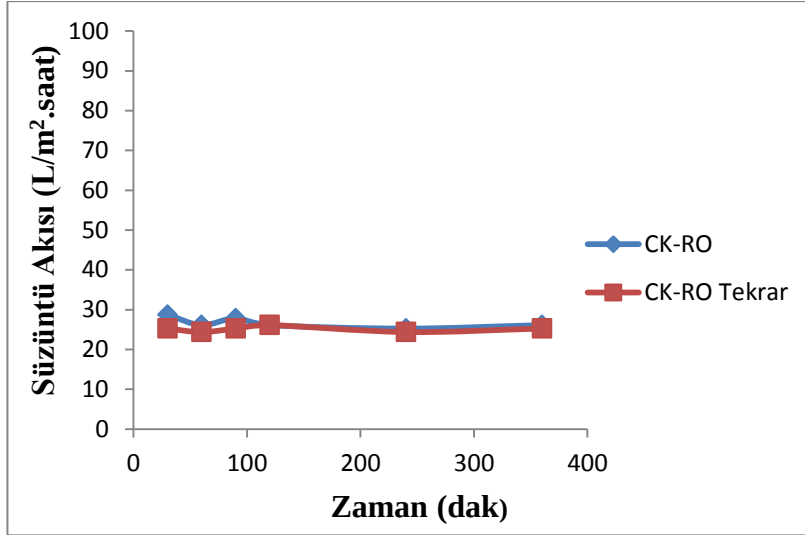
Çizelge 3.2 Volumetrik akıların ve membran geçirgenliğinin hesaplanması.

P (bar)	Qp (ml/dak)	Qp (L/saat)	Jv (L/m ² .saat)	Lp (L/(m ² .saat.bar))
4	3.4	0.204	14.804	3.70
6	4.2	0.252	18.287	3.04
8	5.6	0.336	24.383	3.04
10	6.4	0.384	27.866	2.78
8	4.8	0.288	20.899	2.61
6	3.8	0.228	16.545	2.75
4	2.5	0.150	10.885	2.72
Ortalama değer	-	-	-	2.95

Tüm membranların membran geçirgenliği aynı şekilde hesaplanmaktadır. Uygulanan tüm basınçlarda hacimsel akılar hesaplandıktan sonra, membran geçirgenliği, her basınçtaki süzüntü akılarından hesaplanmıştır. Hesaplama deiyonize su besleme suyu gibi kullanıldığından, ozmotik basınç değerı sıfır olarak sayılmıştır. CK membranı için membran geçirgenliği, 2.95 L/(saat.m².bar) olarak bulunmuştur.

CK-RO membranının süzüntü akısı

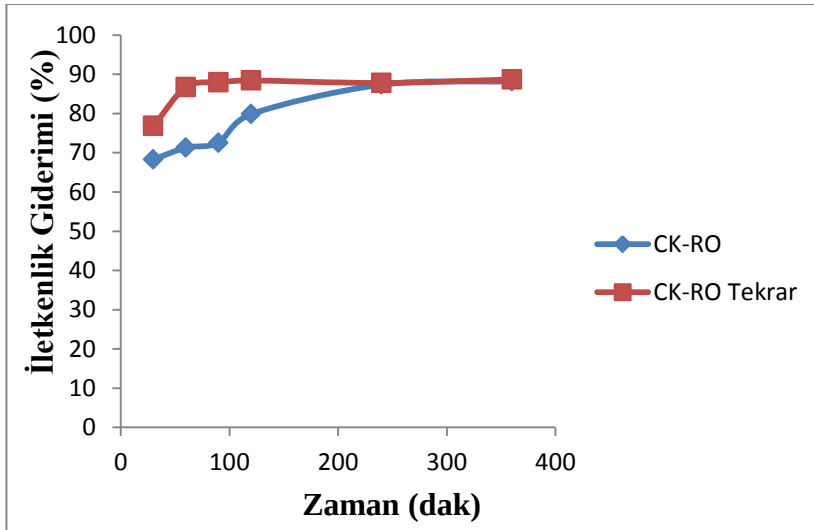
Bu çalışmada ham su, çapraz akış düz tabaka membran test sistemi kullanılarak ters ozmos işleme tabi tutulmuştur. Ham suyun arıtılması için CK-RO membranı testler için kullanılmıştır. CK-RO membranının süzüntü akısı ortalama 26.7 L/m².saat olarak, bu membran ile yapılan tekrar çalışmasında ise süzüntü akısı ortalama 25.1 L/m².saat olarak bulunmuştur. Hacimsel süzüntü akışı testlerinin sonucunda; süzüntü akılarına karşı zaman grafikleri Çizelge 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2 Ham sudan CK-RO membranı ile zamana karşı süzüntü akısı değerleri.

CK-RO membranının iletkenlik giderimi

CK-RO membranı için iletkenlik ve TÇK giderimi aynı değerde (%) gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.3’de gösterildiği gibi CK-RO membranı ortalama %78 iletkenlik giderimi sağlamıştır. Yapılan tekrar çalışmasında ise CK-RO membranı ortalama %86 iletkenlik giderimi sağlamıştır.

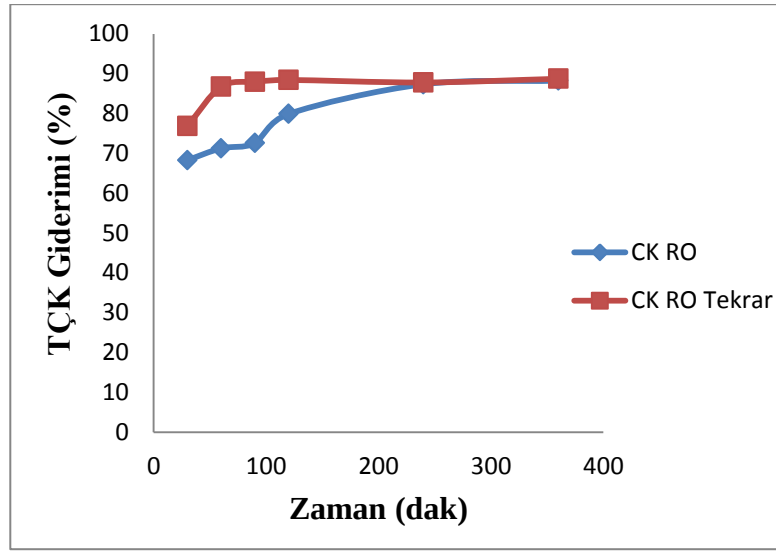


Şekil 3.3 Ham sudan CK-RO membranı ile zamana karşı iletkenlik giderimi.

CK-RO membranının TÇK giderimi

Şekil 3.4’ de gösterildiği gibi; TÇK, iletkenlik giderimi ile aynı eğilimi göstermiştir. CK-RO membranı ortalama %78 toplam çözünen katı giderimi

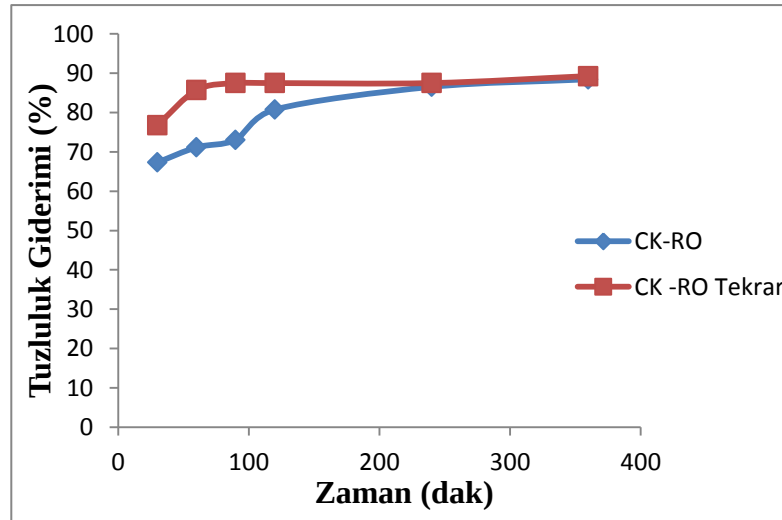
sağlamıştır. Yapılan tekrar çalışmasında CK-RO membranı ortalama %86 toplam çözünen katı giderimi sağlamıştır.



Şekil 3.4 Ham sudan CK-RO membranı ile zamana karşı toplam çözünen katı giderimi.

CK-RO membranının tuzluluk giderimi

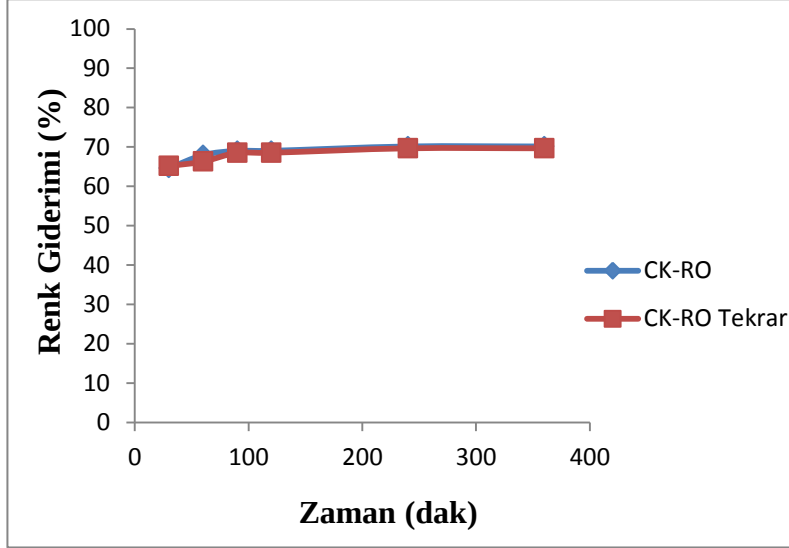
CK-RO membranı ortalama %78 tuzluluk giderimi sağlamıştır. Yapılan tekrar çalışmasında ise CK-RO membranı ortalama %86 tuzluluk giderimi sağlamıştır. Şekil 3.5’ de zamana karşı tuzluluk giderimi gösterilmiştir.



Şekil 3.5 Ham sudan CK-RO membranı ile zamana karşı tuzluluk giderimi.

CK-RO membranının renk giderimi

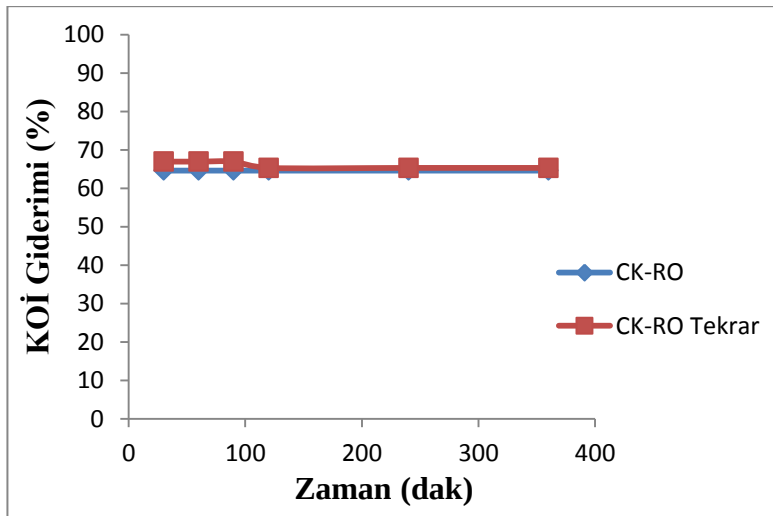
Şekil 3.6’da gösterildiği gibi, CK-RO membranı ortalama %68 renk giderimi sağlamıştır. Yapılan tekrar çalışmasında ise %70 renk giderimi sağlanmıştır.



Şekil 3.6 Ham sudan CK-RO membranı ile zamana karşı renk giderimi.

CK-RO membranının KOİ giderimi

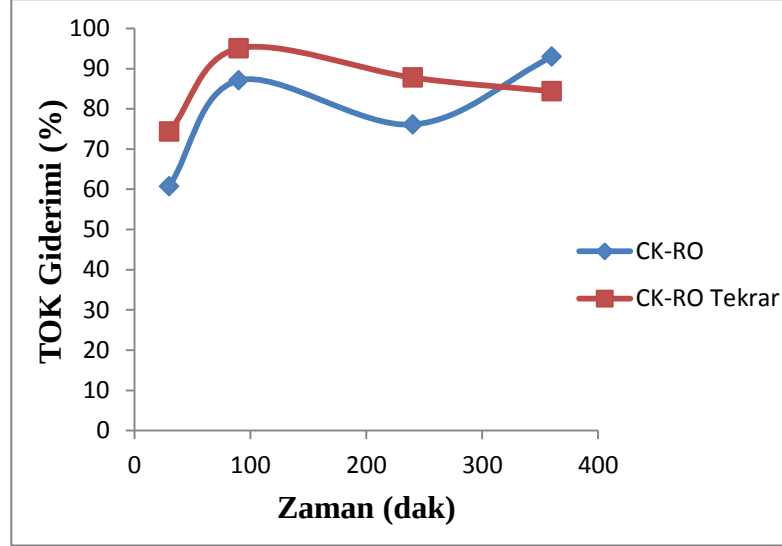
CK-RO membranı ortalama %65 kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) giderimi sağlamıştır. Yapılan tekrar çalışmasından elde edilen verilere göre ise, ortalama %66 KOİ giderimi sağlanmıştır. Şekil 3.7’de zamana karşı KOİ giderimi gösterilmiştir.



Şekil 3.7 Ham sudan CK-RO membranı ile zamana karşı KOİ giderimi.

CK-RO membranının TOK giderimi

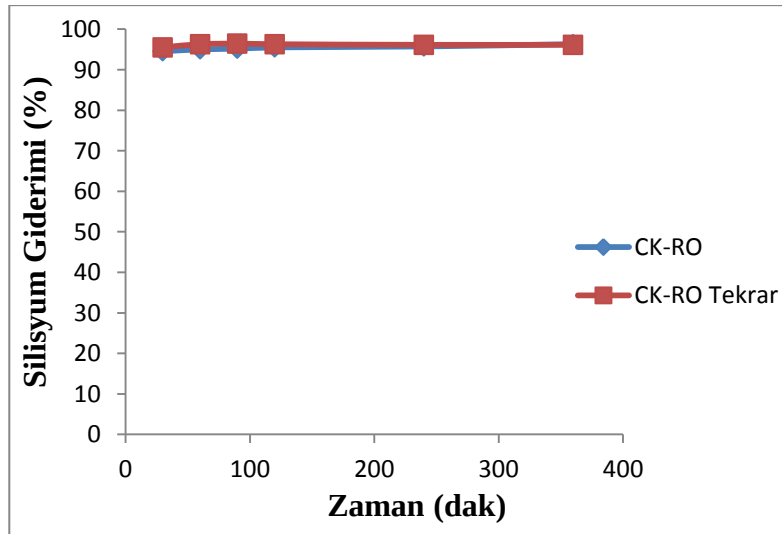
Şekil 3.8' göre, CK-RO membranının toplam organik karbon (TOK) giderimi %79'dur. Yapılan tekrar çalışmasından elde edilen sonuçlara göre ise CK-RO membranının TOK giderimi %85' dir.



Şekil 3.8 Ham sudan CK-RO membranı ile zamana karşı TOK giderimi.

CK-RO membranının silisyum giderimi

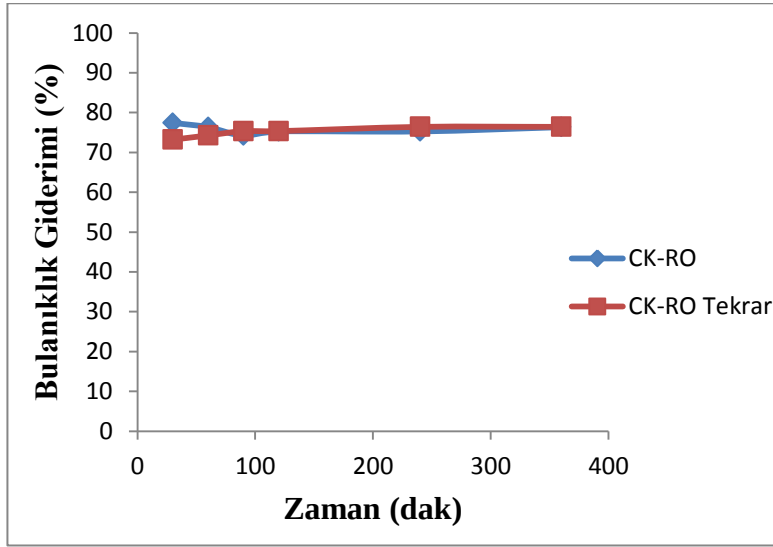
Şekil 3.9'da görüldüğü gibi, CK-RO membranı ortalama %95 silisyum giderimi sağlamıştır. Yapılan tekrar çalışmasında ise CK-RO membranı ile ortalama %96 ile iyi bir silisyum giderim performansı elde edilmiştir.



Şekil 3.9 Ham sudan CK-RO membranı ile zamana karşı silisyum giderimi.

CK-RO membranının bulanıklık giderimi

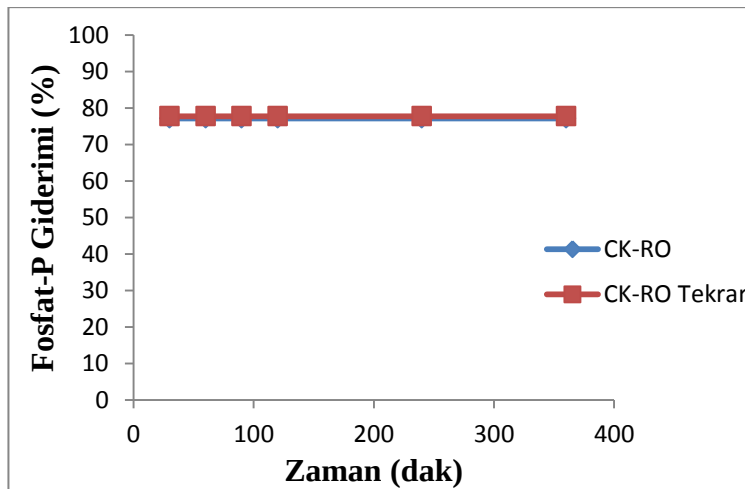
CK-RO membranı ortalama %76 bulanıklık giderimi sağlamıştır. CK-RO membranı ile yapılan tekrar çalışmasında ise ortalama %75 bulanıklık giderimi elde edilmiştir. Zamana karşı bulanıklık giderim grafiği Şekil 3.10'da gösterilmiştir.



Şekil 3.10 Ham sudan CK-RO membranı ile zamana karşı bulanıklık giderimi.

CK-RO membranının fosfat-P giderimi

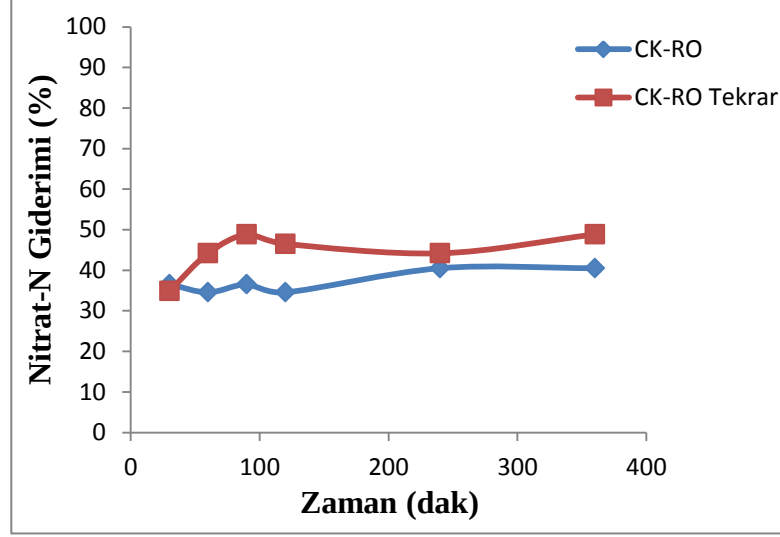
CK-RO membranı ortalama %77 fosfat-P giderimi sağlamıştır. CK-RO membranı ile yapılan tekrar çalışmasında ise ortalama %78 fosfat-P giderimi elde edilmiştir. Zamana karşı fosfat-P giderim grafiği Şekil 3.11'de gösterilmiştir.



Şekil 3.11 Ham sudan CK-RO membranı ile zamana karşı fosfat-P giderimi.

CK-RO membranının nitrat-N giderimi

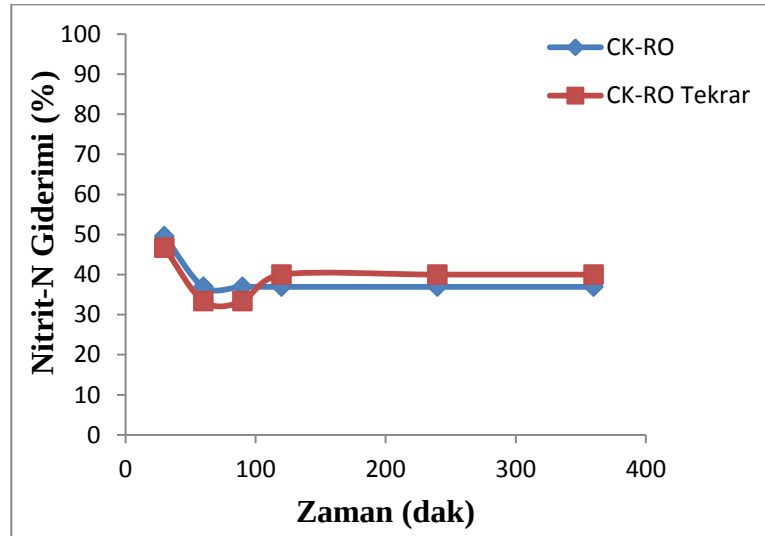
CK-RO membranı ortalama %38 nitrat-N giderimi sağlamıştır. CK-RO membranı ile yapılan tekrar çalışmasında ise ortalama %45 nitrat-N giderimi elde edilmiştir. Zamana karşı nitrat-N giderim grafiği Şekil 3.12’de gösterilmiştir.



Şekil 3.12 Ham sudan CK-RO membranı ile zamana karşı nitrat-N giderimi.

CK-RO membranının nitrit-N giderimi

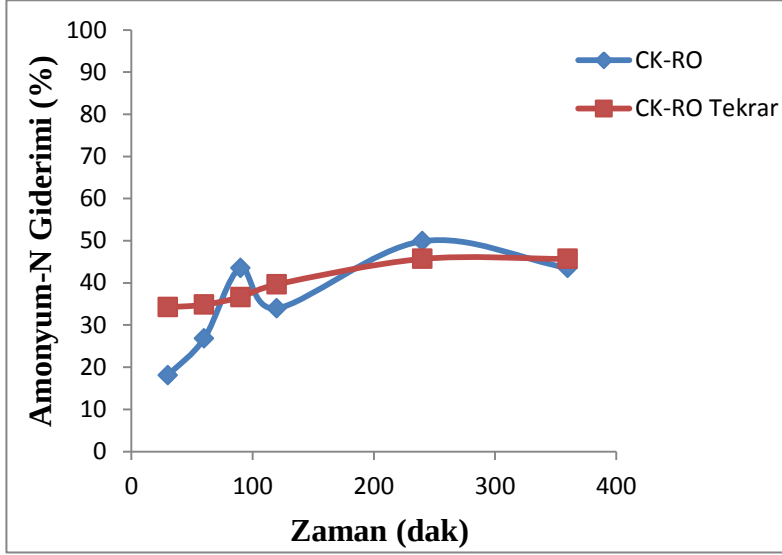
CK-RO membranı ortalama %39 nitrit-N giderimi sağlamıştır. CK-RO membranı ile yapılan tekrar çalışmasında ise yine ortalama %39 nitrit giderimi elde edilmiştir. Şekil 3.13’de zamana karşı nitrit-N giderim grafiği gösterilmiştir.



Şekil 3.13 Ham sudan CK-RO membranı ile zamana karşı nitrit-N giderimi.

CK-RO membranının amonyum-N giderimi

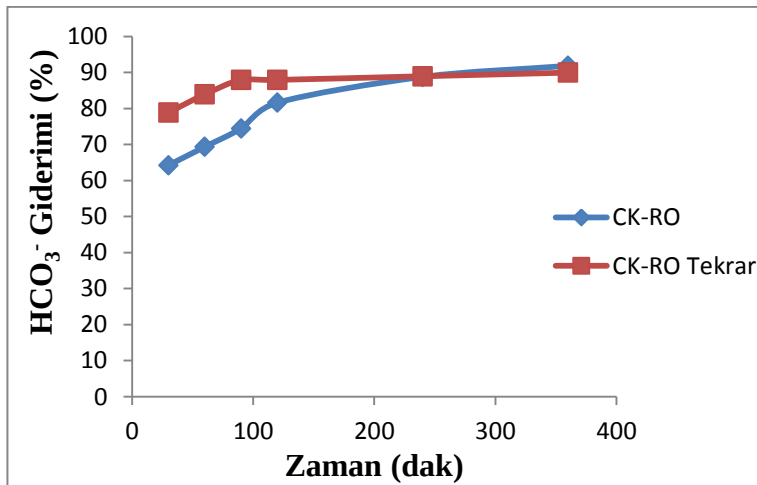
CK-RO membranı ortalama %31 amonyum-N giderimi sağlamıştır. CK-RO membranı ile yapılan tekrar çalışmasında ise ortalama %40 amonyum-N giderimi elde edilmiştir. Şekil 3.14’de zamana karşı amonyum-N giderim grafiği gösterilmiştir.



Şekil 3.14 Ham sudan CK-RO membranı ile zamana karşı amonyum-N giderimi.

CK-RO membranının bikarbonat giderimi

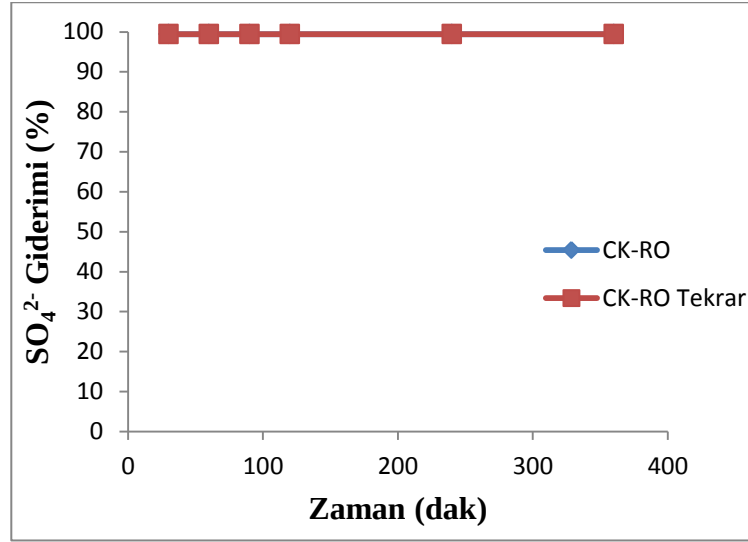
CK-RO membranı ortalama %78 bikarbonat giderimi sağlamıştır. CK-RO membranı ile yapılan tekrar çalışmasında ise ortalama %86 bikarbonat giderimi elde edilmiştir. Şekil 3.15’de zamana karşı HCO_3^- giderim grafiği gösterilmiştir.



Şekil 3.15 Ham sudan CK-RO membranı ile zamana karşı bikarbonat giderimi.

CK-RO membranının sülfat iyonu giderimi

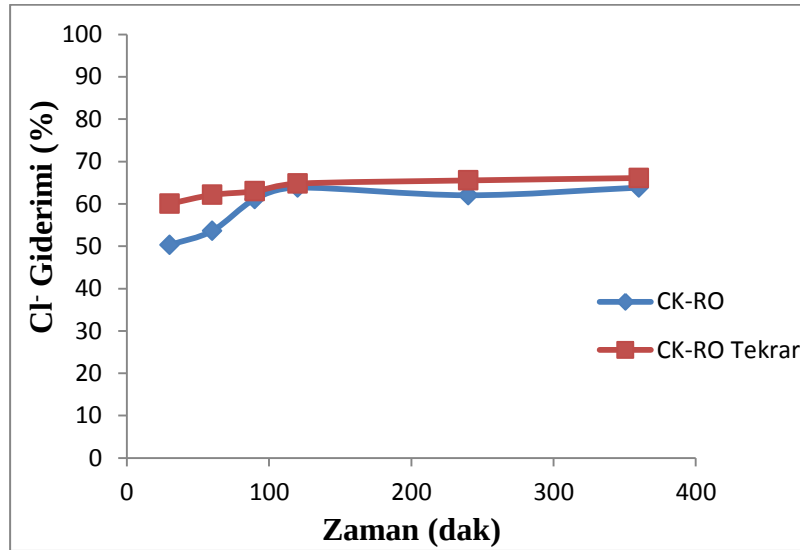
CK-RO membranı ve tekrar çalışmasından elde edilen sonuçlara göre ortalama %99 ile yüksek sülfat giderimi elde edilmiştir. Şekil 3.16'da zamana karşı sülfat giderimi gösterilmiştir.



Şekil 3.16 Ham sudan CK-RO membranı ile zamana karşı sülfat giderimi.

CK-RO membranının klorür (Cl⁻) giderimi

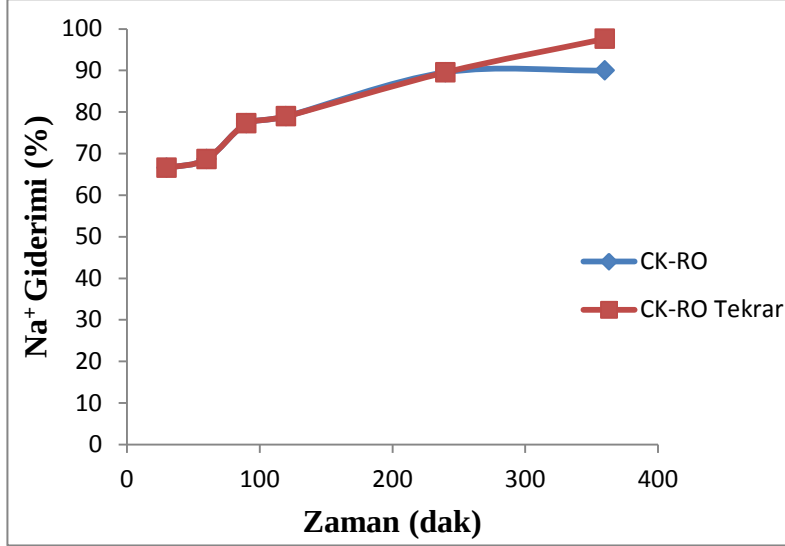
CK-RO membranı ortalama %59 klorür giderimi sağlamıştır. CK-RO membranı ile yapılan tekrar çalışmasında ise ortalama %64 klorür giderimi elde edilmiştir. Şekil 3.17'de zamana karşı klorür giderim grafiği gösterilmiştir.



Şekil 3.17 Ham sudan CK-RO membranı ile zamana karşı klorür giderimi.

CK-RO membranının Na^+ giderimi

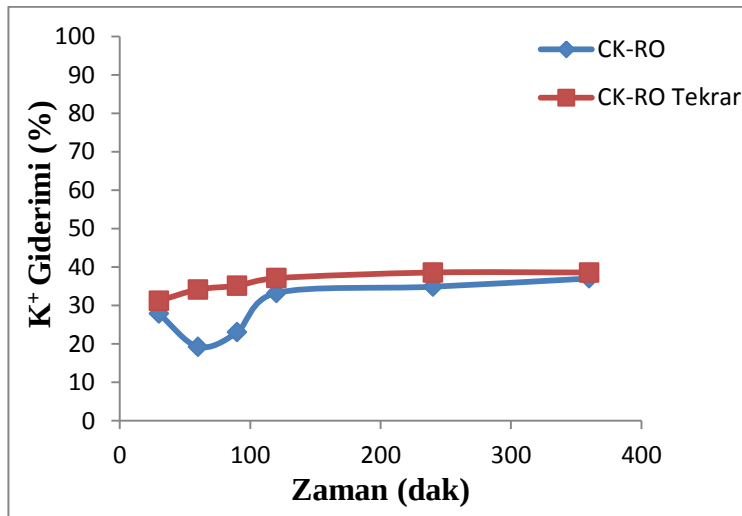
CK-RO membranı ortalama %79 Na^+ giderimi sağlamıştır. CK-RO membranı ile yapılan tekrar çalışmasında ise ortalama %87 Na^+ giderimi elde edilmiştir. Şekil 3.18’de zamana karşı Na^+ giderim grafiği gösterilmiştir.



Şekil 3.18 Ham sudan CK-RO membranı ile zamana karşı Na^+ giderimi.

CK-RO membranının K^+ giderimi

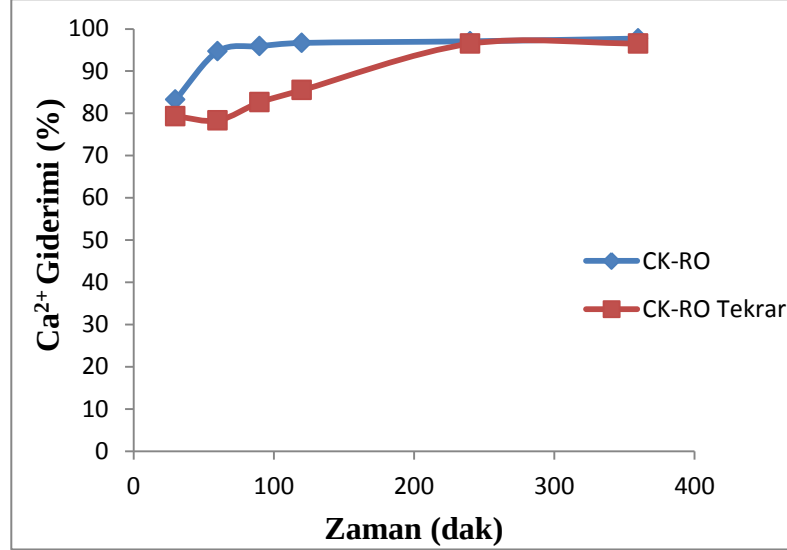
CK-RO membranı ortalama %29 K^+ giderimi sağlamıştır. CK-RO membranı ile yapılan tekrar çalışmasında ise ortalama %36 K^+ giderimi elde edilmiştir. Şekil 3.19’da zamana karşı K^+ giderim grafiği gösterilmiştir.



Şekil 3.19 Ham sudan CK-RO membranı ile zamana karşı K^+ giderimi.

CK-RO membranının Ca^{2+} giderimi

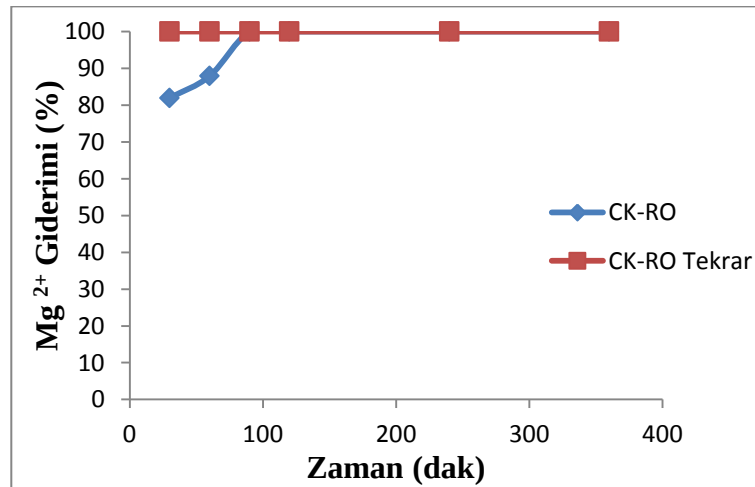
CK-RO membranı ortalama %94 Ca^{2+} giderimi sağlamıştır. CK-RO membranı ile yapılan tekrar çalışmasında ise ortalama %83 Ca^{2+} giderimi elde edilmiştir. Şekil 3.20’de zamana karşı Ca^{2+} giderim grafiği gösterilmiştir.



Şekil 3.20 Ham sudan CK-RO membranı ile zamana karşı Ca^{2+} giderimi.

CK membranının Mg^{2+} giderimi

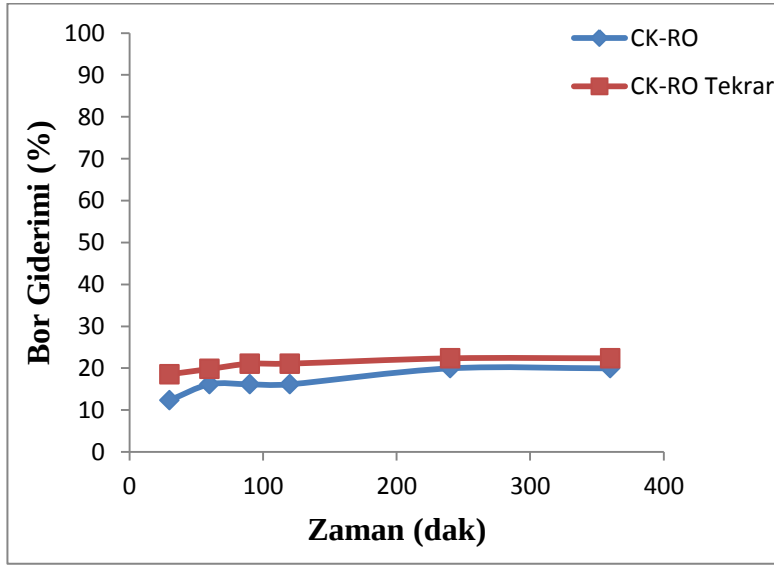
CK-RO membranı ile iyi bir Mg^{2+} giderimi elde edilmiştir. CK-RO membranı ortalama %95 Mg^{2+} giderimi sağlamıştır. CK-RO membranı ile yapılan tekrar çalışmasında ise ortalama %100 Mg^{2+} giderimi elde edilmiştir. Şekil 3.21’de zamana karşı Mg^{2+} giderim grafiği gösterilmiştir.



Şekil 3.21 Ham sudan CK-RO membranı ile zamana karşı Mg^{2+} giderimi.

CK-RO membranının bor giderimi

CK-RO membranı ile düşük bir bor giderimi elde edilmiştir. CK-RO membranı ortalama %17 bor giderimi sağlamıştır. CK-RO membranı ile yapılan tekrar çalışmasında ise ortalama %21 bor giderimi elde edilmiştir. Bor, bazik pH'larda suda borik asit olarak bulunmaktadır. Borik asidin moleköl ağırlığının daha düşük olmasından dolayı membran gözeneklerinden geçmektedir ve düşük bor giderim değeri (%) elde edilmektedir. Şekil 3.22'de zamana karşı bor giderim grafiği gösterilmiştir.



Şekil 3.22 Ham sudan CK-RO membranı ile zamana karşı bor giderimi.

Ham suyun CK-RO membranı ile arıtılması ile elde edilen ürün suyun kalite analizi

Çizelge 3.3'de gösterildiği gibi; CK-RO membranı ile elde edilen ürün suyun kalitesi, ekmek üretiminde kullanılacak suyun kalite parametrelerini içeren TS 266 'İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmelik' hükümlerine uygun niteliktedir.

Çizelge 3.3 TS 266 standartları ile RO membranlarının besleme/süzüntü suyu özelliklerinin karşılaştırılması.

Parametre	CK-RO		CK-RO Tekrar		TS 266 'İnsani Tüketim Amaçlı Sular'
	Besleme Ortalaması	Süzüntü Ortalaması	Besleme Ortalaması	Süzüntü Ortalaması	
pH	8.68	8.10	8.57	7.98	SB ^a
TÇK (mg/L)	519	114.55	568	79.02	SB ^a
İletkenlik (µS/cm)	1038	229.10	1136	158.05	SB ^a
Tuzluluk (psu)	0.52	0.12	0.56	0.08	SB ^a
Renk (Hazen)	9.04	2.85	8.90	2.85	TKEDYb
KOİ (mg/L)	11.3	< 4	12.1	< 4	SB ^a
TOK (mg/L)	16.13	3.35	23.39	3.42	Anormal değişim yok
Na ⁺ (mg/L)	177.18	38.08	193.00	24.83	100-200
Ca ²⁺ (mg/L)	38.59	2.31	41.07	5.56	SB ^a
K ⁺ (mg/L)	9.29	6.58	10.17	6.53	SB ^a
Mg ²⁺ (mg/L)	18.44	2.78	18.60	0.00	SB ^a
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	9.79	2.12	9.94	1.37	SB ^a
Cl ⁻ (mg/L)	110.60	45.22	105.30	38.35	30-250
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	17.14	< 0.1	17.46	< 0.1	25-250
PO ₄ -P (mg/L)	0.22	0.05	0.22	0.05	SB ^a
NO ₃ -N (mg/L)	0.50	0.32	0.43	0.24	25-50
NO ₂ -N (mg/L)	0.016	0.010	0.015	0.009	0.10-0.50
NH ₄ -N (mg/L)	0.13	0.08	0.13	0.08	0.05-0.50
Bulanıklık (NTU)	0.93	0.23	0.93	0.23	1-5
Silisyum (mg/L)	124.43	5.75	129.43	5.00	SB ^a
Bor (mg/L)	0.79	0.66	0.79	0.62	1

^aStandart belirtilmemiş. ^bTüketicilerce kabul edilebilir ve herhangi bir anormal değişim yok.

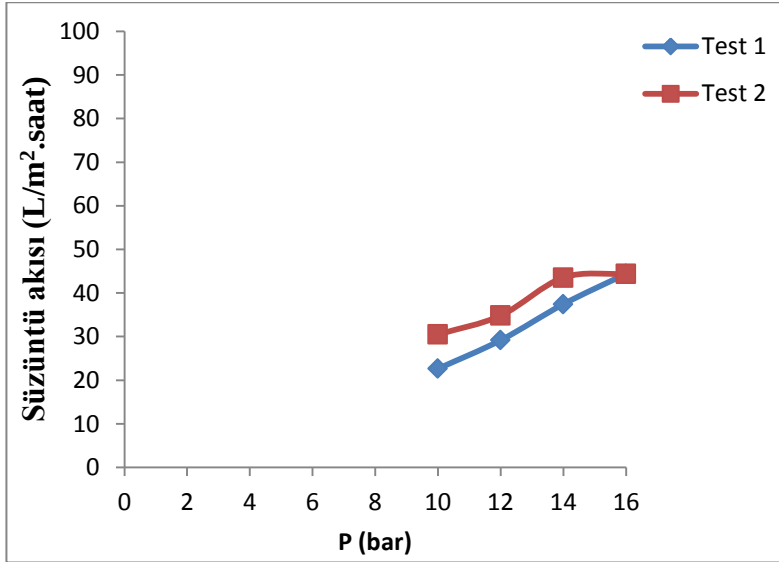
3.1.1.2. Ara kademe testleri

RO membranının geçirgenliği ve süzüntü akısı değerleri

BW30-RO membranının geçirgenliği ve hacimsel akı değerleri, membran içinden besleme suyu olarak deiyonize su geçirilmesi ile belirlenmiştir. Konsantrenin akış hızı 96 L/saat olarak sabit tutulmuştur. BW30-RO membranı için membran geçirgenliği 2.74 L/saat.m².bar olarak bulunmuştur. Çizelge 3.4'de elde edilen deneysel veriler ve BW30-RO membranı için hesaplanan değerler gösterilmiştir.

Çizelge 3.4 BW30-RO membranı için deneysel veri ve hesaplanan değerler.

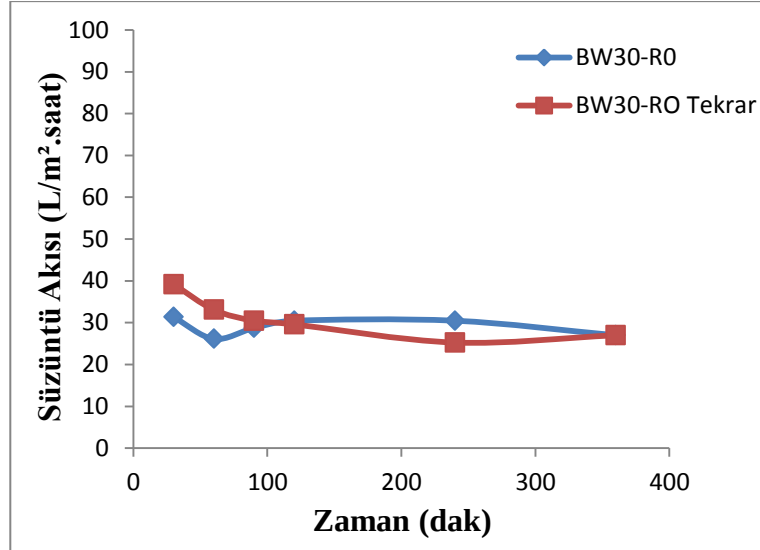
P	Qc	Qp	Jv	Lp
(Bar)	(L/saat)	(L/saat)	(L/saat.m ²)	(L/(saat.m ² .bar))
10	96	0.31	22.64	2.26
12	96	0.40	29.17	2.43
14	96	0.51	37.44	2.67
16	96	0.61	44.41	2.77
14	96	0.60	43.54	3.11
12	96	0.48	34.83	2.90
10	96	0.42	30.47	3.04



Şekil 3.23 Uygulanan farklı basınçlarda BW30-RO membranın süzüntü akısı değerleri.

BW30-RO membranın süzüntü akısı

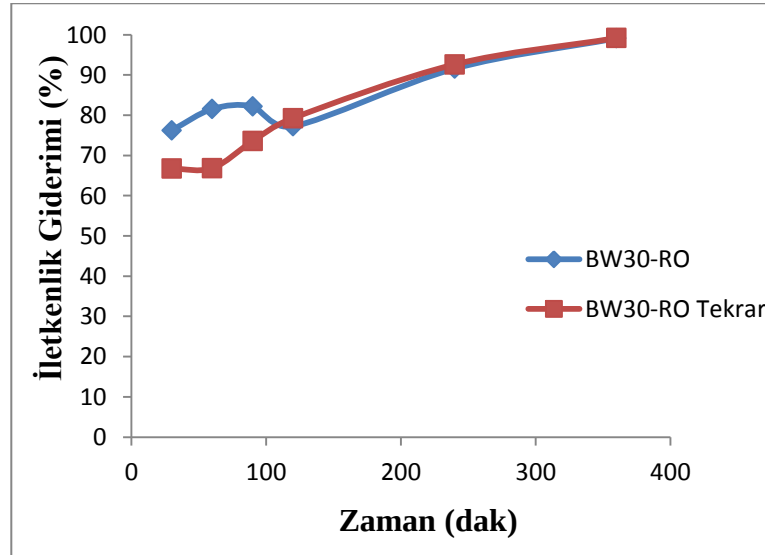
Bu çalışmada ham su, ekmek fabrikasındaki arıtım sisteminde bulunan kum filtre, aktif karbon filtre ve kartuş filtreden geçirilerek ara kademe suyu elde edilmiştir. Ara kademe suyu, çapraz akış düz tabaka membran test sistemi kullanılarak ters ozmos işlemine tabi tutulmuştur. Ara kademe suyunun arıtılması için BW30-RO membranı kullanılmıştır. BW30-RO membranın ortalama süzüntü akısı 29 L/m².saat'dir. BW30-RO membranı ile yapılan tekrar çalışmasında ise ortalama süzüntü akısı 31 L/m².saat olarak elde edilmiştir. Şekil 3.24'de süzüntü akılarına karşı zaman grafikleri gösterilmiştir.



Şekil 3.24 Ara kademe su için BW30-RO membranı ile elde edilen zamana karşı süzüntü akısı değerleri.

BW30-RO membranının iletkenlik giderimi

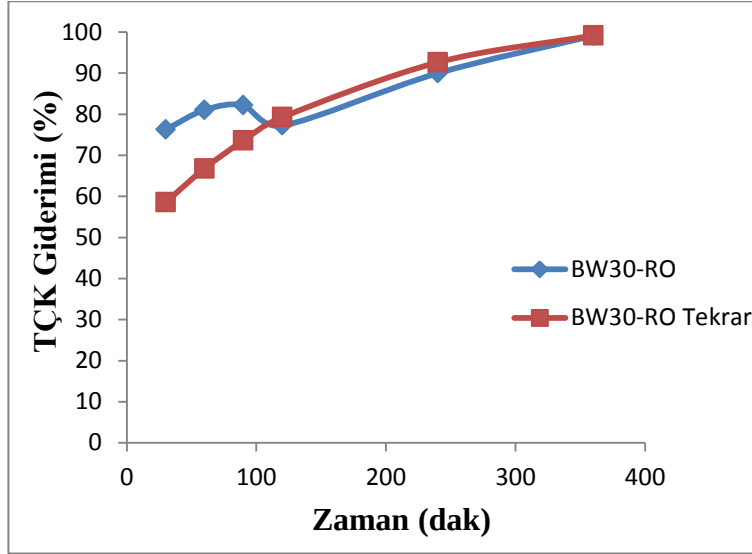
BW30-RO membranı için iletkenlik ve TÇK giderimi aynı değerde (%) elde edilmiştir. BW30-RO membranı ortalama %85 iletkenlik giderimi sağlamıştır. Yapılan tekrar çalışmasında BW30-RO membranı %80 iletkenlik giderimi sağlamıştır. Şekil 3.25’de zamana karşı iletkenlik giderimi gösterilmiştir.



Şekil 3.25 Ara kademe su için BW30-RO membranı ile elde edilen zamana karşı iletkenlik giderimi.

BW30-RO membranının toplam çözünen katı giderimi

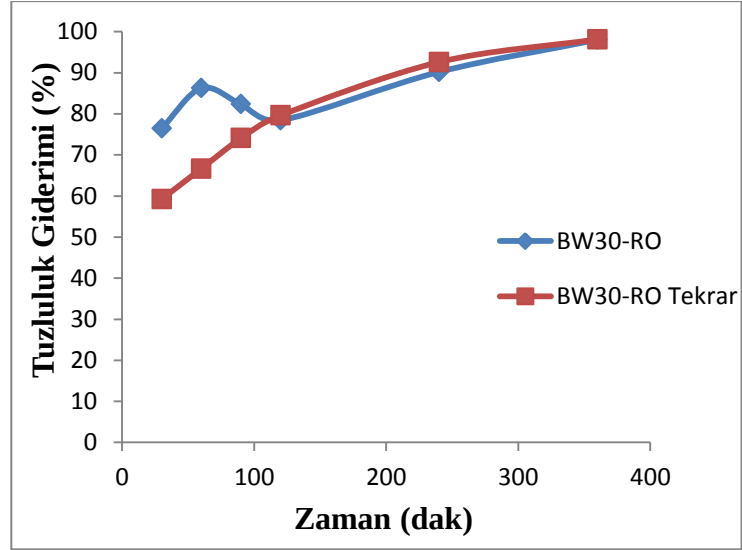
Toplam çözünen katı (TÇK) giderimi, iletkenlik giderimi ile aynı eğilimi göstermiştir. BW30-RO membranı ortalama %84 toplam çözünen katı giderimi vermiştir. Yapılan tekrar çalışmasında BW30-RO membranının toplam çözünen katı giderimi ortalama %79'dur. Şekil 3.26'da zamana karşı TÇK giderimi gösterilmiştir.



Şekil 3.26 Ara kademe su için BW30-RO membranı ile elde edilen zamana karşı TÇK giderimi.

BW30-RO membranının tuzluluk giderimi

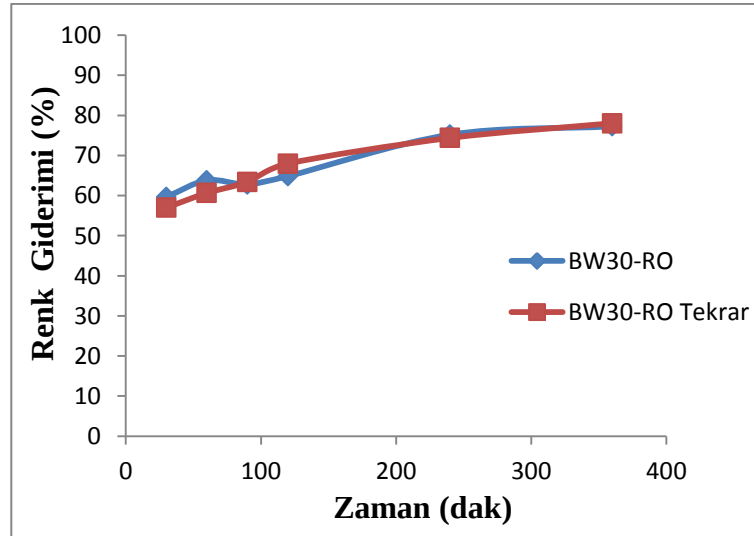
BW30-RO membranı ortalama %85 tuzluluk giderimi sağlamıştır. Yapılan tekrar çalışmasında ise BW30-RO membranı ile ortalama %79 tuzluluk giderimi elde edilmiştir. Şekil 3.27'de zamana karşı tuzluluk giderimi gösterilmiştir.



Şekil 3.27 Ara kademe su için BW30-RO membranı ile elde edilen zamana karşı tuzluluk giderimi.

BW30-RO membranının renk giderimi

BW30-RO membranı ve yapılan tekrar çalışmasında ortalama %66 renk giderimi elde edilmiştir. Şekil 3.28’de zamana karşı renk giderimi gösterilmiştir.

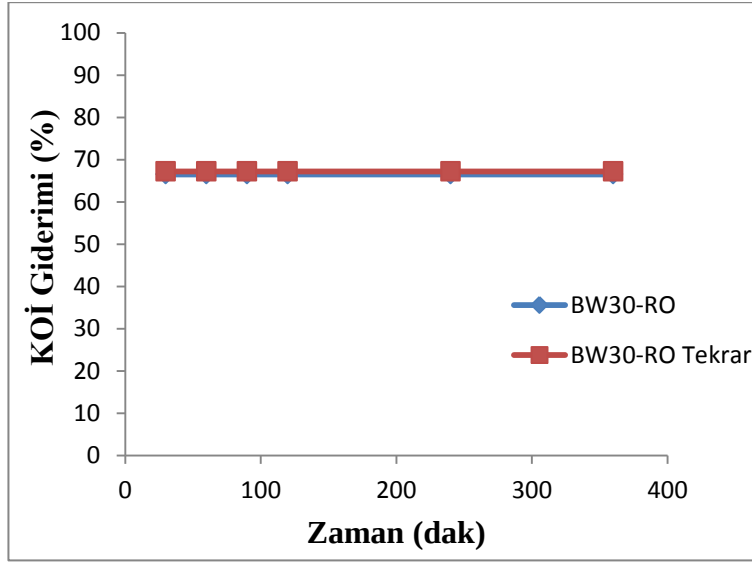


Şekil 3.28 Ara kademe su için BW30-RO membranı ile elde edilen zamana karşı renk giderimi.

BW30-RO membranının KOİ giderimi

BW30-RO membranı ortalama %67 kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) giderimi sağlamıştır. BW30 membranı ile yapılan tekrar çalışmasında ise yine,

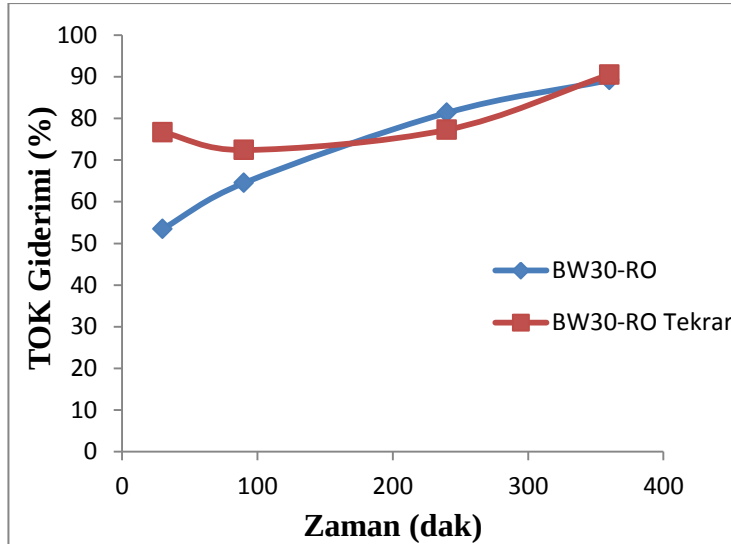
ortalama %67 KOİ giderimi elde edilmiştir. Şekil 3.29’da zamana karşı KOİ giderimi gösterilmiştir.



Şekil 3.29 Ara kademe su için BW30-RO membranı ile elde edilen zamana karşı KOİ giderimi.

BW30-RO membranının TOK giderimi

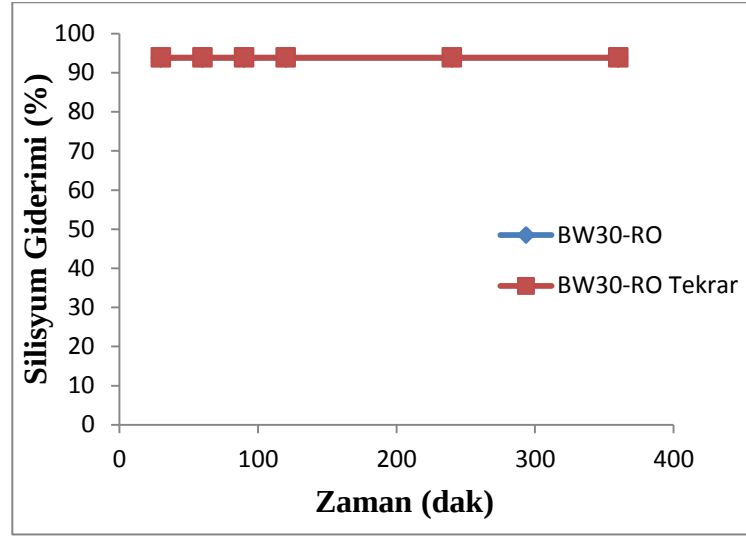
BW30-RO membranı %72 toplam organik karbon (TOK) giderimi sağlamıştır. BW30-RO membranı ile yapılan tekrar çalışmasında ise %79 TOK giderimi elde edilmiştir. Şekil 3.30’da zamana karşı TOK giderimi gösterilmiştir.



Şekil 3.30 Ara kademe su için BW30-RO membranı ile elde edilen zamana karşı TOK giderimi.

BW30-RO membranının silisyum giderimi

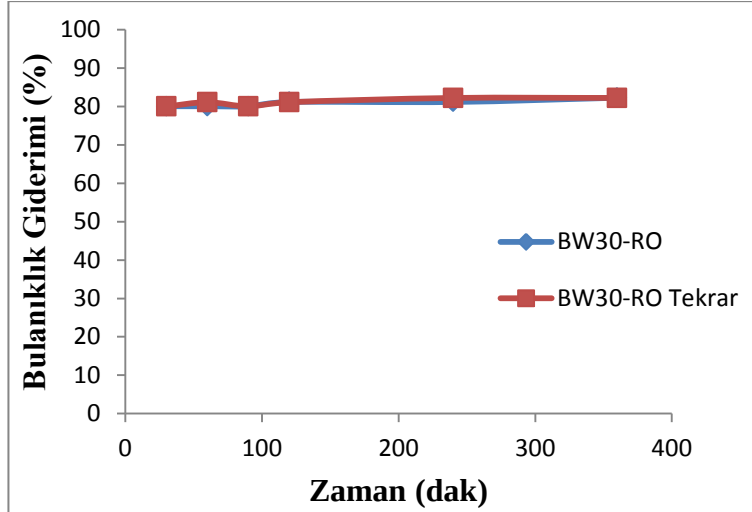
BW30-RO membranı ve yapılan tekrar çalışmasından ortalama %94 silisyum giderimi elde edilmiştir. Şekil 3.31’de zamana karşı silisyum giderimi gösterilmiştir.



Şekil 3.31 Ara kademe su için BW30-RO membranı ile elde edilen zamana karşı silisyum giderimi.

BW30-RO membranının bulanıklık giderimi

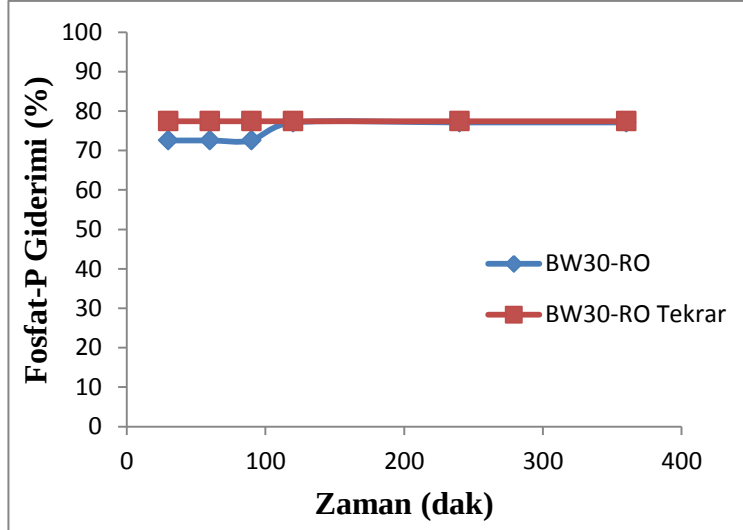
BW30-RO membranı ortalama %81 bulanıklık giderimi sağlamıştır. BW30-RO membranı ile yapılan tekrar çalışmasında ise yine ortalama %81 bulanıklık giderimi elde edilmiştir. Şekil 3.32’de zamana karşı bulanıklık giderimi gösterilmiştir.



Şekil 3.32 Ara kademe su için BW30-RO membranı ile elde edilen zamana karşı bulanıklık giderimi.

BW30-RO membranının fosfat-P giderimi

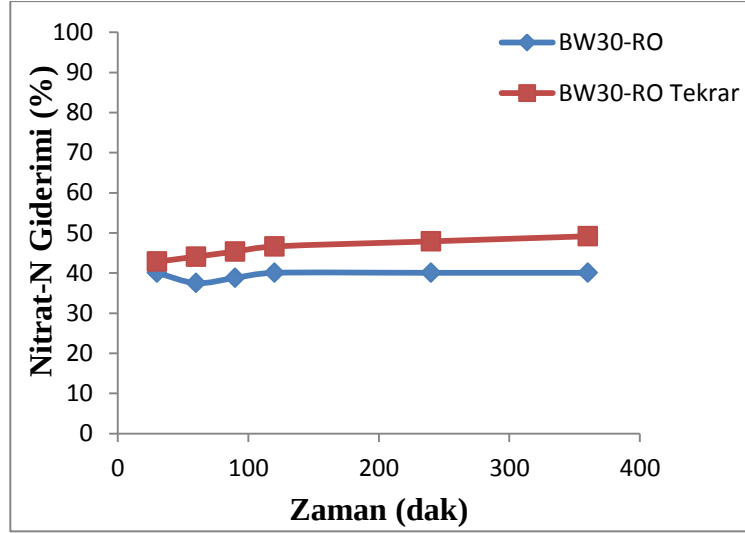
BW30-RO membranı ortalama %75 fosfat-P giderimi sağlamıştır. BW30-RO membranı ile yapılan tekrar çalışmasında ise ortalama %77 fosfat-P giderimi elde edilmiştir. Şekil 3.33’de zamana karşı fosfat-P giderimi gösterilmiştir.



Şekil 3.33 Ara kademe su için BW30-RO membranı ile elde edilen zamana karşı fosfat-P giderimi.

BW30-RO membranının nitrat-N giderimi

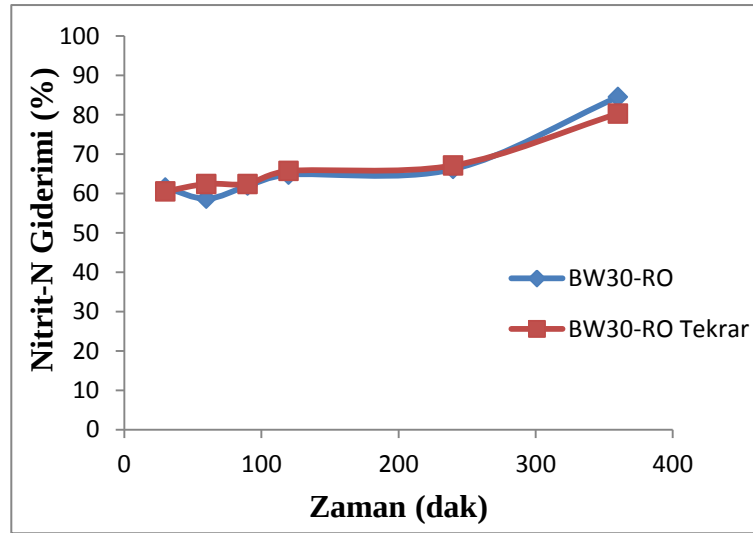
BW30-RO membranı ortalama %40 nitrat-N giderimi sağlamıştır. BW30-RO membranı ile yapılan tekrar çalışmasında ise ortalama %46 nitrat-N giderimi elde edilmiştir. Şekil 3.34’de zamana karşı nitrat-N giderimi gösterilmiştir.



Şekil 3.34 Ara kademe su için BW30 membranı ile elde edilen zamana karşı nitrat-N giderimi.

BW30-RO membranının nitrit-N giderimi

BW30-RO membranı ortalama %66 nitrit-N giderimi sağlamıştır. BW30-RO membranı ile yapılan tekrar çalışmasında ise yine ortalama %66 nitrit-N giderimi elde edilmiştir. Şekil 3.35’de zamana karşı nitrit-N giderimi gösterilmiştir.

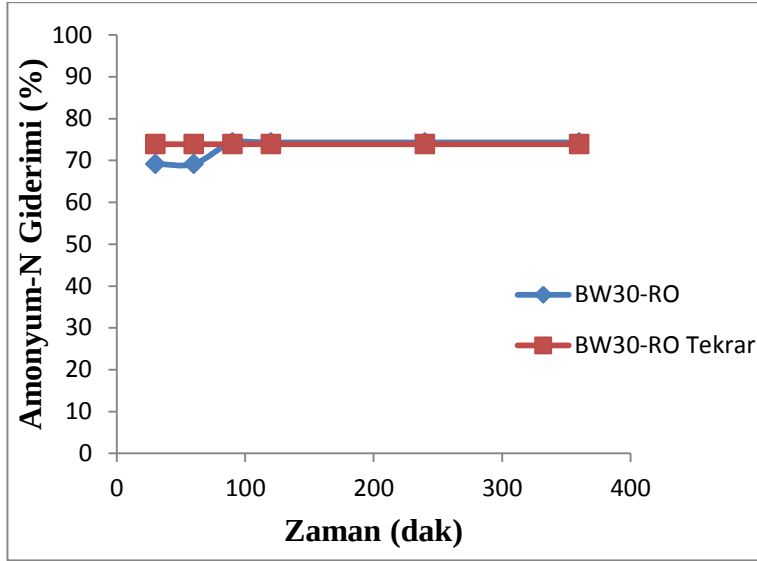


Şekil 3.35 Ara kademe su için BW30-RO membranı ile elde edilen zamana karşı nitrit-N giderimi.

BW30-RO membranının amonyum giderimi

BW30-RO membranı ortalama %72 amonyum-N giderimi sağlamıştır. BW30-RO membranı ile yapılan tekrar çalışmasında ise ortalama %74 amonyum-

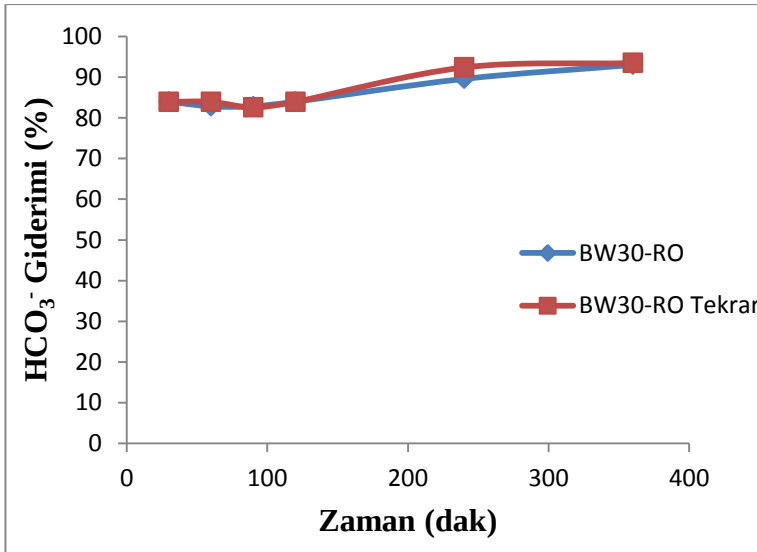
N giderimi elde edilmiştir. Şekil 3.36’da zamana karşı amonyum-N giderimi gösterilmiştir.



Şekil 3.36 Ara kademe su için BW30-RO membranı ile elde edilen zamana karşı amonyum-N giderimi.

BW30-RO membranının HCO_3^- giderimi

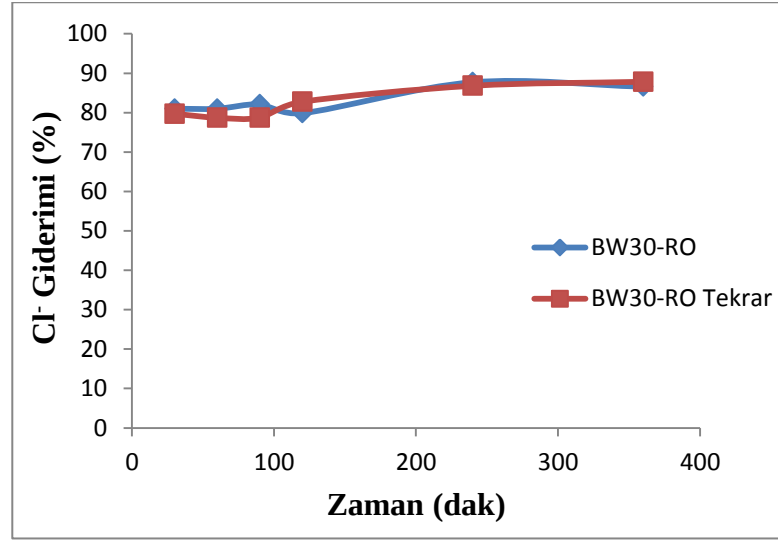
BW30-RO membranı ortalama %86 HCO_3^- giderimi sağlamıştır. BW30-RO membranı ile yapılan tekrar çalışmasında ise ortalama %87 HCO_3^- giderimi elde edilmiştir. Şekil 3.37’de zamana karşı HCO_3^- giderimi gösterilmiştir.



Şekil 3.37 Ara kademe su için BW30-RO membranı ile elde edilen zamana karşı HCO_3^- giderimi.

BW30-RO membranının Cl^- giderimi

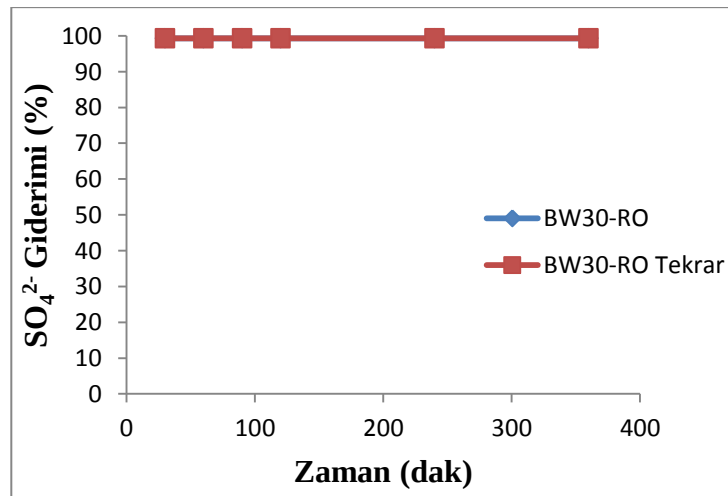
BW30-RO membranı ortalama %83 Cl^- giderimi sağlamıştır. BW30-RO membranı ile yapılan tekrar çalışmasında ise yine ortalama %83 Cl^- giderimi elde edilmiştir. Şekil 3.38’de zamana karşı Cl^- giderimi gösterilmiştir.



Şekil 3.38 Ara kademe su için BW30-RO membranı ile elde edilen zamana karşı Cl^- giderimi.

BW30-RO membranının sülfat iyonu (SO_4^{2-}) giderimi

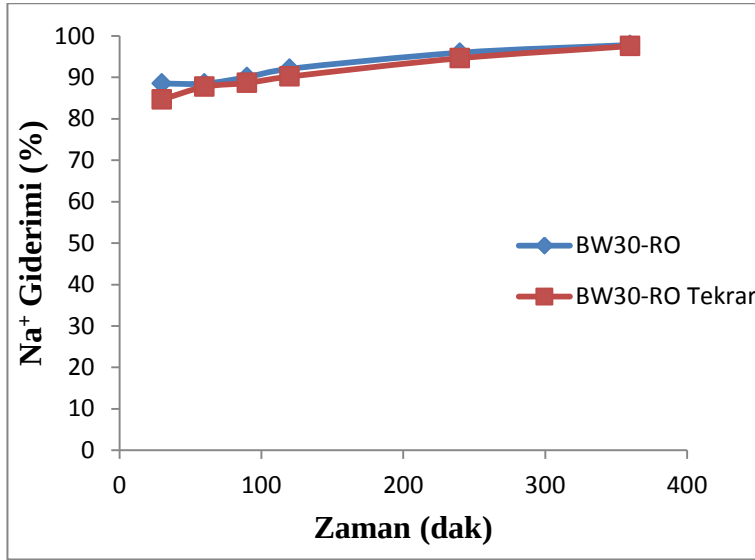
BW30-RO membranı ortalama %99 sülfat iyonu giderimi sağlamıştır. BW30-RO membranı ile yapılan tekrar çalışmasında ise yine ortalama %99 sülfat iyonu giderimi elde edilmiştir. Şekil 3.39’da zamana karşı sülfat iyonu giderimi gösterilmiştir.



Şekil 3.39 Ara kademe su için BW30-RO membranı ile elde edilen zamana karşı SO_4^{2-} giderimi.

BW30-RO membranının Na^+ giderimi

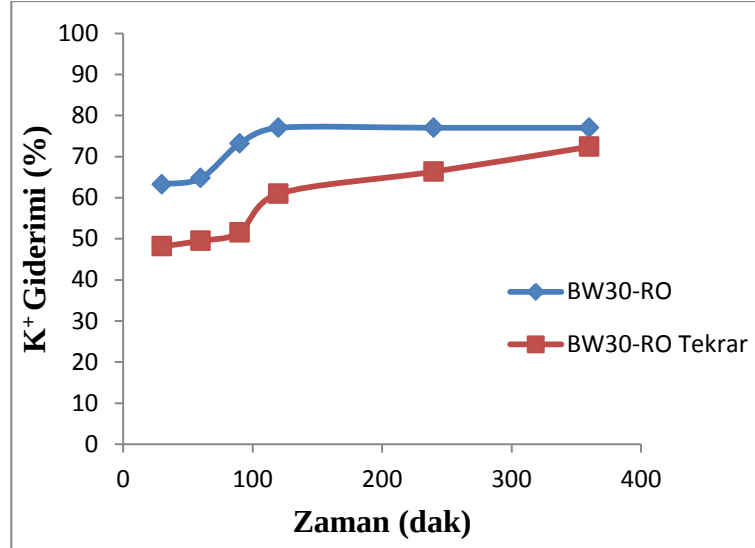
BW30-RO membranı ortalama %92 sodyum iyonu giderimi sağlamıştır. BW30-RO membranı ile yapılan tekrar çalışmasında ise ortalama %91 sodyum iyonu giderimi elde edilmiştir. Şekil 3.40'da zamana karşı sodyum iyonu giderimi gösterilmiştir.



Şekil 3.40 Ara kademe su için BW30-RO membranı ile elde edilen zamana karşı Na^+ giderimi.

BW30-RO membranının K^+ giderimi

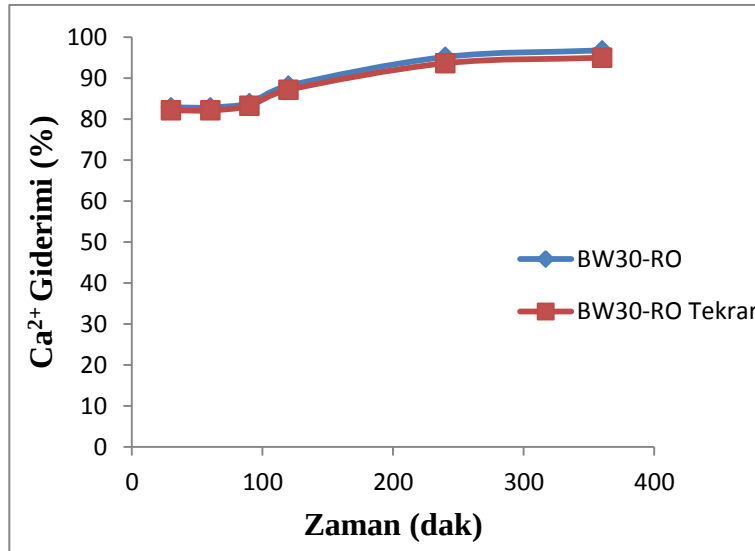
BW30-RO membranı ortalama %72 potasyum iyonu giderimi sağlamıştır. BW30-RO membranı ile yapılan tekrar çalışmasında ise ortalama %52 potasyum iyonu giderimi elde edilmiştir. Şekil 3.41'de zamana karşı potasyum iyonu giderimi gösterilmiştir.



Şekil 3.41 Ara kademe su için BW30-RO membranı ile elde edilen zamana karşı potasyum iyonu giderimi.

BW30-RO membranının kalsiyum iyonu (Ca^{2+}) giderimi

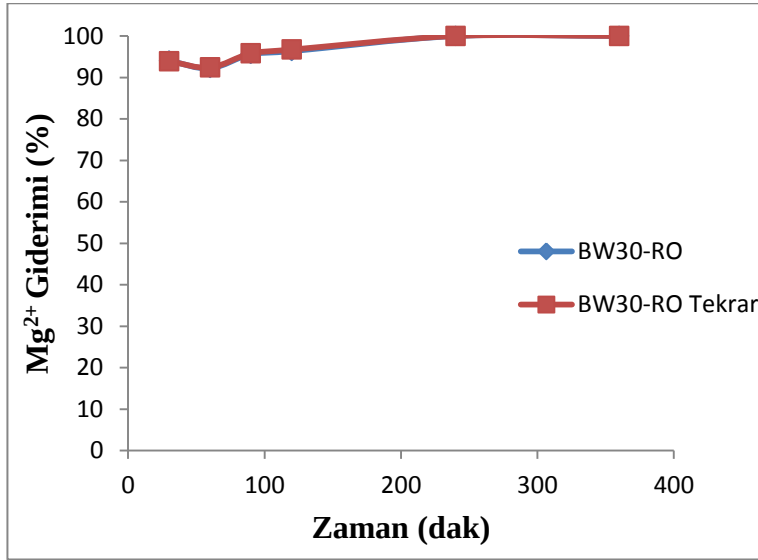
BW30-RO membranı ortalama %88 kalsiyum iyonu giderimi sağlamıştır. BW30-RO membranı ile yapılan tekrar çalışmasında ise ortalama %87 kalsiyum iyonu giderimi elde edilmiştir. Şekil 3.42’de zamana karşı kalsiyum iyonu giderimi gösterilmiştir.



Şekil 3.42 Ara kademe su için BW30-RO membranı ile elde edilen zamana karşı Ca^{2+} giderimi.

BW30-RO membranının magnezyum iyonu (Mg^{2+}) giderimi

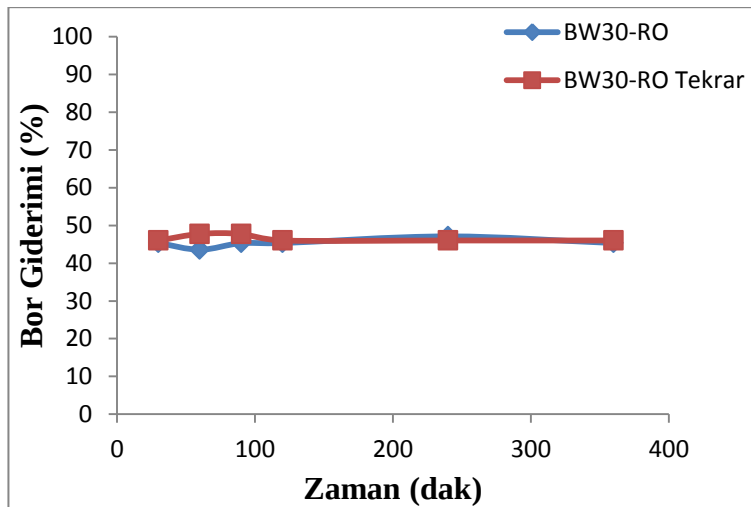
BW30-RO membranı ortalama %96 magnezyum iyonu giderimi sağlamıştır. BW30-RO membranı ile yapılan tekrar çalışmasında ise ortalama %97 magnezyum iyonu giderimi elde edilmiştir. Şekil 3.43'de zamana karşı magnezyum iyonu giderimi gösterilmiştir.



Şekil 3.43 Ara kademe su için BW30-RO membranı ile elde edilen zamana karşı Mg^{2+} giderimi.

BW30-RO membranının bor giderimi

BW30-RO membranı ortalama %45 bor giderimi sağlamıştır. BW30-RO membranı ile yapılan tekrar çalışmasında ise ortalama %47 bor giderimi elde edilmiştir. Şekil 3.44'de zamana karşı bor giderimi gösterilmiştir.



Şekil 3.44 Ara kademe su için BW30-RO membranı ile elde edilen zamana karşı bor giderimi.

Ara kademe suyun BW30-RO membranı ile arıtılması ile elde edilen ürün suyun kalite analizi

Çizelge 3.5’de gösterildiği gibi; BW30-RO membranı ile elde edilen ürün suyun kalitesi, ekmek üretiminde kullanılacak suyun kalite parametrelerini içeren TS 266 ‘İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmelik’ hükümlerine uygun niteliktedir.

Çizelge 3.5 TS 266 standartları ile BW30-RO membranının besleme/süzüntü suyu özelliklerinin karşılaştırılması.

Parametre	BW30-RO		BW30-RO Tekrar		TS 266 ‘İnsani Tüketim Amaçlı Sular’
	Besleme Ortalaması	Süzüntü Ortalaması	Besleme Ortalaması	Süzüntü Ortalaması	
pH	8.32	7.90	8.68	8.49	SB ^a
TÇK (mg/L)	501	78.64	526	113.96	SB ^a
İletkenlik (µS/cm)	1002	153.78	1052	213.55	SB ^a
Tuzluluk (psu)	0.51	0.07	0.54	0.12	SB ^a
Renk (Hazen)	9.67	2.71	10.93	3.62	TKEDY ^b
KOİ (mg/L)	11.94	< 4	12.20	< 4	SB ^a
TOK (mg/L)	25.99	7.25	26.13	5.43	Anormal değişim yok
Na ⁺ (mg/L)	161.14	12.63	163.21	15.38	100-200
Ca ²⁺ (mg/L)	43.47	5.09	44.79	5.73	SB ^a
K ⁺ (mg/L)	6.53	1.83	7.43	3.11	SB ^a
Mg ²⁺ (mg/L)	21.06	1.15	21.30	1.13	SB ^a
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	8.73	1.22	9.34	1.24	SB ^a
Cl ⁻ (mg/L)	89.43	15.17	98.57	17.33	30-250
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	14.00	< 0.1	14.43	< 0.1	25-250
PO ₄ -P (mg/L)	0.22	0.06	0.22	0.05	SB ^a
NO ₃ -N (mg/L)	0.78	0.48	0.79	0.43	25-50
NO ₂ -N (mg/L)	0.021	0.0071	0.021	0.0072	0.10-0.50
NH ₄ -N (mg/L)	0.19	0.05	0.19	0.05	0.05-0.50
Bulanıklık (NTU)	0.90	0.17	0.90	0.17	1-5
Silisyum (mg/L)	80.29	5	81.43	5	SB ^a
Bor (mg/L)	0.57	0.31	0.57	0.31	1

^aStandart belirtilmemiş. ^bTüketicilerce kabul edilebilir ve herhangi bir anormal değişim yok.

3.1.2. NF membranları ile yapılan testler

3.1.2.1. Ham su testleri

HL-NF ve DL-NF membranlarının geçirgenliği ve hacimsel akı değerleri, membran içinden besleme suyu olarak deiyonize su geçirilmesi ile belirlenmiştir.

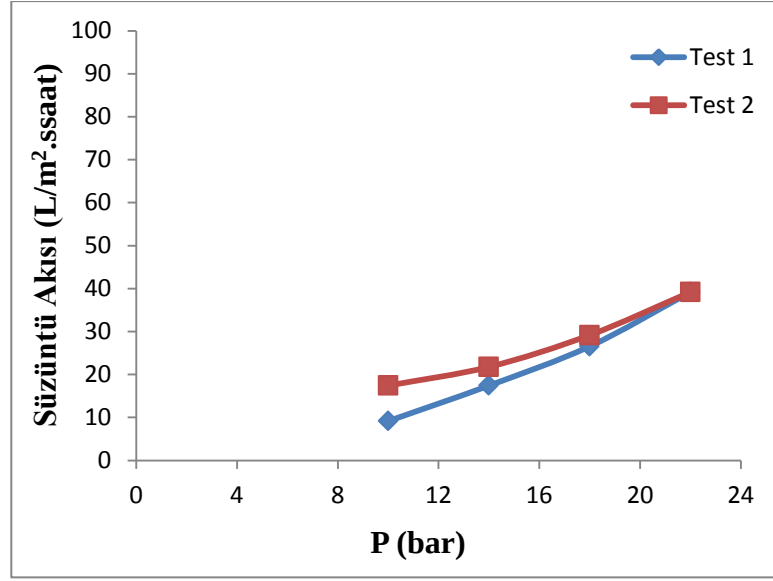
Konsantrenin akış hızı 96 L/saat olarak sabit tutulmuştur. HL-NF membranı için, membran geçirgenliği 1.47 olarak bulunmuştur. DL-NF membranı için ise membran geçirgenliği 6.43 olarak bulunmuştur. HL-NF ve DL-NF membranları için elde edilen deneysel veriler Çizelge 3.6 ve 3.7’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.6 HL-NF membranı için deneysel veri ve hesaplanan değerler.

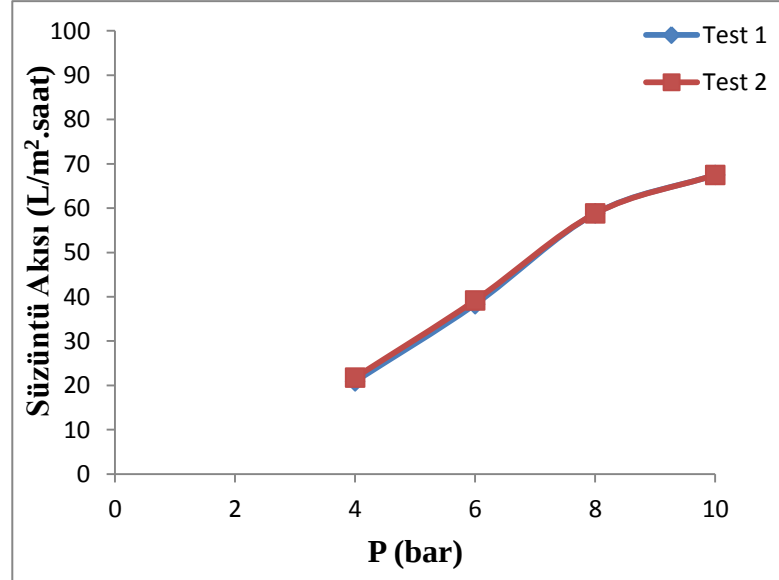
P	Qc	Qp	Jv	Lp
(Bar)	(L/saat)	(L/saat)	(L/saat.m ²)	(L/(saat.m ² .bar))
10	96	0.12	9.14	0.91
14	96	0.24	17.41	1.24
18	96	0.36	26.56	1.47
22	96	0.54	39.18	1.78
18	96	0.40	29.17	1.62
14	96	0.30	21.77	1.55
10	96	0.24	17.41	1.74

Çizelge 3.7 DL-NF membranı için deneysel veri ve hesaplanan değerler.

P	Qc	Qp	Jv	Lp
(Bar)	(L/saat)	(L/saat)	(L/saat.m ²)	(L/(saat.m ² .bar))
4	96	0.28	20.89	5.22
6	96	0.52	38.31	6.38
8	96	0.81	58.78	7.34
10	96	0.93	67.48	6.74
8	96	0.81	58.78	7.34
6	96	0.54	39.18	6.53
4	96	0.30	21.77	5.44



Şekil 3.45 Uygulanan farklı basınçlarda HL-NF membranının süzöntü akısı değerleri.

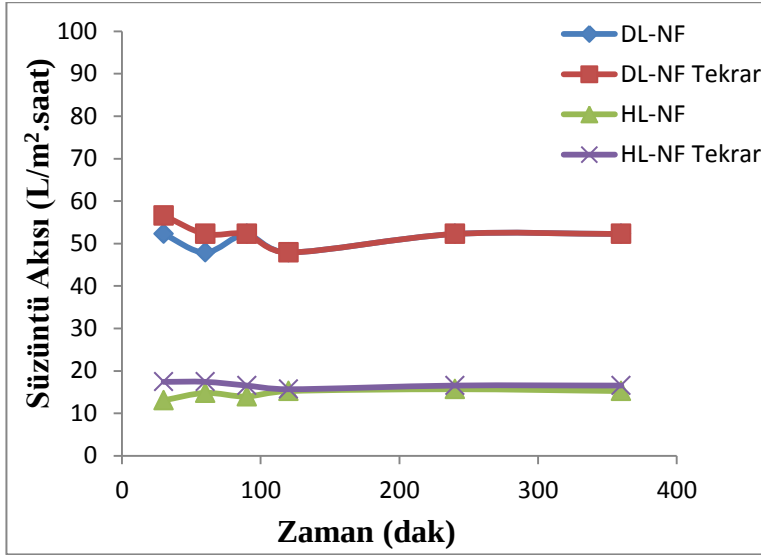


Şekil 3.46 Uygulanan farklı basınçlarda DL-NF membranının süzöntü akısı değerleri.

NF membranlarının süzöntü akıları

Bu çalışmada ham su, çapraz akış düz tabaka membran test sistemi kullanılarak nanofiltrasyon işlemine tabi tutulmuştur. Ham suyun arıtılması için HL-NF ve DL-NF membranları kullanılmıştır. HL-NF membranının süzöntü akısı ortalama $14.6 \text{ L/m}^2.\text{saat}$ ' dir. HL-NF membranı ile yapılan tekrar çalışmasında ise, süzöntü akısı ortalama $16.7 \text{ L/m}^2.\text{saat}$ ' dir. DL-NF membranının ortalama süzöntü akısı $50.8 \text{ L/m}^2.\text{saat}$ olarak bulunmuştur. DL-NF membranı ile yapılan tekrar çalışmasında ise, ortalama süzöntü akısı $52.2 \text{ L/m}^2.\text{saat}$ olarak elde edilmiştir. HL-

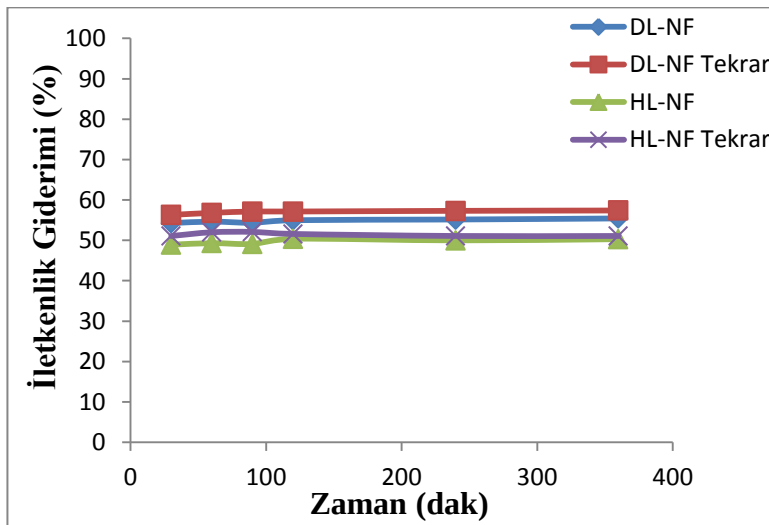
NF membranının süzöntü akısının daha düşük olması, membran kirlenmesi nedeniyle olabilir. Hacimsel süzöntü akışı testlerinin sonucunda, zamana karşı süzöntü akıları grafikleri Şekil 3.47’de gösterilmiştir.



Şekil 3.47 Ham su için NF membranları ile elde edilen zamana karşı süzöntü akısı değerleri.

NF membranlarının iletkenlik giderimi

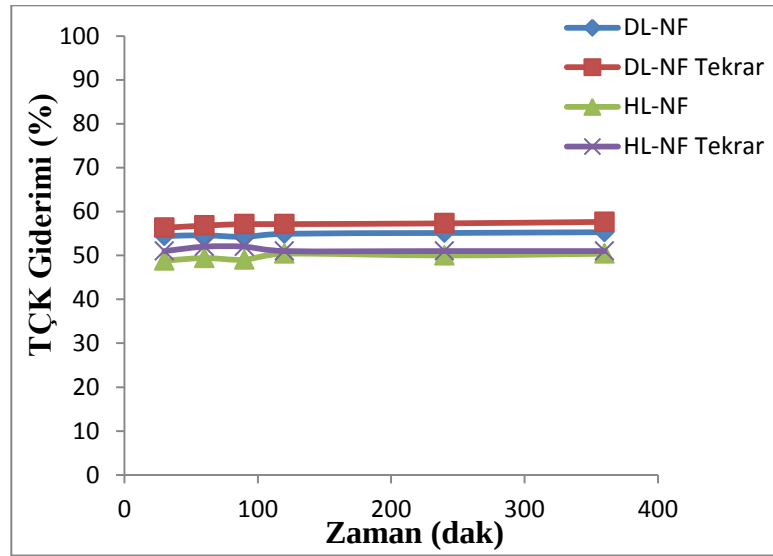
HL-NF membranının ortalama iletkenlik giderimi %49.7’dir. HL-NF membranı ile yapılan tekrar çalışmasında ise ortalama iletkenlik giderimi %51.5 olarak bulunmuştur. DL-NF membranının ortalama iletkenlik giderimi %54.8’dir. DL-NF membranı ile yapılan tekrar çalışmasında ise ortalama iletkenlik giderimi %57.0 olarak bulunmuştur. Zamana karşı iletkenlik giderimi grafiği Şekil 3.48’de gösterilmiştir.



Şekil 3.48 Ham su için NF membranları ile elde edilen zamana karşı iletkenlik giderimi.

NF membranlarının TÇK giderimi

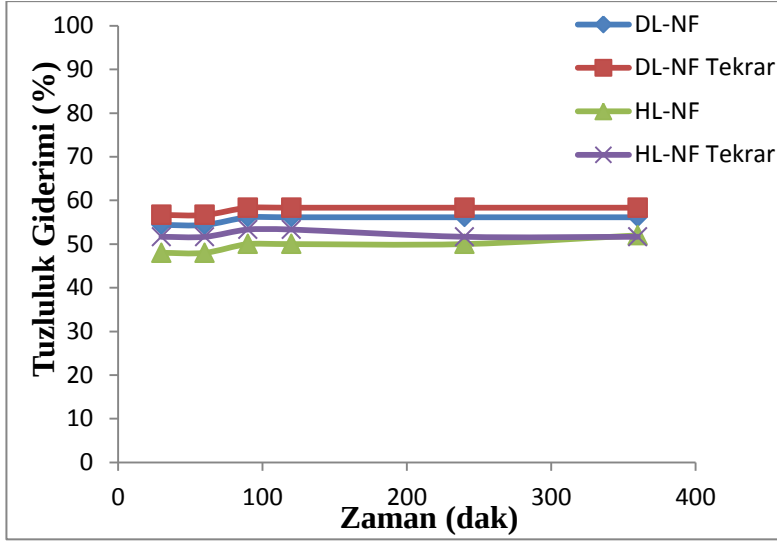
TÇK giderimleri, iletkenlik giderimleri ile aynı değerde (%) gerçekleştirilmiştir. HL-NF membranının ortalama TÇK giderimi %49.7'dir. HL-NF membranı ile yapılan tekrar çalışmasında ise ortalama TÇK giderimi %51.5 olarak bulunmuştur. DL-NF membranının ortalama TÇK giderimi %54.8'dir. DL-NF membranı ile yapılan tekrar çalışmasında ise ortalama TÇK giderimi % 57.0 olarak bulunmuştur. Zamana karşı TÇK giderimi grafiği Şekil 3.49'da gösterilmiştir.



Şekil 3.49 Ham su için NF membranları ile elde edilen zamana karşı TÇK giderimi.

NF membranlarının tuzluluk giderimi

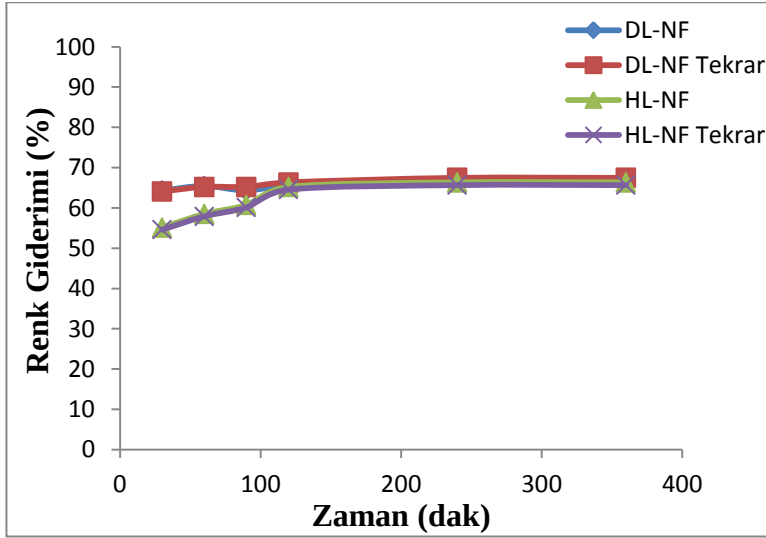
HL-NF membranının ortalama tuzluluk giderimi %49.7'dir. HL-NF membranı ile yapılan tekrar çalışmasında ise ortalama tuzluluk giderimi %52.2 olarak bulunmuştur. DL-NF membranının ortalama tuzluluk giderimi %55.6'dır. DL-NF membranı ile yapılan tekrar çalışmasında ise ortalama tuzluluk giderimi %57.8 olarak bulunmuştur. Zamana karşı tuzluluk giderimi grafiği, Şekil 3.50'de gösterilmiştir.



Şekil 3.50 Ham su için NF membranları ile elde edilen zamana karşı tuzluluk giderimi.

NF membranlarının renk giderimi

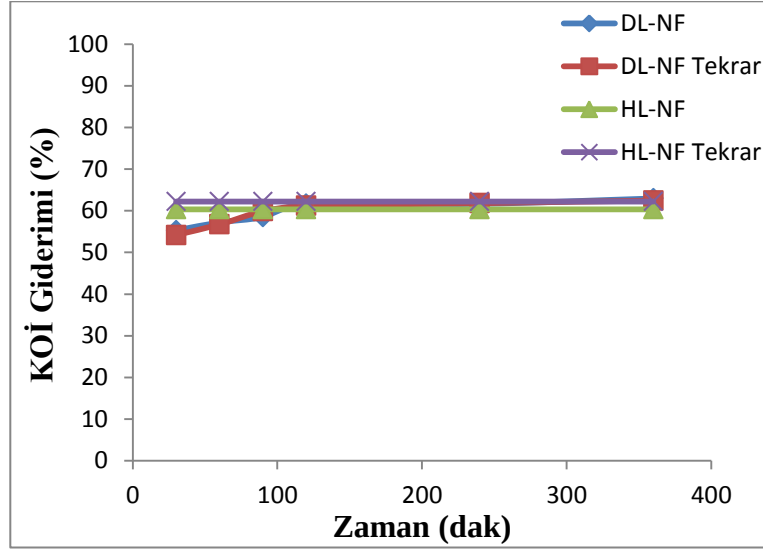
HL-NF membranının ortalama renk giderimi %62.1'dir. HL-NF membranı ile yapılan tekrar çalışmasında ise ortalama renk giderimi %64.1 olarak bulunmuştur. DL-NF membranının ortalama renk giderimi %55.6'dır. DL-NF membranı ile yapılan tekrar çalışmasında ise ortalama renk giderimi %65.4 olarak bulunmuştur. Zamana karşı renk giderimi grafiği, Şekil 3.51'de gösterilmiştir.



Şekil 3.51 Ham su için NF membranları ile elde edilen zamana karşı renk giderimi.

NF membranlarının KOİ giderimi

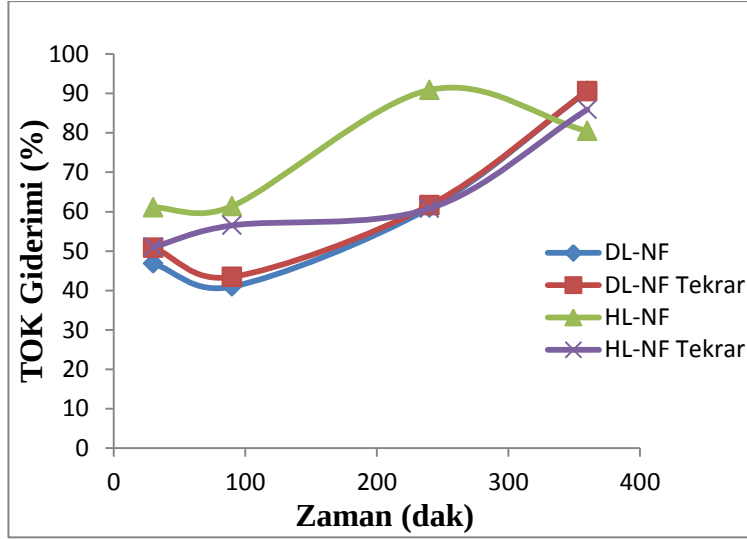
HL-NF membranının ortalama KOİ giderimi %60.3'dür. HL-NF membranı ile yapılan tekrar çalışmasında ise ortalama KOİ giderimi %62.2 olarak bulunmuştur. DL-NF membranının ortalama KOİ giderimi %60.0'dır. DL-NF membranı ile yapılan tekrar çalışmasında ise ortalama KOİ giderimi %59.4 olarak bulunmuştur. Zamana karşı KOİ giderimi grafiği, Şekil 3.52'de gösterilmiştir.



Şekil 3.52 Ham su için NF membranları ile elde edilen zamana karşı KOİ giderimi.

NF membranlarının TOK giderimi

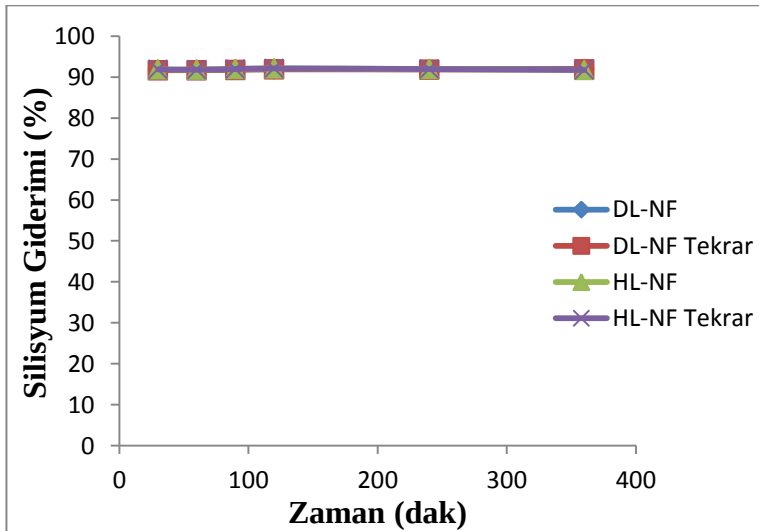
HL-NF membranının ortalama TOK giderimi %73.4'dür. HL-NF membranı ile yapılan tekrar çalışmasında ise ortalama TOK giderimi %63.6 olarak bulunmuştur. DL-NF membranının ortalama TOK giderimi %59.9'dur. DL-NF membranı ile yapılan tekrar çalışmasında ise ortalama TOK giderimi %61.6 olarak bulunmuştur. Zamana karşı TOK giderimi grafiği, Şekil 3.53'de gösterilmiştir.



Şekil 3.53 Ham su için NF membranları ile elde edilen zamana karşı TOK giderimi.

NF membranlarının silisyum giderimi

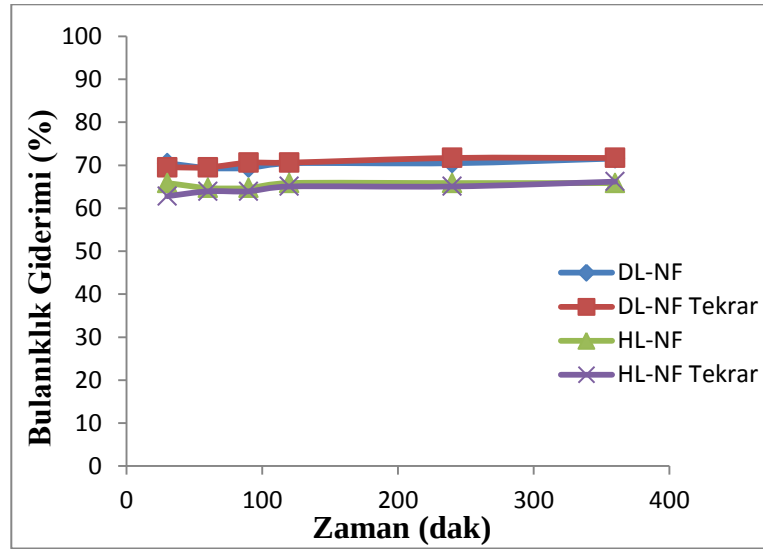
HL-NF membranının ortalama silisyum giderimi %92.0' dır. HL-NF membranı ile yapılan tekrar çalışmasında ise ortalama silisyum giderimi %92.0 olarak bulunmuştur. DL-NF membranının silisyum giderimi %91.9' dur. DL-NF membranı ile yapılan tekrar çalışmasında ise ortalama silisyum giderimi %91.8 olarak bulunmuştur. Zamana karşı silisyum giderimi grafiği, Şekil 3.54'de gösterilmiştir.



Şekil 3.54 Ham su için NF membranları ile elde edilen zamana karşı silisyum giderimi.

NF membranlarının bulanıklık giderimi

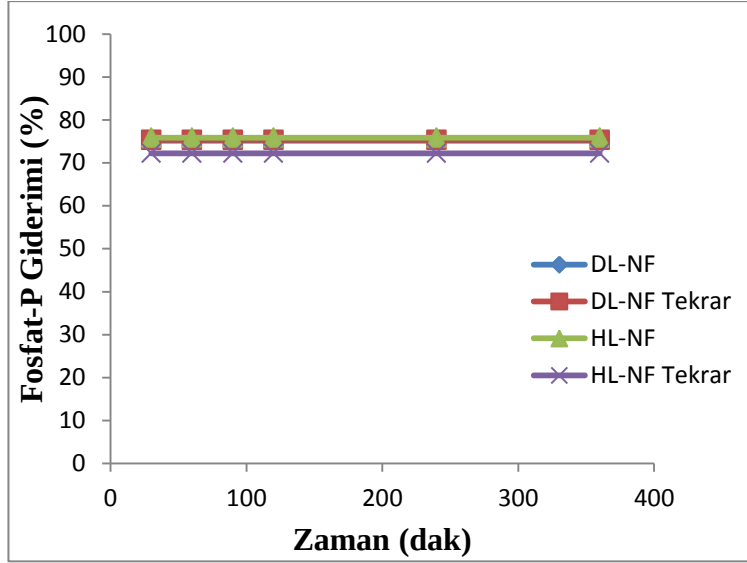
HL-NF membranının ortalama bulanıklık giderimi %65.5'dir. HL-NF membranı ile yapılan tekrar çalışmasında ise ortalama bulanıklık giderimi %64.5 olarak bulunmuştur. DL-NF membranının bulanıklık giderimi %70.3'dür. DL-NF membranı ile yapılan tekrar çalışmasında ise ortalama bulanıklık giderimi %71.0 olarak bulunmuştur. Zamana karşı bulanıklık giderimi grafiği, Şekil 3.55'de gösterilmiştir.



Şekil 3.55 Ham su için NF membranları ile elde edilen zamana karşı bulanıklık giderimi.

NF membranlarının fosfat-P giderimi

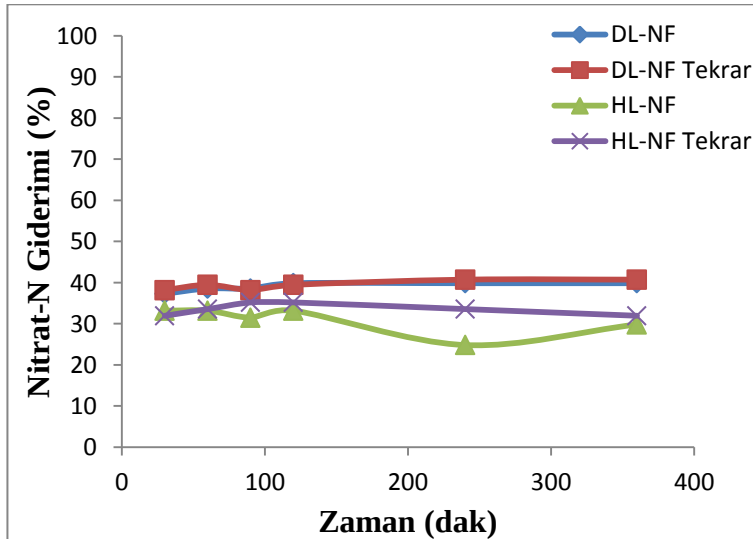
HL-NF membranının ortalama fosfat-P giderimi %75.9'dur. HL-NF membranı ile yapılan tekrar çalışmasında ise ortalama fosfat-P giderimi %72.2 olarak bulunmuştur. DL-NF membranının fosfat-P giderimi %75.2'dir. DL-NF membranı ile yapılan tekrar çalışmasında ise ortalama fosfat-P giderimi %75.4 olarak bulunmuştur. Zamana karşı fosfat-P giderimi grafiği, Şekil 3.56'da gösterilmiştir.



Şekil 3.56 Ham su için NF membranları ile elde edilen zamana karşı fosfat-P giderimi.

NF membranlarının nitrat-N giderimi

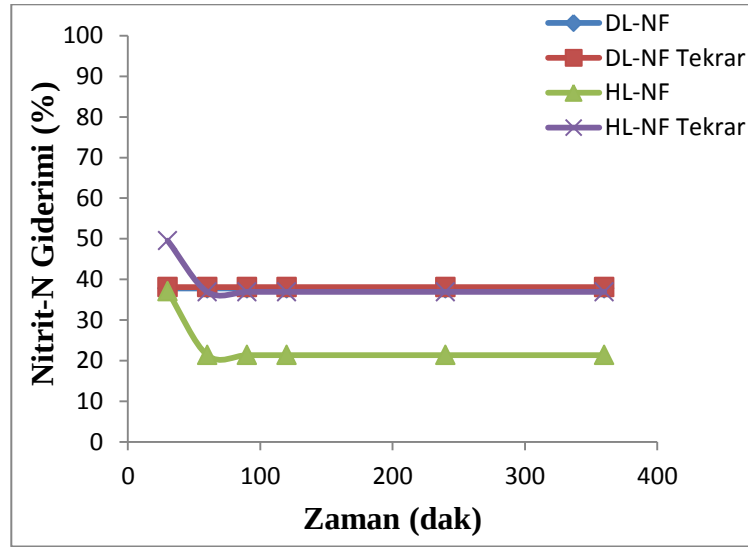
HL-NF membranının ortalama nitrat-N giderimi %30.9'dur. HL-NF membranı ile yapılan tekrar çalışmasında ise ortalama nitrat-N giderimi %33.6 olarak bulunmuştur. DL-NF membranının nitrat-N giderimi %39.0'dir. DL-NF membranı ile yapılan tekrar çalışmasında ise ortalama nitrat-N giderimi %39.5 olarak bulunmuştur. Zamana karşı nitrat-N giderimi grafiği, Şekil 3.57'de gösterilmiştir.



Şekil 3.57 Ham su için NF membranları ile elde edilen zamana karşı nitrat-N giderimi.

NF membranlarının nitrit-N giderimi

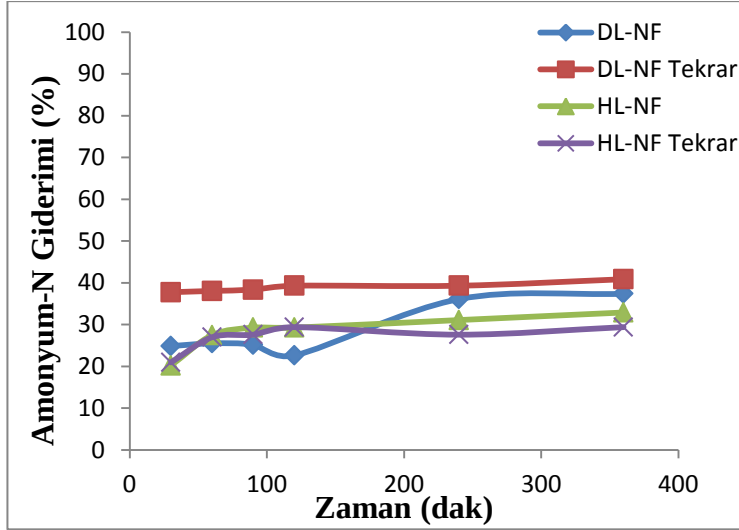
HL-NF membranının ortalama nitrit-N giderimi %24.0'dür. HL-NF membranı ile yapılan tekrar çalışmasında ise ortalama nitrit-N giderimi %39.0 olarak bulunmuştur. DL-NF membranının nitrit-N giderimi %37.8'dir. DL-NF membranı ile yapılan tekrar çalışmasında ise ortalama nitrit-N giderimi %38.1 olarak bulunmuştur. Zamana karşı nitrit-N giderimi grafiği, Şekil 3.58'de gösterilmiştir.



Şekil 3.58 Ham su için NF membranları ile elde edilen zamana karşı nitrit-N giderimi.

NF membranlarının amonyum-N giderimi

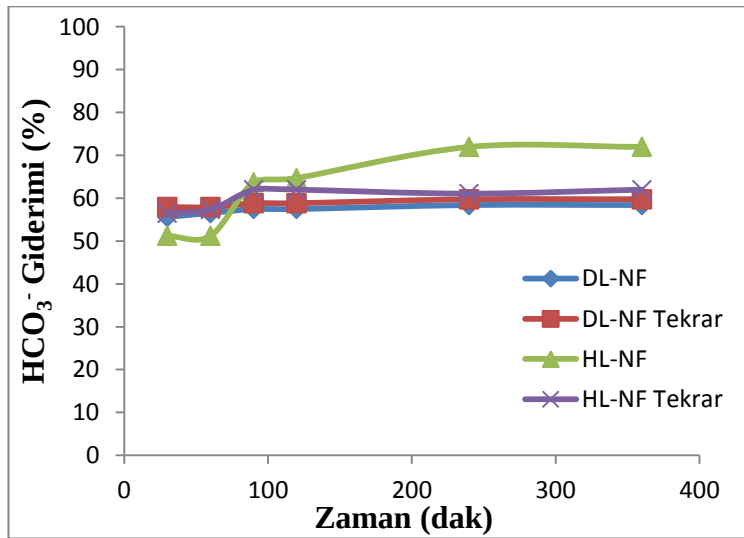
HL-NF membranının ortalama amonyum-N giderimi %28.6'dır. HL-NF membranı ile yapılan tekrar çalışmasında ise ortalama amonyum-N giderimi %39.0 olarak bulunmuştur. DL-NF membranının amonyum-N giderimi %28.6'dır. DL-NF membranı ile yapılan tekrar çalışmasında ise ortalama amonyum-N giderimi %38.9 olarak bulunmuştur. Zamana karşı amonyum-N giderimi grafiği Şekil 3.59'da gösterilmiştir.



Şekil 3.59 Ham su için NF membranları ile elde edilen zamana karşı amonyum-N giderimi.

NF membranlarının bikarbonat giderimi

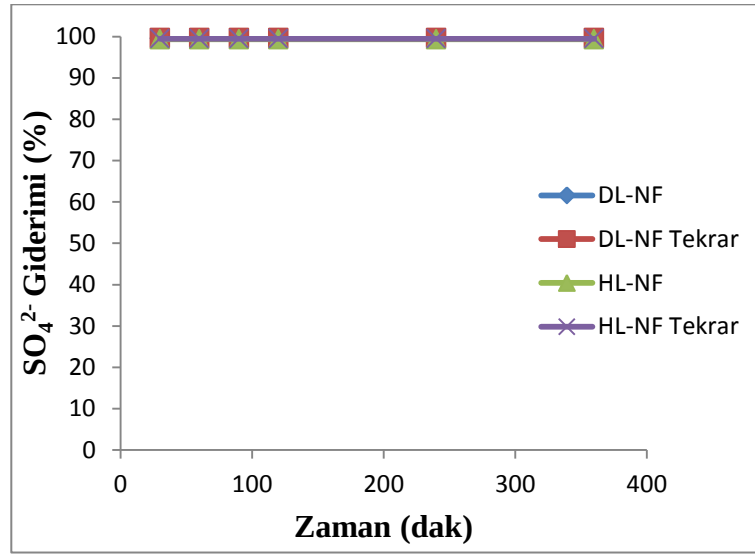
HL-NF membranının ortalama bikarbonat giderimi %62.5'dir. HL-NF membranı ile yapılan tekrar çalışmasında ise ortalama bikarbonat giderimi %60.0 olarak bulunmuştur. DL-NF membranının bikarbonat giderimi %57.0'dır. DL-NF membranı ile yapılan tekrar çalışmasında ise ortalama bikarbonat giderimi %58.0 olarak bulunmuştur. Zamana karşı bikarbonat giderimi grafiği, Şekil 3.60'da gösterilmiştir.



Şekil 3.60 Ham su için NF membranları ile elde edilen zamana karşı HCO_3^- giderimi.

NF membranlarının sülfat iyonu (SO_4^{2-}) giderimi

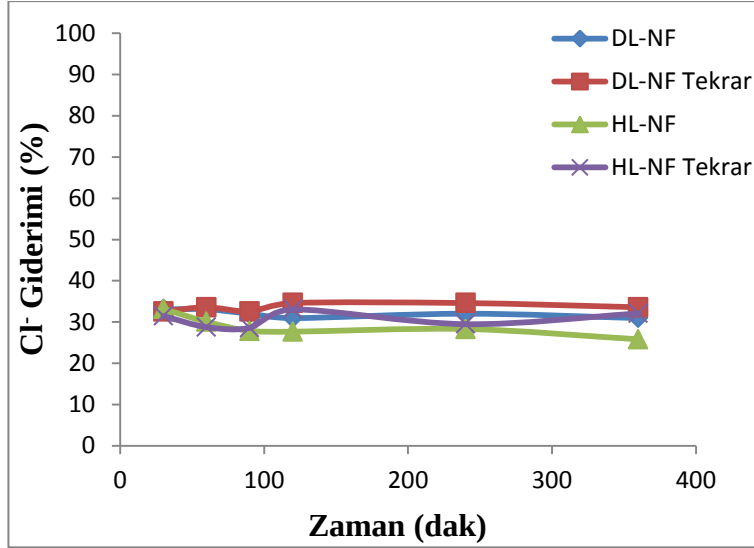
HL-NF membranının ortalama sülfat iyonu giderimi %99.4'dür. HL-NF membranı ile yapılan tekrar çalışmasında ise ortalama sülfat iyonu giderimi %99.5 olarak bulunmuştur. DL-NF membranının sülfat iyonu giderimi %99.6'dır. DL-NF membranı ile yapılan tekrar çalışmasında ise ortalama sülfat iyonu giderimi %99.6 olarak bulunmuştur. Zamana karşı sülfat iyonu giderimi grafiği, Şekil 3.61'de gösterilmiştir.



Şekil 3.61 Ham su için NF membranları ile elde edilen zamana karşı SO_4^{2-} giderimi.

NF membranlarının klorür iyonu (Cl^-) giderimi

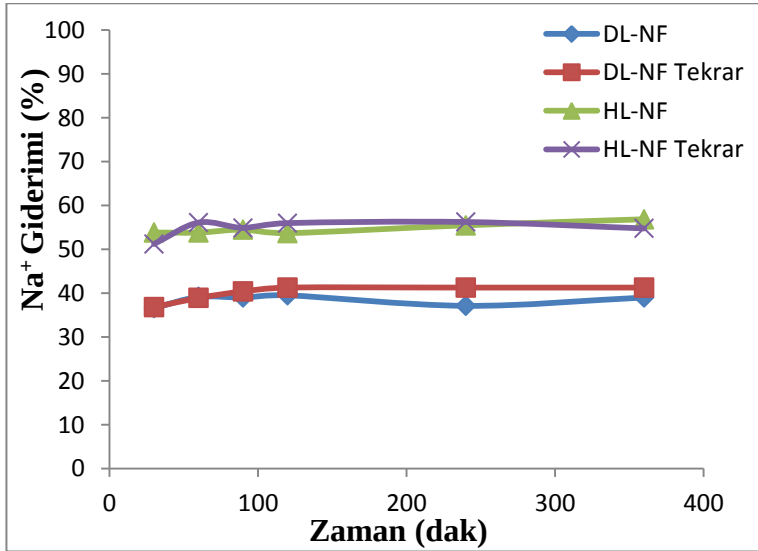
HL-NF membranının ortalama Cl^- giderimi %28.8'dir. HL-NF membranı ile yapılan tekrar çalışmasında ise ortalama Cl^- giderimi %30.6 olarak bulunmuştur. DL-NF membranının Cl^- giderimi %32.0'dır. DL-NF membranı ile yapılan tekrar çalışmasında ise ortalama Cl^- giderimi %33.6 olarak bulunmuştur. Zamana karşı Cl^- giderimi grafiği Şekil 3.62'de gösterilmiştir.



Şekil 3.62 Ham su için NF membranları ile elde edilen zamana karşı Cl^- giderimi.

NF membranlarının Na^+ giderimi

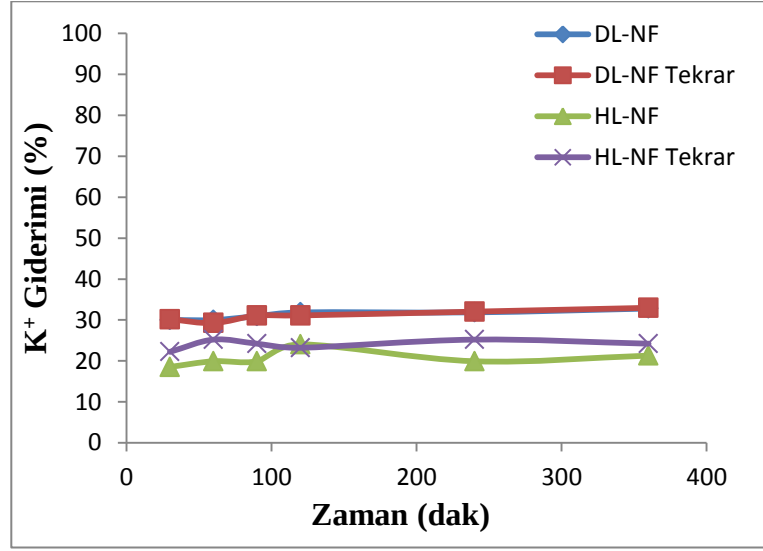
HL-NF membranının ortalama Na^+ giderimi %54.7'dir. HL-NF membranı ile yapılan tekrar çalışmasında ise ortalama Na^+ giderimi %54.8 olarak bulunmuştur. DL-NF membranının Na^+ giderimi %38.4'dür. DL-NF membranı ile yapılan tekrar çalışmasında ise ortalama Na^+ giderimi %40.0 olarak bulunmuştur. Zamana karşı Na^+ giderimi grafiği, Şekil 3.63'de gösterilmiştir.



Şekil 3.63 Ham su için NF membranları ile elde edilen zamana karşı Na^+ giderimi.

NF membranlarının potasyum iyonu (K^+) giderimi

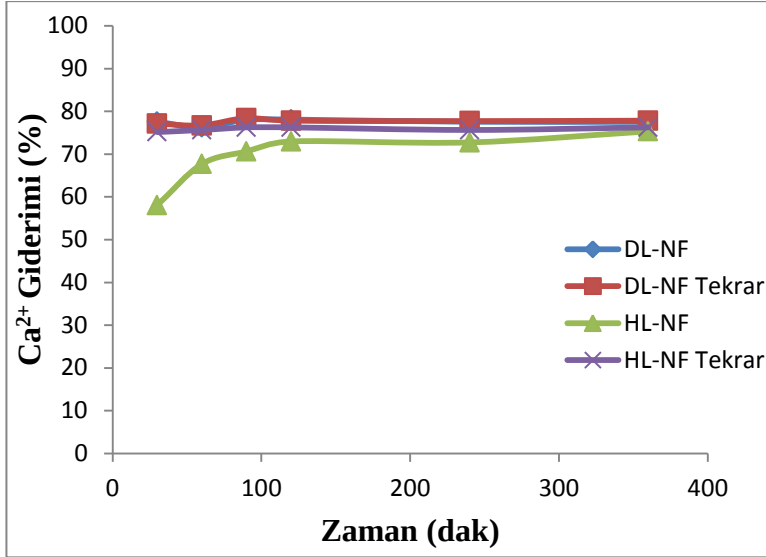
HL-NF membranının ortalama K^+ giderimi %20.6'dır. HL-NF membranı ile yapılan tekrar çalışmasında ise ortalama K^+ giderimi %24.1 olarak bulunmuştur. DL-NF membranının K^+ giderimi %31.2'dir. DL-NF membranı ile yapılan tekrar çalışmasında ise ortalama K^+ giderimi %31.1 olarak bulunmuştur. Zamana karşı K^+ giderimi grafiği, Şekil 3.64'de gösterilmiştir.



Şekil 3.64 Ham su için NF membranları ile elde edilen zamana karşı K^+ giderimi.

NF membranlarının kalsiyum iyonu (Ca^{2+}) giderimi

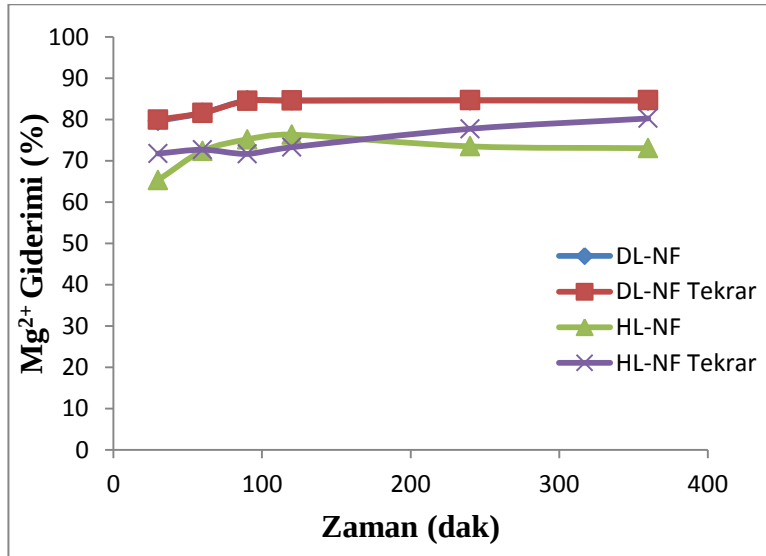
HL-NF membranının ortalama kalsiyum giderimi %69.6'dır. HL-NF membranı ile yapılan tekrar çalışmasında ise ortalama kalsiyum giderimi %75.9 olarak bulunmuştur. DL-NF membranının kalsiyum giderimi %77.5'dir. DL-NF membranı ile yapılan tekrar çalışmasında ise ortalama kalsiyum giderimi %77.6 olarak bulunmuştur. Zamana karşı Ca^{2+} giderimi grafiği, Şekil 3.65'de gösterilmiştir.



Şekil 3.65 Ham su için NF membranları ile elde edilen zamana karşı Ca^{2+} giderimi.

NF membranlarının magnezyum iyonu (Mg^{2+}) giderimi

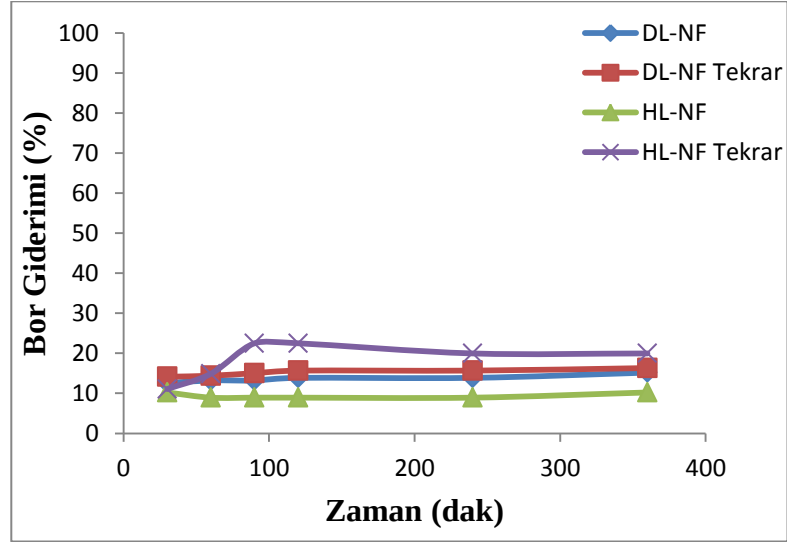
HL-NF membranının ortalama Mg^{2+} giderimi %72.6'dır. HL NF membranı ile yapılan tekrar çalışmasında ise ortalama Mg^{2+} giderimi %74.6 olarak bulunmuştur. DL-NF membranının Mg^{2+} giderimi %83.2'dir. DL-NF membranı ile yapılan tekrar çalışmasında ise ortalama Mg^{2+} giderimi %83.3 olarak bulunmuştur. Zamana karşı Mg^{2+} giderimi grafiği Şekil 3.66'da gösterilmiştir.



Şekil 3.66 Ham su için NF membranları ile elde edilen zamana karşı Mg^{2+} giderimi.

NF membranlarının bor giderimi

HL-NF membranının ortalama bor giderimi %9.4'dür. HL-NF membranı ile yapılan tekrar çalışmasında ise ortalama bor giderimi %18.5 olarak bulunmuştur. DL-NF membranının ortalama bor giderimi %13.7'dir. DL-NF membranı ile yapılan tekrar çalışmasında ise ortalama bor giderimi %15.2 olarak bulunmuştur. Zamana karşı bor giderimi grafiği, Şekil 3.67'de gösterilmiştir.



Şekil 3.67 Ham su için NF membranları ile elde edilen zamana karşı bor giderimi.

Ham suyun NF membranları ile arıtılması ile elde edilen ürün suyun kalite analizi

Çizelge 3.8 ve Çizelge 3.9'da gösterildiği gibi; NF membranları ile elde edilen ürün suyun kalitesi, ekmek üretiminde kullanılacak suyun kalite parametrelerini içeren TS 266 'İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmelik' hükümlerine uygun niteliktedir.

Çizelge 3.8 TS 266 standartları ile HL-NF membranının besleme/süzüntü suyu özelliklerinin karşılaştırılması.

Parametre	HL-NF		HL-NF Tekrar		TS 266 'İnsani Tüketim Amaçlı Sular'
	Besleme Ortalaması	Süzüntü Ortalaması	Besleme Ortalaması	Süzüntü Ortalaması	
pH	8.49	8.21	8.63	8.32	SB ^a
TÇK (mg/L)	508	255.67	598	291	SB ^a
İletkenlik (µS/cm)	1016	511.33	1196	580.17	SB ^a
Tuzluluk (psu)	0.50	0.25	0.60	0.29	SB ^a
Renk (Hazen)	8.91	3.38	9.03	3.48	TKEDY ^b
KOİ (mg/L)	10.09	< 4	10.59	< 4	SB ^a
TOK (mg/L)	22.87	6.07	22.35	8.14	Anormal değişim yok
Na ⁺ (mg/L)	181.29	82.17	204.93	92.54	100-200
Ca ²⁺ (mg/L)	42.56	12.95	41.07	9.91	SB ^a
K ⁺ (mg/L)	7.24	5.75	10.03	7.62	SB ^a
Mg ²⁺ (mg/L)	18.44	2.78	24.70	6.29	SB ^a
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	9.63	3.62	10.79	4.3	SB ^a
Cl ⁻ (mg/L)	108.51	77.25	112.03	77.78	30-250
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	15.3	< 0.1	18.79	< 0.1	25-250
PO ₄ -P (mg/L)	0.21	0.05	0.18	0.05	SB ^a
NO ₃ -N (mg/L)	0.60	0.41	0.62	0.41	25-50
NO ₂ -N (mg/L)	0.013	0.010	0.020	0.012	0.10-0.50
NH ₄ -N (mg/L)	0.06	0.04	0.17	0.125	0.05-0.50
Bulanıklık (NTU)	0.88	0.30	0.89	0.32	1-5
Silisyum (mg/L)	127.00	10.27	136.86	10.8	SB ^a
Bor (mg/L)	0.77	0.70	0.79	0.64	1

^aStandart belirtilmemiş. ^bTüketicilerce kabul edilebilir ve herhangi bir anormal değişim yok.

Tüm membranlardan elde edilen ürün suyu kaliteleri karşılaştırıldığında; ara kademe suyun RO sistemi ile arıtılması ile ele geçen ürün suyu kalitesi, ham suyun NF ve RO sistemi ile arıtılması ile ele geçen ürün suyu kalitesinden daha yüksektir.

Çizelge 3.9 TS 266 standartları ile DL-NF membranının besleme/süzüntü suyu özelliklerinin karşılaştırılması.

Parametre	DL-NF		DL-NF Tekrar		TS 266 'İnsani Tüketim Amaçlı Sular'
	Besleme Ortalaması	Süzüntü Ortalaması	Besleme Ortalaması	Süzüntü Ortalaması	
pH	8.57	8.46	8.70	8.50	SB ^a
TÇK (mg/L)	566	256	595	255.5	SB ^a
İletkenlik (µS/cm)	1133	512	1190	511.5	SB ^a
Tuzluluk (psu)	0.57	0.25	0.60	0.25	SB ^a
Renk (Hazen)	8.97	3.1	8.91	3.03	TKEDY ^b
KOİ (mg/L)	15.66	6.33	15.71	6.38	SB ^a
TOK (mg/L)	20.18	8.10	21.23	8.14	Anormal değişim yok
Na ⁺ (mg/L)	197.89	121.96	200.86	120.58	100-200
Ca ²⁺ (mg/L)	49.04	11.03	49.40	11.06	SB ^a
K ⁺ (mg/L)	10.71	7.37	10.74	7.4	SB ^a
Mg ²⁺ (mg/L)	31.74	5.32	31.94	5.33	SB ^a
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	10.81	4.62	10.93	4.5	SB ^a
Cl ⁻ (mg/L)	94.14	64	97.86	65	30-250
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	23.71	0.1	24	< 0.1	25-250
PO ₄ -P (mg/L)	0.20	0.05	0.20	0.05	SB ^a
NO ₃ -N (mg/L)	0.78	0.48	0.79	0.48	25-50
NO ₂ -N (mg/L)	0.020	0.012	0.021	0.013	0.10-0.50
NH ₄ -N (mg/L)	0.31	0.22	0.32	0.20	0.05-0.50
Bulanıklık (NTU)	0.91	0.27	0.92	0.27	1-5
Silisyum (mg/L)	127.14	10.32	127.57	10.45	SB ^a
Bor (mg/L)	0.77	0.66	0.78	0.66	1

^aStandart belirtilmemiş. ^bTüketicilerce kabul edilebilir ve herhangi bir anormal değişim yok.

3.2. Ham Suyun Ekmek Fabrikasındaki RO Sistemi İle Arıtılması Sonucu Elde Edilen Ürün Suyu Kalitesi

İzmir' de faaliyet gösteren bir ekmek fabrikasındaki RO çıkışı ürün suyu kalitesi, ekmek üretiminde kullanılacak suyun kalite parametrelerini içeren TS 266 'İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmelik' hükümlerine uygun niteliktedir. RO çıkışı ürün suyu değerlerinin analizleri İzmir Hıfzıssıhha Enstitüsü tarafından yapılmıştır. Çizelge 3.10'da RO çıkışı ürün suyu kalite parametre değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 3.10 TS 266 standartları ile ekmek fabrikası RO çıkışı ürün suyu kalite parametrelerinin karşılaştırılması.

Parametre	Ekmek fabrikası RO çıkışı ürün suyu	TS 266 ‘İnsani Tüketim Amaçlı Sular’
pH	7.69	SB ^a
İletkenlik (µS/cm)	152.8	SB ^a
Renk (Hazen)	TKEDY ^b	TKEDY ^b
TOK (mg/L)	0.8	Anormal değişim yok
Na ⁺ (mg/L)	3.0	100-200
Cl ⁻ (mg/L)	TE ^c	30-250
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	TE ^c	25-250
NO ₃ -N (mg/L)	TE ^c	25-50
NO ₂ -N (mg/L)	TE ^c	0.10-0.50
NH ₄ -N (mg/L)	TE ^c	0.05-0.50
Bulanıklık (NTU)	TKEDY ^b	1-5
Bor (mg/L)	0.290	1
As (µg/L)	TE ^c	10

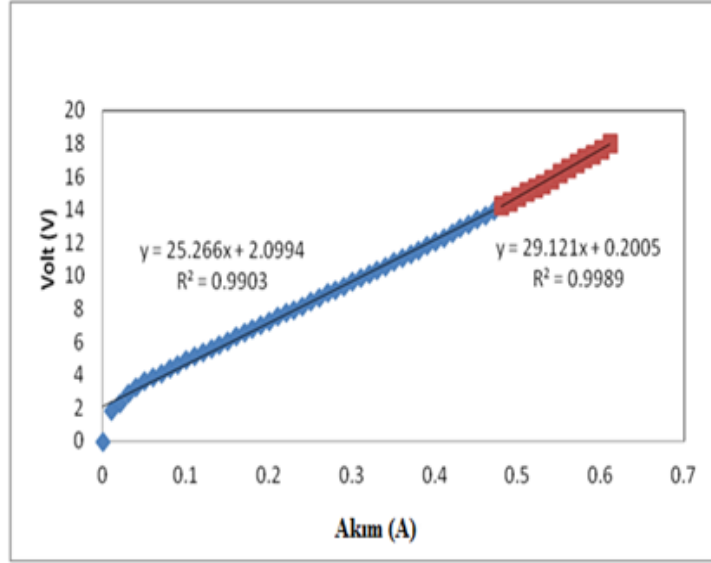
^aStandart belirtilmemiş. ^bTüketicilerce kabul edilebilir ve herhangi bir anormal değişim yok.

^cTespit edilemedi.

3.3. Ekmek Üretiminde Kullanılan Ham Suyun Ters Ozmos Konsantre Bileşeninden Elektrodializ (ED) ile Su Eldesi

3.3.1. Limit akım ölçümü

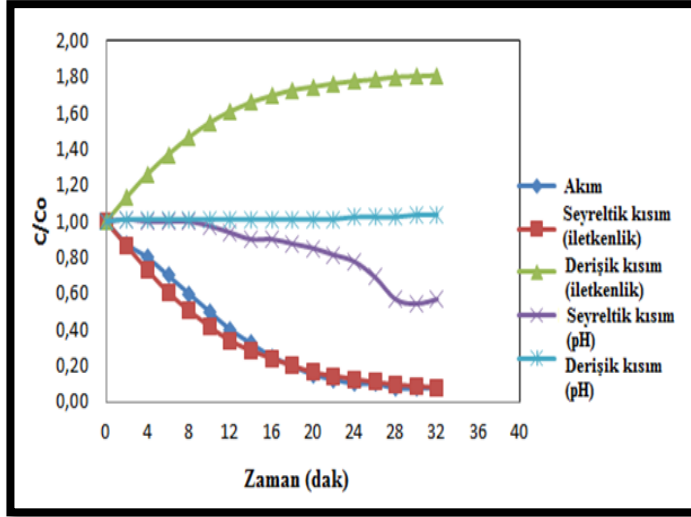
İzmir’ de faaliyet gösteren ekmek fabrikasından alınan ters ozmos çıkışı atık suya (konsantreye) ED işleminin uygulanması ile suyun işletme içinde yeniden kullanılabilirliği incelenmiştir. Bu amaçla ilk olarak, sistemde herhangi bir olumsuz etki yaratmadan membran alanı başına uygulanabilecek en yüksek akım (limit akım yoğunluğu) bulunmuştur. Elde edilen hesaplamalar sonucunda tüm çalışmalar 11.7 V’da gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.68’de limit akım yoğunluğu grafiği gösterilmiştir.



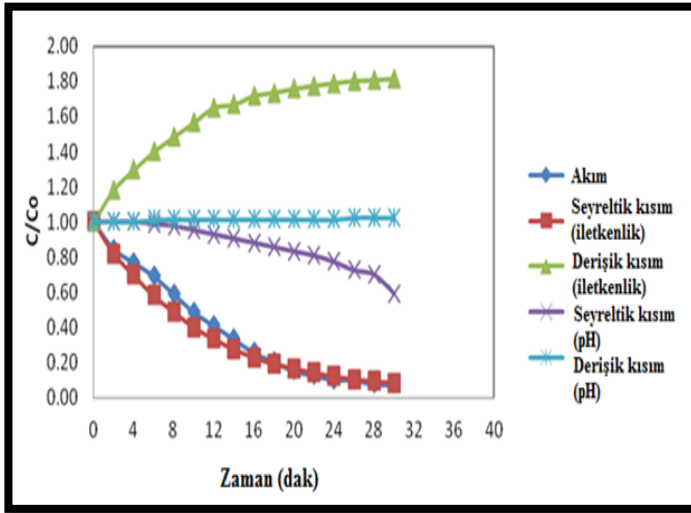
Şekil 3.68 Limit akım yoğunluğunun hesaplanması.

3.3.2. ED ile RO Konsantresinin Desalinasyonu

İzmir’de faaliyet gösteren ekmek fabrikasındaki ters ozmos çıkışı atık su, 11.7 V’da, pH 8.3’de, akış hızı seyreltik kısımda 1.31 L/dak, derişik kısımda ise 1.46 L/dak olacak şekilde ayarlanmıştır. Atık suyun iletkenliği 2210 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ’ dir. Ters ozmos çıkışı atıksu ile yapılan tekrar çalışmasında ise, 11.7 V’da, pH 8.3’de, akış hızı seyreltik kısımda 1.31 L/dak, derişik kısımda ise 1.42 L/dak olacak şekilde ayarlanmıştır. Atık suyun iletkenliği 2240 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ’dir. Atık suyun iletkenliği zamanla derişik kısımda artmakta, seyreltik kısımda ise azalmaktadır. Boyutsuz olarak elde edilen değerler, elde edilen değerlerin başlangıç anındaki değerlere bölünmesi ile elde edilmiştir.



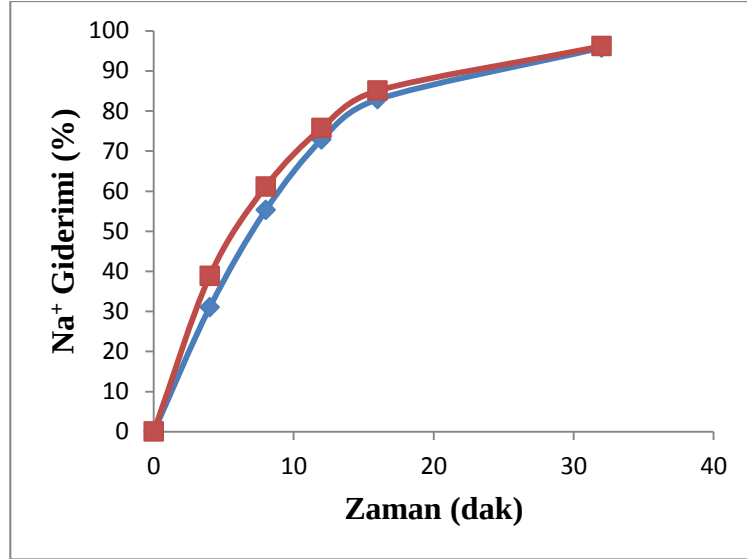
Şekil 3.69 ED çalışmasında zamana karşı değişen değerler.



Şekil 3.70 ED tekrar çalışmasında zamana karşı değişen değerler.

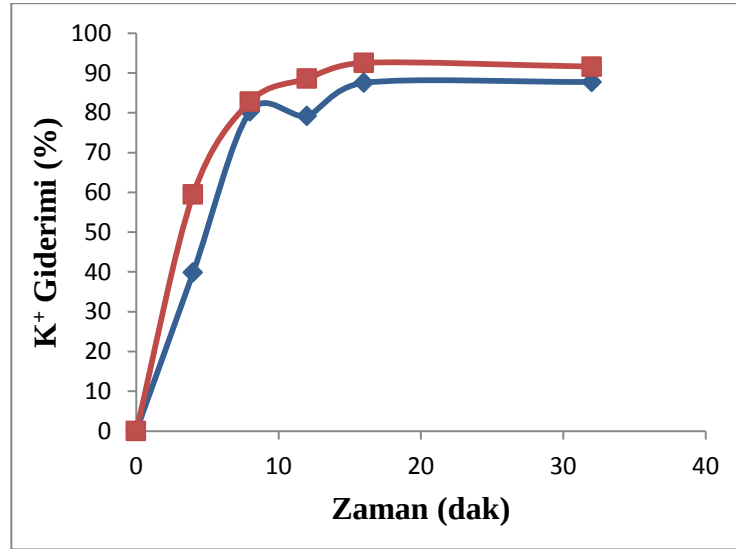
ED çalışması ile yapılan deneylerde RO konsantre bileşeninden ortalama %92 iletkenlik giderimi elde edilmiştir. Akım zamanla azalmıştır. Seyreltik kısmın pH'ı azalmış, derişik kısmın pH'ı ise zamanla biraz artmış ve sabit kalmıştır.

Ekmek fabrikasından alınan atıksu ile yapılan ED çalışması ile zamana karşı ortalama sodyum iyonu giderimi %68'dir. Yapılan tekrar çalışmasında ise ortalama %71 sodyum iyonu giderimi elde edilmiştir.



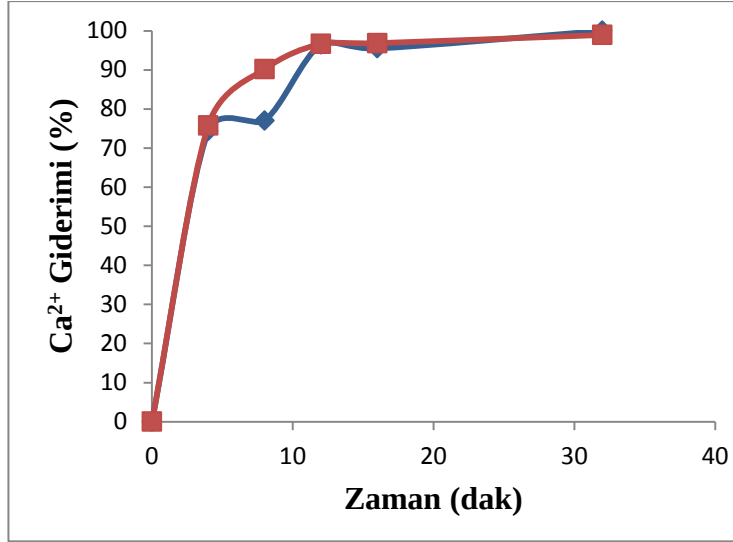
Şekil 3.71 RO konsantre bileşeninden ED ile zamana karşı Na⁺ giderimi.

Ekmek fabrikasından alınan atıksu ile yapılan ED ile ortalama K⁺ giderimi %75'dir. Yapılan tekrar çalışmasında ise ortalama %83 K⁺ giderimi elde edilmiştir.



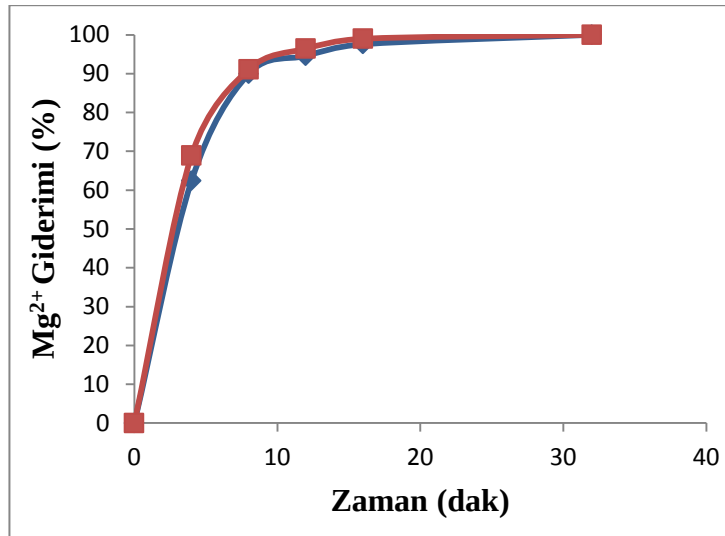
Şekil 3.72 RO konsantre bileşeninden ED ile zamana karşı K⁺ giderimi.

Ekmek fabrikasından alınan atıksu ile yapılan ED çalışması ile ortalama Ca²⁺ giderimi %88'dir. Yapılan tekrar çalışmasında ise ortalama %71 Ca²⁺ giderimi elde edilmiştir.



Şekil 3.73 RO konsantre bileşeninden ED ile zamana karşı Ca^{2+} giderimi.

Ekmek fabrikasından alınan atıksu ile yapılan ED çalışması ile ortalama Mg^{2+} giderimi %89'dur. Yapılan tekrar çalışmasında ise ortalama %91 Mg^{2+} giderimi elde edilmiştir.



Şekil 3.74 RO konsantre bileşeninden ED ile zamana karşı Mg^{2+} giderimi.

3.3.3. Özgül Güç Tüketimi (SPC)

Özgül güç tüketimi, 1.0 L çözeltinin arıtılması için gereken enerji miktarı olup $\text{SPC} = V \frac{\int I dt}{L}$ formülü ile hesaplanır. Bu formülde V: uygulanan potansiyel, L: çözelti hacmi, I: akım, t: zamanı gösterir.

$$I_{\text{toplam}} = 37.2 \text{ Amper}$$

$$\text{Voltaj} = 11.7 \text{ V}$$

$$\text{SPC} = \frac{V \times I}{3600} = \frac{11.7 \times 37.2}{3600} = 0.12 \text{ W saat/ L}$$

İzmir’ de faaliyet gösteren ekmek fabrikasından alınan RO çıkışı atık suyun elektrodializ ile arıtılmasındaki özgül güç tüketimi, 0.12 W.saat/L olarak hesaplanmıştır.

4. SONUÇ

Bu çalışmada İzmir’ de faaliyet gösteren ekmek fabrikasından alınan ham suyun ve ara kademe suyun membran teknolojilerini kullanarak arıtılması ve ekmek üretiminde kullanılacak kalitede ürün suyu elde edilmesi araştırılmıştır. Yapılan çalışmada, membran arıtımı ile elde edilen ürün suyun kalitesi, fiziksel ve kimyasal parametreler yönünden incelenmiştir. Membran teknolojilerini kullanarak ham ve ara kademe sudan ekmek üretimine uygun kalitede ‘İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmelik’ hükümlerine uygun nitelikte ürün suyun elde edilmesi sağlanmıştır.

Laboratuvar ölçekte gerçekleştirilen çalışmalarda, çapraz akışlı membran test sistemi SEPA CF-II (GE Osmonics) kullanılmıştır. Çalışma basıncı 10 bar, konsantr bileşenin akış hızı 96 L/saat olarak sabit tutulmuştur. NF denemelerinde HL ve DL membranları, RO denemelerinde ise CK ve BW30 membranları kullanılmıştır. Su kalitesi bakımından genel olarak membranların performans sıralaması BW30-RO > CK-RO > DL-NF > HL-NF şeklinde olmuştur.

Ekmek fabrikasından alınan RO çıkışı atık suya elektrodializ (ED) işleminin uygulanması ile RO atık suyundan geri kazanılacak ürün suyun işletme içinde yeniden kullanılabilirliği mümkün olabilecektir.

Sonuç olarak, ülkemizde yeraltı suyundan ekmek üretiminde kullanılacak kalitede su üretimi için NF, RO ve ED gibi membran teknolojileri başarıyla uygulanabilmektedir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Aktaş, N.**, 2013, Ekmek: Beslenmede Önemi ve Tüketim Durumu, Standard Ekonomik ve Teknik Dergisi, 93s.
- Asano, T., Burton, F.L., Leverenz, H.L., Tsuchihashi, R. and Tchobanoglous, G.**, 2007, Water Reuse, Issues, Technologies, and Applications, McGraw Hill, New York, 1:1528p.
- Baker, R.W.**, 2004, Membrane Technology and Applications, 2nd Ed., John Wiley and Sons Ltd., England, 538p.
- Bartlett, M., Bird, M.R. and Howell, J.A.**, 1995, An experimental study for the development of a qualitative membrane cleaning model, Journal of Membrane Science, 105(1-2):147-157pp.
- Baysal, A.**, 1990, Beslenme, Hacettepe Üniversitesi Yayınları AJ6İ.
- Baysal, A. ve Över, N.**, 1994, Ekmek; Beslenme ve Sağlık Yönünden Önemi, Turkish Cuisine Dergisi, Türk Halk Kültürünü Araştırma ve Tanıtma Vakfı Yayınları, 14:40-59s.
- Blanshard, J.M.V., Frazier, P.J. and Galliard, T.**, 1988, Chemistry and physics baking, Royal Society of Chemistry, England, 276p.
- Bunani, S., Yörükoğlu, E., Sert, G., Yüksel, Ü., Yüksel, M. and Kabay, N.**, 2013, Application of Nanofiltration for Reuse of Municipal Wastewater and Quality Analysis of Product Water, Desalination, 315:33-36pp.
- Chen, J.P., Kim, S.L. and Ting, Y.P.**, 2003, Optimization of Membrane Physical and Chemical Cleaning by a Statistically Designed Approach, Journal of Membrane Science, 219:27-45pp.
- Coşkun, Y.**, 2003, Çukurova Bölgesinde Yetiştirilen Bazı Buğday Çeşitlerinin Tek ve İki Katlı Düz Ekmek Üretimine Uygunluğu ile Ekşi Hamurun Kalite Üzerine Etkisinin Araştırılması, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 149s.
- Cotruvo, J.A., Craun, G.F. and Hearne, N.**, 1998, Providing safe drinking water in small systems technology, operations and economics, NSF International World Health Organization Pan American Health Organization, Washington, 77-87pp.
- Çelik, E.**, 2008, Ekmek Yapımında Kullanılan Bazı Katkı Maddelerinin Ekmek Kalitesi ve Bayatlama Özellikleri Üzerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü, 8-11s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- DOW FİLM TECH,** Product Specifications, 2014, <http://www.lenntech.com/products/membrane/filmtec-htm>, (Erişim Tarihi: 01.07.2014).
- Drioli, E. and Giorno, L.,** 2009, Membrane Operations: Innovative Separations and Transformations, Verlag GmbH & Co, KGaA, Weinheim, 449-461pp.
- Ebrahim, S.,** 1994, Cleaning and regeneration of membranes in desalination and wastewater applications: State-of-the-art, Desalination, 96(1-3):225-238pp.
- Elgün, A. ve Demir, M.K.,** 2008, Tam Buğday Unu ve Fonksiyonel Özellikleri, Türkiye 10. Gıda Kongresi, Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü, Konya, 49s.
- Elgün, A., Ertugay, Z., Certel, M. ve Kotancılar, H.G.,** 2002, Tahıl ve Ürünlerinde Analitik Kalite Kontrolü ve Laboratuvar Uygulama Kılavuzu, Atatürk Üniversitesi Yayınları, Erzurum, 82:245s.
- Ercan, R. ve Veliöğlu, S.,** 1990, Başlıca Buğday Çeşitlerinin ve Unlarının Mineral Madde Kompozisyonu, Doğa, Tarım ve Ormancılık Dergisi, 14(4):393-400s.
- Ergönül, B.,** 2007, Ekmek Üretiminde Kritik Kontrol ve Kalite Kontrol Noktalarının Belirlenmesi, Dünya Gıda Dergisi, 12(1):62-65s.
- Fritzmann, C., Löwenberg, J., Wintgens, T. and Melin, T.,** 2007, State-of-Theart of Reverse Osmosis Desalination, Desalination, 216(1-3):1-76pp.
- GE Osmonics Water&Process Technologies,** Product Specifications, 2014, <http://www.lenntech.com/products/membrane/osmonics/osmonics.htm>.
- Giannou, V., Kessoglou, V. and Tzia, C.,** 2003, Quality and safety characteristics of bread made from frozen dough, Trends in Food Science and Technology, 14:99-108pp.
- Gil, A., Ortega, R.M. and Maldonoda, J.,** 2011, Wholegrain cereals and bread: a duet of Mediterranean diet for the prevention of chronic diseases, Public Health Nutrition, 14(12A):2316-2322pp.
- Grace, H.P.,** 1956, Resistance and compressibility of filter cakes, Chemical Engineering Programme, 49:303-318pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Gül, H.**, 2007, Mısır ve Buğday Kepeğinin Hamur ve Ekmek Nitelikleri Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, 11-37s.
- Hoseney, R.C.**, 1983, Principles of Cereal Science and Technology, A.A.C.C., U.S.A., 327p.
- Judd, S.**, 2006, The MBR book - Principles and applications of membrane bioreactors in water and wastewater treatment, Elsevier Ltd, Oxford, UK.
- Judd, S. and Jefferson, B.**, 2003, Membranes for Industrial Wastewater Recovery and Re-use, Elsevier Ltd, Oxford, UK, 14-32pp.
- Kent, N.L.**, 1984, Technology of Cereals, Pergamon Press, No: 2143 U. S. A., 220 p.
- Khulbe, K.C., Feng, C.Y. and Matsuura, T.**, 2008, Synthetic Polymeric: Characterization by Atomic Force Microscopy, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 18:190p.
- Kucera, J.**, 2010, Reverse Osmosis Design, Processes and Applications for Engineers, John Wiley and Sons Ltd, 410p.
- Kulkarni, S.S., Funk, E.W. and Li, N.**, 1992, Ultrafiltration, In: Ho WSW, Sirkar KK (Eds) Membrane handbook. Van Nostrand, New York, 506-570pp.
- Kuter, M.**, 2011, İnsan ve Ekmek, <http://www.ekmekisrafetme.com>, (Erişim tarihi: 07.06.2014).
- Lazarova, V. and Bahri, A.**, 2005, Water Reuse for Irrigation: Agriculture, Landscapes, and Turf Grass, 786-788pp.
- Lazsisty, R.**, 1986, The Chemistry of Cereal Proteins, CRC Press. U. S. A., 203 p.
- Loeb, S. and Sourirajan, R.**, 1963, Seawater demineralisation by means of an osmotic membrane, Advances in Chemistry Series, 38:117p.
- Lonsdale, H.K., Merten, U. and Riley, R.L.**, 1965, Transport Properties of Cellulose Acetate Osmotic Membranes, Journal of Application Polymer Science, 9:1341p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Maruf, S. H., Ahn, D.U., Pellegrino, J., Killgore, J.P., Greenberg, A.R. and Ding, Y.,** 2012, Correlation Between Barrier Layer Tg and a Thin-Film Composite Polyamide Membrane's Performance: Effect of Chlorine Treatment, Journal of Membrane Science, 405-406:167– 175pp.
- Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi (MEGEP),** 2008, Ekmek Hamuru Hazırlama, Gıda Teknolojisi, <http://www.hbogm.gov.tr>, (Erişim tarihi: 27.05.2014).
- Nunes, S. and Peinemann, K.,** 2006, Membrane Technology in the Chemical Industry Second, Revised and Extended Edition, Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, Germany, 1200p.
- Osmonics Inc,** 2001, <http://www.osmonics.com>, USA (Erişim tarihi: 18.06.2014).
- Özer, S.M.,** 1998, Kepekli ekmeklerin bazı niteliklerinin incelenmesi ve kalitelerinin iyileştirilmesi olanakları, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Adana, 132s.
- Porter, M.C.,** 1990, Handbook of Industrial Membrane Technology, Noyes Publications, United States, 604p.
- Pyler, E.J.,** 1988, Baking Science and Technology, Sosland Publishing Co. U.S.A., 1345p.
- Ravanchi, M.T., Kaghazchi, T. and Kargari, A.,** 2009, Application of membrane separation processes in petrochemical industry: A review, Desalination, 235:199–244pp.
- Reid, C.E. and Breton, E.J.,** 1959, Water and Ion Flow Across Cellulosic Membranes, Journal of Application Polymer Science 1(2):133-143pp.
- Reis, R.V. and Zydney, A.,** 2007, Bioprocess Membrane Technology, Journal of Membrane Science, 297:16–50pp.
- Rijn, C.J.M.,** 2004, Nano and Micro Engineered Membrane Technology, Elsevier B.V. Amsterdam, 398p.
- Rosenbaum, S., Mahon, H.I. and Cotton, O.,** 1967, Permeation of Water and Sodium Chloride Through Cellulose Acetate, Journal of Application Polymer Science, 11(10):2041-2065pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Salt, Y. ve Dinçer, S.,** 2006. An Option For Special Separation Operations: Membrane Processes, Journal of Engineering and Natural Sciences, 4:1-13pp.
- Santra, M., Matthews, S.B. and Thompson, H.J.,** 2013, Development of a core collection of *Triticum* and *Aegilops* species for improvement of wheat for activity against chronic diseases. Agriculture & Food Security, 2:4p.
- Sharp, M.M.,** 2004, Effects of different modes of coagulation as pretreatment to membrane filtration for drinking water production in small systems, Department of Chemical and Environmental Engineering, Toledo, 9p.
- Sheikholeslami, R.,** 1999, Fouling mitigation in membrane processes, Desalination 123 (1):45-53pp.
- Signh, R.,** 2006, Hybrid Membrane Systems for Water Purification: Technology, System Design and Operation, Elsevier Science and Technology Books, 291p.
- Starbard, N.,** 2008, Beverage Industry Microfiltration, John Wiley & Sons, Inc., 273p.
- Tanık, O.,** 2006, Ekmek üretiminde kalite uygulamaları ve müşteri memnuniyet dinamiklerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, 21-23s.
- Trägårdh, G.,** 1989, Membrane cleaning, Desalination, 71(3):325-335pp.
- Türk Gıda Kodeksi, Tarım Köy İşleri Bakanlığı,** 2012. Koruma ve Kontrol Genel Müdürlüğü. Ekmek ve Ekmek Çeşitleri Tebliği (Tebliği No: 2012/13).
- Ünal, S.,** 1991. Hububat Teknolojisi, Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, Yayın No: 29, 62s.
- Yetişemiyen, A. ve Yıldız, F.,** 2012, Süt endüstrisinde membran ayırma tekniklerinin kullanılması, 3. Gıda Güvenliği Kongresi, İstanbul.
- Yörükoğlu, E., Akkaya, M. ve Cihanger, M.A.,** 2011, Düşük derişimli bor iyonlarının elektrodializ (ED) yöntemi ile giderilmesi, Lisans tezi, 4-5s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Wong, J., 2003, A Survey of Advanced Membrane Technologies and Their Applications in Water Reuse Projects, ‘’Proceedings of WEF the 76th Annual Technical Exhibition and Conference’’, October 11-15, Los Angeles, California.

ÖZGEÇMİŞ

Adı-Soyadı	Selin ÖZGÖZ
Doğum Tarihi	18/03/1989
Doğum Yeri	İzmir, Türkiye
Uyruk	T.C.
Medeni Durumu	Bekar
Sürücü Belgesi	B Sınıfı
Adres	153 sok No:37 D:10 Bornova/İzmir
Ev Telefonu	(232) 339 88 46
Cep Telefonu	(536) 377 83 86
Elektronik Posta	selinozgoz@gmail.com
Lisans	Celal Bayar Üniversitesi, Müh. Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü (2008-2012)

YAYINLAR

Ötleş, S., Akçiçek, E., Özgöz, S., Galenos'un Meyvelerin İnsan Sağlığındaki Önemi İle İlgili Görüşlerinin Bugünkü Bilgilerle Değerlendirilmesi, II. Uluslararası Bergama Sempozyumu, 9-10 Mayıs 2013, Bergama (Sözlü Sunum).

Ötleş, S., Özgöz, S., Ozon Uygulamalarının Su Kalitesi Üzerine Etkisi, 4. Gıda Güvenliği Kongresi, 14-15 Mayıs 2013, İstanbul (Poster Sunum).

Ötleş, S., Özgöz, S., 2013, İçme Sularında Arsenik Kirliliğinin Önlenmesi, Dünya Gıda Dergisi, 4: 88-90.

Ötleş, S., Özgöz, S., 2014. Health Effects of Dietary Fiber, Journal of Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria, 13(2):191-202.

Ötleş, S., Kabay, N., Yüksel, M., Özgöz, S., Ekmek Üretiminde Kullanılan Ham Suyun Membran Prosesler ile Arıtımı ve Elde Edilen Ürün Suyun Kalite İncelemesi, 11. Uluslararası Kimya Mühendisliği Kongresi, 2-5 Eylül 2014, Eskişehir (Poster Sunumu).

Rivas, B.L., Sanchez, J.A., Özgöz, S., Kabay, N., Ötleş, S., 2014, Ultrafiltration assisted by water-soluble poly(diallyl dimethyl ammonium chloride) for As(V) removal, the Journal of Applied Polymer Science.

ULUSAL/ULUSLARARASI PROJELER

Proje No: 2013/BİL/026, Ege Üniversitesi Ebiltem Araştırma Projesi, Su Arıtımı için Yeni Fonksiyonel Malzemelerin Geliştirilmesi.

Proje No: 2013/MÜH/081, Bilimsel Araştırma Projesi (BAP), Ekmek Üretiminde Kullanılan Ham Suyun Arıtım Proseslerinin ve Su Kalitesinin İncelenmesi.

Innovative Materials and Methods for Water Treatment-CHILTURPOL2 (supported by FP7-People 2010 IRSES-Marie Curie Actions) “Investigation the capacity of cationic water soluble polymers to remove metal contaminants using by LPR technique” (Faculty of Chemistry, Concepcion University of Chile/ between August 8, 2013 – November 6, 2014 financially supported for 3 months as a research staff through this project).