

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

(DOKTORA TEZİ)

**MEMBRAN BİYOREAKTÖR (MBR) PROSESİ
İLE ARITILAN ENDÜSTRİYEL ATIK SULARIN
YENİDEN KULLANIMI İÇİN MEMBRAN
TEKNOLOJİLERİN UYGULANMASI**

GÖKHAN SERT

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Özdemir EGEMEN

İkinci Danışman: Prof.Dr. Nalan KABAY

Su Ürünleri Temel Bilimler Anabilim Dalı

Bilim Dalı Kodu : 504.02.01

Sunuş Tarihi : 03.04.2015

Bornova-İZMİR

2015

Gökhan SERT tarafından **Doktora** tezi olarak sunulan “**Membran Biyoreaktör (MBR) Prosesi İle Arıtılan Endüstriyel Atık Suların Yeniden Kullanımı İçin Membran Teknolojilerin Uygulanması**” 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 **03.04.2015** tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

İmza

Jüri Başkanı	:Prof. Dr. Özdemir EGEMEN
Raportör Üye	: Doç.Dr. Müşerref ARDA
Üye	: Prof.Dr. Uğur SUNLU
Üye	: Doç.Dr. Ergün TAŞKIN
Üye	: Prof.Dr. Kadir YURDAKOÇ.....

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Doktora Tezi olarak sunduğum “**Membran Biyoreaktör (MBR) Prosesi İle Arıtılan Endüstriyel Atık Suların Yeniden Kullanımı İçin Membran Teknolojilerin Uygulanması**” 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.

03 / 04 / 2015

İmzası

Gökhan SERT

ÖZET**MEMBRAN BİYOREAKTÖR (MBR) PROSESİ İLE
ARITILAN ENDÜSTRİYEL ATIK SULARIN YENİDEN
KULLANIMI İÇİN MEMBRAN TEKNOLOJİLERİN
UYGULANMASI**

SERT, Gökhan

Doktora Tezi, Su Ürünleri Temel Bilimler Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Özdemir EGEMEN

İkinci Tez Danışmanı: Prof. Dr. Nalan KABAY

Nisan 2015, 174 sayfa

Bu çalışma, E.Ü. Kimya Mühendisliğinde bulunan laboratuvar ölçekli ters ozmos membran test sistemi (SEPA CF II GE-Osmonics) ve İTOB-OSB Arıtma Tesisi'nde kurulmuş olan küçük ölçekli spiral sarım nanofiltrasyon (NF)/ters ozmos (RO) sistemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İTOB-OSB'de yürütülen çalışmalarda; Membran Biyoreaktör (MBR) prosesiyle arıtılan atıksuların yeniden kullanımı için NF ve RO gibi ileri membran arıtma yöntemlerinin uygulanabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla, hem laboratuvar hem de arazi çalışmalarında farklı tipte membranlar ile farklı çalışma koşulları altında çalışılmıştır. Elde edilen ürün suyun kalitesi farklı analitik yöntemler kullanılarak incelenmiştir.

Laboratuvar çalışmalarında, en yüksek süzüntü akısı HL-NF membranı ile elde edilmesine rağmen, ürün suyu kalitesine bakıldığında RO membranı olan AG membranı diğer NF membranlarına göre daha iyi giderim sağlamıştır. İTOB-OSB'de yürütülen çalışmalar incelendiğinde, NF90 membranına ait ortalama süzüntü akısı, BW30 membranından daha yüksek bulunmuştur. Ayrıca, NF 90 ve BW30 membranının süzüntü suyu, su kalite standartlarıyla karşılaştırıldığında her iki membran ile yüksek kaliteli su elde edildiği görülmüştür. Basınç etkisinin araştırıldığı çalışmada, uygulama basıncı arttıkça membranlara ait süzüntü akısında arttığı tespit edilmiştir. NF+RO hibrit çalışmasında ürün suyu çok daha kaliteli hale gelmiştir. Sürekli yapılan çalışmalarda, membranların asit ve bazla yıkanmasından sonra süzüntü akılarının arttığı görülmüştür.

Anahtar sözcükler: Atıksu, atık suyun yeniden kullanımı, membran biyoreaktör (MBR), nanofiltasyon (NF), ters ozmos (RO)

ABSTRACT**MEMBRANE TECHNOLOGY APPLICATION FOR REUSE
INDUSTRIAL WASTEWATER TREATMENT WITH MEMBRANE
BIOREACTOR (MBR) PROCESS**

Sert, Gökhan

PhD in Marine-Inland Water Sciences and Technology

Supervisor: Prof. Dr. Özdemir EGEMEN

Co-Supervisor: Prof. Dr. Nalan KABAY

April 2015, 174 pages

This study was performed a laboratory scale reverse osmosis membrane test system (GE-Osmonics SEPA CF II) at Chemical Engineering, Depratmant of Ege University and a small scale spiral wound nanofiltration (NF)/reverse osmosis (RO) system in İTOB-OSB Treatment Plant. In this study, the applicability of treatment methods such as NF and RO for reuse of wastewater treated with Membrane Bioreactor (MBR) process. For this purpose, different membranes types and operating conditions were applied for both lab and field studies. The quality of product were analyzed using various analytical methods.

In laboratory studies, AG membrane, which is RO membrane, was provided better rejection than other NF membranes when product water quality was examined, although highest permeate flux was obtained with HL membrane. The permeate flux of NF90 membrane was found as higher than BW30 membrane. Furthermore, high-quality water was obtained by NF 90 and BW30 membranes when product water of these membranes was compared with the quality standards. It was observed that permeate flux of the membranes increased with increasing pressure. In hybrid studies of NF+RO the quality of product water was high. In continuous studies, permeate flux increased after washing of the membranes with acid and base.

Key words: Waste water, reuse of waste water, membrane bioreactor (MBR), nanofiltration (NF), reverse osmosis (RO)

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, finansal olarak T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı (Santex 03.STZ.2013-02 Nolu proje) tarafından, kısmen de Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (EU-2013-SÜF-004 ve EU-2012-MUH-035) tarafından desteklenmiştir. Doktora çalışmam esnasında sağladıkları doktora bursundan dolayı T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığına teşekkürü borç bilirim.

Doktora tezimin her aşamasında desteklerini esirgemeyen danışman hocalarım Prof. Dr. Özdemir Egemen ve Prof. Dr. Nalan Kabay’a, çalışmalarımın başından beri bana yardımcı olan Prof. Dr. Mithat Yüksel’e, çalışmalarımın büyük bir kısmını İTOB-OSB Arıtma tesisinde yürütebilmem için verilen destek ve yardımlarından ötürü başta Çevre Y. Müh. Taylan Ö. Pek olmak üzere tüm İTOB-OSB Arıtma Tesisi çalışanlarına çok teşekkür ederim.

Meslektaşlarım ve arkadaşlarım Y. Kimyager Seyhan Solak, Cüneyt Kaya, Samuel Bunani, Arash Arianfar, Yeşim Soyoğlu, Selin Özgöz, Esra Altıok’a, çok teşekkür ederim. AAS analizlerinde yardımcı olan kimyager Mehmet Akçay’a ayrıca çok teşekkür ederim.

Doktora çalışmam boyunca maddi ve manevi destekleriyle bana güç veren, ilgi ve sabırlarını benden esirgemeyen aileme, Ece Aşıcı’ya, Alper Sayer’e, Hakan Şimşek’e, Su Ürünleri Yük. Müh. Pınar Madenci ve Çağla Yeşiltepe’ye, Dr. Gülşah Ünsalan’a ayrıca çalışmam sırasında manevi desteğini her zaman yanımda hissettiğim Ünal Başkan’a, Selçuk M. İnan’a ve Burak K. Yılmaz’a şükranlarımı sunarım.

Gökhan SERT

İZMİR, 2015

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	vii
ABSTRACT	ix
TEŞEKKÜR	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xvii
ÇİZELGELAR DİZİNİ	xxviii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xxxi
1. GİRİŞ	1
1.1. Dünyada ve Türkiye’de su	1
1.2. Arıtılan atıksuların yeniden kullanımı	2
1.2.1. Atıksuların tarımsal kullanımı.....	3
1.2.2. Atıksuların kentsel ve evsel kullanımı	4
1.2.3. Atıksuların endüstriyel kullanımı.....	4
1.2.4. Atıksuların su ürünleri yetiştiriciliğinde kullanımı	5
1.3. Atıksu arıtımında kullanılan yöntemler	5
1.4. Membran Prosesler.....	8
1.4.1. Membran hazırlanmasında kullanılan malzemeler	10
1.4.2. Membranların yapısı	10
1.4.3. Ayırma mekanizmalarına göre membranların sınıflandırılması	10

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

1.4.4. Morfolojilerine göre membranların sınıflandırılması.....	12
1.4.5. Membranların modül konfigürasyonlarına göre sınıflandırılması	13
1.4.6. Akım türüne göre membranların sınıflandırılması	15
1.4.7. Gözenek büyüklüklerine göre membranların sınıflandırılması	16
1.4.8. İtici gücü basınç olan membran süreçler	17
1.5. Membran Biyoreaktör (MBR) Teknolojisi.....	23
1.5.1. MBR Konfigürasyonları.....	24
1.5.2. MBR sistemlerinin avantaj ve dezavantajları.....	26
1.6. İTOB-OSB Arıtma Tesisi.....	27
1.7. Tezin Amacı	28
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	30
3. MATERYAL VE METOT	39
3.1. Gereçler	39
3.1.1. Laboratuvar çalışmaları	39
3.1.2. Arazi çalışmaları.....	44
3.1.3. Ölçüm Ekipmanları ve Yöntemler.....	48
3.2. Materyal.....	52
3.2.1. Kimyasallar.....	52

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

3.2.2. Membranlar	53
3.2.3. Arıtılmış atıksuyun fiziko-kimyasal bileşimi	54
3.3. Yöntem	55
3.3.1. Laboratuvarda Gerçekleştirilen Membran Testleri	55
3.3.2. Arazi Çalışmaları	56
3.4. Temel Hesaplamalar ve Tanımlar	60
3.5. Maliyet hesaplamaları	62
4. SONUÇLAR VE BULGULAR	64
4.1. Laboratuvarda Gerçekleştirilen Membran Testleri	64
4.1.1. Su Geçirgenliği Testleri	64
4.1.2. MBR yöntemiyle arıtılmış atıksuların nf/ro membranları ile ileri arıtımı	67
4.2. Laboratuvar çalışmalarına ait sonuçlar	79
4.3. İTOB-OSB’de Gerçekleştirilen Mevsimsel Çalışmalar	81
4.4. Arazi çalışmalarına ait sonuçlar (Mevsimsel)	103
4.5. Arazi çalışmaları (basınç etkisinin incelenmesi)	105
4.6. Arazi çalışmalarına ait sonuçlar (basınç etkisi)	118
4.7. NF+RO entegre sistem çalışmaları	123
4.8. NF+RO entegre sistem çalışmalarına ait sonuçlar	127

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

4.9. Arazi Gerçekleştirilen Sürekli Döngü Çalışmaları	129
4.10. Arazi Gerçekleşen Sürekli Döngü Çalışmalarına İlişkin Sonuçlar	137
4.11. MBR Çıkış ve NF/RO Süzüntü Sularının Belli Oranlarda Karıştırılması	140
4.12. Maliyet Analizi Hesaplamaları	143
5. TARTIŞMA, SONUÇ ve ÖNERİLER	149
5.1. Tartışma	149
5.1.1. Laboratuvar çalışmaları	149
5.1.2. Mevsimsel arazi çalışmaları	152
5.1.3. Basınç etkisinin incelenmesine ait arazi çalışmalar	155
5.1.4. NF+RO kombine çalışmalar	156
5.1.5. Arazide sürekli döngü çalışmaları	157
5.1.6. MBR Çıkış ve NF/RO sistemine ait süzüntü sularının belli oranlarda karıştırılması	157
5.1.7. Maliyet analizi hesaplamaları	158
5.2. Sonuç ve Öneriler	158
KAYNAKLAR DİZİNİ	160
ÖZGEÇMİŞ	168

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1 1994-2010 yılları arasında Türkiye’de uygulanan arıtma tesislerinin türü, miktarı ve yıllara göre dağılımı (Yıldız ve diğ, 2013).	7
1. 2 Üç temel membranın yapı ve ayırma özellikleri (Kaya, 2007)	11
1. 3 Membran malzeme kesitlerinin şematik gösterimi (Kaya, 2007).....	12
1. 4 Tübular membran (Sert, 2010)	13
1. 5 Spiral sarım membran (Sert, 2010).....	14
1. 6 Oyuk (hollow) Fiber membran (Sert, 2010)	14
1. 7 Plaka ve çerçeve membran (Sert, 2010)	15
1. 8 Membran akım türleri şematik gösterimi (Köseoğlu, 2005)	16
1. 9 Süzülen madde, gözenek çapı ve membran prosesleri arasındaki ilişki (Köseoğlu, 2005).....	16
1. 10 Ozmos prensibi	20
1. 11 Ters ozmos prensibi (Kitiş vd., 2009)	20
1. 12 MBR modülü (Kubota, 2014).....	24
1. 13 MBR konfigürasyonları (Köseoğlu, 2007)	25
1. 14 İTOB-OSB Arıtma tesisi akım şeması	29
3. 1 Laboratuar ölçekli ters ozmos sistemi	39
3. 2 Hücre alt gövdesi	40
3. 3 Konsantre vanası ve konsantre manometresi.....	40

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3. 4 Hücre üst gövdesi ve üretim suyu tablası	41
3. 5 (a) Hücre yuvası, (b) Hücre yuvası ve hidrolik el pompası	41
3. 6 Besleme tankı.....	43
3. 7 Yüksek basınç pompası.....	43
3. 8 Kontrol paneli	44
3. 9 Küçük ölçekli spiral sarım membran arıtım sistemi	45
3. 10 Arıtılmış atıksu depolama tankı	46
3. 11 Geri yıkama amaçlı (ürün su) depolama tankı	46
3. 12 Düşük basınç pompası	47
3. 13 Yüksek basınç pompası.....	47
3. 14 Yıkabilir kartuş filtreler, kum filtre ve 10 mikronluk kartuş filtre.....	48
3. 15 WTW kondüktometre	49
3. 16 WTW pH metre.....	49
3. 17 SCIENTIFIC Micro TPW türbidimetre	49
3. 18 Varian 10 Plus Model Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresi	49
3. 19 Shimadzu LC-10 Ai model iyon kromatografi cihazı.....	50
3. 20 TOK ölçüm cihazı (Shimadzu TOC-V _{CPH} Model).....	50
3. 21 Spectroquant Nova 60 test kit	51

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3. 22 Termo reaktör (Spectroquant TR 320)	51
3. 23 FilmTec BW30-2540 ve SW30-2540 RO membranlarının boyutları	54
3. 24 Membran test sisteminin şematik gösterimi	56
3. 25 Pilot ölçek spiral sarım membran test sistemiyle gerçekleştirilen kesikli çalışmaya ait akım şeması.....	57
3. 26 NF90+BW30 integre çalışmaya ait akım şeması	58
3. 27 Sürekli çalışmaya ait akım şeması.....	59
4.1 HL membranı için farklı basınçlarda elde edilen süzüntü akısı değerleri	64
4.2 DL membranı için farklı basınçlarda elde edilen süzüntü akısı değerleri	65
4.3 AG BWRO membranı için farklı basınçlarda elde edilen süzüntü akısı değerleri	66
4.4 Membranların zamana karşı süzüntü akısı değerleri	67
4.5 Membranların zamana karşı TÇK giderimleri.....	68
4.6 Membranların zamana karşı iletkenlik giderimleri.....	68
4.7 Membranların zamana karşı tuzluluk giderimleri.....	69
4.8 Membranların zamana karşı bulanıklık giderimleri	70
4.9 Membranların zamana karşı Na ⁺ giderimleri	70
4.10 Membranların zamana karşı K ⁺ iyonu giderimleri	71
4.11 Membranların zamana karşı NH ₄ ⁺ -N giderimleri.....	71

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.12 Membranların zamana karşı Cl^- iyonu giderimleri	72
4.13 Membranların zamana karşı NO_3^- iyonu giderimleri.....	73
4.14 Membranların zamana karşı NO_2^- iyonu giderimleri.....	73
4.15 Membranların zamana karşı HCO_3^- iyonu giderimleri	74
4.16 Membranların zamana karşı Ca^{2+} iyon giderimleri.....	75
4.17 Membranların zamana karşı Mg^{2+} iyonu giderimleri	75
4.18 Membranların zamana karşı SO_4^{2-} giderimleri	76
4.19 Membranların zamana karşı PO_4^{3-} -P giderimleri.....	76
4.20 Membranların zamana karşı silisyum giderimleri	77
4.21 Membranların zamana karşı KOİ giderimleri.....	77
4.22 Membranların zamana karşı renk giderimleri.....	78
4.23 Membranların zamana karşı TOK giderimleri.....	78
4.24 NF90 membranına ait süzüntü akı değerlerinin mevsimsel değişimi	81
4.25 BW30 membranına ait süzüntü akı değerlerinin mevsimsel değişimi.....	81
4.26 NF90 membranına ait besleme ve süzüntü suyundaki TÇK değerlerinin mevsimsel değişimi.....	82
4.27 BW30 membranına ait besleme ve süzüntü suyundaki TÇK değerlerinin mevsimsel değişimi	82

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.28 NF90 membranına ait besleme ve süzüntü suyundaki iletkenlik değerlerinin mevsimsel değişimi	83
4.29 BW30 membranına ait besleme ve süzüntü suyundaki iletkenlik değerlerinin mevsimsel değişimi	83
4.30 NF90 membranına ait besleme ve süzüntü suyundaki tuzluluk değerlerinin mevsimsel değişimi	84
4.31 BW30 membranına ait besleme ve süzüntü suyundaki tuzluluk değerlerinin mevsimsel değişimi	84
4.32 NF90 membranına ait besleme ve süzüntü suyundaki sıcaklık değerlerinin mevsimsel değişimi	85
4.33 BW30 membranına ait besleme ve süzüntü suyundaki sıcaklık değerlerinin mevsimsel değişimi	85
4.34 NF90 membranına ait besleme ve süzüntü suyundaki bulanıklık değerlerinin mevsimsel değişimi	86
4.35 BW30 membranına ait besleme ve süzüntü suyundaki bulanıklık değerlerinin mevsimsel değişimi	86
4.36 NF90 membranına ait besleme ve süzüntü suyundaki Na ⁺ iyonu derişiminin mevsimsel değişimi	87
4.37 BW30 membranına ait besleme ve süzüntü suyundaki Na ⁺ iyonu derişiminin mevsimsel değişimi	87
4.38 NF90 membranına ait besleme ve süzüntü suyundaki K ⁺ iyonu derişiminin mevsimsel değişimi	88
4.39 NF90 membranına ait besleme ve süzüntü suyundaki K ⁺ iyonu derişiminin mevsimsel değişimi	88

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.40 NF90 membranına ait besleme ve süzüntü suyundaki NH_4^+ -N derişiminin mevsimsel değişimi.....	89
4.41 BW30 membranına ait besleme ve süzüntü suyundaki NH_4^+ -N derişiminin mevsimsel değişimi.....	89
4.56 NF90 membranına ait besleme ve süzüntü suyundaki Cl^- iyonu derişiminin mevsimsel değişimi.....	90
4.57 BW30 membranına ait besleme ve süzüntü suyundaki Cl^- iyonu derişiminin mevsimsel değişimi.....	90
4.44 NF90 membranına ait besleme ve süzüntü suyundaki NO_3^- -N derişiminin mevsimsel değişimi.....	91
4.45 BW30 membranına ait besleme ve süzüntü suyundaki NO_3^- -N derişiminin mevsimsel değişimi.....	91
4.46 NF90 membranına ait besleme ve süzüntü suyundaki NO_2^- -N derişiminin mevsimsel değişimi.....	92
4.47 BW30 membranına ait besleme ve süzüntü suyundaki NO_2^- -N derişiminin mevsimsel değişimi.....	92
4.48 NF90 membranına ait besleme ve süzüntü suyundaki HCO_3^- iyonu derişiminin mevsimsel değişimi.....	93
4.49 BW30 membranına ait besleme ve süzüntü suyundaki HCO_3^- iyonu derişiminin mevsimsel değişimi.....	93
4.50 NF90 membranına ait besleme ve süzüntü suyundaki Ca^{2+} iyonu derişiminin mevsimsel değişimi.....	94
4.51 BW30 membranına ait besleme ve süzüntü suyundaki Ca^{2+} iyonu derişiminin mevsimsel değişimi.....	94

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.52 NF90 membranına ait besleme ve süzüntü suyundaki Mg^{2+} iyonu derişiminin mevsimsel değişimi	95
4.53 BW30 membranına ait besleme ve süzüntü suyundaki Mg^{2+} iyonu derişiminin mevsimsel değişimi	95
4.54 NF90 membranına ait besleme ve süzüntü suyundaki SO_4^{2-} iyonu derişiminin mevsimsel değişimi	96
4.55 BW30 membranına ait besleme ve süzüntü suyundaki SO_4^{2-} iyonu derişiminin mevsimsel değişimi	96
4.56 NF90 membranına ait besleme ve süzüntü suyundaki PO_4^{3-} iyonu derişiminin mevsimsel değişimi	97
4.57 BW30 membranına ait besleme ve süzüntü suyundaki PO_4^{3-} iyonu derişiminin mevsimsel değişimi	97
4.58 NF90 membranına ait besleme ve süzüntü suyundaki Si derişiminin mevsimsel değişimi	98
4.59 BW30 membranına ait besleme ve süzüntü suyundaki Si derişiminin mevsimsel değişimi	98
4.60 NF90 membranına ait besleme ve süzüntü suyundaki KOİ derişiminin mevsimsel değişimi	99
4.61 BW30 membranına ait besleme ve süzüntü suyundaki KOİ derişiminin mevsimsel değişimi	99
4.62 NF90 membranına ait besleme ve süzüntü suyundaki renk derişiminin mevsimsel değişimi	100
4.63 BW30 membranına ait besleme ve süzüntü suyundaki renk derişiminin mevsimsel değişimi	100

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.64 NF90 membranına ait besleme ve süzüntü suyundaki TOK derişiminin mevsimsel değişimi.....	101
4.65 BW30 membranına ait besleme ve süzüntü suyundaki TOK derişiminin mevsimsel değişimi.....	101
4.66 NF90 membranına ait besleme su geri kazanım oranı	102
4.67 BW30 membranına ait besleme su geri kazanım oranı.....	102
4.68 Membranlara ait zamana karşı süzüntü akısı değerleri (15 bar)	105
4.69 Membranlara ait zamana karşı TÇK giderimi (15 bar).....	106
4.70 Membranlara ait zamana karşı iletkenlik giderimi (15 bar).....	106
4.71 Membranlara ait zamana karşı tuzluluk giderimleri (15 bar)	107
4.72 Membranlara ait zamana karşı bulanıklık giderimleri (15 bar)	108
4.73 Membranlara ait zamana karşı Na ⁺ iyonu giderimi (15 bar)	108
4.74 Membranlara ait zamana karşı K ⁺ iyonu giderimleri (15 bar)	109
4.75 Membranlara ait zamana karşı NH ₄ ⁺ iyonu giderimleri (15 bar).....	109
4.76 Membranlara ait zamana karşı Cl ⁻ iyonu giderimleri (15 bar).....	110
4.77 Membranlara ait zamana karşı NO ₃ ⁻ iyonu giderimleri (15 bar)	111
4.78 Membranlara ait zamana karşı NO ₂ ⁻ iyonu giderimleri (15 bar)	111
4.79 Membranlara ait zamana karşı HCO ₃ ⁻ iyonu giderimleri (15 bar).....	112
4.80 Membranlara ait zamana karşı Ca ²⁺ iyonu giderimleri (15 bar)	113

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.81 Membranlara ait zamana karşı Mg^{2+} iyonu giderimleri (15 bar).....	113
4.82 Membranlara ait zamana karşı SO_4^{2-} iyonu giderimleri (15 bar)	114
4.83 Membranlara ait zamana karşı PO_4^{3-} iyonu giderimleri (15 bar)	115
4.84 Membranlara ait zamana karşı silisyum giderimleri (15 bar).....	115
4.85 Membranlara ait zamana karşı KOİ giderimleri (15 bar)	116
4.86 Membranlara ait zamana karşı renk giderimleri (15 bar)	116
4.87 Membranlara ait zamana karşı TOK giderimleri (15 bar).....	117
4.88 Membranlara ait zamana karşı su geri kazanımı (15 bar).....	118
4.89 NF90 membranının farklı basınçlarda elde edilen süzüntü akısını zamana göre değişimi	119
4.90 NF90 membranı ile farklı basınçlarda elde edilen su geri kazanımın zamana göre değişimi	119
4.91 BW30 membranının farklı basınçda elde edilen süzüntü akısının zamana göre değişimi	120
4.92 BW30 membranının farklı basınçda elde edilen su geri kazanımının zamana göre değişimi	120
4.93 NF+RO entegre çalışmaya ait zamana karşı süzüntü akısı değişim değerleri	123
4.94 NF+RO entegre çalışmaya ait zamana karşı su geri kazanımı	124
4.95 NF+RO entegre çalışmaya ait zamana karşı TÇK giderimi	124

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.96 NF+RO entegre çalışmaya ait zamana karşı iletkenlik giderimi	125
4.97 NF+RO entegre çalışmaya ait zamana karşı tuzluluk giderimi	125
4.98 Sürekli döngü çalışmasında zamana karşı sıcaklık değişimleri (NF90)	130
4.99 Sürekli döngü çalışmasında zamana karşı sıcaklık değişimleri (BW30).....	130
4.100 Sürekli döngü çalışmasında NF90 membranının süzüntü akısı	131
4.101 Sürekli döngü çalışmasında BW30 membranının süzüntü akısı.....	131
4.102 NF90 ve BW30 membranlarına ait süzüntü akılarının döngüsel çalışmalarda değişimi.....	132
4.103 Sürekli döngü çalışmasına ait atıksu geri kazanımları (NF90)	133
4.104 Sürekli döngü çalışmasına ait atıksu geri kazanımları (BW30).....	133
4.105 NF90 ve BW30 membranlarına ait atıksu geri kazanım değerlerinin döngüsel çalışmalarla değişimi.....	134
4.106 Sürekli döngü çalışmasında zamana karşı TÇK giderimi (NF90)	134
4.107 Sürekli döngü çalışmasında zamana karşı TÇK giderimi (BW30).....	135
4.108 Sürekli döngü çalışmasında zamana karşı iletkenlik giderimi (NF90)	135
4.109 Sürekli döngü çalışmasında zamana karşı iletkenlik giderimi (BW30).....	136
4.110 Sürekli döngü çalışmasında zamana karşı tuzluluk giderimi (NF90)	136
4.111 Sürekli döngü çalışmasında zamana karşı tuzluluk giderimi (BW30).....	137

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.112 MBR çıkış ve NF90 süzüntüsünün farklı oranlarında karıştırılmasıyla elde edilen suyun SAR ve iletkenlik değerleri	140
4.113 MBR çıkış ve BW30 süzüntüsünün farklı oranlarında karıştırılmasıyla elde edilen suyun SAR ve iletkenlik değerleri	140
4.114 MBR çıkış NF90 ve BW30 süzüntüsünün farklı karışım oranlarındaki SAR ve iletkenlik değerleri (15 bar)	141
4.115 MBR çıkış, NF90 ve BW30 süzüntüsünün farklı karışım oranlarındaki SAR ve iletkenlik değerleri (Sürekli döngü çalışmaları)....	141
4.116 NF90 (10 bar) membranına ait maliyet dağılımı	145
4.117 NF90 (15 bar) membranına ait maliyet dağılımı	146
4.118 BW30 (10 bar) membranına ait maliyet dağılımı.....	146
4.119 BW30 (15 bar) membranına ait maliyet dağılımı.....	147
4.120 Sürekli (NF90 1. döngü) çalışmaya ait maliyet dağılımı.....	147
4.121 Sürekli (BW30 1. döngü) çalışmaya ait maliyet dağılımı	148

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
1. 1 Dünyadaki Toplam Su Miktarlarının Yüzdesi (Başkan, 2006)	2
1. 2 Membran yapımında kullanılan çeşitli maddeler	11
3. 1 Ters ozmos membran ünitesi işletme şartları	42
3. 2 Cihaz ölçüleri ve ağırlıkları	42
3. 3 Cihazın yapımında kullanılan malzemeler	42
3. 4 Kitlere ait ölçüm aralığı	52
3. 5 NF ve RO membranlarının özellikleri	53
3. 6 Film Tec BW30-2540 ve NF90-2540 membranlarının özellikleri	54
3. 7 Laboratuvar çalışmalarında kullanılan atıksuyun fizikokimyasal bileşimi	55
3. 8 Arazi çalışmalarında kullanılan atıksuyun fizikokimyasal bileşimi	55
3. 9 Sulama suyunun kimyasal kalitesinin değerlendirilmesi için geliştirilmiş parametreler (Çevre ve Orman Bakanlığı, 2010)	61
3. 10 Materyal ve altyapı hizmetlerinin belirtilen birimlere göre maliyetleri	63
4. 1 HL membranı için süzüntü akısı ve su geçirgenliği değerleri	64
4. 2 DL membranı için süzüntü akısı ve su geçirgenliği değerleri	65
4. 3 AG BWRO membranı için süzüntü akısı ve su geçirgenliği değerleri	66
4. 4 Membranlara ait ortalama geçirgenlik katsayıları	67

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
4. 5 Farklı membranlarla elde edilen ürün suyun kimyasal kalitesinin değerlendirilmesi için geliştirilmiş parametreler ile karşılaştırılması	79
4. 6 NF ve RO membranları ile elde edilen ürün suyun özellikleri ve SKKY ile sulama suyu standartlarıyla karşılaştırılması	80
4. 7 NF/RO membranları ile elde edilen ürün suyun sulama suyu olarak kullanılabilmesi için geliştirilmiş parametreler ile karşılaştırılması	103
4. 8 NF90 ve BW30 membranları ile 10 bar basınç uygulandığında elde edilen ürün suyun ortalama özellikleri ve ürün suyun kalitesinin SKKY ile sulama suyu standartlarıyla karşılaştırılması	104
4. 9 Sulama suyunun kimyasal kalitesinin değerlendirilmesi için geliştirilmiş parametreler ile karşılaştırılması (10 ve 15 bar)	119
4. 10 NF90 ve BW30 membranları ile elde edilen ürün suyun özellikleri ve SKKY ile sulama suyu standartlarıyla karşılaştırılması (15 bar).....	121
4. 11 NF90 ve BW30 membranları ile farklı basınçlardan elde edilen ürün suyun özelliklerinin karşılaştırılması.....	122
4. 12 MBR ile arıtılmış atıksudan NF+RO entegre çalışması ile elde edilen ürün suyun özellikleri	126
4. 13 NF+RO entegre sistemiyle elde edilen ürün su kalitesinin sulama amaçlı kullanılması için geliştirilmiş parametreler ile karşılaştırılması (NF+RO entegre).....	127
4. 14 NF+RO entegre sistemde elde edilen ürün suyun özellikleri	128
4. 15 NF+RO entegre sistem ile BW30 membranına ait 10 ve 15 bar’da elde edilen atıksu geri kazanımları.....	129

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
4. 16 NF+RO entegre sistem ile BW30 membranına ait 10 ve 15 bar’da elde edilen süzüntü akı değerleri	129
4. 17 Sürekli döngü çalışmalarında elde edilen ürün suyun kalitesinin değerlendirilmesi.....	138
4. 18 Sürekli döngü çalışmalarında elde edilen ürün su kalitesinin sulama suyu için geliştirilmiş parametreler ile karşılaştırılması	139
4. 19 Sürekli döngü çalışmalarında elde edilen ürün suyun özelliklerinin Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY) ile sulama suyu standartlarıyla karşılaştırılması	139
4. 20 MBR çıkış ve membran süzüntü oranlarının, SAR ve iletkenlik değerleriyle karşılaştırılması	142
4. 21 Arazi çalışmalarına ilişkin maliyet hesaplamaları	144
4. 22 Arazi çalışmalarına ilişkin maliyet giderleri	145

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
J_v	Süzüntü akısı (L/m^2h)
MWCO	Molecular Weight Cut-off (Molekül ağırlığı ayırma sınırı)
P	Basınç
R	Giderim (%)
T	Sıcaklık ($^{\circ}C$)
V	Hacim
<u>Kısaltmalar</u>	
AnMBR	Anaerobik Membran Biyoreaktör
BOİ	Biyolojik Oksijen İhtiyacı
CAS	Konvensiyonel aktif çamur
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
EC	Elektriksel İletkenlik (mS/cm)
İK	İnorganik karbon (mg/L)
LPRO	Düşük basınçlı ters ozmos
MBR	Membran Biyoreaktör
MF	Mikrofiltrasyon
NF	Nanofiltrasyon
NTU	Nefelometrik bulanıklık birimi
OSB	Organize Sanayi Bölgesi
RO	Ters ozmos
SKKY	Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği
TC	Toplam karbon (mg/L)
TÇK	Toplam Çözünmüş Katı Madde (mg/L)
TOK	Toplam organik karbon
UF	Ultrafiltrasyon
VCF	Volumetrik Konsantrasyon Faktörü

1. GİRİŞ

Son yıllarda endüstrileşmenin ve nüfus artışının büyük hız kazanmasıyla su kaynakları giderek azalmakta ve kirlenmektedir. Çevrenin korunmasına yönelik getirilen yasal düzenlemeler ve işletmelerde su ihtiyacının giderek artmasından dolayı teknolojilerin iyileştirilmesi ve işletme içi madde çevrimleri öne çıkmakta, atıksu oluşumunun en aza indirilmesi, değerli maddelerin kazanılması ve suların tekrar kullanımı gündeme gelmektedir.

Çevre kirliliğini oluşturan en önemli kaynak sanayi kuruluşlarıdır. Farklı sektörlerde üretim esnasında ve sonrasında çevre kirliliğine neden olan değişik özellikte atıklar oluşmaktadır. Endüstriyel gelişme ve üretime paralel olarak, oluşacak atıkların en aza indirilmesi için yeni teknolojilere ve ileri arıtım tekniklerine başvurulması gerekmektedir.

Ülkemizde sanayi kuruluşlarından kaynaklanan atıksuların deşarj limitlerinin değişimi ve daha düşük değerlerde olması için Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği değiştirilmiş bulunmaktadır. Ayrıca pek çok işletme son 10 yılda dünya gündeminde olan “sürdürülebilir kalkınma”, “atıkların kaynağında önlenmesi”, “ISO 14000” ve son olarak da “IPPC-Direktifi” kavramlarının etkisiyle atık oluşturmamaya, en aza indirmeye, oluşanı da ileri derecede arıtarak tekrar kullanmaya çalışmaktadırlar (Kaleli, 2006).

Atık sularla sulama, Orta Doğu, Kuzey Afrika ve Akdeniz ülkelerinin birçoğunda iyi bilinen bir uygulamadır. Bu ülkelerde tüketilen suyun %70-90’ı tarımsal sulama ve peyzaj sulaması için yeniden kullanılmaktadır. Suyu talebin artması nedeniyle, arıtılmış atıksularla sulama bu ülkelerin su kaynaklarının planlanması ve geliştirilmesinde önemli bir bileşen haline gelmiştir. Su kaynağının kıt olduğu durumlarda, tarımda kullanılan atıksuyun yaklaşık % 80’i, arıtılmamış ya da arıtılmış olarak sulamada kullanılmaktadır (Schutte, 1982).

1.1. Dünyada ve Türkiye’de su

Dünyadaki toplam su miktarı 1 milyar 400 milyon km³’dür. Bu suyun %97,5’i denizlerdeki ve okyanuslardaki tuzlu sulardan ibarettir. Geriye kalan sadece %2,5’lik kısım tatlı suları teşkil etmekte olup, bu dilimin çok az bir kısmının kolaylıkla erişilebilir olduğu belirtilmektedir.

Dünyadaki toplam suyun yılda yaklaşık 500.000 km³'ü denizlerde ve toprak yüzeyinde meydana gelen buharlaşmalar ile atmosfere geri dönmekte ve hidrolik çevrim içerisinde yağış olarak tekrar yeryüzüne düşmektedir (Başkan, 2006). Dünyadaki toplam su miktarının yüzde olarak dağılımı, Çizelge 1.1'de gösterilmektedir.

Çizelge 1. 1 Dünyadaki Toplam Su Miktarlarının Yüzdesi (Başkan, 2006)

Su miktarları	km³	%
Dünyadaki toplam su miktarı	1.4 Milyar	100
Denizler ve okyanuslardaki tuzlu su miktarı	1.365 Milyar	97.5
Tatlı su miktarı	0,035 Milyar	2.5
Yılda buharlaşan su miktarı	500.000	0.036
Yılda yağışla düşen su miktarı	100.000	0.007
Nehirlerle akışa geçen miktar	40.000	0.003
Teknik ve ekonomik kullanılabilir su miktarı	9.000	0.00064

Ülkemiz; dünyanın yarı kurak bölgesinde yer almaktadır. Dünya yüzeyine düşen yağış, yılda ortalama 800 mm civarında iken; Türkiye’de yıllık ortalama yağış, 643 mm’dir. Bu değer yılda 501 milyar m³ suya tekabül etmektedir. Günümüz teknik ve ekonomik şartları çerçevesinde, muhtelif gayelere yönelik olarak tüketilebilecek yüzey suyu potansiyeli yurt içindeki akarsulardan 95 milyar m³, komşu ülkelere yurdumuza gelen akarsulardan 3 milyar m³ olmak üzere yılda 98 milyar m³ civarındadır. Yeraltı suyu potansiyeli ise yapılmış olan etütlere göre 12 milyar m³ olarak hesaplanmıştır. Bu durumda, günümüzdeki şartlar çerçevesinde ülkemizin tüketilebilir yüzey ve yeraltı suyu potansiyeli yıllık toplamı 110 milyar m³ olmaktadır (Başkan, 2006).

1.2. Arıtılan atıksuların yeniden kullanımı

Islah, yeniden kullanım ve geri dönüşümü içeren atık suların geri kazanımı, son zamanlarda, su kaynaklarının daha iyi yönetimi için katkı sağlayan muhtemel araçlardan biri olarak görülmektedir. Atıksuların ıslahı ve yeniden kullanımı için dünyanın her yerinde her yıl yeni projeler yapılmakta ve arıtılmış atıksular kırsal kesim için ekstra bir su kaynağı olarak düşünülmektedir. Yeniden kullanım, su kıtlığı için temel çözümlerden biri olarak düşünülmesine rağmen, gerçek ölçekte suyun yeniden kullanımı Çok az sayıda ülkede yapılmaktadır. Suyun yeniden kullanıldığı başlıca ülkeler; ABD, Avustralya ve İsrail’dir. Suyun yeniden

kullanımı iki temel işlevi gerçekleştirmektedir. Bunlardan birincisi; arıtılan atıksu faydalı bir amaç için su kaynağı olarak kullanılır. Arıtılan atıksu, akarsu, göller ve sahillerden uzak tutulmuş olur, böylelikle yüzey ve yeraltı sularının kirlenmesi de engellenmiş olur. İkincisi ekonomik tasarruf, değerli madde ve suyun geri kazanımı su döngüsü ile sağlanabilir. Atıksu arıtımı ve yeniden kullanım projelerinin temel amacı içme suyu dışındaki tüm kullanımlar için yeterli kalitede su üretmektir. Bu uygulamalar için kullanılan arıtılmış su, temiz (tatlı) suların önemli miktarlarında tasarruf sağlar. Atıksuların arıtılarak yeniden kullanımının temel faydaları; su kaynaklarının korunması, kıyı kirliliğinin önlenmesi, temiz su kullanımının azaltılması ve atıksu iyileştirme maliyetlerinin azaltılmasıdır (Polat, 2012).

1.2.1. Atıksuların tarımsal kullanımı

Atıksuların sulama alanlarında kullanılması Türkiye’de ancak 1991 yılında yayınlanan Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Tebliği ile yürürlüğe girebilmiştir. Ancak bu mevzuat konu ile ilgili son gelişmeleri yansıtmamakla beraber yine de bu alandaki bir boşluğu doldurmuştur (Yılmaz, 2005).

Genelde toplam tatlı su tüketiminin %40’ı gibi oldukça önemli bir bölümünü tarımsal sulama oluşturmaktadır. Dolayısıyla, tarımda, arıtılmış atıksuyun geri kullanımı önemli miktarda su korunumu sağlamaktadır. Diğer kullanımlarla birlikte planlanması halinde ise, geri kullanımda önemli bir yüzdeyi oluşturmaktadır (Polat, 2012).

Atıksuların tarımda kullanımı, hem olumlu hem de olumsuz çevresel etkilere sahiptir. Tarımsal yeniden kullanım için uygulanan su kalite kriterleri genellikle sağlık problemlerine neden olabilen patojenlerin varlığına odaklanan mikrobiyolojik maddeler, toplam çözünmüş katılar (TDS) ve tuzluluktur. Atık suların tuzluluk seviyesi genellikle yüksektir ve göreceli olarak maliyetli tuz giderme prosesleri kullanılmazsa tuzluluk giderilemez ve su temini maliyeti artar. Bununla birlikte kentsel arıtılmış atıksular humik maddeler, ağır metaller, pestisitler, dezenfeksiyon yan ürünleri, endüstriyel kirleticiler, mikroorganizmalar, organik ve inorganik maddeler içerir. Bu kirleticilerin bir kısmı klasik atık su arıtımıyla kısmen giderilemediği için arıtılmış suda bulunabilir. Birincil ve ikincil arıtma prosesleri ile giderilemeyen nütrientlerin çoğu giderilmektedir. Bu tür arıtmalar, atıksuların tarımda kullanılmasına olanak sağlamasının yanında, pahalı üçüncül arıtma ihtiyacını azaltır ve sınırlı temiz su kaynakları kentsel amaçlar için

kullanılır. Ayrıca arıtılmış atıksuların tarımsal sulamada kullanılması gübre ihtiyacını azaltır ve böylece ekonomiye de katkı sağlamış olur (Polat, 2012).

1.2.2. Atıksuların kentsel ve evsel kullanımı

Kentsel kullanım uygulaması, içme suyu dışındaki çeşitli kullanım alanlarını içermektedir. Bunlar;

- Parklar, rekreasyon alanları, spor tesisleri, otoyol kenarlarının sulanması
- Ticari ve endüstriyel gelişme alanları
- Golf sahalarının sulanması
- Yangın söndürme
- Ticari ve endüstriyel alanlarda tuvaletlerde kullanılması
- İnşaat projelerinde toz kontrol ve beton üretimi
- Araç yıkama tesislerinde arıtılmış atıksular kullanılabilir (Kitiş ve ark., 2009).

1.2.3. Atıksuların endüstriyel kullanımı

Arıtılmış atıksuların endüstrideki yeniden kullanım alanlarını soğutma suyu, proses suları ve kazan besleme suları oluşturmaktadır (Kitiş vd, 2009).

Soğutma suyu, birçok endüstri için geri kazanılmış suların en yaygın kullanım şeklidir ve tek başına en büyük endüstriyel su ihtiyacını oluşturur. Ancak, soğutma suyu olarak arıtılmış atıksuların kullanılması durumunda, korozyon, çökelek oluşması, mikrobiyal büyüme gibi konulara dikkat edilmesi gereklidir (Polat, 2012).

Arıtılmış atıksuların kazan besleme suyu olarak kullanımı, kazanın işletme basıncına bağlıdır. Genellikle yüksek basınçlı kazanlar kalitesi yüksek sulara ihtiyaç duyarlar. Genel olarak, ister içme suyu ile ister arıtılmış su ile çalışsınlar, tüm kazanlarda sertliğin sıfıra yakın olması istenir. Kazanlarda çökelek oluşumuna neden oldukları için kalsiyum, magnezyum, silisyum ve alüminyumun arıtılması istenir.

Arıtılmış atıksuların proses suyu olarak kullanımı durumunda; her bir sanayi kuruluşu için ayrı ayrı inceleme yapmak gereklidir. Örneğin, elektrik sektöründe devre kartları ve diğer elektronik parçaların yıkanması için hemen hemen

damıtılmış su kalitesi gerektirirken, deri sektöründe düşük kaliteli su kullanabilir (Polat, 2012).

1.2.4. Atıksuların su ürünleri yetiştiriciliğinde kullanımı

Arıtılmış atıksular, havuzlara alınarak, insan ya da hayvan tüketimine yönelik olarak bitki ya da balık yetiştirmek için kullanılabilir. Atıksu ile beslenen havuzlarda yetiştiriciliği yapılan balıklar geniş aralığa sahiptir. Bu türler, Adi sazan (*Cyprinus carpio*), Hint sazanı (*Catla catla*, *Cirrhina mrigala* ve *Labeorohita*), Çin gümüş sazanı (*Hypophthalmichthys molitrix*), büyükbaşlı sazanı (*Aristichthys nobilis*), ot sazanı (*Crenopharyngodon idella*), kırmızı balık (*Carassius auratus*), nil sazanı (*Osteochillus haseltii*), tilapia (*Oreochromis spp*), süt balığı (*Chanos chanos*), yayın balığı (*Pangasius spp*), bıyıklı balık (*Puntius goionotus*) ve tatlı su karidesi (*Macrobrachium lanchesterii*) olarak sıralanabilir (Pescod, 1992).

Balık türleri, sulardaki kirlilik için değişik tolerans seviyelerine sahiptirler. Örneğin, tilapia çeşitleri, yüksek amonyak seviyelerinden en az etkilenenler arasındadır. Havuzlarda yetiştirilen balık genellikle sazan olmaktadır. Sazanlar, yüzey solunumu yapabilmeleri nedeniyle, düşük çözünmüş oksijen (ÇO) koşullarında dahi uzun süre yaşayabilmektedirler.

Kanalizasyon sistemine toksik maddelerin deşarjı önlenmeye çalışılsa da, bazı durumlarda ağır metaller ve pestisitler kentsel atıksularda bulunabilmektedir. Böyle bir atıksuyun su ürünleri yetiştiriciliğinde kullanımı, bitki ya da balık bünyesinde birikime yol açar. Örneğin alglerin; civa hariç bütün ağır metalleri bünyesinde tutabilme yeteneği vardır. Tilapia balığı, ağır metalleri hızla bünyesinde biriktirmektedir. Balık besin zincirinde ağır metaller; karnivor balıklarda, herbivor balıklara nazaran daha fazla akümüle edilmektedir.

Sonuç olarak, balık havuzlarında yetiştirme periyodu süresince, toplam koliform sayısının düşük tutulması insan tüketimine yönelik balık yetiştiriciliğinde önem taşımaktadır (Yılmaz, 2005).

1.3. Atıksu arıtımında kullanılan yöntemler

Hızlı nüfus artışı, aşırı sanayileşme, artan kuraklık ve aşırı tüketim ile birlikte tatlı su kaynakları global ölçekte hızla tükenmektedir. Bu problem

özellikle ülkemizin de coğrafyasında bulunduğu Balkanlar ve Orta Doğuda son yıllarda daha da önemli hale gelmekte ve sahip olunan su kaynakları, ülkeler arasındaki stratejik ilişkiler ve pazarlıkların ana unsurlarından biri olmaktadır. Artan talebe karşılık tatlı su kaynaklarını yenileyip artırmak teknik ve ekonomik açıdan sınırlayıcı olduğu için sürdürülebilir kalkınmayı sağlayabilecek değişik pratik çözümlere ihtiyaç vardır. Bu bağlamda “temiz su kaynaklarını korumanın ilk yolu atıksuları geri kazanma ile başlar” düşüncesi ile arıtılmış atıksuların geri kazanımı ve birçok değişik amaçlı geri kullanımı için son yıllarda çalışmalar ve uygulamalar artırılmıştır. Atıksuların geri kullanımı ile hem tatlı su kaynaklarının tüketimi azaltılmakta, hem de deşarj edilen arıtılmış atıksuların çevresel etkileri en aza indirilebilmektedir (Yiğit vd, 2008).

Klasik iki kademeli arıtmadan çıkan suların “üçüncü kademe,, arıtımı, başka bir deyişle “ileri arıtımı,, son yıllarda sıkça gündeme gelmektedir. Bir yandan deşarj standartlarının daraltılması, diğer yandan suların tekrar kullanılma ihtiyacı üçüncü kademe arıtım tekniklerinin uygulanmasını gerekli kılmaktadır. Konvansiyonel arıtma tesislerinde, uzaklaştırılamayan veya parçalanamayan dayanıklı (persistent) maddelerin zararsız hale getirilmesi için uygulanan yöntemlere ileri arıtım teknikleri adı verilmektedir.

Ülkemizde endüstriyel atıksuların yeniden kullanımı çok su tüketen sanayi kuruluşlarında atıksuların geri döndürülmesi şeklinde olmaktadır. Özellikle İstanbul ve çevresindeki tesislerde yeterli suyun bulunmaması ve su ücretlerindeki hızlı artışlar, sany atıksuların yeniden kullanımını teşvik etmektedir. Bu yüzden bazı fabrikalar, atık sularının bir kısmını arıtarak yeniden kullanmaya başlamıştır. Yeniden kullanılan atıksu oranını artırmak amacıyla var olan arıtma tesislerinin geliştirildiği, genişletildiği ya da atıksularını önceden kanala deşarj eden tesislerin de atıksularını arıtarak yeniden kullanmayı planladıkları görülmektedir (Kaya, 2007).

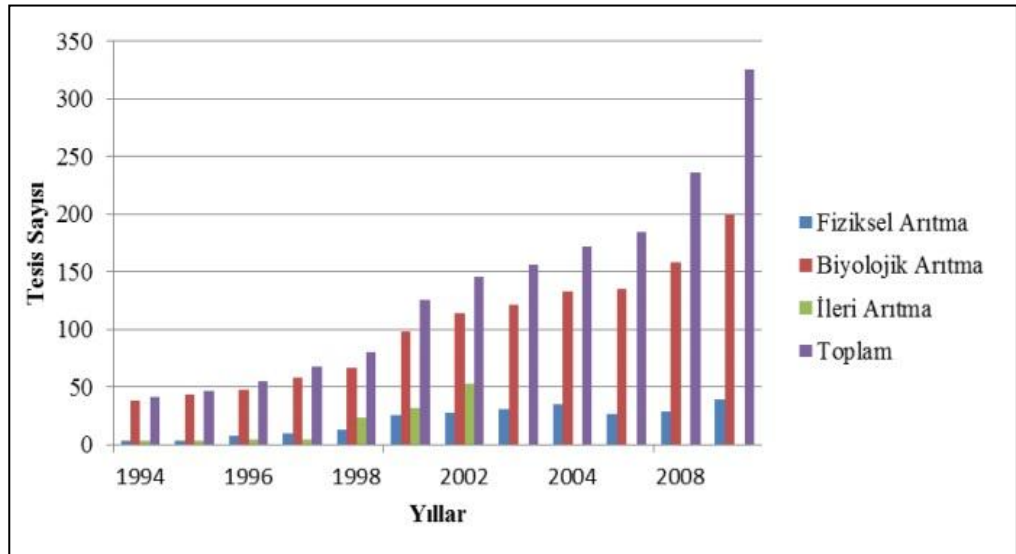
Endüstriyel atıksular, genellikle işletmelerin farklı aşamalarından gelen proses suları olup, kirlilik yükleri oldukça farklıdır. Sanayide işletmelerinin gerek üretim tipi, gerekse de üretimde kullandığı teknoloji, kimyasal maddeler ve su miktarı değişkenlik göstermektedir. Üretimde kullanılan su miktarına bağlı olarak da kirlilik yüklerinin değişim aralığı artmaktadır. Tüm sanayi kuruluşlarına her zaman önerildiği gibi; kullanılan su miktarının ve kimyasal maddelerin azaltılması, kaynaktaki kirliliğin kontrol altına alınması ve suların prosesde tekrar

kullanılabilecek düzeyde arıtılması çevre kirliliğinin kontrol altına alınmasında en ideal durumdur.

Atıksuların ileri arıtılması amacıyla membran teknolojileri diğer arıtma proseslerine göre tercih edilmektedir. Bunun en önemli nedenleri, membran proseslerinin diğer ayırma teknikleriyle karşılaştırıldığında düşük enerji ihtiyacı gerektirmeleri, kesikli ve sürekli işletilebilmeleri, bu yöntemler kullanılarak yüksek saflıkta ürün elde edilebilmesidi (Kaya ve Barlas, 2003).

Atıksuların arıtımında kullanılan fiziksel, kimyasal, biyolojik ve ileri arıtma yöntemlerinden daha yüksek arıtma verimlerini sağlayan ileri arıtma yöntemlerinin endüstriyel atıksuların arıtımında çok sıklıkla kullanıldığı yapılan çalışmalarda görülmektedir. İleri arıtma yöntemleri arasında ileri oksidasyon prosesleri, su ve atıksu arıtımında normal ortam koşullarında (sıcaklık ve basınç) bu proseslerin reaksiyonlarını tam verimle tamamlamalarından dolayı önemli bir kullanım alanına sahiptirler. Son yıllarda yapılan arıtılabilirlik çalışmalarının yeni yeni gelişmekte olan ileri oksidasyon prosesleri üzerine yoğunlaştığı görülmektedir (Yıldız vd, 2013).

1994-2010 yılları arasında TÜİK verilerine göre Türkiye’de uygulanan arıtma tesislerinin türü, miktarı ve yıllara göre dağılımı Şekil 1.1’de gösterilmiştir.



Şekil 1.1 1994-2010 yılları arasında Türkiye’de uygulanan arıtma tesislerinin türü, miktarı ve yıllara göre dağılımı (Yıldız ve diğ, 2013).

Bu verilere bakıldığında; Türkiye’de 1994-2010 yılları arasında biyolojik arıtma sistemiyle çalışan arıtma tesislerinin sayısında hızlı bir artış görülmektedir. Ülkemizde ileri arıtma teknolojileri 2001 yılından itibaren uygulanmaya başlamıştır. Doğal arıtma sistemleri ise 2008 yılından itibaren kullanılmaya başlanmıştır. Türkiye’de uygulanan atıksu arıtma yöntemleri; ön, mekanik (birincil), biyolojik (ikincil) ve ileri arıtma yöntemleridir. Türkiye’de; atıksulara ön arıtma daha çok, derin deniz deşarjı uygulaması ile bağlantılı olarak kullanılmaktadır. Kıyı şeridinde bulunan atıksu arıtma tesislerinin çoğunda bu yapı kullanılmakta olup, yönetmelik; atıksuyun derin denize deşarjına tabi tutulduğu yerlerde kirleticilerin derişimlerinin azaltılması koşulunu tam anlamıyla karşılamaktadır. Türkiye’de en yaygın atıksu arıtma tesisi tipi ise biyolojik arıtmadır. Ön arıtma; ızgara, çakıl ve kum gideriminden oluşmaktadır, mekanik arıtma ise ek ön çökeltme ünitesini içermektedir. Biyolojik arıtma ise, mekanik arıtma ve organik maddelerin biyolojik veya kimyasal giderimi sonrasında devreye giren son çökeltme ünitesinden oluşmaktadır (Yıldız vd, 2013).

1960’lı yıllarda çok sayıda yöntem, teknik ve ekonomik uygulanabilirliği açısından ileri arıtım amacıyla denenmiştir. Bugün bunların yarısından fazlası çeşitli şekillerde ileri arıtım için uygulama alanı bulmaktadır. Suların ileri arıtımında kullanılan başlıca teknolojiler aşağıda verilmektedir (Kaya, 2007):

- Membran Prosesler
- İyon Değişirme
- Adsorpsiyon
- Ozonlama
- UV/Ozon/H₂O₂ Kombinasyonları
- Fenton Yöntemi
- Azot ve Fosfor Giderim Teknolojileri.

1.4. Membran Prosesler

Membranlar ayırma ve saflaştırma işlemleri için kullanılırlar. Membran prosesleri de ayırma işlemleri olarak tanımlanabilir. Membran prosesleri fiyat ve arıtma etkisi bakımından hızlı bir şekilde su ve atıksu sektöründe kendini kabul ettirmiştir. Günümüzde hızla gelişmekte olan polimer endüstrisi membran teknolojilerini çok daha rekabetçi hale getirmiştir.

Membran malzemeler maddelerin kabaca moleküler büyüklüklerine göre ayrılmalarını sağlar. Membran ayırma prosesinde, iki fazı fiziksel olarak ayıran üçüncü bir faz olan membrana ihtiyaç vardır. Membran iki faz arasında bir ara fazdır (Kitiş vd, 2009a).

Membran teknolojisi yaklaşık 40 yıldır özellikle deniz suyu ve yer altı suyu desalinasyonunda yaygın bir biçimde kullanılmaktadır. Endüstriyel alandaki hızlı gelişmelere paralel olarak membran ayırma teknolojileri de gelişerek, atıksuların arıtılmasında, saf ve yumuşak su üretiminde, endüstriyel su hazırlanmasında, gıda ve ilaç sanayi prosesleri ayırma işleminde, atıksulardan bazı maddelerin geri kazanılmasında, iyon değiştirme, sıvılardan kolloidlerin ve büyük ölçekli moleküllerin ayırımında, sulardan veya diğer sıvılardan askıda katı veya çözünmüş maddelerin ayrımı gibi pek çok alanda kullanılmaktadırlar (Sınmaz, 2007).

İlk belgeli membran-difüzyon deneyi 1748 yılında Fransız Abbe Nollet tarafından gerçekleştirilmiştir. 1855 yılında Fick tarafından nitroselülozdan ilk sentetik membran yapılmıştır. Daha sonraki 20 yıl içerisinde, değişik malzemelerden sentetik membranlar üretilmiştir. 1907 yılında Bechold, membran üzerindeki gözenek kontrol edildiği membran hazırlama yöntemi geliştirmiş ve ultrafiltrasyon terimi ilk olarak kullanılmaya başlanmıştır (Kaya, 2007).

İkinci Dünya Savaşı sırasında Hollandalı W. Kolff tarafından ilk Hemodiyaliz (yapay böbrek cihazı) yapılarak, membranların tıp alanındaki ilk uygulaması geliştirilmiştir (Kaya, 2007).

1950'li yılların başlarında başlayan çalışmalarda su ve atıksu arıtımının yanısıra birçok ayırma prosesinde membranların etkin bir şekilde kullanımına yönelik araştırmalar başlamıştır. 1950'lerin sonlarına doğru, Kaliforniya Üniversitesi'nden Sidney Loeb ve S. Sourirajan ile Florida Üniversitesi'nden Charles Reid, deniz suyunu demineralize etmek amacıyla selüloz asetat membranı ve ters ozmoz ayırma yöntemini geliştirmişlerdir.

Membran teknolojisinin desalinasyonda uygulanması ile ilgili ilk başarı, Loeb ve Sourirajan'ın asimetric membranı üretmesiyle kazanılmıştır. Özellikle 1960'lı yıllardan sonra membran uygulamalarının önemi daha iyi anlaşılmış ve membran konusunda bilimsel çalışmalar artmıştır. 1980'li yıllarda organik membranların yanı sıra inorganik membranlarda üretilmeye başlanılmıştır. 1980'li yılların sonlarında özellikle gaz ayırımında başarı gösteren membranlar

geliştirilmiştir. 2000’li yıllara gelindiğinde, farklı özelliklerde membranların üretilmesi ve membran teknolojilerinde meydana gelen gelişmeler, birçok endüstride membran teknolojilerinin kullanımını yaygınlaştırmıştır (Kaya, 2007).

Aerobik süreçlerde uygulanan membranlar son yıllarda anaerobik proseslerde de kullanılmaya başlanmıştır. Membran biyoreaktörler (MBR) bir filtrasyon ünitesi ile bir anaerobik reaktörün birleşiminden oluşmaktadır. Filtrasyon ünitesi olarak membranlar ya anaerobik reaktör içerisine batırılmış şekilde veya reaktör dışında reaktöre bağlı şekilde geliştirilmiştir.

Günümüzde AnMBRs konusunda yürütülen çalışmalar, kirlenme konusunu çözmek, kek tabakası oluşumunu kontrol etmek, membran performansını artırmak ve membran alan gereksinimlerini azaltmak için optimum işletme koşullarını bulmak ve uygun membranları geliştirmek üzerinedir. AnMBR sistemlerinin tasarım ve işletme maliyetlerinin belirlenmesi ve fizibil ekonomik koşulların sağlanması amacıyla daha fazla çalışmaların yapılmasına ihtiyaç vardır (Aslan, 2012).

1.4.1. Membran hazırlanmasında kullanılan malzemeler

Günümüzde membran yapımında çok farklı yapıda ve özellikte polimerik malzemeler kullanılmaktadır. Çizelge 1.2’de membran yapımında kullanılan çeşitli maddeler verilmiştir.

1.4.2. Membranların yapısı

Membran proseslerde kullanılan membranlar ayırma mekanizmalarına, morfolojilerine, geometrilerine ve kimyasal yapılarına göre sınıflandırılırlar. Kullanılan membran tipine göre, membran proseslerin gösterecekleri performansları önemli ölçüde değişmektedir.

1.4.3. Ayırma mekanizmalarına göre membranların sınıflandırılması

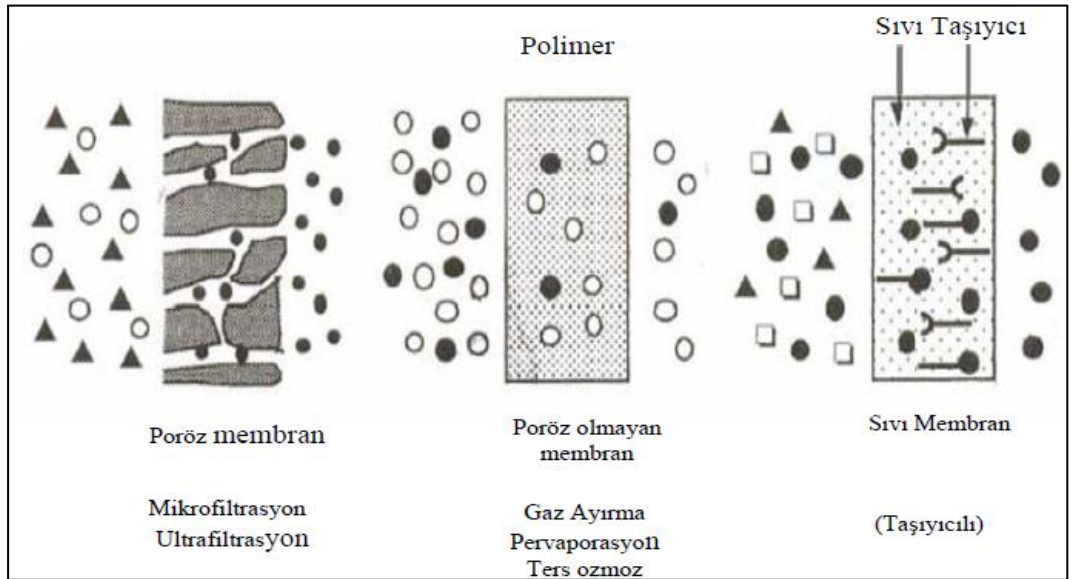
Su ve atıksu arıtımında katı ve sıvı olmak üzere iki tip membran kullanılmaktadır. Uygulamalarda 3 ayrı tip membran söz konusudur. Bunlar, poröz (gözenekli), poröz olmayan (gözeneksiz) ve sıvı membranlardır. Ayırma işlemi poröz membranlarda eleme mekanizması, poröz olmayan membranlarda ise

çözünme-difüzyon mekanizması ile gerçekleşmektedir. Sıvı membranlarda ise elektrokimyasal etkiler söz konusu olmaktadır.

Çizelge 1. 2 Membran yapımında kullanılan çeşitli maddeler (Köseoğlu, 2005)

Silikon	Polipropilen	Polifuran
Polisülfon	Selüloz asetat	Hidrofilik poliolefinler
Polikarbonat	Selüloz nitrat	Polialkilsülfon
Polivinilidendiflorid	Polieterimid	Sülfolanmış polistiren
Poliakrilonitril	Akrilikler	Polimetilmetaakriilat
Naylon 6	Karbon	Polivinilklorid
Naylon 6,6	Sülfolanmış polisülfon	Polieteramid
Aromatik poliamid	Polistiren	Polieterüre
Alüminyum oksit	Zirkonyum oksit	Paslanmaz çelik

Poröz ve sıvı membran tipleri çevre uygulamalarında su ve atıksu arıtımında, poröz olmayanlar ise genellikle gaz ayırmada, pervaporasyonda ve ters ozmoz uygulamalarında kullanılmaktadır. Poröz membranlarda, düşük moleküler ağırlıklı maddeler içeren çözeltiler ile çeşitli hidrolik sıvı akımları membranın gözeneklerinden geçebilmekte, yüksek molekül ağırlıklı madde içeren çözeltiler ise geçiş yapamamaktadır. Üç temel membranın yapı ve ayırma özellikleri Şekil 1.2’de verilmiştir.

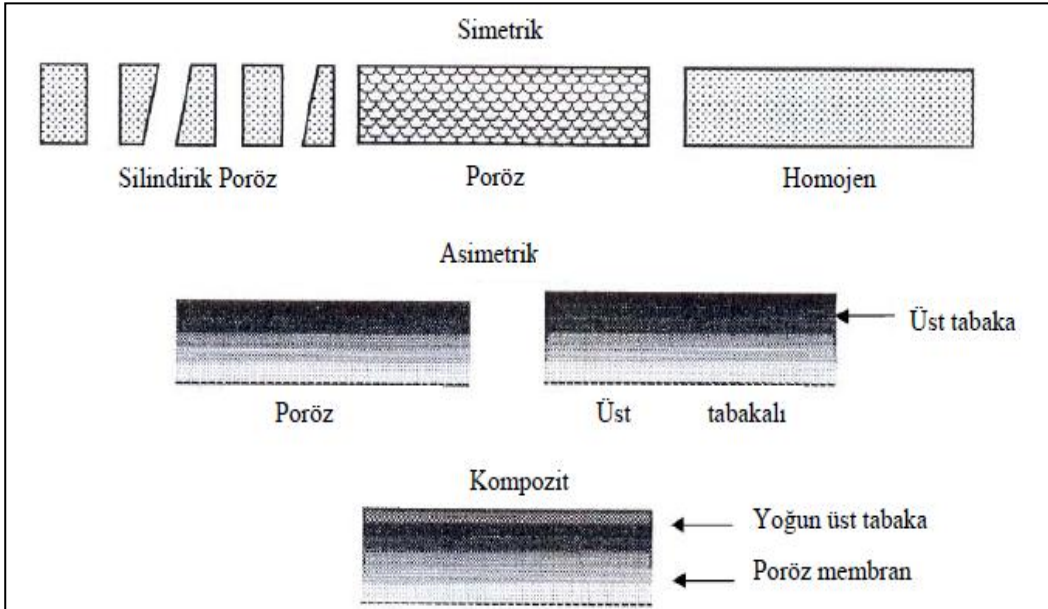


Şekil 1. 2 Üç temel membranın yapı ve ayırma özellikleri (Kaya, 2007)

1.4.4. Morfolojilerine göre membranların sınıflandırılması

Membranlar morfolojilerine göre simetrik, asimetrik ve ince film kompozit membranlar olarak üçe ayrılmaktadır. Simetrik membranların (boşluklu ve boşluksuz) kalınlıkları 10-200 μm arasında değişmektedir. Bir asimetrik membranın kalınlığı yaklaşık olarak 10-200 μm arasında değişmekte olup, bu membranlar 50-150 μm arasında gözenekli bir alt tabaka ile desteklenen 0.5 μm kalınlığında oldukça yoğun bir üst katmandan oluşur. Asıl ayırma işlemini gerçekleştiren bu üst tabakadır. Daha yüksek akıya sahip olan asimetrik membranlar, endüstriyel uygulamalarda simetrik membranların yerini almıştır. İnce film kompozit membranlar ise asimetrik membranların en üst kısmına, ince bir tabakanın yerleştirilmesiyle oluşturulur. İnce tabaka, toplam membran kalınlığının % 1'i kadardır (Kaya, 2007).

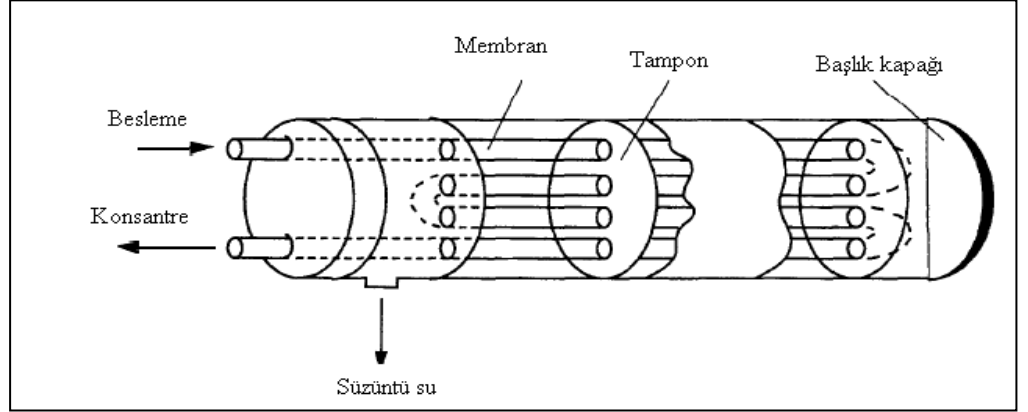
Membran prosesin performansı büyük ölçüde kullanılan membranın yapısı ve morfolojisi ile ilgilidir. Kullanılan membranın türüne göre membran proseslerin gösterecekleri performanslar önemli ölçüde değişmektedir. Özellikle asimetrik membranların geliştirilmesiyle, su ve atıksu arıtımında membranların kullanımı yaygınlaşmıştır. Membran malzemelerin kesitleri Şekil 1.3'de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 1. 3 Membran malzeme kesitlerinin şematik gösterimi (Kaya, 2007)

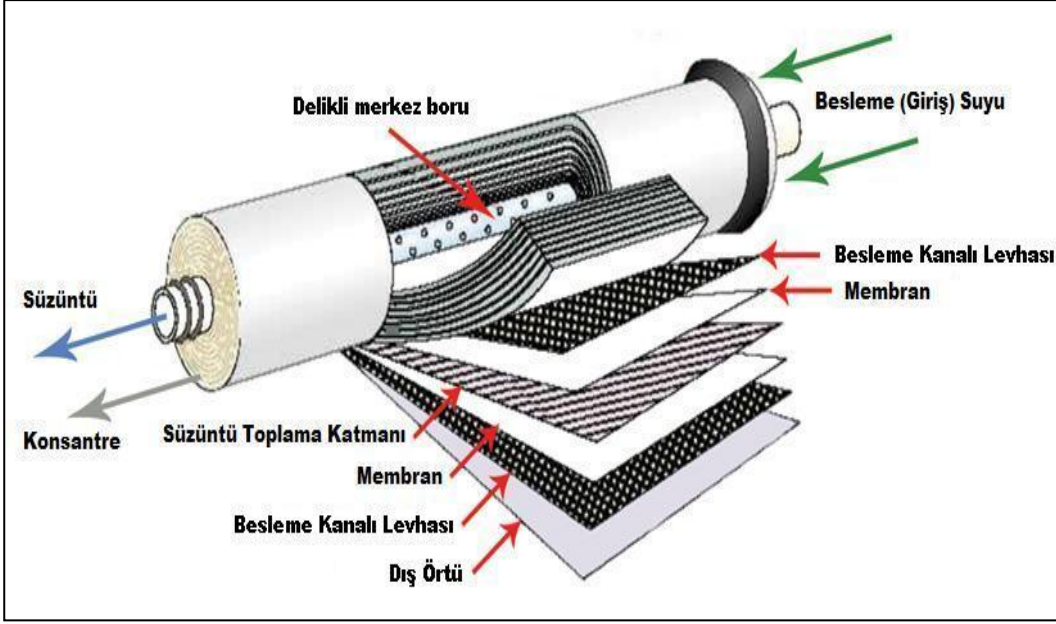
1.4.5. Membranların modül konfigürasyonlarına göre sınıflandırılması

Membranlar modül konfigürasyonlarına göre tübular, hollow fiber, spiral sarım ve plaka-çerçeve modüller olmak üzere 4'e ayrılır. Tübular membranların tasarımı basit ve kolaydır. Bu membranların üretimi yüksek maliyetli olduğu için büyük hacimli su arıtma tesislerinde kullanılmazlar. Fakat küçük kapasiteli endüstride kullanılabilir. Tübular elemanlar birim hacim başına küçük membran alanına sahiptir. Membranların değişimi oldukça zor ve zaman alabilir. Tübular elemanlar birim hacim başına küçük membran alanına sahiptirler (Şekil 1.4). Büyük kapasiteli olanlar çok enerji tüketir. Geniş iç hacimlerinden dolayı bu membranları temizlemek zor ve zahmetlidir. Tübular membran tasarımını değiştirmek zor ve maliyetlidir (Sert, 2010).



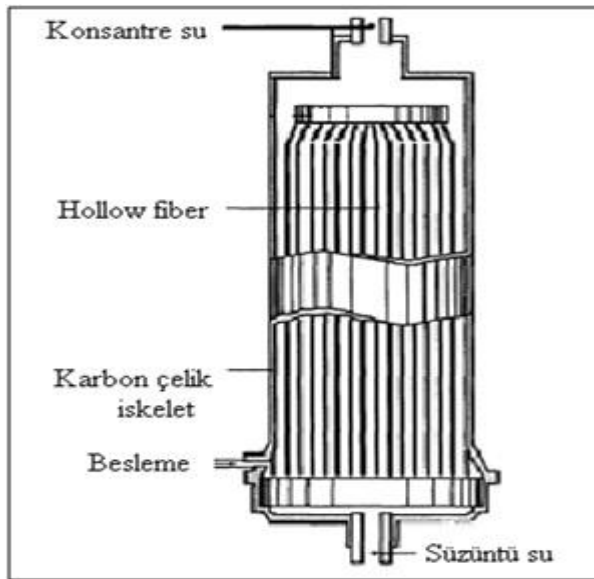
Şekil 1. 4 Tübular membran (Sert, 2010)

Spiral sarım membranlar, bir zarf oluşturulmak üzere üç tarafı sızdırmaz yapılarak kapatılmış gözenekli destek levha ile ayrılmış iki düz tabaka membrandan ibarettir. Dördüncü tarafı ise arıtılmış suyu toplamak üzere gözenekli plastik boruya yapışık olarak bağlanmıştır. Bu membran zarfların iki veya daha fazlası, arıtılmış suyu toplayan gözenekli tüpe yapıştırılır ve spiral şekilde yuvarlanır (Şekil 1.5). Son zamanlarda bu model membranların üretiminde hızlı bir artış gözlenmektedir (Sert, 2010).



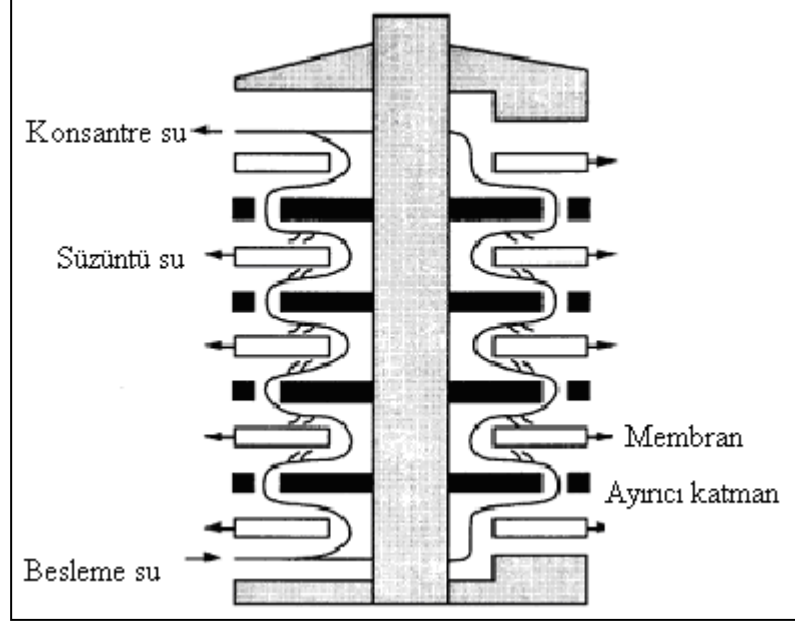
Şekil 1. 5 Spiral sarım membran (Sert, 2010)

Oyuk (hollow) fiber tipte membranlar, silindirik sert basınçlı kapların içine yerleştirilmiş küçük çaplı çok sayıda kapiler membranlardan ibarettir (Şekil 1.6). Bir modül üzerinde fiberler dış taraftan bastırılır. Tubuler modellerde olduğu gibi su beslemesi genellikle fiberin iç tarafından aşağı doğru yapılır. Deste içine her biri saç teli gibi olan fiberler U şeklinde yerleştirilir ve her iki ucu, epoksi reçine destek tıkaçla tutulmaktadır. Oyuk fiber modeller diğer modellerden düşük işletme maliyetine sahiptir. Dolayısıyla spiral sarım modellere göre daha kısa sürede tıkanır veya kirlenir (Sert, 2010).



Şekil 1. 6 Oyuk (hollow) Fiber membran (Sert, 2010)

Plaka ve çerçeve membranlar, dairesel veya kare plakalar arasına yerleştirilmiş membranlardır (Şekil 1.7). Plaka ve çerçeve membran modüllerinde, ara levhalar ile destekleyiciler arasına düz tabaka membranlar yerleştirilir. Bu modellerle metal kaplama sanayinde oluşan atık sulardan, metallerin geri kazanılmasında kullanılmaktadır.



Şekil 1. 7 Plaka ve çerçeve membran (Sert, 2010)

1.4.6. Akım türüne göre membranların sınıflandırılması

Mevcut çeşitli filtrasyon teknolojileri, besleme çözeltisinden uzaklaştırılan partiküllerin büyüklüğü baz alınarak iki kategoride sınıflandırılabilir. İlk sınıflandırma, askıda katı maddelerin geleneksel makrofiltrasyonu olan ve besleme çözeltisinin filtre ortamı üzerinden dik yönde geçirilmesiyle oluşturulur. Bütün çözelti filtreden geçer ve sadece bir çıkış akışı oluşturur. Bu tür süzme elemanlarına örnek olarak, kartuş filtre, torba filtreler, kum filtreleri ve multimedia filtrelerini verebiliriz. Makrofiltrasyon 1 mikrondan büyük partiküllerle sınırlıdır.

İkincisi ise küçük partiküller ve çözünmüş tuzların uzaklaştırılmasında kullanılan “teğet akış” olarak Türkçeye çevirebileceğimiz “crossflow” süzmedir. Bu yöntemde; membran yüzeyine paralel olarak akan basınçlı bir besleme çözeltisi vardır. Besleme çözeltisinin bir kısmı membrandan süzülürken süzülmeden akan kısım arkadan gelen besleme çözeltisi tarafından filtre üzerinden uzaklaştırılır. Membran yüzeyi üzerinden sürekli bir akış olduğu için ayrılan

Membran proseslerini proses sırasında uygulanan kuvvetler bakımından da inceleyebiliriz. Genelde uygulanan kuvvetler basınç ve elektriksel potansiyeldir. Bunun yanı sıra membran hava sıyırması ve pervaporasyon gibi kuvvetler de vardır (Köseoğlu, 2005).

1.4.8. İtici gücü basınç olan membran süreçler

Membranlar seçici bariyer görevi yapmaktadırlar. Membran özelliğine göre, su içerisinde bulunan maddelerden bazıları membrandan geçerken bazıları da geçişini tamamlayamaz ve membran içinde bloke olur. Suyun membrandan geçişi için bir kuvvete ihtiyaç vardır. Su arıtımında bu kuvvet genellikle basınçtır.

Basınç itici gücüyle çalışan membran prosesleri 4'e ayırabiliriz. Bu prosesler;

- Mikrofiltrasyon (MF)
- Ultrafiltrasyon (UF)
- Nanofiltrasyon (NF)
- Ters Ozmos (RO)'dur.

Mikrofiltrasyon (MF)

Uzaklaştırılan partiküller yaklaşık 0.1-1 mikron aralığındadır. Genelde askıda katı maddeler ve büyük kolloidler ayrılırken makromoleküller ve çözünmüş maddeler membrandan geçer. MF uygulamaları arasında bakterilerin, flok maddelerin veya askıda katı maddelerin uzaklaştırılması sayılabilir. Transmembran basıncı 0.7 bardır (Kitiş vd., 2009a).

MF genellikle, partiküllerin, kolloidal maddelerin ve bulanıklığın giderilmesi amacıyla diğer membran proseslerinden önce ön arıtım prosesi olarak kullanılır. Ayrıca MF prosesi, boyarmadde içeren atık sulardan renk giderimin de, yağ içeren atık suların arıtılmasında, meyve suyu endüstrisi atıksularının arıtılmasında, suların dezenfeksiyonunda ve sulardan doğal organik madde (NOM) giderimin de kullanılmaktadır (Kaya, 2007).

Ultrafiltrasyon (UF)

Bütün çözülmüş tuzlar ve küçük moleküller membrandan geçer. Uzaklaştırılan maddeler arasında kolloidler, proteinler, mikrobiyolojik kontaminantlar ve büyük organik moleküller vardır. Moleküler ağırlık cut-off (kesme) değerleri 1000-100.000 arasındadır. Transmembran basıncı 1-7 bardır (Kitiş vd., 2009a).

UF membranlarında gözenek büyüklüğü dağılımını belirlemek pahalı olduğu ve ayrıca ultrafiltrasyonda ayrılacak maddelerin partikül ölçüleri genellikle bilinemediği için burada karakteristik ayırma büyüklüğü olarak “molekül ağırlığı” kullanılır. Bir membran filtrasyonunda moleküllerin %90-95’inin tutulduğu molekül ağırlığı alanı “MWCO (Molecular Weight Cut Off): Molekül ağırlığı ayırma sınırı” olarak verilmektedir. Fakat bu molekül ayırma işlemi, membran ve tutulan madde arasındaki etkileşimler nedeniyle söz konusu membranın ayırma sınırı için mutlak bir ölçü gibi algılanmamalıdır. Daha çok belirli bir ayırma sorunu için membran seçiminde yardımcı olan kalitatif bir büyüklük olarak değerlendirilmelidir. UF membranları için tipik molekül ayırma sınırı yaklaşık 1.000-100.000 D (Dalton)=kg/kmol arasındadır.

UF başlıca, tekstil endüstrisi atıksularının arıtılması ve boyar madde geri kazanımında, kağıt endüstrisi atıksularının arıtılmasında, metal endüstrisinde yağ emülsiyonlarının konsantre edilmesi ve atıksu geri kazanımında, deri endüstrisi atıksularının arıtılmasında ve geri kazanımında (yağ, protein ve metal) kullanılmaktadır (Kaya, 2007).

Nanofiltrasyon (NF)

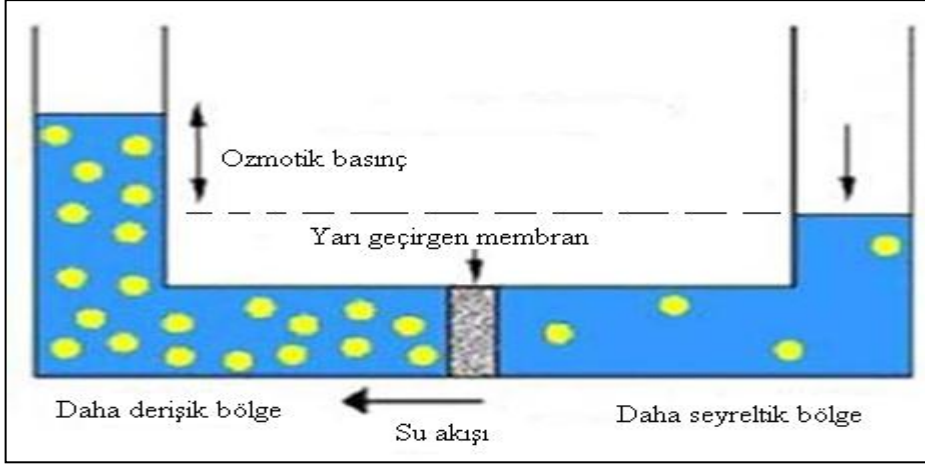
Yaklaşık 1 nm büyüklüğündeki partikülleri uzaklaştırır. Bu yüzden “nanofiltrasyon (NF)” olarak adlandırılır. NF, MF ve RO arasında çalışır. Molekül ağırlığı 200-400’den büyük organik moleküller sudan ayrılır. Aynı zamanda çözülmüş tuzların %20-98’i sudan uzaklaştırılır. Tek değerlikli anyonları olan (monovalent) tuzlar (NaCl, CaCl₂) %20-80 oranında uzaklaştırılırken çift değerlikli anyonları olan (divalent) tuzlar % 90-98 oranında ayrılır. Tipik uygulamalar arasında yüzey sularından renk ve toplam organik karbonun uzaklaştırılması, kuyu suyundan sertlik ve radyumun uzaklaştırılması, gıda ve atıksu uygulamalarında organik maddelerin inorganik kısımdan ayrılması sayılabilir (Kitiş vd., 2009a).

NF membranlarının MWCO değerleri genelde 200-1000 D (Dalton) arasındadır. Tek değerlikli tuzların büyük bir kısmı bu proses ile tutulamamaktadır. Daha az geçirgen olan membran tabakasının göstermiş olduğu dirençten dolayı, MF ve UF'den daha yüksek basınçlarda işletilirler. NF membranları ile genellikle 5-30 bar arasında çalışılır. NF prosesi, RO prosesine göre daha düşük işletme basınçlarında çalışmaktadır. RO'dan farklı olarak yüksek tuz konsantrasyonlarında ve daha düşük basınçlarda bile yüksek akı sağlanabilmektedir. Fakat NF membranlarının tuz giderme verimi, RO membranlarından oldukça düşüktür. UF membranları ile karşılaştırıldığında ise; NF membranları ile daha yüksek miktarlarda organik madde giderimi gerçekleşmektedir (Kaya, 2007).

NF prosesi ile sulardan sertlik ve pestisit giderilmesi, tekstil endüstrisinde atıksuların arıtılması ve boyarmadde geri kazanımı, gıda endüstrisinde üretim yapılan tankların yıkanması sonucu oluşan atıksuların geri kazanımı, kağıt endüstrisinde atıksuların arıtılması ve geri kazanılması, metal kaplama endüstrisinde asidik çözeltilerden metal iyonlarının ayrılması, makina yıkama sularının arıtılması ve geri kazanılması alanlarında yapılmış çalışmalar bulunmaktadır (Kaya, 2007).

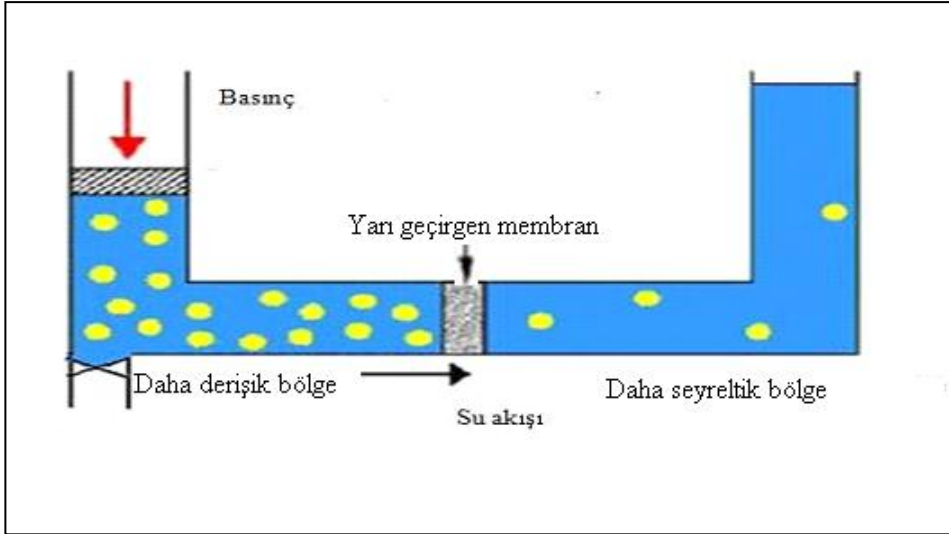
Ters Ozmos (RO)

RO yöntemini anlayabilmek için doğada sürekli olarak gerçekleşip duran ozmos olayının esaslarını bilmek gerekir: Farklı tuz derişimlerindeki iki çözeltinin, ideal durumda sadece çözücüyü (su) geçiren fakat çözünmüş maddeleri geçirmeyen “yarı geçirgen” bir membran ile ayrılması durumunda, çözücü (su) her iki çözeltinin derişimini eşitlemek için membrandan geçmeye başlar. Membrandan geçen su, derişimi yüksek tarafın seyrelmesine neden olur. şekil 1.10'da görüldüğü gibi her iki bölmedeki su seviyeleri farklanır ve seyrelen tarafta su yüksekliği artarken, diğer tarafta düşer (şekil 1.10). Bu durumda oluşan hidrostatik basınç ile daha fazla seyrleme engellenir. Bu dinamik denge durumunda görülen basınç farkı, çözeltinin saf çözücüyü karşı ozmotik basıncına (ya da iki farklı derişimdeki çözeltilerin ozmotik basınç farklarına) karşılık gelir.



Şekil 1. 10 Ozmos prensibi

RO işlem, (Şekil 1.11), konsantre çözeltiliye çözeltinin ozmotik basıncından daha yüksek basınç uygulanmasıyla ortaya çıkan kütle transfer olayıdır. Böylece su derişik çözeltiliden ayrılıp seyreltik tarafa akar ve aralarında derişim farkı bulunan iki faz meydana gelmiş olur. Eğer uygulanan basınç ozmotik basınçtan düşük olursa su tekrar seyreltik taraftan derişik tarafa doğru akar (Kaleli, 2006).



Şekil 1. 11 Ters ozmos prensibi (Kitiş vd., 2009)

RO, mümkün olan en yüksek seviyede süzme yapan bir yöntemdir. RO membranı, çözülmüş tuzlar ve inorganik bileşikler ile molekül ağırlığı 100'den büyük olan organik moleküllere bir engel görevi yapar. Öte yandan su molekülleri RO membranından serbestçe geçerek ürünü oluşturur. Çözülmüş tuzların giderimi RO membranı ile %95-99 arasındadır. RO yöntemi uygulanırken, 20–100 bar arasında değişen yüksek basınçların uygulanması gerekmektedir. Son

yıllarda membran üretiminde meydana gelen gelişmelerle birlikte düşük basınçlı RO membranları da kullanılmaya başlamıştır. RO yönteminin başlıca uygulamaları şunlardır: deniz suyunun veya acı suların içme suyu eldesi amacıyla desalinasyonu, atıksu geri kazanımı, gıda ve meyve suyu işleme, biyomedikal ayırmalar, evlerdeki içme suyunun ve endüstriyel proses suyunun saflaştırılması (Kitiş vd., 2009).

RO prosesine ait temel prensipler

Ozmotik basınç şu şekilde tanımlanmaktadır:

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

Π , Ozmotik basınç, V_b , suyun molar hacmi, x_w , suyun mol fraksiyonu ve R , ideal gaz sabitidir.

Seyreltik çözeltilerde osmotik basınç, ideal gaz ilkeleri ile aynı formda olan Van't Hoff's kuralı kullanılarak hesaplanmaktadır.

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

Hesaplanabilir ideal olmayan ve çözeltide iyonların dağıtımını içine alan, Van't Hoff's kuralı şu şekilde yeniden yazılabilir:

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

I , Çözünenin her molündeki moleküller ve iyonların sayısına eşdeğer olan ayrışma parametresidir ve 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 derişim eğimi ile membrana karşı aşağıdaki denklemler ile bağlantılıdır (Baker, 2004):

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

ΔP membranin her iki tarafı arasındaki basınç farkıdır, $\Delta\pi$ membranin her iki tarafı arasındaki ozmotik basınç değişimi, 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. Uygulanan basınç, ozmotik basınçtan yüksek olduğunda $\Delta P > \Delta\pi$ ise, konsantreden membranın seyreltik tuz çözeltisi tarafına su akar.

Ters ozmos 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 membranın besleme ve süzüntü bölümlerindeki tuz derişimleridir. Süzüntü çözeltisindeki tuz derişimi genellikle besleme çözeltisindeki derişimden daha azdır. Bu nedenle 1.6 eşitliği aşağıdaki gibi basitleştirilmiştir (Baker, 2004):

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

Bu iki denklemden uygulanan basıncın, süzüntü 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 ölçülebilir, ancak geleneksel olarak, tuz giderimi (R) olarak ölçülmektedir ve aşağıda verilen eşitlikle hesaplanmaktadır (Baker, 2004):

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

Membranın süzüntü tarafındaki tuz derişiminin süzüntü (su) ve tuz akısı ile ilişkili olduğu aşağıdaki ifade ile belirtilmektedir:

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

ρ_i , suyun özkütlesidir (g/cm^3). Denklem (1.1)'in (1.5)'e kombinasyonu tarafından membran giderimi şu şekilde açıklanabilir (Baker, 2004):

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

1.5. Membran Biyoreaktör (MBR) Teknolojisi

Membran biyoreaktör (MBR) arıtım sistemleri, biyolojik arıtım yöntemlerinden biri olan aktif çamur prosesini membran ayırma prosesiyle birleştiren sistemlerdir. Reaktör, geleneksel aktif çamur prosesine benzer şekilde işletilmekte olup, bu arıtma tekniğinde son çöktürme tankına ve kum filtrasyonu gibi üçüncül arıtma işlemlerine gerek duyulmamaktadır. MBR prosesi hidrolik ve çamur alıkonma sürelerinin birbirinden farklı olmasını olanaklı kılmaktadır. Böylece tüm çamur MBR içinde tutulabilmekte ve çamur yaşının yeterince uzun olması sağlanabilmektedir (Güler ve Büyükgüngör, 2011).

Geleneksel aktif çamur prosesinde iki ayrı havalandırma tankında gerçekleştirilen biyokimyasal oksidasyon ile sedimantasyon ve çökeltim tankında gerçekleştirilen su/biyokütle ayrılması, MBR'larda tek tank içinde gerçekleşmektedir. Bu tank içinde havalandırma suretiyle aktif çamur oluşturulmaktadır. Tankın içinde suda gömülü olan membran kasetlerindeki membranların çok küçük gözeneklerinden vakum uygulanarak, arıtılmış su membran içinden çekilmekte ve biyooksidasyon ile karbon giderimi yapılan biyokütle tank içerisinde kalmaktadır (Kitiş vd., 2003). Şekil 1.12'de MBR sisteme ait modül gösterilmiştir.

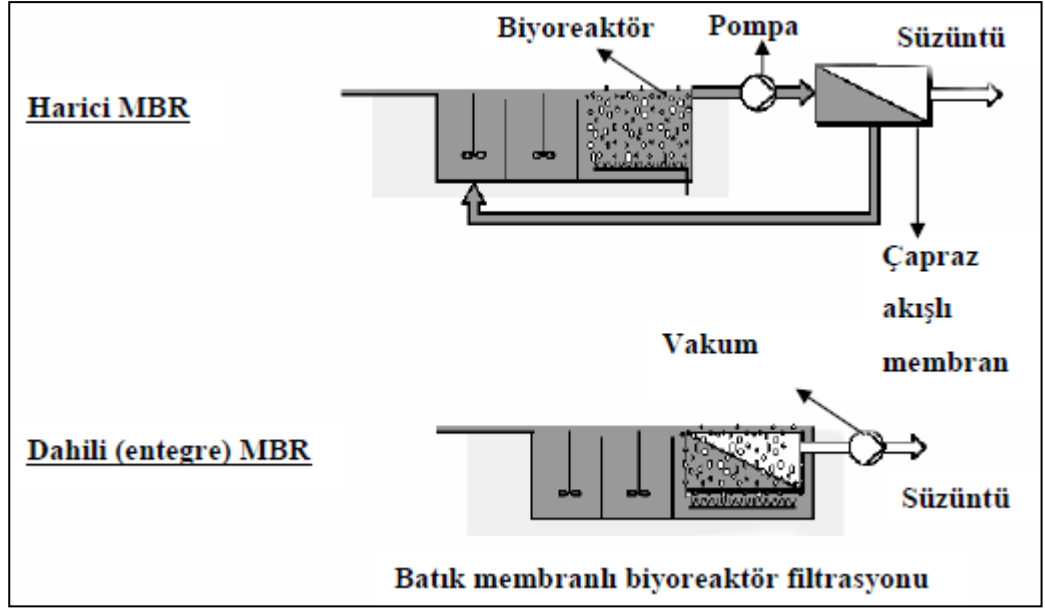


Şekil 1. 12 MBR modülü (Kubota, 2014)

MBR sistemlerinde genellikle MF (gözenek büyüklüğü yaklaşık 0.2 μm olan) ya da UF (gözenek büyüklüğü yaklaşık 0.01 μm olan) membran üniteleri kullanılmaktadır. Arıtma sırasında zamanla membranlar üzerinde oluşan kek/kirlenme tabakası (foulant layer) membran gözeneklerini daha da küçültmekte ve su/biyokütle ayrımını, askıda katı madde ve mikroorganizma giderme verimini artırmaktadır.

1.5.1. MBR Konfigürasyonları

Uygulanmakta olan MBR sistemleri harici (sıvı/biyokütle ayrımının çapraz akışlı membran filtrasyonu ile ayrı bir ünite de gerçekleştiği) ve dahili-entegre (sıvı/biyokütle ayrımının biyoreaktör içinde batık membranlar ile gerçekleştiği) olmak üzere 2 ana konfigürasyondadır (Şekil 1.13).



Şekil 1. 13 MBR konfigürasyonları (Köseoğlu, 2007)

Dahili MBR’larda farklı amaçlar için genellikle iki tür havalandırma uygulanır. Reaktör tabanındaki difüzörlerden verilen kaba hava kabarcıklı havalandırma ile biyokütlenin oksijen ihtiyacı karşılanır. Öte yandan, membran yüzeyine uygulanan ince hava kabarcıklı havalandırma ile membran yüzeyinde maddelerin birikip akıyı azaltması engellenmeye çalışılır. Yükselen hava kabarcıkları membran yüzeyinde türbülanslı karşı akım yaratıp (yaklaşık 1 m/s), membran yüzeyinde materyallerin birikmesini azaltır, böylece sistem daha etkin çalışır. Reaktördeki türbülanslı karışım ve reaktör hidrolüğünden dolayı iki havalandırma türü de pratikte hem temizleme hem de oksijen ihtiyacı taleplerini karşılayabilir. Diğer bir deyişle uygulamada iki havalandırmanın da sonuçlarını ayırt etmesi zordur. Konfigürasyon seçeneğine karar vermek spesifik uygulamaya bağlı olsa da, genellikle dahili MBR’lar daha sık uygulanmaktadır (Kitiş vd., 2009a).

Dahili batık MBR’lar daha düşük işletme akılarında çalıştırıldıkları için, daha fazla geçirimsiliğe (permeabiliteye) dolayısıyla da daha fazla hidrolik verimliliğe sahiptirler. Düşük akı ile çalışmak batık MBR’larda önemlidir; çünkü bu uygulama membran kirlenmesini veya tıkanmasını minimize eder. Membran tıkanması, MBR’ların en önemli dezavantajlarından birisi olup, maliyeti artırıcı ve işletmeyi zorlaştıran temizleme işlemlerini gerektirir. Dahili batık MBR’lar, harici MBR’lara göre daha düşük pompa maliyeti gerektirse de; daha yoğun havalandırmaya gerek duyarlar. Bunun nedeni, havalandırmanın membran tıkanmasını engelleyici ana yöntem olmasıdır. Ayrıca, batık MBR’larda düşük akı

ile çalışılması, sabit süzüntü suyu debisi üretimi baz alındığında, daha fazla membran yüzey alanını (dolayısıyla daha fazla ilk yatırım maliyeti) gerekli kılar. Ancak bu dezavantajlara rağmen, orta ve büyük ölçekli kentsel atıksu arıtmaları için genellikle seçilen ve uygulanan konfigürasyon dahili batık MBR’lardır (Kitiş vd., 2009b).

1.5.2. MBR sistemlerinin avantaj ve dezavantajları

Atıksu arıtımında MBR proseslerinin geleneksel sistemlere göre bazı avantajları şu şekilde özetlenebilir. MBR’lardaki yüksek askıda katı madde (MLSS) derişiminden dolayı gerekli hidrolik bekleme süresi azdır; bu da küçük reaktör hacmi ve ilk yatırım maliyetinde azalma anlamına gelir. Biyokütle ayrımı mikrofiltasyon (MF) veya ultrafiltasyon (UF) ile gerçekleştiği için aktif çamurun çökelebileme özelliğinden bağımsızdır. Diğer bir deyimle son çökeltim tankına ihtiyaç olmayıp, çamur şişmesine neden olan filamentli bakteriler büyümesinden kaynaklanan çökeltim problemleri söz konusu olamaz. Yüksek MLSS derişimlerinden dolayı sisteme fazla organik yükleme yapılabilir. MBR’larda nitrifikasyonun olumsuz etkilenmesi veya toksik organiklerin engelleyici etkileri gibi işletme problemleriyle daha az karşılaşılır. Çünkü MBR sistemlerinde geleneksel aktif çamur yöntemine göre daha fazla çamur yaşı (SRT) ile çalışılabilir. Yüksek SRT değerleri, oluşan biyokütle miktarını dolayısıyla da atık çamur miktarını azaltır. MBR’lar mükemmel bir fiziksel dezenfeksiyon sağlarlar; çünkü sıvı-katı ayrımı 0,01–0,1 µm gibi küçük gözenek çaplarına sahip membran filtasyonuyla yapılmaktadır (Köseoğlu, 2007). MBR proseslerinin belki de çoğu zaman göz ardı edilen avantajlarından birisi de mikrobiyolojik hususlardır. MBR’lar da biyokütle kaçıışı engellenip, tüm biyokütle tutulduğu için; mevcut biyokütle zor şartlara mecburen adapte olma zorunluluğunda kalmaktadır. Ayrıca, yüksek tuz derişimlerini tolere edebilen halofilik bakteriler, spesifik zenobiyotikleri parçalayabilen mikroorganizma türleri gibi özelleşmiş bakteriler de reaktörde sürekli tutulur. MBR’lar da ki özelleşmiş bakteriler ani yüksek organik yüklemeler, çeşitli stres veya toksik madde girişi durumlarında da sisteme ekstra avantaj sağlar. Yukarıda bahsedilen avantajlar ve özellikle MF/UF’dan dolayı MBR’lar da çıkış suyu kalitesi, geleneksel aktif çamur sistemlerinden çok daha iyidir (Kitiş vd., 2009a).

Bu biyoreaktörlerin avantajlarına rağmen, bazı dezavantajları da bulunmaktadır. MBR’da arıtma süreci tek bir havuzda gerçekleştiği için sistem mekanik ve kontrol açıdan geleneksel arıtma sistemlere göre daha karmaşıktır. Ancak otomasyon sayesinde işletim kolaylaşır (Judd, 2002). MBR süreçlerini

optimize etmek için birçok parametrenin dikkate alınması gerekir. Bunlar; katı konsantrasyonu, çamur yaşı, hidrolik bekleme süresi, malzeme maliyeti, enerji maliyeti, akı vb parametrelerdir. Ayrıca atık çamurun arıtımı ve uzaklaştırılmasını da dikkate almak gerekir. Klasik aktif çamur ve MBR süreçlerinin atık çamur özellikleri kıyaslandığında, MBR atık çamurunun susuzlaştırılmasının daha zor olduğu görülmüştür. Bu durum yüksek organik madde içeriği ve hücre dışı polimerlerinin aşırı üretimine bağlanmaktadır. Tüm bu parametreler birbiri ile ilişkili olduğu için, optimizasyon karmaşıktır. İşletim sırasında zamanla membran gözenekleri tıkanır ve arıtılmış su akışı azalır, bunu engellemek için belirli aralıklarda basınçlı hava/su ve kimyasallarla (sitrik asit ve sodyum hipoklorür) gözenekler temizlenir (Judd, 2002). Tüm bu temizlik işlemi otomatik yapılır. Ancak bu kimyasallar için az hacimlerde de olsa biriktirme amacıyla depolama tankları gerekir. MBR uygulamalarında temel bir dezavantaj tıkanma (fouling) olayıdır. Membranların kendisi bir maliyete sahiptir. Bu yüzden kullanım süreleri proses ekonomisini doğrudan etkilemektedir. Membran maliyetleri ve membranların temizlenmesinde kullanılan kimyasalların maliyetleri de işletmede dezavantajdır. Ayrıca MBR sistemler yüksek performansla çalıştıklarından enerji, pompa, ve benzeri maliyetler de işletme için artı bir maliyet söz konusudur (Aslan vd, 2009). Çoğu arıtma proseslerinin çeşitli ekipmanlarında olduğu gibi MBR sistemlerde kullanılan membran modüllerinin de kullanım ömürleri mevcuttur. Bu ömür genellikle 5-8 yıl arası olarak öngörülmektedir (Kitiş vd., 2009a).

1.6. İTOB-OSB Arıtma Tesisi

İTOB Organize Sanayi Bölgesi (İTOB-OSB) İzmir’de altyapısı tamamlanmış, yatırım yapmaya hazır olan ve şehir merkezine en yakın iki organize sanayi bölgesinden biridir.

Bölge, İzmir merkeze 32 km., Menderes İlçesine 12 km, Adnan Menderes Havaalanına 18 km mesafede bulunmaktadır. 250 hektar alanda kurulu bölgede 372 adet 1.000 m² ile 30.000 m² arasında değişen sanayi parseli bulunmaktadır. Bölge firmaları gıda, demir çelik sanayi, kimya, plastik, makine, elektrik elektronik sektörlerinde yoğunlaşmıştır.

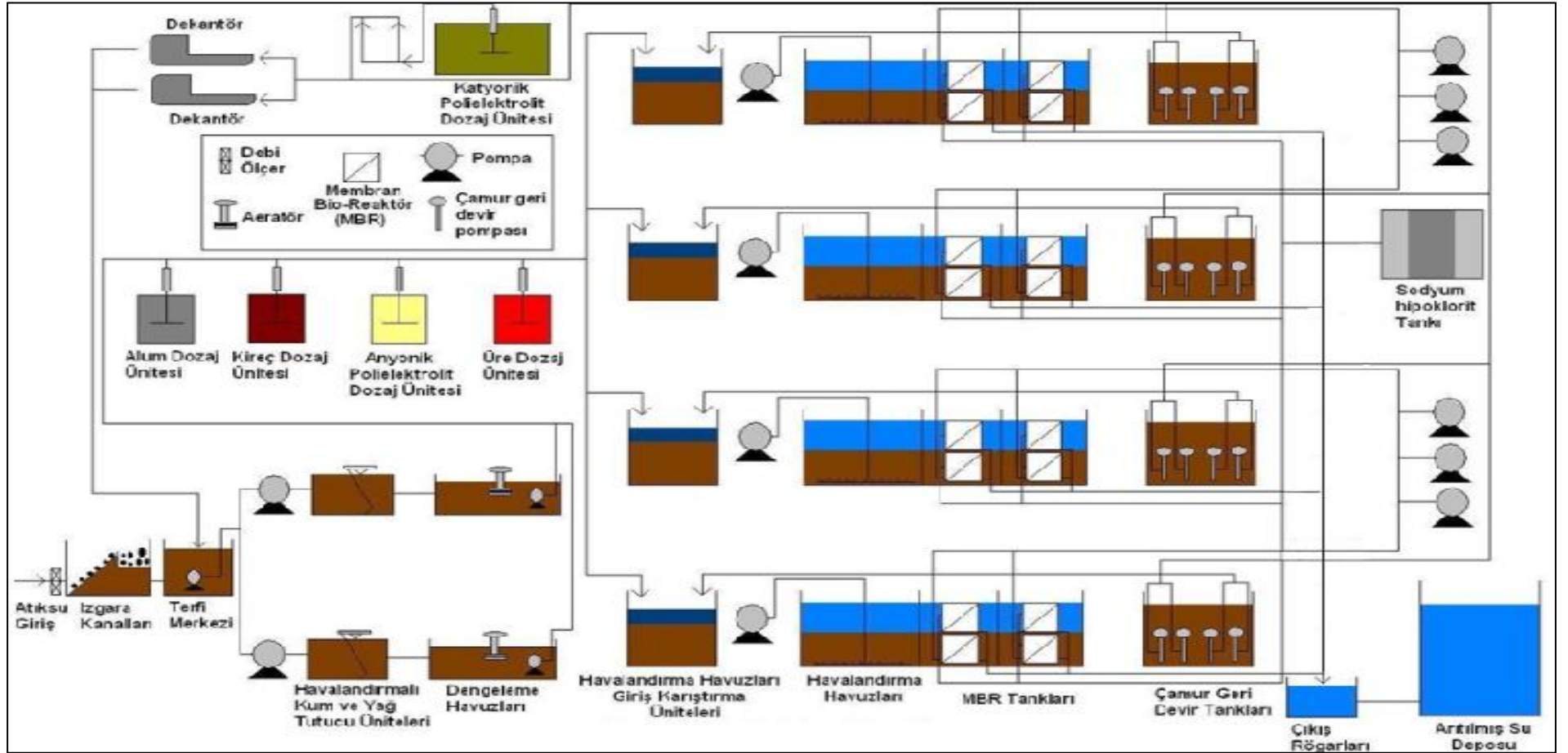
Bölgenin atık su arıtma tesisi 8.000 m³/gün kapasiteli olup, 2.000 m³/gün’lük ilk etabı 2008 yılı Eylül Ayı’nda işletmeye alınmıştır. Tesise ait akım şeması Şekil 1.14’de gösterilmiştir.

İTOB-OSB Arıtma Tesisi'ndeki sistem ana hatlarıyla;

- Atıksuyun içeriğindeki biyolojik olarak indirgenemeyecek yada pompa vb. mekanik ekipmanların zarar görmesine neden olabilecek katı maddelerin ve arıtma verimini olumsuz etkileyebilecek yüksek askıda katı madde içeriğinden arındırılması için kanal içi kaba ızgara, terfi merkezi ve tambur tipi ince ızgaradan oluşan fiziksel ön arıtma;
- Fosforun istenen standartları sağlaması amacıyla alum; giriş dizayn parametrelerin kontrolden çıkması v.b. işletme koşullarında da çıkışta istenen verimlerin elde edilmesini garanti altında tutabilmek için kireç, polielektrolit gibi kimyasalları hazırlama için stok tankları ve dozaj pompalarından oluşan kimyasal dozaj üniteleri;
- Atıksuyun içeriğindeki çözünmüş halde organik maddelerin bakterilerce sindirilerek atıksudan uzaklaştırılmasını temin eden havalandırma havuzu ve aktif çamur – arıtılmış atıksu ayrımında çökeltim havuzu yerine kullanılan, havalandırma çıkışında 0.01 mikron UF ile arıtılmış su deşarjını gerçekleştirecek MBR prosesini içeren biyolojik arıtma;

1.7. Tezin Amacı

Bu çalışmada; MBR prosesiyle arıtılan atıksuların yeniden kullanımı için NF ve RO gibi membran arıtma yöntemlerinin uygulanabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla, hem laboratuvar hem de İTOB-OSB Arıtma Tesisi'nde bulunan RO/NF membran test ünitesi ile farklı tipte membranlar ile farklı çalışma koşulları altında çalışılmıştır. Elde edilen ürün suyun kalitesi, farklı analitik yöntemler kullanılarak incelenmiştir. Çalışma iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada, İTOB-Organize Sanayi Bölgesi (OSB) Atıksu Arıtma Tesisi'nin çıkışından alınan su örneği ile laboratuvar, ikinci aşamada ise İTOB-OSB Atıksu Arıtma Tesisi'nde yapılmıştır. Çalışmalar, laboratuvar ölçekli çapraz akışlı düz levha test ünitesi (SEPA CF II, Osmonics) ve MBR teknolojisinin uygulandığı İTOB-OSB Atıksu Arıtma Tesisi'nde kurulu olan mini-ölçek spiral sarım RO/NF test sistemi ile gerçekleştirilmiştir. Ayrıca bu çalışma ile, günümüzde büyük bir sorun haline gelen endüstriyel atıksuların yeniden kullanılarak mevcut temiz su kaynaklarına alternatif olarak değerlendirilmesi ve konuyla ilgili yapılacak olan diğer çalışmalara da kaynak olması hedeflenmiştir.



Şekil 1. 14 İTOB-OSB Arıtma tesisi akım şeması

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Türkiye, dünyada su kıtlığı az görülen veya su kıtlığını henüz yaşamayan bir ülke olarak kabul edilmektedir. Devlet İstatistik Enstitüsü'ne göre ise Türkiye, yılda ortalama kişi başına 1.735 m^3 kullanılabilir su potansiyeli olan ve bu haliyle su stresi içinde olan bir ülkedir. 2025 yılı nüfusunun 79 milyon olacağı öngörülerek kişi başına düşen kullanılabilir su miktarının, 1300 m^3 gibi rakamlara düşeceği hesaplanmaktadır. Tüm bu tahminler, mevcut kaynakların 25 yıl sonrasına hiç tahrip edilmeden aktarılması durumu için geçerli olmaktadır (Akgül, 2006).

Atıksuların geri kazanım uygulamaları incelendiğinde; Avrupa'da 200'den fazla atıksu geri kazanım tesisinin olduğu görülmektedir (Özbay ve Kavaklı, 2008). Arap ülkelerinde arıtılmış atıksuların yeniden kullanım miktarı yılda toplam 1200 Mm^3 olarak belirtilmektedir. Ülkemizde, Ocak 2004 verilerine göre 129 adet çalışır durumda atıksu arıtma tesisi mevcuttur. Fakat bu tesislerden elde edilen arıtılmış atıksuların yeniden kullanımına yönelik yeterli çalışma mevcut değildir (Arslan-Alaton vd., 2005). 2004 yılı verilerine göre ülkemizde 3217 imalat sanayisinden yaklaşık olarak yıllık 638 milyon m^3 endüstri kaynaklı atıksu oluşmaktadır. Bu atıksuların %36'sı arıtılarak, %64'ü ise arıtılmadan alıcı ortamlara deşarj edilmektedir. 410 m^3 atık su ise yeniden kullanılmaktadır (Özbay ve Kavaklı, 2008).

Evsel ve endüstriyel atık suların arıtılmasında MF, UF, NF, RO ve MBR prosesleri uygulanmaktadır (Atasoy vd., 2007; Galil and Levinsky, 2006; Hoccoğlu vd., 2011; Kaleli, 2006; Melin et al., 2006; Sınmaz, 2007; Tam et al., 2006; Xia et al., 2008).

Atıksu arıtma prosesleri fiziksel (kaba ve ince ızgara, filtrasyon), kimyasal (koagülasyon, oksidasyon, dezenfeksiyon, iyon değişimi) ve biyolojik (aerobik ve anaerobik arıtım) olmak üzere 3'e ayrılır (Aoki and Memon, 2005). Klasik atıksu arıtım prosesleri ön arıtım, birincil, ikincil ve üçüncül-ileri arıtım aşamalarını içermektedir. Ön arıtım ve birincil arıtım aşamaları fiziksel arıtıma benzer. İkincil arıtıma biyolojik arıtım olarak adlandırılır. Üçüncül ve ileri arıtım, ikincil arıtımla giderilemeyen azot, fosfor gibi spesifik kirleticilerin, renk ve kokunun giderildiği aşamadır. Bu aşamada kimyasal çöktürmenin yanında MBR ve RO sistemleri kullanılmaktadır (Asano and Levine, 1998).

Membran proseslerin biyolojik arıtımla birleştirilmesi sonucu ortaya çıkan arıtım teknolojileri MBR olarak tanımlanmakta olup, günümüzde bir çok çalışma bu proseslerin verimliliği ve optimum kullanım koşulları üzerine odaklanmıştır. Bu sistemler geleneksel sistemlerden çok daha az yer kaplarlar. Bu durum özellikle tesis için yeterli alanın bulunmadığı veya arazi maliyetlerinin oldukça yüksek olduğu yerlerde bu arıtma prosesinin uygulanmasını olanaklı kılmaktadır (Gürel ve Büyükgüngör, 2011).

Son yıllarda deşarj standartlarının düşürülmesi ve atıksuların tekrar kullanılma ihtiyacı nedeniyle ileri arıtma konusu gündeme gelmiştir. Atıksulardan suyun geri kazanılıp, tekrar kullanımı, atıksuların bertaraf edilmesini de oldukça kolaylaştırmaktadır (Kaleli, 2006).

Türkiye’de sanayi atıksularının tekrar kullanımı; daha ziyade atıksuların geri kazanılarak tesis içinde devrettirilmesi şeklinde olmaktadır. Çok su tüketen endüstri kolları için, özellikle İstanbul gibi suyun az ve pahalı olduğu şehirlerde suların yeniden kazanılarak kullanılması ekonomik olmaktadır (Özbay ve Kavaklı, 2008).

Endüstriyel atıksular, genellikle işletmelerin farklı bölümlerinden gelen proses suları olup, kirlilik yükleri oldukça farklıdır. Endüstrilerde işletmelerin gerek üretim tipi, gerekse de üretimde kullandığı teknoloji, kimyasal maddeler ve su miktarı değişkenlik göstermektedir. Üretimde kullanılan su miktarına bağlı olarak da kirlilik yüklerinin değişim aralığı artmaktadır. Tüm endüstrilere her zaman önerildiği gibi kullanılan su miktarının ve kimyasal maddelerin azaltılması, kaynakta kirliliğin kontrol altına alınması ve suların proseste tekrar kullanılabilen düzeyde arıtılması çevre kirliliğinin kontrol altına alınmasında en ideal durumdur (Kaya, 2007).

Membran proseslerin kullanımı ile yüksek ve değişmeyen kalitede, sürekli su üretiminin sağlanması mümkün olmaktadır. Ayrıca kimyasal madde ilavesinin daha küçük olması, daha az enerji tüketimi ve dolayısıyla işletme maliyetlerinin oldukça düşük olması ve uygulama kolaylığı gibi avantajlara sahip olması, bu sistemlerin tekstil endüstrisi proses suyu arıtımında etkili bir şekilde kullanılmasına neden olmuştur (Özkan, 2007).

Endüstriyel üretim kaçınılmaz olduğuna göre, oluşacak kirlilik kaynaklı zararların en aza indirilmesi için, yeni teknolojilere başvurulması gerekmektedir.

Su arıtımı ve atık geri kazanımının gün geçtikçe önem kazanması ile birçok endüstride membran teknolojisinin kullanımı gündeme gelmiş ve membran teknolojisi ileri arıtma teknolojileri arasındaki yerini almıştır (Kaya, 2007).

Akgül yaptığı bir çalışmada, Türkiye’de RO ve NF sistemleri ile içme ve kullanma suyu üretiminin maliyet analizini yapmıştır. Akının, geri kazanım oranının, membran ömrünün, enerji maliyetinin ve kimyasal maliyetinin, sistemlerin ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyetleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlarla, NF sisteminin, RO sistemine göre ilk yatırım maliyeti bakımından hemen hemen aynı olduğu, işletme maliyeti bakımından %30 ve toplam üretim maliyeti bakımından ise %20 oranında daha ekonomik olduğu görülmüştür (Akgül, 2006).

Galil ve Levinsky (2006), kağıt gıda ve petrokimya endüstrilerine ait atık suların geri kazanımı için, MBR prosesini uygulamışlardır Elde edilen verilerde MBR ile arıtılan atıksuyun yüksek kalitede olduğu ve gıda-kağıt endüstrilerinde bu suyun yeniden kullanılabileceği belirtilmiştir.

Büyükdere (2008), yaptığı çalışmada tekstil endüstrisinde oluşan endüstriyel kaynaklı atıksuların üretim prosesleri ile tesis içi kontrol yöntemleri ve uygulanacak arıtma teknolojileri yönünden tekstil endüstrisi için tanımlanmış “mevcut en iyi teknikler” ile arıtılıp proses içinde ve/veya tesis içinde geri kazanılabilirliğini araştırmıştır. Elde edilen sonuçlar; seçilen. UF sistemi ile arıtılmış biyolojik arıtma tesisi çıkış suyunun soğutma kulesinde geri kazanılabileceğini göstermiştir. UF pilot sistemi, askıda kolloidal maddeler ve buna bağlı bulanıklık, renk ve KOİ parametrelerini yüksek oranda gidermiş; fakat iletkenlik, TÇM, klorür, alkalinite ve toplam sertlik değerlerinde iyi bir sonuç elde edilememiştir.

Genellikle atıksulardaki kimyasalların kaynağını endüstriyel atıksular oluşturmaktadır. Birçok ülkede endüstriyel atıksuların doğaya verilmesi yasalarla sınırlandırılmıştır. Buna göre, endüstriyel atıksuların içerdiği kimyasallar, kabul edilebilir düzeylere kadar indirildikten veya uygun bir yöntemle arıtıldıktan sonra; arıtılmış atıksuların doğaya ve kent kanalizasyon sistemine boşaltılmasına izin verilmektedir. Kimyasal içerikleri bakımından, atıksuların tarımsal amaçlı kullanımını kısıtlayan asıl önemli sorun, bu suların içerdiği yüksek tuzluluktur. Çünkü kullanılmakta olan geleneksel arıtma yöntemleri ile sulardaki yüksek tuzluluk giderilememektedir. Suların içerdiği çözünmüş katıları ve tuzluluğu

gidermek için; NF, RO gibi membran arıtma yöntemlerinin kullanılması gerekmektedir (Kukul vd., 2007).

Tunus'un değişik bölgelerinden on beş ayrı kentsel ve endüstriyel kaynaktan alınan atıksu örneklerinin, sulama suyu kalitesine, toprak ve yeraltı suyuuna olabilecek etkileri yapılan başka bir çalışmada incelenmiştir. Çalışma sonucunda atık suların tarımsal kullanım potansiyeli açısından kalsiyum miktarı ve elektriksel iletkenliği bakımından toprak tuzluluğu yaratabileceği, yüksek bitki besin elementi içeriğine rağmen, özellikle nitrat bakımından yeraltı suyu kirliliğine dikkat edilmesi gerektiği bildirilmiştir (Bahri, 1998).

Atıksu ile sulamanın toprak özellikleri ve bitki gelişimi üzerine etkilerinin belirlendiği bir başka çalışmada; atıksuyun toprak tuzluluğunu artırdığını, pH değerini düşürdüğünü ve özellikle toprağın organik madde ve başta azot olmak üzere bazı element içeriğini olumlu yönde etkilediği bildirilmiştir. Ancak bitkilerin ağır metal içeriğindeki değişimler için atıksuların uzun dönemli etkilerinin belirlenmesi gerektiği önerilmiştir (Angin et al., 2005).

Bunani (2013) yaptığı çalışmada; biyolojik yolla arıtılmış atıksu ve MBR ile arıtılmış atıksuyun filtrasyonu için laboratuvar ölçekli çapraz akışlı düz tabaka membran test ünitesini kullanmıştır. Bu yöntemle farklı türde NF, acı su RO ve deniz suyu RO membranlarının performanslarını incelenmiştir. Membranların süzüntü akıları değerlendirildiğinde sıralama NF270>NF90>CK>AK-BWRO>AD-SWRO şeklindedir. Ürün suyu kaliteleri incelendiğinde; en iyi performansı AD SWRO ve AK BWRO membranı göstermiştir. Bu membranları sırasıyla NF90, CK ve NF270 membranları izlemiştir (Bunani, 2013).

Kaykıoğlu vd. (2012) yaptıkları bir çalışmada, dokunmuş kumaş terbiyesi yapan bir tekstil işletmesinden kaynaklanan atıksuların, aerobik ve anaerobik ön arıtılmasının ardından membran uygulamaları ile elde edilecek süzüntü suyunun proste tekrar kullanım olanakları değerlendirilmiştir. 2000 yılında geliştirilen ve sadece laboratuvar ve pilot ölçekte denenilen bir anaerobik reaktör olan Sabit Granül Yataklı Anaerobik Reaktör (SGYAR)'de arıtıma tabi tutulmuş olan atıksu, daha sonraki adımda UF+NF ünitelerinden oluşan membran sisteme verilmiştir. Bunun yanında, çalışmada kullanılan atıksuyun temin edildiği tekstil fabrikasında mevcut aerobik arıtma tesisi çıkış suyuuna membran uygulaması (NF30 ve NF10) sonucunda, geri kazanım olanakları uzun süreli çalışma sonucuna göre değerlendirilmiştir. Yapılan denemelerde, her iki atıksu için de NF 30

membranların süzüntü suyu kalitesi bakımından uygulamada en uygun membran olacağı kanaatine varılmıştır. Sonuç olarak, anaerobik arıtma sonrası membran uygulamaları sonucunda tekrar kullanıma uygun su eldesi, yüksek iletkenlik parametresi sebebiyle mümkün olmaz iken, aerobik arıtma tesisi sonrası membran uygulaması sonucunda NF30 membran kullanımı ile proseste tekrar kullanıma (koyu renkli boyama, ilk yıkama vb.) uygun süzüntü suyu elde edilmiştir.

MF veya UF'nun, RO ile birlikte kullanıldığı hibrit prosesler; verimli olmaları, çalışma koşullarının kolay ve ekonomik olmasından dolayı kentsel atıksuların tekrar geri kazanımında çekici hale gelmiştir (Del Pino and Durham, 1999; Reith and Birkenhead, 1999).

Atıksuların tarımsal faaliyetler için yeniden kullanılması ekonomik açıdan uygundur. Çevresel açıdan ise kullanımı oldukça güvenilirdir. Tarımda evsel atık suların arıtılarak yeniden kullanımının avantajlarından bazıları toprağın su, nütrient, organik madde ihtiyacının karşılanması, temiz suların korunması, atıksuların deşarjı için gerekli yatırımlarda ekonomik açıdan yararlı olmasıdır. Ancak atıksuların yeniden kullanımındaki bazı endişeler nedeniyle su kaynağı olarak düşünülmesinde halen zorluk çekilmektedir. Bu endişelerin sebepleri; kullandaki yararlar hakkında yeterli bilginin bulunmayışı, sağlık riskleri bulundurma olasılığı, kültürel ön yargıların bulunuşu, yeniden kullanım projelerinin ekonomik olup olmadığının tespitin de yeterli ölçüm yöntemlerinin bulunmayışı ve kontrolsüz olarak yapılan uygulamalar da olumsuz deneyimlerin bulunmasıdır (Başkan, 2006).

Tam ve arkadaşları yaptıkları bir çalışmada (2006); MBR/RO ve MF/RO arıtma sistemlerinden elde edilen ürün suyunun kalitesini karşılaştırarak, yapılan uygulamaların arıtılmış suyun yeniden kullanılabilirliği üzerindeki etkisini araştırmıştır. Çalışmada, hem farklı operasyon koşulları altında pilot tesislerin performansının, hem de arıtılmış suyun kalitesinin belirlenmesi amaçlanmış, arıtılmış atıksuyun mikrobiyolojik, kimyasal ve estetik kalitesi belirlenmiştir. MBR/RO ve MF/RO pilot çalışması 3 fazda gerçekleştirilmiştir. Birinci fazda, atıksuda MBR/RO kombinasyonu kullanılmıştır. İkinci ve üçüncü fazda, atıksu ön arıttımdan geçirilmiş ve MF/RO kombinasyonu kullanılmıştır. Bu kısımda pilot çalışmanın ikinci fazında, RO ünitesinde LFC1 (low fouling composite) membranı ile, üçüncü fazında ise enerji korunumu için ESPA1 membranı kullanılmıştır. MBR+MF'a ait ürün suyunun içme suyu ve suyun tekrar kullanımı için gerekli olan kaliteye uygun olmadığı belirlenmiştir. Çalışmaya ait fiziksel,

kimyasal ve mikrobiyolojik test sonuçları, RO ile arıtmalarda suyun, US-EPA ve WHO standartlarında belirtilen içme suyu şartlarına yakın olduğunu göstermiştir. MBR/RO ve MF/RO teknolojilerinin atıksu arıtımında ve bu suların kalitesinin iyileştirilmesinde kullanılabileceğini belirtmiştir (Tam et al., 2006).

Bunani ve arkadaşları (2013) yaptıkları çalışmada, biyolojik yöntemle arıtılan kentsel atıksuların, daha ileri arıtma yöntemleriyle arıtılmasında NF yönteminin uygulanabilirliği incelemiştir. Bu amaçla NF 90-Dow, NF 270-Dow, CK-GE gibi NF membranlarını kullanmışlardır. Ürün suyun kalitesi her membran için farklı olmakla beraber en iyi performansı sırayla NF-90, NF-270 ve CK membranları vermiştir.

Gelişmiş ülkelerde, özellikle su kaynakları kıt olan bölgelerde, atıksular arıtıldıktan sonra tarımda ve peyzaj alanlarında kullanılmaktadır. Bazı ülkelerde atıksular, serbest yüzeyli olarak kilometrelerce uzaklığa kanallarda iletildikten sonra doğrudan tarım alanlarına verilmektedir (Yılmaz, 2005).

Chen and Chen (2004), atıksuların gideriminde RO ünitesiyle kombine edilmiş MBR sistemini kullanmışlardır.

Üstün ve Solmaz (2007), Bursa ilinde kurulu olan Organize Sanayi Bölgesi'nden kaynaklanan atıksuların arıtıldıktan sonra, tarımsal amaçlı sulama suyu olarak tekrar kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Kimyasal çöktürme işleminde optimum giderim verimi pH 11'de sağlanmış olup, AKM ve KOİ parametrelerinde sırasıyla %96 ve %31, renk parametresinde ise 436, 525 ve 620 nm dalga boylarında %75, %88 ve %90 giderim verimleri elde edilmiştir. İyon değişimi yöntemi ile 20 mL H⁺ tipi reçine/20 mL OH⁻ tipi reçine oranında; %71 SO₄, %96 Cl, %95 iletkenlik ve renk parametresinde 436, 525 ve 620 nm dalga boylarında ortalama %90 giderim sağlanmıştır. Çalışma neticesinde, atık suyun kalitesinin 1. sınıf tarımsal amaçlı sulama suyu kalitesine ulaştığı ve tekrar kullanılabilirliğinin mümkün olduğu tespit edilmiştir.

Malamis et al., (2012) yaptığı çalışmada MBR-RO yöntemini kullanarak atık sudan metal iyonlarının giderimini incelemişlerdir. MBR yöntemiyle ortalama metal giderimini Cu(%90), Fe(%85), Mn(%82), Cr(%80), Zn(%75), Pb(%73), Ni(%67), Mg(%61), Ca(%57%), Na(%30) ve K(%21) olarak elde etmişlerdir. MBR-RO yönteminin beraber kullanıldığı sistemde ise, metal iyonu

giderimi >%90.9-99.8 arasındadır. Ayrıca iki ve üç değerlikli metal iyonların, tek değerlikli metal iyonlarına göre daha etkin bir şekilde giderildiği belirtilmiştir.

Ali-Alturki et al., (2010) yaptıkları çalışmada, MBR+NF/RO yöntemini kullanarak, içme sularında iz düzeydeki organik bileşiklerin giderimini araştırmıştır. Bu amaçla NF270, NF90, BW30 ve ESPA2 NF ve RO membranlarını kullanmışlardır. Elde edilen verilere göre; MBR ve RO membranlarının kullanıldığı çalışmada iz düzeydeki kırk farklı organik bileşiğin giderim oranı %95'in üzerinde ve derişim değerleri tayin sınır değerinin altında bulunmuştur.

Qin et al., (2006) Singapur'da yaptığı çalışmada, evsel atıksuların yeniden kullanımı için RO sistemiyle kombine edilmiş MBR sistemini kullanmışlardır. Beş ay süre boyunca gerçekleştirilen çalışmada yüksek kalitede ürün suyu elde edilmiştir.

Cartagena et al., (2013) yaptığı çalışmada MBR yöntemiyle arıtılmış atık suyu NF/RO sistemi ile birleştirip ikincil bir arıtım gerçekleştirmişlerdir. Yapılan çalışmada elde edilen ürün suyundaki tuzluluk giderimi %97'nin üzerinde, TOC giderimi %96, nitrat giderimi %96, toplam fosfor giderimi de %99 olarak tespit edilmiştir.

Hoinkis et al., (2012) çalışmalarını iki farklı aşamada gerçekleştirmiştir. İlk çalışma Almanya'nın Darmstadt şehrinde kurulu olan bir çamaşırhanede gerçekleştirmiştir. MBR+RO teknolojisini kullanarak atıksuların arıtılması hedeflenmiştir. Yapılan çalışmada BOD5 giderimi %97'nin üzerinde, KOİ giderimi %94, amonyum-N'u giderimi de %93 olarak bulunmuştur. Sistemin çalışması 2007 yılında başlamış ve beş yıl boyunca herhangi bir sorun yaşanmamıştır. İkinci çalışma ise Çin'de kurulu olan bir tekstil fabrikasında gerçekleştirilmiştir. Tekstil sanayine ait atıksular, MBR yöntemi kullanılarak arıtılmıştır. Yapılan çalışmada KOİ giderimi %90 olarak bulunmuştur.

Çay (2013), atıksuların tarımsal sulamada kullanılmasını ve mısır bitkisi yetiştiriciliğine olan etkilerini incelemiştir. Çalışmada kentsel atıksuların arıtılarak ve seyreltilerek mısır bitkisinin yetiştiriciliğinde kullanılabileceği sonucuna varmıştır. Ancak, tuzluluk kontrolü, mikrobiyolojik arıtım ve ağır metal arıtımı yapılmadan, atıksuların kullanılması, toprakların çoraklaşmasını ve mikrobiyal kirlenme oranını önemli ölçüde etkileyeceği düşünülmüştür.

TUBİTAK Ulusal Bilim ve Teknoloji Politikaları 2003-2023 Strateji Belgesi'ne göre; 2023 yılına kadar alıcı ortamlara yapılacak noktasal kaynaklı deşarjlar için atıksuyun geri kazanımı ve yeniden kullanılmasını sağlayacak biyolojik yöntemlerin ve ileri arıtma teknolojilerinin kullanılması, mevcut kirlenmenin giderilebilmesine yönelik olarak da kimyasal ve/veya biyokimyasal süreçlere dayalı teknolojilerin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Suyun geri kazanımının ve yeniden kullanımın gerçekleştirilebilmesine yönelik olarak da biyolojik yöntemlerin ve ileri arıtma teknolojilerinin kullanımının yaygınlaştırılması ve bu yaklaşımın mümkün olduğu kadar tekstil, kimya gibi çeşitli sektörlerde uygulanması gerektiği vurgulanmıştır (Yıldız vd., 2013).

Zeytinyağı endüstrisi atıksularının, UF ve NF membranlarıyla arıtılabilirliğinin incelendiği başka bir çalışmada, iki ayrı UF membranı (JW ve MW membranı) ve bir NF membranı (DK membranı) kullanılmıştır. Basınç, besleme debisi ve membran tipinin süzöntü akısı ve membran kirlenmesine olan etkileri çalışma kapsamında incelenmiştir. En yüksek süzöntü akısı MW membranı ile 200 l/sa debide ve 4 bar basınçta elde edilirken, en yüksek giderme verimlerine DK membranı ile ulaşılmıştır. DK membranı ile elde edilen KOİ, TOK; AKM, yağ ve gres derişimleri sırasıyla 1600 mg/L, 948 mg/L, 40 mg/L, 80 mg/L olarak bulunmuştur (Akdemir ve Özer, 2007).

Çapar vd. (2004) yaptıkları çalışmada, halı fabrikasına ait baskı ve asit boyama atıksularının arıtımı ve geri kazanımına yönelik, en uygun membran süreçlerini araştırmıştır. Baskı boyama atıksuları, ilk olarak ön arıtmaya tabi tutulmuş, alum ile kimyasal çöktürme işlemi uygulanmıştır. Daha sonra; bu atıksu ile, UF ve NF çalışmaları yapılmıştır. Renk ve bulanıklıkta bütün membranlarla %90'nın üzerinde giderim sağlanırken, benzer yüksek giderimler KOİ'de sağlanamamıştır. Diğer yandan asit boyama atıksuları için en uygun ön arıtma işleminin MF olduğu belirlenmiştir. Düz akış düzeneğinde gerçekleştirilen bu işlemde, %82 renk ve %77 bulanıklık giderimi sağlanmıştır. Daha sonra uygulanan NF prosesinde ise baskı boyama atıksuyu ile elde edilen yüksek giderimlere ulaşılmıştır. Renk ve bulanıklık için sırasıyla, %100 ve %78 giderim sağlamakla birlikte, KOİ giderimi %59'da kalmıştır. Akı azalması ise %19 olarak gözlenmiştir. Elde edilen süzöntü suyunun geri kazanım kriterlerini sağlamaması nedeniyle ikinci ve üçüncü kademe NF işlemleri uygulanmış ve %94 KOİ giderimi sağlanmıştır.

Öğütverici (2013) yaptığı çalışmada, triklosanın yüzey sularından NF membran ile laboratuvar boyutta ters-akışlı cihaz kullanılarak tam çevrim modunda giderimini incelemiştir. Çalışmada DL-NF ve DK-NF membranlarını kullanılmıştır. Deneyler süresince çıkış akı değerleri ölçülerek membranın akı hareketleri gözlemlenmiştir. Deneylerde ham kaynak suyu olarak Kesikköprü Barajı (Ankara) suyu kullanılmıştır. Deneylerde TCS, UVA₂₅₄, toplam organik karbon (TOK) değerleri giriş ve çıkışta ölçülerek değerlendirilmiştir. Sonuçlar literatürde %90 üzeri rapor edilen membran arıtımının gerçekte %60-70 seviyelerinde olduğunu göstermiştir. Bunun nedeninin triklosanın membranın kendisinden sistem besleme tankına ve boru çeperlerine yapışmasından kaynaklandığı düşünülmüştür.

3. MATERYAL VE METOT

Laboratuvar çalışmaları E.Ü. Kimya Mühendisliği'nde, arazi çalışmaları ise İTOB-OSB Atık Su Arıtma Tesisi sahasında kurulan taşınabilir laboratuvarda gerçekleştirilmiştir.

3.1. Gereçler

3.1.1. Laboratuvar çalışmaları

Deneysel çalışmalarda laboratuvar ölçekli, çapraz akışlı, düz tabakalı RO membran test sistemi (SEPA CF II GE-Osmonics) kullanılmıştır. Membran test ünitesi, kontrol paneli, hidrolik el pompası, yüksek basınç pompası ve su depolama tankları, özel imalat paslanmaz çelik iki katlı bir masa üzerine monte edilmiştir (Şekil 3.1).



Şekil 3. 1 Laboratuvar ölçekli ters ozmos sistemi

Düz tabakalı membran test ünitesi

Membran ünitesi; hücre alt gövdesi, hücre üst gövdesi ve hücre yuvasından oluşmaktadır.

Hücre alt gövdesi

Hücre alt gövdesi üzerinde o-ringler (Şekil 3.2a), besleme tablası (Şekil 3.2b) ve tekli dikdörtgen membran (Şekil 3.2c) bulunmaktadır.



a. O-ringler



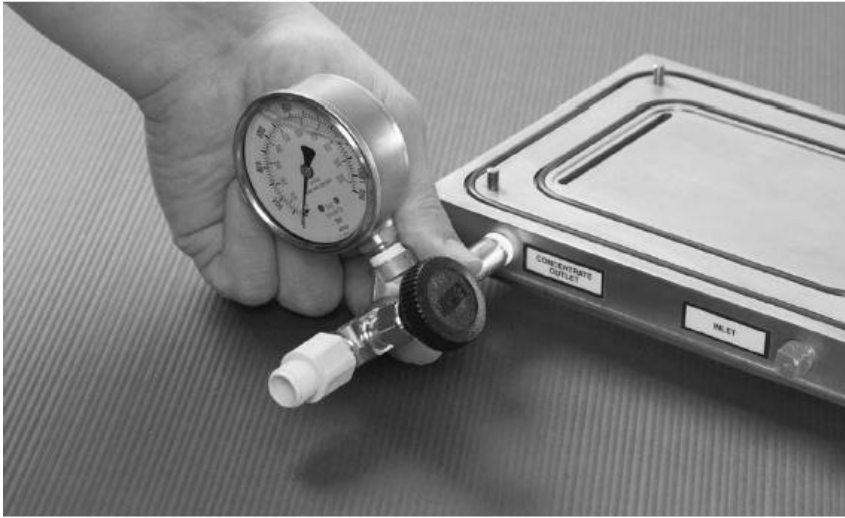
b. Besleme Tablası



c. Membran

Şekil 3. 2 Hücre alt gövdesi

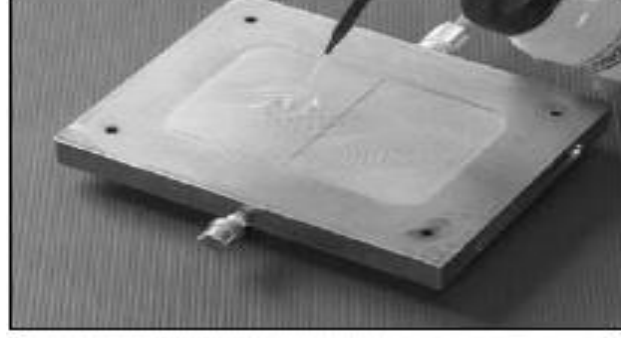
Çift o-ringler sayesinde, hücre gövdesi sızdırmazlığı sağlanmaktadır. Gövde üzerinde bulunan işaret direkleri besleme tablası üzerine membran yerleştirilmesinde yardımcı olmaktadır. Hücre alt gövdesi ile bağlantılı konsantre vanası ve konsantre manometresi bulunmaktadır (Şekil 3.3).



Şekil 3. 3 Konsantre vanası ve konsantre manometresi

Hücre üst gövdesi

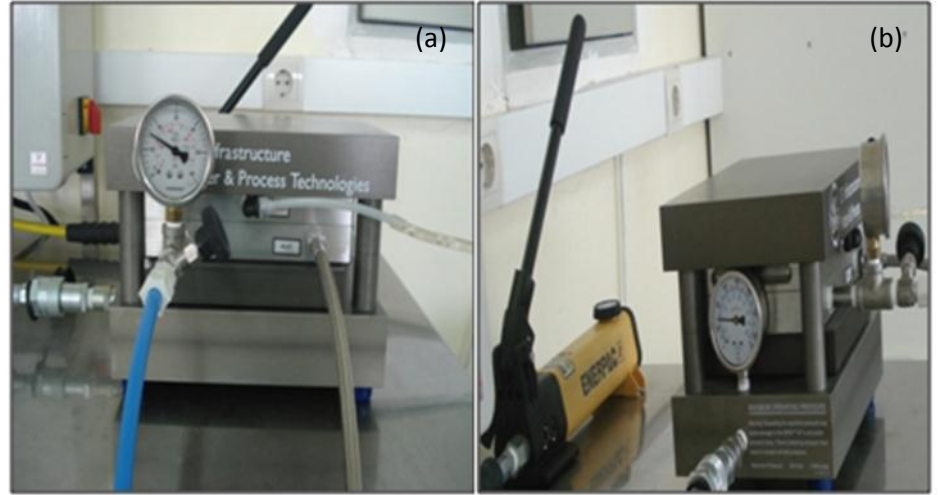
Hücre üst gövdesi üzerinde üretim suyunu toplayan tabakanın yeri bulunmaktadır (Şekil 3.4).



Şekil 3. 4 Hücre üst gövdesi ve üretim suyu tablası

Hücre yuvası

Hücre üst gövdesi hücre alt gövdesinin üzerinde bulunan işaret direkleri üzerine konularak, hücre gövdesi hücre yuvasına yerleştirilir (Şekil 3.5a).



Şekil 3. 5 (a) Hücre yuvası, (b) Hücre yuvası ve hidrolik el pompası

Hücre yuvasının alt bölgesinde yüksek basınç bağlantısı bulunmaktadır. Yüksek basınç sağlayıcısı olarak hidrolik el pompası (Enerpac, maksimum basınç 69 bar) kullanılmaktadır (Şekil 3.5b).

Çizelge 3.1’de düz tabakalı membran test ünitesinin işletme şartları gösterilmektedir.

Çizelge 3. 1 Ters ozmos membran ünitesi işletme şartları

Efektif Membran Alanı	140 cm ²
Hacim	70 mL
Maksimum Basınç	69 bar
Maksimum Sıcaklık	177°C
pH Aralığı	Membrana bağlı

Çizelge 3.2’de cihaz parçalarının ölçüleri ve ağırlıkları gösterilmektedir.

Çizelge 3. 2 Cihaz ölçüleri ve ağırlıkları

PARÇA	BOYUT (cm)	AĞIRLIK (kg)
Hücre Gövdesi	16.51 x 21.3 x 5.0	28
Gövde	20 x 28 x 20	21
Membran	19.1 x 14	0.5
Üretim suyu toplayıcısı	14.6 x 9.5	0.5

Çizelge 3.3’de cihazın yapımında kullanılan malzemeler verilmiştir.

Çizelge 3. 3 Cihazın yapımında kullanılan malzemeler

O-ring	Viton
Hücre Gövdesi Yapısı	316 Paslanmaz Çelik
Gövde	Anodize alüminyum
Atık Hattı Vanası	316 Paslanmaz Çelik
Atık Hattı Manometresi	316 Paslanmaz Çelik

Besleme tankı

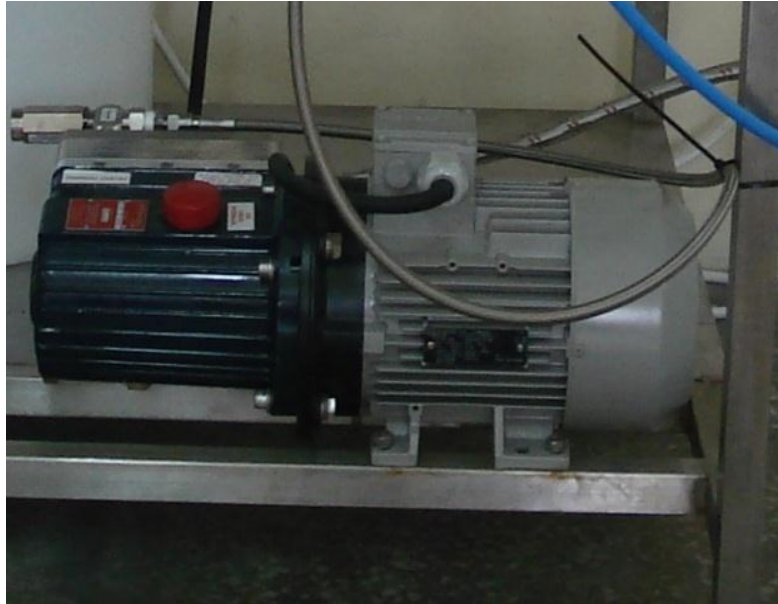
Çalışmalarda, yüksek yoğunluklu polietilenden yapılmış (50 L hacminde) besleme tankı kullanılmıştır (Şekil 3.6).



Şekil 3. 6 Besleme tankı

Pompa

Besleme pompası olarak, maksimum kapasitesi 11.3 L/dk ve maksimum basıncı 69 bar olan Hydra Cell D/G-03-X tipi yüksek basınç pompası (Şekil 3.7) kullanılmıştır.



Şekil 3. 7 Yüksek basınç pompası

Kontrol paneli

Besleme çözeltisinin akış hızını ayarlamak için, yüksek basınç pompasının bağlı olduğu frekans ayarlayıcısı (Siemens) Şekil 3.8’da gösterilen kontrol panelinin içine yerleştirilmiştir.



Şekil 3. 8 Kontrol paneli

3.1.2. Arazi çalışmaları

Arazi çalışmaları İTOB-OSB atık su arıtma tesisi sahasında kurulan küçük ölçek spiral sarım membran test sistemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sistem Şekil 3.9’da görülmektedir. Sistem, su depolama tankları, filtreler, pompalar, NF/RO membran modülleri, bağlantı borularından oluşmuştur.

Su Depolama Tankları

MBR yöntemi ile arıtılmış atıksu ön arıtım filtrelerinden geçirilerek 500 L’lik besleme tankında depolanmıştır (Şekil 3.10). Membran sisteminden süzülerek gelen ürün su, tekrardan besleme tankına geri verilmiştir. Membranları geri yıkama amaçlı süzüntü toplama tankı Şekil 3.11’de verilmiştir.

Pompalar

Düşük basınç pompası olarak, Grundfos CH2-60 tipi (kapasitesi 2.5 m³/s olan) pompa, arıtılmış suyu depolama tankından kum filtresine pompalamak üzere

kullanılmıştır (Şekil 3.12). Filtre edilen arıtılmış atıksu, yüksek basınç pompası (maksimum basınç kapasitesi 16 bar ve pompalama hacmi 100 L/s olan GAMAK MSD 7141- Fluidotech PO/PA 074 tipinde pompa) ile NF/RO membran modülüne pompalanmıştır (Şekil 3.13).



Şekil 3. 9 Küçük ölçekli spiral sarım membran arıtım sistemi



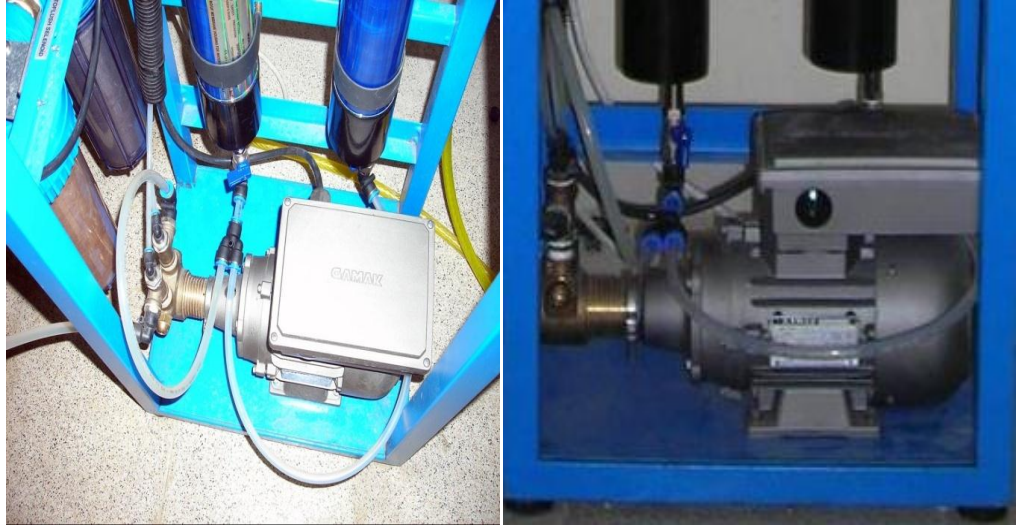
Şekil 3. 10 Arıtılmış atıksu depolama tankı



Şekil 3. 11 Geri yıkama amaçlı (ürün su) depolama tankı



Şekil 3. 12 Düşük basınç pompası



Şekil 3. 13 Yüksek basınç pompası

Filtreler

Arıtılmış atıksuyun ön arıtımında; sırasıyla yıkanabilir kartuş filtre, kum filtre ve 10 mikronluk kartuş filtreler (Şekil 3.14) kullanılmıştır.



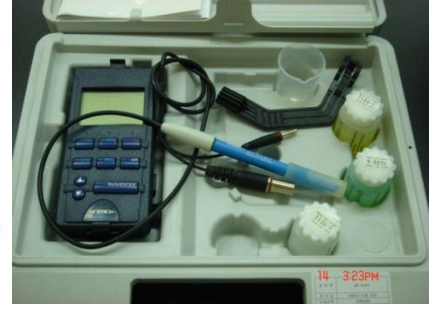
Şekil 3. 14 Yıkanabilir kartuş filtreler, kum filtre ve 10 mikronluk kartuş filtre

3.1.3. Ölçüm Ekipmanları ve Yöntemler

Laboratuvar ve arazi çalışmalarının tümünde alınan su örneklerinde, pH, iletkenlik, toplam çözünmüş katı madde (TÇK), tuzluluk, sıcaklık, bulanıklık, Cl^- , SO_4^{2-} , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , toplam organik karbon (TOK), KOİ , Si , $\text{PO}_4\text{-P}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, renk, CO_3^{2-} ve HCO_3^- parameterelerine bakılmıştır. Çalışmada sıcaklık, iletkenlik, TDS, tuzluluk ölçümleri WTW marka iletkenlik ölçüm cihazıyla (Şekil 3.15), pH ölçümü WTW marka pH metre ile yapılmıştır (Şekil 3.16). Bulanıklık ölçümünde, SCIENTIFIC Micro TPW Türbidimetre (Şekil 3.17) cihazı kullanılmıştır.



Şekil 3. 15 WTW kondüktometre



Şekil 3. 16 WTW pH metre



Şekil 3. 17 SCIENTIFIC Micro TPW türbidimetre

Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresi (AAS) ile Metal Analizi

Atıksu ve ürün suyundaki Na^+ , K^+ , Mg^{+2} , Ca^{+2} iyon derişimleri, Varian 10 Plus Model Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresi (Şekil 3.18) ile ölçülmüştür.



Şekil 3. 18 Varian 10 Plus Model Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresi

İyon Kromatografi (IC) Cihazı

Örneklerdeki klorür ve sülfat analizleri Shimadzu LC-10Ai model iyon kromatografisi cihazı ile ölçülmüştür (Şekil 3.19).



Şekil 3. 19 Shimadzu LC-10 Ai model iyon kromatografi cihazı

Toplam Organik Karbon (TOK) Ölçüm Cihazı

TOK ölçümü, Shimadzu TOC-V_{CPH} Model TOC ölçüm cihazı ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.20).



Şekil 3. 20 TOK ölçüm cihazı (Shimadzu TOC-V_{CPH} Model)

Spectroquant Nova 60 kolorimetre

Örneklerdeki fosfat-P, amonyum-N, nitrit-N, nitrat-N, renk, silisyum ve KOİ ölçümleri Spectroquant Nova 60 kolorimetre ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.21).



Şekil 3. 21 Spectroquant Nova 60 test kit

KOİ ve fosfat-P analizlerinde örnekleri ısıtmak için Spectroquant TR 320 Merck model termoreaktör kullanılmıştır (Şekil 3.22).



Şekil 3. 22 Termo reaktör (Spectroquant TR 320)

Titrasyon yöntemi ile HCO_3^- hesaplanması

Atıksu ve ürün suyundaki HCO_3^- derişimi titrasyon yöntemiyle hesaplanmıştır. Bu yöntemde 20 mL örnek alınıp 250 mL'lik erlene konulmuştur. Örneklerle, bir damla metil oranj indikatörü ilave edilmiştir. Daha sonra çözeltinin rengi soğan kırmızısına dönünceye kadar 0.05 M standart HCl çözeltisi ile titre edilmiştir.

3.2. Materyal

3.2.1. Kimyasallar

Yapılan çalışmada gerekli olan kimyasallar; atık ve ürün suyun KOİ, fosfat-fosforu, nitrat, nitrit, amonyum-azotu ve silikat analizlerinde, bikarbonat analizinde HCl, sülfat ve klorür analizlerinde mobil faz ve pH ayarlama için kullanılmıştır. Kullanılan kimyasallar aşağıda belirtilmiştir.

- Spectroquant Amonyum test kiti (MERCK)
- Spectroquant Nitrit test kiti (MERCK)
- Spectroquant Nitrat test kiti (MERCK)
- Spectroquant Silikat test kiti (MERCK)
- Spectroquant KOİ test kiti (MERCK)
- Spectroquant Fosfat kiti (MERCK)
- Vanilik asit (iyon kromatografisi-mobil faz)
- MDEA (iyon kromatografisi-mobil faz)
- Ultra safsu (Milli-Q)
- HCl (0.04835 M)

Kolorimetrik ölçümlerde kullanılan kitlere ait ölçüm aralığı Çizelge 3.4’de verilmiştir.

Çizelge 3. 4 Kitlere ait ölçüm aralığı

Test kiti	Ölçüm hücresi	Ölçüm Aralığı (mg/L)
Amonyum kiti (NH₄-N)	10 mm	0.05-3
	50 mm	0.01-0.5
Nitrit kiti (NO₂-N)	10 mm	0.02-1
	50 mm	0.002-0.2
Nitrat kiti (NO₃-N)	10 mm	1.0-25
	50 mm	0.1-5
Silikat kiti (Si)	10 mm	0.5-50
	50 mm	0.005-0.75
KOİ kiti	Hücre testi (14560)	4-40
	Hücre testi (14540)	10-150
Fosfat kiti (PO₄-P)	Hücre testi (14543)	0.05-5
	Hücre testi (14729)	0.5-25

3.2.2. Membranlar

Laboratuvar çalışmalarında kullanılan membranlar

Bu çalışmada, MBR yöntemiyle arıtılan endüstriyel atıksuların yeniden kullanımını incelemek üzere, toplam üç farklı RO ve NF membranı kullanılmıştır. Çalışma da çapraz akışlı-düz tabakalı membran test ünitesi ile ince film poliamid yapıda olan HL-GE, DL-GE NF membranları ile ince film poliamid yapıda AG-GE RO membranı kullanılmıştır. Kullanılan membranların tür ve özellikleri Çizelge 3.5’de verilmiştir.

Çizelge 3. 5 NF ve RO membranlarının özellikleri

Membran	AG BWRO	DL-NF	HL-NF
Üretici firma	GE- Osmonics	GE- Osmonics	GE- Osmonics
Membran türü	İnce film	ince film	ince film
Maksimum çalışma sıcaklığı (°C)	50	50	50
Maksimum çalışma basıncı (bar)	41	41	41
MWCO (Da)	-	150-300 (Acero ve ark., 2010)	150-300 (Dolar ve ark., 2011)
pH aralığı	4-11	3-9	3-9

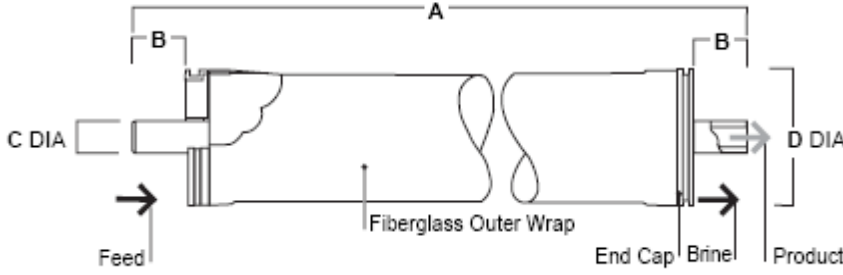
Arazi çalışmalarında kullanılan membranlar

İTOB-OSB arıtma tesisinin bulunduğu sahada kurulu bulunan membran arıtma sisteminde; spiral sarım yapıda Film-Tec BW30-2540 ile Film-Tec NF90-2540 model, ince film (poliamid) kompozit yapıda RO ve NF membranları kullanılmıştır. Kullanılan membranların karakteristik özellikleri Çizelge 3.6.’da ve Şekil 3.23’de verilmiştir.

Çizelge 3. 6 Film Tec BW30-2540 ve NF90-2540 membranlarının özellikleri

	BW30-2540	NF90-2540
Membran Türü	Poliamid İnce-Film Kompozit	Poliamid İnce-Film Kompozit
Maksimum İşletme Sıcaklığı^a	113°F (45°C)	113°F (45°C)
Maksimum İşletme Basıncı	600 psi (41 bar)	600 psi (41 bar)
Maksimum Basınc Düşmesi	15 psig (1.0 bar)	15 psig (1.0 bar)
pH Aralığı, Sürekli İşletme^a	2-11	2-11
pH Aralığı, Kısa Süreli İşletme	1-13	1-12
Maksimum Besleme SDI	SDI 5	SDI 5
Serbest Klor Toleransı	<0.1 ppm	<0.1 ppm
Aktif Alan	28 ft ² (2.6 m ²)	28 ft ² (2.6 m ²)
Maksimum Besleme Akış Hızı	6 gpm (1.4 m ³ /sa)	6 gpm (1.4 m ³ /sa)
Süzüntü Akış Hızı	850 gpd (3.2 m ³ /gün)	680 gpd (2.6 m ³ /gün)
Tuz Giderimi	99.5 %	>97%
BOYUTLAR		
A	40 İnç (1016 mm)	
B	1.19 İnç (30.2 mm)	
C	0.75 İnç (19 mm)	
D	2.4 İnç (61 mm)	

^a Sürekli işletme için maksimum sıcaklık pH değerinin 10'nun üzerinde olduğu durum için (35°C).



Şekil 3. 23 FilmTec BW30-2540 ve SW30-2540 RO membranlarının boyutları

3.2.3. Arıtılmış atıksuyun fiziko-kimyasal bileşimi

Laboratuvar ve arazi çalışmalarında kullanılan MBR prosesi ile arıtılan atıksuyun fizikokimyasal bileşimi Çizelge 3.7 ve 3.8’de verilmiştir.

Çizelge 3. 7 Laboratuvar çalışmalarında kullanılan atıksuyun fizikokimyasal bileşimi

Parametre	Değer (ortalama)	Parametre	Değer (ortalama)
TÇK (g/L)	3.58	Na ⁺ (mg/L)	1219
İletkenlik (mS/cm)	7.16	Ca ²⁺ (mg/L)	201
T (°C)	28.8	K ⁺ (mg/L)	140
pH	7.97	Mg ²⁺ (mg/L)	28
Tuzluluk (psu)	3.65	NH ₄ -N (mg/L)	0.19
Bulanıklık (NTU)	0.94	HCO ₃ ⁻ (mg/L)	273
Si (mg/L)	2.75	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	615
KOİ (mg/L)	18.1	Cl ⁻ (mg/L)	1830
Renk (Hazen)	19.1	PO ₄ -P (mg/L)	0.25
TK (mg/L)	58	NO ₃ -N (mg/L)	39.8
İK (mg/L)	43	NO ₂ -N (mg/L)	0.008
TOK (mg/L)	14.5		

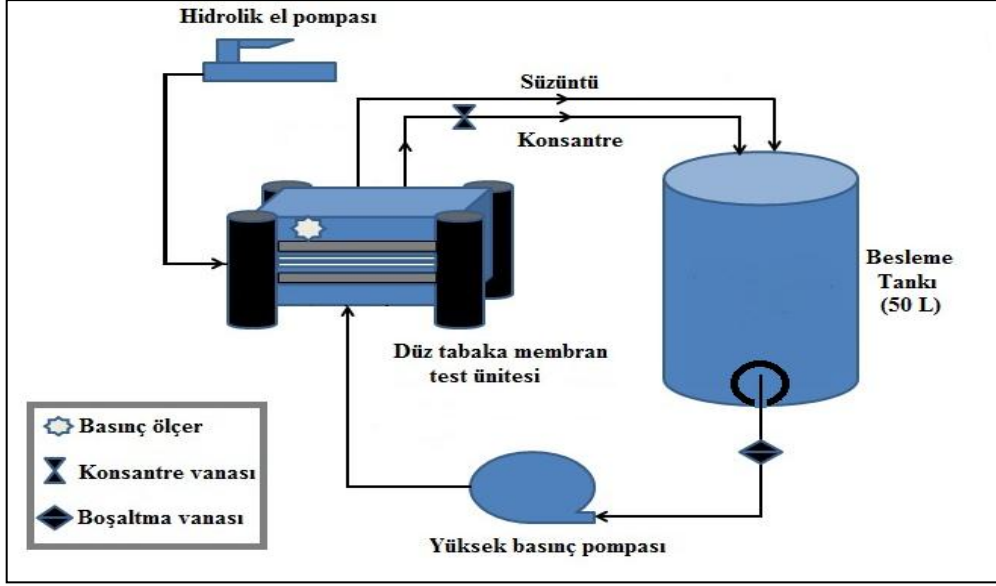
Çizelge 3. 8 Arazi çalışmalarında kullanılan atıksuyun fizikokimyasal bileşimi

Parametre	Değer (ortalama)	Parametre	Değer (ortalama)
TÇK (g/L)	2,57	Na ⁺ (mg/L)	889
İletkenlik (mS/cm)	5,13	Ca ²⁺ (mg/L)	134
T (°C)	20	K ⁺ (mg/L)	404
pH	7,86	Mg ²⁺ (mg/L)	25,3
Tuzluluk (‰)	2,73	NH ₄ -N (mg/L)	0,92
Bulanıklık (NTU)	0,94	HCO ₃ ⁻ (mg/L)	356
Si (mg/L)	1,27	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	664
KOİ (mg/L)	26,39	Cl ⁻ (mg/L)	1315
Renk (Hazen)	29,26	PO ₄ -P (mg/L)	0,24
TK (mg/L)	128	NO ₃ -N (mg/L)	34,5
İK (mg/L)	101	NO ₂ -N (mg/L)	0,12
TOK (mg/L)	28,7		

3.3. Yöntem

3.3.1. Laboratuvarda Gerçekleştirilen Membran Testleri

Laboratuvar ölçekli çapraz akışlı, düz tabakalı membran test ünitesinin (SEPA CF II, Osmonics) maksimum işletme basıncı 69 bar olup, membran test ünitesi 19 cm x 14 cm'lik (7.5"x 5.5") aktif yüzey alanı 140 cm² olan her tip düz tabaka membran ile uyum sağlamaktadır. Membran test sistemine ilişkin akım şeması, Şekil 3.24'de gösterilmiştir.



Şekil 3. 24 Membran test sisteminin şematik gösterimi

Besleme tankında bulunan atıksu, yüksek basınç pompası vasıtasıyla (Hydra Cell D/G-03-X Tipi) hücre gövdesinin altında bulunan noktadan membran test ünitesine pompalanmaktadır. Atıksu, test hücresi içine membran yüzeyine teğet olarak giriş yapmaktadır. Atıksuyun 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. Atıksuyun 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 uygulama basıncı altında (10 bar), HL ve AG membranı için 6 saat, DL membranı için 8 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/s) çalışılmıştır. Her 30 dakikada bir; sıcaklık, akış hızı, iletkenlik, toplam çözünmüş katı miktarı (TDS) ölçümü için süzüntüden, konsantreden ve besleme tankından örnekler alınmıştır.

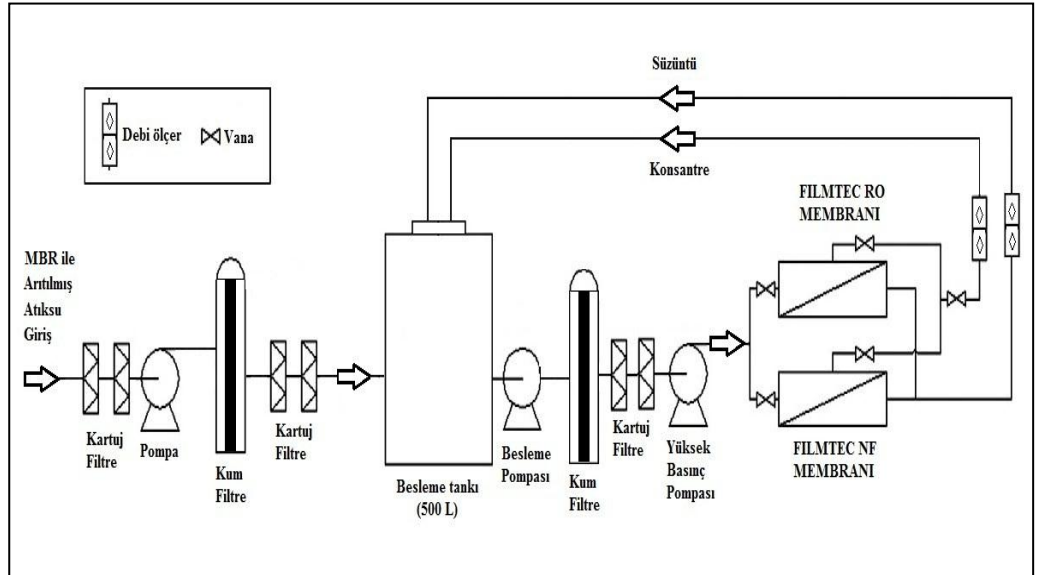
3.3.2. Arazi Çalışmaları

Arazi çalışmaları ITOB-OSB atıksu arıtma tesisinde kurulmuş olan taşınabilir bir laboratuvarda bulunan mini pilot ölçek spiral sarım RO/NF membran test sistemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

ITOB-OSB’de, MBR sistemi kullanılarak arıtılmış atıksu, öncelikle iki adet yıkanabilir kartuj filtreden geçtikten sonra bir pompa yardımıyla kum filtreye verilmiştir. Kum filtreden çıkan su tekrardan iki adet 10 mikronluk kartuj filtreden geçtikten sonra 500 L’lik besleme tankına alınmıştır. Filtreleme işinden sonra atık suya, daha önce hesaplanan miktarlarda dezenfeksiyon amacıyla hipoklorit (100 litre atıksuya 1 mL hipoklorit), içindeki serbest kloru klorüre dönüştürmek amacıyla $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ (0.5 g/400 L), atıksuda bulunan bazı katyonların membran yüzeyinde çökmesini önlemek amacıyla antiskalant (1.2 mL/400 L) eklenmiştir. Besleme tankına gelen arıtılmış atıksu, kimyasal şartlandırmadan da geçtikten sonra, alçak basınç pompasıyla kum filtreye ve oradan 10 mikronluk kartuş filtrelere iletilmiştir. Filtreden çıkan arıtılmış atıksu yüksek basınç pompası yardımı ile membran test sisteminde takılı bulunan RO ya da NF membranlarına beslenmiştir.

Mevsimsel çalışma

Mevsimsel olarak yapılan çalışmalara ait akım şeması Şekil 3.25’de verilmiştir. Arazi çalışmalarında mini pilot ölçek spiral sarım membran test sistemi ile NF90-Dow Filmtec NF membranı ve BW30-Dow Filmtec RO membranı kullanılmıştır. Mevsimsel çalışmalar 10 bar basınç altında paralel olarak, 6 saat boyunca kapalı döngü olarak çalışılmıştır. Konsantre akış hızı saatte 132-134 L olarak ayarlanmıştır.



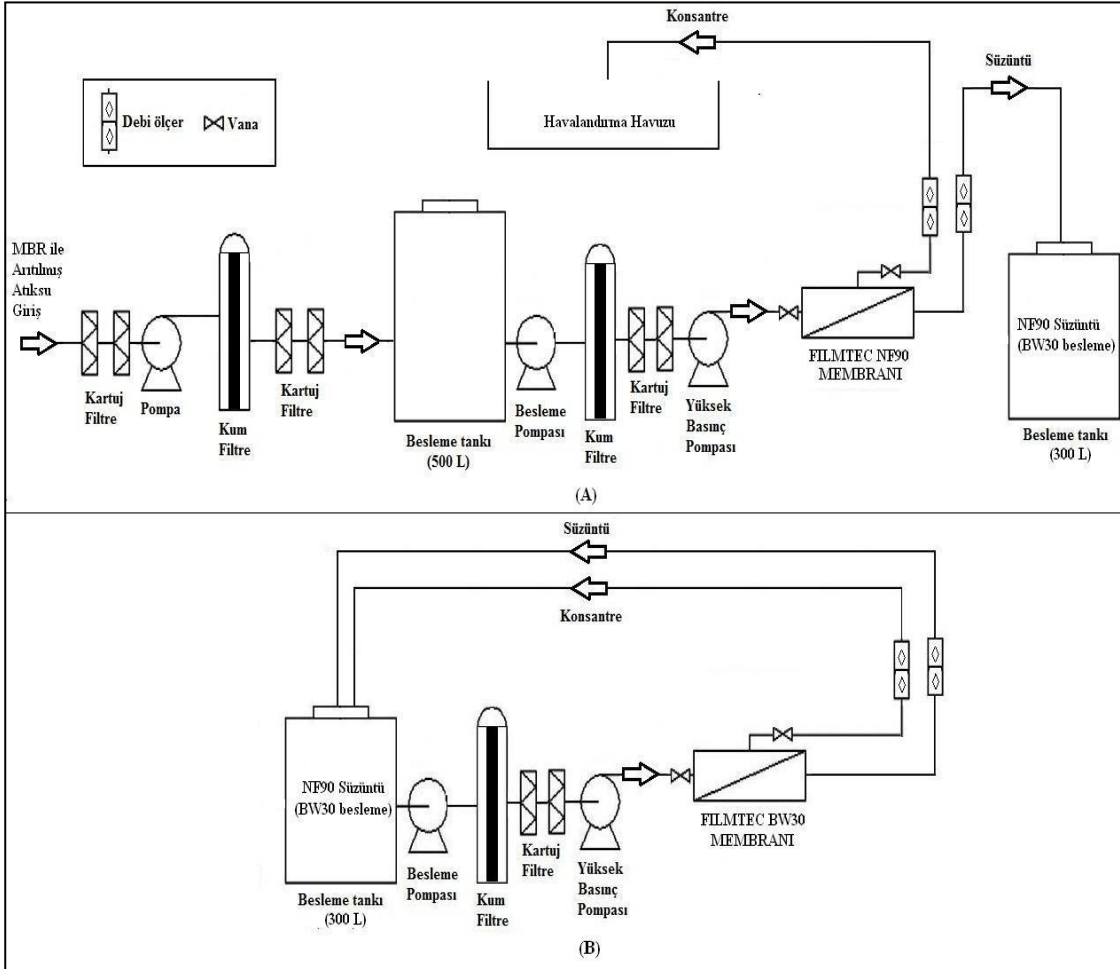
Şekil 3. 25 Pilot ölçek spiral sarım membran test sistemiyle gerçekleştirilen kesikli çalışmaya ait akım şeması

Basınç etkisinin incelenmesi

Basınç etkisinin incelendiği çalışmaya ait akım şeması Şekil 3.25’de verilmiştir. Sistemden çıkan konsantre ve süzüntü suyu tekrardan besleme tankına verilir, kapalı döngü olarak çalışılmıştır. Konsantre akış hızı saatte 132-134 L olarak ayarlanmıştır. Mevsimsel çalışmadan farklı olarak NF90 ve BW30 membranı ile 15 bar da çalışılmıştır.

NF+RO integre sistemle çalışma

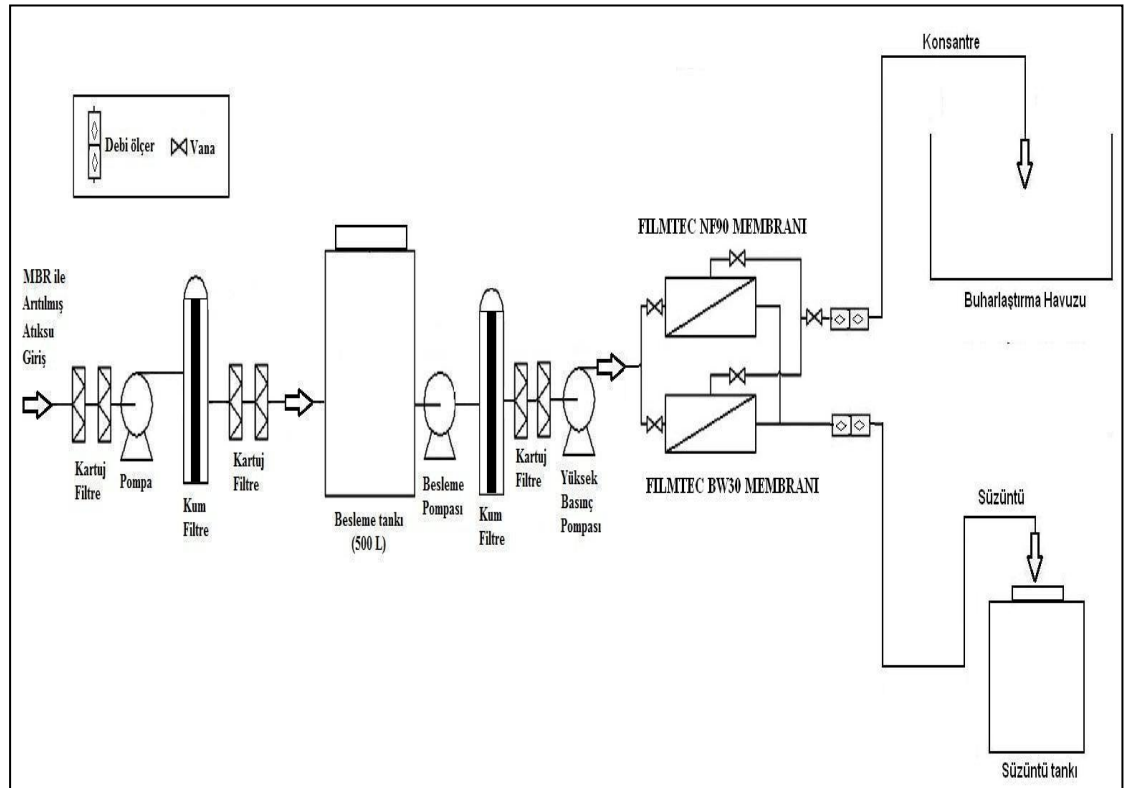
Bu çalışmaya ait akım şeması Şekil 3.26’da verilmiştir. İntegre çalışma için NF90 membranı ile üç saat süreyle süzüntü toplanmıştır (Şekil 3.27-A). Daha sonra toplanan süzüntü RO membranının besleme suyu olacak şekilde BW30 membranına verilmiştir (Şekil 3.27-B). Sistemden çıkan konsantre ve süzüntü suyu tekrardan besleme tankına verilir kapalı döngü olarak çalışılmıştır.



Şekil 3. 26 NF90+BW30 integre çalışmaya ait akım şeması

Sürekli döngü çalışmaları

Sürekli çalışmalara ait kullanılan sistemin akım şeması, Şekil 3.27’de verilmiştir. Sürekli çalışma altı saat boyunca 10 bar da gerçekleştirilmiştir. Konsantre akısı diğer çalışmalarda olduğu gibi 132-134 L/s olarak ayarlanmıştır. Membrandan çıkan konsantre su ayrı bir hat ile İTOB-OSB Arıtma Tesisi’ne ait havalandırma havuzuna verilmiştir. Membrandan çıkan süzüntü suyu, süzüntü toplama tankında depolanmıştır. İkinci ve üçüncü döngü çalışmalarında ise membranlar asit ve baz ile geri yıkanmıştır. Böylelikle tıkanan membranların gözeneklerinin açılması hedeflenmiştir. Membranların temizlenmesinde asetik asit ve NaOH kullanılmıştır. Bu amaçla 300 L’lik süzüntü tankına 200 mL asetik asit eklenip, NF90 ve BW30 membranları ile kapalı döngü olacak şekilde 45 dakika süre ile çalışılmıştır. Çalışma sonrasında membranlara çeşme suyu ile yarım saat durulama işlemi yapılmıştır. Daha sonra süzüntü tankına 3 mL/300 L hipoklorit ve 1.5 g NaOH/300 L eklenip tekrardan NF90 ve BW30 membranları kapalı döngü olacak şekilde 45 dakika süre alkali yıkama işlemi yapılmıştır. En son aşamada ise; çalışma sonrasında membranlara çeşme suyu ile yarım saat durulama işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3. 27 Sürekli çalışmaya ait akım şeması

Arazi de yapılan tüm çalışmalarda (mevsimsel, basınç etkisi, NF+RO integre, sürekli) çalışma süresi boyunca her saat başı hem besleme, hem de süzüntü suyundan örnek alınmıştır. Ayrıca çalışma süresi boyunca her yarım saatte bir, süzüntü ve konsantre akısı, iletkenlik, pH, çözünmüş katı madde, sıcaklık, tuzluluk değerleri ölçülmüştür. Diğer ölçümler (bulanıklık, Cl^- , SO_4^{2-} , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , toplam organik karbon (TOK), KOI , Si, PO_4-P , NO_3-N , NO_2-N , NH_4-N , renk, ve HCO_3^-) Kimya Mühendisliğinde laboratuvarında yapılmıştır.

3.4. Temel Hesaplamalar ve Tanımlar

Madde giderimi

Yapılan testler sonunda, atıksulardan madde giderimleri (% olarak) Eşitlik (3.1) ile hesaplanmıştır.

$$R (\%) = \frac{(C_b - C_s)}{C_b} * 100 \quad (3.1)$$

C_s : Giderilen maddenin süzüntü suyundaki derişimi

C_b : Giderilecek maddenin besleme suyundaki derişimi

$R (\%)$: Giderim yüzdesi

Süzüntü Akısı

Her bir test için kullanılan membranlara ilişkin süzüntü akısı Eşitlik (3.2) ile hesaplanmıştır.

$$Süzüntü akısı \left(\frac{L}{m^2 s} \right) = \frac{Süzüntü hacmi (L)}{Membran alanı (m^2) \times Zaman (s)} \quad (3.2)$$

Su geri kazanımı

Her bir test için kullanılan membranlara ilişkin suyun geri kazanımı Eşitlik (3.3) ile hesaplanmıştır.

$$Su \text{ geri kazanımı } (\%) = \frac{Süzüntü akısı}{Besleme akısı} \quad (3.3)$$

(*Besleme akısı: Birim zamanda akan süzüntü ve konsantre akısının toplamı)

Sodyum adsorpsiyon oranı (SAR)

Sulama sularının olası sodyum zararını belirtmek amacıyla kullanılan bir parametredir. Burada Na^+ iyon derişiminin, Ca^{+2} ve Mg^{+2} iyon derişimleri toplamına göre değişim göstermektedir. Bu parametre olası Na^+ iyonlarının zararını belirtmede %Na giderim değerinden daha işlevsel olmaktadır. Bu parametre Na^+ iyon derişiminin +2 değerlikli diğer katyonların toplamının kareköküne olan oranını belirtmektedir ve SAR değerinin artması ile toprağa verilecek olası sodyum zararı da artmaktadır. SAR değeri, Eşitlik (3.4) yardımıyla hesaplanır.

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}} \quad (3.4)$$

Burada iyon derişimleri, meq/L olarak kullanılmıştır.

Çizelge 3.9’da Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği tarafından belirlenmiş, sulama suyunun kimyasal kalitesinin değerlendirilmesi için geliştirilmiş parametreler verilmiştir. Yapılan çalışmalardada elde edilen veriler SKKY’nın yanısıra, Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği ile de karşılaştırılmıştır.

Çizelge 3. 9 Sulama suyunun kimyasal kalitesinin değerlendirilmesi için geliştirilmiş parametreler (Çevre ve Orman Bakanlığı, 2010)

Parametreler		Birimler	Kullanımında zarar derecesi		
			Yok (I. sınıf su)	Az – orta (II. sınıf su)	Tehlikeli (III. sınıf su)
Tuzluluk					
İletkenlik		µS/cm	< 700	700-3000	>3000
Toplam çözünmüş Madde		mg/L	< 500	500-2000	>2000
Geçirgenlik					
SAR _{Tad}	0-3	EC	≥ 0.7	0.7-0.2	< 0.2
	3-6		≥ 1.2	1.2-0.3	< 0.3
	6-12		≥ 1.9	1.9-0.5	< 0.5
	12-20		≥ 2.9	2.9-1.3	< 1.3
	20-40		≥ 5.0	5.0-2.9	< 2.9
Özgül iyon toksisitesi					
Sodyum (Na)					
Yüzey sulaması		mg/L	< 3	3-9	> 9
Damlatmalı sulama		mg/L	< 70	> 70	
Klorür (Cl)					
Yüzey sulaması		mg/L	< 140	140 –350	> 350
Damlatmalı sulama		mg/L	< 100	> 100	
Bor (B)		mg/L	< 0.7	0.7-3.0	> 3.0

3.5. Maliyet hesaplamaları

Bu bölüm, maliyet hesaplamaları ve izlenmesi gereken prosedürleri içermektedir. Ekonomik analiz için sabit ve değişken maliyetler hesaplanmıştır. Kurulum ve ekipmanların kapalı ve açık sistemlerde aynı olmasından ötürü, sistemlerin sabit maliyeti de eşit olmaktadır. Aynı şekilde, iki sistem için bakım maliyetleri de eşittir. Ancak maliyetleri m^3 süzüntü başına hesaplırsak, süzüntünün debisi, geri kazanım ve giderim oranları değiştiği için, m^3 süzüntü başına maliyet de değişmektedir.

Maliyet hesabı yapılırken; sistemden alınan günlük ürün su debisi kullanılan basınç, ve membran tipi (BWRO ve NF)'ne bağlı olarak değişim gösterdiği için, her bir çalışma koşuluna karşı gelen ürün su miktarı, $m^3/gün$ olarak belirlenmiştir. Ekonomik analiz için kabul edilen diğer koşullar aşağıda belirtilmiştir (Çizelge 3.10):

1. Sistemin günlük çalışma süresi 20 saat, yıllık çalışılan gün sayısı 300 gün ve sistemin ömrü 10 yıl olarak kabul edilmiştir.

2. Elektrik birim fiyatı Türkiye Cumhuriyeti Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu tarafından belirlenen **0.0047 €/kWh** olarak alınmıştır. BWRO sistemi ile yapılan çalışmalarda **2.2 kW**'lik yüksek basınç pompası, **0.8 kW**'lik düşük basınç pompası kullanılmıştır.

3. Hipoklorit birim fiyatı **1.13 €/kg**, antiskalant birim fiyatı **5.9 €/kg**, sodyum metabisülfid birim fiyatı **0.7 €/kg**, kartuş filtre adet fiyatı **4.72 €**, sürekli çalışmalarda kullanılan asetik asit ve NaOH'ın birim fiyatı sırasıyla 22 €/L, **12.9 €/kg**, BWRO membranı (BW30-2540) adet fiyatı **202 €**, NF membranı (NF90) adet fiyatı **295 €** olarak alınmıştır. Kartuş filtrenin haftada 1 kez, membranların ise 2 yılda bir değiştirildiği düşünülmüştür.

4. İşçi maliyeti **300 €/ay**, üç ayda bir sistemde yapılacak olan rutin kontroller içinde **170 €** rutin bakım maliyeti belirlenmiştir.

Çizelge 3. 10 Materyal ve altyapı hizmetlerinin belirtilen birimlere göre maliyetleri

Materyal veya altyapı	Birim	Birim Maliyet, € ^a (vergi eklenmemiş ^b)	Birim Maliyet, € ^a (vergi eklenmiş ^b)
Elektrik	kWh		0.0047
Antiskalant	L	5	5.9
Sodyum metabisülfid	kg	0.6	0.708
Sodyum hipoklorit	kg	0.96	1.13
Asetik asit	L	18.8	22
NaOH	kg	11	12.9
NF 90-2540 membranı	adet	250	295
BW30-2540 membranı	adet	180	202
10” sediment kartuş filtresi	adet	4	4.72

a. 1 € = 2.92 TL (22.06.2014)

b. Katma değer vergisi (KDV) %18'dir.

4. SONUÇLAR VE BULGULAR

4.1. Laboratuvarda Gerçekleştirilen Membran Testleri

4.1.1. Su Geçirgenliği Testleri

HL Membranı İçin Su Geçirgenliğinin Hesaplanması

HL membranına ait süzüntü akısı ve su geçirgenlik testleri deiyonize su ile gerçekleştirilmiştir. Konsantre akısı 1600 mL/dak. (96 L/saat) olacak şekilde sabit tutulmuştur. Çalışma 4, 6, 8 ve 10 bar basınç altında gerçekleştirilmiştir. Çizelge 4.1'de HL membranına ait su geçirgenliği değerleri verilmiştir. Şekil 4.1'de basınç arttıkça süzüntü akısının arttığıda görülmektedir.

Çizelge 4. 1 HL membranı için süzüntü akısı ve su geçirgenliği değerleri

P	Qc	Qp	Tf	Tp	Tc	Süzüntü akısı	Lp
bar	L/saat	L/saat	°C	°C	°C	L/m ² saat	L/(m ² saat)(bar)
4	96	0.33	31.1	30.4	33.3	23.95	5.99
6	96	0.60	33.0	30.9	34.6	43.54	7.26
8	96	0.87	34.0	31.8	35.6	63.13	7.89
10	96	1.08	34.8	32.5	35.7	78.37	7.84
8	96	0.87	32.9	31.5	34.4	63.13	7.89
6	96	0.62	34.3	31.5	35.8	44.63	7.44
4	96	0.35	34.7	31.9	33.2	25.04	6.26

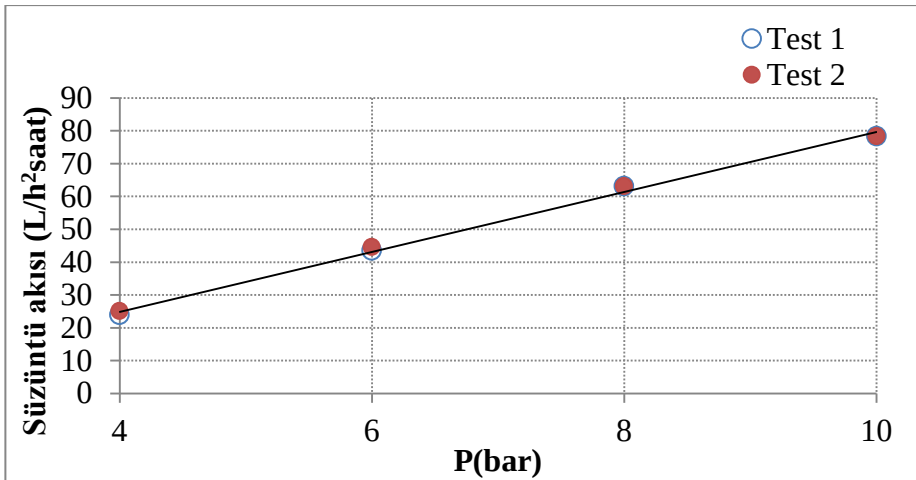
P: Basınç

Qc: Konsantre akısı

Qp: Süzüntü akısı

Tf, Tp, Tc: Besleme, süzüntü ve konsantre akımlarına ait sıcaklık

Lp: Membran geçirgenlik katsayısı



Şekil 4.1 HL membranı için farklı basınçlarda elde edilen süzüntü akısı değerleri

DL Membranı İçin Su Geçirgenliğinin Hesaplanması

DL membranına ait süzöntü akısı ve su geçirgenlik testleri deiyonize su ile gerçekleştirilmiştir. Konsantre akısı 1600 mL/dak. (96 L/saat) olacak şekilde sabit tutulmuştur. Çalışma 4, 6, 8 ve 10 bar basınç altında gerçekleştirilmiştir. Çizelge 4.2’de DL membranına ait su geçirgenliği değerleri verilmiştir. Şekil 4.2’de basınç arttıkça süzöntü akısının arttığıda görülmektedir.

Çizelge 4. 2 DL membranı için süzöntü akısı ve su geçirgenliği değerleri

P	Qc	Qp	Tf	Tp	Tc	Süzöntü akısı	Lp
bar	L/saat	L/saat	°C	°C	°C	L/m ² saat	L/(m ² saat)(bar)
4	96	0.11	32.3	28.5	34.1	7.62	1.90
6	96	0.17	31.3	28.8	34	12.41	2.07
8	96	0.23	33.5	30.4	23.9	16.33	2.04
10	96	0.31	32.6	28.7	31.5	22.64	2.26
8	96	0.23	31.2	31.2	31.2	16.55	2.07
6	96	0.17	31.5	29.1	36.3	12.19	2.03
4	96	0.12	32.2	29.9	34.6	8.71	2.18

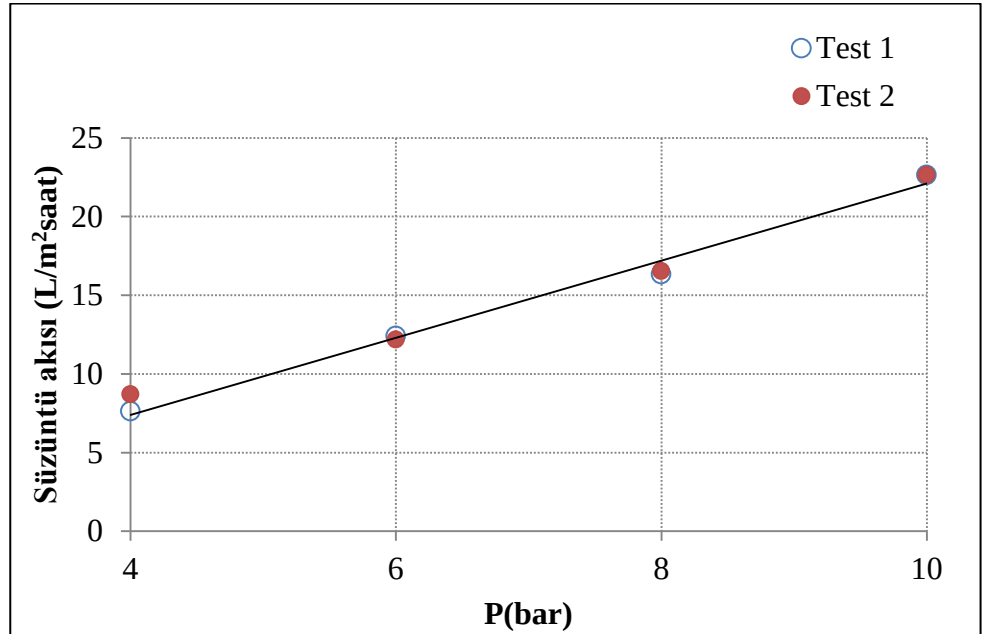
P: Basınç

Qc: Konsantre akısı

Qp: Süzöntü akısı

Tf, Tp, Tc: Besleme, süzöntü ve konsantre akımlarına ait sıcaklık

Lp: Membran geçirgenlik katsayısı



Şekil 4.2 DL membranı için farklı basınçlarda elde edilen süzöntü akısı değerleri

AG BWRO Membranı İçin Su Geçirgenliğinin Hesaplanması

AG membranına ait süzüntü akısı ve su geçirgenlik testleri deiyonize su ile gerçekleştirilmiştir. Konsantre akısı 1600 mL/dak. (96 L/saat) olacak şekilde sabit tutulmuştur. Çalışma 4, 6, 8 ve 10 bar basınç altında gerçekleştirilmiştir. Çizelge 4.3'de AG membranına ait su geçirgenliği değerleri verilmiştir. Şekil 4.3'de basınç arttıkça süzüntü akısının arttığıda görülmektedir.

Çizelge 4. 3 AG BWRO membranı için süzüntü akısı ve su geçirgenliği değerleri

P	Qc	Qp	Tf	Tp	Tc	Süzüntü akısı	Lp
bar	L/saat	L/saat	°C	°C	°C	L/m ² saat	L/(m ² saat)(bar)
4	96	0.33	28.9	27.2	31.6	23.95	5.99
6	96	0.48	29.7	29.5	31.2	34.83	5.81
8	96	0.69	30.4	28.7	31.7	50.07	6.26
10	96	0.87	31.2	28.8	31.7	63.13	6.31
8	96	0.69	31.0	28.3	32.7	50.07	6.26
6	96	0.49	33.6	28.0	30.4	35.70	5.95
4	96	0.31	29.3	27.5	31.4	22.64	5.66

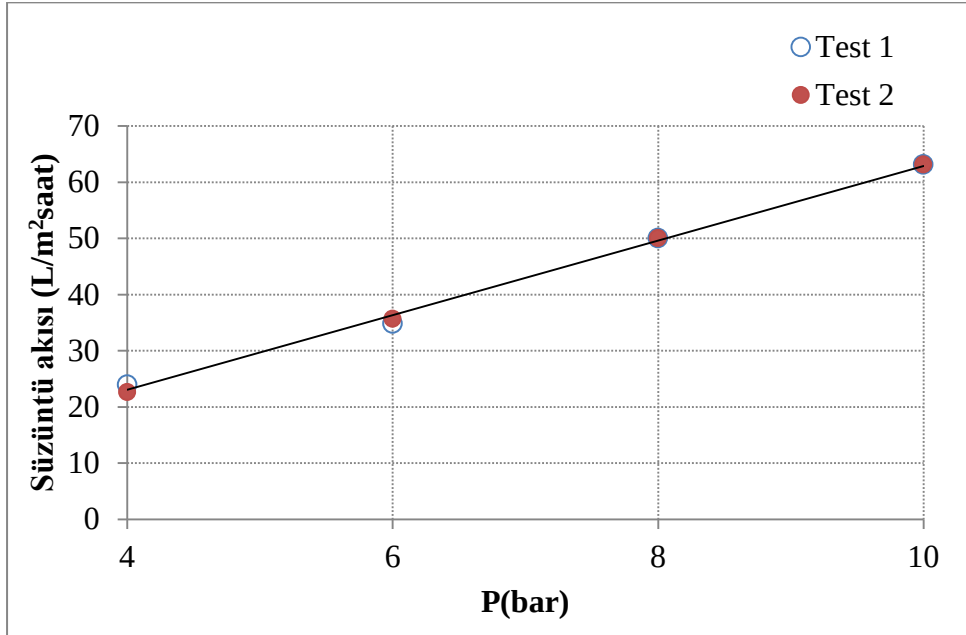
P: Basınç

Qc: Konsantre akısı

Qp: Süzüntü akısı

Tf, Tp, Tc: Besleme, süzüntü ve konsantre bileşenlerine ait sıcaklık

Lp: Membran geçirgenlik katsayısı



Şekil 4.3 AG BWRO membranı için farklı basınçlarda elde edilen süzüntü akısı değerleri

Membranlara ait su geçirgenlik değerleri Şekil 4.1-4.3 arasında verilmiştir. Bu değerlere göre ortalama su geçirgenlik değerleri sırasıyla $DL < AG < BWRO < HL$ olacak şekildedir (Çizelge 4.4).

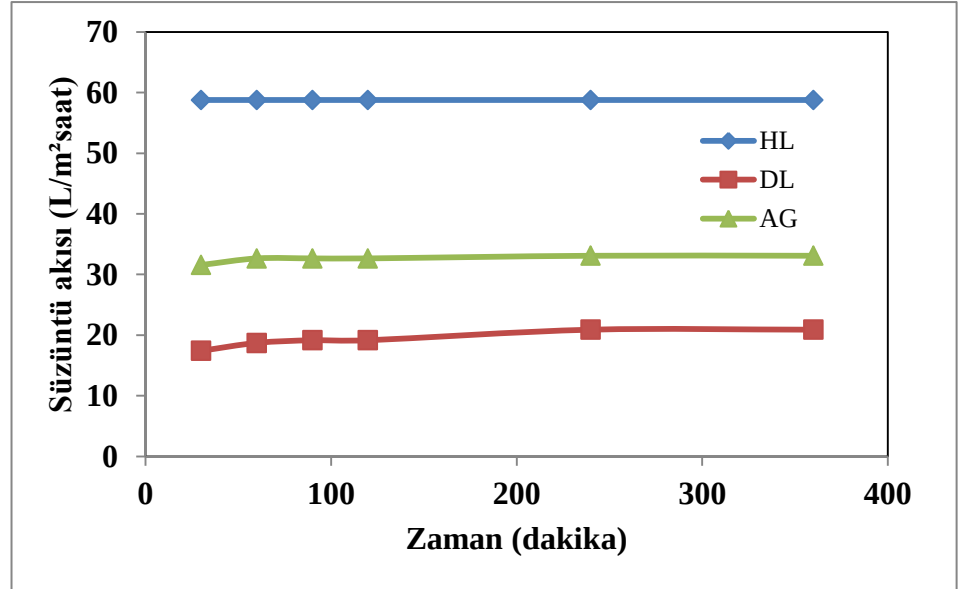
Çizelge 4. 4 Membranlara ait ortalama geçirgenlik katsayıları

Membran	HL	DL	AG BWRO
Membran Geçirgenlik katsayıları $L/(m^2 \cdot hbar)$	7.22	2.07	6.03

4.1.2. MBR Yöntemiyle Arıtılmış Atıksuların NF/RO Membranları ile İleri Arıtımı

NF/RO membranlarına ait süzüntü akı değerleri

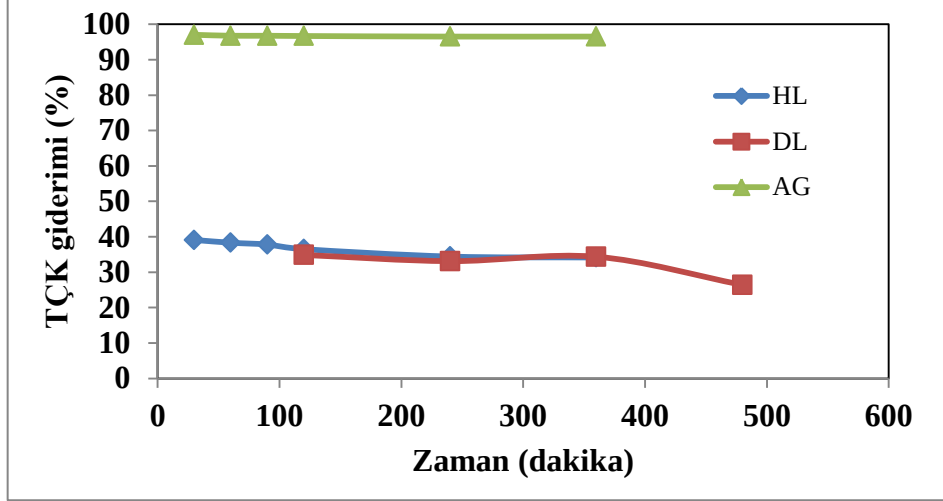
Şekil 4.4’de HL, DL ve AG membranlarına ait 10 bar basınçta elde edilen süzüntü akı değerleri verilmiştir. HL, DL ve AG membranına ait ortalama süzüntü akı değeri sırasıyla; 58.7, 19.3 ve 32.6 $L/m^2 \cdot \text{saat}$ ’dir. Elde edilen süzüntü akı değerlerine ilişkin sıralama membranlara ait geçirgenlik katsayısı sıralamasına uyum göstermektedir.



Şekil 4.4 Membranların zamana karşı süzüntü akısı değerleri

NF/RO membranlarına ait toplam çözünmüş katı madde (TÇK) giderimi

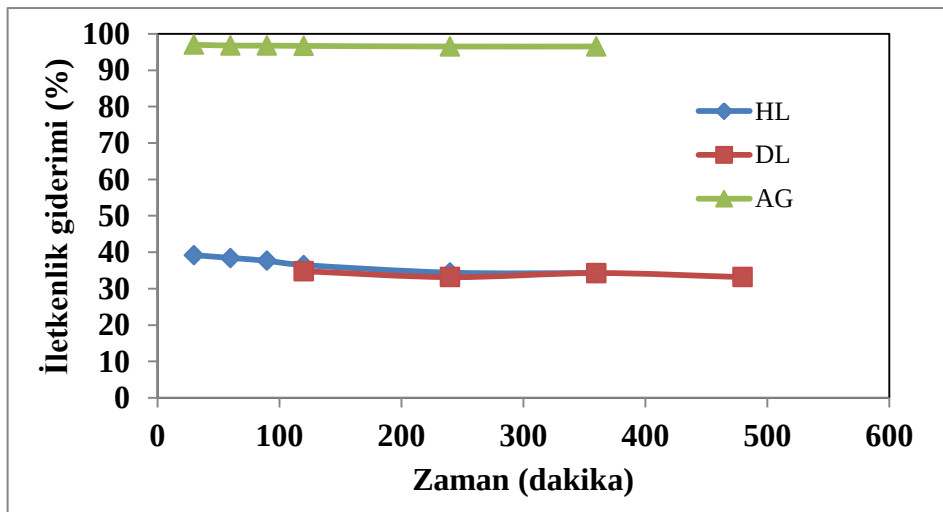
Membranlara ait ortalama 10 bar'da elde edilen TÇK giderim Şekil 4.5'de verilmiştir. HL membranına ait ortalama TÇK giderimi %36 iken, DL membranı için bu değer %32'dir. AG membranında ise ortalama giderim %96'dır.



Şekil 4.5 Membranların zamana karşı TÇK giderimleri

NF/RO membranlarına ait iletkenlik giderimi

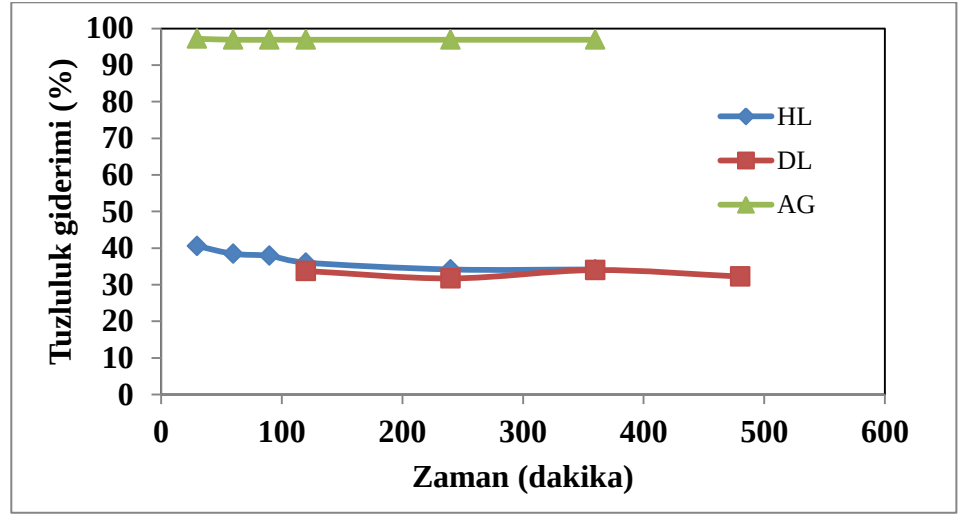
Şekil 4.6'da membranlara ait 10 bar'da edilen iletkenlik giderimleri verilmiştir. RO membranı, NF membranına göre daha yoğun olduğundan iletkenlik giderimin de daha iyi bir giderim performansı göstermiştir. AG membranına ait ortalama iletkenlik giderimi %96'dır.



Şekil 4.6 Membranların zamana karşı iletkenlik giderimleri

NF/RO membranlarına ait tuzluluk giderimi

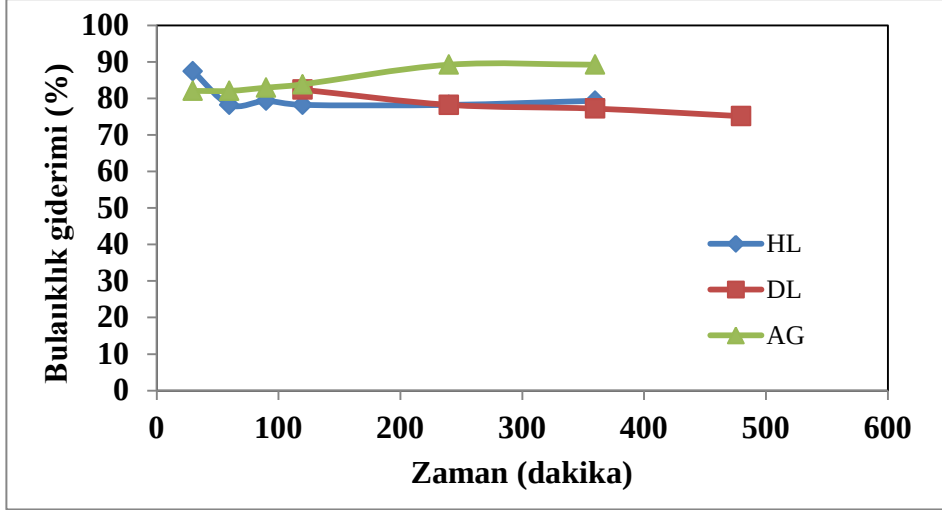
Tuzluluk gideriminde, toplam çözünmüş katı madde ve iletkenlikte olduğu gibi en iyi giderim AG membranı ile elde edilmiştir. Tuzluluk gideriminde elde edilen veriler, iletkenlik giderimindeki verilerle benzerlik göstermektedir. HL, DL ve AG membranlarına ait 10 bar'da elde edilen ortalama tuzluluk giderimi sırasıyla %36, %33 ve %96'dır. Şekil 4.7'de membranlara ait tuzluluk giderimi verilmiştir.



Şekil 4.7 Membranların zamana karşı tuzluluk giderimleri

NF/RO membranlarına ait bulanıklık giderimi

Bulanıklık gideriminde, HL, DL ve AG membranları arasında çok büyük farklılıklar gözlenmemiştir. NF membranı olan HL ve DL membranları için 10 bar'da elde edilen ortalama bulanıklık giderimi sırasıyla %80 ve %79 iken, RO membranı olan AG membranının da bu değer 84'dür. Membranlara ait bulanıklık giderimi Şekil 4.8'de verilmiştir.

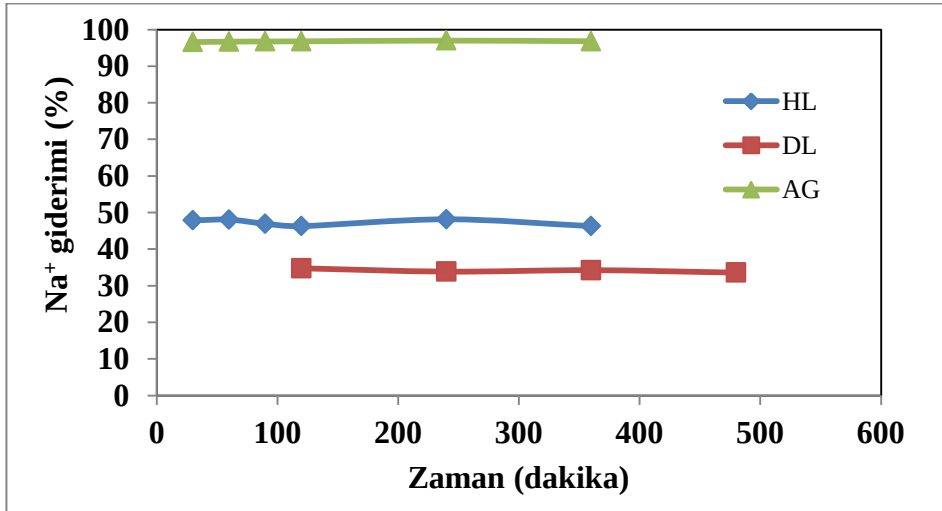


Şekil 4.8 Membranların zamana karşı bulanıklık giderimleri

NF/RO membranlarının monovalent iyon giderimleri

NF/RO membranlarının Na^+ giderimi

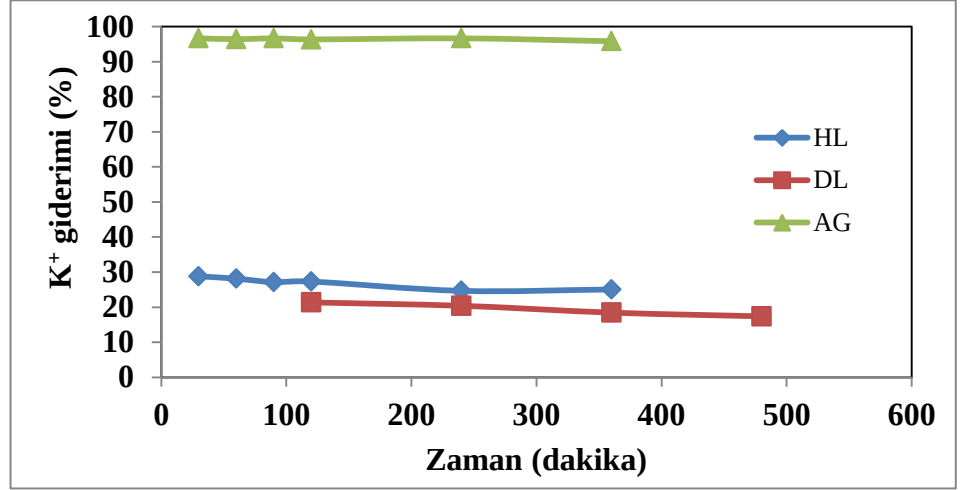
Şekil 4.9’da membranlara ait Na^+ iyon giderimi verilmiştir. NF ile tek değerlikli iyonlar %20-80 oranında uzaklaştırılırken, RO da bu değer, %95-99 arasındadır. HL, DL ve AG membranına ait giderim değerleride bu değerler arasındadır. NF membranı olan HL ve DL membranın da ortalama Na^+ iyon giderimi sırasıyla %46 ve %33 iken, AG membranın da bu değer %96’dır.



Şekil 4.9 Membranların zamana karşı Na^+ giderimleri

NF/RO membranlarının K^+ iyon giderimi

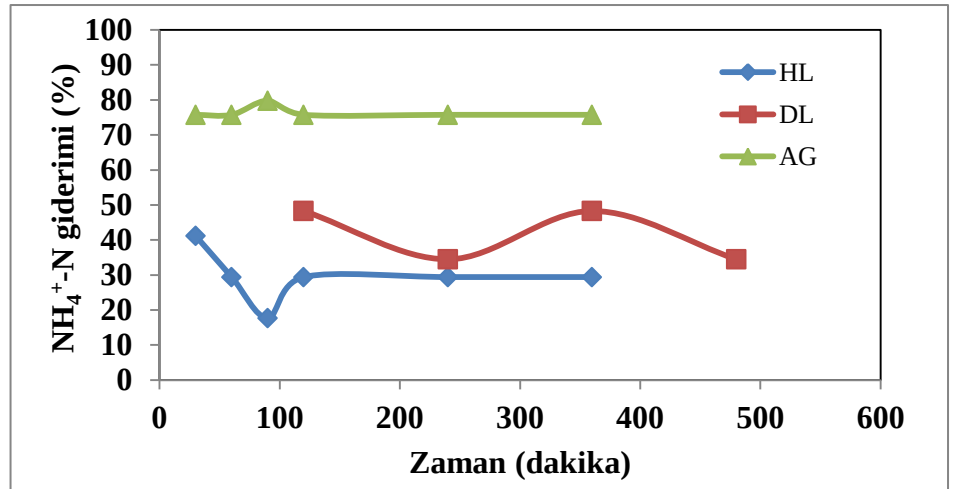
HL, DL ve AG membranına ait 10 bar'da elde edilen K^+ iyonu giderimi Şekil 4.10'da verilmiştir. HL ve DL membranına ait K^+ iyonu giderimi oldukça düşük iken, AG membranında ortalama K^+ iyonu giderimi %96'dır. HL ve DL membranında bu değer sırasıyla %25 ve %18'dir.



Şekil 4.10 Membranların zamana karşı K^+ iyonu giderimleri

NF/RO membranlarının NH_4^+ iyonu giderimi

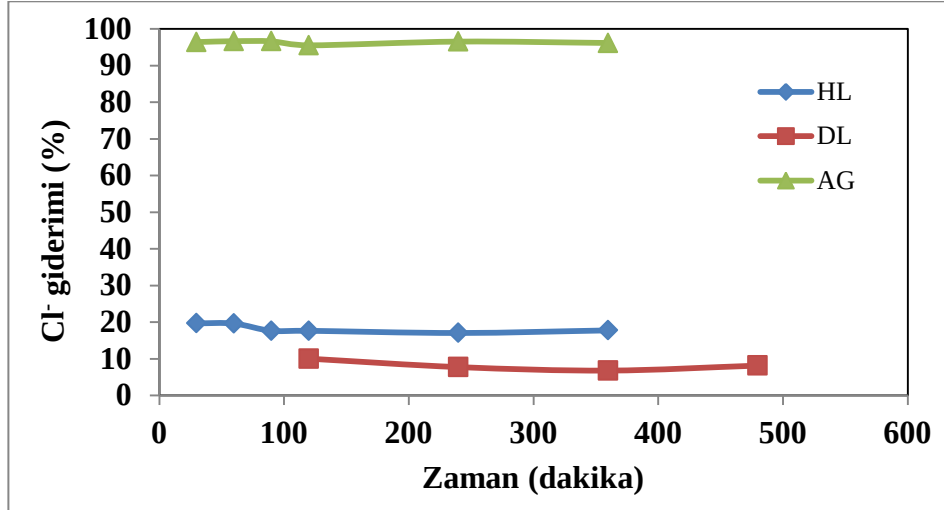
Şekil 4.11'de membranlara ait 10 bar uygulama basıncında NH_4^+ iyonu giderimleri verilmiştir. HL, DL ve AG membranına ait ortalama NH_4^+ iyonu giderimleri sırasıyla %19, %41 ve %76'dır.



Şekil 4.11 Membranların zamana karşı NH_4^+ -N giderimleri

NF/RO membranlarının Cl⁻ iyonu giderimi

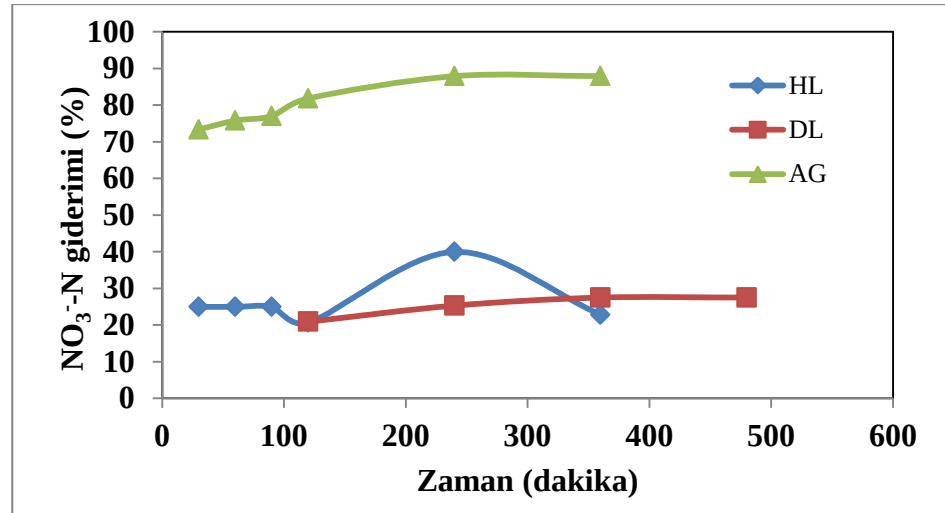
Şekil 4.12’de membranlara ait 10 bar’da elde edilen Cl⁻ iyonu giderimi verilmiştir. HL ve DL membranlarının Cl⁻ iyonu giderimleri oldukça düşüktür. Monovalent katyonlarda elde edilen değerlere benzer şekilde; en düşük giderim %8 ile DL membranında gözlenmiştir. HL membranına ait ortalama Cl⁻ iyonu giderimi %18 iken, AG membranına ait giderim %96’dır.



Şekil 4.12 Membranların zamana karşı Cl⁻ iyonu giderimleri

NF/RO membranlarının NO₃⁻ iyon giderimi

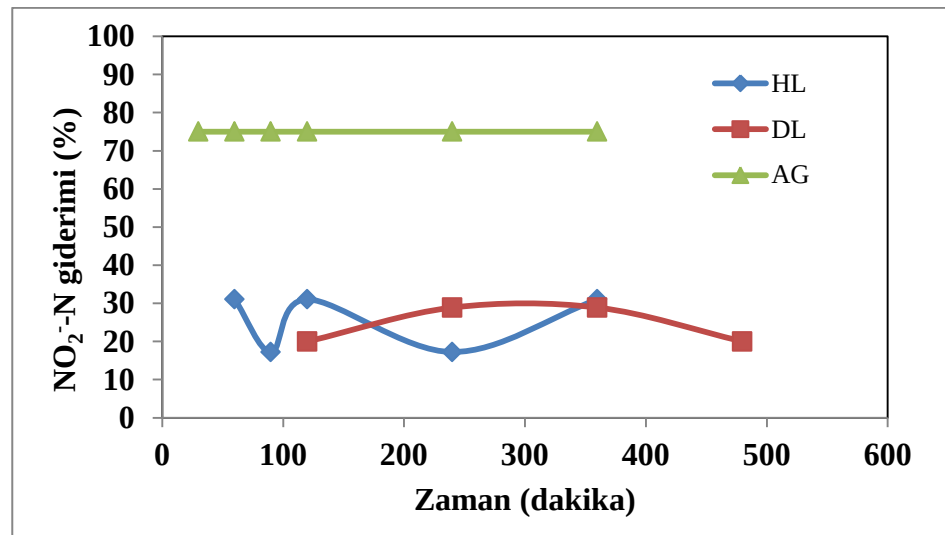
NO₃⁻ iyonu giderimi HL ve DL membranı için oldukça düşüktür ve her iki NF membranı için değerler birbirine yakındır. Ortalama NO₃⁻ iyonu giderimi, HL membranı için %26 iken, DL membranı için bu değer %25’dir. AG membranı için ortalama NO₃⁻ iyonu giderimi %80’dir. Şekil 4.13’de membranlara ait nitrat giderimi verilmiştir.



Şekil 4.13 Membranların zamana karşı NO_3^- iyonu giderimleri

NF/RO membranlarının NO_2^- iyonu giderimi

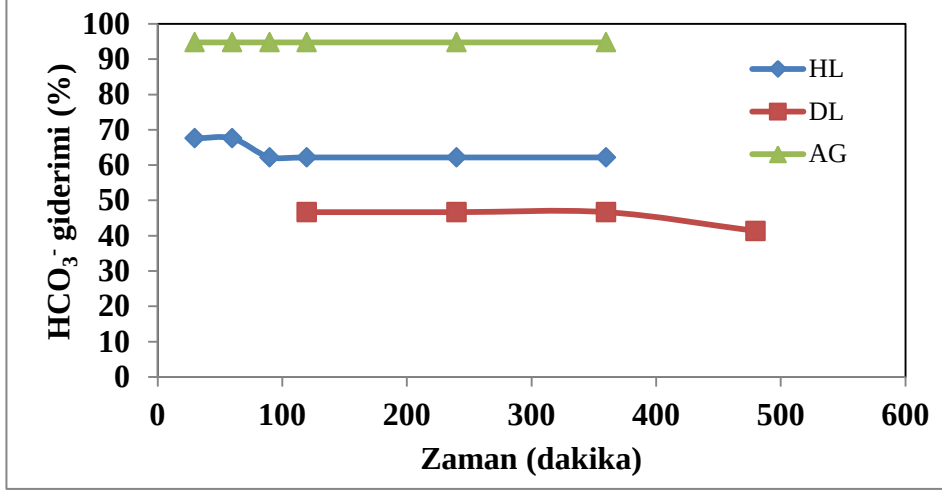
Şekil 4.14'de membranlara ait 10 bar'da elde edilen NO_2^- iyonu giderimi verilmiştir. AG membranına ait giderim, zamana karşı değişim göstermemiştir. Ortalama NO_2^- iyonu giderimi AG membranı için %75'dir. HL ve DL membranları için bu değer sırasıyla %26 ve %24'dür.



Şekil 4.14 Membranların zamana karşı NO_2^- iyonu giderimleri

NF/RO membranlarının HCO_3^- iyonu giderimi

Şekil 4.15’de membranlara ait HCO_3^- iyonu giderimleri verilmiştir. HL, DL ve AG membranına ait 10 bar’da elde edilen ortalama HCO_3^- giderimleri sırasıyla %64, %45 ve %94’dür.

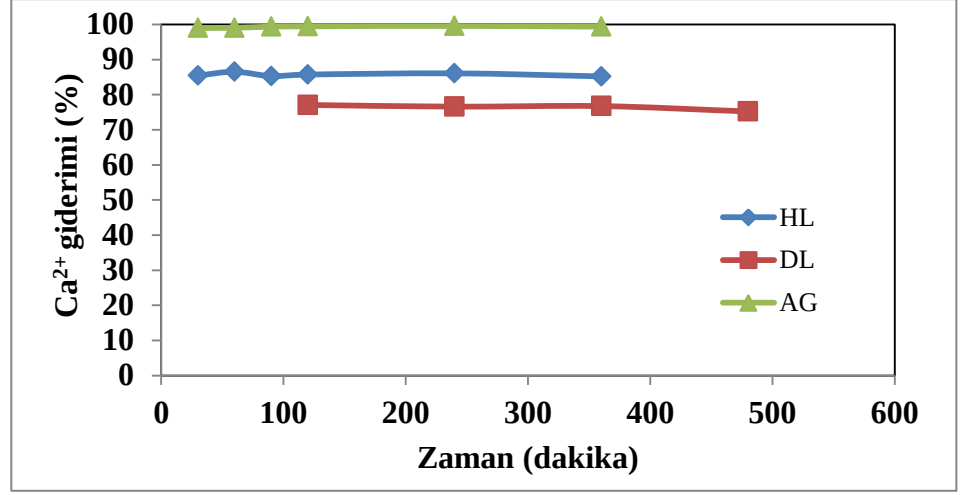


Şekil 4.15 Membranların zamana karşı HCO_3^- iyonu giderimleri

NF/RO membranlarına ait multivalent iyonların giderimi

NF/RO membranlarına ait Ca^{2+} iyonu giderimi

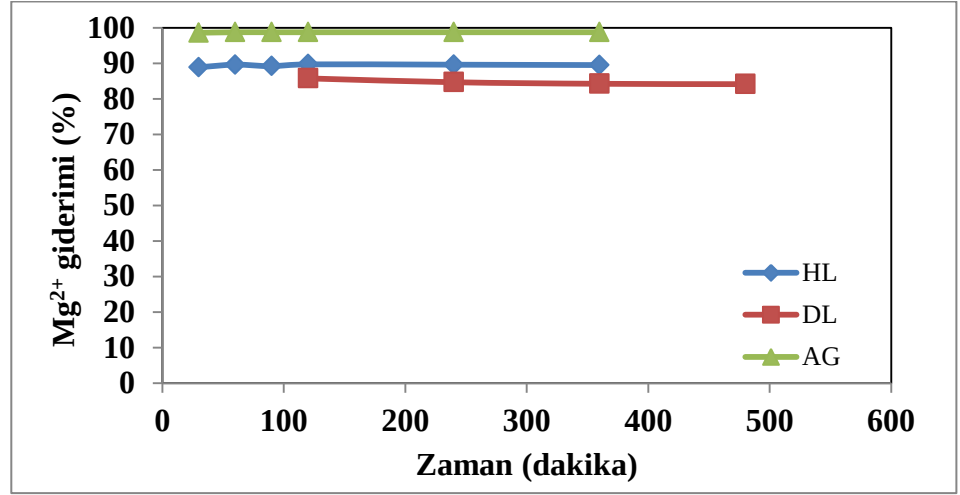
Şekil 4.16’da membranlara ait 10 bar’da elde edilen Ca^{2+} iyon giderimleri verilmiştir. Tek değerlikli iyonların aksine çift değerlikli iyonların NF ile giderimi %90-98 arasındadır. Yaptığımız çalışmada HL membranına ait ortalama Na^+ iyon giderimi %85 iken, DL membranında bu değer %76’dır. RO membranı ise çift değerlikli iyonların gideriminde yüksek verime sahiptir. AG membranına ait ortalama Ca^{2+} iyon giderimi %99 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.16 Membranların zamana karşı Ca^{2+} iyon giderimleri

NF/RO membranlarının Mg^{2+} iyonu giderimi

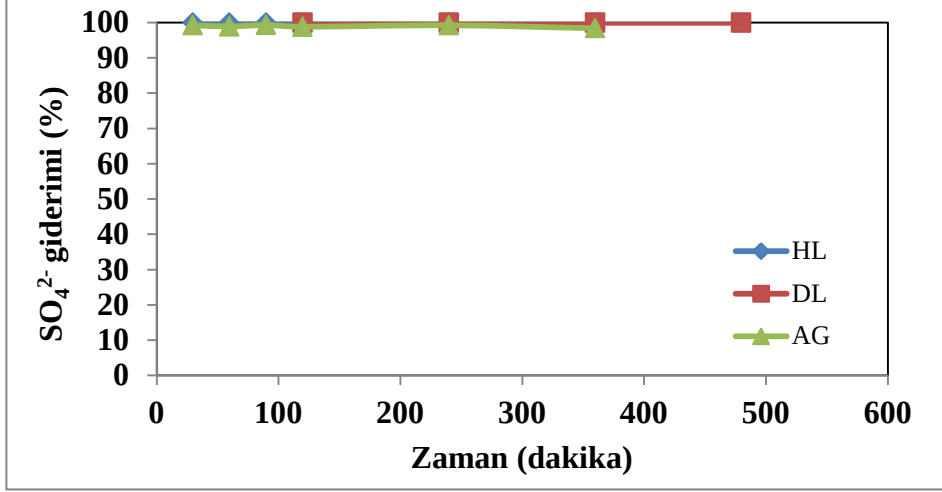
HL, DL ve AG membranlarına ait Mg^{2+} iyonu giderimi Ca^{2+} giderimi ile benzerlik göstermiştir. Şekil 4.17’de membranlara ait 10 bar’da elde edilen Mg^{2+} iyonu giderimi verilmiştir. En yüksek Mg^{2+} iyonu giderimini %98 ile AG membranı vermiştir. HL membranına ait ortalama Mg^{2+} iyonu giderimi %89 iken, DL membranına ait bu değer %84’dür.



Şekil 4.17 Membranların zamana karşı Mg^{2+} iyonu giderimleri

NF/RO membranlarının SO_4^{2-} iyonu giderimi

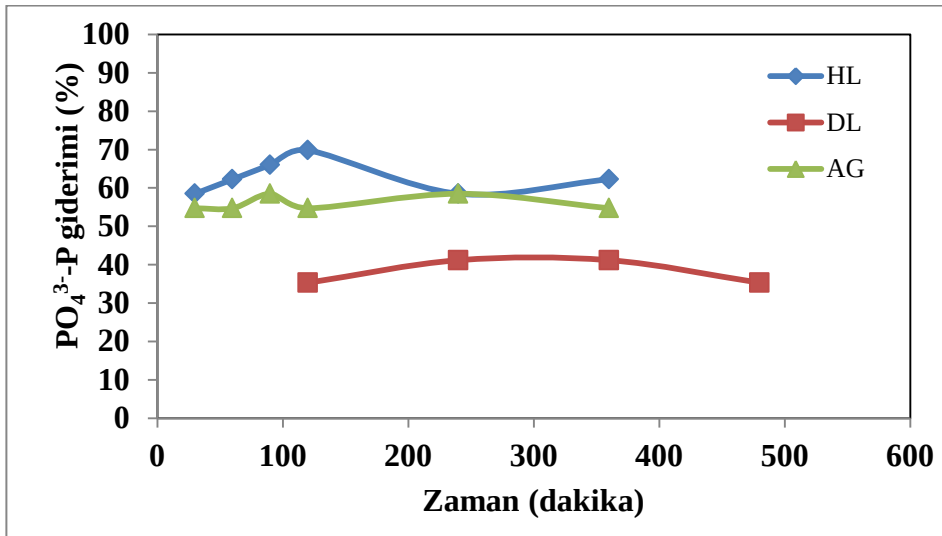
Şekil 4.18’de membranlara ait 10 barda elde edilen sülfat giderimi verilmiştir. Her üç membranda %99’un üzerinde giderim performansı göstermiştir.



Şekil 4.18 Membranların zamana karşı SO_4^{2-} giderimleri

NF/RO membranlarının PO_4^{3-} iyonu giderimi

Şekil 4.19’da membranlara ait 10 bar’lık uygulama basıncında hesaplanan PO_4^{3-} iyonu giderimleri verilmiştir. HL, DL ve AG membranlarına ait ortalama PO_4^{3-} iyonu giderimi sırasıyla %68, %38 ve %56’dır.

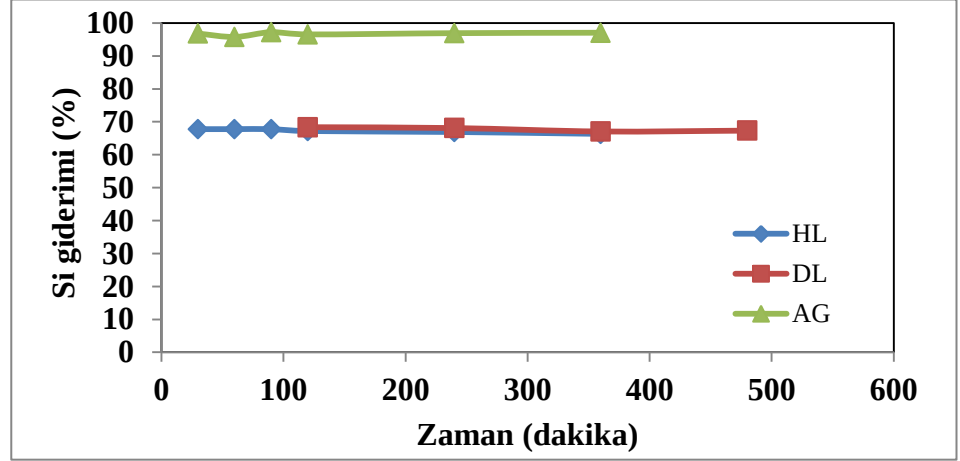


Şekil 4.19 Membranların zamana karşı PO_4^{3-} -P giderimleri

NF/RO membranlarına ait diğer maddelerin giderimi

NF/RO membranlarının silisyum giderimi

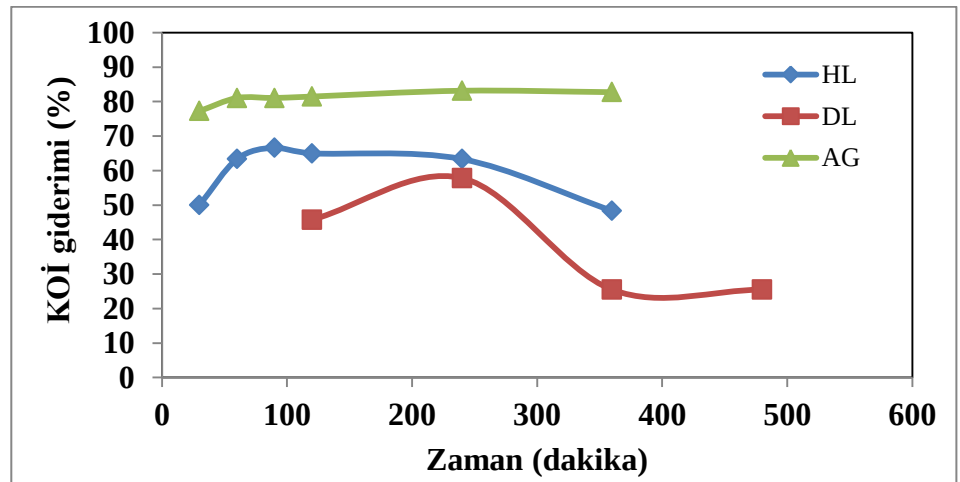
Silisyum gideriminde NF membranları benzer davranış sergilemişlerdir. HL ve DL membranları için ortalama silisyum giderimi %67 olarak elde edilmiştir. AG membranı için bu değer %97'dir. Şekil 4.20'de membranlara ait 10 bar'da elde edilen silisyum giderim performansları verilmiştir.



Şekil 4.20 Membranların zamana karşı silisyum giderimleri

NF/RO membranlarının KOİ giderimi

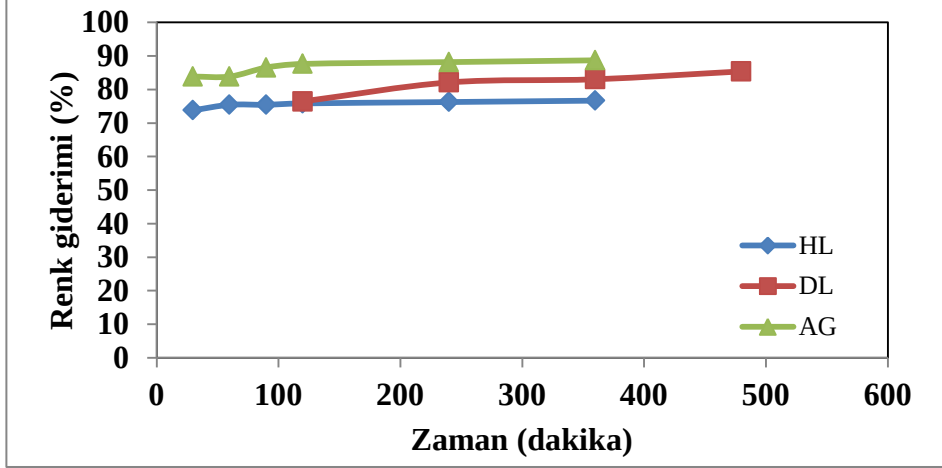
Şekil 4.21'de membranlara ait KOİ giderimi verilmiştir. HL, DL ve AG membranlarına ait 10 bar uygulama basıncında ortalama KOİ giderimi sırasıyla %60, %38 ve %81 olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.21 Membranların zamana karşı KOİ giderimleri

NF/RO membranlarının renk giderimi

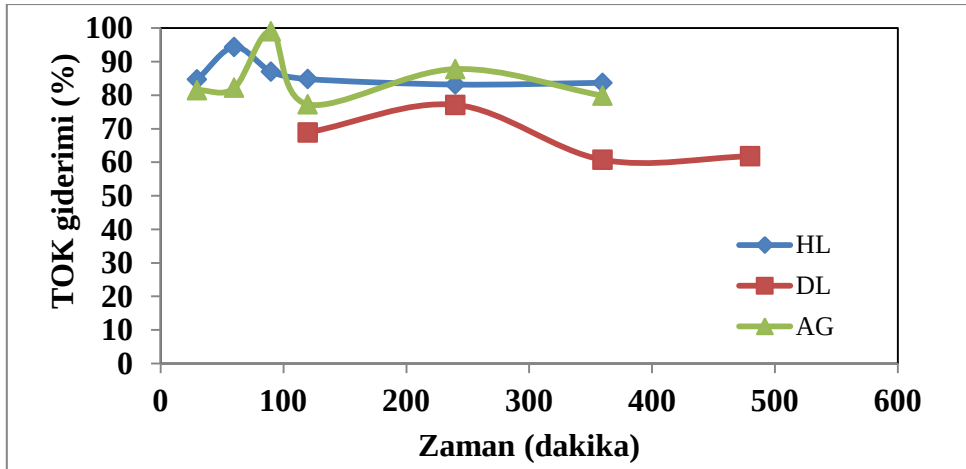
HL, DL ve AG membranlarına ait renk, giderimi, Şekil 4.22’de verilmiştir. Ortalama olarak en yüksek renk giderimini %86 ile AG membranı sağlamıştır. HL ve DL membranlarına ait 10 bar’da elde edilen ortalama renk giderimi ise sırasıyla %75 ve %81’dir.



Şekil 4.22 Membranların zamana karşı renk giderimleri

NF/RO membranlarının TOK giderimi

Şekil 4.23’de HL, DL, ve AG membranlarına ait TOK değerleri verilmiştir. TOK giderimi her üç membran içinde zaman karşı sabit kalmayıp, değişim göstermiştir. Ortalama TOK giderimi, HL, DL ve AG membranı için 10 bar’da sırasıyla %86, %67 ve %84’dür.



Şekil 4.23 Membranların zamana karşı TOK giderimleri

4.2. Laboratuvar çalışmalarına ait sonuçlar

NF ve RO membranları ile elde edilen ürün suyun özellikleri ile sulama suyunun kimyasal kalitesinin değerlendirilmesi için geliştirilmiş parametrelerle karşılaştırılması, Çizelge 4.5’de ve Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY) ile sulama suyu standartlarıyla karşılaştırılması Çizelge 4.6’da verilmiştir. Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği’ne göre AG membranı geçirgenlik hariç, 1. Sınıf su standartlarını sağlamaktadır. SKKY’ne göre AG membranı TÇK, pH, sodyum, amonyum, sülfat, nitrit, KOİ, ve renk parametrelerinde 1. Sınıf su kalite değerlerini sağlamaktadır. Aynı şekilde AG membranı potasyum değeri hariç sulama suyu standartlarını da sağlamaktadır.

Membranların süzöntü akıları değerlendirildiğinde en yüksek süzöntü akısı HL membranı ile elde edilmiştir. Süzöntü akısının yüksek olmasına rağmen, HL membranına ait ürün suyu kalitesi AG membranından daha düşük bulunmuştur. Süzöntü akısı en düşük olan membran ise DL membranıdır. DL membranına ait ürün suyu kalitesi ise HL membranı ile benzerlik göstermektedir.

Çizelge 4. 5 Farklı membranlarla elde edilen ürün suyun kimyasal kalitesinin değerlendirilmesi için geliştirilmiş parametreler ile karşılaştırılması

		HL	DL	AG
SAR		29.3	25.8	7.48
Sodyum (mg/L)		629	690	40
Klorür (mg/L)		1530	1603	73
TÇK (mg/L)		2.42	2.67	0.13
EC (mS/cm)		4.84	5.33	0.25
Tuzluluk		3. sınıf su	3. sınıf su	1. sınıf su
Geçirgenlik		2. sınıf su	1. sınıf su	3. sınıf su
Özgül İyon toksisitesi	Na	3. sınıf D	3. sınıf D	1.sınıf D
	Cl	3. sınıf Y	3. sınıf Y	1. sınıf Y,D
	B	-	-	-

(Y: Yüzey sulaması; D: Damlatmalı sulama)

Çizelge 4. 6 NF ve RO membranları ile elde edilen ürün suyun özellikleri ve SKKY ile sulama suyu standartlarıyla karşılaştırılması

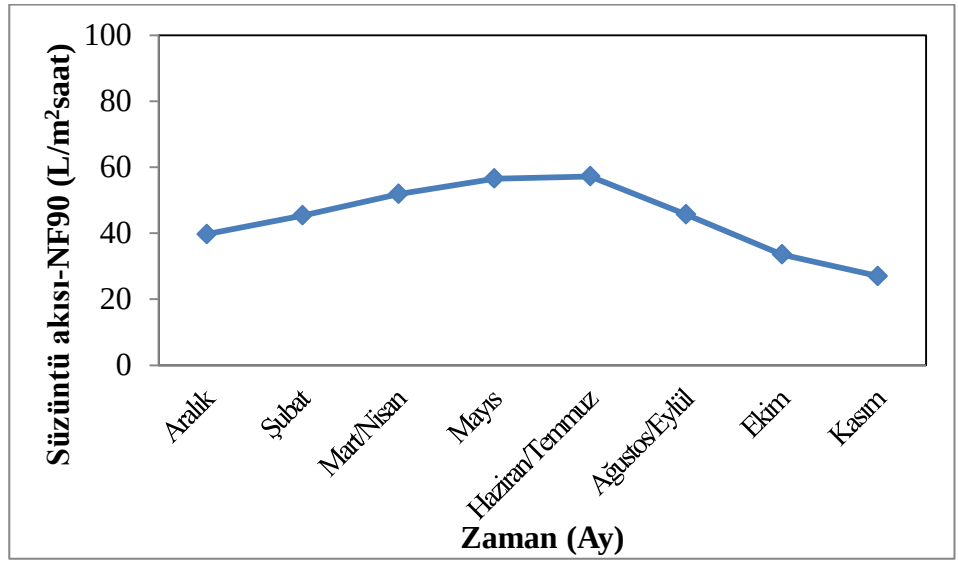
Parametre	Ürün suyun özellikleri			(SKKY) 1. sınıf su değerleri	Sulama suyu standart değerleri [Ayers 1985, Solak, 2010]
Membran	HL-NF	DL-NF	AG- BWRO		
TÇK (mg/L)	2430	2730	120	500	0-2000
İletkenlik (mS/cm)	4.86	5.33	0.25	SB ¹	0-3.00
pH	7.14	7.53	6.84	6.5-8.5	6.5-8.80
Tuzluluk (psu)	2.37	2.65	0.12	SB ¹	0-1.94
Bulanıklık (NTU)	0.17	0.21	0.17	SB ¹	0-0.20
Na ⁺ (mg/L)	629	690	40	125	0-920
Ca ²⁺ (mg/L)	27.8	44.3	1.35	SB ¹	0-400
K ⁺ (mg/L)	102	114	4.80	SB ¹	0-2.00
Mg ²⁺ (mg/L)	4.13	5.7	0.50	SB ¹	0-60.0
NH ₄ -N (mg/L)	0.06	0.06	0.06	0.2	0-5.00
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	98.3	151	14.8	SB ¹	0-610
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	0.50	0.50	6.61	200	0-960
Cl ⁻ (mg/L)	1530	1603	73	25	0-1065
PO ₄ -P (mg/L)	0.10	0.11	0.12	0.02	0-2.00
NO ₃ -N (mg/L)	34.3	34	8.00	5	0-10.0
NO ₂ -N (mg/L)	0.005	0.007	0.002	0.002	SB ¹
Si (mg/L)	1.14	1.24	0.04	SB ¹	SB ¹
KOİ (mg/L)	4.87	11.2	4.48	25	SB ¹
Renk (Hazen)	2.97	3.9	2.52	5	SB ¹
TOK (mg/L)	3.02	4.78	1.43	SB ¹	SB ¹
SAR	29.3	25.8	7.48	SB ¹	SB ¹

¹Standart Belirtilmemiş.

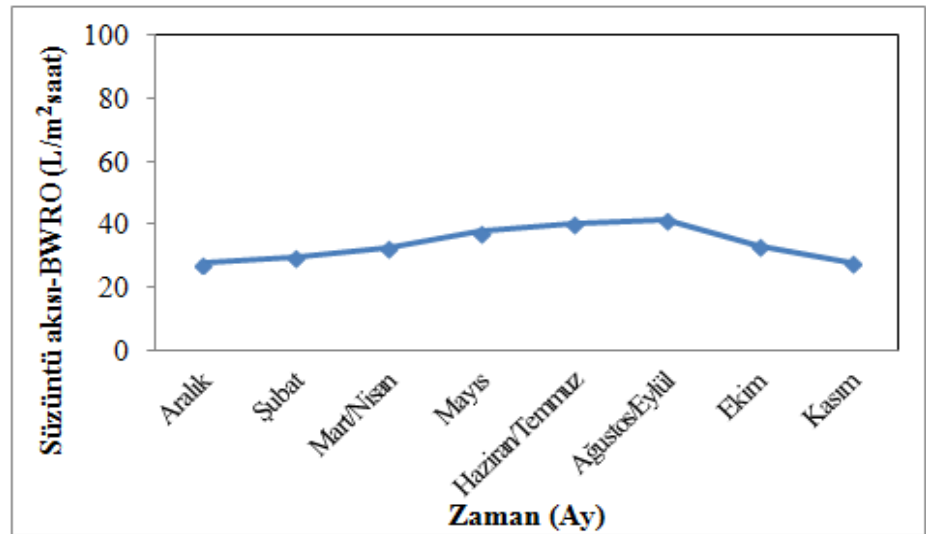
4.3. İTOB-OSB’de Gerçekleştirilen Mevsimsel Çalışmalar

NF/RO membranlarına ait süzüntü akı değerleri

Şekil 4.24 ve 4.25’de MBR çıkış suyunun besleme suyu olarak kullanılmasıyla gerçekleştirilen NF90 ve BW30 membranlarına ait 10 bar işletme basıncında elde edilen süzüntü akı değerleri verilmiştir. 10 bar işletme basıncında elde edilen en yüksek süzüntü akısı NF90 membranı için Haziran/Temmuz aylarında $57.23 \text{ L/m}^2\text{saat}$, BW30 membranını için Ağustos/Eylül aylarında $41.3 \text{ L/m}^2\text{saat}$ ’dir.



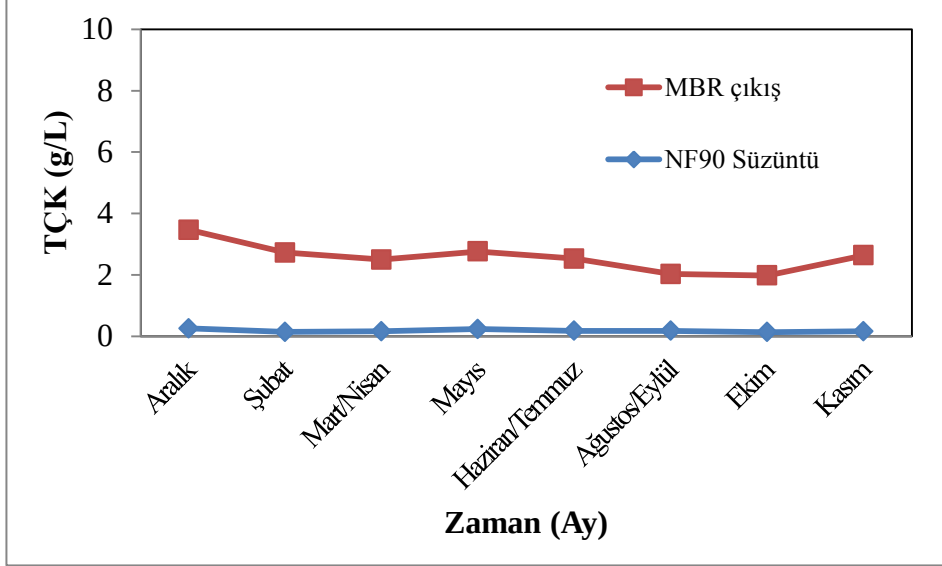
Şekil 4.24 NF90 membranına ait süzüntü akı değerlerinin mevsimsel değişimi



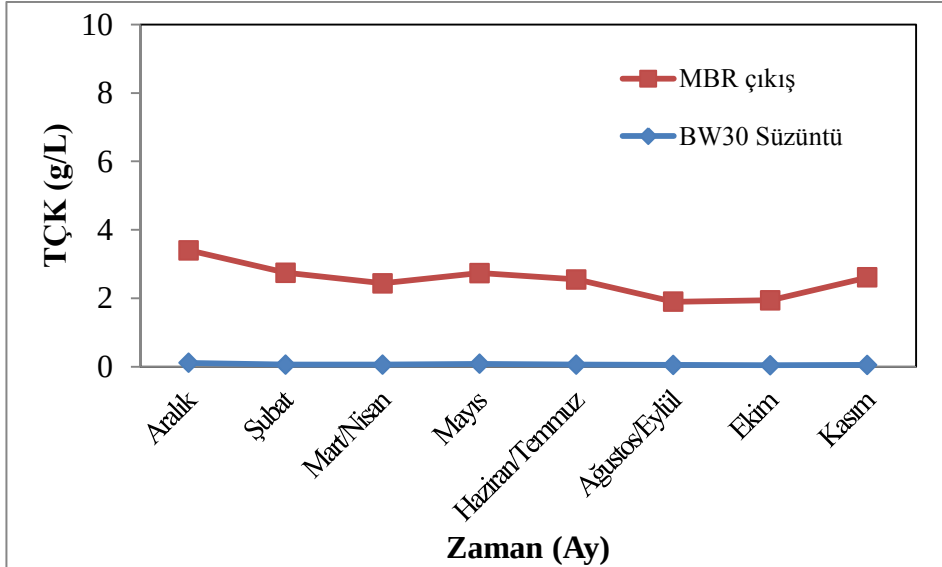
Şekil 4.25 BW30 membranına ait süzüntü akı değerlerinin mevsimsel değişimi

MBR çıkış ve NF/RO membranları ürün suyuna ait TÇK değerleri

MBR çıkış ve membranlara ait süzöntü suyundaki TÇK değerleri Şekil 4.26 ve 4.27’de verilmiştir. MBR çıkış suyundaki en yüksek TÇK değeri, Aralık ayında elde edilmiştir. Süzöntü suyundaki ortalama TÇK değeri NF90 membranı için 0.17 g/L, BW30 membranı için 0.07 g/L’dir.



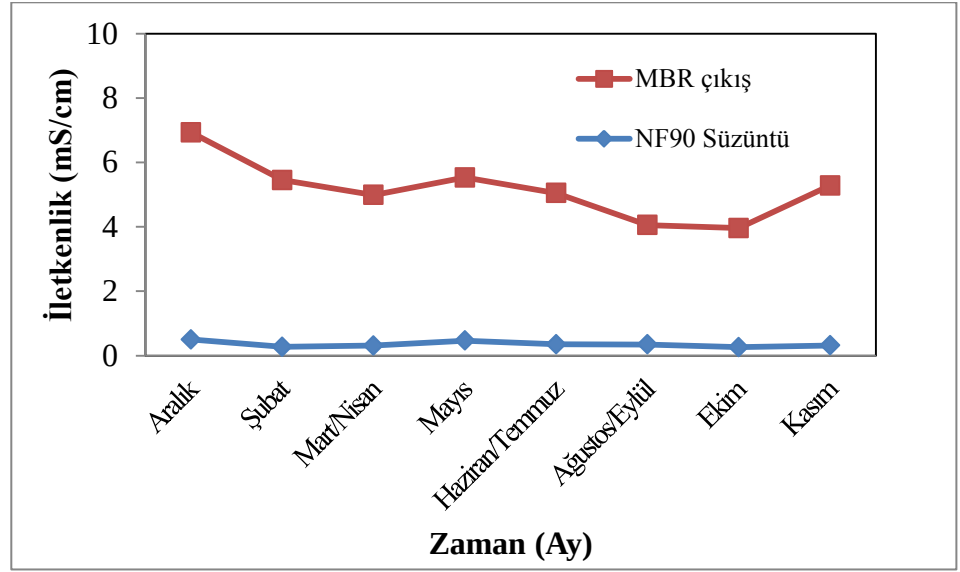
Şekil 4.26 NF90 membranına ait besleme ve süzöntü suyundaki TÇK değerlerinin mevsimsel değişimi



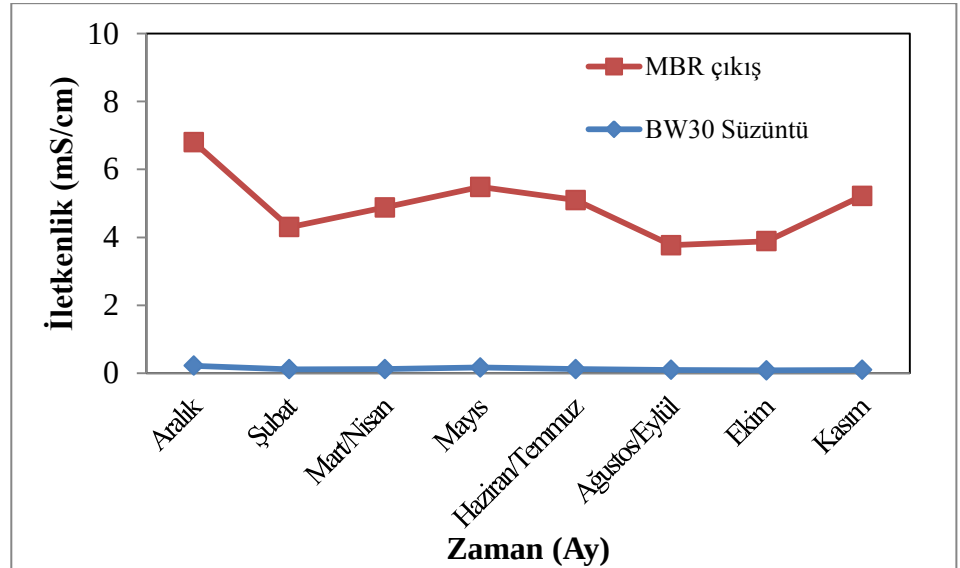
Şekil 4.27 BW30 membranına ait besleme ve süzöntü suyundaki TÇK değerlerinin mevsimsel değişimi

MBR çıkış ve NF/RO membranları ürün suyuna ait iletkenlik değerleri

Şekil 4.28 ve 4.29’da MBR çıkış suyu ve membranlara ait süzüntü suyundaki iletkenlik değerleri verilmiştir. RO membranı NF membranına göre daha yoğun bir membran olduğundan bu membranın süzüntü suyunda aylara bağlı iletkenlik değerleri de çok daha düşüktür. En düşük iletkenlik değeri BW30 süzüntüsü için 90 $\mu\text{S}/\text{cm}$ iken, NF90 için bu değer 260 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ’dir. MBR çıkış suyundaki ortalama iletkenlik değeri ise 5.13 mS/cm ’dir.



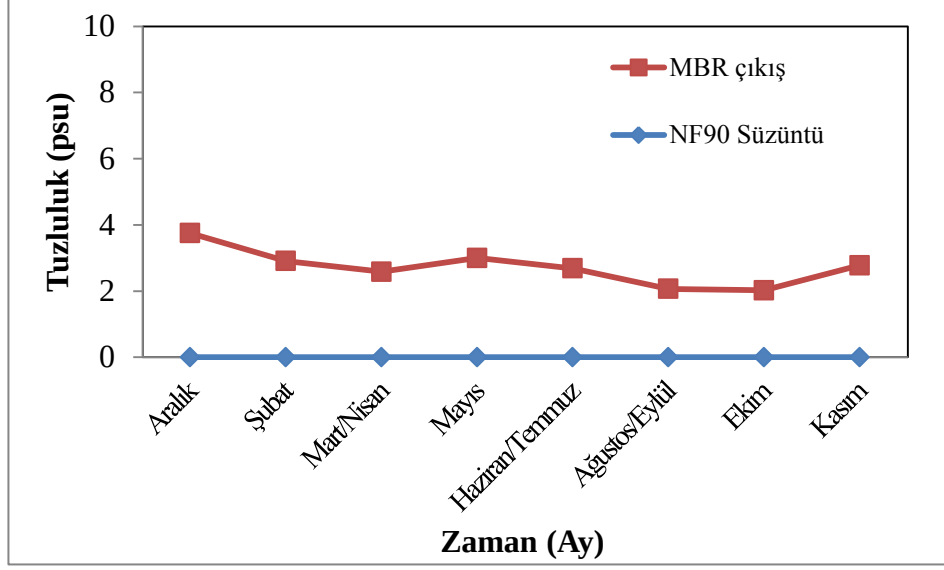
Şekil 4.28 NF90 membranına ait besleme ve süzüntü suyundaki iletkenlik değerlerinin mevsimsel değişimi



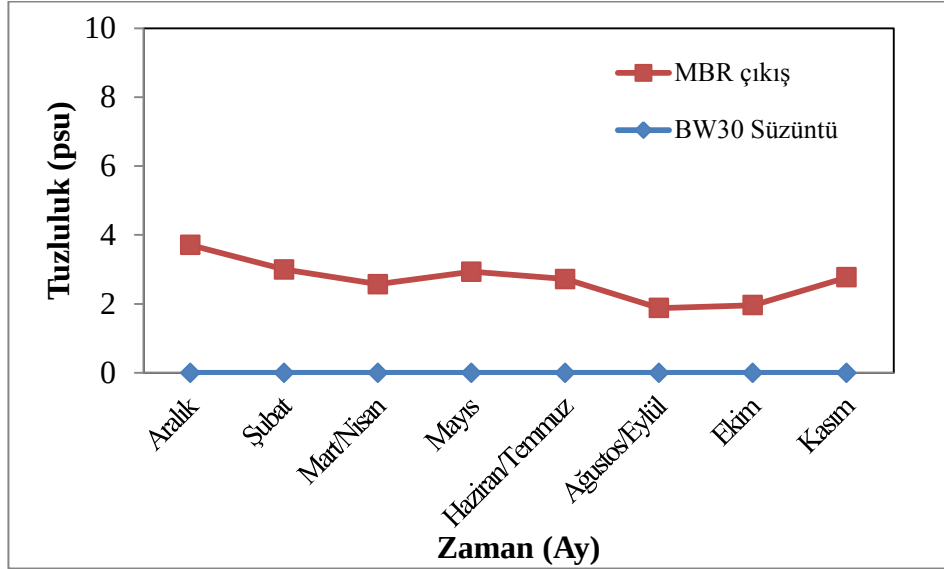
Şekil 4.29 BW30 membranına ait besleme ve süzüntü suyundaki iletkenlik değerlerinin mevsimsel değişimi

MBR çıkış ve NF/RO membranları ürün suyuna ait tuzluluk değerleri

NF90 ve BW30 membranlarından elde edilen süzüntü suyundaki tuzluluk değerleri aylara bağlı değişim göstermeyip sabit kalmıştır. NF90 ve BW30 süzüntüleri için tuzluluk değeri ‰ 0'dır. MBR çıkış suyundaki en yüksek tuzluluk değerine Aralık ayında rastlanılmıştır. Şekil 4.30 ve 4.31'de membranlara ve MBR çıkış suyuna ait tuzluluk değerleri verilmiştir.



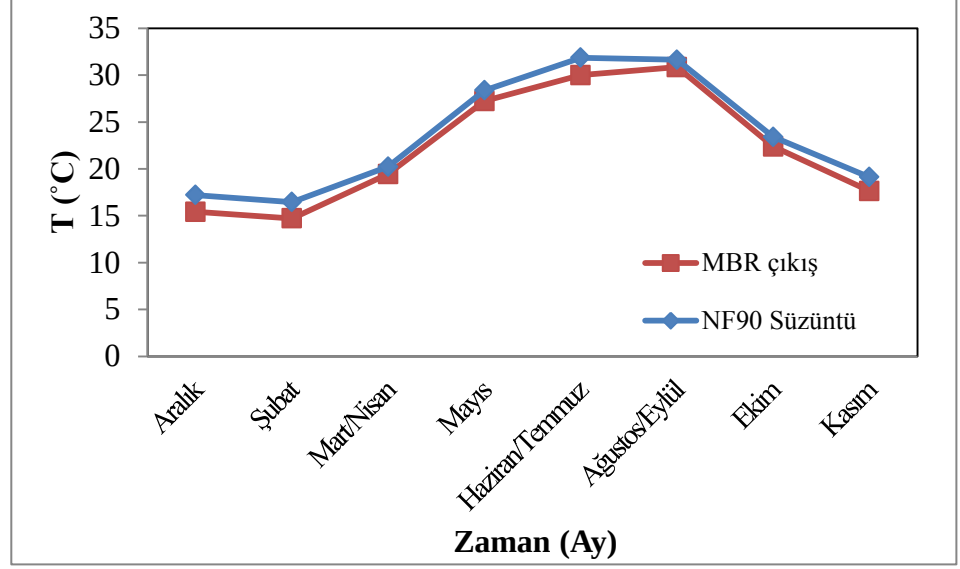
Şekil 4.30 NF90 membranına ait besleme ve süzüntü suyundaki tuzluluk değerlerinin mevsimsel değişimi



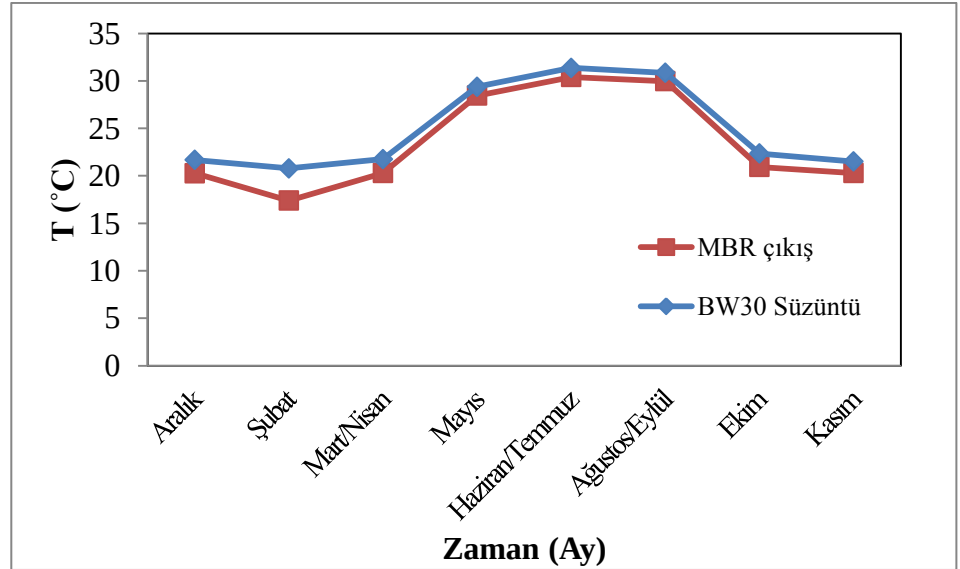
Şekil 4.31 BW30 membranına ait besleme ve süzüntü suyundaki tuzluluk değerlerinin mevsimsel değişimi

MBR çıkış ve NF/RO membranları ürün suyuna ait sıcaklık değerleri

Çalışma boyunca ölçülen sıcaklık değerleri, Şekil 4.32 ve 4.33’de verilmiştir. MBR çıkış suyuna ait en yüksek su sıcaklığı 30.6°C ile Ağustos/Eylül aylarında ölçülmüştür.



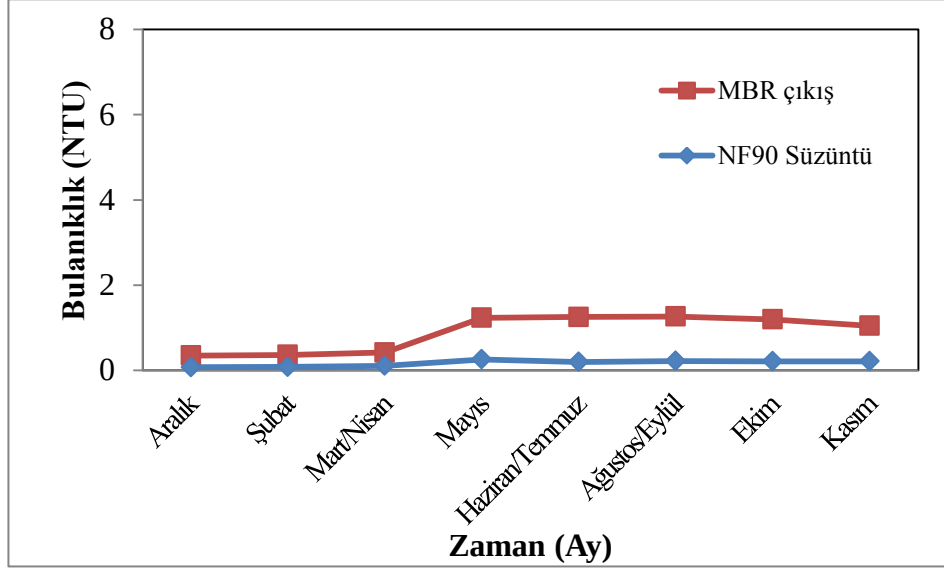
Şekil 4.32 NF90 membranına ait besleme ve süzöntü suyundaki sıcaklık değerlerinin mevsimsel değişimi



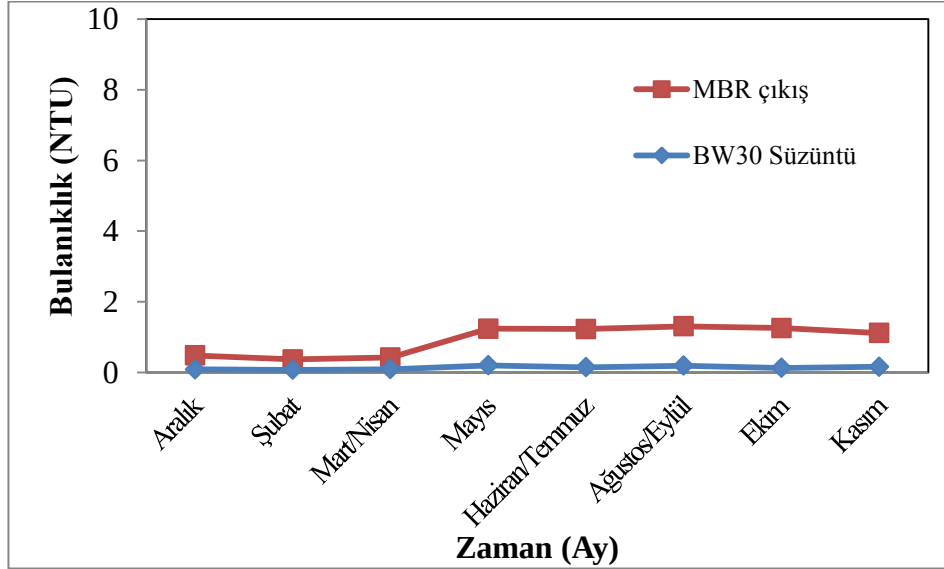
Şekil 4.33 BW30 membranına ait besleme ve süzöntü suyundaki sıcaklık değerlerinin mevsimsel değişimi

MBR çıkış ve NF/RO membranları ürün suyuna ait bulanıklık değerleri

Membranlara ait süzöntü suyundaki bulanıklık değerlerinde, NF90 ve BW30 membranı arasında çok büyük farklılıklar gözlenmemiştir. Ortalama bulanıklık değeri MBR çıkış suyu için 0.98 NTU, NF90 membranı için 0.16 NTU, BW30 membranı için 0.13 NTU olarak bulunmuştur. MBR çıkış ve membranlara ait bulanık değerleri Şekil 4.34 ve 4.35’de verilmiştir.



Şekil 4.34 NF90 membranına ait besleme ve süzöntü suyundaki bulanıklık değerlerinin mevsimsel değişimi

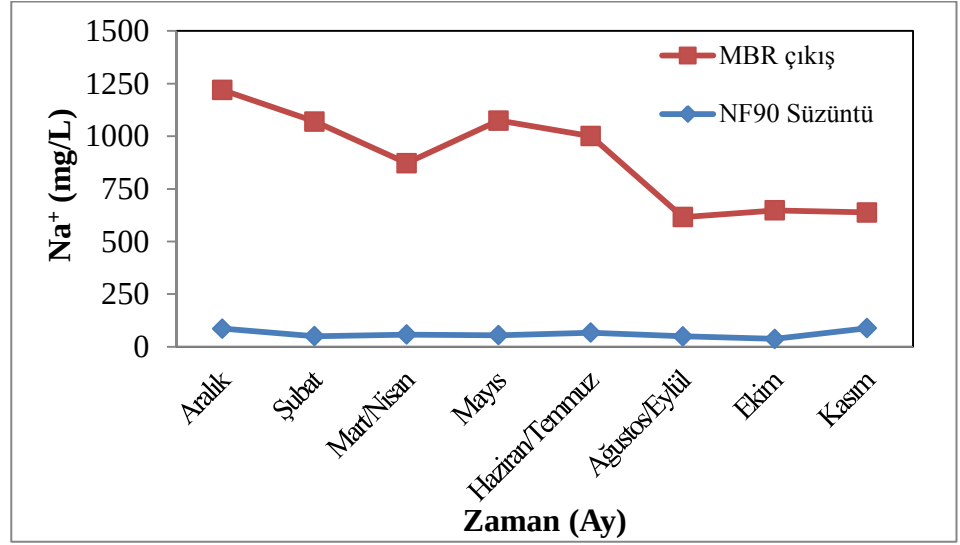


Şekil 4.35 BW30 membranına ait besleme ve süzöntü suyundaki bulanıklık değerlerinin mevsimsel değişimi

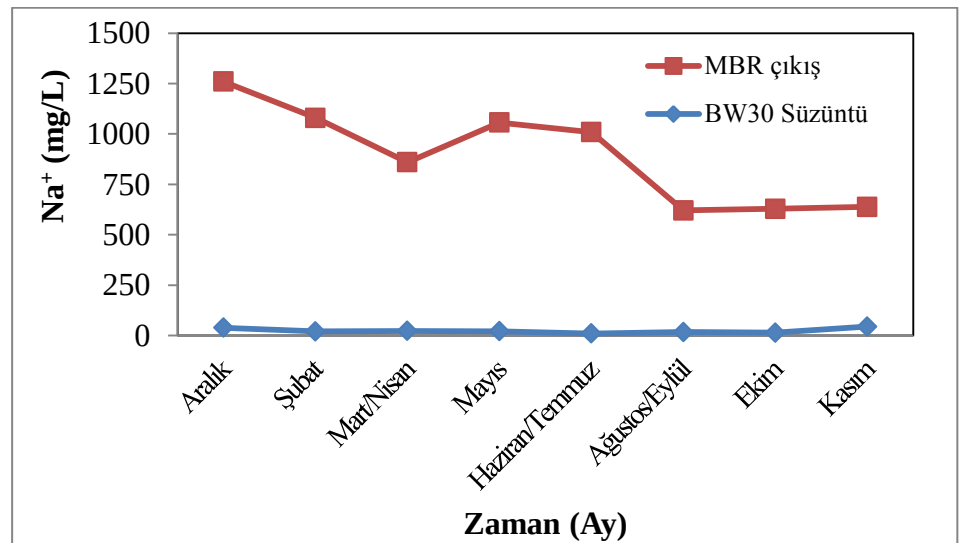
NF/RO membranlarına ait monovalent iyon giderimleri

MBR çıkış ve NF/RO membranları ürün suyundaki Na^+ iyon derişimi

Şekil 4.36 ve 4.37’de MBR çıkış suyu ve membranlara ait Na^+ iyonu mevsimsel derişim değerleri verilmiştir. En düşük süzöntü suyu Na^+ iyonu derişim NF90 membranı için 37 mg/L ile Ekim ayında, BW30 membranı için 10 mg/L ile Haziran/Temmuz ayında elde edilmiştir. MBR çıkış suyundaki en yüksek Na^+ iyon derişimi ise Aralık ayında ölçülmüştür ve sıcaklığa göre Na^+ iyonu derişiminde azalma gözlenmiştir.



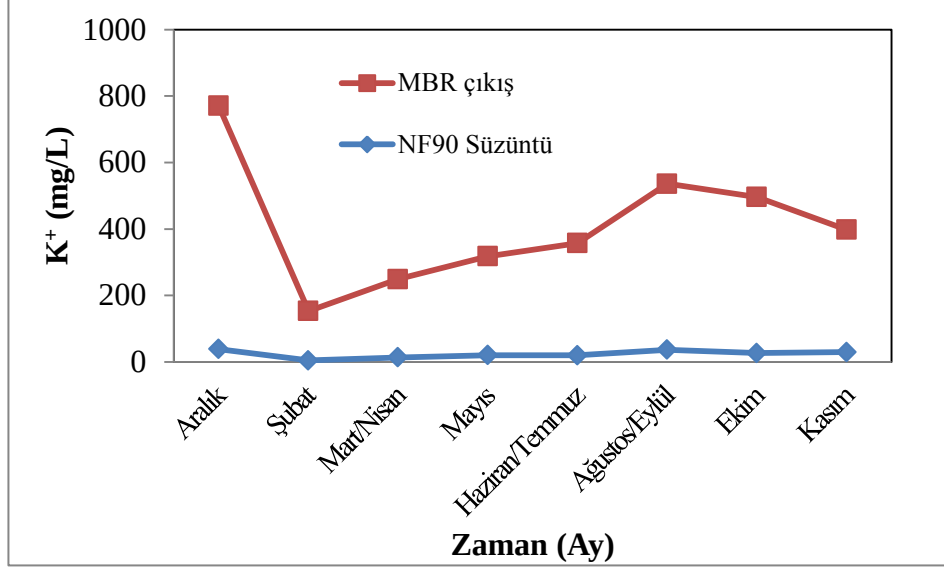
Şekil 4.36 NF90 membranına ait besleme ve süzöntü suyundaki Na^+ iyonu derişiminin mevsimsel değışimi



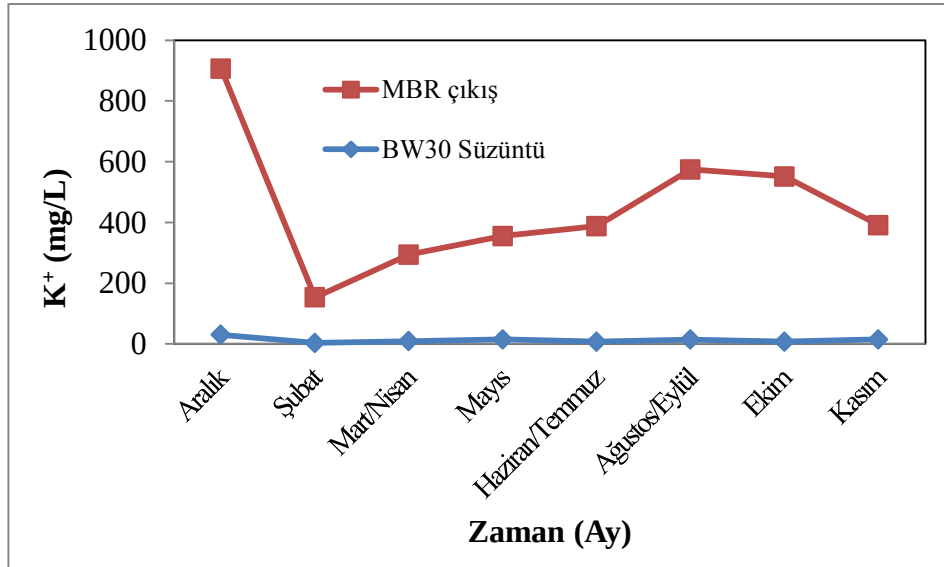
Şekil 4.37 BW30 membranına ait besleme ve süzöntü suyundaki Na^+ iyonu derişiminin mevsimsel değışimi

MBR çıkış ve NF/RO membranları ürün suyundaki K^+ iyon derişimi

NF90 ve BW30 membranına ait K^+ iyonu derişimleri Şekil 4.38 ve 4.39’da verilmiştir. Besleme suyuna ait en yüksek ve en düşük K^+ iyonu değerine sırasıyla Aralık ve Şubat ayında rastlanılmıştır. Süzüntü içindeki ortalama K^+ iyonu değeri NF90 membranı için 22 mg/L, BW30 membranı için 12 mg/L olarak ölçülmüştür.



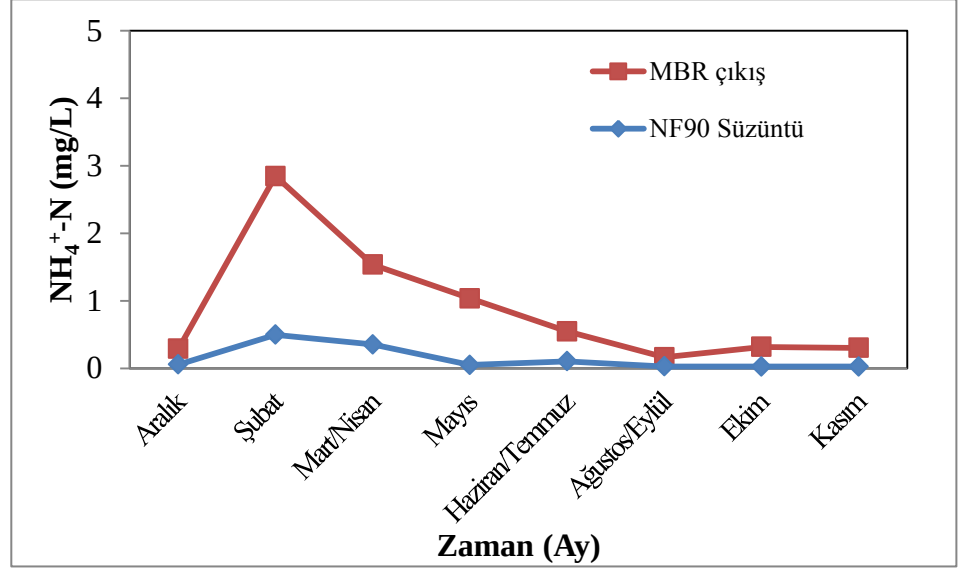
Şekil 4.38 NF90 membranına ait besleme ve süzüntü suyundaki K^+ iyonu derişiminin mevsimsel değışimi



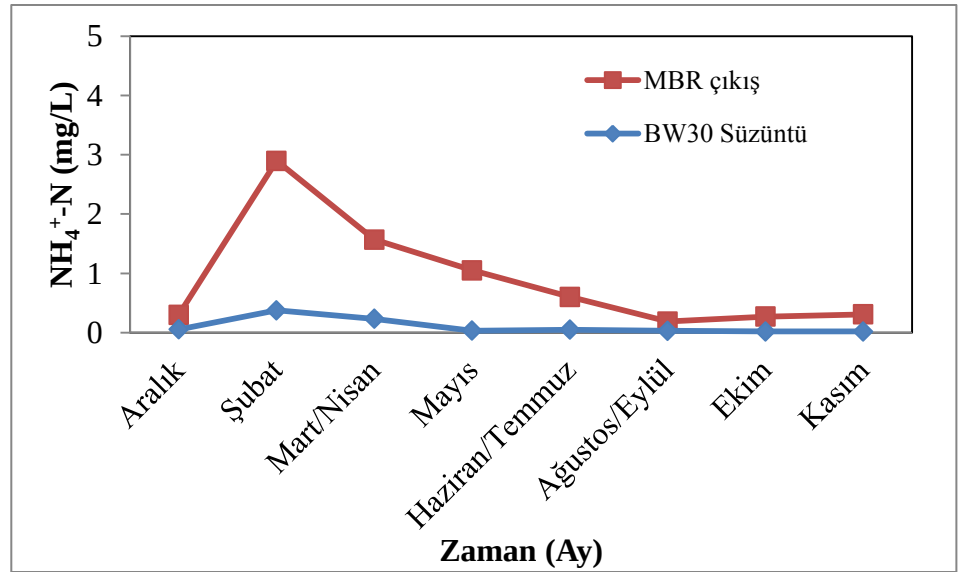
Şekil 4.39 NF90 membranına ait besleme ve süzüntü suyundaki K^+ iyonu derişiminin mevsimsel değışimi

MBR çıkış ve NF/RO membranları ürün suyundaki NH_4^+ iyon derişimi

Şekil 4.40 ve 4.41’de MBR çıkış suyu ve süzöntü içindeki NH_4^+ iyonu derişimleri verilmiştir. MBR çıkış suyundaki en yüksek NH_4^+ iyonu değeri Şubat ayında rastlanılmıştır. Süzöntü suyunda ki NH_4^+ iyon derişimi NF90 membranı için 0.02-0.5 mg/L, BW30 membranı için 0.02-0.3 mg/L arasında değışim göstermiştir.



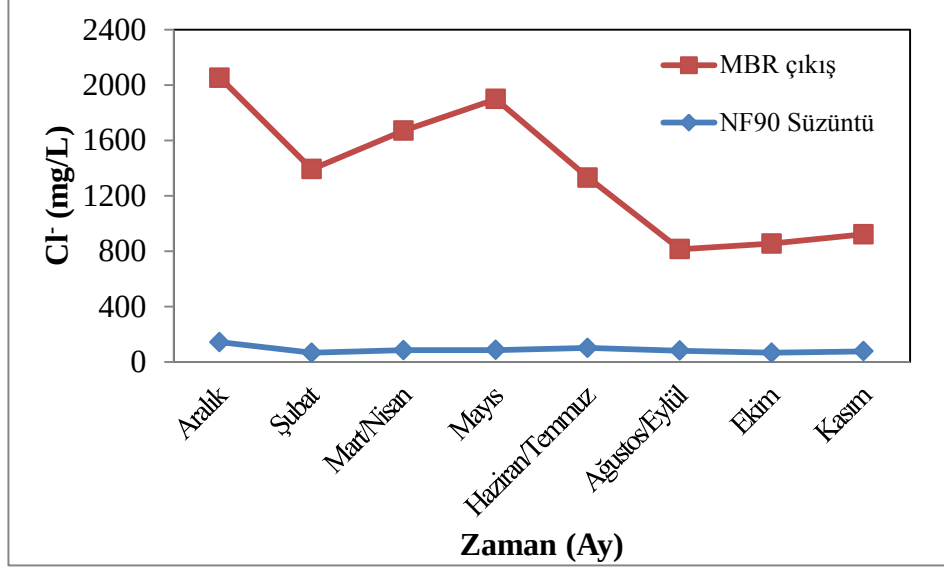
Şekil 4.40 NF90 membranına ait besleme ve süzöntü suyundaki NH_4^+ -N derişiminin mevsimsel değışimi



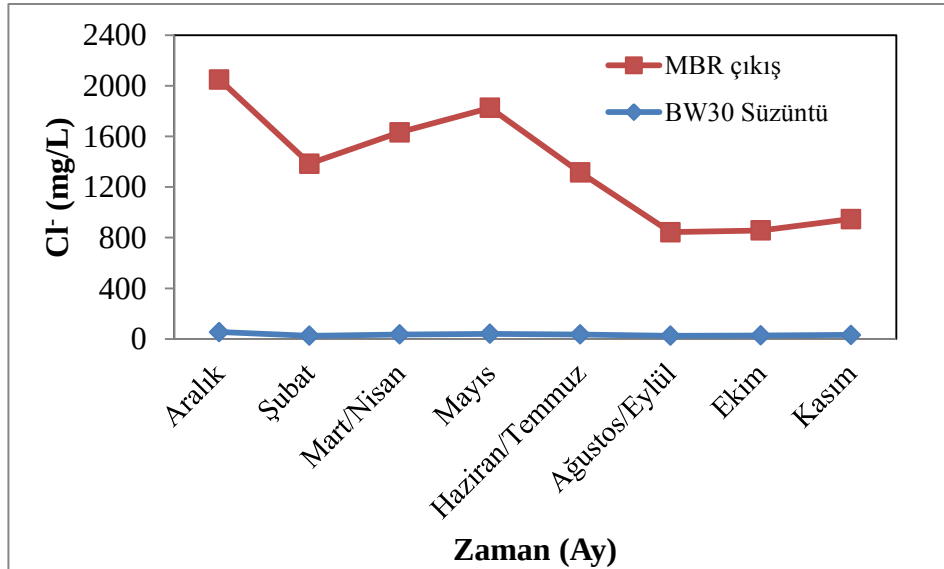
Şekil 4.41 BW30 membranına ait besleme ve süzöntü suyundaki NH_4^+ -N derişiminin mevsimsel değışimi

MBR çıkış ve NF/RO membranları ürün suyundaki Cl^- iyon derişimi

Şekil 4.56 ve 4.57’de MBR çıkış suyu ve süzöntüye ait Cl^- iyonu derişimleri verilmiştir. MBR çıkış suyundaki en yüksek Cl^- iyonu derişimi, Aralık ayında ölçölmüştür. NF90 membranı için süzöntüdeki Cl^- iyonu derişimi 66-143 mg/L, BW30 membranı için ise bu değır 24-54 mg/L arasında değışim göstermiştir.



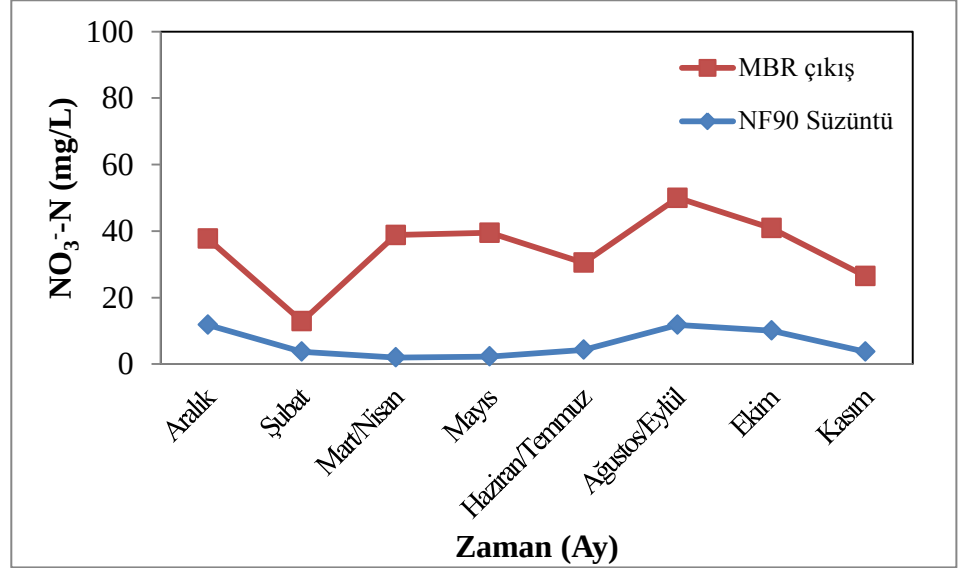
Şekil 4.42 NF90 membranına ait besleme ve süzöntü suyundaki Cl^- iyonu derişiminin mevsimsel değışimi



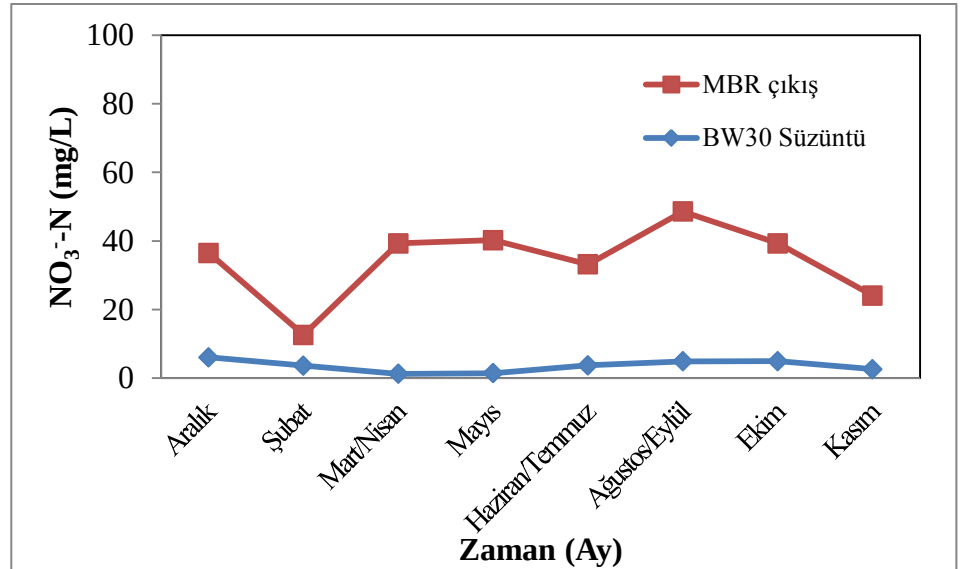
Şekil 4.43 BW30 membranına ait besleme ve süzöntü suyundaki Cl^- iyonu derişiminin mevsimsel değışimi

MBR çıkış ve NF/RO membranları ürün suyundaki NO_3^- iyon derişimi

Şekil 4.44 ve 4.45’de MBR çıkış suyu ve süzöntü suyuna ait nitrat derişimleri verilmiştir. MBR çıkış suyundaki en yüksek NO_3^- iyonu derişimine Ağustos/Eylöl aylarında rastlanılmıştır. Süzöntü suyundaki ortalama NO_3^- iyonu derişimi NF90 membranı için 6.2 mg/L, BW30 membranı için 3.5 mg/L’dir.



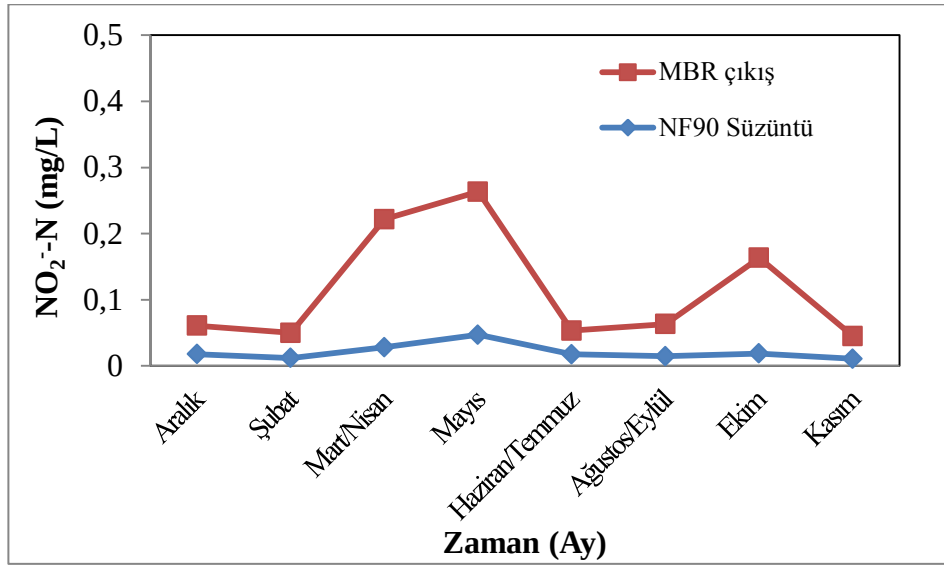
Şekil 4.44 NF90 membranına ait besleme ve süzöntü suyundaki NO_3^- -N derişiminin mevsimsel değışimi



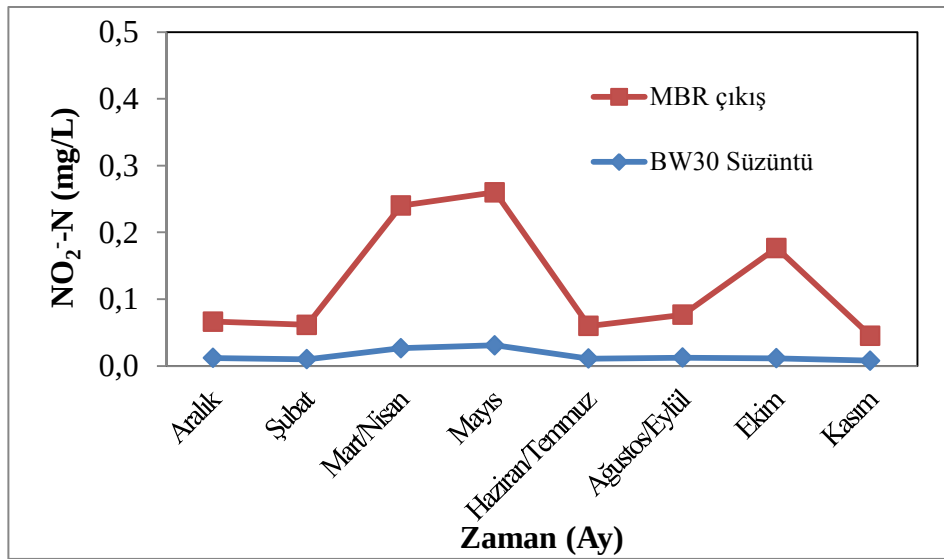
Şekil 4.45 BW30 membranına ait besleme ve süzöntü suyundaki NO_3^- -N derişiminin mevsimsel değışimi

MBR çıkış ve NF/RO membranları ürün suyundaki NO_2^- iyon derişimi

MBR çıkış ve membranlara ait süzöntü suyundaki NO_2^- iyonu derişimi Şekil 4.46 ve 4.47’de verilmiştir. MBR çıkış suyundaki NO_2^- iyonu derişimleri sabit kalmayıp aylara göre değişim göstermiştir. Besleme suyundaki en düşük ve en yüksek NO_2^- iyonu derişimi sırasıyla 0.045 ve 0.26 mg/L olarak ölçölmüştür. En düşük NO_2^- iyonu derişimi NF90 membranı süzöntüsü için 0.01 mg/L, BW30 membranı için 0.008 mg/L’dir.



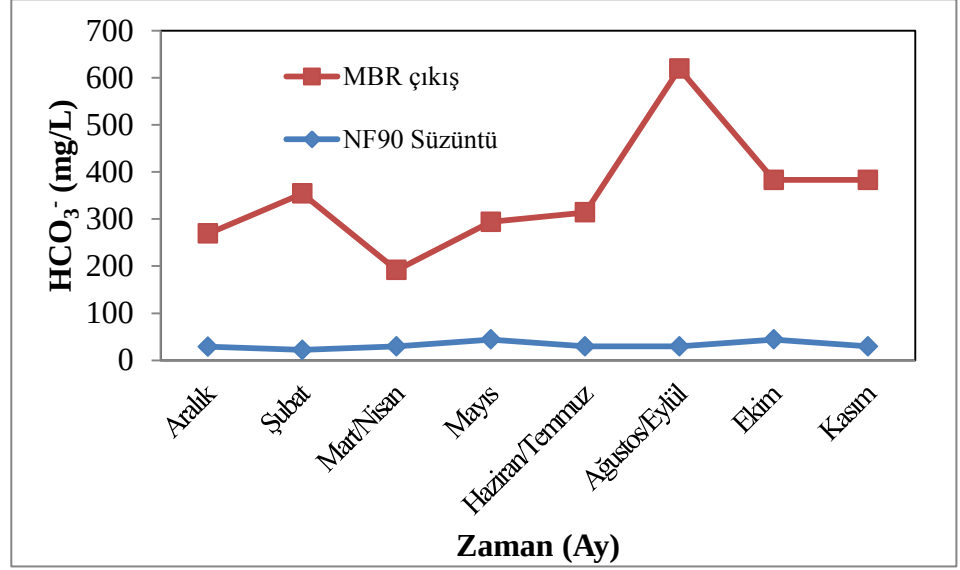
Şekil 4.46 NF90 membranına ait besleme ve süzöntü suyundaki NO_2^- -N derişiminin mevsimsel değişimi



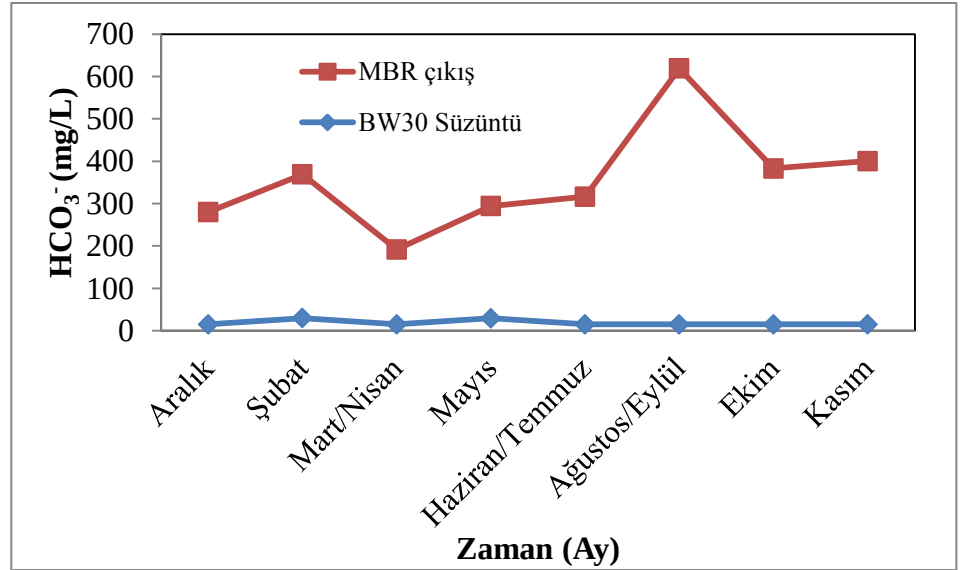
Şekil 4.47 BW30 membranına ait besleme ve süzöntü suyundaki NO_2^- -N derişiminin mevsimsel değişimi

MBR çıkış ve NF/RO membranları ürün suyundaki HCO_3^- iyon derişimi

MBR çıkış suyundaki en yüksek HCO_3^- iyon derişimi 619 mg/L ile Ağustos/Eylül aylarında rastlanılmıştır. Süzüntü suyundaki HCO_3^- iyon derişimi NF90 membranı için 22-44 mg/L, BW30 membranı için 14-29 mg/L arasında değişim göstermiştir. Şekil 4.48 ve 4.49’da MBR çıkış ve süzüntü suyuna ait HCO_3^- iyon derişimleri verilmiştir.



Şekil 4.48 NF90 membranına ait besleme ve süzüntü suyundaki HCO_3^- iyonu derişiminin mevsimsel değişimi

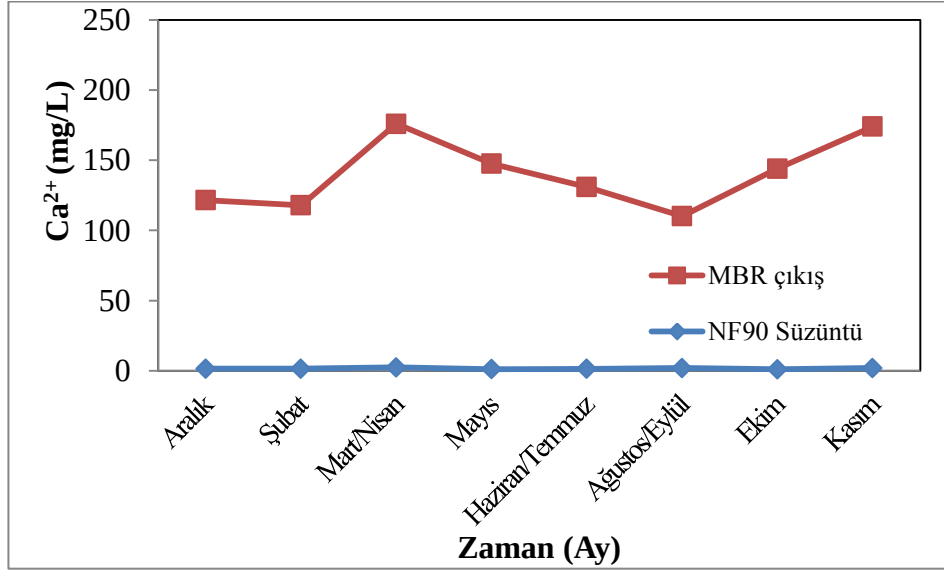


Şekil 4.49 BW30 membranına ait besleme ve süzüntü suyundaki HCO_3^- iyonu derişiminin mevsimsel değişimi

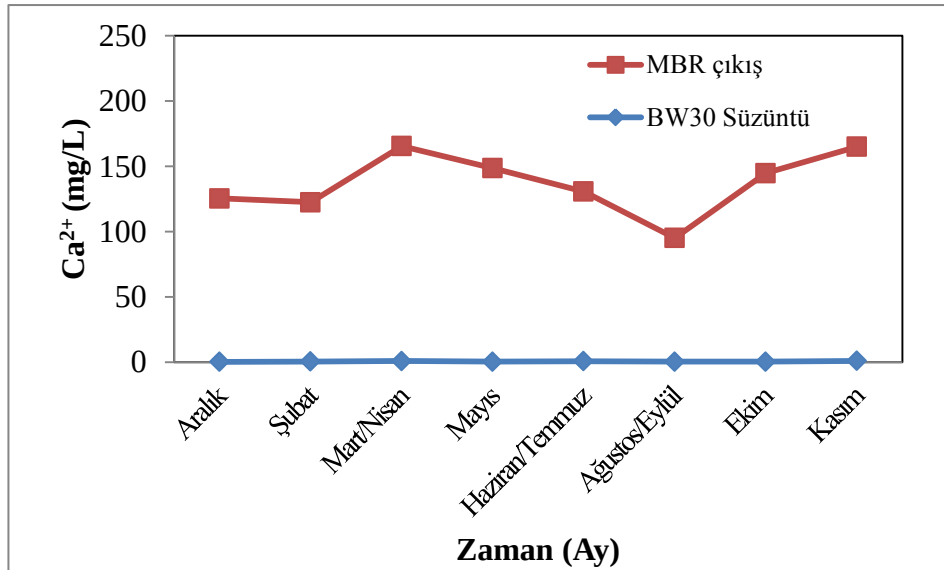
NF/RO membranlarının multivalent iyon giderimleri

MBR çıkış ve NF/RO membranları ürün suyundaki Ca^{2+} iyon derişimi

Şekil 4.50 ve 4.51’de MBR çıkış suyu ve membranlara ait Ca^{2+} iyonu derişimleri verilmiştir. BW30 membranına ait süzöntü suyundaki ortalama Ca^{2+} iyonu derişimi 0.5 mg/L altında bulunmuştur. Bu değeri NF90 membranı için ortalama 1.6 mg/L’dir. Besleme suyundaki Ca^{2+} iyonu derişimi 110-170 mg/L arasında değışim göstermiştir.



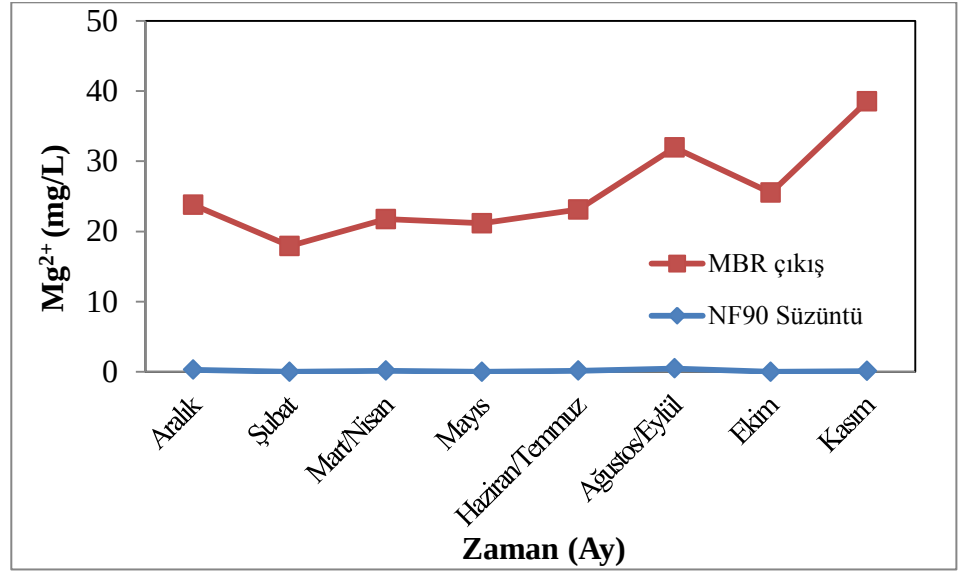
Şekil 4.50 NF90 membranına ait besleme ve süzöntü suyundaki Ca^{2+} iyonu derişiminin mevsimsel değışimi



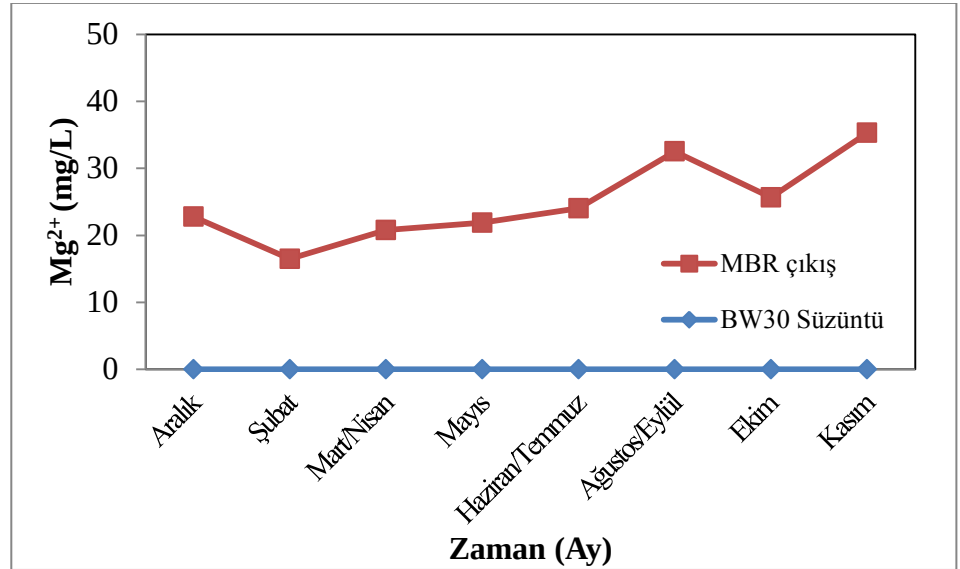
Şekil 4.51 BW30 membranına ait besleme ve süzöntü suyundaki Ca^{2+} iyonu derişiminin mevsimsel değışimi

MBR çıkış ve NF/RO membranları ürün suyundaki Mg^{2+} iyon derişimi

Tüm çalışmalar göz önüne alındığında BW30 membranına ait süzöntü suyun da Mg^{2+} iyonu derişimi tayin sınırının altındadır. NF90 membranı için süzöntü içindeki ortalama Mg^{2+} iyonu derişimi 0.5 mg/L'nin altındadır. Besleme suyundaki en yüksek Mg^{2+} iyonu derişimi 38 mg/L ile Kasım ayında ölçölmüştür. Şekil 4.22 ve 4.53'de besleme suyu ve süzöntüye ait Mg^{2+} iyonu derişimleri verilmiştir.



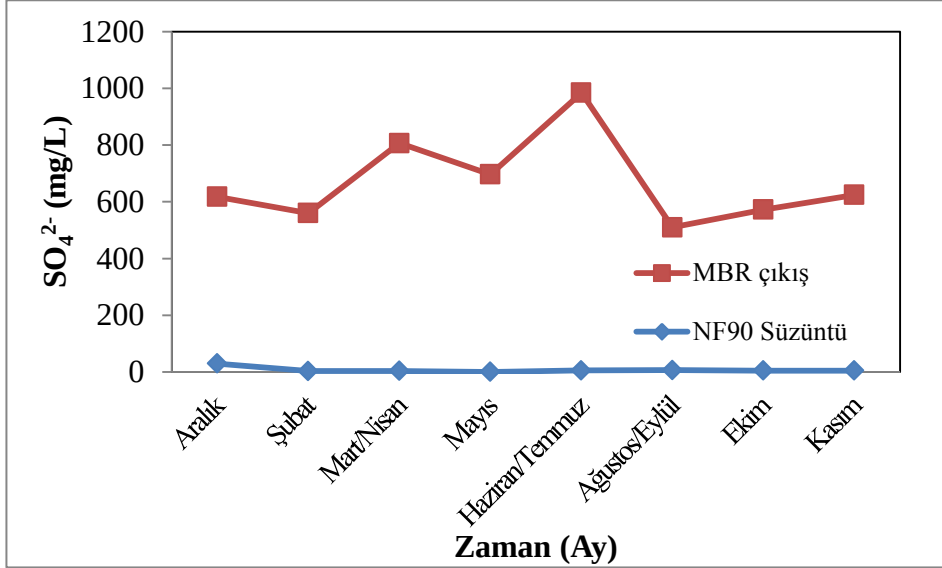
Şekil 4.52 NF90 membranına ait besleme ve süzöntü suyundaki Mg^{2+} iyonu derişiminin mevsimsel değışimi



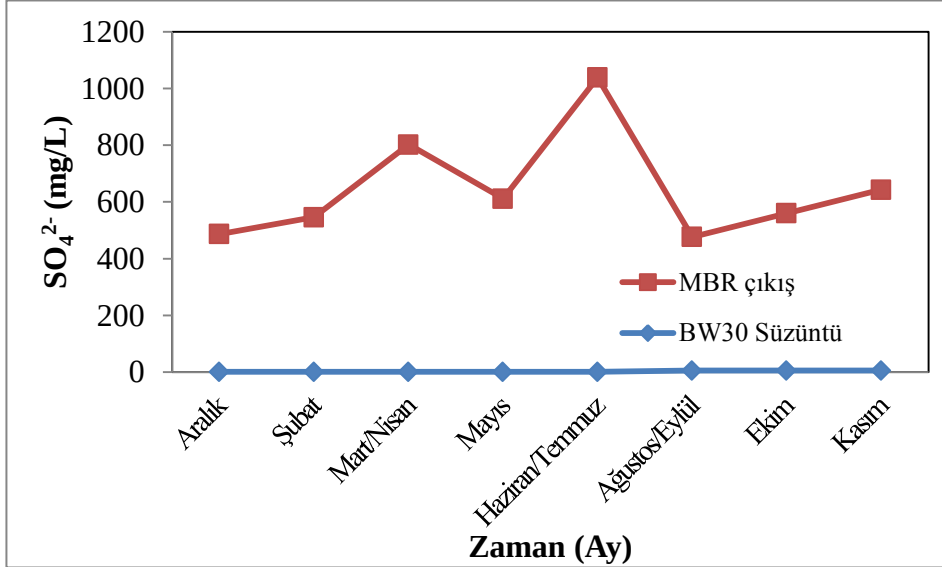
Şekil 4.53 BW30 membranına ait besleme ve süzöntü suyundaki Mg^{2+} iyonu derişiminin mevsimsel değışimi

MBR çıkış ve NF/RO membranları ürün suyundaki SO_4^{2-} iyon derişimi

Şekil 4.54 ve 4.55’de besleme suyu ve süzöntüye ait SO_4^{2-} iyonu derişimleri verilmiştir. Besleme suyundaki en yüksek SO_4^{2-} iyonu derişimine Haziran/Temmuz aylarında rastlanılmıştır. NF90 ve BW30 membranı için en düşük SO_4^{2-} iyonu derişimi 0.5 mg/L’dir.



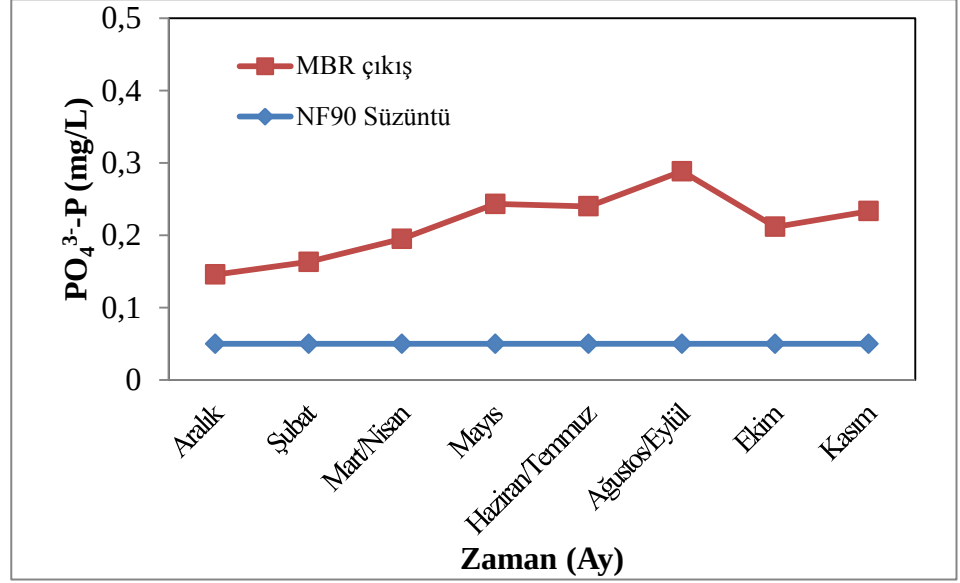
Şekil 4.54 NF90 membranına ait besleme ve süzöntü suyundaki SO_4^{2-} iyonu derişiminin mevsimsel değışimi



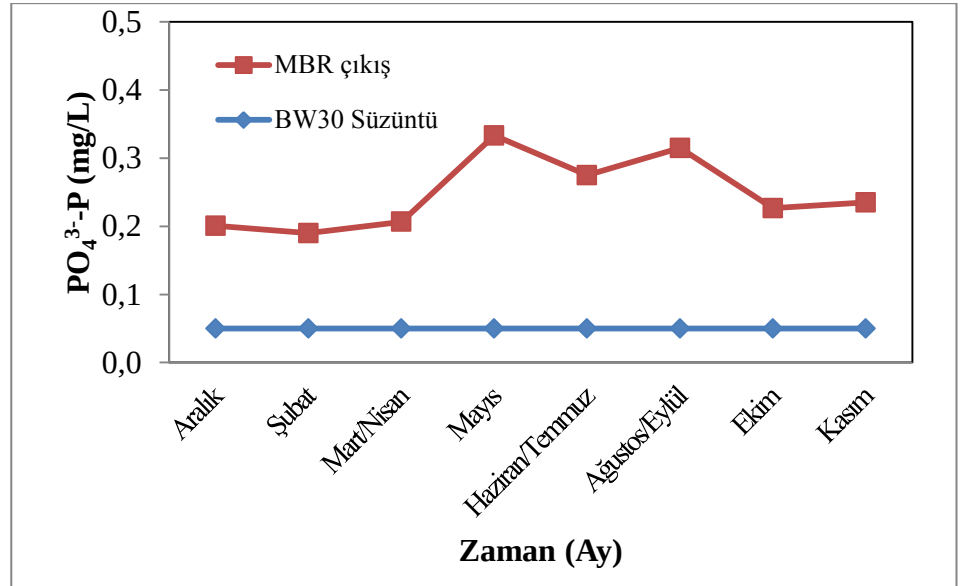
Şekil 4.55 BW30 membranına ait besleme ve süzöntü suyundaki SO_4^{2-} iyonu derişiminin mevsimsel değışimi

MBR çıkış ve NF/RO membranları ürün suyundaki PO_4^{3-} iyon derişimi

Çalışma süresi boyunca NF90 ve BW30 membranına ait süzöntü suyundaki PO_4^{3-} iyonu derişimi 0.05 mg/L'nin altında ölçölmüştür. MBR çıkış suyundaki PO_4^{3-} iyonu değeri ise 0.14-0.33 mg/L arasında değışim göstermiştir. Şekil 4.56 ve 4.57'de besleme ve membranlara ait süzöntü suyundaki PO_4^{3-} iyonu derişimleri verilmiştir.



Şekil 4.56 NF90 membranına ait besleme ve süzöntü suyundaki PO_4^{3-} iyonu derişiminin mevsimsel değışimi

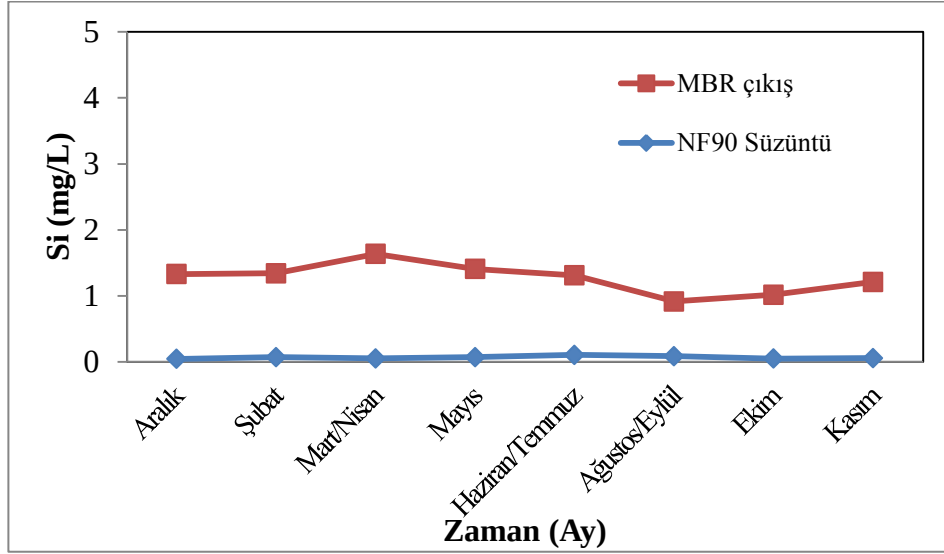


Şekil 4.57 BW30 membranına ait besleme ve süzöntü suyundaki PO_4^{3-} iyonu derişiminin mevsimsel değışimi

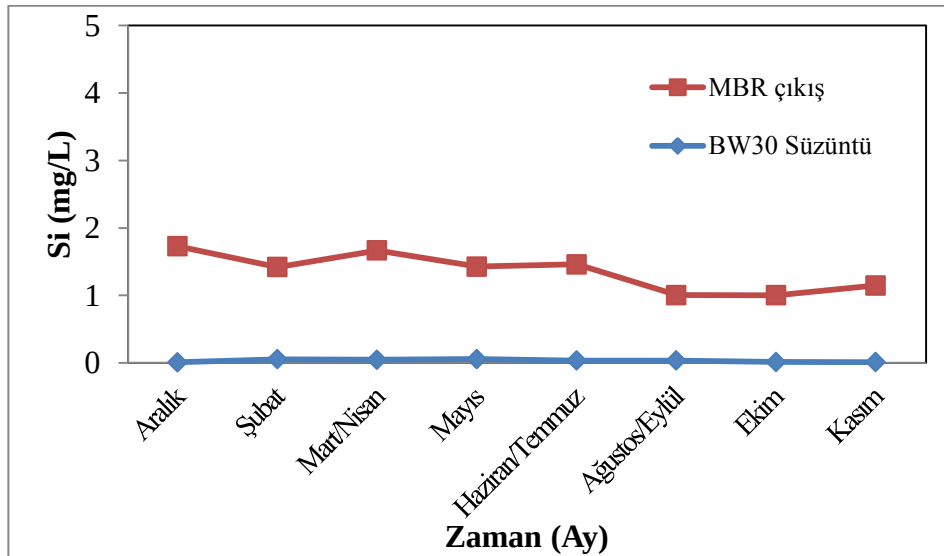
NF/RO membranlarının diğer madde giderimi

MBR çıkış ve NF/RO membranlarının ürün suyundaki silisyum derişimi

NF90 ve BW30 membranına ait ürün suyundaki Si derişimlerinde birbirine yakın sonuçlar elde edilmiştir. Ortalama Si derişimi NF90 membranı için 0.06 mg/L, BW30 membranı için 0.03 mg/L'dir. MBR çıkış suyundaki ortalama Si derişimi ise 1.3 mg/L'dir. Şekil 4.58 ve 4.59'da MBR çıkış ve membranlara ait süzöntü suyundaki Si derişimleri verilmiştir.



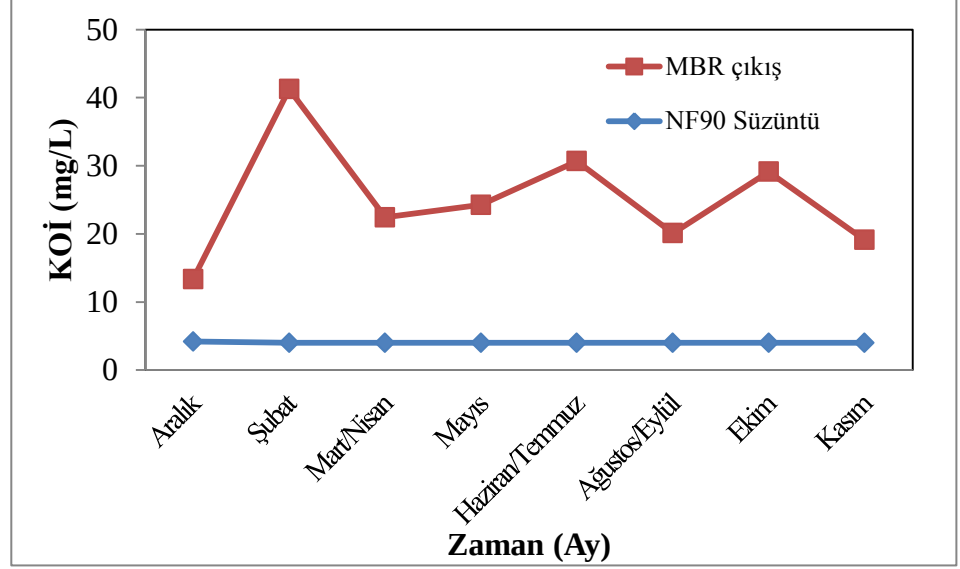
Şekil 4.58 NF90 membranına ait besleme ve süzöntü suyundaki Si derişiminin mevsimsel derişimi



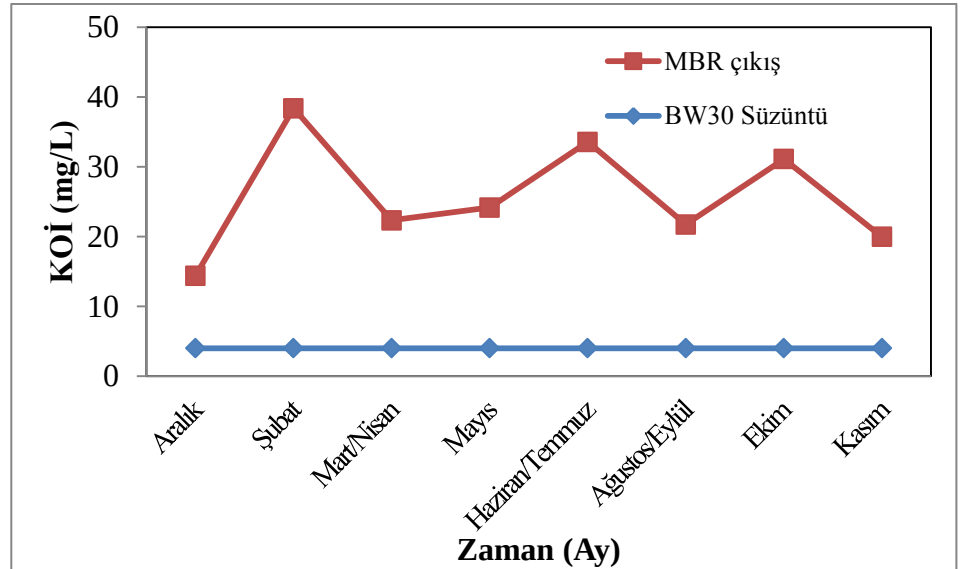
Şekil 4.59 BW30 membranına ait besleme ve süzöntü suyundaki Si derişiminin mevsimsel derişimi

MBR çıkış ve NF/RO membranları ürün suyundaki KOİ derişimi

Şekil 4.60 ve 4.61’de MBR çıkış ve membranlara ait süzöntü sularındaki KOİ derişimleri verilmiştir. NF90 ve BW30 membranlarına ait süzöntü suyunda çalışma süresi boyunca KOİ derişimi 4 mg/L’nin altında çıkmıştır. MBR çıkış KOİ derişimi ise 13-41 mg/L arasında değişim göstermiştir.



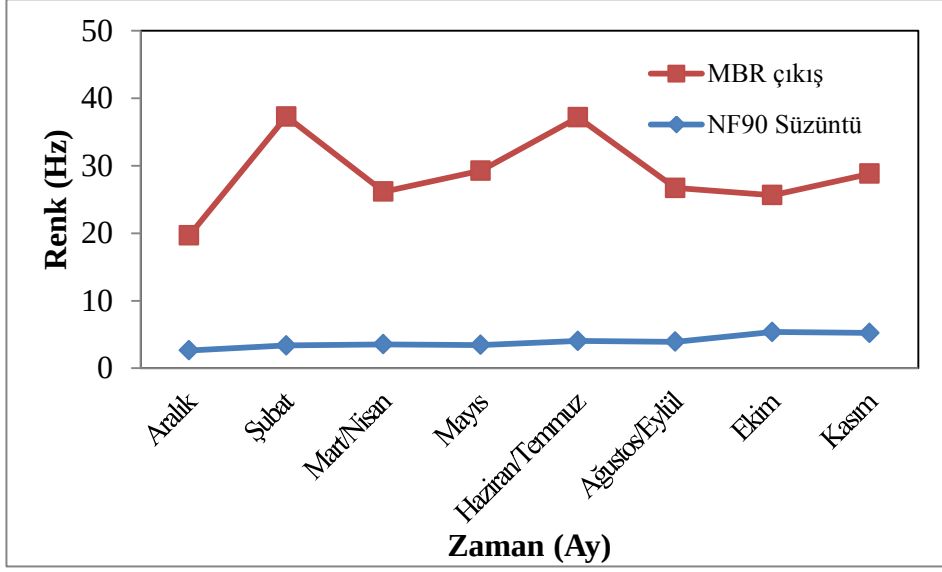
Şekil 4.60 NF90 membranına ait besleme ve süzöntü suyundaki KOİ derişiminin mevsimsel değişimi



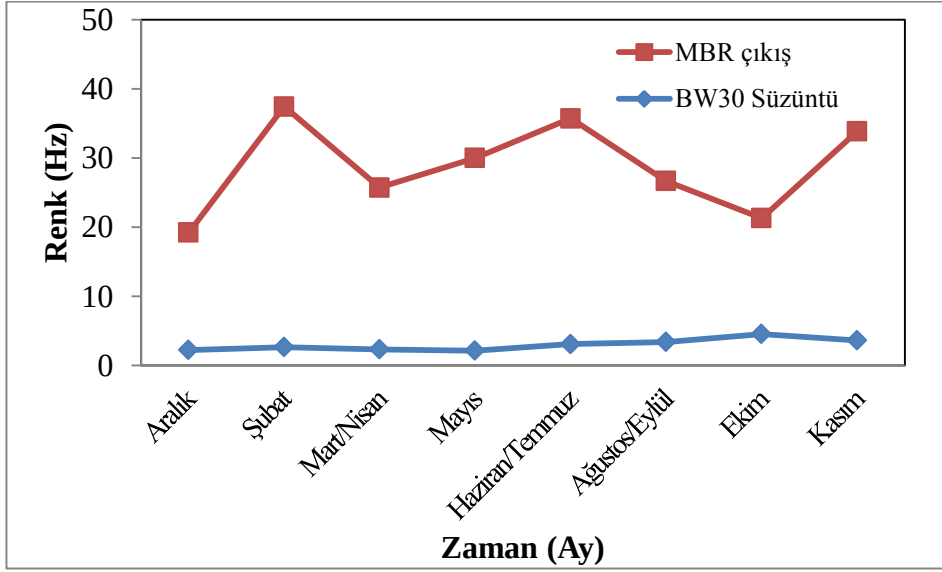
Şekil 4.61 BW30 membranına ait besleme ve süzöntü suyundaki KOİ derişiminin mevsimsel değişimi

MBR çıkış ve NF/RO membranları ürün suyundaki renk derişimi

NF90 ve BW30 membranlarına ait süzöntü suyundaki renk derişimlerinde birbirine benzer sonuçlar elde edilmiştir. Ortalama renk derişimi NF90 membranı süzöntüsü için 3.9 Hz., BW30 membranı için 3 Hz olarak bulunmuştur. Besleme suyundaki renk derişimi ise 19-37 Hz arasında değişim göstermiştir. Şekil 4.62 ve 4.63’de MBR çıkış ve süzöntü suyundaki renk derişimleri verilmiştir.



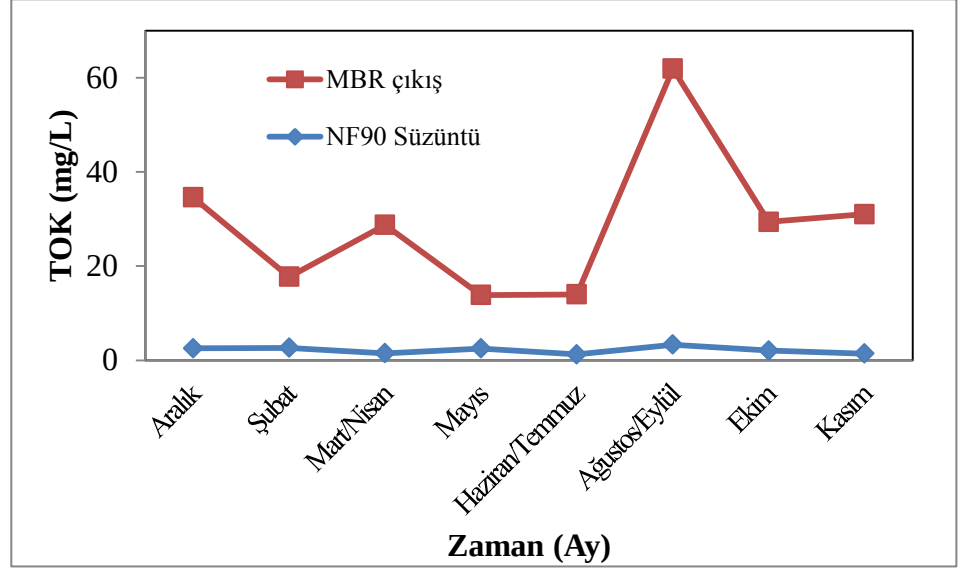
Şekil 4.62 NF90 membranına ait besleme ve süzöntü suyundaki renk derişiminin mevsimsel değişimi



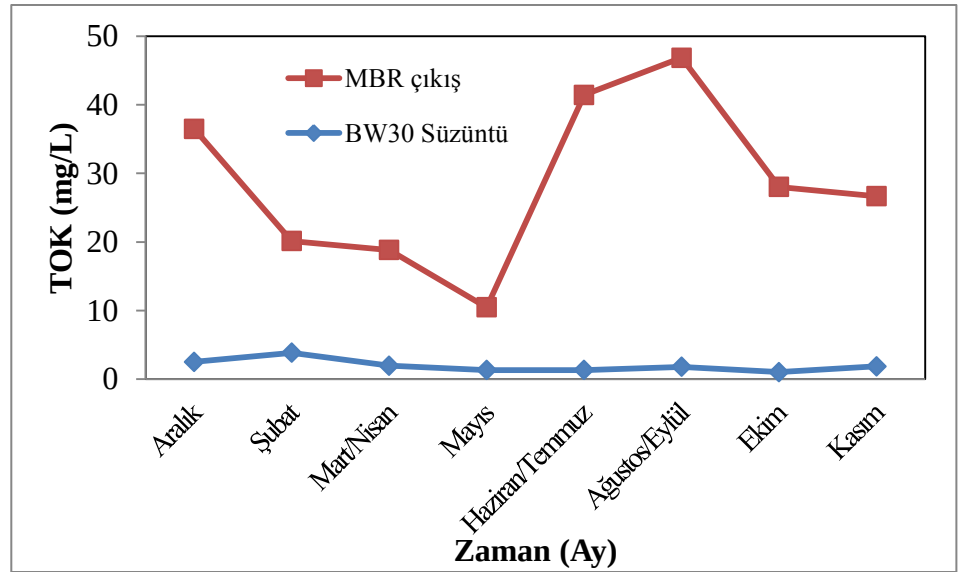
Şekil 4.63 BW30 membranına ait besleme ve süzöntü suyundaki renk derişiminin mevsimsel değişimi

MBR çıkış ve NF/RO membranlarının ürün suyundaki TOK derişimi

şekil 4.64 ve 4.65’de besleme ve membranlara ait süzüntü suyundaki TOK değerleri verilmiştir. Besleme suyundaki TOK derişimi aylara bağlı olarak sabit kalmayıp değişim göstermiştir. En yüksek TOK derişimine Ağustos/Eylül aylarında rastlanılmıştır. TOK derişimi, NF90 membranı süzüntüsü için 1.4-3.3 mg/L, BW30 membranı için 1-3.8 mg/L arasında değişim göstermiştir.



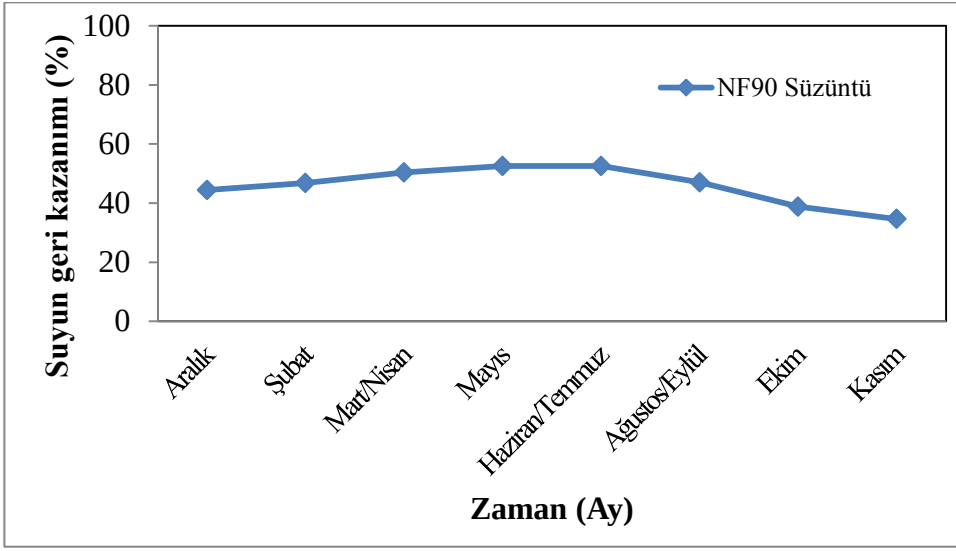
şekil 4.64 NF90 membranına ait besleme ve süzüntü suyundaki TOK derişiminin mevsimsel değişimi



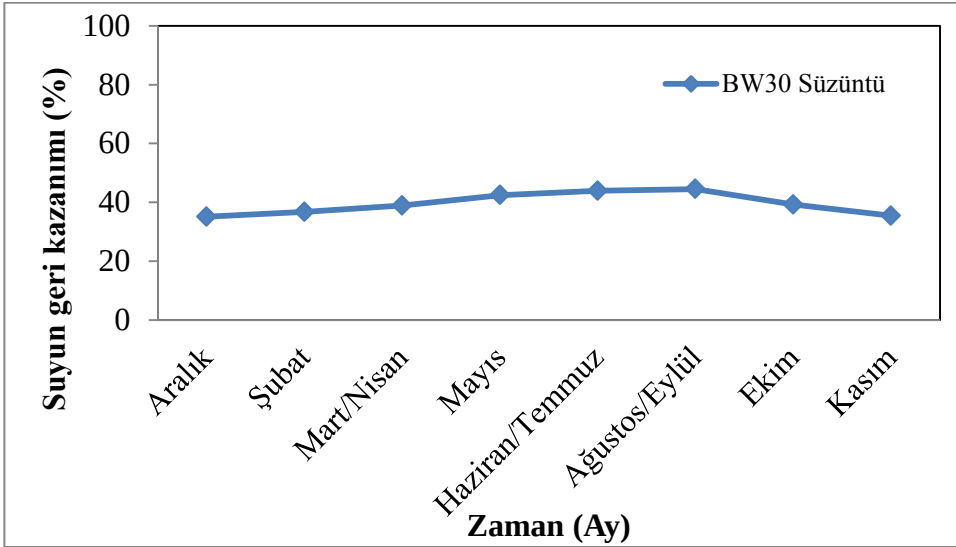
şekil 4.65 BW30 membranına ait besleme ve süzüntü suyundaki TOK derişiminin mevsimsel değişimi

NF/RO membranları ile atık suyun geri kazanımı

Şekil 4.66 ve 4.67’de NF90 ve BW30 membranları ait ürün su geri kazanımı verilmiştir. Her iki membran için de ürün su geri kazanımı, Mayıs-Temmuz ayları arasında en yüksek seviyeye ulaştıktan sonra azalma göstermiştir. NF90 membranı ile en yüksek su geri kazanımı %52 ile Haziran/Temmuz aylarında elde edilmiştir. Suyun geri kazanımı Haziran/Temmuz aylarından sonra azalma göstermiş ve Kasım ayında %34’e düşmüştür. Benzer değişim BW30 membranında da gözlenmiştir. En yüksek ürün su geri kazanımı Temmuz/Eylül (%44) aylarında ulaşılmıştır. Bu aylardan sonra su geri kazanımı azalmış ve Kasım ayında %35’ düşmüştür.



Şekil 4.66 NF90 membranına ait besleme su geri kazanım oranı



Şekil 4.67 BW30 membranına ait besleme su geri kazanım oranı

4.4. Arazi çalışmalarına ait sonuçlar (Mevsimsel)

NF90 ve BW30 membranları ile 10 bar’da gerçekleştirilen kesikli testler sonunda elde edilen ürün suyun özellikleri ile sulama suyunun kimyasal kalitesinin değerlendirilmesi için geliştirilmiş parametrelerle karşılaştırılması Çizelge 4.7’de ve Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY) ile sulama suyu standartlarıyla karşılaştırılması Çizelge 4.8’de verilmiştir. Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği’ne göre NF90 ve BW30 membranları geçirgenlik hariç 1. Sınıf su standartlarını sağlamaktadır. SKKY’e göre ise NF90 ve BW30 membranları TÇK, pH, sodyum, amonyum, sülfat, klorür, KOİ ve renk parametrelerinde 1. Sınıf su kalite değerlerini sağlamaktadır.

Membranların süzöntü akıları değerlendirildiğinde NF90 membranına ait en yüksek süzöntü akısına Haziran/Temmuz ayında rastlanılmıştır. Süzöntü akısı en yüksek seviyeye ulaştıktan sonra diğer aylarda süzöntü akısında azalma görülmüştür. Benzer durum BW30 membranında gözlenmiştir. BW30 membranı için Ağustos/Eylül ayına ait süzöntü akısı 41 L/ m²saat’den, Ekim ayında 33 L/m²saat’e düşmüştür.

Çizelge 4. 7 NF/RO membranları ile elde edilen ürün suyun sulama suyu olarak kullanılabilmesi için geliştirilmiş parametreler ile karşılaştırılması

	SAR	Sodyum (mg/L)	Klorür (mg/L)	TÇK (g/L)	EC (mS/cm)	Kullanımında zarar derecesi				
						Tuzluluk	Geçirgenlik	Özgül İyon toksisitesi		
								Na	Cl	B
NF90 (Kış)	13.78	67	104	0.19	0.38	1. sınıf su	3. sınıf su	1.sınıf D	1. sınıf Y	-
NF90 (İlkbahar)	11.67	56	86	0.20	0.39	1. sınıf su	3. sınıf su	1.sınıf D	1. sınıf Y,D	-
NF90 (Yaz)	11.17	58	90	0.17	0.34	1. sınıf su	3. sınıf su	1.sınıf D	1. sınıf Y,D	-
NF90 (Sonbahar)	13.07	62	71	0.14	0.29	1. sınıf su	3. sınıf su	1.sınıf D	1. sınıf Y,D	-
BW30 (Kış)	13.97	29	39	0.08	0.17	1. sınıf su	3. sınıf su	1.sınıf D	1. sınıf Y,D	-
BW30 (İlkbahar)	8.62	22	37	0.07	0.14	1. sınıf su	3. sınıf su	1.sınıf D	1. sınıf Y,D	-
BW30 (Yaz)	5.85	14	29	0.05	0.11	1. sınıf su	2. sınıf su	1.sınıf D	1. sınıf Y,D	-
BW30 (Sonbahar)	9.44	29	29	0.04	0.09	1. sınıf su	3. sınıf su	1.sınıf D	1. sınıf Y,D	-

(Y: Yüzey sulaması; D: Damlatmalı sulama)

Çizelge 4. 8 NF90 ve BW30 membranları ile 10 bar basınç uygulandığında elde edilen ürün suyun ortalama özellikleri ve ürün suyun kalitesinin SKKY ile sulama suyu standartlarıyla karşılaştırılması

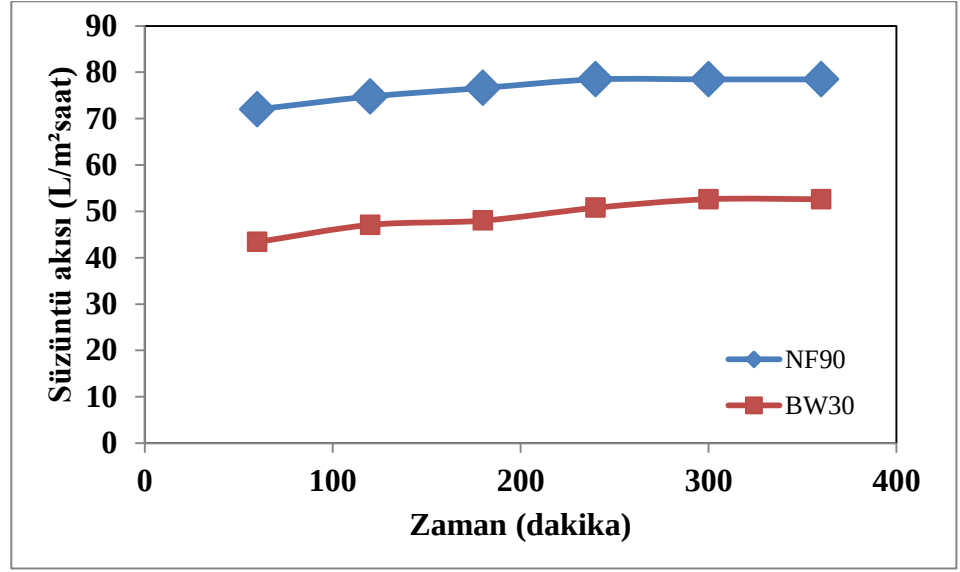
Parametre	Ürün suyu Özellikleri			(SKKY) 1. sınıf su değerleri	(SKKY) 2. sınıf su değerleri	(SKKY) 3. sınıf su değerleri	SSSD (Ayers 1985, Solak, 2010)
Membran	MBR Çıkış	BW30 (10 bar)	NF90 (10 bar)				
TÇK (mg/L)	2570	70	180	500	1500	5000	0-2000
İletkenlik (mS/cm)	5.13	0.13	0.35	SB ¹	SB ¹	SB ¹	0-3.00
t (°C)	20.02	24.96	23.54	SB ¹	SB ¹	SB ¹	SB ¹
pH	7.86	6.62	6.70	6.5-8.5	6.5-8.5	6.0-9.0	6.5-8.80
Tuzluluk (psu)	2.73	0	0	SB ¹	SB ¹	SB ¹	0-1.94
Bulanıklık (NTU)	0.94	0.13	0.17	SB ¹	SB ¹	SB ¹	0-0.20
Na ⁺ (mg/L)	889	23	61	125	125	250	0-920
Ca ²⁺ (mg/L)	134	0.47	1.62	SB ¹	SB ¹	SB ¹	0-400
K ⁺ (mg/L)	404	12.31	22.90	SB ¹	SB ¹	SB ¹	0-2.00
Mg ²⁺ (mg/L)	25.31	<0.5	0.15	SB ¹	SB ¹	SB ¹	0-60.0
NH ₄ -N	0.92	0.10	0.14	0.2	1	2	0-5.00
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	356	18.44	32.14	SB ¹	SB ¹	SB ¹	0-610
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	664	2.19	7.48	200	200	400	0-960
Cl ⁻ (mg/L)	1315	34.62	88.89	25	200	400	0-1065
PO ₄ -P (mg/L)	0.24	<0.05	<0.05	0.02	0.16	0.65	0-2.00
NO ₃ -N (mg/L)	34.5	3.56	6.21	5	10	20	0-10.0
NO ₂ -N (mg/L)	0.12	0.015	0.020	0.002	0.01	0.05	SB ¹
Si (mg/L)	1.27	0.03	0.07	SB ¹	SB ¹	SB ¹	SB ¹
KOİ (mg/L)	26.39	<4	<4	25	50	70	SB ¹
Renk (Hazen)	29.26	3.00	3.95	5	50	300	SB ¹
TK (mg/L)	128	4.11	6.26	SB ¹	SB ¹	SB ¹	SB ¹
İK (mg/L)	101	2.15	4.11	SB ¹	SB ¹	SB ¹	SB ¹
TOK (mg/L)	28.75	1.95	2.15	SB ¹	SB ¹	SB ¹	SB ¹
SAR	18.5	9.4	12.4	SB ¹	SB ¹	SB ¹	SB ¹

¹Standart Belirtilmemiş, ²Sulama suyu standart değerleri

4.5. Arazi çalışmaları (basınç etkisinin incelenmesi)

NF/RO membranlarının süzüntü akı değerleri

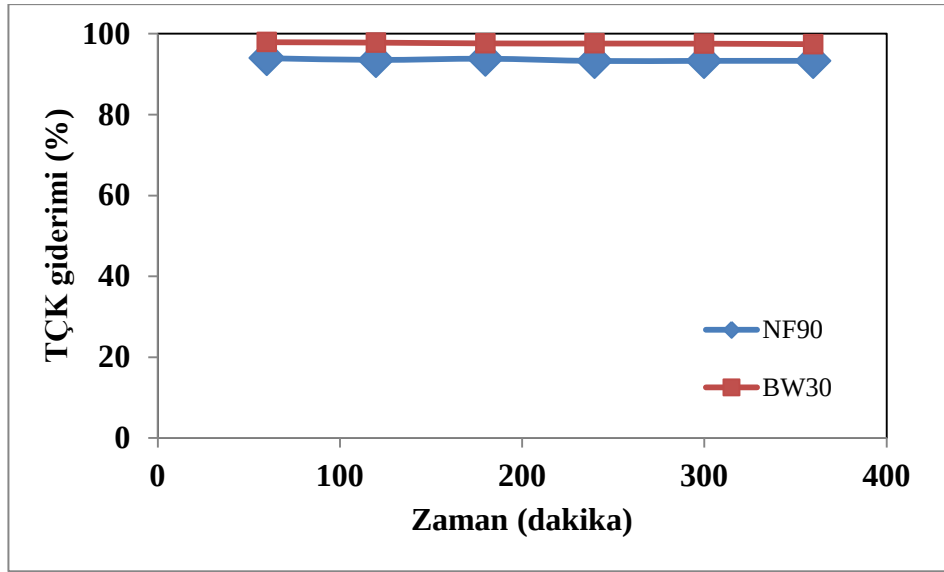
Şekil 4.68’de NF90 ve BW30 membranı ile 15 bar’da elde edilen süzüntü akısı değerleri verilmiştir. Yapılan çalışmada NF membranı NF90’a ait süzüntü akısı, RO membranı olan BW30 membranından daha yüksek bulunmuştur. Ortalama süzüntü akısı NF90 membranı için 76 L/hm^2 , BW30 membranı için 49 L/hm^2 ’dir.



Şekil 4.68 Membranlara ait zamana karşı süzüntü akısı değerleri (15 bar)

NF/RO membranlarının toplam TÇK giderimleri

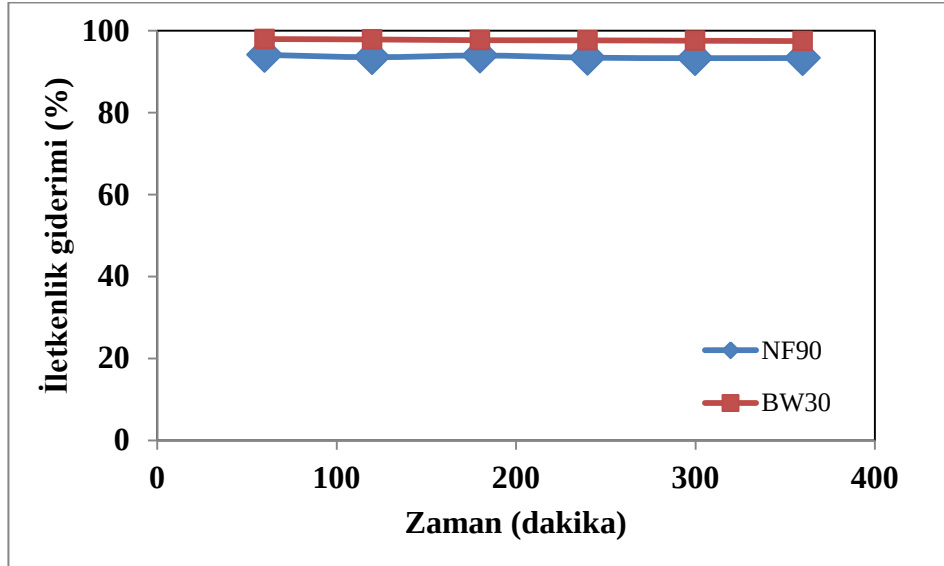
Membranlara ait 15 bar uygulama basıncında el edilen ortalama TÇK giderimi Şekil 4.69’da verilmiştir. NF90 membranına ait ortalama TÇK giderimi %93 iken, BW30 membranı için bu değer %97’dir.



Şekil 4.69 Membranlara ait zamana karşı TÇK giderimi (15 bar)

NF/RO membranlarının iletkenlik giderimleri

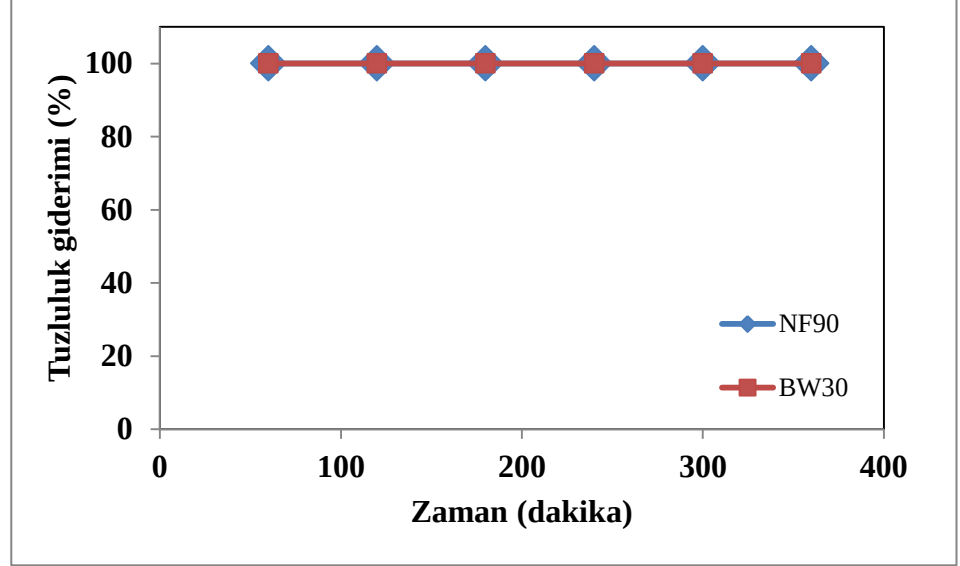
Şekil 4.70’de membranların 15 bar’da elde edilen iletkenlik giderimi verilmiştir. Toplam çözünmüş katı madde gideriminde olduğu gibi her iki membranda yüksek iletkenlik giderimi göstermiştir. İletkenlik giderimleri sırasıyla NF90 membranı için %90, BW30 membranı için %97’dir.



Şekil 4.70 Membranlara ait zamana karşı iletkenlik giderimi (15 bar)

NF/RO membranlarının tuzluluk giderimleri

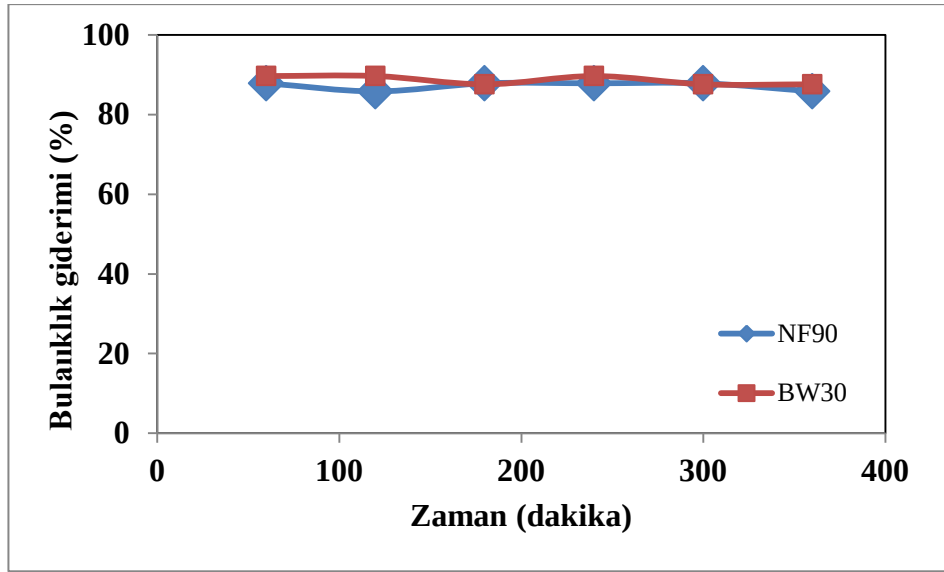
NF90 ve BW30 membranlarına ait tuzluluk giderimleri çalışma süresince değişim göstermemiştir. Her iki membran içinde 15 bar'da elde edilen tuzluluk giderimi %100'dür. Membranlara ait tuzluluk giderimleri Şekil 4.71'de verilmiştir.



Şekil 4.71 Membranlara ait zamana karşı tuzluluk giderimleri (15 bar)

NF/RO membranlarının bulanıklık giderimleri

NF90 ve BW30 membranları arasında bulanık gideriminde çok büyük farklılıklar gözlenmemiştir. Şekil 4.72'de membranlara ait 15 bar'da elde edilen bulanıklık giderimleri verilmiştir. Çalışma süresince ortalama bulanıklık giderimi, NF90 membranı için %87, BW30 membranı için %88 olarak bulunmuştur.

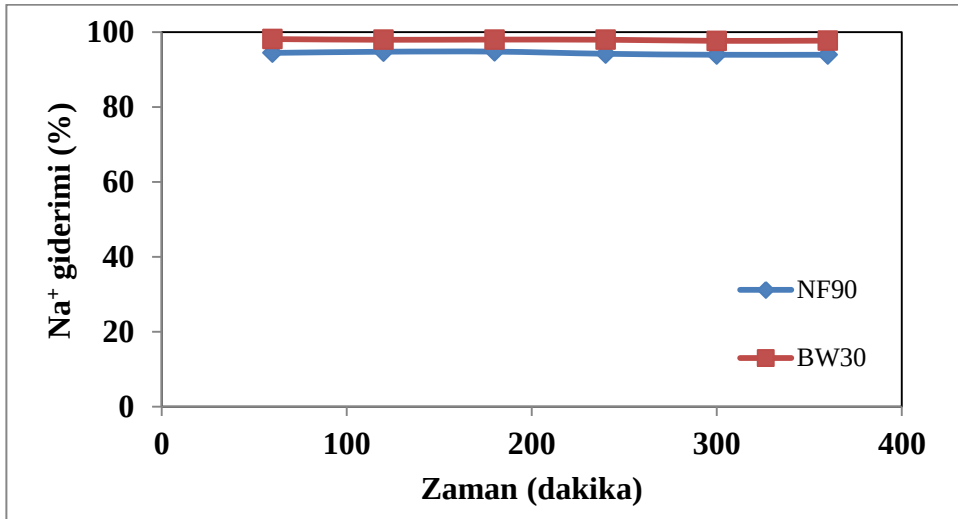


Şekil 4.72 Membranlara ait zamana karşı bulanıklık giderimleri (15 bar)

NF/RO membranlarının monovalent iyon giderimleri

NF/RO membranlarının Na^+ iyonu giderimleri

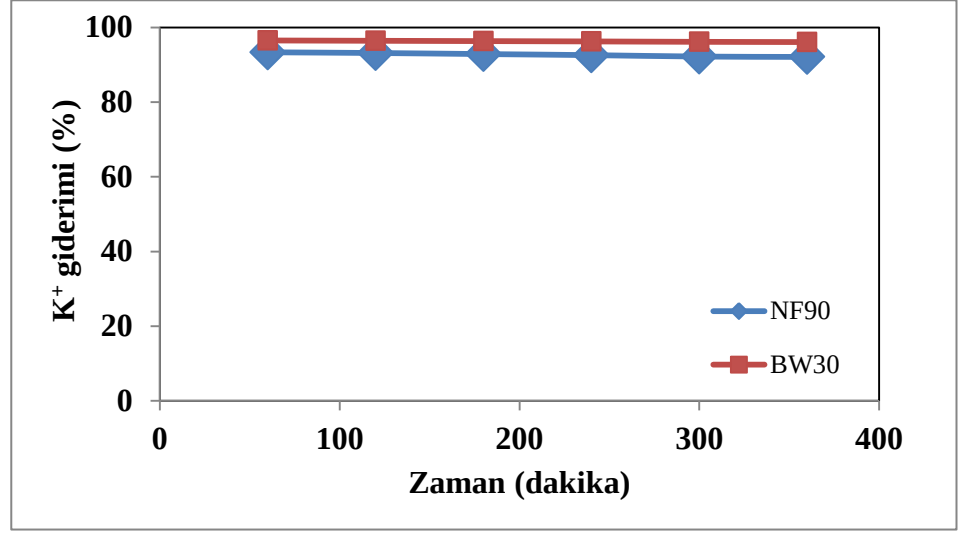
Şekil 4.73’de membranlara ait 15 bar’da elde edilen Na^+ iyonu giderimi verilmiştir. Na^+ iyonu giderimi her iki membran içinde zamanla değişim göstermemiştir. Ortalama Na^+ iyonu giderimi NF90 ve BW30 membranları için sırasıyla, %94 ve %97’dir.



Şekil 4.73 Membranlara ait zamana karşı Na^+ iyonu giderimi (15 bar)

NF/RO membranlarının K^+ iyonu giderimleri

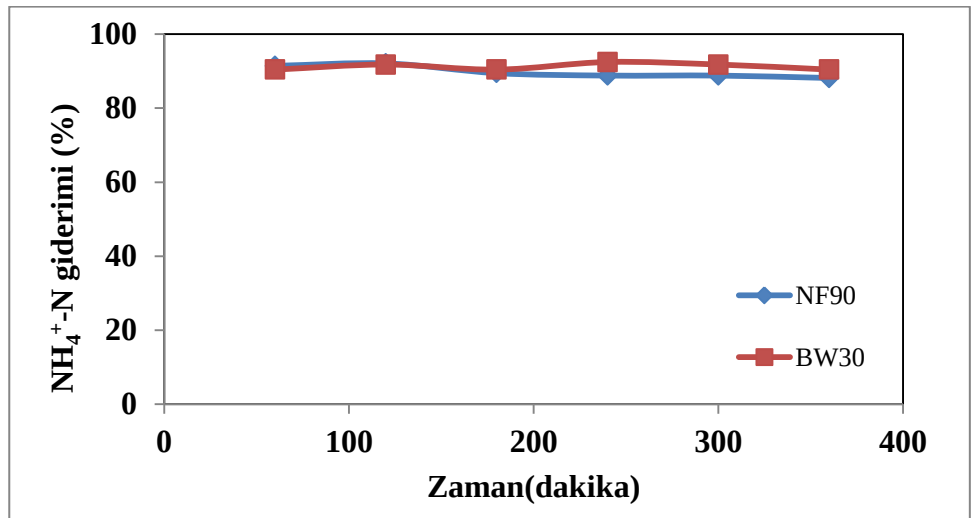
Tek değerlikli iyon olan K^+ iyonu için giderim verimi BW30 membranından daha yüksek bulunmuştur. NF90 ve BW30 membranlarına ait 15 bar'da elde edilen ortalama K^+ iyonu giderimleri sırasıyla %92 ve %96'dır. Şekil 4.74'de zamana karşı K^+ iyonu giderimi verilmiştir.



Şekil 4.74 Membranlara ait zamana karşı K^+ iyonu giderimleri (15 bar)

NF/RO membranlarının NH_4^+ iyonu giderimleri

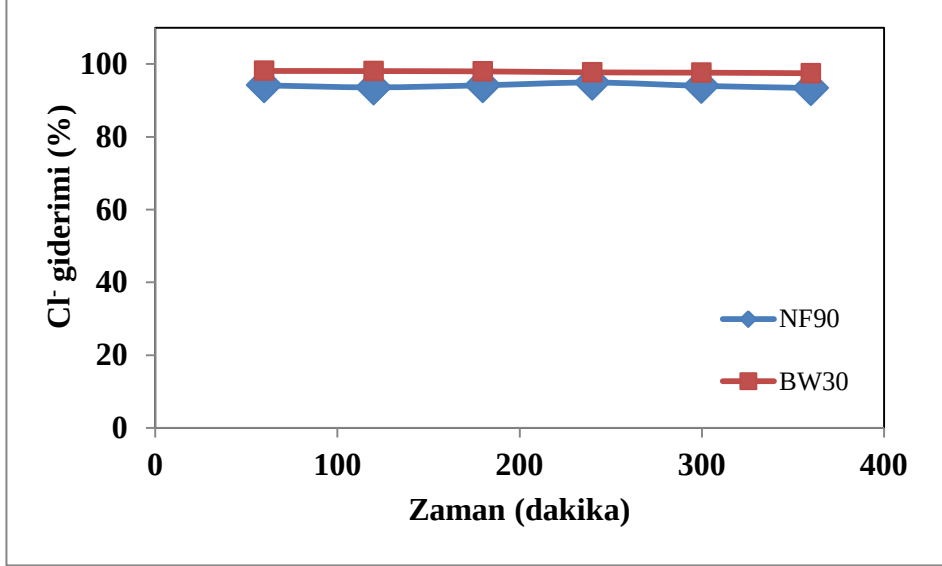
Şekil 4.75'de membranlara ait NH_4^+ iyonu giderimi verilmiştir. NF90 ve BW30 membranlarına ait 15 bar'da elde edilen ortalama NH_4^+ giderimleri sırasıyla %89 ve %91'dir.



Şekil 4.75 Membranlara ait zamana karşı NH_4^+ iyonu giderimleri (15 bar)

NF/RO membranlarının Cl⁻ iyonu giderimleri

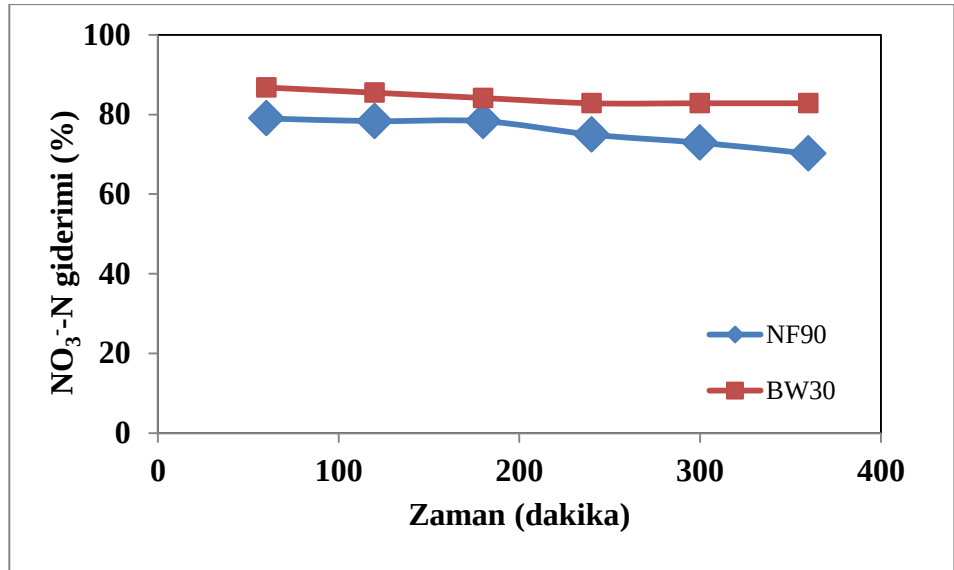
Şekil 4.76’da membranlara ait Cl⁻ iyonu giderimleri verilmiştir. 15 bar’da elde edilen ortalama Cl⁻ iyonu giderimi NF90 membranına göre, BW30 membranı için daha yüksek bulunmuştur. Giderim değerleri NF90 membranı için %94, BW30 membranı için %98’dir.



Şekil 4.76 Membranlara ait zamana karşı Cl⁻ iyonu giderimleri (15 bar)

NF/RO membranlarının NO₃⁻ iyonu giderimleri

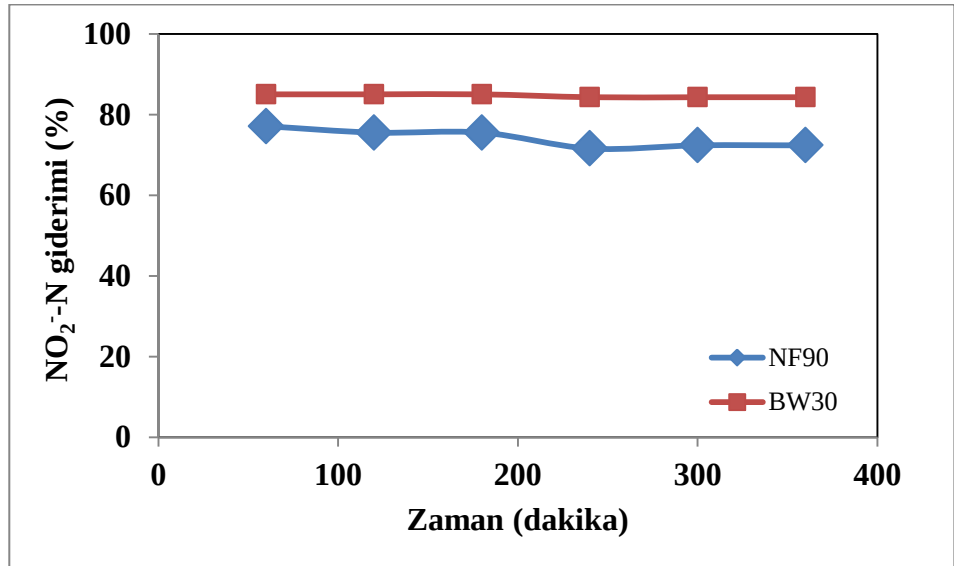
Yapılan çalışmada, NF90 membranına ait NO₃⁻ iyonu giderimi, NO₂⁻ ve NH₄⁺ iyonlarında da olduğu gibi BW30 membranına göre daha az bulunmuştur. NF90 membranları için 15 bar’da elde edilen ortalama NO₃⁻ iyonu giderimi %75 iken, BW30 membranı için bu değer %84’dür. Şekil 4.77’de membranlara ait NO₃⁻ iyonu giderimi verilmiştir.



Şekil 4.77 Membranlara ait zamana karşı NO_3^- iyonu giderimleri (15 bar)

NF/RO membranlarının NO_2^- iyonu giderimleri

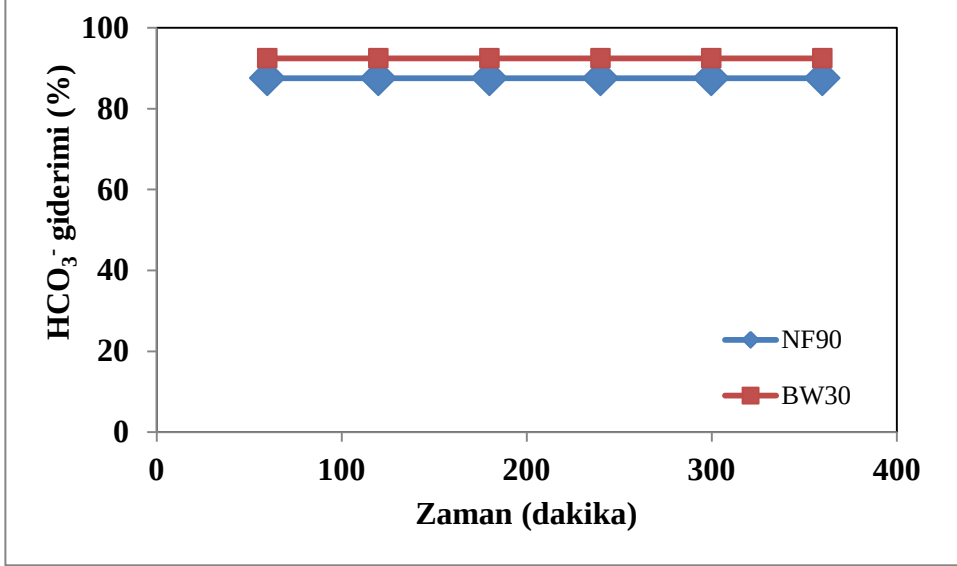
NO_2^- iyonu giderimine ait grafik Şekil 4.78’de verilmiştir. RO membranına ait NO_2^- iyonu giderimi, NF membranına göre daha yüksek bulunmuştur. Ortalama NO_2^- iyonu giderimi 15 bar uygulama basıncı altında NF90 membranı için %74 iken, BW30 membranı için bu değer %84’dür.



Şekil 4.78 Membranlara ait zamana karşı NO_2^- iyonu giderimleri (15 bar)

NF/RO membranlarının HCO_3^- iyonu giderimleri

Diğer tek değerlikli iyonlarda olduğu gibi, NF90 membranı HCO_3^- iyonu gideriminde de yüksek giderim göstermiştir. Şekil 4.79’da membranlara ait 15 bar’da elde edilen HCO_3^- iyonu giderimleri verilmiştir. Ortalama HCO_3^- iyonu giderimi NF90 membranı için %88, BW30 membranı için %92’dir.

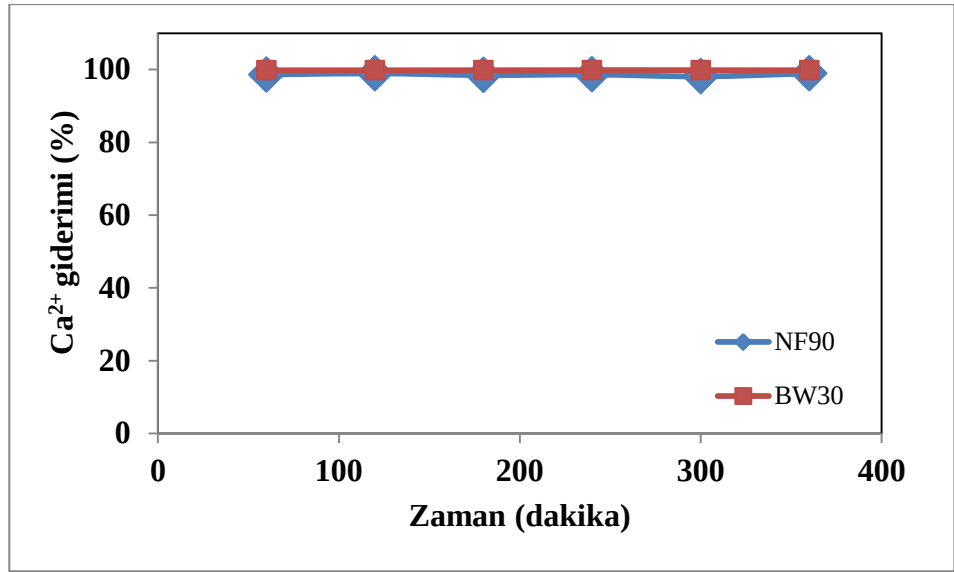


Şekil 4.79 Membranlara ait zamana karşı HCO_3^- iyonu giderimleri (15 bar)

NF/RO membranlarının multivalent iyon giderimleri

NF/RO membranlarının Ca^{2+} iyonu giderimleri

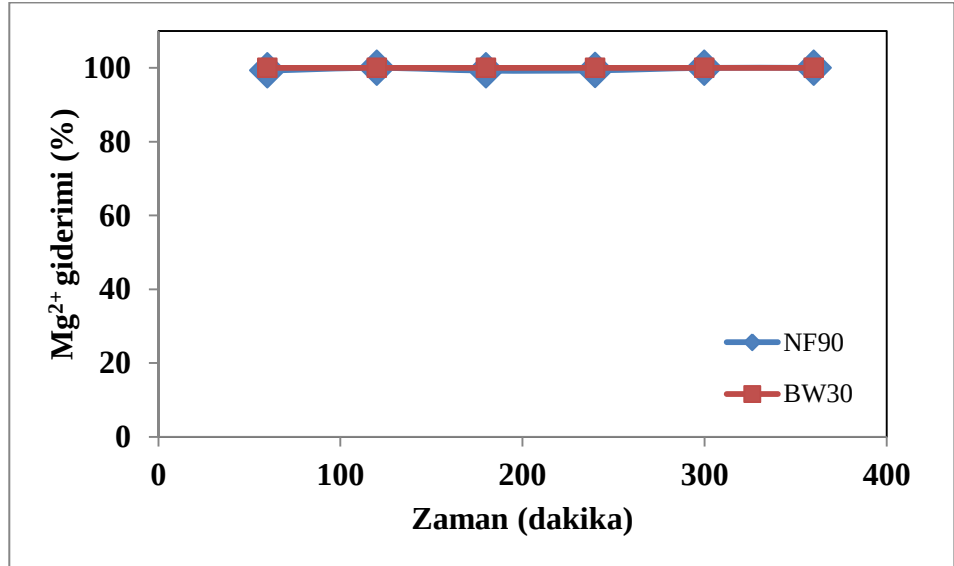
Şekil 4.80’de membranlara ait Ca^{2+} iyonu giderimleri verilmiştir. NF membranları ile çift değerlikli iyonların giderimi 15 bar’da %90-98 arasındadır. Yaptığımız çalışmada, Ca^{2+} iyonu giderimi NF90 membranı için %98, BW30 membranı için %99 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.80 Membranlara ait zamana karşı Ca^{2+} iyonu giderimleri (15 bar)

NF/RO membranlarının Mg^{2+} iyonu giderimleri

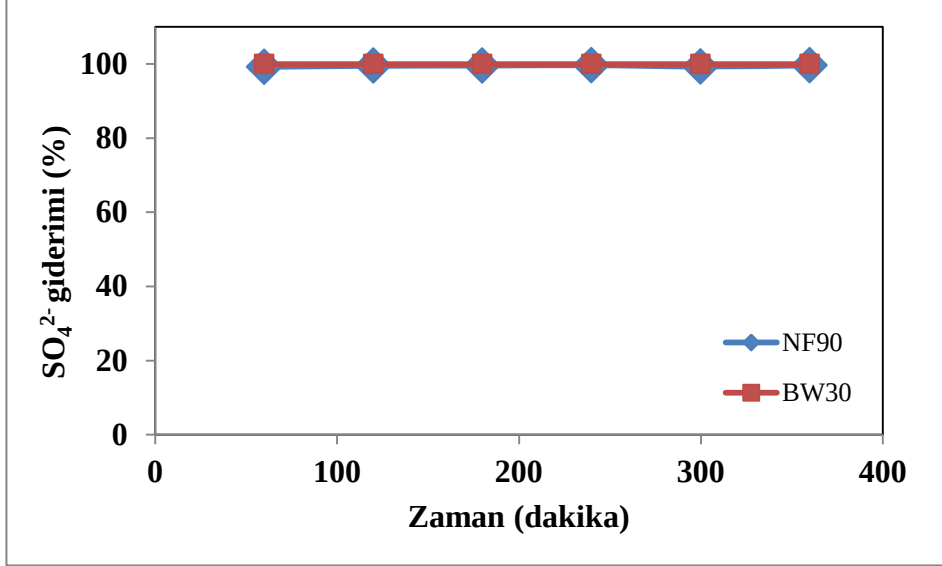
Mg^{2+} iyonu gideriminde her iki membran içinde yüksek giderim elde edilmiştir. Şekil 4.81’de membranlara ait 15 bar’da Mg^{2+} iyonu giderimleri verilmiştir. NF90 ve BW30 membranı için ortalama Mg^{2+} iyonu giderimi %99’un üzerindedir.



Şekil 4.81 Membranlara ait zamana karşı Mg^{2+} iyonu giderimleri (15 bar)

NF/RO membranlarının SO_4^{2-} iyonu giderimleri

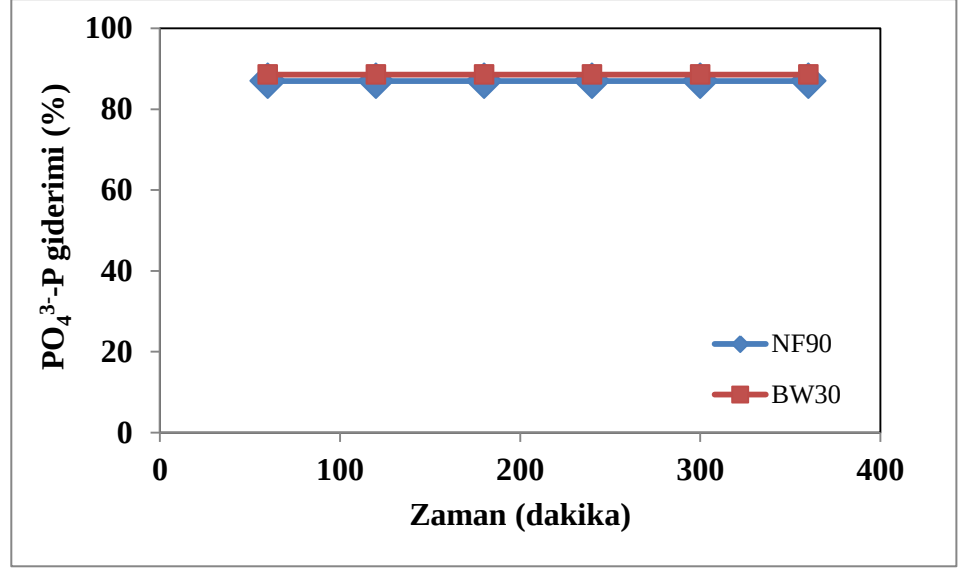
Mg^{2+} ve Ca^{2+} iyonlarında da olduğu gibi çift değerlikli anyon olan SO_4^{2-} iyonunda da giderim her iki membran için yüksek bulunmuştur. Şekil 4.82’de membranlara ait SO_4^{2-} iyonu giderimi verilmiştir. NF90 ve BW30 membranları için 15 bar’da elde edilen ortalama SO_4^{2-} iyonu giderimi %99’un üzerindedir.



Şekil 4.82 Membranlara ait zamana karşı SO_4^{2-} iyonu giderimleri (15 bar)

NF/RO membranlarının PO_4^{3-} iyonu giderimleri

Şekil 4.83’de membranlara ait PO_4^{3-} iyonu giderimi verilmiştir. Çalışma süresi boyunca her iki membran için de PO_4 -P’u değeri 0.05 mg/L’nin altında ölçülmüştür. Dolayısıyla membranlara ait PO_4^{3-} iyonu gideriminin ölçülen değerlerden daha yüksek olduğu düşünülebilir. Şekil 4.80’e göre 15 bar’da ortalama PO_4^{3-} giderimi NF90 ve BW30 membranları için sırasıyla %86 ve %87’dir.

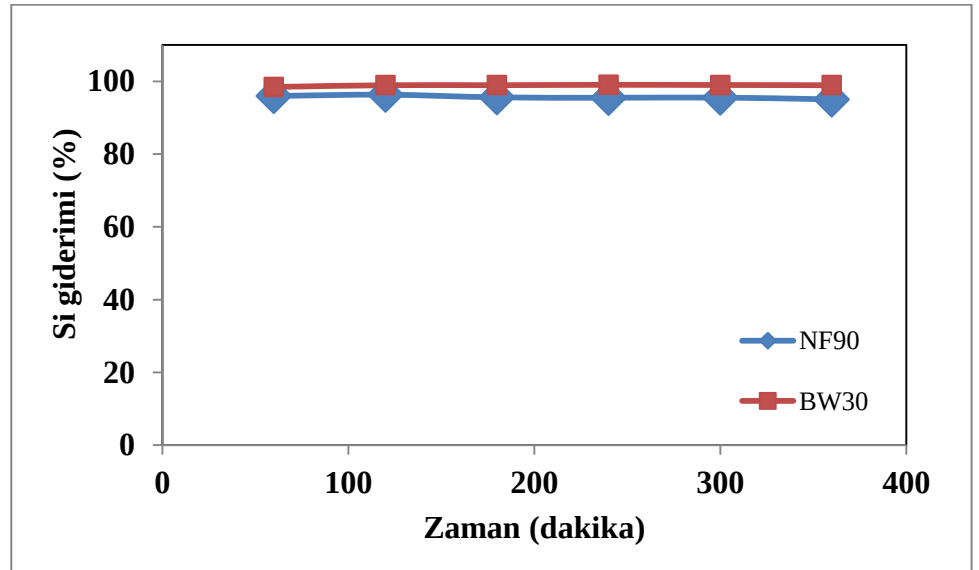


Şekil 4.83 Membranlara ait zamana karşı PO_4^{3-} iyonu giderimleri (15 bar)

NF/RO membranlarının diğer madde giderimleri

NF/RO membranlarının silisyum giderimleri

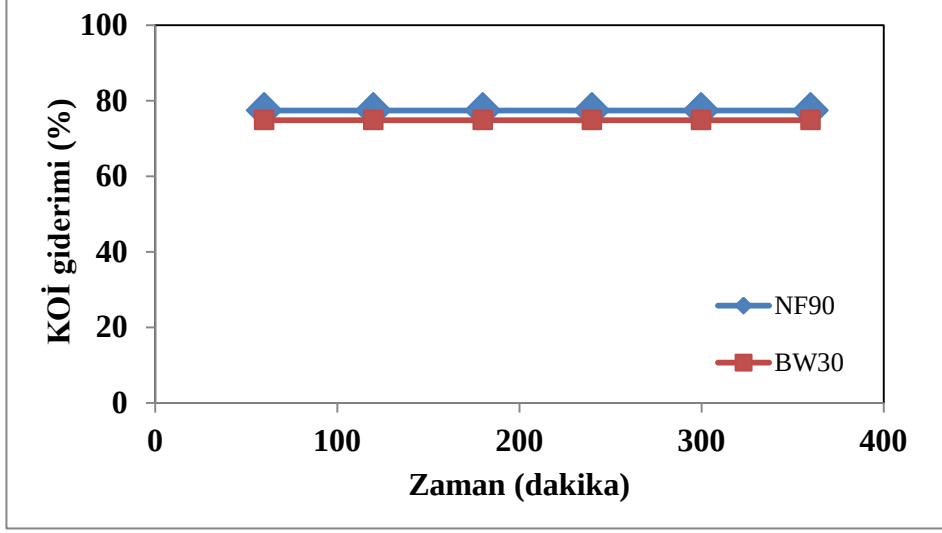
NF90 ve BW30 membranlarına ait 15 bar'da elde edilen silisyum giderimi Şekil 4.84'de verilmiştir. Çalışma süresi boyunca her iki membran içinde silisyum giderimi çok farklılık göstermemiştir. Ortalama silisyum giderimi NF90 ve BW30 membranları için sırasıyla %95 ve %98 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.84 Membranlara ait zamana karşı silisyum giderimleri (15 bar)

NF/RO membranlarının KOİ giderimleri

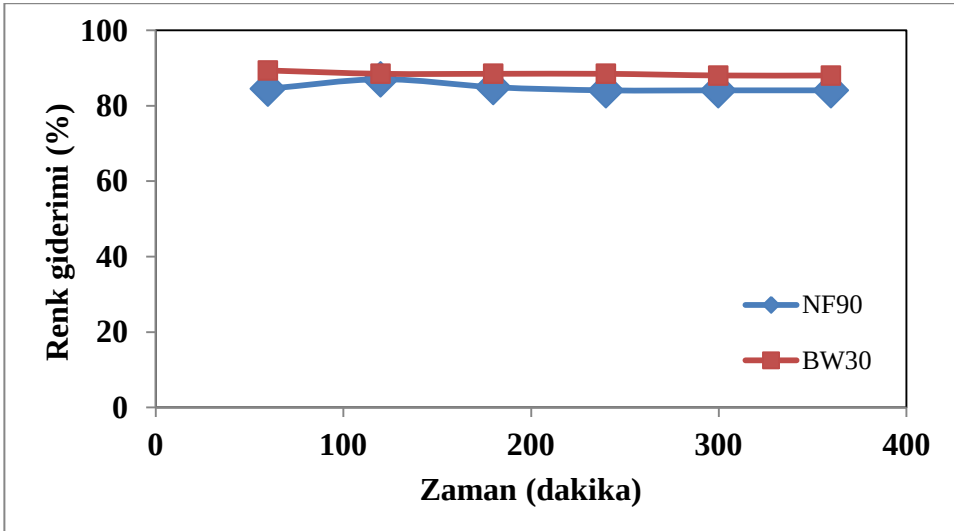
Her iki membran için KOİ giderimi 15 bar uygulama basıncında zamana karşı değişim göstermemiş, çalışma süresi boyunca KOİ değeri 4 mg/L'nin altında ölçülmüştür. Dolayısıyla KOİ gideriminin Şekil 4.85'de verilen değerlerden daha yüksek olabileceği düşünülebilir.



Şekil 4.85 Membranlara ait zamana karşı KOİ giderimleri (15 bar)

NF/RO membranlarının renk giderimleri

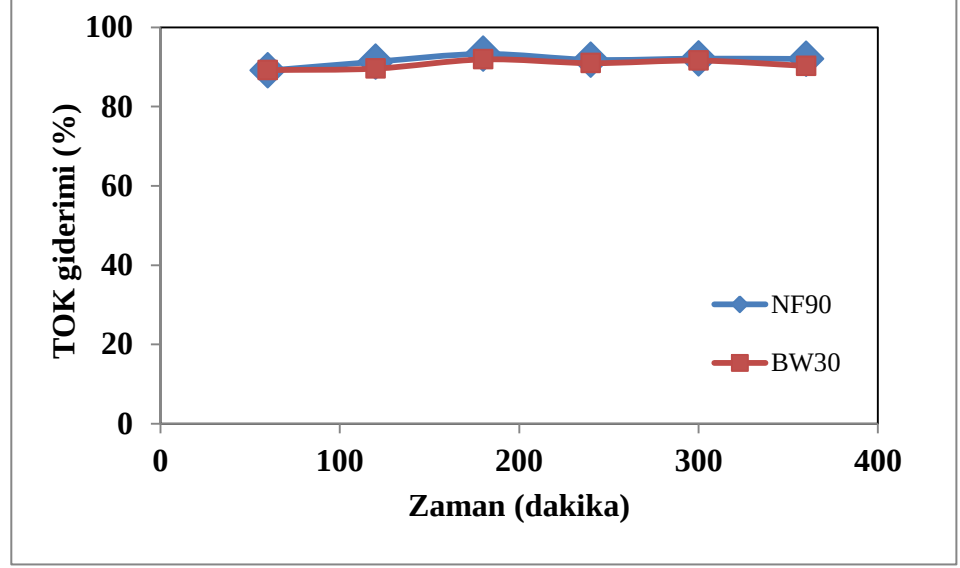
Şekil 4.86'da membranlara ait renk giderimleri verilmiştir. 15 bar'da elde edilen ortalama renk giderimi NF90 membranı için %84, BW30 membranı için %88 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.86 Membranlara ait zamana karşı renk giderimleri (15 bar)

NF/RO membranlarının TOK giderimleri

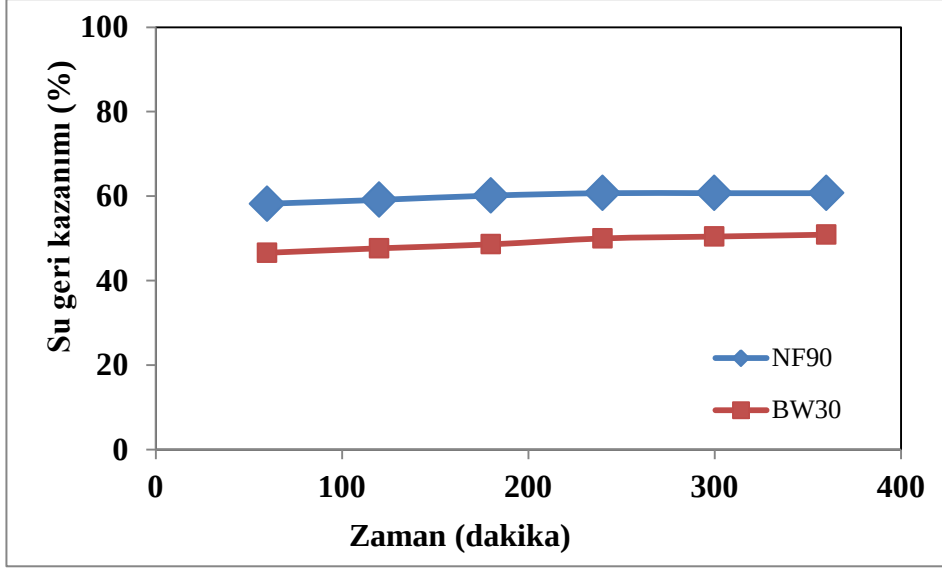
Şekil 4.87’de membranlara ait 15 bar’da elde edilen TOK giderimleri verilmiştir. Her iki membran için de TOK giderimi çalışmanın başlangıcından itibaren artış göstermiştir. TOK giderimi en yüksek seviyeye ulaştıktan sonra bir azalma göstermiş ve dengeye gelmiştir. Ortalama giderim NF90 membranı için %91, BW30 membranı için %90’dır.



Şekil 4.87 Membranlara ait zamana karşı TOK giderimleri (15 bar)

NF/RO membranlarının atıksu geri kazanımları

Membranlara ait 15 bar’da elde edilen su geri kazanım değerleri Şekil 4.88’de verilmiştir. Her iki membranla yapılan çalışmada konsantré akıları sabit tutulmuştur. Şekil 4.88’de görüldüğü gibi; NF90 membranına ait süzüntü akısı BW30 membranına göre daha yüksek bulunmuştur. Bundan dolayı NF90 membranının su geri kazanımı BW30 membranına göre daha yüksektir. 15 bar’da elde edilen ortalama su geri kazanımı NF90 membranı için %60 iken, bu değer BW30 membranı için %50’dir.

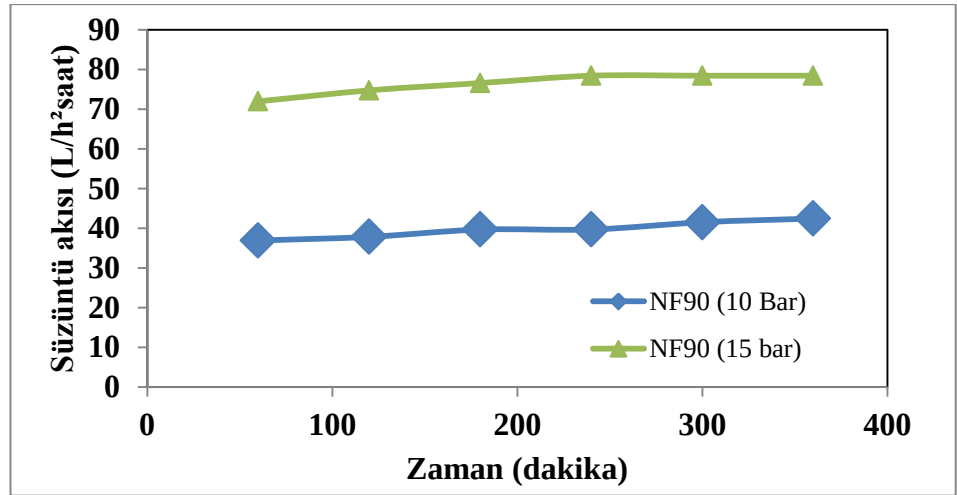


Şekil 4.88 Membranlara ait zamana karşı su geri kazanımı (15 bar)

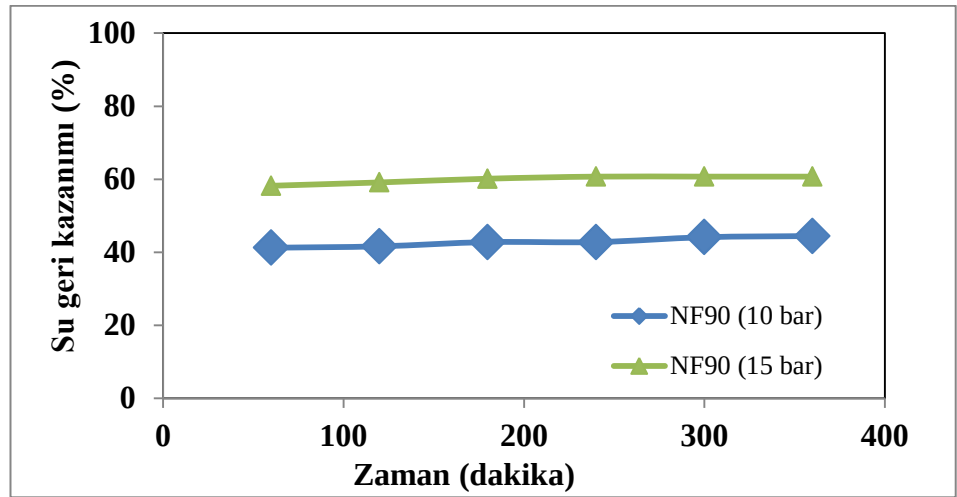
4.6. Arazi çalışmalarına ait sonuçlar (basınç etkisi)

Basınç etkisinin incelendiği çalışmaya ait elde edilen ürün suyun özellikleri ile sulama suyunun kimyasal kalitesinin değerlendirilmesi için geliştirilmiş parametrelerle karşılaştırılması Çizelge 4.9'da, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY) ile sulama suyu standartlarıyla karşılaştırılması Çizelge 4.10'da verilmiştir. Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği'ne göre NF90 ve BW30 membranları geçirgenlik hariç 1. Sınıf su standartlarını sağlamaktadır.

NF90 ve BW30 membranına ait farklı basınç değerlerinde elde edilen süzüntü akıların ve su geri kazanımları karşılaştırmalı olarak Şekil 4.89-4.92 arasında verilmiştir. 10 bar ve 15 barda yapılan çalışmaların sonuçları karşılaştırıldığında giderim verimleri bakımından çok büyük farklılıklar gözlenmemiştir. Asıl değişim süzüntü akıları ve buna bağlı olarak su geri kazanımında edle edilmiştir. Mevsimsel çalışmaların yapıldığı 10 bar'da ortalama süzüntü akısı ve su geri kazanımı değerleri sırasıyla NF90 membranı için 44 L/hm² ve %45, BW30 membranı için 33 L/hm² ve %39'dur. 15 barda ise bu değerler artış gösterip, süzüntü akısı ve su geri kazanım oranı NF90 membranı için 76 L/hm² ve %60'a, BW30 membranı için 49 L/hm² ve %50'ye çıkmıştır. Dolayısıyla uygulama basıncının artmasıyla birlikte, süzüntü akısı ve atıksu geri kazanımı da artmıştır.



Şekil 4.89 NF90 membranının farklı basınçlarda elde edilen süzüntü akısını zamana göre değişimi

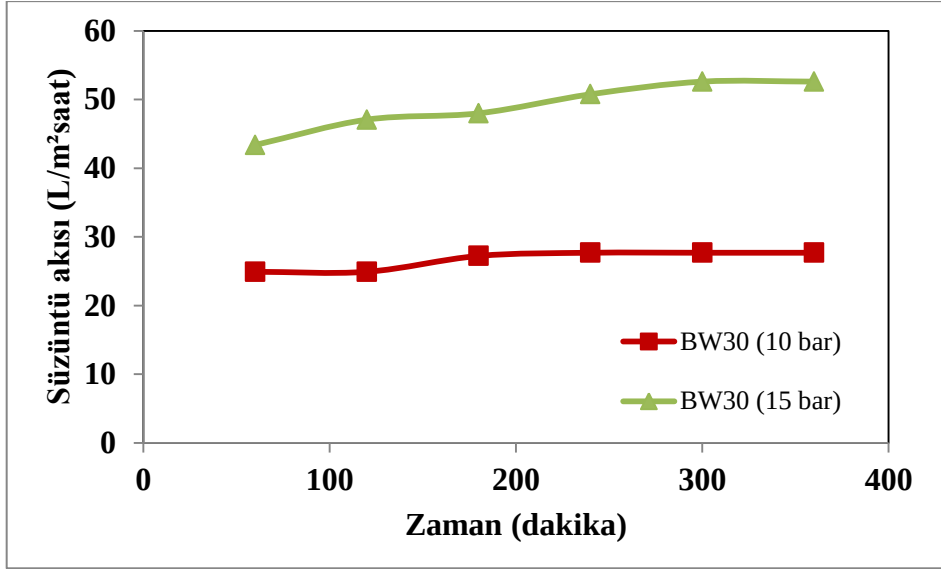


Şekil 4.90 NF90 membranı ile farklı basınçlarda elde edilen su geri kazanımının zamana göre değişimi

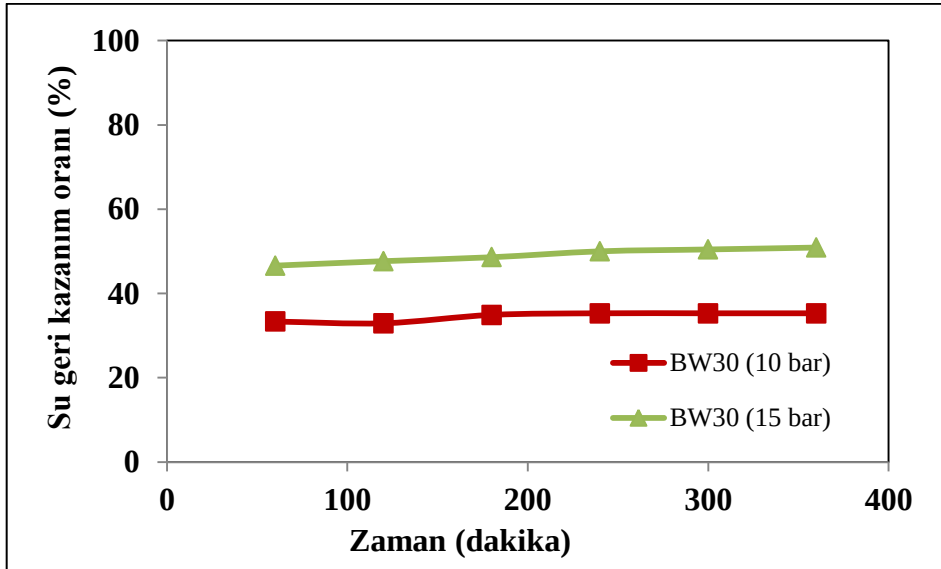
Çizelge 4. 9 Sulama suyunun kimyasal kalitesinin değerlendirilmesi için geliştirilmiş parametreler ile karşılaştırılması (10 ve 15 bar)

	SAR	Sodyum (mg/L)	Klorür (mg/L)	TÇK (g/L)	EC (mS/cm)	Kullanımında zarar derecesi				
						Tuzluluk	Geçirgenlik	Özgül İyon toksisitesi		
								Na	Cl	B
NF90 (10 bar)	12.42	60	87	0.18	0.35	1. sınıf su	3. sınıf su	1.sınıf Y	1. sınıf Y,D	-
NF90 (15 bar)	10.39	65	84	0.20	0.39	1. sınıf su	3. sınıf su	1.sınıf Y	1. sınıf Y,D	-
BW30 (10 bar)	9,47	23	33	0.06	0.12	1. sınıf su	3. sınıf su	1.sınıf Y	1. sınıf Y,D	-
BW30 (15 bar)	10.77	23	32	0.07	0.14	1. sınıf su	3. sınıf su	1.sınıf Y	1. sınıf Y,D	-

(Y: Yüzey sulaması; D: Damlatmalı sulama)



Şekil 4.91 BW30 membranının farklı basınçta elde edilen süzöntü akısının zamana göre değişimi



Şekil 4.92 BW30 membranının farklı basınçta elde edilen su geri kazanımının zamana göre değişimi

10 bar ve 15 barda yapılan çalışmaların karşılaştırmalı giderim ve ölçüm değerleri ayrıntılı olarak Çizelge 4.11’de verilmiştir.

Çizelge 4. 10 NF90 ve BW30 membranları ile elde edilen ürün suyun özellikleri ve SKKY ile sulama suyu standartlarıyla karşılaştırılması (15 bar)

Parametre	Ürün suyu Özellikleri			(SKKY) 1. sınıf su değerleri	(SKKY) 2. sınıf su değerleri	(SKKY) 3. sınıf su değerleri	SSSD ² (Ayers 1985, Solak, 2010)
Membran	MBR Çıkış	NF90 (15 Bar)	BW30 (15 bar)				
TÇK (mg/L)	3050	20	7	500	1500	5000	0-2000
İletkenlik (mS/cm)	6.10	0.39	0.14	SB ¹	SB ¹	SB ¹	0-3.00
t (°C)	20.38	21.83	23.03	SB ¹	SB ¹	SB ¹	SB ¹
pH	7.38	6.37	6.20	6.5-8.5	6.5-8.5	6.0-9.0	6.5-8.80
Tuzluluk (psu)	3.30	0	0	SB ¹	SB ¹	SB ¹	0-1.94
Bulanıklık (NTU)	0.50	0.06	0.06	SB ¹	SB ¹	SB ¹	0-0.20
Na ⁺ (mg/L)	1156	65.33	23.52	125	125	250	0-920
Ca ²⁺ (mg/L)	210	2.91	0.36	SB ¹	SB ¹	SB ¹	0-400
K ⁺ (mg/L)	421	30.67	17.42	SB ¹	SB ¹	SB ¹	0-2.00
Mg ²⁺ (mg/L)	13.41	0.05	0.00	SB ¹	SB ¹	SB ¹	0-60.0
NH ₄ ⁺ -N	1.53	0.16	0.13	0.2	1	2	0-5.00
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	118	14.70	8.90	SB ¹	SB ¹	SB ¹	0-610
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	786	4.00	0.50	200	200	400	0-960
Cl ⁻ (mg/L)	1395	84.12	32.95	25	200	400	0-1065
PO ₄ ³⁻ -P (mg/L)	0.39	<0.05	<0.05	0.02	0.16	0.65	0-2.00
NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	29.66	7.20	4.80	5	10	20	0-10.0
NO ₂ ⁻ -N (mg/L)	0.13	0.03	0.02	0.002	0.01	0.05	SB ¹
Si (mg/L)	1.82	0.08	0.02	SB ¹	SB ¹	SB ¹	SB ¹
KOİ (mg/L)	17.55	<4.00	<4.00	25	50	70	SB ¹
Renk (Hazen)	23.78	3.63	2.60	5	50	300	SB ¹
TK (mg/L)	41.65	3.13	2.91	SB ¹	SB ¹	SB ¹	SB ¹
İK (mg/L)	23.49	1.68	1.34	SB ¹	SB ¹	SB ¹	SB ¹
TOK (mg/L)	18.15	1.53	1.57	SB ¹	SB ¹	SB ¹	SB ¹
SAR	20.8	10.39	10.77	SB ¹	SB ¹	SB ¹	SB ¹

¹Standart Belirtilmemiş, ²Sulama suyu standart değerleri

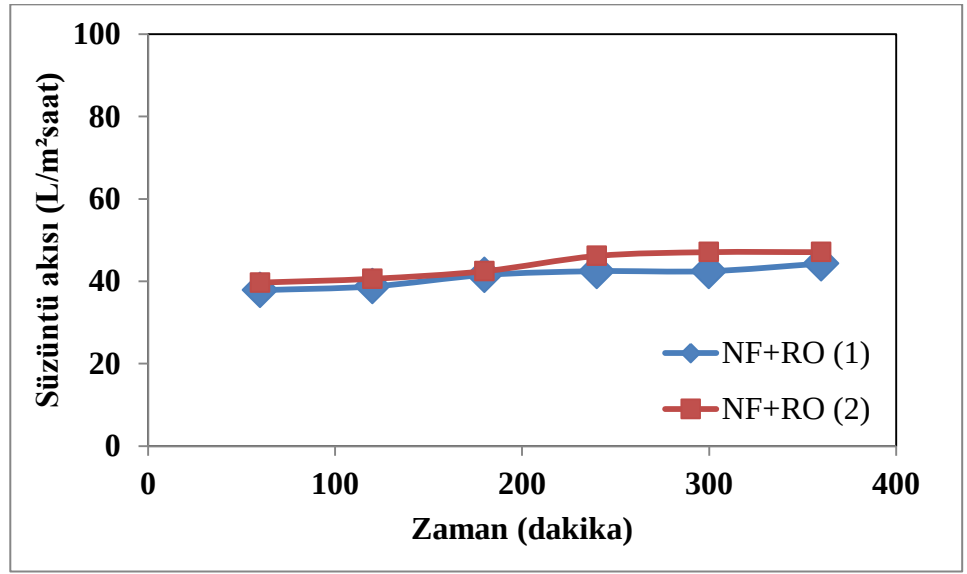
Çizelge 4. 11 NF90 ve BW30 membranları ile farklı basınçlardan elde edilen ürün suyun özelliklerinin karşılaştırılması

Basınç	10 bar		15 bar		10 bar		15 bar	
Membran	NF90	NF90 Giderim (%)	NF90	NF90 Giderim (%)	BW30	BW30 Giderim (%)	BW30	BW30 Giderim (%)
Parametre								
TÇK (mg/L)	0.25	92.6	0.20	93.53	0.11	96.6	0.07	97.6
İletkenlik (mS/cm)	0.48	92.7	0.39	93.60	0.22	96.7	0.14	97.6
t (°C)	15.92	-	21.83	-	21.68	-	23.03	-
pH	6.62	-	6.37	-	6.08	-	6.20	-
Tuzluluk (psu)	0	100	0	100	0.00	100	0	100
Bulanıklık (NTU)	0.07	79.3	0.06	87.16	0.09	82.3	0.06	88.6
Na ⁺ (mg/L)	85.30	92.9	65.33	94.36	38.65	96.9	23.52	97.9
Ca ²⁺ (mg/L)	1.63	98.7	2.91	98.62	0.29	99.7	0.36	99.8
K ⁺ (mg/L)	38.96	94.5	30.67	92.70	29.83	96.7	17.42	96.2
Mg ²⁺ (mg/L)	<0.5	98.7	<0.5	99.64	<0.5	100	<0.5	99.9
NH ₄ ⁺ -N	0.06	80.1	0.16	89.80	0.05	81.8	0.13	91.2
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	29.00	89.2	14.70	87.54	15.00	94.6	8.90	92.4
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	32.47	95.1	4.00	99.48	0.50	99.8	0.50	99.9
Cl ⁻ (mg/L)	142.32	92.9	84.12	94.03	54.68	97.3	32.95	97.8
PO ₄ ³⁻ -P (mg/L)	0.05	65.6	<0.05	86.96	0.05	75.0	<0.05	88.5
NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	11.38	68.6	7.20	75.62	6.05	83.6	4.80	84.1
NO ₂ ⁻ -N (mg/L)	0.02	70.7	0.03	74.08	0.01	81.9	0.02	84.6
Si (mg/L)	0.05	96.4	0.08	95.64	0.01	99.4	0.02	98.8
KOİ (mg/L)	4.20	68.7	<4.00	77.40	4.00	72.1	<4.00	74.8
Renk (Hazen)	2.71	86.5	3.63	84.78	2.23	88.4	2.60	88.4
TK (mg/L)	5.96	94.2	3.13	92.45	4.54	96.1	2.91	92.8
İK (mg/L)	3.47	94.9	1.68	92.78	2.03	97.5	1.34	94.3
TOK (mg/L)	2.48	92.6	1.53	91.6	2.52	93.0	1.57	90.6

4.7. NF+RO entegre sistem çalışmaları

NF+RO entegre çalışmaya ait süzüntü akı değerleri

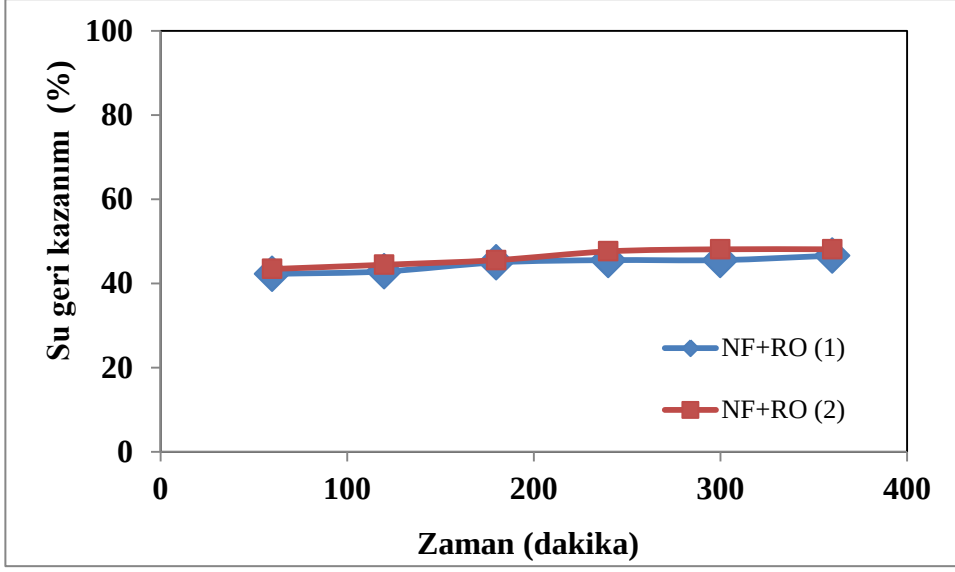
NF+RO kombine çalışma için öncelikle NF90 membranı ile 10 bar uygulama basıncında süzüntü toplanıp, daha sonra toplanan süzüntü BW-RO membranı besleme suyu olacak şekilde kullanılmıştır. Çalışmalar 10 bar uygulama basıncında gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.93’de NF+RO kombine sistem çalışmasına ait zamana karşı süzüntü akı değişimleri verilmiştir. Çalışma süresi boyunca ortalama süzüntü akısı 42 L/hm^2 olarak kaydedilmiştir.



Şekil 4.93 NF+RO entegre çalışmaya ait zamana karşı süzüntü akısı değişim değerleri

NF+RO kombine çalışmaya ait atıksu geri kazanımı

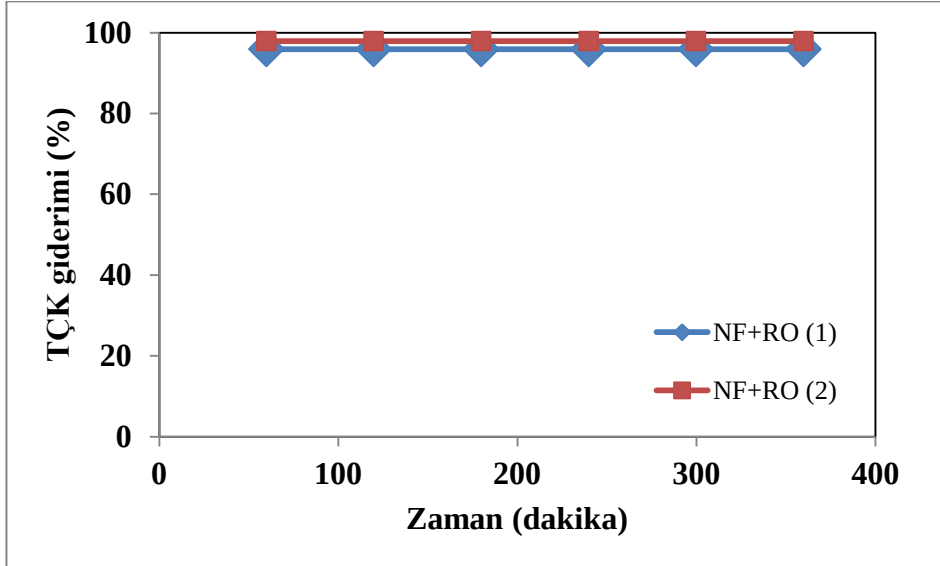
Atıksu geri kazanımının zamana göre değişimi Şekil 4.94’de verilmiştir. Her iki tekrar çalışmaya ait ortalama atıksu geri kazanım oranı %45 olarak elde edilmiştir.



Şekil 4. 94 NF+RO entegre çalışmaya ait zamana karşı su geri kazanımı

NF+RO entegre çalışmaya ait toplam TÇK giderimi

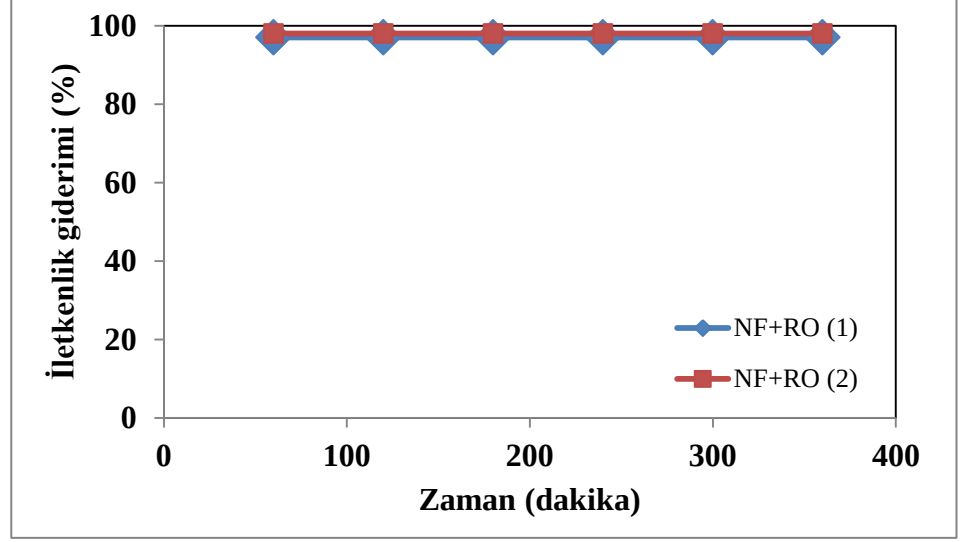
Şekil 4.95’de TÇK giderimine ait değerler verilmiştir. Yapılan tekrar çalışmasında TÇK gideriminde az miktarda bir artış gözlenmiştir. Her iki çalışma içinde TÇK giderimi %95’in üzerindedir.



Şekil 4.95 NF+RO entegre çalışmaya ait zamana karşı TÇK giderimi

NF+RO entegre çalışmaya ait iletkenlik giderimi

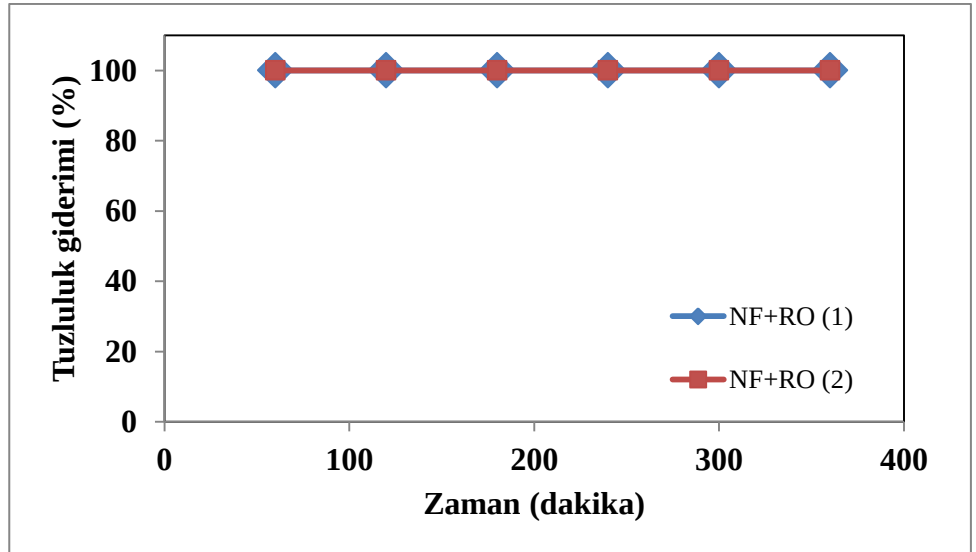
Şekil 4.96'da iletkenlik giderimine ait değerler verilmiştir. İletkenlik giderimine ait değerler TÇK giderimi ile benzerlik göstermektedir. İlk çalışmaya ait iletkenlik giderimi %97 iken, tekrar çalışmasında bu değer %98'dir.



Şekil 4.96 NF+RO entegre çalışmaya ait zamana karşı iletkenlik giderimi

NF+RO entegre çalışmaya ait toplam tuzluluk giderimi

Arazide yapılan diğer tüm çalışmalarda olduğu gibi; NF+RO kombine çalışmasında da tuzluluk giderimi %100 bulunmuştur. Tuzluluk giderimine ait grafik Şekil 4.97'de verilmiştir.



Şekil 4.97 NF+RO entegre çalışmaya ait zamana karşı tuzluluk giderimi

NF+RO entegre çalışmada elde edilen suyun özellikleri

Çizelge 4.12’de NF+RO kombine çalışma sonunda elde edilen su kalitesi değerlerinin ortalama değerleri verilmiştir.

Çizelge 4. 12 MBR ile arıtılmış atıksudan NF+RO entegre çalışması ile elde edilen ürün suyun özellikleri

Parametre	Besleme (MBR çıkış)	NF Süzüntü (1)	NF+RO (1)	NF Süzüntü (2)	NF+RO (2)
TÇK (g/L)	2.10	0.24	0.005	0.243	0.005
İletkenlik (mS/cm)	4.20	0.48	0.010	0.486	0.0095
T °C	18.50	21.50	22.9	23.3	24.7
pH	7.90	6.60	6.33	6.44	6.18
Tuzluluk (psu)	2.10	TSA	TSA	TSA	TSA
Bulanıklık (NTU)	1.33	0.26	0.09	0.27	0.08
Na ⁺ (mg/L)	675	64.33	1.83	63	2.05
Ca ²⁺ (mg/L)	140	3.42	0.32	3.5	0.62
K ⁺ (mg/L)	520	45.27	0.81	50.5	1.16
Mg ²⁺ (mg/L)	26.07	1.96	TSA (<0.5)	1.94	TSA (<0.5)
NH ₄ ⁺ -N	0.33	0.17	<0.01	0.17	<0.01
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	418	54	7.37	49.1	7.37
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	581	<5	<5	<5	<5
Cl ⁻ (mg/L)	833	63	<2.5	61.3	<2.5
PO ₄ ³⁻ -P (mg/L)	0.24	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	45.4	14	2.93	14.8	2.54
NO ₂ ⁻ -N (mg/L)	0.16	0.017	0.002	0.016	0.003
Si (mg/L)	1.05	0.06	0.0083	0.055	0.008
KOİ (mg/L)	32.4	<4	<4	<4	<4
Renk (Hazen)	28.1	5.83	2.4	6.4	2.56
TOK (mg/L)	34	3.8	2.6	4.6	2.9

TSA: Tayin sınırının altında

4.8. NF+RO entegre sistem çalışmalarına ait sonuçlar

NF+RO entegre sistem çalışmasında elde edilen ürün suyun özellikleri ile sulama suyunun kimyasal kalitesinin değerlendirilmesi için geliştirilmiş parametrelerle karşılaştırılması Çizelge 4.13’de, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY) ile sulama suyu standartlarıyla karşılaştırılması Çizelge 4.14’de verilmiştir. Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği’ne göre NF90 ve BW30 membranlarının kombine edilmesi ile elde edilen ürün suyu 1. Sınıf su standartlarına uyum sağlamaktadır. NF+RO entegre sistem çalışmasına ait diğer parametreler, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY) ve sulama suyu standartlarıyla karşılaştırıldığında zaten iyi olan NF90’a ait süzüntü suyu, NF+RO kombinasyonu ile çok daha kaliteli hale gelmiştir. NF+RO entegre çalışmasında elde edilen ürün su 1. Sınıf kalite değerlerini sağlamıştır.

NF+RO entegre sistem çalışmaya ait ortalama süzüntü akısı 42 L/hm^2 olarak ölçülmüştür. Aynı ay içerisinde (Ekim 2013) sadece BW30 membranı ile yapılan mevsimsel çalışmada ise ortalama süzüntü akısı 33 L/hm^2 ’dir. Her iki çalışmada 10 barda gerçekleştirilmiştir. Süzüntü akısındaki bu artış, besleme suyu olarak MBR ile arıtılmış atık su yerine, daha kaliteli su olan NF90 membranına ait süzüntü suyunun kullanılmasından kaynaklanmıştır. Benzer şekilde su geri kazanımı da NF+RO entegre çalışmada, aynı ay içerisinde BW30 membranı ile yapılan mevsimsel çalışmaya göre de artış gözlenmiştir. Ekim ayında yapılan BW30 mevsimsel çalışmaya ait su geri kazanımı %39 iken, NF+RO entegre çalışmada bu değer %45’dir.

Çizelge 4. 13 NF+RO entegre sistemiyle elde edilen ürün su kalitesinin sulama amaçlı kullanılması için geliştirilmiş parametreler ile karşılaştırılması (NF+RO entegre)

	SAR	Sodyum (mg/L)	Klorür (mg/L)	TÇK (g/L)	EC (mS/cm)	Kullanımında zarar derecesi				
						Tuzluluk	Geçirgenlik	Özgül İyon toksisitesi		
								Na	Cl	B
NF+RO (1)	0.82	2.05	<2.5	0,005	0.01	1. sınıf su	1. sınıf su	1.sınıf Y	1. sınıf Y,D	-
NF+RO (2)	0.77	1.83	<2.5	0.005	0.01	1. sınıf su	1. sınıf su	1.sınıf Y	1. sınıf Y,D	-

(Y: Yüzey sulaması; D: Damlatmalı sulama)

NF+RO entegre sistem ile 10 ve 15 bar’da elde edilen BW30 membranına ait su geri kazanımı Çizelge 4.15’de ve süzüntü akıları ise Çizelge 4.16’da verilmiştir. NF+RO entegre sistem çalışma ile süzüntü akısının arttığı ve 15 bar ile yapılan tek BW30 membranına ait süzüntü akısına yaklaştığı Çizelge 4.13’de

görülmektedir. BW30 membranı ile NF+RO entegre sistem çalışma aynı basınç altında (10 bar) yapıldığı halde, NF+RO kombine sistem çalışmaya ait besleme suyunda MBR yöntemiyle arıtılmış su yerine daha kaliteli olan NF90 süzöntüsü kullanıldığı için süzöntü akısında artmıştır. Su geri kazanımı NF+RO entegre sistem ile yapılan çalışmada ortalama %45 bulunmuş ve 15 barda ki %52'lik değere yaklaşmıştır.

Çizelge 4. 14 NF+RO entegre sistemde elde edilen ürün suyun özellikleri

Parametre	Ürün suyu Özellikleri			(SKKY) 1. sınıf su değerleri	(SKKY) 2. sınıf su değerleri	(SKKY) 3. sınıf su değerleri	SSSD ² (Ayers 1985, Solak, 2010)
Membran	MBR Çıkış	NF90 Süzöntü	NF+RO				
TÇK (mg/L)	2500	240	5	500	1500	5000	0-2000
İletkenlik (mS/cm)	5.13	0.48	0.010	SB ¹	SB ¹	SB ¹	0-3.00
t (°C)	20.02	22.4	23.8	SB ¹	SB ¹	SB ¹	SB ¹
pH	7.86	6.52	6.25	6.5-8.5	6.5-8.5	6.0-9.0	6.5-8.80
Tuzluluk (‰)	2.73	0	0	SB ¹	SB ¹	SB ¹	0-1.94
Bulanıklık (NTU)	0.94	0.26	0.08	SB ¹	SB ¹	SB ¹	0-0.20
Na ⁺ (mg/L)	889	63	1.94	125	125	250	0-920
Ca ²⁺ (mg/L)	134	3.46	0.47	SB ¹	SB ¹	SB ¹	0-400
K ⁺ (mg/L)	404	47	0.98	SB ¹	SB ¹	SB ¹	0-2.00
Mg ²⁺ (mg/L)	25.31	1.95	0	SB ¹	SB ¹	SB ¹	0-60.0
NH ₄ ⁺ -N	0.92	0.17	<0.01	0.2	1	2	0-5.00
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	356	51.55	7.37	SB ¹	SB ¹	SB ¹	0-610
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	664	<5	<5	200	200	400	0-960
Cl ⁻ (mg/L)	1315	62.15	<2.5	25	200	400	0-1065
PO ₄ ³⁻ -P (mg/L)	0.24	<0.05	<0.05	0.02	0.16	0.65	0-2.00
NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	34.5	14.4	2.7	5	10	20	0-10.0
NO ₂ ⁻ -N (mg/L)	0.12	0.016	0.002	0.002	0.01	0.05	SB ¹
Si (mg/L)	1.27	0.057	0.008	SB ¹	SB ¹	SB ¹	SB ¹
KOİ (mg/L)	26.3	<4	<4	25	50	70	SB ¹
Renk (Hazen)	29.2	6.1	2.4	5	50	300	SB ¹
TK (mg/L)	128	12	3.47	SB ¹	SB ¹	SB ¹	SB ¹
İK (mg/L)	101	7.7	0.8	SB ¹	SB ¹	SB ¹	SB ¹
TOK (mg/L)	28.75	4.3	2.82	SB ¹	SB ¹	SB ¹	SB ¹
SAR	18.44	6.70	0.77	SB ¹	SB ¹	SB ¹	SB ¹

¹Standart Belirtilmemiş, ²Sulama suyu standart değerleri

Çizelge 4. 15 NF+RO entegre sistem ile BW30 membranına ait 10 ve 15 bar'da elde edilen atıksu geri kazanımları

Zaman (dakika)	BW30 (10 bar)	BW30 (15 bar)	NF+RO (1)	NF+RO (2)
	Su geri kazanımı (%)	Su geri kazanımı (%)	Su geri kazanımı (%)	Su geri kazanımı (%)
60	33.33	46.60	42.27	43.43
120	32.93	47.66	42.86	44.44
180	34.91	48.60	45.00	45.54
240	35.29	50.00	45.54	47.62
300	35.29	50.44	45.54	48.11
360	35.29	50.89	46.60	48.11

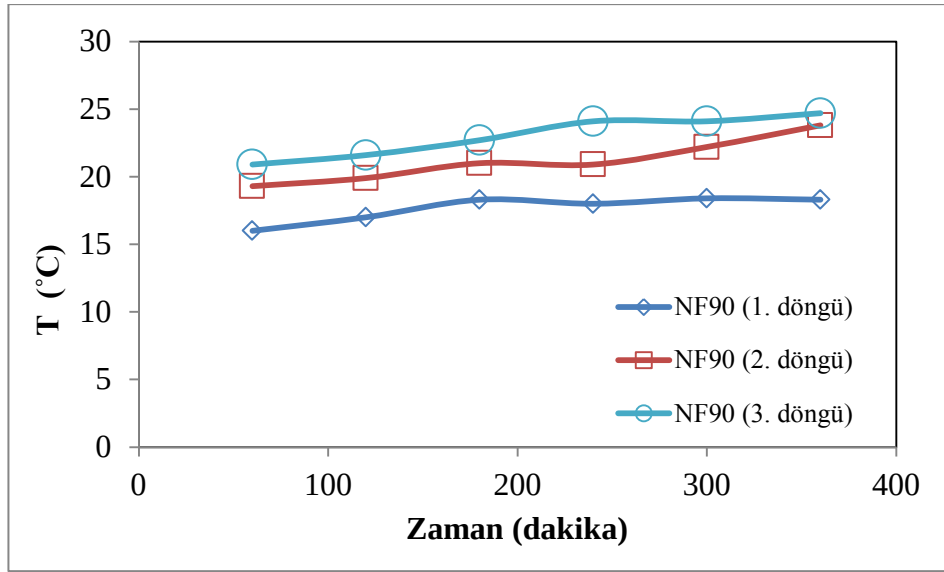
Çizelge 4. 16 NF+RO entegre sistem ile BW30 membranına ait 10 ve 15 bar'da elde edilen süzüntü akı değerleri

Zaman (dakika)	BW30 (10 bar)	BW30 (15 bar)	NF+RO (1)	NF+RO (2)
	Süzüntü akısı (L/m²h)	Süzüntü akısı (L/m²h)	Süzüntü akısı (L/m²h)	Süzüntü akısı (L/m²h)
60	24.92	43.38	37.85	39.69
120	24.92	47.08	38.77	40.62
180	27.23	48.00	41.54	42.46
240	27.69	50.77	42.46	46.15
300	27.69	52.62	42.46	47.08
360	27.69	52.62	44.31	47.08

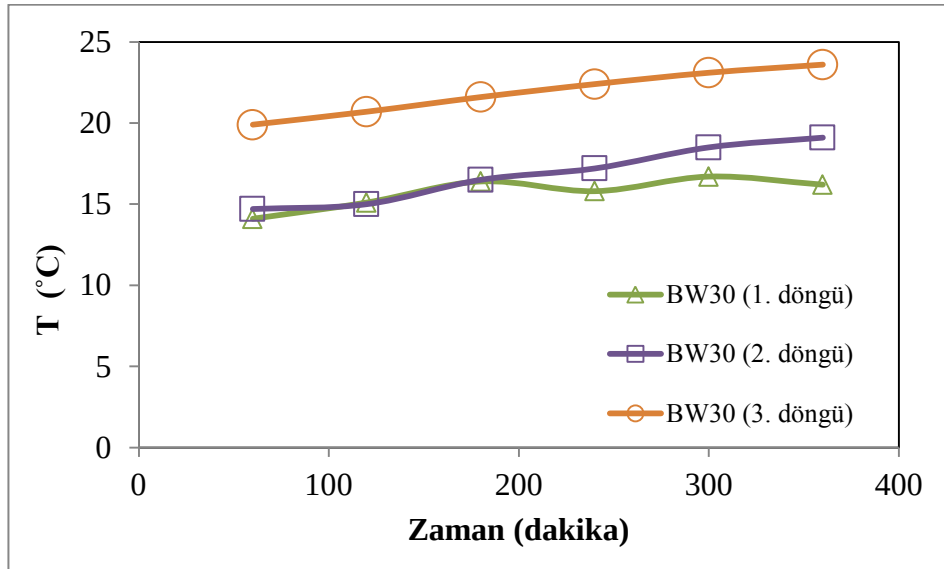
4.9. Arazide Gerçekleştirilen Sürekli Döngü Çalışmaları

Sürekli döngü çalışmasına ait sıcaklık değişimleri

Sürekli döngü çalışmalarında, membrandan çıkan süzüntü suyu, süzüntü toplama tankında depolanmıştır. İkinci ve üçüncü döngü çalışmalarında membranlar asit ve baz ile geri yıkanmıştır. Çalışmalar boyunca zamana bağlı sıcaklık değişimleri Şekil 4.98 ve 4.99'da verilmiştir. Sürekli çalışmada konsantre ve süzüntü su tekrardan besleme tankına verilmediğinden, süzüntü suyuna ait sıcaklık değerlerinde aşırı bir artış gözlenmemiştir.



Şekil 4.98 Sürekli döngü çalışmasında zamana karşı sıcaklık değişimleri (NF90)

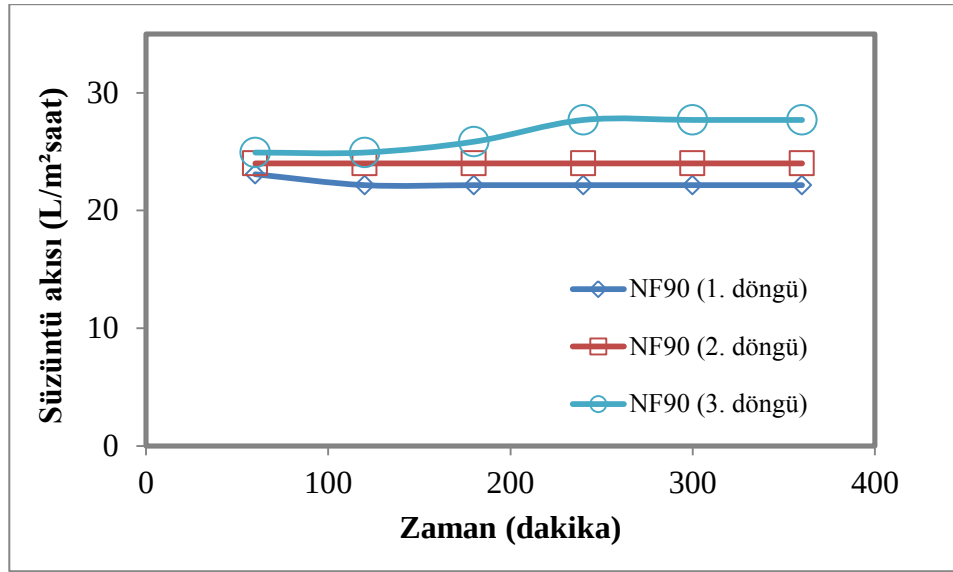


Şekil 4.99 Sürekli döngü çalışmasında zamana karşı sıcaklık değişimleri (BW30)

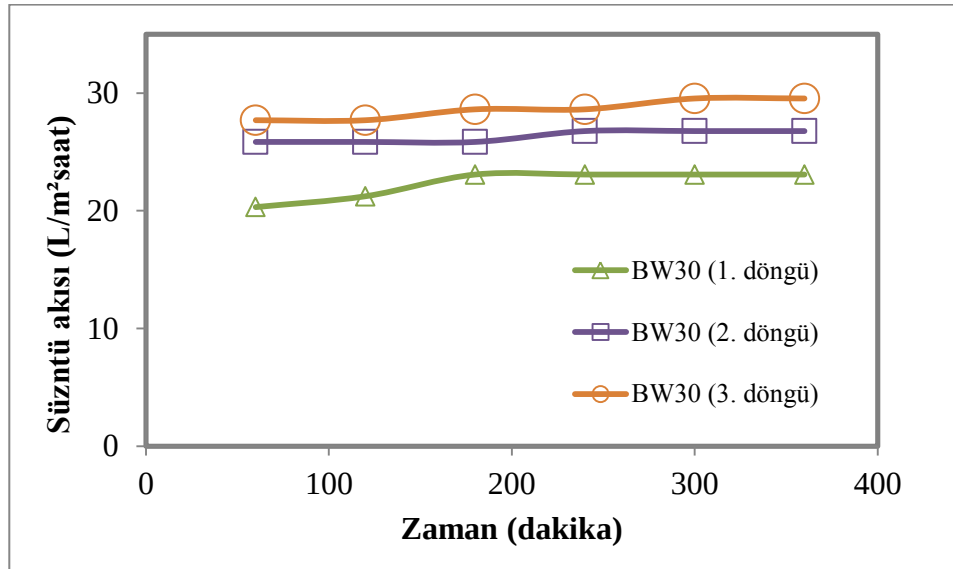
Sürekli çalışmaya ait süzüntü akı değerleri

Şekil 4.100 ve 4.101’de sürekli döngü çalışmasına ait süzüntü akı değerleri verilmiştir. Membranların kimyasal yıkamasından sonra yapılan döngü çalışmalarında süzüntü akılarının biraz arttığı görülmüştür. Ortalama süzüntü akısı NF90 membranı için birinci döngüde 22.31 L/m²saat iken, ikinci döngüde 24 L/m²saat’e, üçüncü döngüde 26.46 L/m²saat’e, BW30 membranı için birinci döngüde 22.3 L/m²saat iken, ikinci döngüde 26.3 L/m²saat’e, üçüncü döngüde ise

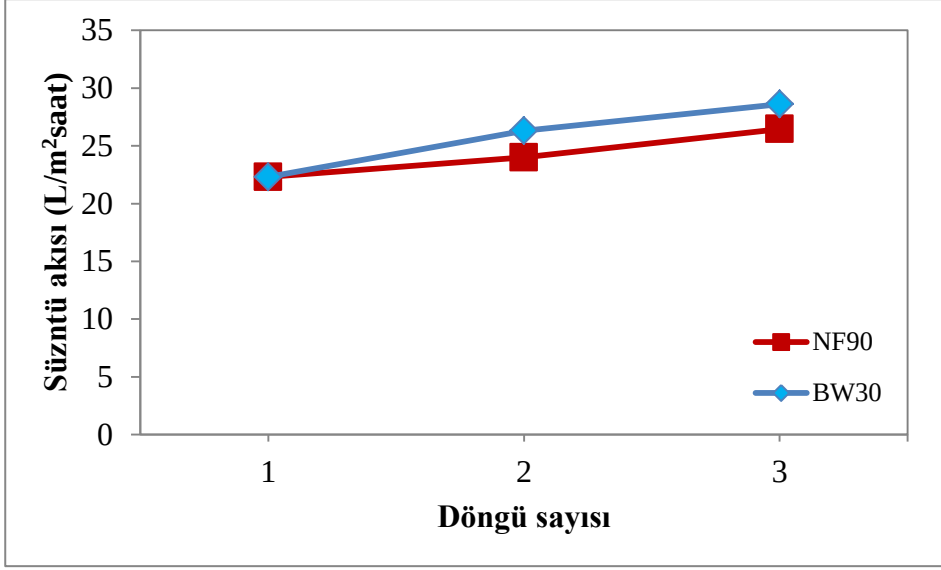
28.61 L/m²saat'e yükselmiştir. Şekil 4.102'de ise NF90 ve BW30 membranlarına ait döngü sayıları ile süzöntü akısının karşılaştırılması verilmiştir.



Şekil 4.100 Sürekli döngü çalışmasında NF90 membranının süzöntü akısı



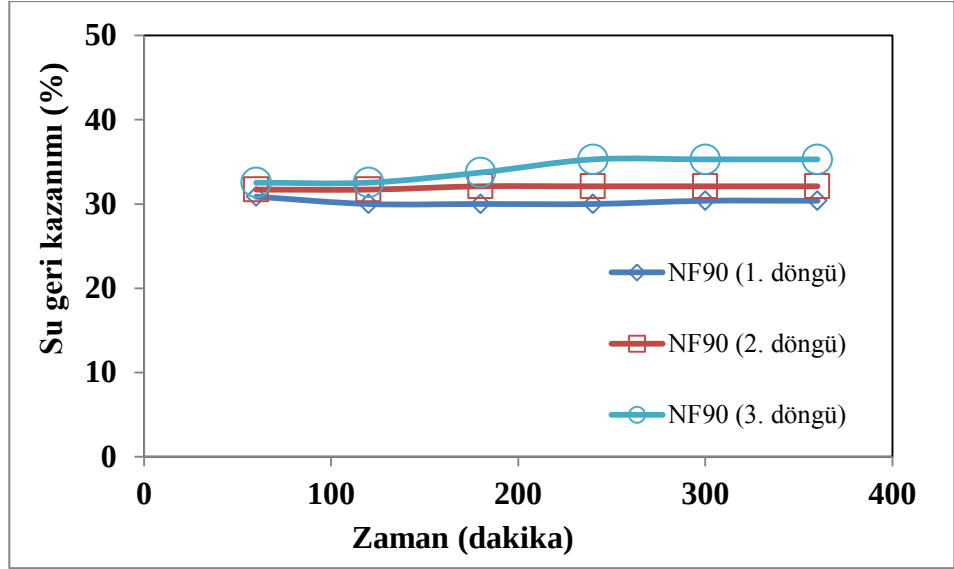
Şekil 4.101 Sürekli döngü çalışmasında BW30 membranının süzöntü akısı



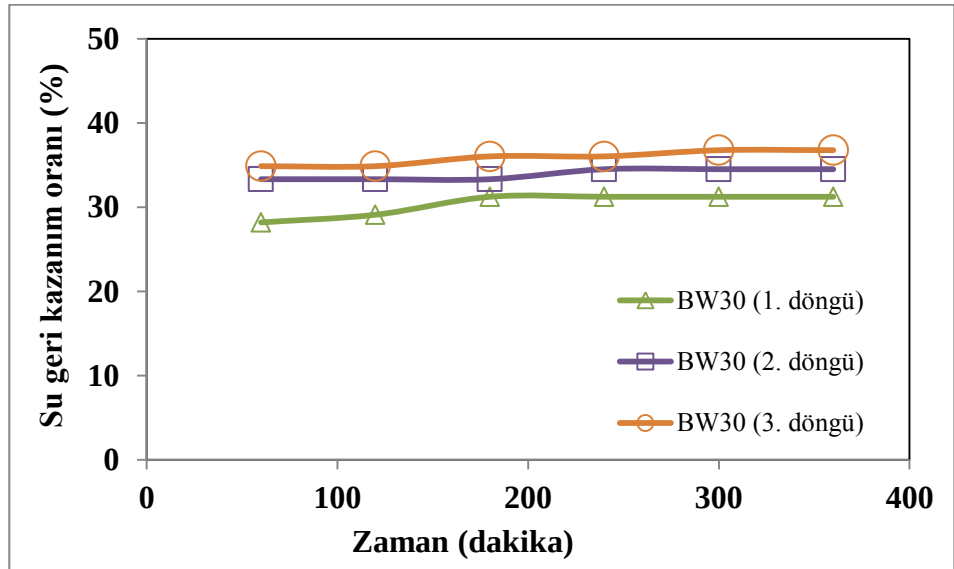
Şekil 4.102 NF90 ve BW30 membranlarına ait süzüntü akılarının döngüsel çalışmalarda değişimi

Sürekli döngü çalışmasına ait atıksu geri kazanımı

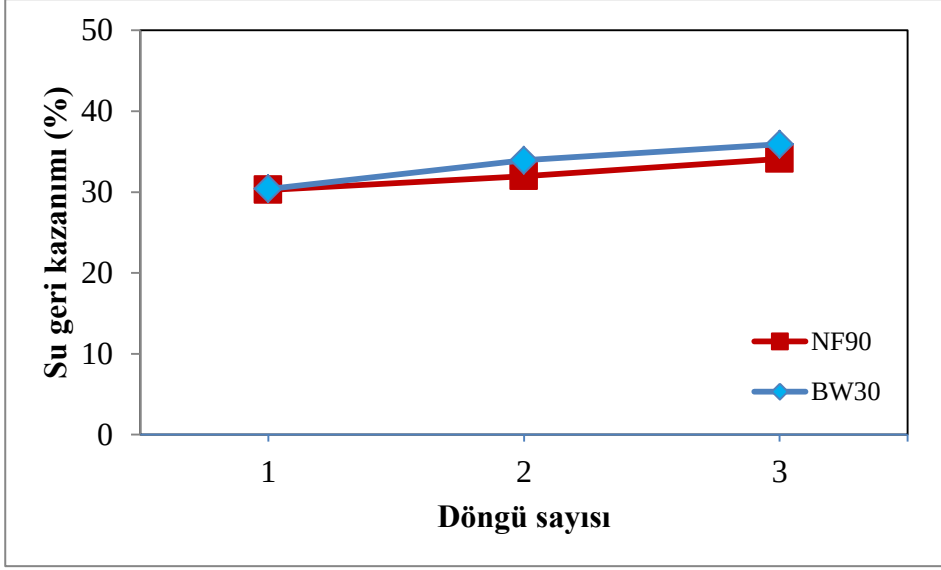
Membranların kimyasal yıkanmasından sonra süzüntü akılarındaki artış neticesinde; ikinci ve üçüncü döngü çalışmalarında atıksu geri kazanımlarında artmıştır. NF90 membranına ait ilk çalışmada su geri kazanımı ortalama %30.2 iken, ikinci döngü çalışmasındaki bu değer %31.9'a üçüncü döngüde ise %34.1'e yükselmiştir. Benzer şekilde BW30 membranına ait ilk çalışmada su geri kazanım oranı %30.4 iken, membranların temizlenmesinden sonraki ikinci döngü çalışmasında bu değer %33.9'a, üçüncü döngü çalışmasında ise %35.9'a yükselmiştir. Şekil 4.103 ve 4.104'de sürekli çalışmaya ait atıksu geri kazanımı, Şekil 4.105'de ise NF90 ve BW30 membranlarına ait döngü sayılarına göre ile süzüntü akısının değişimleri verilmiştir.



Şekil 4.103 Sürekli döngü çalışmasına ait atıksu geri kazanımları (NF90)



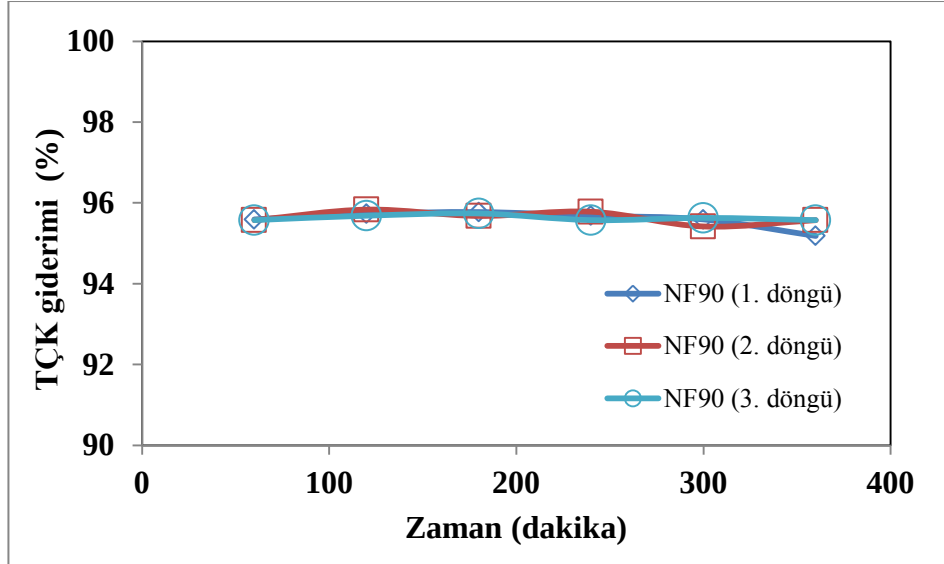
Şekil 4.104 Sürekli döngü çalışmasına ait atıksu geri kazanımları (BW30)



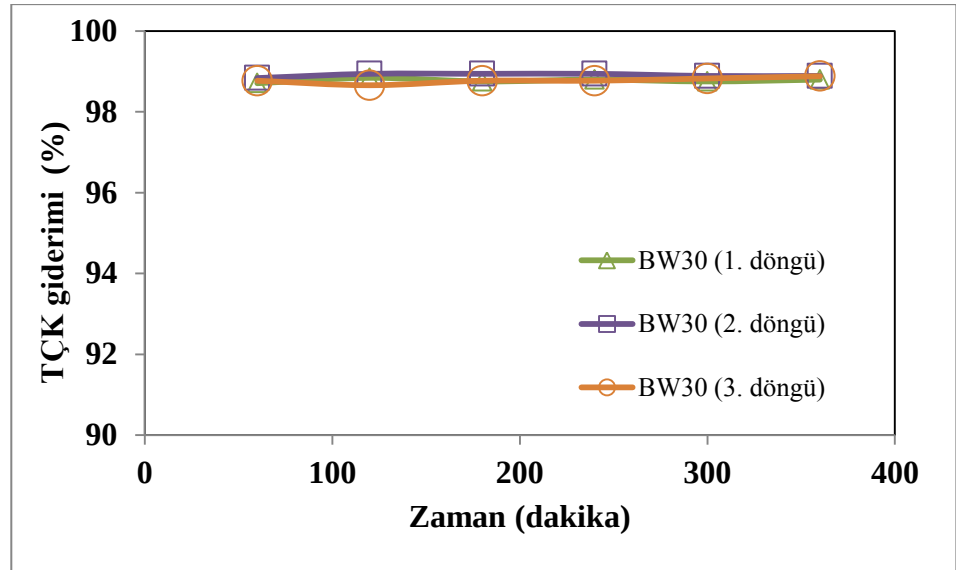
Şekil 4.105 NF90 ve BW30 membranlarına ait atıksu geri kazanım değerlerinin döngüsel çalışmalarla değişimi

Sürekli döngü çalışmasına ait toplam TÇK giderimleri

Şekil 4.106 ve 4.107’de TÇK giderimine ait değerler verilmiştir. Membranların yıkama öncesi ve sonrasında TÇK gideriminde değişim gözlenmemiştir. NF90 membranı için ortalama TÇK giderimi %95, BW30 membranı için %98’in üzerinde bulunmuştur.



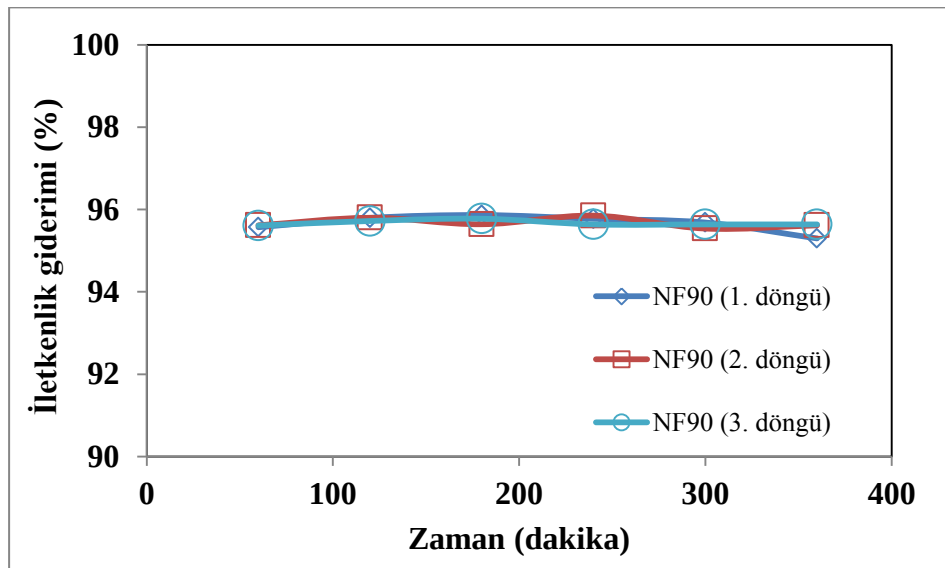
Şekil 4.106 Sürekli döngü çalışmasında zamana karşı TÇK giderimi (NF90)



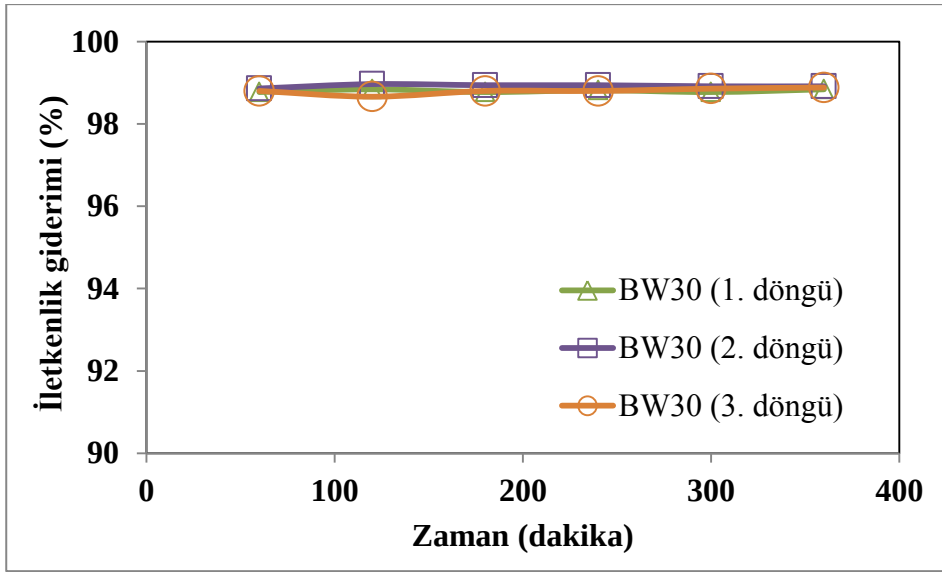
Şekil 4.107 Sürekli döngü çalışmasında zamana karşı TÇK giderimi (BW30)

Sürekli döngü çalışmasında iletkenlik giderimleri

Şekil 4.108 ve 4.109’da iletkenlik giderimine ait değerler verilmiştir. İletkenlik giderimine ait değerler, TÇK giderimi ile benzerlik göstermektedir. Membranların temizlenmesi iletkenlik gideriminde değişime neden olmamıştır. İletkenlik giderimi 3 döngü aşamasında da NF90 membranı için %95’in üzerinde, BW30 membranı için %98’in üzerindedir.



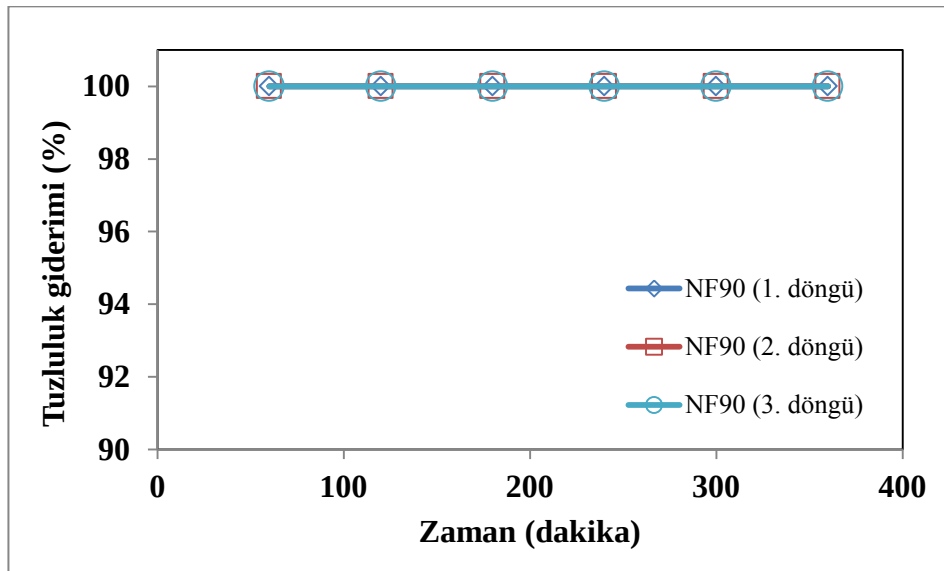
Şekil 4.108 Sürekli döngü çalışmasında zamana karşı iletkenlik giderimi (NF90)



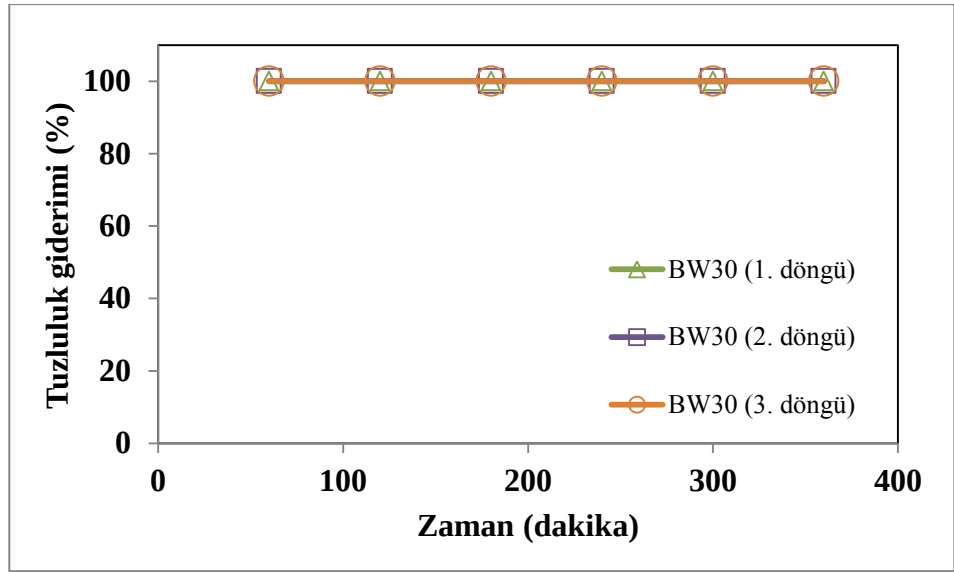
Şekil 4.109 Sürekli döngü çalışmasında zamana karşı iletkenlik giderimi (BW30)

Sürekli döngü çalışmasında tuzluluk giderimleri

Diğer çalışmalarda da olduğu sürekli döngü çalışmasında tuzluluğun hemen tamamı NF90 ve BW30 membranları tarafından giderilmiştir. Şekil 4.110 ve 4.111’de sürekli döngü çalışmasında zamana karşı tuzluluk giderimleri verilmiştir.



Şekil 4.110 Sürekli döngü çalışmasında zamana karşı tuzluluk giderimi (NF90)



Şekil 4.111 Sürekli döngü çalışmasında zamana karşı tuzluluk giderimi (BW30)

Sürekli çalışmasında elde edilen su kalite değerleri

Çizelge 4.17’de, sürekli çalışmada elde edilen su kalite değerleri verilmiştir.

4.10. Arazi Gerçekleşen Sürekli Döngü Çalışmalarına İlişkin Sonuçlar

Sürekli döngü çalışmalarında elde edilen ürün suyun özelliklerinin kimyasal kalitesinin değerlendirilmesi için geliştirilmiş parametrelerle karşılaştırılması Çizelge 4.18’de, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY) ile sulama suyu standartlarıyla karşılaştırılması ise Çizelge 4.19’da verilmiştir. Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği’ne göre NF90 ve BW30 membranlarıyla üretilen su geçirgenlik hariç, 1. Sınıf su kalitesini sağlamaktadır.

Sürekli çalışmada uygulanan membranların asit ve bazla geri yıkanması; süzüntü akısının ve buna bağlı olarak su geri kazanımının artmasını sağlamıştır. Üçüncü döngüden sonra NF90 membranına ait süzüntü akısı 22.3 L/m²saat’den 26.4 L/m²saat’e, su geri kazanımı ise %30’dan %34’e yükselmiştir. Benzer şekilde BW30 membranı için süzüntü akısı üçüncü döngüden sonra 22.3 L/m²saat’den 28.6 L/m²saat’e, su geri kazanımı ise %30’dan %35.9’a yükselmiştir.

Çizelge 4. 17 Sürekli döngü çalışmalarında elde edilen ürün suyun kalitesinin değerlendirilmesi

Parametre	NF90 Besleme (1.döngü)	NF90 Süzüntü (1.döngü)	NF90 Besleme (2.döngü)	NF90 Süzüntü (2.döngü)	NF90 Besleme (3.döngü)	NF90 Süzüntü (3.döngü)	BW30 Besleme (1.döngü)	BW30 Süzüntü (1.döngü)	BW30 Besleme (2.döngü)	BW30 Süzüntü (2.döngü)	BW30 Besleme (3.döngü)	BW30 Süzüntü (3.döngü)
TÇK (g/L)	2.20	0.10	1.92	0.08	1.83	0.08	2.25	0.03	1.89	0.02	1.79	0.02
İletkenlik (mS/cm)	4.40	0.19	3.82	0.16	3.60	0.16	4.49	0.05	3.78	0.04	3.59	0.04
T °C	15.60	17.6	20.20	21.1	21.39	23.02	13.91	15.7	15.57	16.8	19.89	21
pH	7.64	6.75	7.90	6.50	7.60	6.60	7.60	6.75	7.90	6.50	7.60	6.6
Tuzluluk (psu)	2.23	0	1.90	0	1.80	0	2.24	0	1.90	0	1.80	0
Bulanıklık (NTU)	2.07	0.20	0.97	0.17	0.90	0.16	2.08	0.17	0.98	0.11	0.89	0.15
Na ⁺ (mg/L)	647	30.8	580	43.4	531	14.2	663	11.70	571	19.05	538	4.18
Ca ²⁺ (mg/L)	188	1.78	148	1.44	150	0.96	173	0.38	147	0.44	143	0.34
K ⁺ (mg/L)	170	7.90	140	12.6	46	1.90	210	3.80	117	3.4	52	0.78
Mg ⁺² (mg/L)	26.84	<0.5	30	<0.5	26.72	0.1	26.72	<0.5	27.31	<0.5	25.50	<0.5
NH ₄ -N	3.62	0,79	0.53	0.09	0.32	0.03	3.70	0.21	0.53	0.07	0.32	0.03
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	545	31.10	489	24.1	342	31.1	526	15.50	486	15.50	342	15.5
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	521	0.50	530	<5	646	<0.5	485	0.50	475	<5	663	<0.5
Cl ⁻ (mg/L)	1142	76	903	59.3	1003	82.2	980	34.43	950	19.38	912	24.5
PO ₄ -P (mg/L)	0.92	<0.05	0.65	<0.05	0.26	<0.05	0.90	<0.05	0.67	<0.05	0.26	<0.05
NO ₃ -N (mg/L)	55	4.60	31.80	3.60	31	3.15	57	5.65	34.8	2.95	30.80	2.93
NO ₂ -N (mg/L)	1.71	0.35	0.23	0.03	0.24	0.02	1.73	0.25	0.22	0.02	0.24	0.01
Si (mg/L)	8,94	0.11	3.21	0.09	1.95	0.05	9.05	0.10	3.23	0.04	1.92	0.04
KOİ (mg/L)	41.6	<4	35.20	<4	31.20	<4	43.80	<4	37.40	<4	33.20	<4
Renk (Hazen)	43.7	3.90	34.60	3.62	15.68	2.33	44.06	2.58	34.70	2.55	15.52	2.05
TOK (mg/L)	116	1.49	30	1.63	10.93	1.67	40.7	0.83	31.58	1.71	10.46	1.37

Çizelge 4. 18 Sürekli döngü çalışmalarında elde edilen ürün su kalitesinin sulama suyu için geliştirilmiş parametreler ile karşılaştırılması

	SAR	Sodyum (mg/L)	Klorür (mg/L)	TÇK (g/L)	EC (mS/cm)	Kullanımında zarar derecesi				
						Tuzluluk	Geçirgenlik	Özgül İyon toksisitesi		
								Na	Cl	B
NF90 (Sürekli)	11.36	28	70	0.08	0.16	1. sınıf su	3. sınıf su	1.sınıf Y	1. sınıf Y,D	-
BW30 (Sürekli)	6.59	11	21	0.02	0.04	1. sınıf su	3. sınıf su	1.sınıf Y	1. sınıf Y,D	-

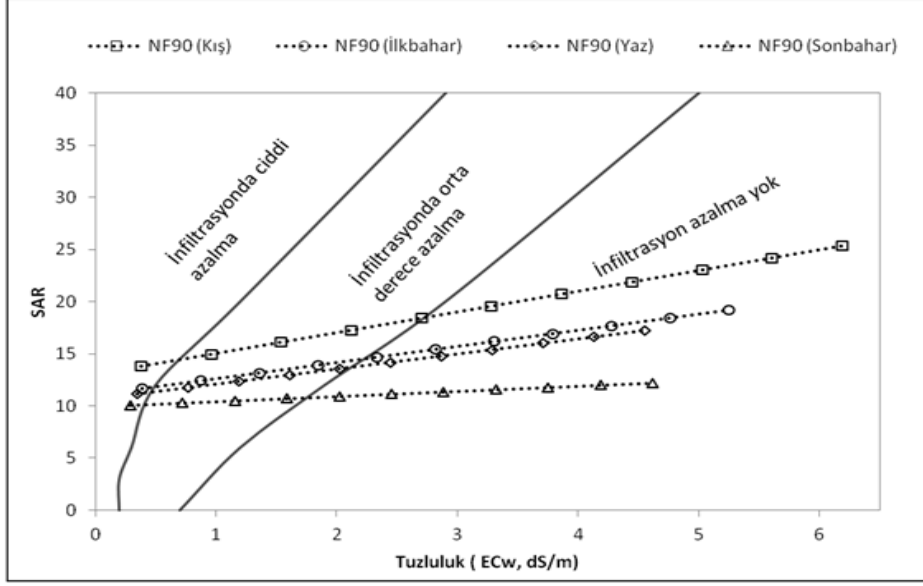
Çizelge 4. 19 Sürekli döngü çalışmalarında elde edilen ürün suyun özelliklerinin Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY) ile sulama suyu standartlarıyla karşılaştırılması

Parametre	Ürün suyu Özellikleri			(SKKY) 1. sınıf su değerleri	(SKKY) 2. sınıf su değerleri	(SKKY) 3. sınıf su değerleri	SSSD ² (Ayers 1985, Solak, 2010)
Membran	MBR çıkış	NF90	BW30				
TÇK (mg/L)	1980	80	20	500	1500	5000	0-2000
İletkenlik (mS/cm)	3.95	0.16	0.04	SB ¹	SB ¹	SB ¹	0-3.00
t (°C)	17.76	22.06	18.9	SB ¹	SB ¹	SB ¹	SB ¹
pH	7.71	6.55	6.55	6.5-8.5	6.5-8.5	6.0-9.0	6.5-8.80
Tuzluluk (‰)	1.98	0	0	SB ¹	SB ¹	SB ¹	0-1.94
Bulanıklık (NTU)	1.32	0.16	0.13	SB ¹	SB ¹	SB ¹	0-0.20
Na ⁺ (mg/L)	588	28	11	125	125	250	0-920
Ca ²⁺ (mg/L)	158	1.2	0.39	SB ¹	SB ¹	SB ¹	0-400
K ⁺ (mg/L)	122	7.2	2.09	SB ¹	SB ¹	SB ¹	0-2.00
Mg ²⁺ (mg/L)	27	<0.5	<0.5	SB ¹	SB ¹	SB ¹	0-60.0
NH ₄ -N	1.5	0.06	0.05	0.2	1	2	0-5.00
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	455	27.6	15.5	SB ¹	SB ¹	SB ¹	0-610
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	553	<0.5	<0.5	200	200	400	0-960
Cl ⁻ (mg/L)	982	70.7	21.9	25	200	400	0-1065
PO ₄ ³⁻ -P (mg/L)	0.61	<0.05	<0.05	0.02	0.16	0.65	0-2.00
NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	40	3.3	2.9	5	10	20	0-10.0
NO ₂ ⁻ -N (mg/L)	0.73	0.02	0.01	0.002	0.01	0.05	SB ¹
Si (mg/L)	4.7	0.07	0.04	SB ¹	SB ¹	SB ¹	SB ¹
KOİ (mg/L)	37	<4	<4	25	50	70	SB ¹
Renk (Hazen)	31	2.9	2.3	5	50	300	SB ¹
TOK (mg/L)	46	1.65	1.54	SB ¹	SB ¹	SB ¹	SB ¹
SAR	11.36	6.59	4.84	SB ¹	SB ¹	SB ¹	SB ¹

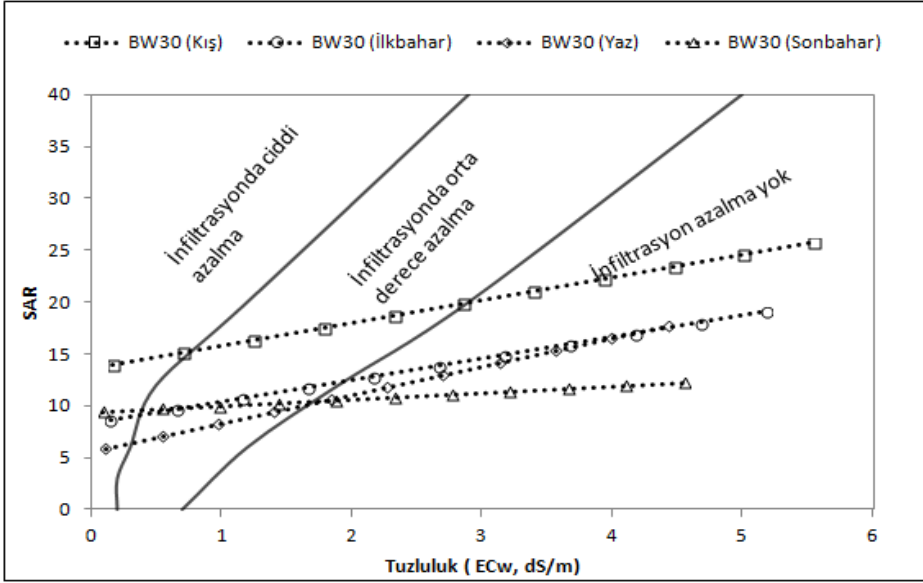
¹Standart Belirtilmemiş, ²Sulama suyu standart değerleri

4.11. MBR Çıkış ve NF/RO Süzüntü Sularının Belli Oranlarda Karıştırılması

Şekil 4.112-115 arasında, MBR çıkış suyu ile NF-RO membranların süzöntü suyunun farklı oranlarında karıştırılmasıyla elde edilen SAR ve iletkenlik değerlerinin karşılaştırılması, Çizelge 4.20’de her bir karışım oranındaki SAR ve iletkenlik değerleri verilmiştir.

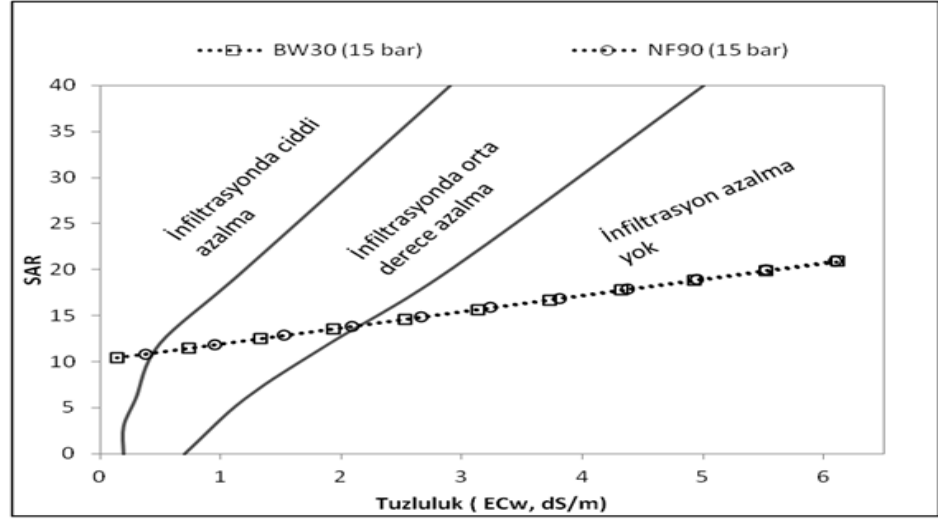


Şekil 4.112 MBR çıkış ve NF90 süzöntüsünün farklı oranlarında karıştırılmasıyla elde edilen suyun SAR ve iletkenlik değerleri

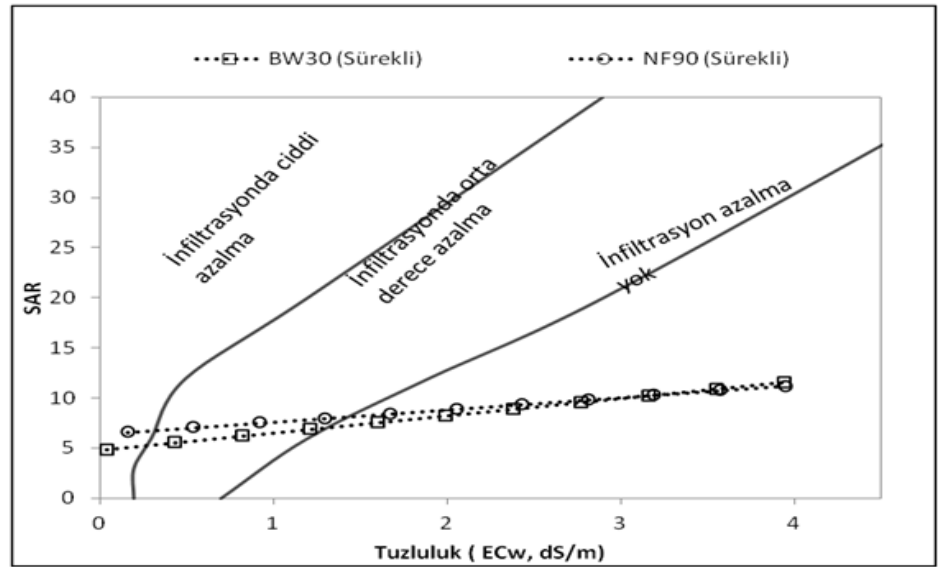


Şekil 4.113 MBR çıkış ve BW30 süzöntüsünün farklı oranlarında karıştırılmasıyla elde edilen suyun SAR ve iletkenlik değerleri

NF90 membranına ait mevsimsel çalışmalara baktığımızda, yaz dönemi hariç, diğer mevsimlerde infiltrasyonda azalmaya neden olmayacak şekilde karışım payı MBR çıkışında 0.4 iken NF90 süzütüsünde 0.6 (0.4:0.6) olarak bulunmuştur. Yaz mevsiminde ise bu pay MBR çıkışında 0.3, NF90 süzütüsünde 0.7 (0.3:0.7) olarak hesaplanmıştır. BW30 membranına ait mevsimsel çalışmalarda ise kış dönemine ait infiltrasyonda azalmaya neden olmayacak en uygun karışım payı MBR çıkışında 0.6 iken, BW30 süzütüsünde 0.4 (0.6:0.4) olarak bulunmuştur. BW30 çalışmasına ait diğer mevsimlerde bu pay MBR çıkışında 0.4, BW30 süzütüsünde 0.6 (0.4:0.6) olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.114 MBR çıkış NF90 ve BW30 süzütüsünün farklı karışım oranlarındaki SAR ve iletkenlik değerleri (15 bar)



Şekil 4.115 MBR çıkış, NF90 ve BW30 süzütüsünün farklı karışım oranlarındaki SAR ve iletkenlik değerleri (Sürekli döngü çalışmaları)

Çizelge 4. 20 MBR çıkış ve membran süzüntü oranlarının, SAR ve iletkenlik değerleriyle karşılaştırılması

	Dönem	Süzüntü	MBR süzüntü payı	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
			NF/RO süzüntü payı	1	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0
NF90	Kış	SAR		13,78	14,94	16,09	17,25	18,40	19,56	20,72	21,87	23,03	24,18	25,34
		EC _w (dS/m)		0,38	0,96	1,54	2,12	2,70	3,29	3,87	4,45	5,03	5,61	6,19
	İlk bahar	SAR		11,67	12,42	13,17	13,92	14,68	15,43	16,18	16,93	17,68	18,43	19,18
		EC _w (dS/m)		0,39	0,88	1,36	1,85	2,33	2,82	3,31	3,79	4,28	4,76	5,25
	Yaz	SAR		11,18	11,78	12,38	12,99	13,59	14,20	14,80	15,41	16,01	16,61	17,22
		EC _w (dS/m)		0,35	0,77	1,19	1,61	2,03	2,45	2,87	3,29	3,71	4,13	4,55
	Son bahar	SAR		10,08	10,29	10,51	10,72	10,94	11,15	11,37	11,58	11,80	12,01	12,23
		EC _w (dS/m)		0,29	0,72	1,16	1,59	2,02	2,45	2,89	3,32	3,75	4,19	4,62
BW30	Kış	SAR		13,99	15,16	16,34	17,51	18,69	19,86	21,04	22,21	23,39	24,56	25,74
		EC _w (dS/m)		0,17	0,71	1,24	1,78	2,32	2,86	3,40	3,94	4,47	5,01	5,55
	İlk bahar	SAR		8,62	9,67	10,71	11,76	12,81	13,85	14,90	15,95	16,99	18,04	19,09
		EC _w (dS/m)		0,14	0,65	1,15	1,66	2,16	2,66	3,17	3,67	4,17	4,68	5,18
	Yaz	SAR		5,85	7,03	8,21	9,40	10,58	11,76	12,94	14,12	15,30	16,48	17,66
		EC _w (dS/m)		0,11	0,54	0,97	1,41	1,84	2,27	2,70	3,13	3,57	4,00	4,43
	Son bahar	SAR		9,44	9,71	9,99	10,27	10,55	10,82	11,10	11,38	11,66	11,94	12,21
		EC _w (dS/m)		0,09	0,54	0,98	1,43	1,87	2,32	2,77	3,21	3,66	4,10	4,55
NF90	15 Bar	SAR		10,77	11,78	12,80	13,81	14,82	15,84	16,85	17,86	18,87	19,89	20,90
		EC _w (dS/m)		0,38	0,95	1,52	2,09	2,66	3,24	3,81	4,38	4,95	5,52	6,09
BW30	15 Bar	SAR		10,39	11,44	12,48	13,53	14,57	15,62	16,67	17,71	18,76	19,80	20,85
		EC _w (dS/m)		0,14	0,74	1,34	1,93	2,53	3,13	3,73	4,33	4,92	5,52	6,12
NF90	Sürekli	SAR		6,59	7,05	7,51	7,96	8,42	8,88	9,34	9,80	10,25	10,71	11,17
		EC _w (dS/m)		0,16	0,54	0,92	1,30	1,68	2,06	2,43	2,81	3,19	3,57	3,95
BW30	Sürekli	SAR		4,84	5,51	6,18	6,85	7,52	8,19	8,86	9,53	10,2	10,87	11,54
		EC _w (dS/m)		0,04	0,43	0,82	1,21	1,60	1,99	2,38	2,77	3,16	3,55	3,94

15 bar'da gerçekleştirilen kesikli çalışmalarda ve sürekli döngü çalışmalarda ise; her iki membran içinde aynı karışım payları elde edilmiştir. Bu çalışmalar için, infiltrasyonda azalmaya neden olmayacak en uygun karışım payı

MBR çıkışında 0.4, NF90 ve BW30 süzüntülerinde 0.6 (0.4:0.6) olarak bulunmuştur. Yukarıdaki çalışmalara ait verilen karışım oranlarıyla birlikte, Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği'nde verilen, Sulama suyunun kimyasal kalitesinin değerlendirilmesi için geliştirilmiş parametre (Çizelge 3.9) çizelgesindeki 3. Sınıf su kalite değerleri, 1. Sınıf su haline gelmesi sağlanacaktır. Çizelge 4.20'de, arazide gerçekleştirilen tüm çalışmaların NF90 ve BW30 süzüntü payı ile MBR çıkış suyuna ait payları karşılaştırılıp, elde edilen karışımlara göre iletkenlik ve SAR değerleri gösterilmiştir.

4.12. Maliyet Analizi Hesaplamaları

Şekil 4.116-121 arasında ise NF90 ve BW30 membranları ile yapılan ileri arıtma çalışmalarında ait maliyet dağılımları, Çizelge 21'de çalışmalara ait toplam maliyetler, Çizelge 22'de ise toplam maliyetlere ait giderler verilmiştir.

Yapılan hesaplamalarda, mevsimsel çalışmalara ait en düşük maliyet NF90 membranı için ilkbahar döneminde, BW30 membranı için yaz döneminde bulunmuştur. Bu değerler NF90 membranı için **5.07 €/m³** süzüntü iken, BW30 membranını için **5.90 €/m³** süzüntü olarak hesaplanmıştır.

Basınç etkisinin incelendiği çalışmalara ilişkin maliyet hesaplarına bakıldığında, basınç artışı süzüntü akısının artmasını sağlamış ve buna bağlı olarak m³ başına üretilen süzüntünün maliyeti diğer çalışmalara göre azalmıştır. Bu değer NF90 membranı için **4.51 €/m³-süzüntü** iken, BW30 membranı için bu değer **5.97 €/m³-süzüntü** maliyet olmuştur.

NF+RO entegre sisteme ait çalışmalara ilişkin maliyet hesaplarına bakıldığında, ilk çalışmaya ait m³ süzüntü başına toplam maliyet **5.86 €** iken, yapılan tekrar çalışmasında toplam maliyet değeri **5.64 €**'ya düşmüştür

Sürekli döngü çalışmalarında, her bir çalışma sonunda membranların asit ve bazla geri yıkanması üretilen süzüntü miktarının artmasını sağlamış, böylelikle üretilen m³ süzüntü başına maliyeti azalmıştır. NF90 membranı ile yapılan ilk döngü çalışmasında m³ süzüntü başına toplam maliyet **9.66 €** iken, üçüncü döngünün sonunda toplam maliyet **8.34 €**'ya düşmüştür. Toplam maliyetteki benzer azalma BW30 membranı ile yapılan sürekli çalışmada da görülmüştür.

BW30 membranı ile yapılan ilk sürekli çalışmada m³-süzüntü başına toplam maliyet **9.52 €** iken, üçüncü döngünün sonunda toplam maliyet **7.75 €** olarak hesaplanmıştır.

Tüm çalışmalara ait maliyet giderlerine bakıldığında maliyetin çok önemli bir diliminin sistem kurulumu için harcanan sabit maliyete karşılık geldiği görülebilir. Maliyet dağılım oranlarına bakıldığında, sabit maliyeti, bakım maliyetleri izlemektedir. Sistemin rutin kontrolleri için harcanan işçi maliyeti, kartuj filtrelerin düzenli olarak değiştirilmesi, bu harcamalara ilişkin maliyetin artmasına neden olmaktadır. T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu tarafından belirlenen elektrik birim fiyatının oldukça düşük olması, ayrıca sistemde kullanılan kimyasalların az olması enerji ve kimyasal maliyetinin diğer maliyetlere göre daha düşük olmasını sağlamıştır.

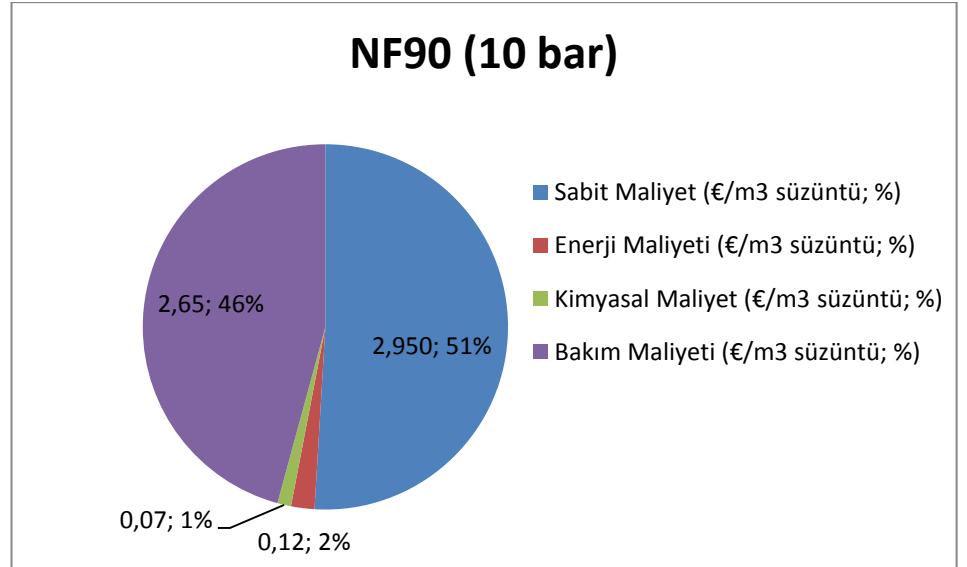
Çizelge 4. 21 Arazi çalışmalarına ilişkin maliyet hesaplamaları

Membran	Çalışma Dönemi	Basınç (Bar)	Süzüntü akısı (L/hm ²)	Geri kazanım oranı (%)	İşletme Maliyeti (€/m ³ süzüntü)	Toplam Maliyet (€/m ³ süzüntü)
NF90	Kış	10	42.53	45.60	2.86	5.18
	İlkbahar	10	54.21	51.45	2.75	5.07
	Yaz	10	51.46	49.78	2.76	5.20
	Sonbahar	10	30.27	36.69	3.30	7.46
BW30	Kış	10	28.70	35.92	3.30	7.68
	İlkbahar	10	35.11	40.66	2.98	6.56
	Yaz	10	40.80	44.21	2.82	5.90
	Sonbahar	10	30.61	37.33	3.18	7.29
NF90	Basınç etkisi	15	76.46	59.93	2.86	4.51
BW30	Basınç etkisi	15	49.07	49.03	2.83	5.97
(NF90+BW30)	NF+RO entegre	10	41.23	44.63	2.81	5.86
(NF90+BW30)	NF+RO entegre	10	43.84	46.21	2.77	5.64
NF90	S.D.Ç.* (1.döngü)	10	22.31	30.27	4.02	9.66
	S.D.Ç.* (2.döngü)	10	24.00	31.97	3.83	9.07
	S.D.Ç.* (3.döngü)	10	26.46	34.11	3.59	8.34
BW30	S.D.Ç.* (1.döngü)	10	22.31	30.39	3.89	9.52
	S.D.Ç.* (2.döngü)	10	26.31	33.93	3.49	8.27
	S.D.Ç.* (3.döngü)	10	28.42	35.90	3.33	7.75

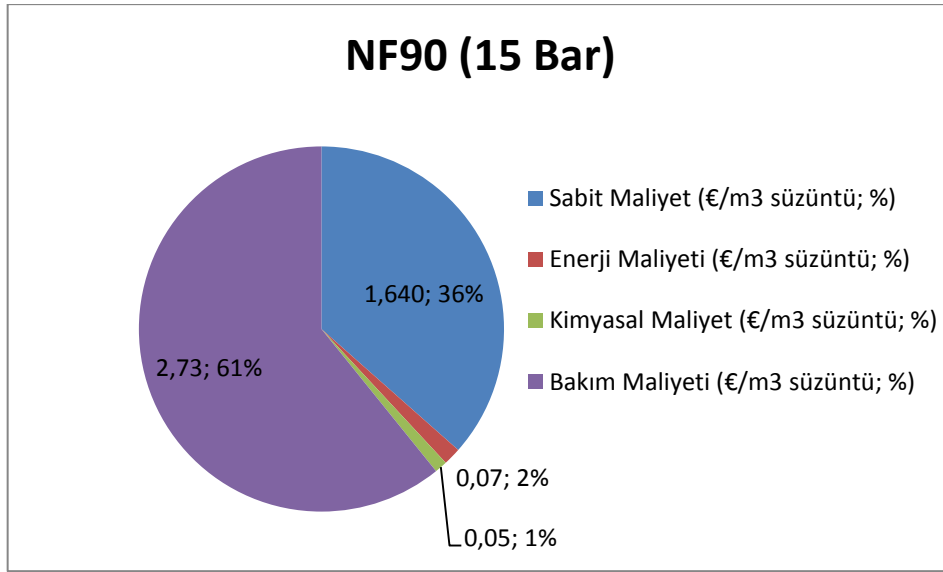
Çizelge 4. 22 Arazi çalışmalarına ilişkin maliyet giderleri

Membran	Çalışma Dönemi	Sabit Maliyet (€/m ³ süzüntü)	Enerji Maliyet (€/m ³ süzüntü)	Kimyasal Maliyet (€/m ³ süzüntü)	Bakım+işçi Maliyet (€/m ³ süzüntü)
NF90	Kış	2.95	0.12	0.07	2.65
	İlkbahar	2.31	0.10	0.06	2.58
	Yaz	2.44	0.10	0.06	2.58
	Sonbahar	4.15	0.17	0.09	3.03
BW30	Kış	4.38	0.18	0.09	3.01
	İlkbahar	3.58	0.15	0.08	2.74
	Yaz	3.08	0.13	0.07	2.61
	Sonbahar	4.10	0.17	0.09	2.91
NF90	Basınç etkisi	1.64	0.07	0.05	2.73
BW30	Basınç etkisi	3.13	0.13	0.06	2.63
(NF90+BW30)	Hibrit	3.05	0.13	0.07	2.60
(NF90+BW30)	Hibrit (tekrar)	2.86	0.12	0.07	2.57
NF90	S.D.Ç.* (1.döngü)	5.63	0.24	0.11	3.66
	S.D.Ç.* (2.döngü)	5.23	0.22	0.12	3.48
	S.D.Ç.* (3.döngü)	4.75	0.20	0.11	3.27
BW30	S.D.Ç.* (1.döngü)	5.63	0.24	0.11	3.53
	S.D.Ç.* (2.döngü)	4.77	0.20	0.11	3.17
	S.D.Ç.* (3.döngü)	4.42	0.19	0.10	3.03

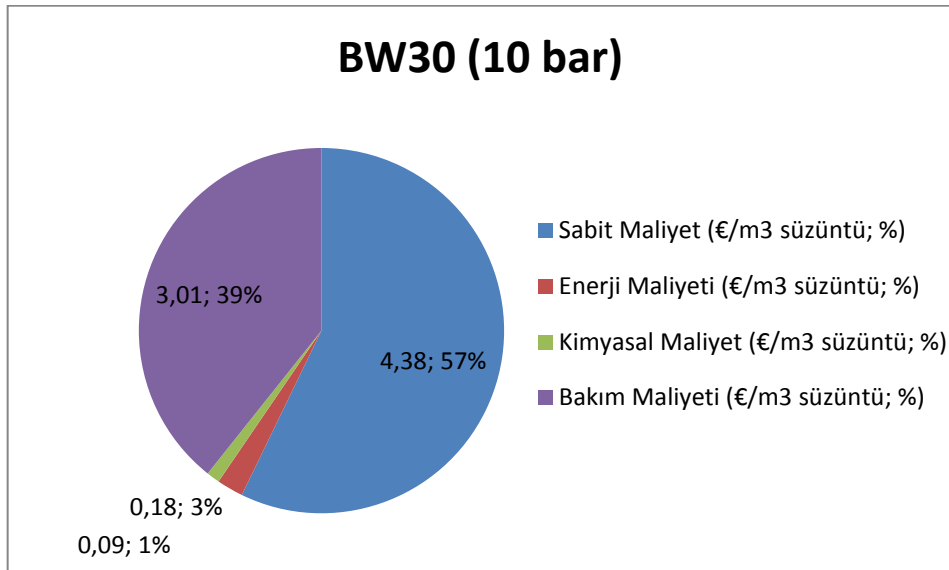
*S.D.Ç.:Sürekli döngü çalışmaları



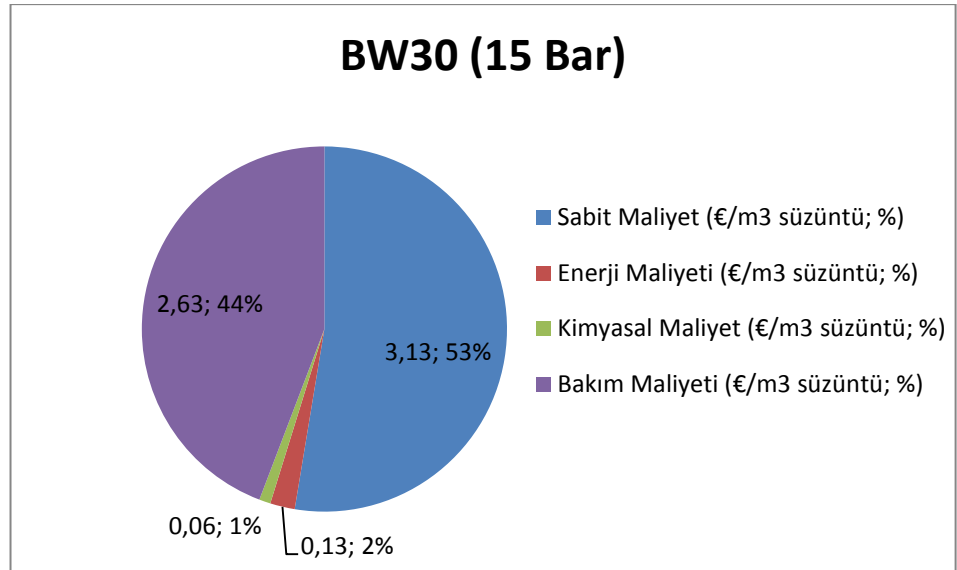
Şekil 4.116 NF90 (10 bar) membranına ait maliyet dağılımı



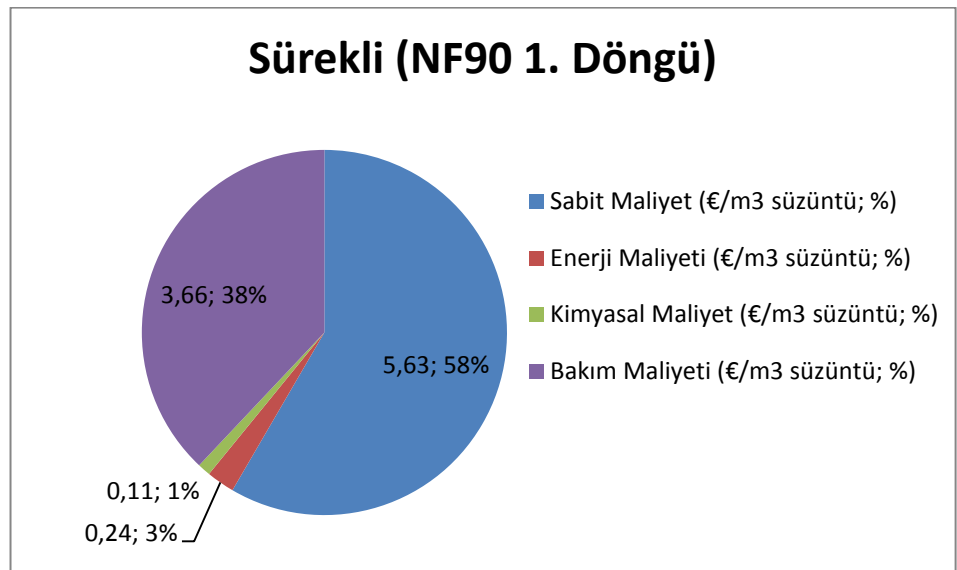
Şekil 4.117 NF90 (15 bar) membranına ait maliyet dağılımı



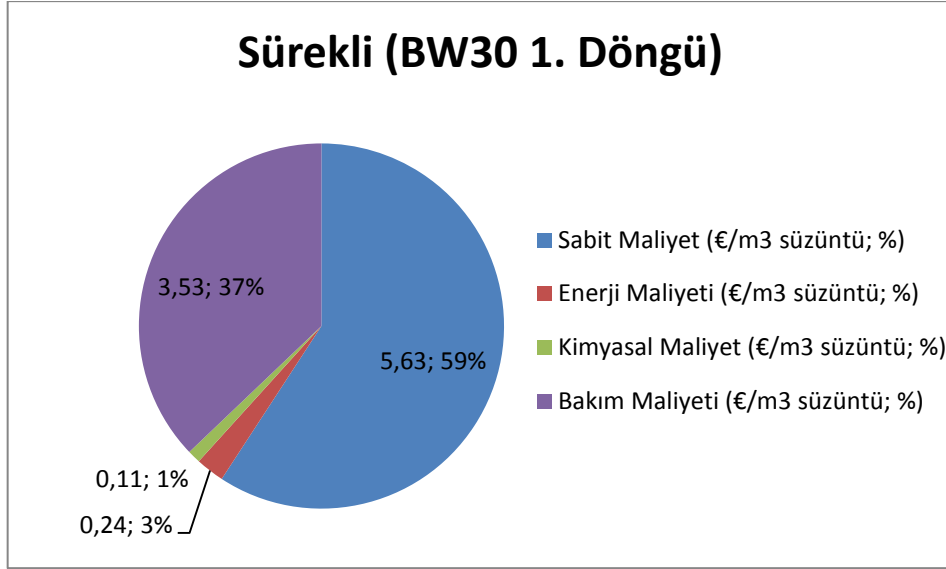
Şekil 4.118 BW30 (10 bar) membranına ait maliyet dağılımı



Şekil 4.119 BW30 (15 bar) membranına ait maliyet dağılımı



Şekil 4.120 Sürekli (NF90 1. döngü) çalışmaya ait maliyet dağılımı



Şekil 4.121 Sürekli (BW30 1. döngü) çalışmaya ait maliyet dağılımı

5. TARTIŞMA, SONUÇ ve ÖNERİLER

5.1. Tartışma

Bu çalışmada, MBR yöntemiyle arıtılmış atıksuların yeniden kullanımı için, NF ve RO membranları ile daha ileri düzeyde arıtım yapılmıştır. MBR yöntemi ile arıtılan atıksu ve NF/RO membran teknolojilerini kullanarak elde edilen ürün suyun özellikleri, farklı analiz yöntemleriyle incelenmiş, SKKY ve sulama suyu standartlarıyla karşılaştırılmıştır. Araştırma sonunda elde veriler, diğer araştırmacıların elde ettikleri veriler ile karşılaştırılarak, konuyla ilgili detaylı irdeleme yapılmaya çalışılmıştır.

5.1.1. Laboratuvar çalışmaları

Laboratuvar çalışmalarında en yüksek süzüntü akısı HL-NF membranı ile elde edilmiştir. HL-NF membranını sırasıyla AG ve DL membranı izlemiştir. Acero et al., (2010) yaptığı çalışmada DL membranı için süzüntü akısını 20 ve 30 barda sırasıyla, 60.9 ve 92.1 L/m²h, HL membranı için 10, 20 ve 30 barda sırasıyla 69.2, 135.2, 190 L/m²h olarak bulmuştur. HL ve DL membranları için aynı basınçlar değerlendirildiğinde; HL membranının süzüntü akısının, DL membranından yüksek olduğu görülmektedir. Aynı zamanda temas açıları (contact angle) değerlendirildiğinde temas açısı HL membranı için 41°, DL membranı için 30.7° olarak verilmiştir. Dolayısıyla HL membranı DL membranından daha hidrofildir. Xie et al., (2012) AG membranı için süzüntü akısını 15 barda 43 L/m²h olarak elde etmiştir. Yaptığımız çalışmada ise HL membranı için 10 barda elde ortalama süzüntü akısı 58.7 L/m²h'dir ve DL membranından daha yüksektir. AG membranı için bu değer 10 barda 32.6 L/hm²'dir. Yaptığımız çalışmadaki sonuçlar ise, Acero et al., (2009) ile Xie et al., (2012)'in çalışmalarında elde edilen sonuçları desteklemektedir.

Membranlara ait iletkenlik, tuzluluk ve toplam çözünmüş katı madde giderimleri incelendiğinde, AG membranı diğer membranlara göre daha yüksek giderimi vermiştir. Bunani (2013), yaptığı çalışmada membranlara ait gözenek büyüklüklerinin madde giderimlerinde etkili olduğunu belirtmiştir. RO membranı olan AG membranı, NF membranı olan HL ve DL membranına göre daha yoğun bir yüzey morfolojisine sahip olduğu için madde giderimleri, AG membranı ile diğer membranlara göre daha yüksek bulunmuştur.

Metal iyonlarının gideriminde AG membranı diğer membranlara göre daha yüksek performans göstermiştir. Bartels et al. (2005), besleme suyunda bulunan bazı tek değerlikli iyonik türlerin, çift değerlikli iyonik türlere göre membrandan daha kolaylıkla geçebileceğini belirtmiştir. Balannec et al. (2005), mandıra atık suyu ile yaptığı çalışmada, tek değerlikli iyonlarda en iyi giderimi RO membranları ile elde etmişlerdir. Çift değerlikli iyonların gideriminde ise NF ve RO membranları %97'nin üzerinde giderim sağlamıştır. Yaptığımız çalışmada sodyum ve potasyum giderimi AG membranı için %95'in üzerindedir. HL ve DL membranı için potasyum giderimi ise %30'un altında bulunmuştur. İki değerlikli iyon olan, magnezyum ve kalsiyum gideriminde ise her üç membran ile, tek değerlikli iyonlara göre daha yüksek giderim göstermiştir. Elde edilen sonuçlar literatürdeki değerlerle karşılaştırıldığında uygunluk göstermektedir.

Amar et al., (2009) tekstil atıksuları ile yaptığı çalışmada HL ve AG membranlarını kullanmışlardır. Tekstil atıksuyunu öncelikle UF membranından geçirmişlerdir. Böylelikle KOİ gideriminde %8'lik azalma gözlenmiştir. KOİ değeri; 184 mg/L'den, 169 mg/L'ye düşmüştür. Daha sonra bu atıksuyu NF ve RO membranlarına vermişlerdir. Deneyler sonunda HL membranı için KOİ giderimini 9-13 bar arasında yaklaşık olarak %64 bulmuşlardır. AG membranı için bu değer 10 bar'da yaklaşık %75'dir. Yaptığımız çalışmada KOİ giderimi AG, HL ve DL membranı için sırasıyla %81, %60 ve %38 olarak elde edilmiştir. AG membranı için KOİ gideriminin daha yüksek olmasının nedeni, MBR yöntemiyle artılan atık sudaki KOİ değerinin, Amar et al., (2009) çalışmasından çok daha düşük olması olabilir.

Renk giderimleri bakımından her üç membranda yüksek giderim sağlamıştır. Kim et al., (2005) boya imalat endüstrisi atıksuları ile yaptığı çalışmada, NF membranı olan DK ile RO membranı olan AG membranına ait renk giderimlerini 30 barda, %90'nın üzerinde bulmuştur. Yaptığımız çalışmada ise en yüksek renk giderimine AG membranı ulaşmıştır. Bu değer 10 barda ortalama %86'dır.

HL ve AG membranına ait fosfat giderimleri, DL membranına göre daha yüksek bulunmuştur. Bunani (2013) yaptığı çalışmada çok değerlikli iyon çapının, tek değerlikli iyon çapına daha büyük olduğunu ayrıca yük etkisinde giderimde etkili olduğunu belirtmiştir.

Bulanıklık gideriminde her üç membranda yüksek giderim sağlamıştır. Bunun nedeni, MBR yöntemiyle arıtılmış atıksuda ortalama bulanıklık değerinin düşük olmasındandır. Bulanıklık değeri düşük olduğundan hem NF, hem de RO membranları yüksek giderim göstermiştir.

Klorür ve sülfat gideriminde AG membranı ortalama %96'nın üzerinde giderim sağlamıştır. Al-Amoudi et al., (2007) yılında yaptığı çalışmada HL ve DL membranlarına ait membran yükünün yüksek pH'larda negatif olduğunu belirtmiştir. Kullandığımız atıksuyun ortalama pH'ı 7.95'dir. Al-Amoudi et al., (2007)'in çalışmasına göre bu pH değerinde HL ve DL membranları negatif yüklüdür. Bundan dolayı HL ve DL membranları, sülfat gideriminde AG membranına benzer giderim göstermiştir. Her üç membran içinde sülfat giderimi %99'un üzerindedir. Bu karşılık klorür gideriminde AG membranı yine yüksek giderim gösterirken, HL ve DL membranlarındaki giderim sırasıyla %18 ve %8'dir. Dolar et al., (2012) HL membranına ait gözenek çapının 1.32-2.03 nm arasında olduğunu belirtmiştir. Paugam et al., (2004), klorür çapını ise 0.181 nm olarak vermiştir. Yüksek pH'larda membran yükü negatif olmasına karşın, tek yüklü anyon olan klorür iyon çapının küçük olmasından dolayı HL ve DL membranından kolaylıkla geçmiştir. Bu yüzden klorür giderimi düşük kalmıştır.

TOK gideriminde, HL ve AG membranlarının performansları arasında küçük farklılıklar gözlenmiştir. DL membranına ait giderim diğer membranlara göre daha düşüktür. Bu sonuçlara göre TOK gideriminde sadece membranların eleme etkisinin rol oynamadığı aynı zamanda yük etkisi gibi diğer etkenlerinde rol aldığı söylenebilir.

HL ve DL membranına ait amonyum, nitrit ve nitrat giderimleri AG membranına göre oldukça düşük bulunmuştur. Dolar et al., (2013) ilaç sanayine ait atıksular ile yaptığı çalışmada HL membranına ait amonyum giderimini %19 olarak bulmuştur. Yaptığımız çalışmada da HL membranına ait amonyum giderimi ortalama olarak %19 düzeyindedir. Paugam et al., (2004) nitrata ait iyon çapını 0.189 nm, hidrasyon enerjisini ise 329 kJ/mol olarak belirtmiştir. Yaptığımız çalışmada NF membranlarına ait nitrat gideriminin düşük çıkmasının nedeni, nitrata ait iyon çapının membran gözeneklerinden düşük olması ve nitratin düşük hidrasyon enerjisine sahip olmasından kaynaklanabilir. Benzer durum nitrit iyonu içinde söylenebilir. Buna karşılık RO membranı olan AG membranı her üç parametre içinde (amonyum, nitrit ve nitrat) en yüksek giderim verimine ulaşmıştır.

5.1.2. Mevsimsel arazi çalışmaları

MBR yöntemiyle arıtılmış atıksuya ait fizikokimyasal parametreler, mevsimsel olarak değişim göstermiştir. En belirgin farklılıklar potasyum iyonu için görülmektedir. Atıksuda bulunan potasyumun, İTOB-OSB bölgesinde bulunan rakı fabrikasından, yüksek tuz derişiminin ise salamura tesisinden kaynaklandığı tahmin edilmektedir. MBR çıkış suyundaki diğer monovalent, divalent ve multivalent iyonlarda görülen mevsimsel değişimler ise, yeraltı su karakteristlerinin zamana bağlı değişiminden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Yaptığımız çalışmada NF90 membranına ait ortalama süzöntü akısı, BW30 membranına göre daha yüksek bulunmuştur. Bunani et al., (2013) arıtılmış kentsel atıksu ile yaptığı çalışmada NF90 membranına ait süzöntü akısını ortalama 49.3 L/m²saat olarak bulmuştur. Bizim yaptığımız çalışmada ise bu değer ortalama 44.6 L/m²saat'dir. Süzöntü akısındaki bu küçük farklılık, kullanılan besleme sularının farklı olmasından kaynaklanabilir. Ayrıca çalışmamızda besleme suyu sıcaklığının yüksek olduğu aylarda süzöntü akısında arttığı görülmüştür. Luo et al., (2012) deterjan atıksuları ile yaptığı çalışmada sıcaklık arttıkça membrana ait süzöntü akısında arttığını belirtmiştir. Çalışmamızda elde edilen neticeler bunu destekler niteliktedir. Her iki membran içinde süzöntü akısı yaz aylarında en yüksek değere ulaştıktan sonra zamanla azalma göstermiştir. Bunun nedeni zamanla membran alanı yüzeyinde oluşan kirlenme ve tıkanmadan kaynaklanabilir.

Süzöntü akısının artmasıyla birlikte su geri kazanım oranıda artmıştır. Yaptığımız çalışmada en yüksek su geri kazanım oranına, besleme suyu sıcaklığının en yüksek olduğu dönemlerde ulaşılmıştır. NF90 ve BW30 membranlarına ait toplanan süzöntü akısının artması, su geri kazanım oranının da artmasını sağlamıştır.

NF90 ve BW30 membranları iletkenlik, tuzluluk ve toplam çözünmüş katı madde gideriminde yüksek giderim sağlamıştır. Gozalvez-Zafrilla et al., (2008) arıtılmış tekstil atıksuları ile yaptığı çalışmada, uygun süzöntü akısı ve giderim değerleri için NF90 membranı ile 10 bar'da çalışmayı seçmişlerdir. NF90 ile yaptıkları çalışmada tuzluluk giderimini %95-97 arasında; iletkenlik değerini ise <400 µS'den az bulmuşlardır. Lee et al., (2001) yapay atıksu ile yaptığı çalışmada BW30 membranı için ortalama iletkenlik değerini 240 µS, iletkenlik giderimini ise %88 olarak bulmuştur. Yaptığımız çalışmada ise ortalama iletkenlik ve TÇK

giderimi; NF90 membranı için %93, BW30 membranı için %97'dir. Her iki membran içinde tuzluluğun tamamına yakını giderilmiştir.

BW30 ve NF90 membranları ortalama sülfat iyonu için %99, klorür iyonu ise sırasıyla %97 ve %93 giderim sağlamıştır. Tu et al., (2011) NF90 ve BW30 membranının pH 6-11 arasında negatif yüklü olduğunu belirtmiştir. Yaptığımız çalışmada ise MBR yöntemiyle arıtılmış atıksuyun ortalama pH'sı 7.7'dir. Klorür ve sülfat iyonlarının gideriminin her iki membran için de yüksek olmasının nedeni, membranlara ait gözenek çaplarının küçük olmasının yanında membran yüzeylerinin negatif yüklü olmasından da kaynaklanmaktadır. Çalışılan atıksuyun pH değerinde membranlar negatif yüklü olduğu için negatif yüklü iyonlar olan klorür ve sülfat iyonlarının membrandan geçişi engellenmiş ve bu durumda iyon giderimleri yüksek oranda sağlanmıştır.

Ortalama KOİ gideriminde NF90 ve BW30 membranı %84'ün üzerinde giderim sağlamıştır. Yaptığımız çalışmada süzüntü örneklerindeki KOİ derişimi tayin sınırının altında çıkmıştır. Süzüntü suyundaki derişim <4 mg/L'dir. Bu değer tayin sınırının altındadır. Dolayısıyla KOİ gideriminin aslında %84'ün üzerinde olması beklenebilir. Süzüntüdeki KOİ derişimin düşük olmasının nedeni, Bunani (2013) yaptığı çalışmada da belirttiği gibi, KOİ'de ki artışa destek sağlayan iyonik türlerin negatif yüklü NF90 ve BW30 membranları tarafından giderilmesinden dolayı olabilir.

Kasyon gideriminde BW30 ve NF90 membranları yüksek giderim sağlamıştır. Tu et al., (2011) yaptığı çalışmada, NF90 membranının gözenek çapını 0.68 nm, BW30 membranının ise gözeneksiz olduğunu ayrıca, pH 8'de sodyum ve kalsiyum iyonlarının giderimini NF90 membranı için sırasıyla %87 ve %88, BW30 membranı için sırasıyla %96 ve %97 olarak belirtmiştir. Yaptığımız çalışmada, sodyum ve kalsiyum giderimleri Tu et al., (2011)'in elde ettikleri değer ile benzerlik göstermektedir. Çalışmamızda, ortalama sodyum ve kalsiyum giderimleri BW30 membranı için %97 ve %99, NF90 membranı için %93 ve %98 olarak bulunmuştur. Balannec et al., (2005) mandıra atıksuyu ile yaptığı çalışmada ise potasyum ve magnezyum iyonlarının giderimini BW30 membranı için sırasıyla %96 ve %99 olarak belirtmiştir. Çalışmamızda ise ortalama potasyum ve magnezyum giderimi BW30 membranı için sırasıyla %97 ve %99.9'dur. Balannec et al., (2005)'un belirttiği gibi tek değerlikli iyonlarda en iyi giderimi RO membranları sağlamaktadır. Bunun muhtemel nedeni Tu et al., (2011)'un belirttiği gibi RO membranlarının gözeneksiz olmasındandır.

Fosfat gideriminde NF90 membranı %77, BW30 membranı %79'un üzerinde giderim sağlamıştır. KOİ'de olduğu gibi ölçülen fosfat fosforu değeri tayin sınırının altındadır. Süzüntü suyundaki fosfat-fosforu değeri <0.05 mg/L'nin altında ölçülmüştür. Dolar et al., (2011) ilaç sanayi atıksuları ile yaptığı çalışmada, NF90 membranına ait fosfat giderimini %100 bulmuştur.

Bulanıklık gideriminde NF90 ve BW30 membranları, %85'in üzerinde giderim sağlamıştır. MBR yöntemiyle arıtılmış atıksuda ortalama bulanık değeri oldukça düşüktür. Galil and Levinsky (2007), kağıt fabrikası ve petrokimya endüstrisine ait atıksuların, MBR yöntemiyle giderim performanslarını karşılaştırmıştır. Her iki fabrikaya ait ham sudaki bulanık değerleri 46-171 NTU olarak verilmiştir. MBR yönetimiyle arıtılan atıksuda bulanık değerleri her iki sanayi içinde 0.8 NTU olarak belirtilmiştir. Yaptığımız çalışmada ise MBR yöntemiyle arıtılan atıksudaki bulanık değeri, ortalama 0.91 NTU'dur. Bulanıklık değeri düşük olduğundan hem NF90, hem de BW30 membranı bulanıklık için yüksek giderim göstermiştir.

Yaptığımız çalışmada, besleme suyunda ortalama TOK değeri 29 mg/L'dir. TOK gideriminde ise NF90 ve BW30 membranı %93 düzeyde giderim göstermiştir. Dolar et al., (2011) yaptığı çalışmada, farklı NF ve RO membranlarıyla farklı su bileşimlerinde TOK giderimlerini incelemişlerdir. Çalışmamızda ki en yakın TOK değerine çeşme suyunda ulaşmışlardır. Çeşme suyuna ait TOK değeri 20.64 mg/L olarak belirtilmiştir. NF90 membranı ile yaptıkları çalışmada TOK gideriminde %98'lik giderim sağlamışlardır. Bu sonuçlara göre TOK gideriminde sadece membranların eleme etkisinin rol oynamadığı aynı zamanda yük etkisi gibi diğer etkenlerinde rol aldığı söylenebilir.

NF90 ve BW30 membranlarına ait ortalama silisyum giderimi sırasıyla %95 ve %97'dir. Bunani (2013), NF90 membranı ile yaptığı çalışmada MBR yöntemiyle arıtılmış atıksudaki silisyum giderimini %99 olarak bulmuştur. Silisyum gideriminde sadece membran boyutlarının gözeneklerinin etkili olmadığını aynı zamanda membran yüzeyindeki yükler ile atıksu içindeki iyonlar arasındaki elektrostatik etkileşimlerinde etkili olduğunu belirtmiştir.

Yaptığımız çalışmada renk giderimi NF90 ve BW30 membranları için sırasıyla %86 ve %89'dir. Ortalama renk derişimi NF90 membranı için 3.9 Hz,

BW30 membranı için 3 Hz.'dir. Liu et al., (2011) biyolojik yolla arıtılmış tekstil atıksularının yeniden kullanımı için NF90 ve BW30 membranlarının farklı hacim konsantrasyona faktörlerini (VCF, volume concentration factor) incelemişlerdir. Yüksek VCF değerlerinde bile renk giderimi tamamen sağlanmıştır. Her iki membran içinde renksiz çıkış suyu üretildiği belirtilmiştir. Çalışmamızda da, NF90 ve BW30 membranlarına ait süzöntü suyu örnekleri tamamen renksizdir.

Amonyum, nitrit ve nitrat iyonlarının gideriminde NF90 membranı sırasıyla ortalama %84, %81 ve %82, BW30 membranı ise %89, %88 ve %90 giderim sağlamıştır. Santafe-Moros et al., (2007) NF90 membranının organik bileşik, demir ve nitrat giderimde yüksek giderim sağlamak amacıyla üretildiğini ve bu yüksek giderimin membranın gözenek yapısının dar olmasından ve membranının negatif yüklü olmasından kaynaklandığını belirtmiştir. Ayrıca tek değerlikli iyonlarda bile yüksek giderim sağlandığını yaptığı çalışmalarda elde etmişlerdir. Dolar et al., (2011), ilaç sanayine ait atıksular ile yaptığı çalışmada NF90 membranına ait amonyum giderimini %88, nitrat giderimini ise %60.9 olarak bulmuştur. Yaptığımız çalışma ile Dolar et al., (2011)'ın çalışmasındaki nitrat giderimi arasındaki farklılık, hem kullanılan atıksuların farklı olmasından hem de atıksudaki nitrat derişiminin bizim yaptığımız çalışmaya göre çok daha düşük olmasından kaynaklanabilir. Dolar et al., (2011)'ın çalışmasında besleme suyundanki nitrat derişimi 0.13 mg/L iken, bizim çalışmamızda kullanılan MBR çıkış suyundaki ortalama nitrat derişimi 35 mg/L'dir. Paugam et al., (2004) nitrate iyonuna ait iyon çapını 0.189 nm, hidrasyon enerjisini ise 329 kJ/mol olarak belirtmiştir. Yaptığımız çalışmada amonyum, nitrit ve nitrat giderimin BW30 membranı için daha yüksek olmasının nedeni; Semiao and Schäfer (2013)'inde belirttiği gibi; BW30 membranının yoğun yüzey morfolojisine sahip olmasındandır.

5.1.3. Basınç etkisinin incelenmesine ait arazi çalışmalar

10 bar ve 15 barda yapılan arazi çalışmalarının sonuçları karşılaştırıldığında; giderim değerleri bakımından çok büyük farklılıklar gözlenmemiştir. Basınç etkisinin asıl neden olduğu değişim, membranlara ait süzöntü akısı ve atıksuyun geri kazanımında görülmüştür. Uygulama basıncındaki artış, süzöntü akısının ve su geri kazanımının artmasına neden olmuştur. Yavuz vd., (2013), BW30 membranı ile jeotermal sudan bor giderilmesi üzerine çalışmıştır. Yapılan çalışmada uygulama basıncındaki artışın süzöntü akısında artmasına neden olduğu buna bağlı olarak da su geri kazanımının arttığını belirtmiştir. Yavuz vd.

(2013)'nin, çalışmasında olduğu gibi, bu çalışmada da, uygulama basıncındaki artışın süzöntü akısının artmasına neden olduğu anlaşılmıştır. Yaptığımız 10 bardaki çalışmada, ortalama süzöntü akısı NF90 ve BW30 membranı için sırasıyla 44.6 L/m²saat ve 33.8 L/m²saat iken, 15 barda bu değerler NF90 ve BW30 membranı için sırasıyla 76 L/hm² ve 49 L/hm² olarak elde edilmiştir. Suyun geri kazanım değerleri ise NF90 membranı için %60, BW30 membranı için %49'dur.

5.1.4. NF+RO kombine çalışmalar

NF+RO kombine çalışmasında, NF90 süzöntüsü, BW30 membranının besleme suyu olacak şekilde toplanmıştır. NF+RO kombine çalışmalarında BW30 membranı ile toplanan süzöntü akısında ve su geri kazanımında artış görülmüştür. Bu çalışma Ekim ayı içerisinde gerçekleştirilmiştir. Mevsimsel çalışmaya ait Ekim verilerine bakıldığında; BW30 membranı için süzöntü akısı 33.2 L/m²saat, su geri kazanımı ise %39'dur. NF+RO kombine çalışmasında ise süzöntü akısında artış gözlenmiş, BW30 membranı ile elde edilen ortalama süzöntü akısı 42.5 L/m²saat'e, su geri kazanımında ise %45'e yükselmiştir.

NF90 membranı ile toplanan süzöntü suyun kalitesi ve giderim performansları, literatürdeki çalışmalarla da benzerlik göstermektedir (Balanec et al., 2005; Bunani, 2013; Bunani et al., 2013; Dolar et al., 2011; Lee et al., 2001, Liu et al., 2011, Luo et al., 2012, Gozalvez-Zafrilla et al., 2008).

NF+RO kombine çalışmasında elde edilen ürün suyun kalitesi çok iyidir. Yaptığımız çalışmada, KOİ, fosfat-P, amonyum-N, klorür ve sülfat değerleri tayin sınırlarının altında tespit edilmiştir. Elde edilen suyun ortalama iletkenlik değeri ise 10 µS/cm'dir. Dolar et al. (2013), ilaç sanayine ait atıksu ile kombine edilmiş fenton proses, UF, NF ve RO sistemini birlikte test etmişlerdir. NF membranları olarak HL ve NF90, RO membranı olarak XLE membranı kullanılmıştır. Dolar et al. (2013)'un yaptığı çalışmada, KOİ'de %96-99.5, iletkenlikte %94.7-97, TOK'da %88.3-97.5, klorürde %19.4-98, sülfatta %93.1-100 giderim sağlamıştır. Bizim yaptığımız çalışmada ise iletkenlikte %99, TOK gideriminde %92, klorür ve sülfat iyonlarının gideriminde %99'un ve KOİ gideriminde ise %92'nin üzerinde giderim performansı sağlanmıştır. Ayrıca yaptığımız çalışmada, TÇK, tuzluluk, kalsiyum, magnezyum, potasyum, sodyum, Si, değerlerinde %99'un üzerinde giderim sağlanmıştır. Dolar et al. (2013), yaptığı çalışmada ilaç sanayine ait atıksuların birden fazla membran prosesini içeren kombine sistemle arıtımın etkili olduğunu belirtmiştir. Ayrıca Masson et al., (2005) kombine sistemlerin

deniz suyundan farklı olarak değişik besleme sularında da kullanılabileceğini belirtmiştir.

5.1.5. Arazide sürekli döngü çalışmaları

Yapılan sürekli döngü çalışmalarında, konsantre ve süzüntü suyun ayrı tanklara verilmesinin yanında, ayrıca membranların asit ve bazla geri yıkama çalışmaları da gerçekleştirilmiştir. Tomer et al., (2009) tıkanan membranların sadece süzüntü akılarında düşüşe neden olmadığını, aynı zamanda membranların ömrünü de kısalttığını bundan dolayı membranların temizlenmesi için çeşitli kimyasalların kullanılması gerektiğini belirtmiştir. Rouaix et al. (2006), membranların temizlenmesinin, süzüntü akısında artışa neden olduğunu belirtmiştir. Yaptığımız çalışmada, membranları asetik asit ve NaOH ile yıkamadan önce ortalama süzüntü akısı NF90 ve BW30 membranı için yaklaşık olarak 22 L/m²saat iken, yıkama sonrasında bu değer NF90 membranı için 26 L/m²saat'e, BW30 membranı için 28 L/m²saat'e yükselmiştir.

Sürekli çalışma ve mevsimsel çalışmaya ait membranların giderim performansları karşılaştırıldığında, belirgin farklılık gözlemlenmemiştir. Sürekli çalışma öncesinde; İTOB-OSB Atıksu Arıtma Tesisinde bulunan MBR modüllerine ait membranlar geri yıkanmıştır. Membran yüzeyinin temizlenip, yüzeyi kaplayan biyofilm tabakasının kısmen uzaklaştırılması nedeniyle sürekli döngü çalışmasına ait besleme su değerlerinde önceki kesikli çalışmalara göre artış gözlenmiştir. Besleme suyundaki bu artışa rağmen, NF90 ve BW30 membranlarına ait giderim verimlerinde çok büyük değişimler olmamıştır. İletkenlik, TÇK, tuzluluk, sodyum, potasyum, kalsiyum, magnezyum, klorür ve sülfat iyonlarının giderim değerleri literatürdeki çalışmalarla da benzerlik göstermektedir (Balannec et al., 2005; Bunani, 2013; Liu et al., 2011, Gozálvez-Zafrilla et al., 2008).

5.1.6. MBR Çıkış ve NF/RO sistemine ait süzüntü sularının belli oranlarda karıştırılması

MBR çıkış ve NF/RO sistemine ait süzüntü sularının belli oranlarda karıştırılması önce infiltrasyon tanımının iyi bilinmesi gerekmektedir. İnfiltrasyon; yağmur veya sulama sularının toprak profili boyunca yer çekiminin etkisi ile yüzeyden aşağıya doğru inmesidir. SAR değeri yüksek sularda, toprak partikülleri birbirinden ayrılmaktadır. Bu durumda, topraktaki porozite azalmakta ve büyük boşluklar tıkanmaktadır. Böylelikle, su ve havanın toprak içine nüfuzu

engellenmektedir. Dolayısıyla yağmur veya sulama sularını yer çekiminin etkisi ile toprak yüzeyinden aşağıya doğru inememektedir. İnfiltrasyonda azalmanın olmaması için iletkenlik ile SAR değerlerinin belirli bir düzeyde olması gerekmektedir (Çizelge 3.9). Yaptığımız çalışmalarda MBR yöntemiyle arıtılmış atıksular, pH yönünden sulama açısından herhangi bir sorun oluşturmazken, elektriksel iletkenlik, SAR ve tuzluluk değerleri, bu suların sulamada kullanımını kısıtlamaktadır. Bu nedenle, arıtılmış atıksuların sulamada kullanılabilmesi için NF/RO prosesleri ile elde edilen iyi nitelikli süzüntü suyuyla karıştırılıp kullanılması gerekmektedir. Yaptığımız çalışmalarda genel olarak infiltrasyonda azalmaya neden olmayacak en optimum karışım payı MBR çıkışında 0.4, NF90 ve BW30 süzöntülerinde 0.6 (0.4:0.6) olarak bulunmuştur.

5.1.7. Maliyet analizi hesaplamaları

İTOB-OSB’de kurulan spiral sarım RO/NF sistemi, küçük ölçek ve düşük kapasitede çalışan bir sistem olduğu için; MBR yöntemiyle arıtılmış atıksuların sulamada kullanılması için bu yöntemin ilk bakışta pahalı bir arıtma sistemi olduğu düşünülebilir. Membranlara ait maliyet incelemesi yapıldığında, kimyasalların ve kullanılan elektrik tutarının, diğer tutarlara görece oldukça az olduğu görülmektedir. Toplam maliyeti oluşturan giderlerdeki en büyük pay ise, sabit maliyettir. Sebebi de, ilk yatırım maliyetinin yüksek olmasıdır (18.257,44 €). Toplam giderlerdeki ikinci en büyük pay ise bakım maliyetlerine aittir. Zira, kartuş filtresi değişimleri oldukça sık (haftada bir) yapılmakta ve giderleri arttırmaktadır. Metreküp başına üretilen süzüntü maliyetinin yüksek olmasının asıl nedeni sisteme ait kapasitenin düşük olmasıdır. Ürün su kazanımını arttırıcı yönde tedbirler alındığı takdirde (uygulama basıncının ve membran sayısının arttırılması vb.) üretilen süzüntü miktarı daha fazla olacağı için süzüntüye ait birim maliyet fiyatı düşecektir. Ayrıca ürün suyu ile MBR yöntemiyle arıtılmış atıksuyun karıştırılıp birlikte kullanılmasıyla beraber maliyetlerde düşecek, böylelikle daha ekonomik bir yatırım olacaktır.

5.2. Sonuç ve Öneriler

Dünyada gün geçtikçe artan kirlilik ve nüfus nedeni ile kullanılabilir su kaynakları hızla azalmaktadır. Bu da insanların yeni arayışlara yönelmesine, konuyla ilgili araştırmalar yapmasına neden olmuştur. Tüketimi, kullanımı

mümkün olmayan su kaynaklarından çeşitli yöntemlerle kullanılabilir, temiz su elde edilmesi giderek önem kazanmaktadır. Günümüzde, insanların ihtiyacı olan bu temiz su kaynakları genel olarak tatlı sulardan karşılanmaktadır. Ancak küresel ısınma, kirlilik ve nüfus artışı gibi nedenlerden dolayı, insanların ihtiyacını karşılayan tatlı su kaynakları giderek azalmakta, alternatif su kaynaklarından tatlısu elde edilmesinin önemi giderek artmaktadır.

Bu çalışma ile MBR yöntemiyle arıtılmış atıksuyun NF/RO membran teknolojileri kullanılarak ileri arıtımıyla yeniden kullanılabilirliği araştırılmıştır. Yapılan çalışmada, membranlardan elde edilen ürün su, fiziksel ve kimyasal parametreler yönünden incelenmiştir. NF/RO membran teknolojileri kullanılarak, arıtılmış atıksulardan yüksek kalitede ürün suyu elde edilebileceği görülmüştür.

Ülkemizde MBR prosesini ile arıtılan endüstriyel atıksuların yeniden kullanımı için ileri membran teknolojilerin uygulanması ile ilgili çalışmalar henüz yeterli düzeyde değildir. İTOB-OSB Arıtma Tesisi'nde kurulu olan mini ölçek spiral sarım NF/RO sistemiyle gerçekleştirilen bu çalışma, tatlı su kaynaklarına alternatif olarak atıksuların sulama amaçlı yeniden kullanılabilir olması üzerine bir ön çalışma özelliğini taşımaktadır. Ayrıca etkilerin daha net belirlenmesi amacıyla daha yüksek kapasiteli NF/RO sistemlerinin incelenmesi, üretilen su ile tarımsal sulama uygulamalarının gerçekleştirilmesi ve konuyla ilgili bilimsel çalışmaların arttırılması gerekmektedir.

Çalışmada hedeflenen işler bir plan dahilinde tamamlanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, MBR prosesi ile arıtılan endüstriyel atıksuların NF ve RO gibi membran teknolojileri kullanılarak daha ileri düzeyde arıtılıp yeniden kullanılabileceği anlaşılmıştır. Arazi çalışmalarında elde edilen sonuçlara göre, 15 bar'da gerçekleştirilen çalışmada NF90 membranın süzöntü akısı ve su geri kazanımı, BW30 membranından yüksek olduğundan arıtılmış atıksuların sulamada kullanılması için daha avantajlı görünmektedir. NF90 membranından elde edilen ürün su kalitesi iyi olduğundan, infiltrasyonda azalmaya neden olmayacak şekilde MBR çıkış suyu ile karıştırılması gerekmektedir. Bu karışım payı ise, MBR çıkışında 0.4, NF90 süzöntüsünde 0.6 (0.4:0.6)'dır. Böylelikle m³ başına üretilen süzöntü maliyeti de düşecektir. Ayrıca membranların belirli periyotlarda asit ve bazla geri yıkanması, membran tıkanıklığını önleme açısından fayda sağlayacaktır. Ancak bu yöntemin sahada uygulanabilirliği, farklı membranlarla, pilot ölçekli uzun süreli çalışmalar gerçekleştirildikten sonra değerlendirilmelidir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Acero, J. L., Benitez, F. J., Leal, A. I., Real, F. J. and Teva, F.,** 2010, Membrane filtration technologies applied to municipal secondary effluents for potential reuse, *Journal of Hazardous Materials*, 177:390–398pp.
- Akdemir, E.O. ve Özer, A.,** 2007, Endüstrisi atıksularının ultrafiltrasyon ve nanofiltrasyon membranlarıyla arıtılabilirliği, *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 9(2):29-38s.
- Akgül, D.,** 2006, Türkiye’de Ters Osmoz Ve Nanofiltrasyon Sistemleri İle İçme Ve Kullanma Suyu Üretiminin Maliyet Analizi, *Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Çevre Mühendisliği*, 127s.
- Al-Amoudi, A., Williams, P., Mandale, S. and Lovitt, R.W.,** 2007, Cleaning results of new and fouled nanofiltration membrane characterized by zeta potential and permeability, *Separation and Purification Technology*, 54:234-240pp.
- Ali Alturki, A., Tadkaew, N., McDonald, J.A., Khan, S.J., Price, W.E. and Nghiem, L.D.,** 2010, Combining MBR and NF/RO membrane filtration for the removal of trace organics in indirect potable water reuse applications, *Journal of Membrane Science*, 365:206–215pp.
- Amar, N.B., Kechaou, N., Palmeri, J., Deratani, A. and Sghaier, A.,** 2009, Comparison of tertiary treatment by nanofiltration and reverse osmosis for water reuse in denim textile industry, *Journal of Hazardous Materials*, 170:111-117pp.
- Angin, I., Yaganoglu, A. V. and Turan, M.,** 2005, Effects of long-term wastewater irrigation on soil properties, *Journal Of Sustainable Agriculture*, 26:31-42pp.
- Arslan-Alaton, İ., Gürel, M., Eremektar, G., Övez, S., Tanik, A. ve Orhon, D.,** 2005, Türkiye’de sürdürülebilir atıksu yönetimi: mevcut durum, karşılaşılan sorunlar ve çözüm önerileri, *Arıtılmış Atıksuların Tarımsal Sulamada Kullanılması Çalıştayı, MEDWARE Projesi*, 9-10 Haziran, Ankara, 152-153s.
- Aslan, M.,** 2012, Anaerobik Batık Membran Bioreaktörde Membran Modül Geometrisi Ve Biyogaz Geri Devrinin Membran Kirlenmesine Etkisi, *Doktora Tezi, FÜ., Çevre Mühendisliği*, 132s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Aslan, M., Hasar, H. ve Saatçi, Y.,** 2009, Atık suların arıtılmasında anaerobik membran biyoreaktörler, Membran Teknolojileri ve Uygulamaları Sempozyumu, Kasım 2-3, İstanbul, 208s.
- Aoki, C. and Memon, M. A.,** 2005, Water And Wastewater Reuse, An Environmentally Sound Approach For Sustainable Urban Water Management, Japan, 48p.
- Asano, T. and Levine, A.,** 1998, Wastewater reclamation, recycling and reuse: introduction. In: Asano, T. (Ed.), CRC Press, Florida-USA, 55p.
- Atasoy, E., Murat, S., Baban and A., Tiris,** 2007, M., Membrane Bioreactor (MBR) Treatment Of Segregated Household Wastewater For Reuse, Clean, 35(5):465–472pp.
- Ayers, R.S. and Westcot, D.W.,** 1985. Water quality for agriculture, FAO Irrigation and Drainage Paper 29, FAO, Rome.
- Bahri, A.,** 1998, Fertilizing Value And Polluting Load Of Reclaimed Water İn Tunisia, Water Research, 32:3484-3489pp.
- Baker, R. W.,** 2004, Membrane Technology and Applications, 2nd Ed., John Wiley and Sons Ltd., England, 538p.
- Balannec, B., Vourch, M., Rabiller-Baudry, M. and Chaufer, B.,** 2005, Comparative study of different nanofiltration and reverse osmosis membranes for dairy effluent treatment by dead-end filtration, Separation and Purification Technology, 42:195-200pp.
- Bartels, C., Franks, R., Rybar, S., Schierach, M. and Wilf, M.,** 2005, The Effect of Feed Ionic Strength on Salt Passage Through Reverse Osmosis Membrane, Desalination, 184:185-195pp.
- Başkan, T.,** 2006, Arıtılmış Evsel Atık suların Tarımda Sulama Amaçlı Yeniden Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Çevre Mühendisliği, 111s.
- Bunani, S.,** 2013, Application of Membrane Technology for Reuse of Biotreated Municipal Wastewater and Quality Analysis of Product water, MSc thesis, Ege University Department of Chemistry, 145p.
- 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.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Büyükdere, A.**, 2008, Tekstil Endüstrisi Atıksularının Membran Teknolojileri İle Arıtılması Ve Geri Kazanılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, 110s.
- Cartagena, P., El Kaddouri, M., Cases, V., Trapote, A. and Prats, D.**, 2013, Reduction of emerging micropollutants, organicmatter, nutrients and salinity from real wastewater by combined MBR–NF/RO treatment, Separation and Purification Technology, 110:132–143pp.
- Chen, T.K. and Chen, J.N.**, 2004, Combined membrane bioreactor (MBR) and reverse osmosis (RO) system for thin-film transistor – liquid crystal display TFT-LCD, Industrial Wastewater Recycling, Water Science And Technology, 50:299-106pp.
- Çapar, G., Yetiş, Ü. ve Yılmaz, L.**, 2004, Halı boyama atık suların membran prosesleri ile arıtımı, Su Kirliliği Kontrolü Dergisi, 14(2):9-15s.
- Çay, Ş.**, 2013, Konya Kentsel Atık Sularının Tarımsal Sulamada Kullanılması Ve Mısır Bitkisi Yetiştiriciliğine Etkileri, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Tarımsal Yapılar Ve Sulama Anabilim Dalı, 131s.
- Çevre ve Orman Bakanlığı**, 2010, Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği, 95s.
- Del Pino, M.P. and Durham, B.**, 1999, Wastewater reuse through dual-membrane processes: opportunities for sustainable water resources, Desalination, 12:271–277pp.
- Dolar, D., Kosutic, K., Zokic, T.I., Sipoz, L., Markic, M. and Zupan, M.**, 2013, Combined methods of highly polluted pharmaceutical wastewater treatment – a case study of high recovery, Polish Journal of Environmental Studies, 22(6)1667-1683pp.
- Dolar, D., Vukovic, A., Asperger, D. and Kosutic, K.**, 2011, Effect of water matrices on removal of veterinary pharmaceuticals by nanofiltration and reverse osmosis membranes, Journal of Environmental Sciences, 23(8):1299–1307pp.
- Dolar, D., Vukovic, A., Aşperger, D. and Kosutic, K.**, 2012, Efficiency of RO/NF membranes at the removal of veterinary antibiotics, Water Science & Technology, 65:317-323pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Fritzmann, C., Löwenberg, J., Wintgens, T., and Melin, T.,** 2006, State of the art of reverse osmosis desalination, *Desalination*, 216 (1-3):1-76.
- Galil, N.I. and Levinsky, Y.,** 2006, Sustainable reclamation and reuse of industrial wastewater including membrane bioreactor technologies: case studies, *Desalination*, 202:411–417pp.
- Gozalvez-Zafrilla, J.M., Sanz-Escribano, D., Lora-Garcia, J. and Leon Hidalgo, M.C.,** 2008, Nanofiltration of secondary effluent for wastewater reuse in the textile industry, *Desalination*, 222:272-279pp.
- Gürel, L. ve Büyükgüngör, H.,** 2011, Atıksu Arıtımında Membran Biyoreaktörler, *İtü Dergisi/E*, 21(1):13-23s.
- Hocaoğlu, S. M. ve Orhon, D.,** 2011, Ayırık evsel atıksuyun membran biyoreaktörde ayrışma mekanizmaları, *İtü Dergisi/E*, 21(1):35-44s.
- Hoinkis, J., Deowan, S.A., Panten, V., Figoli, A., Huang, R.R. and Drioli, E.,** 2012, Membrane Bioreactor (MBR) technology – a promising approach for industrial water reuse, *Procedia Engineering*, 33:234–241pp.
- Judd S.J.,** 2002. The Development of the Membrane Bioreactor Technology for Sewage Treatment in the UK, School of Water Sciences, Cranfield University, UK.
- Kaleli, B.,** 2006, Atıksuların İleri Arıtımında Membran Proseslerinin Kullanımının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği, İstanbul, 83s.
- Kaya, Y.,** 2007, Nanofiltrasyon İle Proses Sularından Organik Maddelerin Geri kazanımının Araştırılması, Doktora tezi, İstanbul Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, 199s.
- Kaya, Y. ve Barlas, H.,** 2003, Kimya endüstrisinde atık yönetimi amaçlı membran uygulamaları, XVII. Ulusal Kimya Kongresi. 8-11 Eylül, İstanbul, 386s.
- Kaykioğlu, G., Çoban, A., Debik, E., Kayacan, B.B. ve Koyuncu, İ.,** 2012, Aerobik ve anaerobik ön arıtmalı membran sistemler ile tekstil atıksularının geri kazanımı, *İTÜ Dergisi/E*, 22(1):23-25s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Kitiş, M., Köseoğlu, H., Gül, N. ve Ekinci, F. Y.,** 2003, Atıksu arıtımı ve geri kazanımında membran bioreaktörleri, V. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, Adana, 463-480s.
- Kitiş, M., Yiğit, N.Ö., Köseoğlu, H. ve Bekaroğlu, Ş.,** 2009a, su ve atıksu arıtımında ileri arıtma teknolojileri- arıtılmış atıksuların geri kullanımı, Ders notu, T.C. Çevre Ve Orman Bakanlığı, 63s.
- Kitiş, M., Yiğit, N.Ö., Köseoğlu, H., Harman, B.İ., Civelekoğlu, G., Sayılğan, E., Bekaroğlu, Ş.Ş. ve Çelik, E.,** 2009b, Membran Biyoreaktör (MBR) Prosesleri- Genel Değerlendirme, Membran Teknolojileri ve Uygulamaları Sempozyumu, Kasım 2-3, İstanbul, 208s.
- Kubota, “MBR”** , <http://www.kubota-mbr.com/mbr.html> (Erişim tarihi: 24.01.2014)
- Köseoğlu, H.,** 2005, Hibrit Siyanürleme Ve Yüksek Basıncılı Membran Prosesiyle Madencilik Atıksularından Gümüş Geri Kazanımı-Sentetik Su Deneyleri, Yüksek Lisans Tezi, S.D.Ü. Çevre Mühendisliği Bölümü, 77s.
- Köseoğlu, H.,** 2007 Membran Biyoreaktörü İle (Mbr) Evsel Atıksu Arıtımı, Doktora Tezi, S.D.Ü. Çevre Mühendisliği Bölümü, 151s.
- Kukul, Y. S., Çalışkan, A. D. Ü. ve Anaç, S.,** 2007, Arıtılmış atık suların tarımda kullanılması ve insan sağlığı yönünden riskler, Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg., 44:101-116s.
- Lee, S. and Lueptow, R.M.,** 2001, Reverse osmosis filtration for space mission wastewater: membrane properties and operating conditions, Desalination, 182:77-90pp.
- Liu, M., Lü, Z., Chen, Z., Yu, S. and Gao, C.,** 2011, Comparison of reverse osmosis and nanofiltration membranes in the treatment of biologically treated textile effluent for water reuse, Desalination 281:372-378pp.
- Luo, J., Ding, L., Wan, Y. and Jaffrin, M.,** 2012, Flux decline control in nanofiltration of detergent wastewater by a shear-enhanced filtration system, Chemical Engineering Journal, 181(182):397-406pp.
- Malamis, S., Katsou, E., Takopoulos, K., Demetriou, P., Loizidou, M.,** 2012, Assessment of metal removal, biomass activity and RO concentrate treatment in an MBR–RO system, Journal of Hazardous Materials, 209(210):1–8pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Masson, L., Richards, B.S. and Schafer, A.I.,** 2005, System design and performance testing of a hybrid membrane – Photovoltaic Desalination System, 179:51-59pp.
- Melin, T., Jefferson, B., Bixio, D., Thoeye, C., De Wilde, W., De Koning, J., Van Der Graaf, J. and Wintgens, T.,** 2006, Membrane bioreactor technology for wastewater treatment and reuse, Desalination, 187:271–282pp.
- Öğütverici, A.,** 2013, Triclosan Removal By Nanofiltration From Surface Water, MSc thesis, Middle East Technical University Environmental Engineering, 82p.
- Özbay, İ. ve Kavaklı, M.,** 2008, Türkiye’de ve diğer ülkelerde arıtılmış atıksuların geri kazanım uygulamalarının incelenmesi, Çevre Sorunları Sempozyumu, Kocaeli, 1052-1065s.
- Özkan, Ü.,** 2007, Tekstil Endüstrisi proses Suyu Hazırlanmasında Membran Proseslerin Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, 141s.
- Paugam, L., Diawara, C.K., Schlumpf, J.P., Jaouen, P. and Quemeneur, F.,** 2004, Transfer of monovalent anions and nitrates especially through nanofiltration membranes in brackish water conditions, 40:237-242pp.
- Pescod, M.B.,** 1992, Wastewater treatment and use in agriculture - FAO irrigation and drainage Paper No 47, Rome, 125p. Rautenbach, R., 1997, Membranverfahren Grundlagen der Modul- und Anlagenauslegung, Springer, Germany, 584p.
- Polat, A.,** 2013, Su kaynaklarının sürdürülebilirliği için arıtılan atıksuların yeniden kullanımı, Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi 6(1):58-62s.
- Qin, J.J., Kekre, K.A., Tao, G., Oo, M.H., Wai, M.N., Lee, T.C., Viswanath, B. and Seah, H.,** 2006, New option of MBR-RO process for production of NEWater from domestic sewage, Journal of Membrane Science, 272(1):70-77pp.
- Reith, C. and Birkenhead, B.,** 1999, Membranes enabling the affordable and cost effective reuse of waste-water as an alternative water source, Desalination, 117:203-209pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Rouaix, S., Causserand, C. and Aimar, P.,** 2006, Experimental study of the effects of hypochlorite on polysulfone membrane properties, *Journal of Membrane Science*, 277:137-147pp.
- Santafe-Moros, A., Gozálvez-Zafrilla, J.M. and Lora-García, J.,** 2007, Nitrate removal from ternary ionic solutions by a tight nanofiltration membrane, *Desalination*, 204:63-71pp.
- Schutte, C.F.,** 1982, Water recycling for domestic and agricultural application: state of the art, *Water Sci. Tech.*, 14:1447-1463pp.
- Semiao, A.J.C and Schäfer, A.I.,** 2013, Removal of adsorbing estrogenic micropollutants by nanofiltration membranes. Part A—Experimental evidence, *Journal of Membrane Science*, 431:244-256pp.
- Sert, G.,** 2010, Ters Ozmoz Sistemlerinin Denizel Ortamda Çevresel Etki Değerlendirmesi- Urla Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, 87s.
- Solak, S.,** 2010, Quality Analysis of Water Produced from Seawater by Reverse Osmosis Method-Studying the Effect of Membrane Type on Water Quality, MS Thesis, Ege Uni. Dept.Chem., 135p.
- Sınmaz, B.,** 2007, Evsel Nitelikli Atıksuların Ters Ozmoz Kullanılarak Geri Kazanımı, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik Ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği, 89s.
- Tam, L.S., Tang, T. W., Lau, G. N., Sharma, K. R. and Chen, G. H.,** 2006, A pilot study for wastewater reclamation and reuse with MBR/RO and MF/RO systems, *Desalination*, 202:106–113pp.
- Tu, K.L., Nghiem, L.D. and Chivas, A.R.,** 2011, Coupling effects of feed solution pH and ionic strength on the rejection of boron by NF/RO membranes, *Chemical Engineering Journal*, 168:700-706pp.
- Tomer, N., Mondal, S., Wandera, D., Wickramasinghe, S.R. and Husson, S.M.,** 2009, Modification of nanofiltration membranes by surface-initiated atom transfer radical polymerization for produced water filtration, *Separation Science and Technology*, 44:3346–3368pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Üstün, G.E. ve Akal Solmaz, S.K.,** 2007, Bir organize sanayi bölgesi atıksu arıtma tesisinden çıkan atıksuların tarımsal amaçlı sulama suyu olarak yeniden kullanılabilirliğinin araştırılması, *Ekoloji Çevre Dergisi*, 15(62):55-61s.
- Xia, S., Guo, J. and Wang, R.,** 2008, Performance of a pilot-scale submerged membrane bioreactor (MBR) in treating bathing wastewater, *Bioresource Technology*, 99:6834–6843pp.
- Xie, W., Geise, G.M., Freeman, B.D., Lee, H.S., Byun, G. and McGrath, J.E.,** 2012, Polyamide interfacial composite membranes prepared from m-phenylene diamine, trimesoyl chloride and a new disulfonated diamine, *Journal of Membrane Science*, 403(404):152-161pp.
- Yavuz, E., Güler, E., Sert, G., Arar, Ö., Yüksel, M., Yüksel, Ü., Kitiş, M. and Kabay, N.,** 2013, Removal of boron from geothermal water by RO system-I-Effect of membrane configuration and applied pressure, *Desalination*, 310:130-134pp.
- Yiğit N.Ö., Köseoğlu H., Harman B.İ., Çınar Ö. ve Kitiş M.,** 2008, Tekstil endüstrisi atık sularının alıcı ortamlara deşarjında renk kriteri olmalı mıdır? Geri kazanım gerçekleri, *Su Tüketimi- Arıtma Yeniden Kullanım Sempozyumu*, DSİ, Eylül 3-5, Bursa, 383s.
- Yıldız, S., Namal, O.Ö. ve Çekim, M.,** 2013, Atık Su Arıtma Teknolojilerindeki Tarihsel Gelişimler, *S.Ü. Mühendislik Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 1,54-67s.
- Yılmaz., D,** 2005, Arıtılmış Atık Suların Tarımsal Sulama Suyu Kriterleri Açısından Değerlendirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Uludağ Üniversitesi Çevre Mühendisliği, 130s.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı, Soyad : Gökhan SERT
Cinsiyet : Erkek
Doğum Tarihi : 21.06.1984
Doğum Yeri : Hanau/Almanya
Medeni Durumu : Bekar
Uyruk : T.C
Sürücü Belgesi : B sınıfı
Askerlik Durumu : Tamamlandı (Eylül 2011)

İletişim Bilgileri

Adres : 155 sok No:63 D:7 Hakimevleri/İZMİR
Ev Telefonu : (232) 2455719
Cep Telefonu : (536) 3180270
Elektronik Posta : gsert2004@yahoo.com

Eğitim Bilgileri

2010-2015

Doktora

Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Su Ürünleri Fakültesi, Temel Bilimler Bölümü

(Tez Konusu: Organize Sanayi Bölgesinde Arıtılan Atık Suların Yeniden Kullanımı için Ters Ozmos Yönteminin Uygulanması ve Ürün Su Kalitesinin İncelenmesi.

Danışmanlar: Prof.Dr.Özdemir Egemen-Prof.Dr.Nalan Kabay)

2008-2010

Yüksek Lisans

Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Su Ürünleri Fakültesi, Temel Bilimler Bölümü

(Tez Konusu: Ters ozmos sistemlerinin denizel ortamda çevresel etki değerlendirmesi-Urla örneği. **Danışmanlar:** Y.Doç.Dr.Vildan Gündoğdu-Prof.Dr.Nalan Kabay)

2003-2008

Lisans

Ege Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi
Bitirme Derecesi: 77.58

1998-2002

Lise

İzmir Vali Vecdi Gönül Lisesi
Bitirme Derecesi: 3.54

Doktora Tezinden Sunulan Bildiriler

1. N. Kabay, S. Bunani, E. Yörükoğlu, **G. Sert**, T.Ö. Pek, Ü. Yüksel, M. Yüksel, Application Of Membrane Technology For Reuse Of Bio-Treated Wastewater And Quality Analysis Of Product Water, Recycling and Reuse, 4-6 Haziran 2012, İstanbul Üniversitesi, İstanbul (Sözlü sunum).
2. S. Bunani, E. Yörükoğlu, **G. Sert**, Ü. Yüksel, M. Yüksel, N. Kabay, Biyolojik Yöntemle Arıtılan Kentsel Atık Suların Yeniden Kullanımı için Nanofiltrasyon (NF) Yönteminin Uygulanması, 10. Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi, 3-6 Eylül 2012, Koç Üniversitesi, İstanbul (Poster Sunum).
3. **G. Sert**, Ö. Egemen, E. Özdemir, S. Bunani, Ü. Yüksel, T. Ö. Pek, N. Kabay, M. Yüksel, Membran Biyoreaktör (MBR) Prosesi İle Arıtılan Endüstriyel Atık Suların Yeniden Kullanımında Nanofiltrasyon Ve Ters Ozmos Yöntemlerinin Uygulanması, EnSuTek 1. Uluslararası Endüstriyel Su Teknolojileri Sempozyumu ve Fuarı 06-09 Aralık 2012, TUYAP Fuar Merkezi, Bursa (Poster Sunum).
4. **G. Sert**, Ö. Egemen, E. Yörükoğlu, S. Bunani, Ü. Yüksel, N. Kabay, M. Yüksel, İnce Film Poliamid Yapıda Nanofiltrasyon Membranlarının Arıtılmış Atık Suyun Demineralizasyonunda Uygulanabilirliğinin İncelenmesi, 1. Ege Nanoteknoloji Günleri 18-19 Nisan 2013, İzmir (Poster Sunum).
5. **G. Sert**, E. Yörükoğlu, S. Bunani, Y. Soyoğlu, T. Ö. Pek, Ö. Egemen, N. Kabay, M. Yüksel, Ü. Yüksel, Application of Nanofiltration for Wastewater Recovery and Reuse-Field Tests, The international Conference on Environmental Science and Technology, 18-21 June 2013, Cappadocia (Poster Sunum).
6. **G. Sert**, Ö. Egemen, M. Yüksel, N. Kabay, E. Yörükoğlu, Ü. Yüksel, Removal of iron and manganese from artesian and well waters-A case study for Urla, The

international Conference on Environmental Science and Technology, 18-21 June 2013, Cappadocia (Poster Sunum).

7. G. Sert, Ö. Egemen, T. Ö. Pek, N. Kabay, M. Yüksel, Organize Sanayi Bölgesinde Arıtılan Atık Suların Yeniden Kullanımı İçin Ters Ozmos Yönteminin Uygulanabilirliğinin İncelenmesi, Membran Teknolojileri Ve Uygulamaları Sempozyumu 26-27 Eylül 2013, Elazığ (Poster Sunum).

8. G. Sert, Ö. Egemen, N. Kabay, M. Yüksel, T. Ö. Pek, Application of Nanofiltration for Wastewater Treatment and Reuse-Effect of Operating Pressure on Quality of Product Water, International Conference on Application of Nanotechnology in Membranes for Water Treatment, October 8-10th, 2013, Izmir (Poster Sunum).

9. N.Kabay, G.Sert, Ö.Egemen, M.Yüksel, T.Ö.Pek, Evaluation of MBR-NF and MBR-RO Systems to produce high quality reuse water, KORANET-International Workshop on MBR for Next Generation, Dec 17-18, 2013, İTÜ (Sözlü sunum).

Ulusal ve Uluslararası Konferanslarda Sunulmuş Diğer Bildiriler

1. E.Güler, E.Yavuz, S.Solak, G.Sert, M.Arda, M.Yüksel, Ü.Yüksel, V.Gündoğdu, N.Kabay, Deniz Suyundan Kullanım Suyu Üretiminde Ters Ozmos Yöntemi- Doğal Deniz Suyu Ortamında Ters Ozmos Membranlarının Performans Karşılaştırılması, Membran Teknolojileri ve Uygulamaları Sempozyumu, Kasım 2-3, 2009, İstanbul (Poster sunum).

2. E.Yavuz, E.Güler, G.Sert, Ö.Arar, M.Yüksel, Ü.Yüksel, M.Kitiş, N.Kabay, Mini-Pilot Ölçek Spiral Sarım Ters Ozmos Sistemiyle Jeotermal Sulardan Bor Giderilmesi, Membran Teknolojileri ve Uygulamaları Sempozyumu, Kasım 2-3, 2009, İstanbul (Poster sunum).

3. G. Sert, E. Yavuz, V. Gündoğdu, N. Kabay, Environmental Impact Analysis of Seawater Reverse Osmosis Systems- Case Study for Urla, International student Conference on Advanced Science and Technology-ICAST, Mayıs 25-26, 2010, Izmir (Poster sunum).

4. E. Yavuz, S. Solak, G. Sert, Ş. G. Öner, M. Arda, Ü. Yüksel, M. Yüksel, V. Gündoğdu, N. Kabay, A Comparative Study For Long-Term SWRO Desalination Tests-Effect of Membrane Type on Product Water Quality, EMCC-6, Eastern

Mediterranean Chemical Engineering Conference (EMCC), Mart 2010, Antalya (Poster sunum).

5. M. Arda, S. Solak, E. Yavuz, **G. Sert**, Ü. Yüksel, V. Gündoğdu, M. Yüksel, N. Kabay, Ters Ozmos Sistemiyle Deniz Suyundan Üretilen Tatlı Suyun Kullanım Suyu Standartlarına Uygunluğunun İncelenmesi, Ulusal Kimya Kongresi, Temmuz, 2010, Zonguldak (Poster Sunum).

Doktora Döneminde Görev Alınan Projeler

1. Proje No: 2012/SÜF/003, Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi (BAP), Ege Üniversitesi Urla Araştırma ve Uygulama Ünitesi Artezyen ve Kuyu Sularından Demir-Mangan Giderilmesi.
2. Proje No: 2012/MÜH/035, Ege Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projesi (BAP), Membran Biyoreaktör (MBR) Prosesiyle Arıtılan Endüstriyel Atık Suların Yeniden Kullanımı için Nanofiltrasyon ve Ters Ozmos Yöntemlerinin Uygulanması.
3. Proje No: 2013/SÜF/004, Organize Sanayi Bölgesinde Arıtılan Atık Suların Yeniden Kullanımı için Ters Ozmos Yönteminin Uygulanması ve Ürün Su Kalitesinin İncelenmesi.
4. Proje Kod No: 0330.STZ.2013-2, San-Tez Projesi, İTOB OSB Membran Bioreaktör (MBR) Arıtma Sisteminde İyileştirme Çalışmaları ve Atık Suda Enerji Bitkileri Yetiştirerek Biyogaz Üretilmesi.

Dahil Olduğu Diğer Projeler

1. Proje No: 2008 G 0192, BOREN projesi, Tarımsal sulamada kullanım için Bor içeren sulardan Ters Ozmos, Sorpsiyon-Membran Filtrasyon Hibrit Yöntemleriyle Bor Giderilmesi ve Kazanılması.
2. Proje No: 2010/BİL/010, Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi (BAP), Tarımsal sulamada kullanım için Bor içeren sulardan Ters Ozmos, Sorpsiyon-Membran Filtrasyon Hibrit Yöntemleriyle Bor Giderilmesi ve Kazanılması (Ek destek projesi)

3. Proje No: 2009 SÜF 034, Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi (BAP), Ters ozmos sistemlerinin denizel ortamda çevresel etki değerlendirmesi- Urla örneği.

Uluslararası Yayınlar

1. S.Bunani, E.Yörükoğlu, Ü.Yüksel, N.Kabay, M.Yüksel, **G.Sert**, Application of reverse osmosis for reuse of secondary treated urban wastewater in agricultural irrigation, Desalination 364, 68-74, (2015).
2. S. Bunani, E. Yörükoğlu, **G. Sert**, N. Kabay, Ü. Yüksel, M.Yüksel, Ö. Egemen, T.Ö. Pek, Utilization of Reverse Osmosis (RO) for Reuse of MBR Treated Wastewater in Irrigation-Preliminary Tests and Quality Analysis of Product Water, Environmental Science and Pollution Research (in press) (2015).
3. S.Bunani, E.Yörükoğlu, Ü.Yüksel, N.Kabay, M.Yüksel, **G.Sert**, T.Ö.Pek, Application of Nanofiltration for Reuse of Wastewater, Int.J.Global Warming, 6(2/3)325-338 (2014).
4. E.Yavuz, E.Güler, **G.Sert**, O.Arar, M.Yüksel, U. Yüksel, M. Kitiş, N.Kabay, Removal of boron from geothermal water by RO system-I-Effect of membrane configuration and applied pressure, Desalination, 310, 130-134 (2013).
5. S.Bunani, E.Yörükoğlu, **G.Sert**, U.Yuksel, M.Yuksel, N.Kabay, Application of nanofiltration for reuse of municipal wastewater and quality analysis of product water, Desalination, 315, 33-36 (2013).

İş Tecrübeleri

1. 06.2007–08.2007 İzmir Büyükşehir Belediyesi Çiğli Atıksu Arıtma Tesis

06/2007 tarihinden itibaren, staj kapsamında, Çiğli Atıksu Arıtma Tesisinde Su Ürünleri Mühendisi olarak, laboratuvar ve işletme birimlerinde görev aldı. Düzenli olarak tesiste bulunan ön ve son çökeltim, biofosfor ve havalandırma havuzlarından alınan atıksu numunelerinin günlük analizlerinin yapılmasında aktif olarak görev aldı. İdari yapı içerisinde stok takibi ve gider bütçesinin hazırlanmasını sağladı.

2. 16.06.2008–29.09.2008 SIREG S.p.A

Su arıtım cihaz teknolojisi üreten bir İtalyan firması olan SIREG bünyesinde, ofis içinde müşteri ilişkileri (ürün hakkında bilgi, destek, ürün sonrası hizmet) ve teknik birime aktif olarak destek verdi. Ürünün teslimatı, kurulması ve bakım aşamalarda görev aldı.

3. 12.2008–01.2009 BMB Technology Ltd.

12/2008 tarihinden itibaren yaklaşık 2 ay part time olarak evsel tip su arıtım cihazı satış görevinde bulundu. Ayrıca firmaya ait müşteri portföyü oluşturmada görev aldı.

4. İTOB-OSB Atık Su arıtma tesisi (2012’de 3 hafta süreyle MBR arıtma tesisinde staj yapılmış olup, sonrasında Aralık 2012’den beridir MBR ile arıtılan atık suyun geri kazanılması üzerine doktora tez çalışmaları atıksu arıtma tesisinde kurulu bulunan mobil laboratuvarında devam etmektedir.)

Nitelikler

Bilgisayar Bilgisi

İşletim Sistemi : Windows

Paket Programlar : MS Office (Word/ Excel/ Powerpoint), AutoCad2007

Yabancı Dil : İngilizce (ÜDS: 59)

Hobiler : Satranç, puzzle, film koleksiyonu

Referanslar

Prof. Dr. Nalan KABAY

Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü
Kimyasal Teknolojiler Ana Bilim Dalı
Tel: +90 (232) 311 22 90

Prof. Dr. Özdemir EGEMEN

Ege Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi,
Su Ürünleri Temel Bilimler Bölümü, Deniz Biyolojisi ABD.
Tel: +90 (232) 311 17 96

Prof.Dr. Mithat YÜKSEL

Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü
Kimyasal Teknolojiler Ana Bilim Dalı

Tel: +90 (232) 311 24 56

Dr.Vildan GÜNDOĞDU

GÜNDOĞDU Çevre Danışmanlık ve Mühendislik Hizmetleri Ltd.Şti.

Tel: +90 (232) 464 35 44