

**EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
(YÜKSEK LİSANS TEZİ)**

**EVSEL VE ENDÜSTRİYEL ATIK SULARIN
ARITIMINDA MEMBRAN BİYOREAKTÖR (MBR)
TEKNOLOJİSİNİN KULLANILMASI VE ARITILMIŞ
ÜRÜN SU KALİTESİNİN İNCELENMESİ**

ARASH ARIANFAR

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Nalan KABAY

Çevre Bilimleri Anabilim Dalı

Bilim Dalı Kodu : 615.01.00

Sunuş Tarihi :17.06.2015

Bornova-İZMİR

2015

ARASH ARIANFAR tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak sunulan “**EVSEL VE ENDÜSTRİYEL ATIK SULARIN ARITIMINDA MEMBRAN BİYOREAKTÖR TEKNOLOJİSİNİN KULLANILMASI VE ARITILMIŞ ÜRÜN SU KALİTESİNİN İNCELENMESİ**” başlıklı bu çalışma E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi’nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve **17.06.2015** tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

İmza

Jüri Başkanı	: Prof.Dr. Nalan KABAY	
Raportör Üye	: Prof.Dr. Nuri AZBAR	
Üye	: Prof.Dr. Ali ÇELİK	

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek lisans Tezi olarak sunduğum “**EVSEL VE ENDÜSTRİYEL ATIK SULARIN ARITIMINDA MEMBRAN BİYOREAKTÖR (MBR) TEKNOLOJİSİNİN KULLANILMASI VE ARITILMIŞ ÜRÜN SU KALİTESİNİN İNCELENMESİ**” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

17 / 06 / 2015

İmzası

ARASH ARIANFAR

ÖZET**EVSEL VE ENDÜSTRİYEL ATIK SULARIN ARITIMINDA MEMBRAN
BİYOREAKTÖR (MBR) TEKNOLOJİSİNİN KULLANILMASI VE
ARITILMIŞ ÜRÜN SU KALİTESİNİN İNCELENMESİ**

ARIANFAR, Arash

Yüksek Lisans Tezi, Çevre Bilimleri Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Nalan KABAY(Kimya mühendisliği Bölümü)

Haziran 2015, 121 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 pilot ölçekli spiral sarım nanofiltrasyon (NF)/ters ozmos (RO) test 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.

Laboratuvar çalışmalarında, NF200 ve CK RO membranlarıyla MBR çıkış suyunun arıtılması için SEPA CF II GE-Osmonics membran test sistemi kullanılmış ve ürün suyun kalitesi incelenmiştir. İTOB-OSB'de yürütülen çalışmalarda, NF270 ve BW30 membranlarının performansı farklı basınçlarda, yapılan kesikli çalışmalarla ve sürekli çalışmalarla incelenmiştir.

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

ABSTRACT**APPLICATION OF MEMBRANE BIOREACTOR (MBR) TECHNOLOGY
FOR TREATMENT OF MUNICIPAL AND INDUSTRIAL
WASTEWATER AND STUDYING QUALITY OF PRODUCT WATER**

Arianfar, Arash

MSc in Environment Science

Supervisor: Prof. Dr. Nalan KABAY

2015, 121 pages

This study was performed using a laboratory scale membrane test system (GE-Osmonics SEPA CF II) at Chemical Engineering, Department of Ege University and a small pilot scale spiral wound nanofiltration (NF)/reverse osmosis (RO) test system installed at 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 was investigated.

In order to treat MBR effluent with NF-200 and CK RO membranes, Sepa CF II (GE- Osmonics) membrane test system was employed and quality analysis of product water was performed. The performance of NF-270 and BW-30 membranes were investigated using batch and continuous tests.

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

TEŞEKKÜR

Bu çalışma maddi olarak T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı (Santez 03.STZ.2013-02 No'lu Proje) tarafından, kısmende Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (EU-2013-ÇSUMA-003) tarafından desteklenmiştir.Yüksek lisans çalışmam esnasında sağlandıkları yüksek lisans bursundan dolayı T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığına teşekkür ederim.

Yüksek lisans tezimin her aşamasında desteklerini esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Nalan Kabay'a, Çevre Bilimleri Anabilim Dalı Başkanı Prof. Dr. Nuri Azbar'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.

Yüksek lisans tezimi okuyarak, değerli önerilerde bulunan Prof. Dr. Ali Çelik'e çok teşekkür ederim.

Meslektaşlarım ve arkadaşlarım Gökhan Sert, Cüneyt Kaya, Samuel Bunani, Pınar Yanar, Merve Gündoğdu, Habibe Serez, Yakubu Abdullahi Jarma, Esra Altıok, Ozan Üstün'e çok teşekkür ederim. AAS analizlerinde yardımcı olan Kimyager Mehmet Akçay'a ayrıca çok teşekkür ederim.

Yüksek lisans çalışmam boyunca maddi ve manevi destekleriyle bana güç veren, ilgi ve sabırlarını benden esirgemeyen tüm aileme ve özellikle eşim, Ayla Shafipour ve canım oğlum Artın'a, çok teşekkür ederim.

Arash Arianfar

İZMİR, 2015

İÇİNDEKİLERSayfa

ÖZET	vii
ABSTRACT	ix
TEŞEKKÜR	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xvii
TABLolar DİZİNİ	xxii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xxiv
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Atıksuların Arıtılması	2
1.1.1. Fiziksel Arıtma Üniteleri	2
1.1.2. Kimyasal Arıtma.....	3
1.1.3. Biyolojik Arıtma.....	4
1.2. Membran Biyoreaktör Teknolojisi (MBR).....	7
1.2.1. MBR Konfigürasyonları	9
1.2.2. MBR'ların Gelişimi	11
1.2.3. MBR'ların Geleneksel Sistemlere Göre Avantajları	13
1.2.4. MBR'ların Dezavantajları	14
1.2.5. MBR'larda Çıkış Suyu Kalitesi.....	15

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
1.2.6. Membranların kirlenmesi/ tıkanması.....	16
1.2.7. Membranların Temizliği.....	18
1.3. İleri Membran Arıtma Yöntemleri	19
1.3.1 Mikrofiltrasyon (MF)	21
1.3.2. Ultrafiltrasyon (UF).....	22
1.3.3. Nanofiltrasyon (NF)	22
1.3.4. Ters Ozmoz	23
1.4. Arıtılmış Atık Suyun Deşarj Standartları	23
1.4.1. US EPA Rehberi (2004).....	24
1.4.2. WHO.....	27
1.4.3. FAO	29
1.4.4. Türkiye SKKY Teknik Usuller Tebliği	30
2. Deneysel	32
2.1. MATERYAL VE METOD	32
2.2. Materyal.....	32
2.2.1. Membranlar.....	32

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
2.2.2. Kimyasallar.....	34
2.3. Arıtılmış atıksuyun özellikleri	35
2.4. Laboratuvar çalışmaları.....	36
2.4.2. İTOB-OSB Arıtma Tesisi.....	42
2.4.3. Arazi çalışmaları.....	45
2.4.4. Ölçüm Ekipmanları ve Yöntemler.....	47
2.5. Arazide Gerçekleştiren Membran Testleri	50
3. Temel Hesaplamalar ve Tanımlar.....	52
4. BULGULAR.....	55
4.1. Laboratuvarda Gerçekleştirilen Membran Testleri.....	55
4.2. Arazi çalışmaları (basınç etkisinin incelenmesi 10 ve 15 bar)	72
4.3. Arazide Gerçekleştirilen Sürekli Döngü Çalışmaları	97
4.4. MBR Çıkış ve NF/RO Süzüntü Sularının Belli Oranlarda Karıştırılması.....	109
5. SONUÇLAR ve TARTIŞMA	113
5.1. Laboratuvar Çalışmaları.....	113
5.2. Arazi Çalışmaları.....	114
5.3. Sonuç	115

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
KAYNAKLAR DİZİNİ	115
ÖZGEÇMİŞ.....	121

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1 Atıksu Arıtma Tesis İşleyişi.....	6
1. 2 Tipik bir MBR sistemi akım şeması.....	8
1. 3 MBR konfigürasyonları.....	9
1. 4 MBR’ larda tıkanmayı etkileyen faktörle.....	17
1. 5 Membran akım türleri şematik gösterimi.....	20
1. 6 Değişik ayırım süreçlerinin uygulanabilirlik aralıkları.....	21
1. 7 Osmotik basınç ve ters ozmos.....	23
2.1 FilmTec BW30-2540 ve NF 270-2540 RO membranlarının boyutları.....	34
2.2. Laboratuvar ölçekli membran test sistemi.....	36
2.3 Membran test sisteminin şematik gösterimi.....	37
2.4 Hücre alt gövdesi	38
2.5 Konsantre vanası ve konsantre manometresi.....	38
2.6 Hücre üst gövdesi ve üretim suyu tablası.....	39
2.7 (a) Hücre yuvası, (b) Hücre yuvası ve hidrolik el pompası.....	39
2.8 Besleme Tankı	41
2.9 Yüksek basınç pompası	41
2.10 Kontrol paneli	42
2.11. İTOB-OSB Arıtma tesisi akım şeması.....	44
2.12 Küçük ölçekli spiral sarım membran arıtım sistemi	45
2.13 Arıtılmış atıksu depolama tankı	46
2.14 Arıtılmış su deposu	46
2.15 Yıkanabilir kartuş filtreler, kum filtre ve 10 mikronluk kartuş filtre.....	46
2.16 WTW kondüktometre	47
2.17 WTW pH metre	47
2.18 SCIENTIFIC Micro TPW türbidimetre	47
2.19 Varian 10 Plus Model Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresi	48

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil	Sayfa
2.20 Shimadzu LC-10 Ai model iyon kromatografi cihazı	48
2.21 TOK ölçüm cihazı	49
2.22 Spectroquant Nova 60 test kit	49
2.23 Termo reaktör (Spectroquant TR 320).....	49
2.24 Pilot ölçek spiral sarım membran test sistemiyle gerçekleştirilen kesikli çalışmaya ait akım şeması.....	51
2. 25 Sürekli çalışmaya ait akım şeması.....	52
4.1 Membranların zamana karşı süzüntü akısı değerleri.....	55
4.2 Membranların zamana karşı TÇK giderimleri.....	55
4.3 Membranların zamana karşı iletkenlik giderimleri.....	56
4.4 Membranların zamana karşı tuzluluk giderimleri.....	57
4.5 Membranların zamana karşı bulanıklık giderimleri.....	57
4.6 Membranların zamana karşı Na^+ giderimleri.....	58
4.7 Membranların zamana karşı K^+ iyonu giderimleri.....	58
4.8 Membranların zamana karşı NH_4^+ -N giderimleri.....	59
4.9 Membranların zamana karşı Cl^- iyonu giderimleri.....	59
4.10 Membranların zamana karşı NO_3^- iyonu giderimleri.....	60
4.11 Membranların zamana karşı NO_2^- iyonu giderimleri.....	60
4.12 Membranların zamana karşı HCO_3^- iyonu giderimleri.....	61
4.13 Membranların zamana karşı Ca^{2+} iyon giderimleri.....	62
4.14 Membranların zamana karşı Mg^{2+} iyonu giderimleri.....	62
4.15 Membranların zamana karşı SO_4^{2-} giderimleri.....	63
4.16 Membranların zamana karşı PO_4^{3-} -P giderimleri.....	63
4.17 Membranların zamana karşı silisyum giderimleri.....	64
4.18 Membranların zamana karşı KOİ giderimleri.....	65
4.19 Membranların zamana karşı renk giderimleri.....	65
4.20 Membranların zamana karşı TOK giderimleri.....	66

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil	Sayfa
4.21 Membranlara ait zamana karşı sızıntı akısı değerleri (10 bar).....	69
4.22 Membranlara ait zamana karşı sızıntı akısı değerleri (15 bar).....	70
4.23 Membranlara ait zamana karşı TÇK giderimi (10 bar)	70
4.24 Membranlara ait zamana karşı TÇK giderimi (15 bar)	71
4.25 Membranlara ait zamana karşı iletkenlik giderimi (10 bar)	71
4.26 Membranlara ait zamana karşı iletkenlik giderimi (15bar)	72
4.27 Membranlara ait zamana karşı tuzluluk giderimleri (10 bar).....	72
4.28 Membranlara ait zamana karşı tuzluluk giderimleri (15 bar).....	73
4.29 Membranlara ait zamana karşı bulanıklık giderimleri (10 bar).....	73
4.30 Membranlara ait zamana karşı bulanıklık giderimleri (15 bar).....	74
4.31 Membranlara ait zamana karşı Na ⁺ iyonu giderimi (10 bar).....	74
4.32 Membranlara ait zamana karşı Na ⁺ iyonu giderimi (15 bar).....	75
4.33 Membranlara ait zamana karşı K ⁺ iyonu giderimleri (10 bar).....	75
4.34 Membranlara ait zamana karşı K ⁺ iyonu giderimleri (15bar).....	76
4.35 Membranlara ait zamana karşı NH ₄ ⁺ iyonu giderimleri (10 bar).....	76
4.36 Membranlara ait zamana karşı NH ₄ ⁺ iyonu giderimleri (15 bar).....	77
4.37 Membranlara ait zamana karşı Cl ⁻ iyonu giderimleri (10 bar).....	77
4.38 Membranlara ait zamana karşı Cl ⁻ iyonu giderimleri (15 bar).....	78
4.39 Membranlara ait zamana karşı NO ₃ ⁻ iyonu giderimleri (10 bar).....	78
4.40 Membranlara ait zamana karşı NO ₃ ⁻ iyonu giderimleri (15 bar).....	79
4.41 Membranlara ait zamana karşı NO ₂ ⁻ iyonu giderimleri (10 bar).....	79
4.42 Membranlara ait zamana karşı NO ₂ ⁻ iyonu giderimleri (15 bar).....	80
4.43 Membranlara ait zamana karşı HCO ₃ ⁻ iyonu giderimleri (10 bar).....	80
4.44 Membranlara ait zamana karşı HCO ₃ ⁻ iyonu giderimleri (15 bar).....	81
4.45 Membranlara ait zamana karşı Ca ²⁺ iyonu giderimleri (10 bar).....	81
4.46 Membranlara ait zamana karşı Ca ²⁺ iyonu giderimleri (15 bar).....	82
4.47 Membranlara ait zamana karşı Mg ²⁺ iyonu giderimleri (10 bar).....	82

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil	Sayfa
4.48 Membranlara ait zamana karşı Mg^{2+} iyonu giderimleri (15 bar).....	83
4.49 Membranlara ait zamana karşı SO_4^{2-} iyonu giderimleri (10 bar).....	84
4.50 Membranlara ait zamana karşı SO_4^{2-} iyonu giderimleri (15 bar).....	84
4.51 Membranlara ait zamana karşı PO_4^{3-} iyonu giderimleri (10 bar).....	85
4.52 Membranlara ait zamana karşı PO_4^{3-} iyonu giderimleri (15 bar).....	86
4.53 Membranlara ait zamana karşı silisyum giderimleri (10 bar).....	86
4.54 Membranlara ait zamana karşı silisyum giderimleri (15 bar).....	87
4.55 Membranlara ait zamana karşı KOİ giderimleri (10 bar).....	88
4.56 Membranlara ait zamana karşı KOİ giderimleri (15 bar).....	88
4.57 Membranlara ait zamana karşı renk giderimleri (10 bar).....	89
4.58 Membranlara ait zamana karşı renk giderimleri (15 bar).....	89
4.59 Membranlara ait zamana karşı TOK giderimleri (10 bar).....	90
4.60 Membranlara ait zamana karşı TOK giderimleri (15 bar).....	90
4.61 Membranlara ait zamana karşı su geri kazanımı.....	91
4.62 Membranlara ait zamana karşı su geri kazanımı.....	92
4.63 Sürekli döngü çalışmasında zamana karşı sıcaklık değişimleri (NF270).....	97
4.64 Sürekli döngü çalışmasında zamana karşı sıcaklık değişimleri (BW30).....	97
4.65 Sürekli döngü çalışmasında NF270 membranının süzöntü akısı.....	98
4.66 Sürekli döngü çalışmasında BW30 membranının süzöntü akısı.....	99
4.67 NF270 ve BW30 membranlarına ait süzöntü akılarının döngüsel çalışmalarda değişimi.....	99
4.68 Sürekli döngü çalışmasına ait atıksu geri kazanımları (NF270).....	100
4.69 Sürekli döngü çalışmasına ait atıksu geri kazanımları (BW30).....	101
4.70 NF270 ve BW30 membranlarına ait atıksu geri kazanım değerlerinin döngüsel çalışmalarla değişimi.....	101
4.71 Sürekli döngü çalışmasında zamana karşı TÇK giderimi (NF270).....	102
4.72 Sürekli döngü çalışmasında zamana karşı TÇK giderimi (BW30).....	102

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil	Sayfa
4.73 Sürekli döngü çalışmasında zamana karşı iletkenlik giderimi (NF270).....	103
4.74 Sürekli döngü çalışmasında zamana karşı iletkenlik giderimi (BW30).....	104
4.75 Sürekli döngü çalışmasında zamana karşı tuzluluk giderimi (NF270).....	104
4.76 Sürekli döngü çalışmasında zamana karşı tuzluluk giderimi (BW30).....	105
4.77 MBR çıkış ve NF270 süzüntüsünün farklı oranlarında karıştırılmasıyla elde edilen suyun SAR ve iletkenlik değerleri.....	109
4.78 MBR çıkış ve BW30 süzüntüsünün farklı oranlarında karıştırılmasıyla elde edilen suyun SAR ve iletkenlik değerleri.....	109
4.79 MBR çıkış NF270 süzüntüsünün farklı karışım oranlarındaki SAR ve iletkenlik değerleri (sürekli döngü çalışmaları).....	110
4.80 MBR çıkış, BW30 süzüntüsünün farklı karışım oranlarındaki SAR ve iletkenlik değerleri (Sürekli döngü çalışmaları).....	110

TABLOLAR DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
1. 1 Tablo 1. Dahili ve harici MBR' ların karşılaştırılması.....	10
1. 2 Tablo 2 . Tasarım kriterlerine göre MBR'ların gelişimi	11
1.3 Evsel atıksuları arıtan MBR' larda tipik çıkış suyu kaliteleri.....	15
1.4. Sulamada Kullanılacak Arıtılmış Atıksu İçeriklerinin Limitleri.....	26
1.5.Aritilmiş Atıksuların Tarımda Yeniden Kullanılmasında Önerilen Mikrobiyolojik Kalite Rehberleri.	28
1.6 Teknik Usuller Tebliği Sulama Sularının Sınıflandırılmasında Esas Alınan Sulama Suyu Kalite Parametreleri.....	31
2.1.NF200 ve CK RO membranlarının özellikleri	32
2.2. Film Tec BW30-2540 ve NF270-2540 membranlarının özellikleri.....	33
2.3. Kitlere ait ölçüm aralığı.....	35
2.4. Laboratuvar çalışmalarında kullanılan atıksuyun fizikokimyasal bileşimi.....	36
2.5 Ters ozmos membran ünitesi işletme şartları.....	40
2.6. Cihaz ölçüleri ve ağırlıkları	40
2.7. Cihazın yapımında kullanılan malzemeler	40
3.1 Sulama suyunun kimyasal kalitesinin değerlendirilmesi için geliştirilmiş parametreler	54
4. 1 Farklı membranlarla elde edilen ürün suyun kimyasal kalitesinin değerlendirilmesi için geliştirilmiş parametreler ile karşılaştırılması....	67
4. 2 NF ve RO membranları ile elde edilen ürün suyun özellikleri ve SKKY ile sulama suyu standartlarıyla karşılaştırılması.....	68
4.3 Sulama suyunun kimyasal kalitesinin değerlendirilmesi için geliştirilmiş parametreler ile karşılaştırılması (10 ve 15 bar).....	92
4. 4 NF270 ve BW30 membranları ile elde edilen ürün suyun özellikleri ve SKKY ile sulama suyu standartlarıyla karşılaştırılması (10 bar).....	93

TABLOLAR DİZİNİ (devam)

Tablo	Sayfa
4.5 NF270 ve BW30 membranları ile elde edilen ürün suyun özellikleri ve SKKY ile sulama suyu standartlarıyla karşılaştırılması (15 bar).....	94
4. 6 NF270 ve BW30 membranları ile farklı basınçlardan elde edilen ürün suyun ortalama özelliklerinin karşılaştırılması.....	95
4.7 Sürekli döngü çalışmalarında NF270 membranından elde edilen ürün suyun kalitesinin değerlendirilmesi.....	105
4.8 Sürekli döngü çalışmalarında BW30 membranından elde edilen ürün suyun kalitesinin değerlendirilmesi.....	106
4. 9 Sürekli döngü çalışmalarında elde edilen ürün su kalitesinin sulama suyu için geliştirilmiş parametreler ile karşılaştırılması.....	107
4.10 Sürekli döngü çalışmalarında elde edilen ürün suyun özelliklerinin Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY) ile sulama suyu standartlarıyla karşılaştırılması.....	107
4. 11 MBR çıkış ve membran süzöntü oranlarının, SAR ve iletkenlik değerleriyle karşılaştırılması.....	106
4. 11 MBR çıkış ve membran süzöntü oranlarının, SAR ve iletkenlik değerleriyle karşılaştırılması(devam).....	111

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>	
BOİ	Biyolojik Oksjen İhtiyacı
KOİ	Kimyasal Oksjen İhtiyacı
EC	Elektriksel İletkenlik (mS/cm)
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

1. GİRİŞ

Temiz su kaynakları özellikle kurak ve yarı kurak iklime sahip ülkelerde, giderek artan nüfusun içme ve kullanma suyu gereksinimlerini karşılamak için yetersiz kalmaktadır. Nüfus ile doğru orantılı artan yiyecek gereksinimi ise, beraberinde tarımsal alanlarda genişleme ve üretimde artış sağlama zorunluluğunu getirmektedir. Günümüzde yetersiz olan temiz su kaynaklarına alternatif olarak tarımda sulama suyu ihtiyacını karşılamak için evsel atık suların kullanılması akılcı bir çözüm seçeneği oluşturmaktadır(Yasemin, 2007).

Kent nüfusuyla birlikte su kullanımının da artması, çok miktarda atık su oluşmasına neden olmaktadır. Çevresel sağlık ve su kirliliğinin önlenmesi, günümüzün en önemli sorunlarından birisidir. Bunun yanı sıra, kentsel atık suların güvenli ve yararlı bir şekilde uzaklaştırılma gerekliliği de kentsel toplumların önemle üzerinde durdukları diğer bir konudur. Atık suların uygun bir strateji ile kontrollü olarak tarımda kullanılması, bu suların uzaklaştırılması için iyi ve yararlı bir yöntem sunmaktadır. Ayrıca, atık suların kullanılması, iyi kaliteli suların sulama dışındaki kullanım amaçları için korunmasını da sağlamaktadır. Kentsel atık suların uygun stratejilerle yeniden kullanımı ile yerüstü su kaynaklarının kirlenmesi önlenmiş olur. Bu sayede sadece değerli temiz su kaynakları korunmakla kalmaz, aynı zamanda, atık suların içerdiği bitki besin maddeleri bitki yetiştiriciliğinde avantaj sağlar. Atık suların azot ve fosfor içeriği tarımsal gübre gereksinimini azaltmakta veya tamamen ortadan kaldırmaktadır. Atık suların sulamada kullanılması ile bitki yetiştiriciliği için yararlı olan toprak mikroorganizmalarının metabolik aktiviteleri'de artmaktadır (Pescod, 1992; Toze, 2006).

Kentsel atık sular, suya oranla çok daha küçük derişimde suda asılı veya çözünmüş halde organik ve inorganik maddeleri içerirler. Kanalizasyon sistemleriyle toplanan kentsel atık sular içerisinde, gerek evsel gerekse de endüstriyel kaynaklı çeşitli inorganik maddeler de bulunmaktadır. Özellikle endüstriyel atık suların kanalizasyon sistemine verilmesi durumunda, arsenik, kadmiyum, krom, bakır, kurşun, civa, çinko gibi toksik etkiye sahip inorganik maddeler deşarj edilen atık sularda bulunabilirler. Toksik kimyasalların derişimi insan sağlığını etkilemeyecek düzeyde olsa bile, bu maddeler bitkiler üzerinde toksik etkide bulunabilirler. İnsan sağlığı yönünden bakıldığında atık suların tarımsal sulamada kullanımında dikkat edilmesi gereken en önemli kirleticiler patojen mikroorganizmalardır (Pescod, 1992).

Tarımda atık suların kullanılması genellikle tarımsal ve ekonomik açıdan değerlendirilmektedir. Ancak, halk sağlığı ve çevre üzerine olumsuz etkilerini en aza indirmek veya ortadan kaldırmak için atık suların kullanılmasında dikkatli olunmalı ve koruyucu önlemler uygulanmalıdır. (Yasemin, 2007).

1.1. Atıksuların Arıtılması

Atıksu arıtımında uygulanan yöntemleri fiziksel, kimyasal ve biyolojik olmak üzere üç ana grupta toplamak mümkündür. Bunlardan fiziksel arıtmada çökeltim ve flotasyon işlemleriyle çökebilen veya yüzebilen tanecikler ayrılmakta; kimyasal arıtmada ise çözünmüş ya da kolloidal boyuttaki tanecikler pıhtılaştırılıp yumaklaştırılarak çökebilir hale getirilmektedir; Biyolojik arıtmada ise çözünmüş maddeler kısmen biyolojik kütlelerin bir araya gelerek oluşturduğu kolay çökebilen yumaklara, kısmen de mikroorganizmaların enerji ihtiyaçları için yaptıkları solunum sırasında çıkan gazlara ve diğer stabilize olmuş son ürünlere dönüş mektir. Biyolojik ve kimyasal arıtma ünitelerinin yükünü azaltmak için, öncelikle fiziksel ön işlemler uygulanır. Mekanik arıtma olarak isimlendirilen ve genellikle ızgara, kum tutucu ve ön çökeltim ünitelerinden meydana gelen ön işlemlerden sonra, biyolojik ve/veya kimyasal arıtma uygulanabilir. Biyolojik ya da kimyasal arıtmada oluşan yumaklar, mekanik işlemlerle sudan uzaklaştırılır (Çitil, 1995). Şekil 1.1’de atıksu arıtma tesisin genel şeması görünmektedir.

1.1.1. Fiziksel Arıtma Üniteleri

Fiziksel arıtma üniteleri aşağıda özetlenmiştir.

Izgaralar: Su içerisinde bulunan kaba maddelerin sistem elemanlarına zarar vermemesi, diğer arıtma kısımlarına gelen yükün hafiflemesi amacıyla, kaba maddelerin sudan uzaklaştırılması için ızgaralar kullanılır (Eroğlu, 1995).

Kum Tutucular: Kum, çakıl gibi organik olmayan maddeleri atık sudan ayırmak, arıtma tesislerindeki pompa ve benzeri teçhizatın aşınmasına ve çökeltim havuzlarında tıkanma tehlikesine engel olabilmek için kum tutucular kullanılır (Eroğlu, 1995).

Yüzer Madde Tutucular: Atık suda bulunan ve yoğunluğu sudan küçük olan yağ, gres, solvent ve benzeri yüzer maddeleri sudan ayırmak için yüzer madde tutucular kullanılır. Ön çökeltim havuzlarının olmaması veya bu gibi

maddelerin konsantrasyonunun fazla olması halinde, gerek bu maddeleri kazanmak, gerekse arıtma verimini yükseltmek amacıyla yüzer madde tutucular yapılmalıdır (Eroğlu, 1995).

Dengeleme Havuzları: Dengeleme havuzları, atık su arıtma tesisine giden atık su debisinin düzenli olmasını, atık sulara debi, bileşim ve kirlilik yükünün zaman içindeki değişimlerinin dengelenmesini sağlar (Eroğlu, 1995).

Çökeltim Havuzları: Çökeltme işlemi, sudan daha yoğun olan askıda katı maddelerin veya kimyasal ve biyolojik işlemlerle yumaklar haline getirilip yoğunluğu sudan daha yoğun maddeler haline getirilen partiküllerin yer çekimi etkisiyle sudan ayrılmasıdır. Çökeltme işlemiyle kirleticilerin diğer arıtma ünitelerine geçişi engellenir (Eroğlu, 1995).

Kimyasal Arıtma

Kimyasal arıtma, atıksularda kirliliğe neden olan çözünmüş, kolloidal ve askıdaki maddelerin uzaklaştırılmasını temin veya hızlandırmak amacıyla, çeşitli kimyasal reaksiyonlardan yararlanılması esasına dayanan genel metotlardır. Kimyasal arıtma suda çözünmüş halde bulunan kirleticilerin, kimyasal reaksiyonlarla çözünürlüğü düşük bileşiklere dönüştürülmesi veya kolloidal ve askıdaki taneciklerin pıhtı ve yumaklar oluşturarak çökertilmesinin sağlanmasını amaçlar. Yumaklaştırıcı (koagülant) olarak en çok kullanılan kimyasal maddeler $Al_2(SO_4)_3$, $AlCl_3$, $Fe_2(SO_4)_3$, $FeCl_3$, CaO , $Ca(OH)_2$ olup, yumaklaştırma yardımcı maddesi olarak en fazla polielektrolitler kullanılmaktadır.(Eroğlu, 1995).

Kimyasal yumaklaştırma sonucunda oluşan yumakların çöktürülmesi için çökeltme havuzları kullanılır (Eroğlu, 1995).

1.1.2. Biyolojik Arıtma

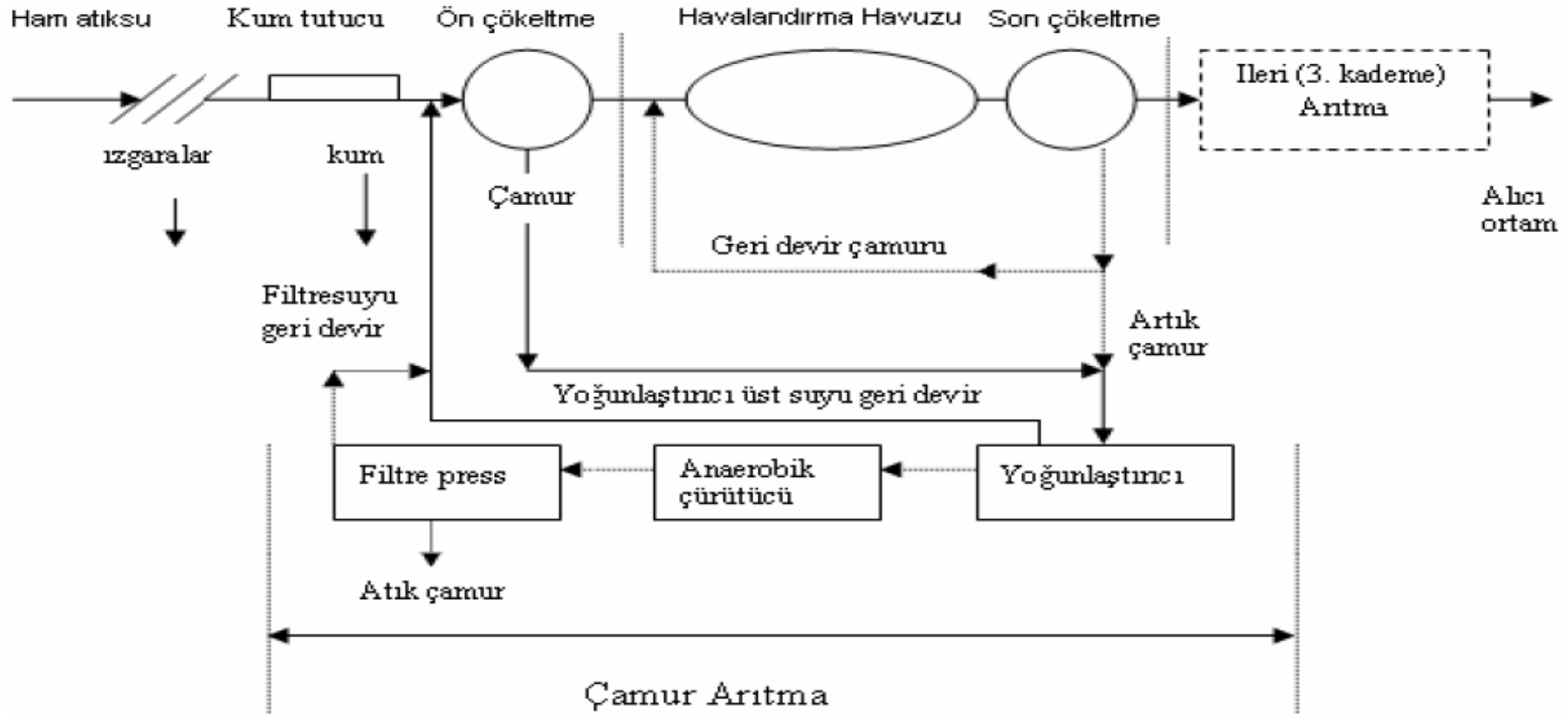
Biyolojik arıtımın temel amacı, atıksuda bulunan kirletici bileşiklerin karışık mikrobik kültür tarafından bir besi kaynağı olarak kullanılmasını sağlamaktır. Kirletici bileşikler atıksuda bulunabilecek organik maddeleri, nütrientleri (besi maddelerini) ve diğer maddeleri belirtmektedir. Yaygın biyolojik arıtım prosesleri, aerobik, anaerobik ve biyolojik nütrient giderim prosesleri şeklinde sınıflanmaktadır. Aktif çamur prosesinde, mikroorganizmalar tamamıyla bu bileşiklerle birlikte karıştırılırlar ve böylece büyür ve organik maddeleri bulundururlar (Al-Malack, 2006).

Havalandırma tankındaki askıda katı maddeler, iyi kalitede bir çıkış suyu elde etmek için sudan başarılı bir şekilde ayrılmak zorundadır. Bu amaçla, son çıkış suyundan biyokütlenin ayrılması için, genellikle yerçekimi ile çöktürme işlemi kullanılır. Çamurun fiziksel özellikleri ve sedimentasyon prosesinin konfigürasyonu ve işletilmesi bu aşamada önemli bir etkiye sahiptir (Ünlü vd., 2005). Özellikle çamur süspansiyonunda aşırı ipliksi bakterilerin üremesi sonucu sedimentasyon ve yoğunlaştırma prosesi başarısızlığa uğrayabilmektedir. Bu durum çamurun ipliksi bakteriler nedeniyle şişmesi ile ortaya çıkar (Meng vd., 2006a).

Atıksu arıtma tesisleri, yasal düzenlemelere uyum sağla-yabilmek için işletme performanslarını geliştirmek ve daha yüksek kalitede çıkış suyu sağlamak zorundadırlar. Endüstriyel tesislerden gelen atıksuların biyolojik arıtımında bazı zorluklar yaşanmaktadır. Bunlar, biyolojik katıların verimsiz bir şekilde ayrılması ve büyük hacimli biyolojik çamurların oluşması vb.dir. Biyolojik flokülasyon berrak ve çökelme karakteri iyi bir çıkış suyu elde etmek için gereklidir. Giriş suyunda mevcut olabilen bazı kimyasal bileşiklere karşı biyoprosesin yüksek hassasiyeti, çıkış suyunda yüksek bulanıklığın, yüksek düzeyde askıda katı madde derişimlerinin görülmesine neden olacaktır ve böylelikle biyoreaktör içindeki aktif biyokütle miktarı azalacak ve arıtım prosesi başarısızlıkla sonuçlanacaktır. Biyoprosesin en kritik ve zor basamaklarından bir tanesi biyolojik katı maddelerin ve çıkış suyunun ayrılmasıdır (Galil ve Levinsky, 2007).

Son zamanlarda, (MBR) teknolojileri su arıtımında, atıksu arıtımında giderek önemli olmaktadır (Tsai vd., 2005). (MBR) sistemler atıksuların ikincil arıtımı için konvansiyonel aktif çamur proseslerine karşı bir alternatiftir. Bu

sistemler klasik aktif çamur prosesleriyle karşılaştırıldığında su kalitesi, güvenilirlik ve daha az yer kaplama gibi avantajlara sahiptir (Lesage vd., 2008).



Şekil 1.1 Atıksu Arıtma Tesisi İşleyişi (Samsunlu, 2005)

1.2. Membran biyoreaktör (MBR) teknolojisi

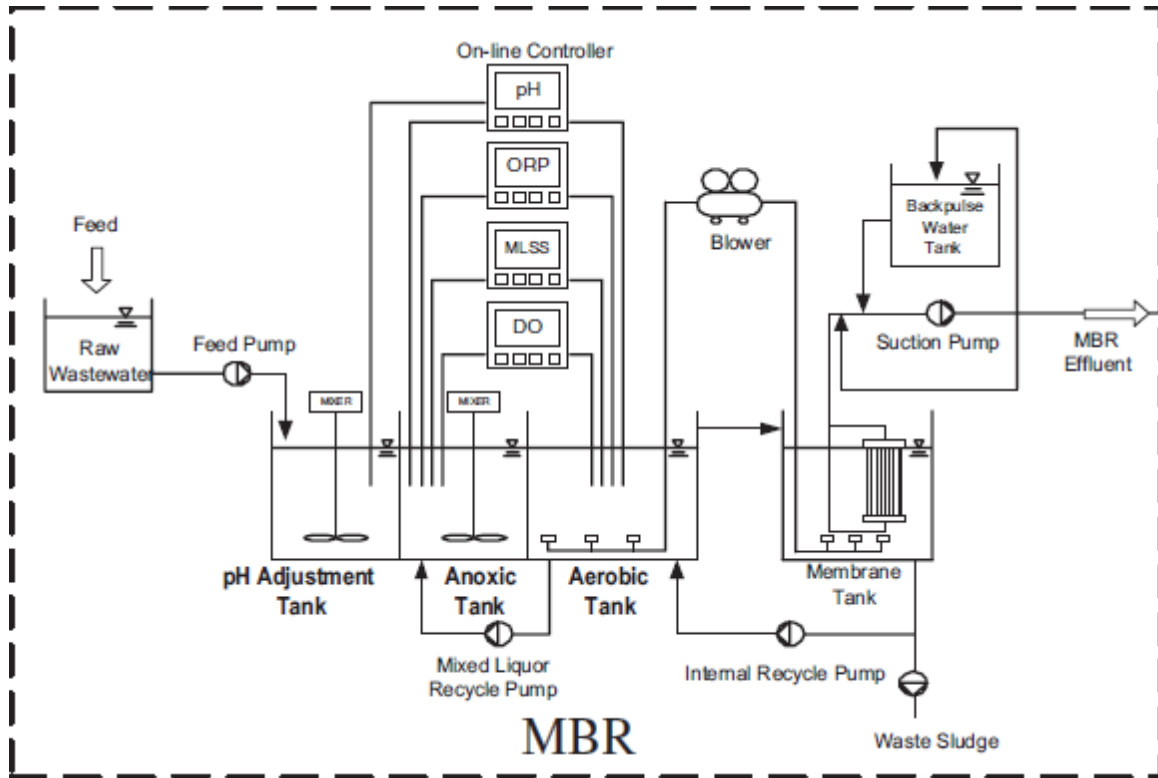
Son yıllarda polimer ve dolayısıyla membran teknolojisindeki çok hızlı gelişmeler ve üretim maliyetinin azaltılması sebebiyle gerek içme suyu gerekse de atıksu arıtma alanlarında membran prosesleri (özellikle mikrofiltrasyon ve ultrafiltrasyon) geleneksel sistemlerle maliyet açısından rekabet edebilir hale gelmiş ve geniş çapta uygulanmaya başlanmıştır. Dolayısıyla, atıksu arıtmada uygulanan MBR'lar da gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde son yıllarda eksponansiyel bir artışla arıtma tesislerinde devreye alınmaya başlamıştır (Stephenson vd., 2000; Gunder, 2001; Anonim I, 2001; Judd, 2001, 2006; Van der Roest vd., 2002; Daigger vd., 2005).

Önümüzdeki yıllarda birçok geleneksel atıksu arıtma tesislerinin teknolojilerini MBR'lara dönüştüreceği ve özellikle de son çökeltim havuzlarının ortadan kalkacağı tahmin edilmektedir. MBR'lar membran ekipmanı sayesinde arıtılmış su ve biyokütlenin fiziksel olarak filtrasyon ile ayrıldığı biyokimyasal oksidasyon prosesidir (Adham ve Gagliardo, 1998; Buisson vd., 1998; Cicek, 1998; Crawford vd., 2000; Liu vd., 2000; Stephenson vd., 2000). Geleneksel aktif çamur prosesinde iki ayrı tankda gerçekleşen biyokimyasal oksidasyon havalandırma tankında su/biyokütle ayrımı, sedimentasyon ile çökeltim tankında gerçekleşirken MBR'larda tek tankda gerçekleşmektedir. Bu tank içinde havalandırma suretiyle aktif çamur oluşturulmakta, tankın içinde suda gömülü olan membran kasetlerindeki fiberlerin ya da düz tabaka membranların çok küçük gözeneklerinden vakum uygulanarak arıtılmış su çekilmekte ve biyooksidasyon ile karbon giderimini yapan biyokütle tank içerisinde kalmaktadır. Genellikle mikrofiltrasyon (yaklaşık 0,2 µm gözenek büyüklüğü) ya da ultrafiltrasyon (yaklaşık 0,01 µm gözenek büyüklüğü) membran üniteleri MBR'larda kullanılmaktadır. Arıtma sırasında zamanla membranlar üzerinde oluşan kek/kirlenmetabakası (foulant layer) bu gözenekleri daha da küçültmekte ve su/biyokütle ayrımını, askıda katı madde ve mikroorganizma giderme verimini artırmaktadır (Judd, 2006).

Tipik bir MBR ünitesi akım şeması Şekil 1.2'de gösterilmiştir. Atıksudaki membranları tıkayabilecek büyük çaplı materyalleri (bez, plastik, kağıt parçaları gibi) ayırmak için mekanik kaba ve ince ızgaradan (1–2 mm çaplı) geçen atıksu doğrudan ön çökeltim gerek duyulmadan MBR tankına girmektedir (Şekil 1.2). Ancak askıda katı madde içeriği nispeten yüksek olan atıksularda MBR ünitesinden önce ön çökeltim de uygulanabilmektedir. Daha küçük çaplı ($\approx 0,1$ –1 mm) ve daha

yüksek tutma kapasitesi olan döner tambur ızgaralar, genellikle MBR sistemlerinde konvansiyonel ızgaralara tercih edilmektedir. MBR tankının giriş bölümü kapalı ve havalandırmaz yapılarak, anoksik şartlar sağlanıp denitrifikasyon uygulanabilir. Bunun için havalandırma tankında nitrifikasyon ile oluşan nitrat biyokütle geri döngüsü (MLSS recirculation) ile anoksik tanka geri pompalanır. Böylece isteğe bağlı olarak organik karbon gideriminin yanında amonyak azotu giderimi de sağlanır. Eğer fosfor giderimi de isteniyorsa tankın ilk giriş kısmına anaerobik bölüm eklenip, fosfor da biyolojik olarak atıksudan giderilebilir. Dolayısıyla MBR prosesi biyolojik nütriyent giderimi için de uygundur (Judd, 2006).

Bazı sentetik toksik organik maddelerin, fosforun veya ağır metallerin giderimi istenirse; opsiyonel olarak koagülasyon/flokülasyon işlemi için bazı metalik koagülantlar suya eklenebilir. Tüm bu özellikler MBR'ları çok esnek bir arıtma prosesi haline getirir. Vakum ile membran gözeneklerinden çekilen arıtılmış su, geleneksel sistemlere göre çok daha yüksek kalitededir. Oluşan atık çamur digger geleneksel sistemlerde olduğu gibi son bertaraf için proses edilir ve gübre olarak tarım ve parklarda kullanılabilir (Kitiş, 2009).

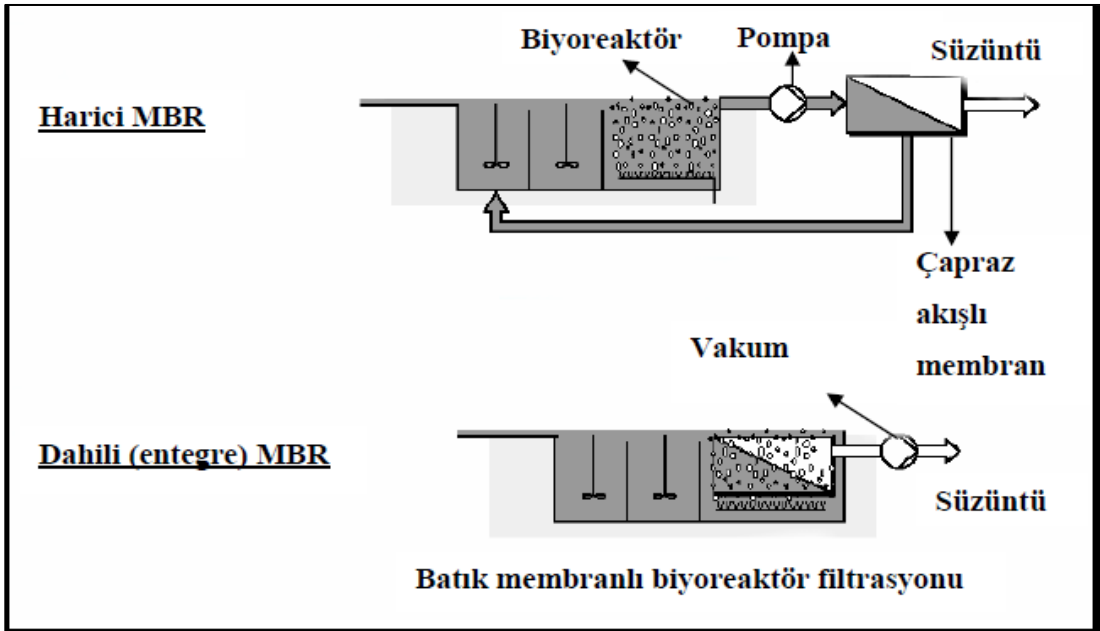


Şekil 1.2 Tipik bir MBR sistemi akım şeması (Chen, 2004)

MBR'lar modüler sistemler olduğundan bu sistemlerin kurulumu için, geleneksel sistemlere göre çok daha az arazi gereksinimi vardır. Dahili sistem MBR'larda tüm arıtma aşamaları (havalandırma, sıvı / biyokütle ayrımı fiziksel dezenfeksiyon) tek bir tank içinde gerçekleşir. MBR'ların en önemli özelliği hali hazırda kullanılan işletimde olan konvansiyonel aktif çamur sistemlerinin kolaylıkla MBR sistemlerine döndürülebilmesidir. Bu tesislerin havalandırma tankına batık membranlar yerleştirilerek bu işlem gerçekleştirilir (Kitiş, 2009).

1.2.1. MBR konfigürasyonları

Uygulanmakta olan MBR sistemleri, sıvı/biyokütle ayrımının akışlı membran filtrasyonu ile ayrı bir ünite de gerçekleştiği ve dahili sistemler (sıvı/biyokütle ayrımının bioreaktör içinde batık membranlar ile gerçekleştiği) olarak iki ana konfigürasyonda olmaktadır (Judd, 2006) (Şekil 1.3).



Şekil 1.3 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 hedeflenir. Öte yandan membran yüzeyine uygulanan ince hava kabarcıklı havalandırma ile membran yüzeyine maddelerin birikip akıyı azaltması engellenmeye çalışılır. Yükselen hava kabarcıkları membran yüzeyinde türbülanslı karşı akım yaratıp (yaklaşık 1 m/s),

membran yüzeyinde materyellerin birikmesini azaltır, böylece sistem daha etkin çalışır. Reaktördeki türbülanslı karışım ve reaktör hidroliğinden dolayı iki havalandırma türü de pratikte hem temizleme hemde oksijen ihtiyacı taleplerini karşılayabilir. Diğer bir deyimle uygulamada iki havalandırmanın da sonuçlarını ayırt etmesi zordur (Stephenson, 2000).

Konfigürasyon seçeneğine karar vermek spesifik uygulamaya bağlı olsa da genellikle dahili MBR lar daha sık uygulamadadır. İki konfigürasyonun karşılaştırılması tablo 1.1’de sunulmuştur(Gürel, 2011).

Tablo 1.1 Dahili ve harici MBR’ ların karşılaştırılması (Gürel, 2011).

Dahili MBR	Harici MBR
Yüksek havalandırma masrafı	Düşük havalandırma masrafı
Düşük pompaj masrafı	Yüksek pompaj masrafı
Düşük akı (büyük alan gereksinimi)	Yüksek akı (küçük alan gereksinimi)
Daha az temizleme ihtiyacı	Daha sık temizleme ihtiyacı
Düşük işletme maliyeti	Yüksek işletme maliyeti
Yüksek yatırım maliyeti	Düşük yatırım maliyeti

Dahili batık MBR’ler daha düşük işletme akılarında çalıştırıldıkları için daha fazla geçirimsizliğe dolayısıyla daha fazla hidrolik verimliliğe sahiptirler. Düşük akı ile çalışmak batık MBR’larda önemlidir çünkü bu uygulama membran kirlenmesini veya tıkanmasını azaltabilir. İleriki bölümlerde tartışılacağı gibi membran tıkanması MBR’ların en önemli dezavantajlarından birisi olup, maliyeti artırıcı ve işletmeyi zorlaştıran temizleme mekanizmalarını gerektirir. Dahili batık MBR’lar harici MBR’lara göre daha düşük pompaj masrafları gerektirse de daha yoğun havalandırmaya duyulmaktadır. Ayrıca batık MBR’larda düşük akı ile çalışması sabit süzüntü akısı üretimi baz alındığında daha fazla membran yüzey alanı gerektirir. Ancak, orta ve büyük ölçekli kentsel atık su arırmaları için genellikle seçilen ve uygulanan konfigürasyon dahili batık MBR’lardır (Judd, 2002a).

1.2.2. MBR'ların Gelişimi

Tasarım yaklaşımları açısından MBR'ların günümüze gelinceye dek üç nesli ortaya çıkmıştır ve 4.nesil MBR sistemlerde gelişme aşamasındadır (Crawford, 2000).

Tablo 1.2'de MBR'ların tasarım kriterlerine göre gelişimi özetlenmiştir.

Tablo1.2 Tasarım kriterlerine göre MBR'ların gelişimi (Crawford, 2000)

	1. Nesil	2. Nesil	3. Nesil
SRT(gün)	50 +	20 +	< 10 – 15
MLSS(mg /L)	20,000+	20,000	10,000
NH ₃ giderimi	Var	Var	Var
Toplam azot giderimi	Var	Var	Var
Fosfor giderimi	Var	Var	Var

Kentsel veya evsel atıksu arıtımı için kullanılan 1.nesil MBR'lar daha çok küçük debiler, kanalizasyona bağlı olmayan bölgeler, ve atık su geri kazanımı ve kullanımı için uygulanmışlardır. Örneğin, parklar, kayak merkezleri, ve ofis kompleksleri kullanım alanlarıdır. Bunlar işletim kolaylığının ve değişken yüklerin karşılanabilirliğinin önemli olduğu tesislerdir. Birinci nesil MBR 'larda 15000-25000 mg/L biyokütle ve 50 gün veya daha fazla SRT'den dolayı bu sistemler biyolojik arıtım açısından oldukça kararlı ve nisbeten problemsizdir. Yüksek kalitede çıkış suyu, tam nitrifikasyon, az çamur miktarları ve seyrek çamur atımı, ve az değişkenlikteki çıkış suyu kalitesi bu MBR'ların avantajları arasındadır (Crawford, 2000).

Birinci nesil MBR uygulamalarının artması ve teknolojik gelişmeler sonucu, 2. nesil MBR'lar kullanmaya başladı. İkinci nesil MBR'ların en önemli iki özelliği MBR'lara biyolojik nutriyent (azot ve fosfor) giderimi özelliğinin eklenmesidir. Tam nitrifiye eden bir tesiste, azot giderimi aerobik bölümde oluşan nitratın biyokütle ile anoksik bölüme geri döndürülmesi, ve anoksik bölümde de denitrifikasyon sonucu nitratın azota indirgenmesi ile gerçekleşmektedir.

Denitrifikasyon ile aynı zamanda alkalinite geri kazanımı da elde edilir (Crawford vd., 2000).

2.neslin MBR'ların diğer bir özelliği de kimyasal fosfor giderimi için, MBR'lara metal tuzlarının eklenmesidir. Sanayide elde edilen sonuçlara göre çıkış fosfat konsantrasyonları 0.1 mg/L'den azdır (Crawford ve diğerleri, 2000). İlk uygulamalarda, metal tuzlarının eklenmesi ile MBR biyokütle konsantrasyonları sabit SRT'de 25,000 mg/L gibi yüksek değerlere çıkmıştır. Dolayısıyla, sonraki uygulama veya işletme peryotlarında SRT azaltılmıştır. Bunun nedeni ise yüksek biyokütle konsantrasyonlarının membran kapasitesine olumsuz etkilerini azaltabilmektir. 2.nesil MBR'larda bundan dolayı biyokütle ve SRT sırasıyla 15,000 – 20,000 mg/L ve minimum 20 gün olmuştur (Crawford vd., 2000).

Üçüncü nesil MBR'lardaki ana hedefler membran akışını ve kapasitesini artırabilmek, sistem SRT ve biyokütleyi azaltabilmek, ve toplam maliyeti optimize edebilmek olmuştur. Artık üçüncü nesil MBR'larda sadece üretici firmaların değil, arıtma tesisi işletmecileri ve mühendislik-danışmanlık firmalarının da rolleri artmaya başlamıştır. Daha düşük biyokütle derişimlerinde (10,000 mg/L civarı) çalışılması süzüntü akışını da artırmıştır (Crawford, 2000). Azaltılan biyokütle ve SRT (gerekli biyolojik proses kinetiğinin yakalanması açısından) 3.nesil MBR'ların temel özelliğidir. Ancak bu olumlu değişiklikler diğer yandan bazı proses ve tasarım olumsuzlukları da meydana getirmiştir. Azaltılan SRT uzun süreli iç solunum ihtiyacı için gereken enerjiyi (havalandırma bağlamında) gerektirmese de, daha yakın ve etkin proses kontrolü gerektirip, günlük yük varyasyonlarının etkisi açısından problemler çıkabilmektedir. Daha düşük biyokütle ile çalışmak, membran ekipman maliyetini azaltmakta ve pik debileri karşılayabilme kapasitesini artırmaktadır. Ancak aynı zamanda da gerekli reaktör hacmini ve üretilen atık çamurun hacmini artırmaktadır (Crawford vd., 2000).

Günümüzde uygulanan sistem kapasiteleri bağlamında düşünüldüğünde artık 4.MBR sistemlerde söz konusudur. Son birkaç yıl içinde inşa edilen veya tasarımı yapılmakta olan MBR'lara bakıldığında sadece toplam sayının değil, aynı zamanda çok daha büyük debilerde yapabilecek MBR'ların sayısında artış görmekteyiz. Bunun sonucu olarak satış pazarının artan bir hızla genişlemesi üretici firma sayısını artırmış ve rekabeti de geliştirmiştir (Crawford vd., 2000).

Tasarım yaklaşımı açısından günümüzde geliştirilmesi gereken temel husus, küçük-veya orta ölçekteki uygulamalardan büyük ölçek uygulamalara yenilmesidir. Örneğin, 3000 m³/gün debisindeki bir MBR sistem makul sayıda modüler ünitelerle tasarlanabilir. Öte yandan büyük debiler için tasarımda benzer büyüklükte daha fazla modüler ünite mi, yoksa daha fazla modüllerin mi kullanılacağı seçilmek zorundadır. Etkili temizlik için sınırlı sayıda büyük modüler uygun olabilir. Öte yandan, etkili geri yıkama ve dengeli debi tasarımı açısından her modülün etkin büyüklüğünde sınırlamalar olabilir. Büyük tesislerdeki diğer potansiyel bir zorluk da, sürekli ve periyodik temizleme mekanizmalarının tasarımıdır. Küçük tesislerde membran modüllerinin tankdan çıkartılıp, harici olarak temizlenip, tekrar tanka konumlanması etkili olsa da, bu yöntem büyük tesislerde pratik olmayabilir. Dolayısıyla büyük tesislerde temizleme yönteminin etkinliği üretici firmalar arasındaki temel rekabet noktalarından bir tanesidir (Crawford vd., 2000).

MBR'larda tecrübenin az olduğu diğer bir husus da çamur işleme prosesleriyle ilgilidir. Şu ana kadarki çoğu küçük ölçekli MBR uygulamalarında, atık çamurları için aerobik çamur stabilizasyonu, susuzlaştırma veya stabilizasyon sonrası direk araziye serme işlemi uygulanmıştır. Büyük tesislerde ise fazla miktarlardaki çamurdan dolayı önce çamur yoğunlaştırma, sonra aerobik veya an aerobik çürütme ve susuzlaştırma kademeleri gerekmektedir. Şu ana kadar yapılan sayıda az uygulamadan dolayı, MBR çamurlarının bertaraf konusu şu an 4. nesil MBR'lar için araştırılması gereken konulardan birisidir. Büyük ölçekli tesislerde diğer önemli tasarım konuda da membran ekipmanı tasarımının yanı sıra etkin bir biyolojik proses tasarımının da beraber yapılabilmesidir. Bu gereksinim, tasarımın zorluğunu bir miktar daha artırır (Crawford vd., 2000).

1.2.3. MBR'ların Geleneksel Sistemlere Göre Avantajları

MBR'larda biyolojik askıda katı madde (mixed liquor suspended solids, MLSS) derişimleri (12,000-15,000 mg/L) arıtma için gerekli hidrolik bekleme süresi (HRT) geleneksel aktif çamur sistemlere göre daha düşüktür. Havalandırma havuzlarının hacim dizaynında HRT temel parametre olduğu için düşük HRT gereksinimi gerekli havuz hacmini düşürüp, ilk yatırım maliyetini azaltıp, işletme kolaylığı da sağlar (Judd, 2001, 2006). Buna ek olarak arazi gereksinimi de azalır. Geleneksel aktif çamur sistemlerine göre MBR'larda son çökeltme tankına ihtiyaç olmadığı için, bu da ilk yatırım ve işletme maliyetini azaltıcı bir etmendir. MBR'larda yüksek MLSS derişimlerinde dolayı fazla çamur yaşı (SRT) ile işletim

yapılabilir. Yirmi günden fazla STR ile çalışıldığında çeşitli avantajlar ortaya çıkar. Bunlardan birincisi oluşan yeni biyokütle azalır ve bertaraf edilmesi gereken atık biyokütle miktarının azalması maliyeti düşürür. İkinci olarak, yüksek SRT değerlerinde nitrifikasyon daha verimli gerçekleşir, ve nitrifikasyonun çeşitli ortam şartlarından olumsuz etkilenme şansı azalır. Üçüncü avantaj sentetik toksik organik maddelerin biyolojik ayrışmasını sağlayan özel mikroorganizmaların yüksek SRT değerlerinde daha etkin çalışmalarıdır. Yine yüksek MLSS derişimlerinde çalışıldığında sisteme fazla organik yükleme de yapılabilir. Bu yüksek biyokütle derişimi aynı zamanda şok toksik yüklemelere karşı da daha dayanıklıdır (Kitiş, 2009).

MBR'ların en önemli avantajlarından birisi biyokütle/su ayrımının biyokütlenin çökelebilmeye özelliğinden bağımsız olmasıdır. Bunun nedeni bu MBR sistemde biyokütle su ayrımının çökeltim prensibi ile değil fiziksel filtrasyon ile yapılmasıdır. Dolayısıyla, geleneksel sistemlerin son çökeltme havuzu işletiminde çok problem arz eden çökelemeyen biyokütle (filamentli flokların veya *Nocardia* türü mikroorganizmaların oluşmasından dolayı) durumu MBR' larda yaşanmamaktadır. Aynı zamanda, MBR'larda mikrofiltrasyon veya ultra filtrasyon membranlarının gözenekleri çok küçük olduğundan biyokütlenin tamamı tutulur (Ortiz vd., 2007). Buna bağılı olarak deşarj standartlarından birisi olan toplam askıda katı madde (AKM) MBR'larda genelde çok düşük olur (yaklaşık 1-3 mg/L). İyi işletilen geleneksel biyolojik arıtma sistemlerinde ise bu rakam 10-30 mg/L arasındadır. Filtrasyon sonucu bulanıklık MBR'larda daha düşüktür (<0,5 NTU) ve çıkış suyu çok berrak bir görünüm alır (Adham ve Trussel, 2001).

MBR'larda işletim sırasında SRT konvansiyonel sistemlere göre daha çok daha rahat kontrol edilir. Çünkü son çökeltim tanklarında biyokütlenin bazı durumlarda iyi çökmemesinden dolayı savaklardan AKM kaçma durumu, MBR sistemlerde yoktur. MBR sistemlerde biyokütlenin sistemden tek çıkma noktası nihai bertaraf için atılan atık çamurdur (Visvanathan vd., 2000; Lesjean vd., 2004).

1.2.4. MBR'ların Dezavantajları

MBR'da arıtma projesi tek bir havuzda gerçekleştiği için sistem mekanik olarak ve kontrol açısından geleneksel sistemlere göre daha komplekstir. Ancak %100 otomasyon sayesinde işletim kolaylaşır. 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, 2002a).

1.2.5. MBR’larda Çıkış Suyu Kalitesi

Tablo1.3’de evsel atıksular için MBR çıkış suyu kaliteleri verilmiştir. Görüleceği üzere çıkış suyu kalitesi geleneksel biyolojik arıtım sistemlerinden çok daha iyidir. Elde edilen bulanıklık değerlerinin 0.5 NTU’dan düşük olduğu düşünüldüğünde üretilen suyun ne kadar berrak olduğu tahmin edilebilir. Yine geleneksel sistemlerde 30-50 mg/L’den az elde edilmeyen BOI and AKM, MBR çıkış sularında 2.0 mg/L’den düşüktür. Bu da üretilen suyun organik stabilite ve partiküller açısından ne kadar kaliteli olduğunu gösterir. Önceden bahsedildiği gibi MBR’larda fiziksel biyokütle ayrılmasının yanısıra aynı zamanda da çok kaliteli bir dezenfeksiyonda sağlanmış olur. MBR’ların yaklaşık tüm protozoaları giderdiği, 5-6 log (logaritmik, ya da %99.99-%99.999) bakteri, ve 1-2 log virüs giderimi sağladığı gözlenmiştir (USEPA, 1992). Klorla dezenfeksiyona dayanıklı olan patojenik protozoalardan Cryptosporidium ve Giardia da MBR sistemlerde rahatlıkla tutulur. Bu membrandaki 0.1 µm gözenek büyüklüğü dikkate alındığında beklenen bir durumdur (Adham vd., 2001).

Tablo 1.3 Evsel atıksuları arıtan MBR’larda tipik çıkış suyu kaliteleri(Adham ve Gagliardo, 1998; Adham vd., 2001)

Parametre	Tipik değerler
Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOI)	<2.0 mg/L
Toplam askıda katı madde (TSS)	<2.0 mg/L
NH -N	<0.1 mg/L (nitrifiye eden tesislerde)
Toplam Fosfor (TP)	<0.1 mg/L (biyolojik olarak ya da kimyasal olarak alum katkısıyla)
Toplam Azot (TN)	<10 mg/L (sıcak iklimlerde)
Silt yoğunluk indeksi (SDI)	<3.0
Bulanıklık	<0.5 NTU
Mikrobiyolojik	
Bakteriler	5-6 log giderim
Virüsler	1-2 log giderim
Protozoalar (Cryptosporidium ve Giardia)	Tam giderim

1.2.6. Membranların Kirlenmesi / Tıkanması

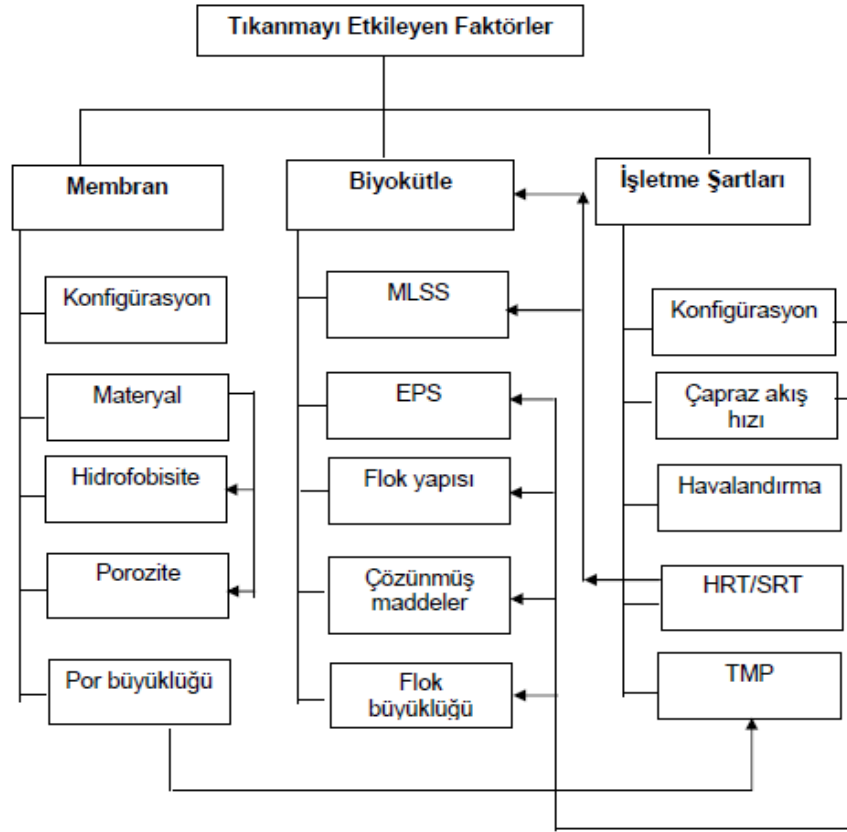
MBR sistemlerde membranların işletim sırasında tıkanması MBR'ların hem kentsel hemde endüstriyel atıksu arıtımında daha yaygın uygulamalarındaki en önemli engellerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Membranlardaki tıkanma membran geçirgenliğini sınırlandırmaktadır. Bu durum, birim transmembran basıncına karşılık membrandan geçen akının, dolayısıyla da birim membran alanı başına arıtılmış temiz su üretiminin azalmasına neden olur (Chang vd., 2001; Cho ve Fane, 2002; Judd, 2001; Stephenson vd., 2002; Waeyer Environment Federation, 2001). Partiküllerin veya mikrobiyal maddelerin giderimi için tasarlanmış membranlarda oluşan tıkanma, bu maddelerin membran yüzeyinde veya membran gözeneklerinde birikimi sonucu oluşur. Azalmış süzüntü akısının mekanik veya kimyasal yöntemlerle tekrar artırılabilirdiği türdeki tıkanmalar geri dönüşümlü tıkanmalar olarak adlandırılır. Öte yandan geri dönüşümsüz tıkanmalarda ise azalan süzüntü akısı tekrar orijinal miktarlara yükseltilemez (ZENON Env. Inc, 2002).

MBR'lardaki organik ve biyolojik tıkanma inorganik tıkanmanın aksine daha fazla çalışılıp karakterize edilmiştir. Membran sistemlerinde gerçekleşen tıkanmaların hemen hemen yarısının biyofilmlerden kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Aslında biyofilmlerin canlı kalabilmeleri için çok az miktarlarda nutriyente ihtiyaç duymaları sonucu, bunlar ultra saf su sistemlerinde bile varlıklarını sürdürebilirler. Membranların 8-18 g/L' lik biyokütle derişimleri ile temas halinde olduğu yüzeylerinde oluşan biyofilmler özellikle batık proseslerde membranları koruyabilirler. Bunun nedeni membrane yüzeyindeki biyofilmin membranın kendisine göre daha çok seçici olup daha geniş bir spektrumdaki kirleticilerin membrandan geçişini engellemesidir. Tıkanma üzerine etkili olan dört ana faktör vardır (Chang vd., 2001,2002; Judd,2001; Le-Clech vd., 2006a):

- 1- proses konfigürasyonu
- 2- membran mataryeli ve konfigürasyonu (geometrisi)
- 3- proses işletimi (sistem hidrodinamiği)
- 4- biyokütle derişimi ve kompozisyonu

Şekil 1.4'de MBR'larda tıkanmayı etkileyen faktörler şematik olarak gösterilmiştir. MBR prosesinin performansı kirleticilerin giderimi ve enerji ihtiyacı ile belirlemektedir. Tıkanma, membranların geçirgenliğini düşürerek

enerji maliyetini doğrudan etkiler. Öte yandan tıkanma ana kirleticilerin gideriminde fazla etkili değildir.



Şekil 1.4 MBR’ larda tıkanmayı etkileyen faktörler (Chang vd., 2002; Judd, 2001)

Birçok diğer membranlarda olduğu gibi, MBR sistemlerde kullanılan membranlardaki polimerlerin yüzeyleri yeterli derecede hidrolik olacak şekilde üretilir. Bu da hidrofobik maddelerin yüzeyde birikip tıkanma yapmasını azaltır. Gerçek tesis verilerine göre farklı konfigürasyondaki MBR’ larda tıkanma eğilimi de farklıdır (Judd, 2001). Bu farklılık daha çok sistem hidrodinamiğine bağlıdır. Örneğin, fiber tip MBR’ larda sık aralıklarla periyodik geri yıkama gerekip, aynı zamanda da düz tabakalı tiplere göre daha sık kimyasal temizleme uygulanır (Chang vd., 2001,2002; Judd,2001; Le-Clech vd., 2006a).

Tüm membran proseslerinde olduğu gibi MBR’ larda da tıkanma akı arttıkça artar. Dolayısıyla uygun bir işletim akısı seçerken, gerekli membran yüzey alanını minimize etmek ile geri yıkama ve temizleme için sistemin devre dışı bırakılması arasında hassas bir denge vardır. Bunun nedeni fazla akı ile çalışıldığında daha az membran alanı gerekir, öte yandan tıkanma daha çabuk

olup, daha sık geri yıkama ve temizleme gerekir. Bu da birim zamanda üretilen arıtılmış su miktarını azaltır. Bazı batık MBR'lar, özellikle düz tabakalı ve tübular tiptekiler, geri yıkamayı gerektirmeyecek derecede düşük akılarda çalışabilirler. Bu operasyona "subkritik akı" denir. Kritik akı ise sürdürülebilir membran geçirgenlik sınırı temsil eder. Kritik akının üzerindeki operasyonlar TMP'yi artırıp, periyodik geri yıkama ve/veya temizleme gerektirir. Geri yıkanamayan düz tabakalı tipler için ise kritik akının altında çalışmak zorunludur. Her tip için kritik akıyı artırabilmek maliyet açısından yararlıdır. Buna da sadece sistem hidrodinamiği iyileştirilerek ulaşılır (Judd, 2001, 2002 b).

Biyokütledeki hem partiküller hem de çözünmüş polimerler tıkanmaya sebep olurlar. Biyokütle miktarının geçirgenliğe olan etkisine göre genelde direnç ile MLSS arasında doğrusal veya doğrusala yakın ilişki vardır (Shimizu vd., 1993).

Harici MBR'larda basıncın partikül büyüklük dağılımına (Çiçek vd., 1999 a, b ; Wisniewski vd., 2000;) ve EPS miktarlarına (Chang vd., 2002) olan etkileri tesbit edilmiştir. Atıksudaki çözünmüş maddelerin tıkanmaya ciddi oranda yardım ettiği ortaya çıkmaktadır (Wisniewski ve Grasmik, 1998; Defrance ve diğerleri, 2000).

1.2.7.Membranların Temizliği

MBR sistemi üretici ve tasarımcıları rutin membran bakımını ve tıkanmayı önleyici ve kontrol edici yöntemleri tasarımda dikkate almak zorundadırlar. Batık MBR'larda tıkanmayı önleyici birçok yöntem kullanılır. Bazı sistemlerde membranlar otomatik düzende, üretilen süzüntü kullanılarak, her 10-15 dakikada bir, düzenli olarak geri yıkanır. Bu işlemle tıkanan porlar temizlenmeye çalışılır. Buradaki hedef kirlilik membranlara gevşek olarak tutunmuş maddelerdir. Geri yıkama prosesinde, önce yıkanacak modüldeki arıtım durdurulur, sonra basınçla bu sefer dıştan içe doğru membranlara yaklaşık 10-20 sn süreyle kademeli olarak su basılır. Burada kullanılan su ayrı tanklarda bu amaç için biriktirilen sistem süzüntüsüdür. Dolayısıyla, birinci temizleme yöntemi olan bu geri yıkamada her 10-15 dakikada bir üretim durdurulup, toplam yaklaşık 1 dakikalık bir geri yıkama ile zaman kaybı olur. Her üretici firmanın kendine özgü geri yıkama yöntemi olsa da, ana hatlarıyla yöntemler benzerdir (Kitiş, 2009).

Birinci temizleme metodunun yanı sıra, tıkanma derecesinin artıp sabit akı üretimi için gereken TMP'nin arttığı durumlarda, ikinci temizleme metodu olarak kimyasalların eklendiği basınçlı süzüntü ile geri yıkama yapılır. Sitrik asit ve sodyum hipoklorit bu amaç için kullanılır. Bu temizlik yine otomatik olarak gerçekleşip, birinci tur geri yıkamaya göre daha uzun sürede uygulanır (Kitiş, 2009).

İkinci temizleme yöntemide yetersiz kalıp sabit akıda süzüntü üretimi için gerekli TMP artmaya devam ederse üçüncü tür temizleme yöntem uygulanır. Bu uygulamada membran tankı servis dışına alınıp tank boşaltılır, membranlar ikinci temizlemede uygulanan kimyasal dozlardan daha yüksek dozlar içeren sitrik asitli ve sodyum hipokloritli süzüntü pulslarıyla yıkanır, daha sonra tank bu yüksek dozlu kimyasalları içeren süzüntü ile doldurulup membranlar batık halde bir süre bekletilir. Bekleme sonunda bu temizleme suyunu nötralize etmek için sodyum hidroksit tanka basılır, tank boşaltılır, ve bu su son arıtım için atılır, veya tesis girişine geri gönderilir. Bu en yoğun temizleme işlemidir ve prosese ve atıksu karakterine bağlı olarak yılda birkaç kez tekrarlanabilir. Küçük tesislerde, membranları kendi tankında bu kimyasallara batırmak yerine membran kasetleri tankın üzerindeki hareketli vinç ile kaldırılıp, ayrı bir küçük tanka konulup, burada bu kimyasallara temizleme yapılabilir. Ancak büyük tesislerde bu işlem işletme ve personel açısından pratik olmayıp orijinal tankta temizleme daha uygundur (Kitiş, 2009).

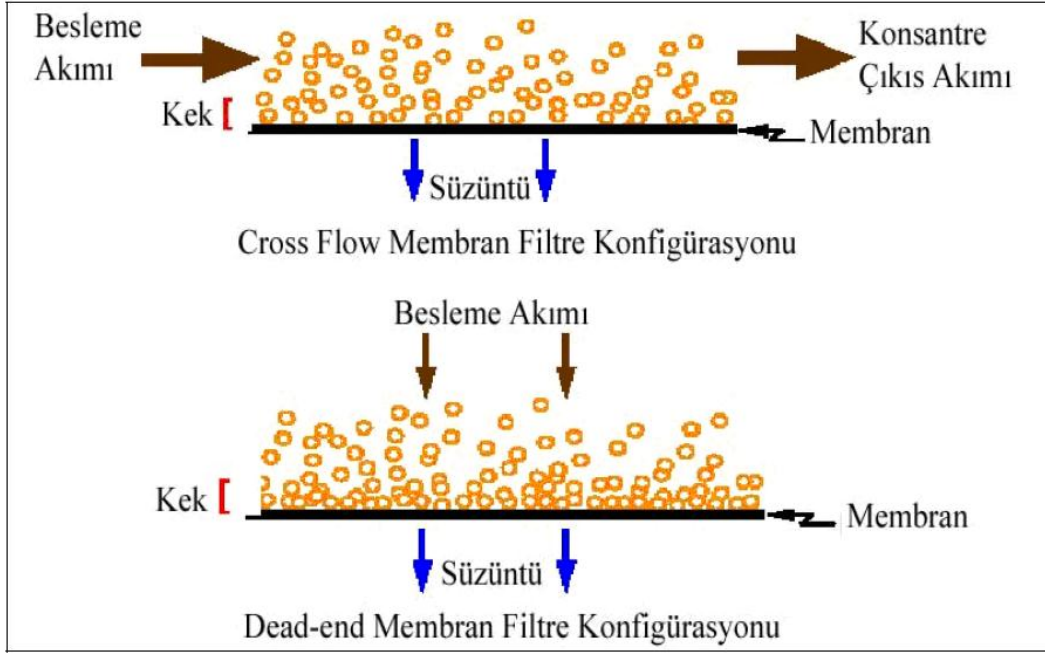
Büyük tesislerde bakım ve temizleme yapılsa bile tesis sürekli devrede kalabilmelidirler. Bu gereksinimi sağlamak için tanklar geleneksel hızlı kum filtre yapılarına benzer biçimde bir dizi hücrelere bölünebilir. Her tankı hücrelere bölmekle membranları tanktan çıkarmadan yerlerinde temizlemek, ve tüm tankı servis dışına çıkarmadan temizlik işlemini yapmak mümkün olmaktadır (Kitiş, 2009).

1.3. İleri Membran Arıtma Yöntemleri

Membran prosesler önceleri deniz ve kuyu suyu arıtımı için kullanılırken, endüstrinin gelişmesine paralel olarak farklı alanlarda da kullanılmaya başlanmıştır. Şekil 1.5'de membranlarda akım şeması gösterilmiş. Kullanım alanına ve amacına uygun olarak yüksek akılı, yüksek sıcaklık ile kimyasallara dayanıklı ve geniş pH aralıklarında çalışabilen membranlar geliştirilmiştir. İlk kullanıma başlandığı zamanlar pahalı olan membran teknolojisi, yeni gelişmeler

sonucunda diğer fiziksel ayırma yöntemleri ile (adsorbsiyon, solvent ayırımı, distilasyon, kristalizasyon, gaz ayırımı, vb.) karşılaştırılabilir hale gelmiştir (Kitiş, 2009).

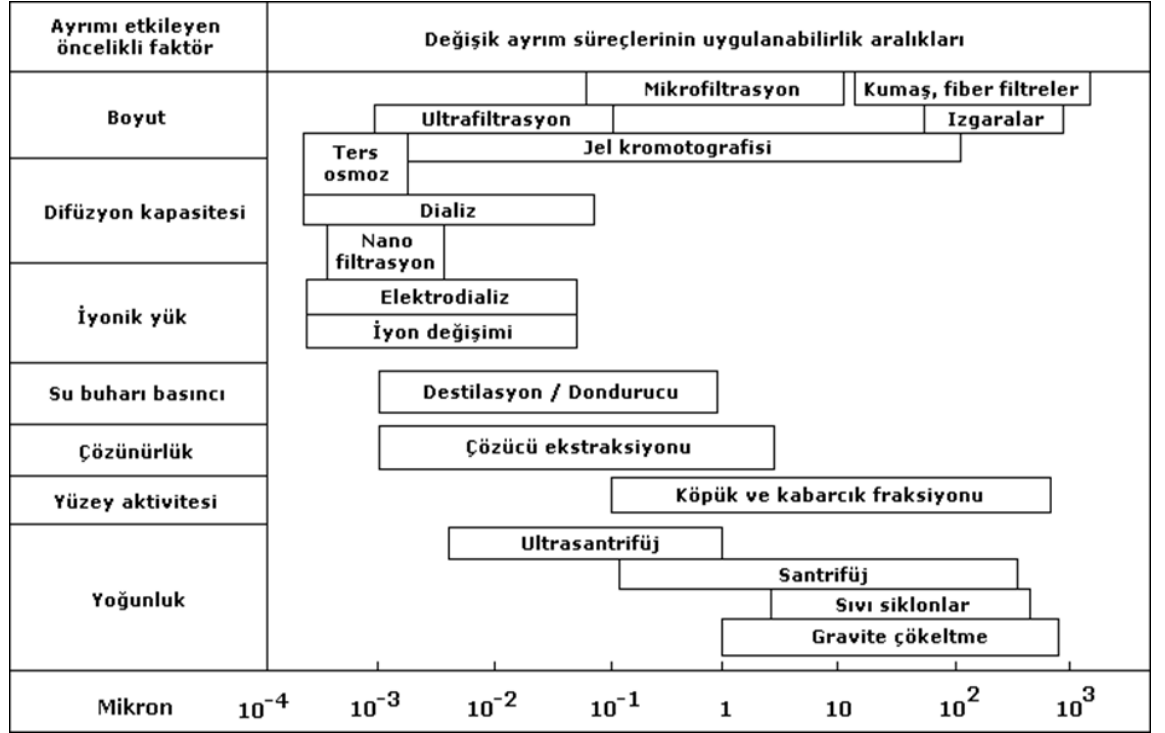
Membran prosesler, deniz ve kuyu suyu arıtımının yanısıra, atıksu arıtımı, saf su ve yumuşak su üretimi, gıda ve ilaç sanayinde üretimde ayırma işlemleri, petrokimya endüstrilerinde gaz ayırımında da kullanılmaktadır (Kural, 2000). Membran proseslerinin en büyük avantajları; enerji tüketiminin düşük olması, ek kimyasal kullanımını gerektirmemesi, kullanılan ekipmanların basitliği ve işletim kolaylığıdır (Kural, 2000; Bilstad, 1997). Katı partiküllerin ayrılması, çözeltinin konsantre edilmesi, atıksudan değerli maddelerin geri kazanılması ve çok kirli suların arıtılmasında membran prosesler sıklıkla kullanılmaktadır. Şekil 1.6'da farklı membran ayırma süreçleri gösterilmiştir (Kitiş, 2009).



Şekil 1.5 Membran akım türleri şematik gösterimi (Kitiş, 2009)

Membran prosesler dört gruba ayrılır;

1. Mikrofiltrasyon (MF)
2. Ultrafiltrasyon (UF)
3. Nanofiltrasyon (NF)
4. Ters Ozmoz (RO)



Şekil 1.6 Değişik ayırım süreçlerinin uygulanabilirlik aralıkları (Kitiş, 2009)

1.3.1 Mikrofiltrasyon (MF)

Mikrofiltrasyon sürücü gücü basınç olan bir prosestir. Teorik olarak MF ve UF'nun temelleri aynıdır ve bu iki uygulama arasındaki tek fark ayrıştırılan materyallerin boyut aralığıdır. MF kolloidler, yağ globalleri ve hücreler dağılmış parçacıkları ayrıştırırken UF çözünmüş makro moleküllerin ayrıştırıldığı prosestir (Kitiş,2009).

MF membranları daha oldukça küçük gözenekli simetrik membranların kullanıldığı sonlu bir derinlik filtresi tipinde verilmiştir. Butür membranlar partikülleri tutar ve membrane yüzeyinde bir kek oluşur. Bu da akış hızını düşürür ve basınç düşüşü belirli bir değere ulaştığında membranın değiştirilmesi veya rejenere edilmesi gerekir. Ayrıca filtre keki membrandan geçmesi gereken partikülleri tuttuğundan filtrasyon karakteristiklerini değiştirir. Bu nedenlerle MF membranlarının bu türden büyük ölçekte kullanılması pratik olmamıştır (Kitiş, 2009).

Çapraz akışlı MF'nun avantajı, besleme akışının membrana paralel olmasını sağlayarak klasik MF'da karşılaşılan tıkanma problemlerinin en aza indirgemesidir ve böylece prosesin büyük ölçekte kullanılmasına imkân tanır. Son

yıllarda suyun geri kazanımı konusu önem kazandığından, MF membranlarının en yaygın uygulama alanı NF ve RO membranları öncesinde ön arıtma amacıyla kullanımıdır (Koyuncu, 2007). Ayrıca MF membranları endüstride sterilizasyon, meyve suları, şarap ve bira hammaddelerinin ayrımı, saf su üretimi, yağ-su arıtımı için de kullanılmaktadır (Zaidi vd., 1992).

1.3.2. Ultrafiltrasyon (UF)

UF membranları da MF membranları gibi çapraz akışlı olarak işletilmektedir. Çapraz akış ile membranın devamlı suretle temizlenmesi ve kimyasal madde ihtiyacının azaltılması sağlanmaktadır. UF membranlarıyla 1-10 bar basınç farkı arasında çalışılır. Membranda basınç artırıldığı zaman akı da artar ancak konsantrasyon polarizasyonunun etkisi akıyı sınırlamaktadır. Bunun nedeni, sınır tabakası içinde, membran üst düzeyinde çözünen maddelerin birikmesidir. Bu durum daha sonra membran yüzeyinin tıkanmasına neden olmaktadır (Koyuncu, 2001). UF membranları tekstil endüstrisinde haşıl maddelerinin ve indigo boyar maddelerinin geri kazanımı, kağıt endüstrisinde ağartma atık sularının konsantre edilmesi, metal endüstrisinde yağ emülsiyonlarının konsantre edilmesi amacıyla kullanılmaktadır (Zaidi ve ark, 1992).

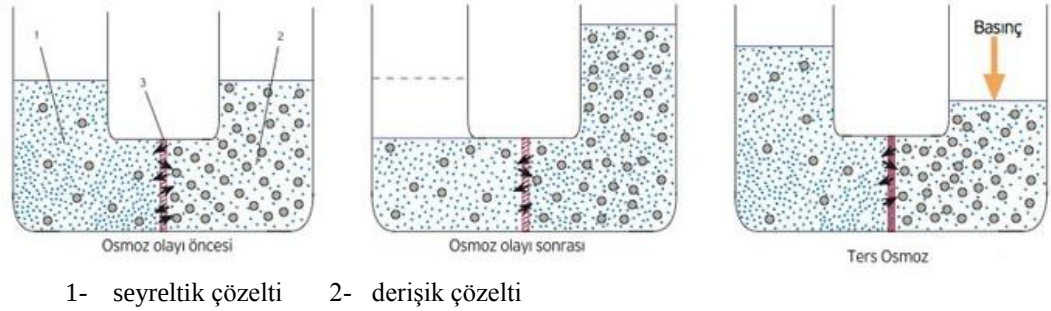
1.3.3. Nanofiltrasyon (NF)

NF, özellikle sulu çözeltilerdeki organik maddelerin giderilmesi amacıyla kullanılır. Filtrasyon kalitesi RO ve UF arasında yer alır. Ters ozmozda 150 D (kg/kmol) değerinden daha küçük molekül ağırlıklı organik maddeler tutulabilir. Bu ayırma sınırı nanofiltrasyon membranları için 200 D (kg/kmol) değerinin üstündedir. Daha yoğun ve ince olmasına rağmen daha az geçirgen olan membran tabakasının göstermiş olduğu direçten dolayı, MF ve UF'dan daha yüksek basınçlarda işletilirler. NF membranları 10-20 bar arasında çalışılır (Koyuncu, 2001). NF membranlarının özellikleri ve tipik kullanım alanları; çok değerlikli iyonların tutulması, proses ve içme sularının yumuşatılması, RO tesisleri için ön arıtma olarak, bir değerlikli tuzlar geçerken organik bileşiklerin tutulması, içme suyu arıtımı, tekstil ve kağıt endüstrisi atıksularının renk giderimi, peyniraltı suyundan laktoz ve proteinlerin ayrılması, atıksulardaki tuzların giderimi, sulu çözeltilerdeki düşük ve yüksek moleküllü maddelerin birbirinden ayrılması, şarabın alkolünün giderimi, biyolojik arıtma basamağından önce atıksudaki zor parçalanmış maddelerin ayrılması vb.'dir.(Koyuncu, 2001).

1.3.4. Ters Ozmoz (RO)

İleri filtrasyon yöntemi olarak uygulanmakta olan RO üniteleri, yüksek teknolojinin en son olanaklarının kullanıldığı üst düzey bir su arıtma yöntemidir. Bu ünitelerin çalışma prensibi, doğadaki ozmotik dengenin ters işleyişi ile açıklanabilir. RO sistemi, ozmotik dengeyi tersine çevirmek için ozmotik basınçtan daha fazla basınca gerek duyar. Bu amaçla RO sistemlerinde yüksek basınç pompaları kullanılır. Yüksek basınç pompasının basınçlandığı su, RO membranların iletilerek suyun saflaştırma işlemi gerçekleştirilmiş olur. Atık hattından çıkan tuzca zengin derişik su ise drenaja verilir (Öztürk, 2002).

RO, derişik çözeltiye, çözeltinin ozmotik basıncından daha yüksek basınç uygulanmasıyla ortaya çıkan kütle transfer olayıdır. Böylece su derişik çözeltiden ayrılıp seyreltik tarafa akar ve aralarında derişim farkı bulunan iki faz meydana gelmiş olur. Eğer uygulanan basınç ozmotik basınçtan düşük olursa su seyreltik taraftan derişik tarafa doğru akar. RO membranları çözünmüş organik ve inorganik türleri çözeltiden ayırabilmektedir. RO olayının teorisi, solvent ve çözeltilerin membran üst tabakasında çözündüğü ve difüze olduğu çözünme-difüzyon modeline dayandırılmaktadır (Moftah, 2002).



Şekil 1.7 Osmotik basınç ve ters ozmoz (Baker, 2004)

1.4.Arıtılmış Atık Suyun Deşarj Standartları

Su kalite kriterleri genellikle suyun tasarlanan hedefe uygunluğunun belirlenmesinde kullanılan bir dizi bilimsel dayanağı olan limitlerden ve/veya anlatımsal ifadelerden oluşmaktadır. Bunlar suyun kullanımındaki en uygun şartları tanımlayan önerilerdir. Su kalite kriterleri bu önerilerin pratikte nasıl uygulanacağı konusunu dikkate almaz. Diğer taraftan su kalite standartları kabul

edilebilir su kalitesi tanımı içeren yasal olarak uygulanabilir yönetmeliklerdir ve su kalite hedefine ulaşmak için uygulama içermelidirler. Standartlar su kalite kriterlerine dayanabilmelerine rağmen; su kalite kriterlerinin nümerik limitleri ve tanımları ile uyuşmak zorunda değildirler. Kriter ve standartları formüle etmek için aşağıdaki adımların takip edilmesi gerekmektedir (Baskan, 2006):

- Hedeflerin Saptanması önerilen kriterin (ya da yönetmeliğin) amaçları tanımlanmalıdır.
- Varsayımların saptanması: Önerilen kriterin (ya da yönetmeliğin) uygulanma noktası ve etkili noktası belirlenmelidir.
- Yaklaşımların seçilmesi: Hedeflere ulaşmadaki stratejiler üzerinde karar verilmelidir.
- Son ürünlerin değerlendirilmesi: önerilerin pratik ve uygulanabilirliğinin hesaplanması gerekmektedir.
- Halkın kabulü konusunun gözden geçirilmesi: Önerilere halkın yaklaşımlarının kabul edilebilir olup olmadığının belirlenmesi gerekmektedir (Baskan, 2006)

Tarımda yeniden kullanımın öneminin anlaşılması ve arıtılmış atıksuların tarımda yeniden kullanılmasının artması ile birlikte pek çok ülkede bu konuda uygulama yöntemlerine yönelik rehberler hazırlanmıştır. Bunlara örnek olarak FAO, WHO ve EPA gösterilebilir (Baskan, 2006).

1.4.1. A.B.D. Çevre Koruma Ajansı (US-EPA Rehberi 2004)

EPA 2004 yılı Aralık ayında suyun yeniden kullanım üzerine hazırladığı rehberi güncellemiştir. Hazırlanan bu rehberin amacı, yeniden kullanım rehberini sunmak ve özetlemek, yeniden kullanım uygulama alanları ve faydaları ile ilgili yönetmelikleri düzenleyen kuruluslara bilgi desteği oluşturmaktır. Bu rehberde suyun iyileştirilmesi ve içilemeyen suların yeniden kullanılması için tüm dünyada bilinen ve uygulanan geleneksel su ve atıksu arıtma teknolojilerine ihtiyaç duyulduğu belirtilmektedir. Ancak, herhangi bir işlem görmeden tüketilen sebzelerin sulanması gibi halkı doğrudan etkileyen uygulamalarda estetik açıdan dikkat etmek gerektiği kadar sağlık açısından da dikkat etmenin ve bu nedenle

daha yüksek kalitede arıtılmış su elde etmenin gerekliliği vurgulanmaktadır. 2004’ de belirtildiği üzere dünyada çekilen toplam suyun %40’i tarımda kullanılmaktadır (Khoury, 1994).

EPA, (2004) tarafından hazırlanan rehberlerde sulama suyundaki kalite parametreleri tuzluluk, sodyum, eser elementler, bakiye klor, ve nütrientlerin çok önemli olduğu vurgulanmaktadır. Hazırlanan rehberde verilen öneriler Tablo 1.4’de verilmektedir. Birleşmiş Milletler-Çevre Koruma Ajansı suların yeniden kullanılmasına ilişkin hazırladığı rehberi 2004 yılında yeniden revize etmiştir. Rehberde Fekal ve Toplam Koliform parametreleri de bulunmaktadır. Buna göre ikincil arıtmanın ardından filtrasyon ve dezenfeksiyon yapılmalıdır. Tablodan da görüleceği üzere ağır metaller sınırlamalarda önemli bir yer tutmaktadır. Arıtılmış atıksuların yeniden kullanımı söz konusu olduğunda ise, tuzluluk belirtisi olan TÇM ve serbest bakiye klor parametreleri dikkati çekmektedir (Baskan, 2006).

Tablo1.4. Sulamada kullanılacak arıtılmış atıksu içeriklerinin limitleri (EPA., 2004)

Bileşen	Uzun Dönemli Kullanım (mg/L)	Kısa Dönemli Kullanım (mg/L)	Açıklamalar
Alüminyum	5.0	20	Asidik topraklarda üretimi etkileyebilir ancak pH 5.5 ile 8.0 arasında iyonlar toprakta çöker ve toksisite elimine olur.
Arsenik	0.10	2.0	Bitkilere olan toksisitesi büyük ölçüde değişkendir, Pirinç için ise 0.05mg/L'den azdır.
Berilyum	0.10	0.5	Bitkilere olan toksisitesi büyük ölçüde değişkendir, kıvrıkcık lahana için 5 mg/L çalı fasulyesi için ise 0.5 mg/L kadardır.
Bor	0.75	2.0	Bitki büyümesi için önemlidir, nütrient olarak ondalıklı mg/L oranda optimum verim elde edilmiştir. Pek çok hassas bitki için 1 mg/L ın üzerinde toksiktir (ör. Limon). Genellikle arıtılmış atıksuda topraktaki eksikliği karşılayacak miktarda bulunur. Otların çoğu nispeten 2.0 - 10 mg/L kadar tolere edebilir.
Kadmiyum	0.01	0.05	Fasulye, pancar, için nütrient solüsyonunda 0.1 mg/L kadar düşük derişimlerde bile toksiktir. Koruyucu limitler önerilir.
Krom	0.1	1.0	Genellikle bitki büyümesi için gerekli olduğu bilinmez. Bitkilere bilinen toksisitesi konusunda bilgi eksikliğinden koruyucu limitler önerilir.
Kobalt	0.05	5.0	Nütrient solüsyonunda domates için 0.1 mg/L' de toksiktir. Nötr ve alkali toprakta inaktif olmaya eğilimlidir.
Bakır	0.2	5.0	Nütrient solüsyonunda pek çok bitki için 0.1 ila 1.0 mg/L arasında toksiktir.
Florür	1.0	15.0	Nötr ve alkali topraklarda inaktiftir.
Demir	5.0	20.0	Havalandırılmış topraklarda bitkiler için toksik değildir. Ancak toprağın asidifikasyonuna ve gerekli fosfor ve molibdenin kaybına katkıda bulunur.
Kurşun	5.0	10.0	Yüksek derişimlerde bitki hücre büyümesini inhibe eder.
Lityum	2.5	2.5	Çoğu bitkide 5 mg/L konsantrasyona kadar tolere edilebilirdir, toprakta hareketlidir. Limona düşük dozlarda bile toksiktir, önerilen limit 0.075 mg/L dir.
Mangan	0.2	10.0	Asidik topraklarda çoğu bitkiye onda birkaç ya da birkaç mg/L oranında bile toksiktir.
Molibden	0.01	0.05	Su ve toprakta normal konsantrasyonlarda bitkilere toksik değildir. Hayvanlar yüksek oranda molibden içeren yerlerde büyüdüyse toksiktir.
Nikel	0.2	2.0	Birçok bitki için 0.5 -1.0 mg/L arasında toksiktir; alkali ve nötr pH lı topraklarda toksisitesi azalır

Tablo1.4. Sulamada kullanılacak arıtılmış atıksu içeriklerinin sınır değerleri (EPA., 2004)(Devam)

Selenyum	0.02	0.02	Düşük konsantrasyonlarda bitkiler için toksiktir ve düşük seviyelerde selenyum içeren topraklarda yetişen otlar hayvanlar için toksiktir.
Kalay, Tungsten, & Titanyum	-	-	Bitkiler tarafından etkili şekilde bitki dışında tutulur, özel tolerans seviyeleri bilinmemektedir.
Vanadyum	0.1	1.0	Çoğu bitkiler için nispeten düşük derişimlerde toksiktir.
Çinko	2.0	10.0	Bitkilere olan toksisite büyük oranda değişkendir, artan pH da (6 ya da üzeri) ve ince yapılı ya da organik topraklarda toksisite azalır.
Bileşen	Önerilen Limit		Açıklamalar
pH	6.0		pH'in bitki büyümesinde etkisi belirgin değildir
T ÇM	500 - 2,000 mg/L		500 mg/L' nin altında genellikle bilinen zararlı etkisi yoktur. 500 ila 1,000 mg/L arasında sulama suyundaki TÇM hassas bitkileri etkileyebilir. 1,000 ila 2,000 mg/L arasında T ÇM seviyeleri pek çok mahsulü etkileyebilir ve dikkatli yönetim uygulamaları izlemelidir. 2,000 mg/L nin altında su sadece geçirgen topraklardaki tolere edebilen bitkilerde düzenli olarak kullanılabilir.
Serbest Bakiye Klorür	<1 mg/L		5 mg/L den yüksek derişim çoğu bitki için şiddetli hasarlara neden olur. Bazı hassas bitkiler 0.05 mg/L' den az derişimde bile zarar görebilir.

1.4.2. Dünya Sağlık Örgütü (WHO)

WHO (Dünya Sağlık Örgütü)'nun hazırladığı rehber gere arıtılmış atıksuların tarımda yeniden kullanılması ile ilgili parametreler, Tablo 1.5'de gösterilmektedir. Bu tabloda sadece mikrobiyolojik parametreler yer almaktadır ve hem insan hem de çevre sağlığını korumak amacıyla hazırlanmıştır (Baskan, 2006).

Tablo 1.5. Arıtılmış atıksuların tarımda yeniden kullanılmasında önerilen mikrobiyolojik kalite Rehberleri (Water And Wastewater Reuse, 2003)

Kategori	Yeniden Kullanım Şartları	Maruz kalan grup	Sayım metodları ^b (/litre* ^c)	Fekal koliformlar (/100mL** ^c)	Istenen Kaliteyi sağlaması beklenen Atıksu Arıtma
A	Pişmeden Yenen Ürünler, Spor Sahaları, Umumi Parkların Sulanması ^d	İşçiler, Tüketiciler Halk	= 1	=?1000	Istenen mikrobiyolojik parametreyi sağlayacak iyi tasarlanması bir dizi stabilizasyon havuzları veya eşdeğer bir arıtma
B	Tahıl ürünleri, Endüstriyel Ürünler, Yem, Otlak ve Ağaçların Sulanması ^e	İşçiler	= 1	Ayarlanamaz	Stabilizasyon havuzlarında 8- 10 gün bekletme ya da eşdeğer helmint giderimi
C	İşçi ve halkın maruz kalması gözlenmiyorsa Kategori B deki ürünlerin Yerel Sulaması	Hiç kimse	Uygulanabilir değil	Uygulanabilir değil	Ön çöktürmeden az olmamak kaydıyla istenen sulama teknolojisine göre ön arıtma

a Özel durumlarda yerel epidemiyolojik, sosyokültürel ve çevresel faktörler hesaba katılmalıdır ve rehberler buna göre modifiye edilmelidir.

b Ascaris ve Trichuris türleri ve kancalı kurtlar için rehber limitleri parazit protozodan korunmaya karşı tasarlanmıştır.

c Sulama dönemi boyunca

d sıkı rehber limiti (= 200 fekal koliform/100 mL) halkın direkt teması olabilecek umumi yerler için uygundur.

e Meyve ağaçlarının sulanması durumunda sulama meyvelerin toplanmasından iki hafta önce durdurulmalıdır ve hiçbir meyve yerden alınmamalıdır,

* Aritmetik ortalama

** Geometrik ortalama

Tablo 1.5'ten de anlaşılacağı gibi WHO, atıksuların tarımda hem potansiyel kullanımını hem de riskleri göz önünde bulundur maktadır. Rehberde patojen

indikatör olarak, hem fekal koliform hem de sayım matodları bulunmaktadır. Bu rehberin amacı; arıtılmış atıksu ile çeşitli yollarla temasta bulunarak maruz kalma riski taşıyan insanların (tüketiciler, çiftçiler, sulama bölgesi çevresindeki insanlar) sağlığını korumaktır. İstenen mikrobiyolojik kaliteyi sağlamak üzere özellikle iyi dizayn edilmiş stabilizasyon havuzlarının kullanılması tavsiye edilmektedir. Temasa göre ayırım yapılırken kullanım amacına göre sınıflandırma yapılmaktadır. Temasa göre ayırım yapılmakta ancak uygulanacak sulama yöntemine göre herhangi bir kısıtlamadan bahs edilmemektedir (Baskan, 2006).

1.4.3. Dünya Gıda Ve Tarım Örgütü (FAO)

FAO (Dünya gıda ve tarım örgütü) 1985 yılında sulama ile ilgili bir rehber hazırlamıştır. FAO'nun rehberlerinde çok çeşitli sulama suyu kalite parametreleri belirtilmektedir. Bunların başında tuzluluk gelmektedir. Tuzluluk değerlerinin ise EC, elektriksel iletkenlik ve toplam çözünmüş madde konsantrasyonu ile anlaşılacağı belirtilmektedir. Elektriksel iletkenliğin 0.7 ile 3dS/m arasında olması istenmektedir. Toplam çözünmüş madde derişimi ise 450 ile 2000 mg/L arasında değişeceği belirtilmektedir. WHO rehberlerinde daha önce belirtildiği üzere sadece mikrobiyolojik kalite parametreleri yer almaktadır. Bu nedenle bu parametreler ile ilgili herhangi bir karşılaştırma yapılamamaktadır. EPA rehberinde ise tuzluluk için verilen değerler FAO'da verilen değerlere yakındır. FAO; kalite parametrelerini belirtirken sulama suyundaki sodyum içeriğine de özel bir önem verilmesi gerektiğini belirtmektedir. Ancak herhangi bir mikrobiyolojik kaliteden bahsedilmemektedir. FAO rehberlerinde SAR parametresine de özel önem gösterilmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Sulama yöntemlerine göre parametrelerin sınırlandırılmaları değişmektedir. Bor, sodyum ve klorür değerleri sulama yöntemine göre değişmektedir. Pek çok ülke kendi rehberlerini, standartlarını ya da kriterlerini hazırlarken FAO rehberlerinden etkilenmiştir. Ancak FAO rehberini diğer rehberlerden ayıran en büyük fark; bu rehberin özellikle sulama suyu kalitesini belirtmesidir. Bu rehberlerde kullanılacak sulama suyunun arıtılmış atıksu ya da temiz su olup olmadığı belirtilmemektedir. Yani bu rehber ne tür su olursa olsun sulama suyunun kalitesinde aranan özellikleri belirtmektedir. Aynı kriterlerin hem temiz hem de atıksu için kullanılması çok da doğru bir yaklaşım değildir (Baskan, 2006).

1.4.4. Türkiye SKKY Teknik Usuller Tebliği

2004 yılında Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği gözden geçirilerek 2004 yılında Teknik Usuller Tebliği ile yeniden hazırlanmıştır. Bu parametreler Tablo 1.6'de verilmiştir. Bu tablo hazırlanırken FAO rehberlerinde olduğu gibi sulama suyunun tuzluluğu ve iletkenliğine göre sınıflandırma yapılmış ve sulama beş gruba ayrılmıştır. Tabloda verilen sınıflandırmaya göre ilk üç sınıf kullanılabilir durumdaki suyu göstermektedir. IV ve V sınıf suların kullanılması ise önerilmemektedir. Tablo hazırlanırken daha çok FAO rehberlerinden etkilendiği gözlenmektedir. Ancak FAO rehberlerinde Teknik Usuller Tebliği'nde verilen sınıflama bulunmamaktadır. Her iki kriterde de parametreler büyük ölçüde paralellik göstermektedir ve iki kriter de sulama suyu kriterlerini anlatmaktadır. Ayrıca arıtılmış atıksu ile ilgili parametreleri içermemektedir (Baskan, 2006).

Tablo 1.6 Teknik usuller tebliği sulama sularının sınıflandırılmasında esas alınan sulama suyu kalite parametreleri (Su kirliliği kontrol yönetmeliği teknik usuller Tebliği, 2004)

	Sulama suyu sınıfı				
Kalite kriterleri	I.Sınıf su (çok iyi)	II. Sınıf su (iyi)	III. Sınıf su (kullanılabilir)	IV.Sınıf (ihtiyatla kullanılmalı) su	V. Sınıf su (zararlı) uygun değil
EC ($\mu\text{hos/cm}$)	0-250	250-750	750-2000	2000-3000	> 3000
Değişebilir Sodyum Yüzdesi (% Na)	< 20	20-40	40-60	60-80	> 80
SAR	< 10	10-18	18-26	> 26	
Sodyum karbonat kalıntısı (RSC) meq/L	> 1.25	1.25-2.5	> 2.5		
mg/L	< 66	66-133	> 133		
Klorür (Cl^-), meq/L	0-4	4-7	7-12	12-20	> 20
mg/L	0-142	142-249	249-426	426-710	> 710
Sülfat ($\text{SO}_4^{=}$) meq/L	0-4	4-7	7-12	12-20	> 20
mg/L	0-192	192-336	336-575	575-960	> 960
Toplam tuz kons. (mg/L)	0-175	175-525	525-1400	1400-2100	> 2100
Bor kons. (mg/L)	0-0.5	0.5-1.12	1.12-2.0	> 2.0	-
Sulama suyu sınıfı*	C1S1	C1S2, C2S2, C2S1	C1S3, C2S3, C3S3, C3S2, C3S1	C1S4, C2S4, C4S4, C4S3, C4S1	C3S4, C4S2,
NO_3^- veya NH_4^+ mg/L	0-5	5-10	10-30	30-50	> 50
Fekal Koliform ** 1/100 mL	0-2	2-20	20-100	100-1000	> 1000
BOI5 (mg/L)	0-25	25-50	50-100	100-200	>200
AKM (mg/L)	20	30	45	60	>100
pH	6.5-8.5	6.5-8.5	6.5-8.5	6-9	<6 veya >9
Sıcaklık	30	30	35	40	>40

* Cn = iletkenlik; Sn = SAR

** Bitki türüne göre daha az veya çok olabilir

2. Deneysel

2.1. MATERYAL VE METOD

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

2.2. Materyal

2.2.1. Membranlar

2.2.1.1. Laboratuvar çalışmalarında kullanılan membranlar

Bu çalışmada, MBR yöntemiyle arıtılan endüstriyel atıksuların yeniden kullanımını incelemek üzere, RO ve NF membranları kullanılmıştır. Çalışma da çapraz akışlı-düz tabakalı membran test ünitesi ile ince film poliamid yapıda olan NF200 NF membranları ile ince film poliamid yapıda CK RO membranı kullanılmıştır. Kullanılan membranların tür ve özellikleri Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1. NF200 ve CK RO membranlarının özellikleri

Membran	NF200	CK
Üretici firma	Dow/Filmtec	GE-Osmonics
Membran türü	İnce film	ince film
Maksimum çalışma sıcaklığı (°C)	45	30
Maksimum çalışma basıncı (bar)	41	31
MWCO (Da)	300 (filmtec tech. fact)	150 (Bunani vd., 2012)
pH aralığı	2-11	3-8

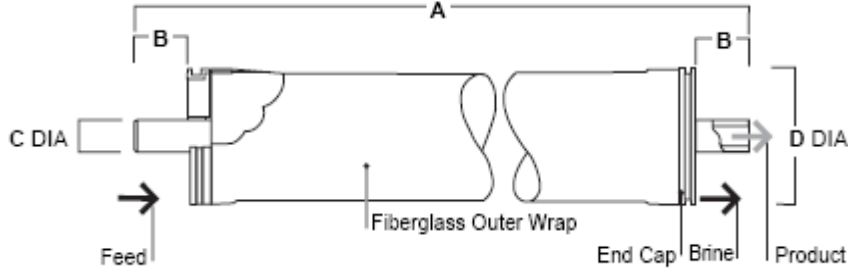
2.2.1.2. Arazi çalışmalarında kullanılan membranlar

İTOB-OSB arıtma tesisinin bulunduğu sahada kurulu bulunan membran arıtma sisteminde; spiral sarım yapıda Film-Tec BW30-2540 ile Film-Tec NF270-2540 model, ince film (poliamid) kompozit yapıda RO ve NF membranları kullanılmıştır. Kullanılan membranların karakteristik özellikleri Tablo 2.2.'de ve Şekil 2.1.'de verilmiştir.

Tablo 2.2. Film Tec BW30-2540 ve NF270-2540 membranlarının özellikleri

Membran	BW30-2540	NF270-2540
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 Basınç Düşmesi	15 psig (1.0 bar)	15 psig (1.0 bar)
pH Aralığı, Sürekli İşletme	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	6gpm(1.4m ³ /sa)	6gpm(1.4m ³ /sa)
Süzüntü Akış Hızı	850 gpd (3.2 m ³ /gün)	850 gpd(2.6 m ³ /gün)
Tuz Giderimi	99.50%	>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 2.1. FilmTec BW30-2540 ve NF 270-2540 RO membranlarının boyutları (Sert, 2015)

2.2.2. 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 Tablo 2.3.'de verilmiştir.

Tablo 2.3. Kitlere ait ölçüm aralığı

Test kiti	Ölçüm hücresi	Ölçüm Aralığı (mg/L)
Amonyum kiti ($\text{NH}_4\text{-N}$)	10 mm	0.05-3
	50 mm	0.01-0.5
Nitrit kiti ($\text{NO}_2\text{-N}$)	10 mm	0.02-1
	50 mm	0.002-0.2
Nitrat kiti ($\text{NO}_3\text{-N}$)	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 ($\text{PO}_4\text{-P}$)	Hücre testi (14543)	0.05-5
	Hücre testi (14729)	0.5-25

2.3. Arıtılmış atıksuyun özellikleri

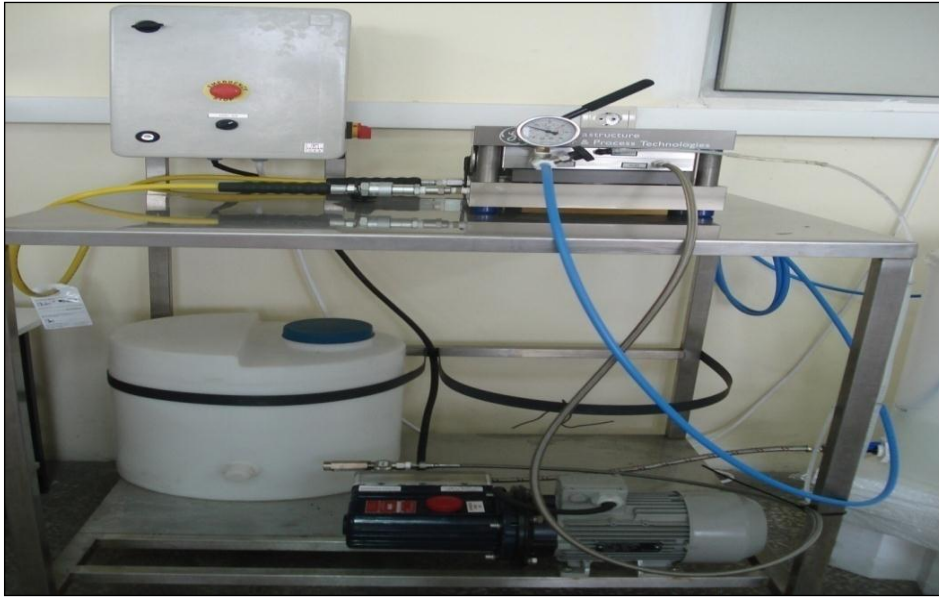
Laboratuvar çalışmalarında kullanılan MBR prosesi ile arıtılan atıksuyun fizikokimyasal bileşimi Tablo 2.4’de verilmiştir.

Tablo 2.4. Laboratuvar çalışlarında kullanılan atıksuyun fizikokimyasal bileşimi

Parametre	Değer (ortalama)	Parametre	Değer (ortalama)
TÇK (g/L)	2.8	Na ⁺ (mg/L)	973
İletkenlik (mS/cm)	5.57	Ca ²⁺ (mg/L)	155
T (°C)	22	K ⁺ (mg/L)	391
pH	8.23	Mg ²⁺ (mg/L)	33
Tuzluluk (psu)	5.2	NH ₄ -N (mg/L)	0.08
Bulanıklık (NTU)	1.06	HCO ₃ ⁻ (mg/L)	394
Si (mg/L)	0.9	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	775
KOİ (mg/L)	22	Cl ⁻ (mg/L)	1904
Renk (Hazen)	26	PO ₄ -P (mg/L)	0.26
TK (mg/L)	58	NO ₃ -N (mg/L)	12
İK (mg/L)	43	NO ₂ -N (mg/L)	0.02
TOK (mg/L)	10.4		

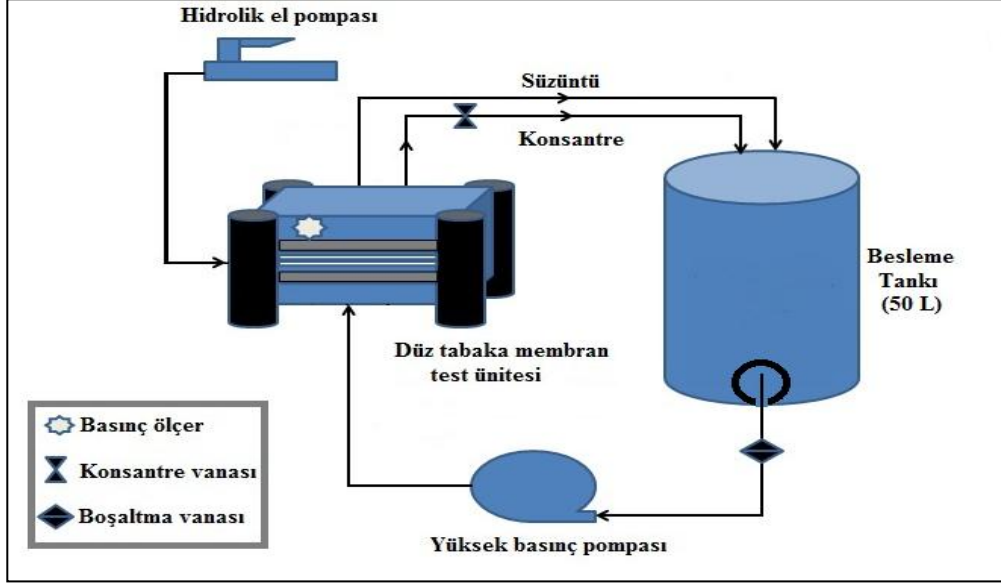
2.4. Laboratuvar çalışmaları

Deneysel çalışmalarda laboratuvar ölçekli, çapraz akışlı, düz tabakalı 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 2.2.).

**Şekil 2.2.** Laboratuvar ölçekli membran test sistemi

2.4.1. 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 2.3'de gösterilmiştir.



Şekil 2.3 Membran test sisteminin şematik gösterimi (Sert, 2015)

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), NF200 membranı için 4 saat, CK RO membranı için 6 saat süresince gerçekleştirilmiştir. Deney süresince, süzüntü ve konsantre besleme tankına geri beslenerek, sabit 20 L'lik besleme hacmi ve sabit konsantre akış hızında (96 L/saat) çalışılmıştır. Her 30 dakikada

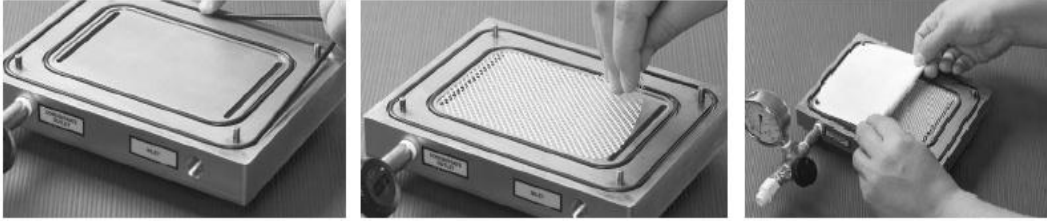
bir; sıcaklık, akış hızı, iletkenlik, toplam çözünmüş katı miktarı (TDS) ölçümü için süzüntüden, konsantreden ve besleme tankından örnekler alınmıştır.

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 2.4a), besleme tablası (Şekil 2.4b) ve tekli dikdörtgen membran (Şekil 2.4c) bulunmaktadır.



a. O-ringler

b. Besleme Tablası

c. Membran

Şekil 2.4 Hücre alt gövdesi

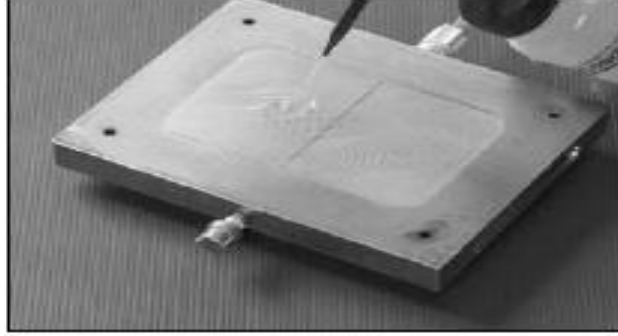
Çift o-ringler hücre gövdesi sızdırmazlığına engel olmaktadır. Gövde üzerinde bulunan işaret noktaları besleme tablası üzerine membran yerleştirilmesinde yardımcı olabilir (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 Konsantre vanası ve konsantre manometresi

Hücre üst gövdesi

Hücre üst gövdesi üzerinde üretim suyunu toplayan tabakanın yeri bulunmaktadır (Şekil 2.6).



Şekil 2.6 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 2.7a).



(a)

(b)

Şekil 2.7 (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 2.7b).

Tablo 2.5’da düz tabakalı membran test ünitesinin işletme şartları gösterilmektedir.

Tablo 2.5 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

Tablo 2.6.’de cihaz parçalarının ölçüleri ve ağırlıkları gösterilmektedir.

Tablo 2.6. 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

Tablo 2.7. 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

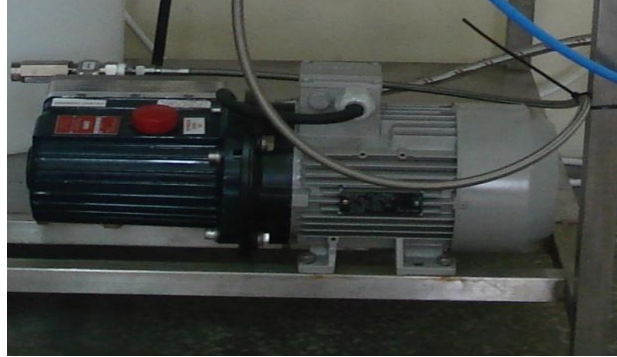
Çalışmalarda, yüksek yoğunluklu polietilenden yapılmış (50 L hacminde) besleme tankı kullanılmıştır (Şekil 2.8).



Şekil 2.8 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 2.9) kullanılmıştır.



Şekil 2.9 Yüksek basınç pompası

Kontrol paneli

Besleme çözültisinin akış hızını ayarlamak için, yüksek basınç pompasının bağlı olduğu frekans ayarlayıcısı (Siemens) Şekil 2.10 'da gösterilen kontrol panelinin içine yerleştirilmiştir.



Şekil 2.10 Kontrol paneli

2.4.2. 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.

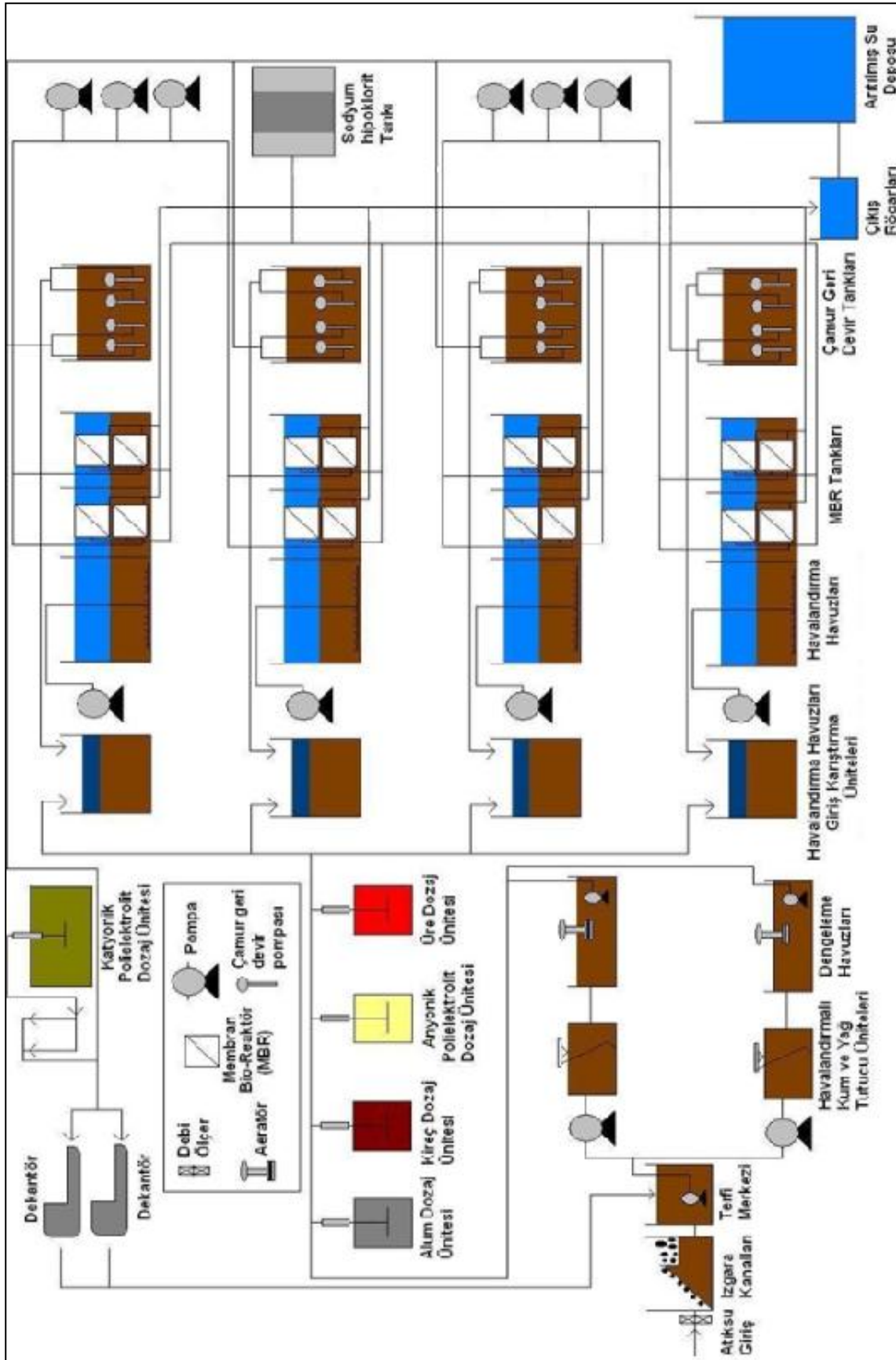
Bölgenin atık su arıtma tesisi 8.000 m³/gün kapasiteli olup, 2.000 m³/gün'lük ilk etabı 2008 yılı Eylül Ayı'nda işletmeye alınmıştır. Tesise ait akım şeması Şekil 2.11'de gösterilmiştir.

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 aşamalarını içermektedir.



Şekil 2.11. İTOB-OSB Arıtma tesisi akım şeması (Sert, 2015)

2.4.3. Arazi çalışmaları

Arazi çalışmaları İTOB-OSB atık su arıtma tesisi sahasında kurulan mini pilot ölçek spiral sarım membran test sistemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sistem Şekil 2.12’de 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 2.13). Membran sisteminden süzülerek gelen ürün su, tekrardan besleme tankına geri 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. 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 2.12 Küçük ölçekli spiral sarım membran arıtım sistemi



Şekil 2.13 Arıtılmış atıksu depolama tankı şekil 2.14 Arıtılmış su deposu

Filtreler

Arıtılmış atıksuyun ön arıtımında; sırasıyla yıkanabilir kartuş filtre, kum filtre ve 10 mikronluk kartuş filtreler (Şekil 2.15) kullanılmıştır.



Şekil 2.15 Yıkanabilir kartuş filtreler, kum filtre ve 10 mikronluk kartuş filtre

2.4.4. 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 2.16), pH ölçümü WTW marka pH metre ile yapılmıştır (Şekil 2.17). Bulanıklık ölçümünde, SCIENTIFIC Micro TPW Türbidimetre (Şekil 2.18) cihazı kullanılmıştır.



Şekil 2.16 WTW kondüktometre



Şekil 2.17 WTW pH metre



Şekil 2.18 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 2.19) ile ölçülmüştür.



Şekil 2.19 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 2.20).



Şekil 2.20 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 2.21).



Şekil 2.21 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 2.22).



Şekil 2.22 Spectroquant Nova 60 test kit

KOİ ve fosfat-P analizlerinde örnekleri ısıtmak için Spectroquant TR 320 Merck model termoreaktör kullanılmıştır (Şekil 2.23).



Şekil 2.23 Termo reaktör (Spectroquant TR 320)

2.5. Arazi Çalışmaları

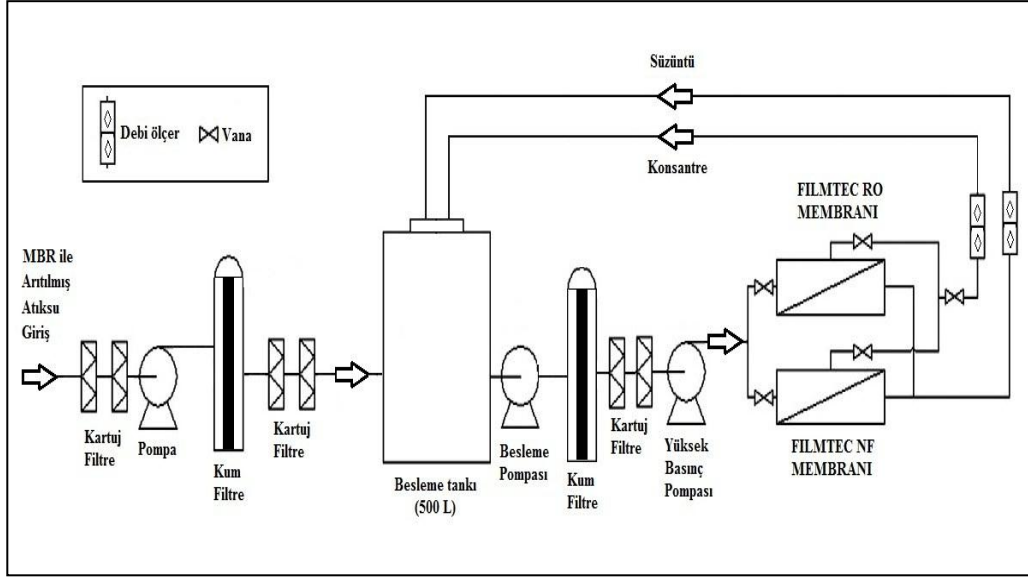
2.5.1. Arazide gerçekleştirilen membran testleri

Arazi çalışmaları ITOB-OSB atıksu arıtma tesisinde kurulmuş olan taşınabilir bir laboratuvarında 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 filtreler iletilmiştir. Filtreden çıkan arıtılmış atıksu yüksek basınç pompası yardımı ile membran test sisteminde takılı bulunan RO ya da NF membranlarına beslenmiştir.

2.5.1.1. Kesikli Çalışmalar

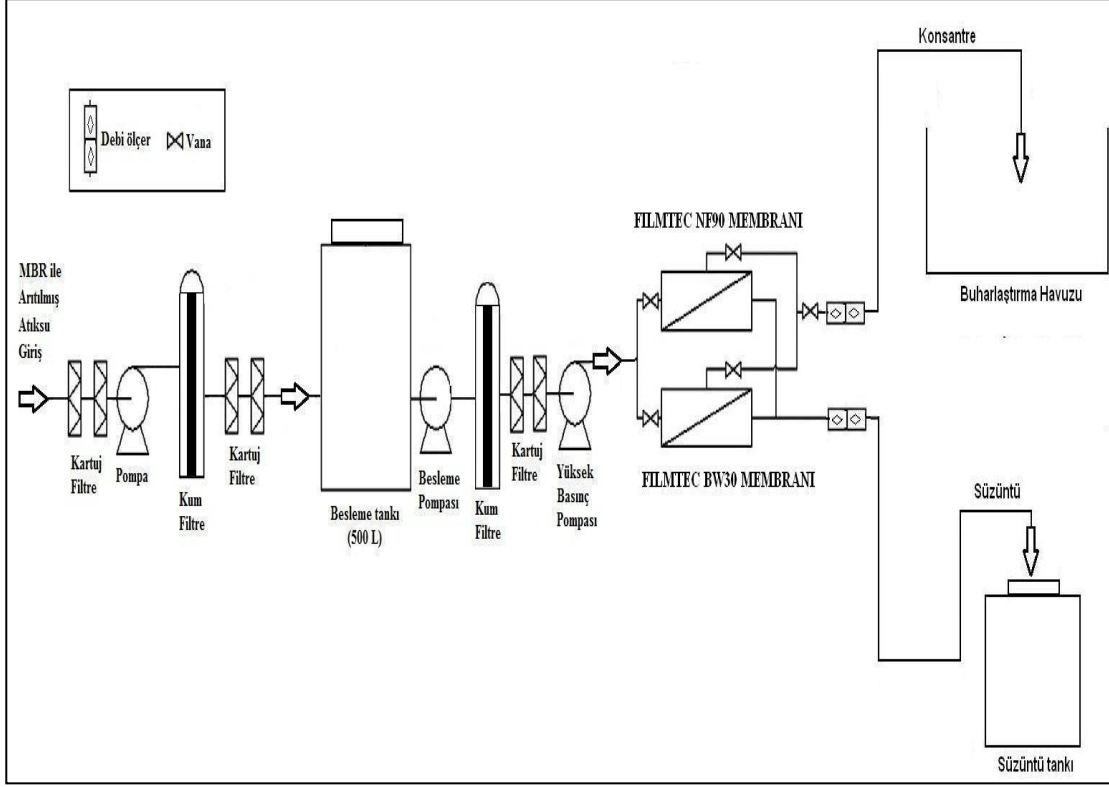
Basınç etkisinin incelendiği çalışmaya ait akım şeması Şekil 2.24’de verilmiştir. Sistemden çıkan konsantre ve süzüntü suyu tekrardan besleme tankına verilip, kapalı döngü olarak çalışılmıştır. Konsantre akış hızı saatte 132-134 L olarak ayarlanmıştır. NF270 ve BW30 membranı ile 10 ve 15 bar’da çalışılmıştır.



Şekil 2.24 Mini Pilot ölçek spiral sarım membran test sistemiyle gerçekleştirilen kesikli çalışmaya ait akım şeması (Sert, 2015)

2.5.1.2. Sürekli döngü çalışmaları

Sürekli çalışmalara ait kullanılan sistemin akım şeması, Şekil 2.25’de verilmiştir. Sürekli çalışma yirmi dört saat boyunca 10 bar’da gerçekleştirilmiştir. Konsantre akısı diğer çalışmalarda olduğu gibi 132-134 L/saat olarak ayarlanmıştır. Membrandan çıkan konsantre su ayrı bir hat ile İTOB-OSB Arıtma Tesisi’ne ait havalandırma havuzuna verilmiştir. Membrandan çıkan süzöntü suyu, süzöntü toplama tankında depolanmıştır. İkinci, üçüncü, dördüncü ve beşinci döngü çalışmalarında ise membranlar her bir döngü çalışması öncesinde asit ve baz ile geri yıkanmıştır. Böylelikle tıkanan membranların gözeneklerinin açılması hedeflenmiştir. Membranların temizlenmesinde asetik asit ve NaOH kullanılmıştır. Bu amaçla 300 L’lik süzöntü tankına 200 mL asetik asit eklenip, NF270 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 süzöntü tankına 3 mL hipoklorit /300 L su ve 1.5 g NaOH/300 L eklenip tekrardan NF270 ve BW30 membranları kapalı döngü olacak şekilde membranlara 45 dakika süre ile alkali yıkama işlemi uygulanmıştır. En son aşamada ise; çalışma sonrasında membranlara çeşme suyu ile yarım saat durulama işlemi uygulanmıştır.



Şekil 2. 25 Sürekli çalışmaya ait akım şeması (Sert, 2015)

3. Temel Hesaplamalar ve Tanımlar

3.1 Madde giderimi

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

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

Cs : Giderilen maddenin süzüntü suyundaki derişimi

Cb : Giderilecek maddenin besleme suyundaki derişimi

R (%): Giderim yüzdesi

Süzüntü Akısı

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

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

Su geri kazanımı

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

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

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

3.2. 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. Örneklere, bir damla metil oranj indikatörü ilave edilmiştir. Daha sonra çözeltinin rengi soğan kırmızısına dönüncye kadar 0.05 M standart HCl çözeltisi ile titre edilmiştir.

3.3. 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 derişimi gösterilmektedir. 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 (Çevre ve Orman Bakanlığı, 2010).

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

Burada iyon derişimleri, meq/L olarak kullanılmıştır.

Tablo 3.1'de Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği tarafından belirlenmiş, sulama suyunun kimyasal kalitesinin değerlendirilmesi için geliştirilmiş parametreler verilmiştir. Yapılan çalışmalarda elde edilen veriler

SKKY'nın yanısıra, Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği ile de karşılaştırılmıştır.

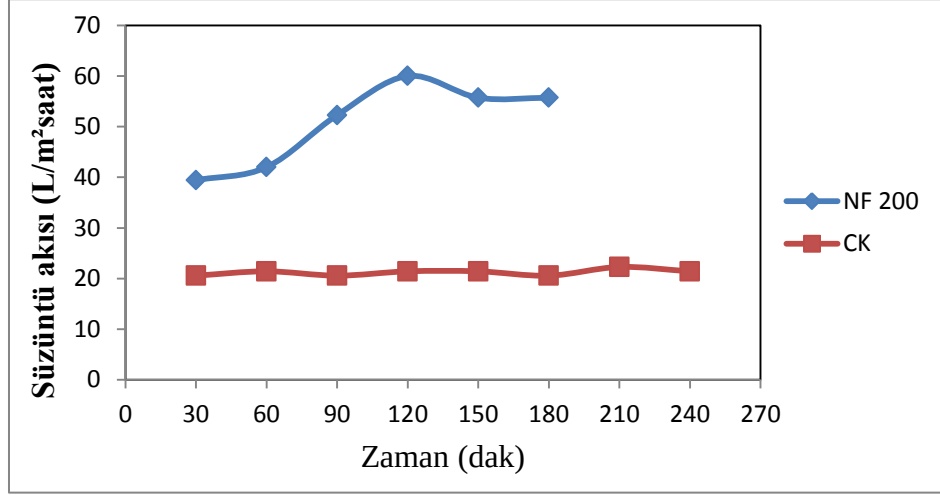
Tablo 3. 1 Sulama suyunun kimyasal kalitesinin değerlendirilmesi için geliştirilmiş parametreler (Çevre ve Orman Bakanlığı, 2010)

Parametreler	Kullanımında zarar derecesi			
	Birimler	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 $\geq$ 0.7	0.7-0.2	< 0.2
	3-6	$\geq$ 1.2	1.2-0.3	< 0.3
	6-12	$\geq$ 1.9	1.9-0.5	< 0.5
	12-20	$\geq$ 2.9	2.9-1.3	< 1.3
	20-40	$\geq$ 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	

4. BULGULAR

4.1. Laboratuvarda Gerçekleştirilen Membran Testleri

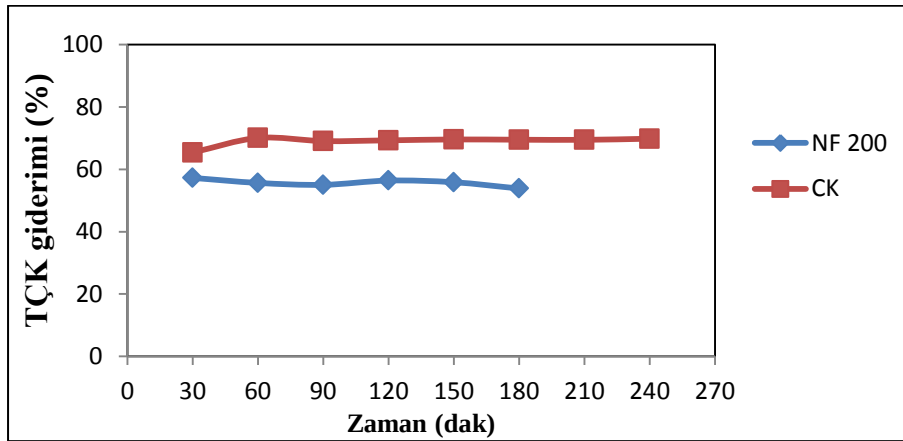
Şekil 4.1’de NF200 ve CK RO membranlarına ait 10 bar basınç altında elde edilen zamana karşı süzüntü akı değerleri verilmiştir. NF200 ve CK membranına ait ortalama süzüntü akı değeri sırasıyla; 50.9 ve 21.2 L/m²saat’dir.



Şekil 4.1 Membranların zamana karşı süzüntü akısı değerleri

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

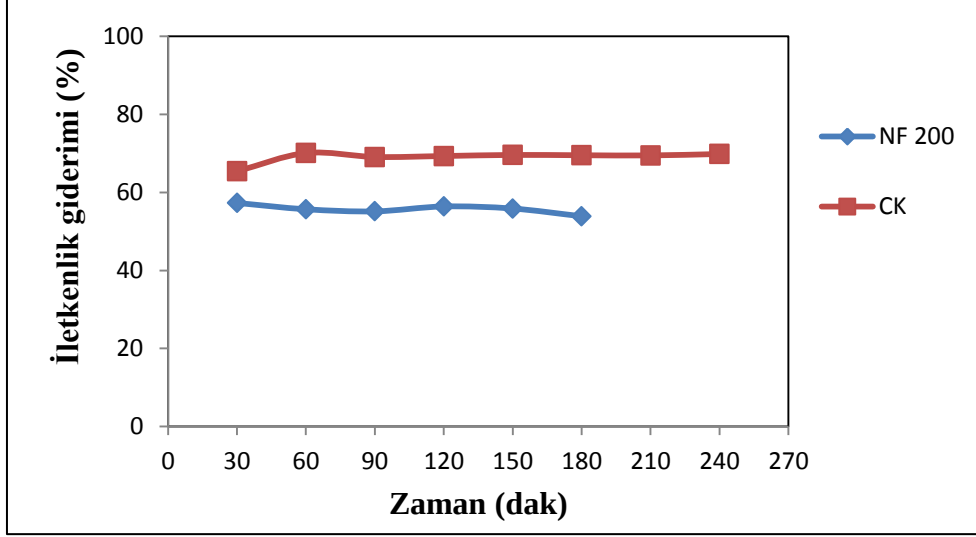
Membranlara ait 10 bar’da elde edilen zamana karşı TÇK giderim değerleri Şekil 4.2’de verilmiştir. NF 200 membranına ait ortalama TÇK giderimi %55.7 iken, CK membranı için bu değer %69’dur.



Şekil 4.2 Membranların zamana karşı TÇK giderimleri

NF/RO membranlarına ait iletkenlik giderimi

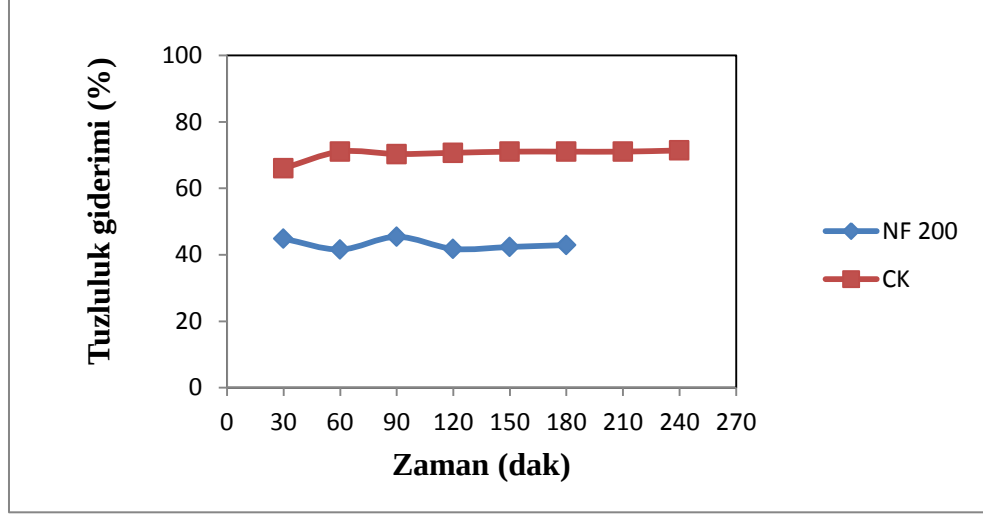
Şekil 4.3’da membranlara ait 10 bar’da edilen iletkenlik giderimleri verilmiştir. RO membranı, NF membranına göre daha yoğun olduğundan iletkenlik giderimin de daha iyi bir giderim performansı göstermiştir. NF200 membranına ait ortalama iletkenlik giderimi %55.7’dir ve CK membranına ait ortalama iletkenlik giderimi %69’dur.



Şekil 4.3 Membranların zamana karşı iletkenlik giderimleri

NF/RO membranlarına ait tuzluluk giderimi

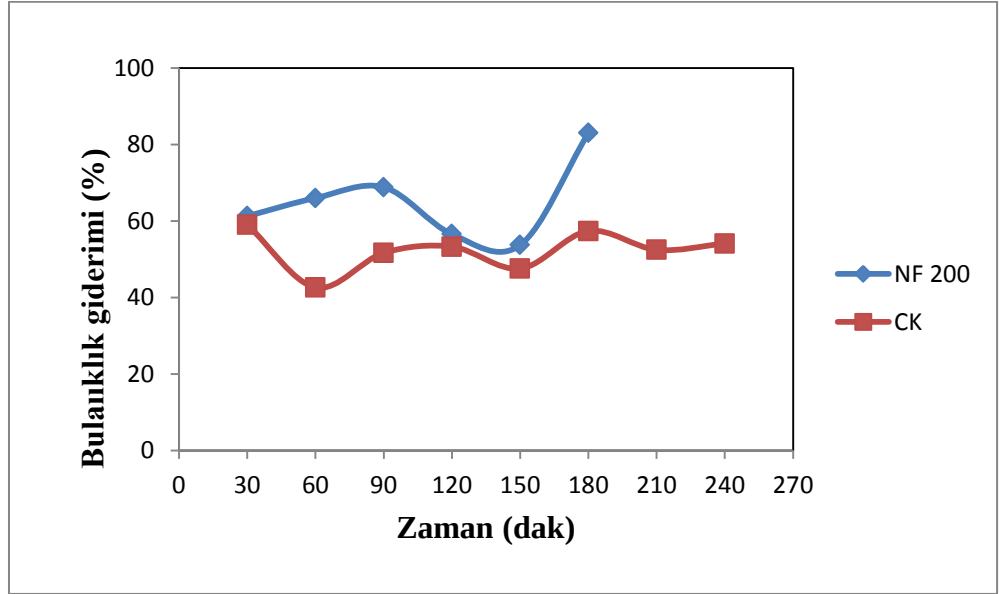
Tuzluluk gideriminde, toplam çözünmüş katı madde ve iletkenlikte olduğu gibi en iyi giderim CK membranı ile elde edilmiştir. Tuzluluk gideriminde elde edilen veriler, iletkenlik giderimindeki verilerle benzerlik göstermektedir. NF200 ve CK membranlarına ait 10 bar’da elde edilen ortalama tuzluluk giderimi sırasıyla %43.2 ve %70.4’dür. Şekil 4.4’de membranlara ait tuzluluk giderimi verilmiştir.



Şekil 4.4 Membranların zamana karşı tuzluluk giderimleri

NF/RO membranlarına ait bulanıklık giderimi

Bulanıklık gideriminde, NF200 membranı için 10 bar'da elde edilen ortalama bulanıklık giderimi sırasıyla %64.9 ve %52.3 'dür. Membranlara ait bulanıklık giderimi Şekil 4.5'de verilmiştir.

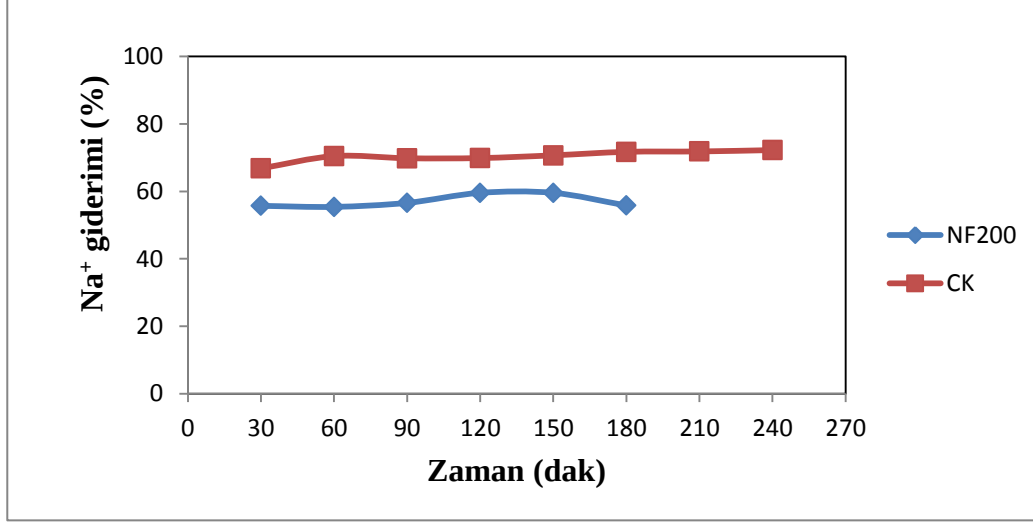


Şekil 4.5 Membranların zamana karşı bulanıklık giderimleri

NF/RO membranlarının monovalent iyon giderimleri

NF/RO membranlarının Na^+ giderimi

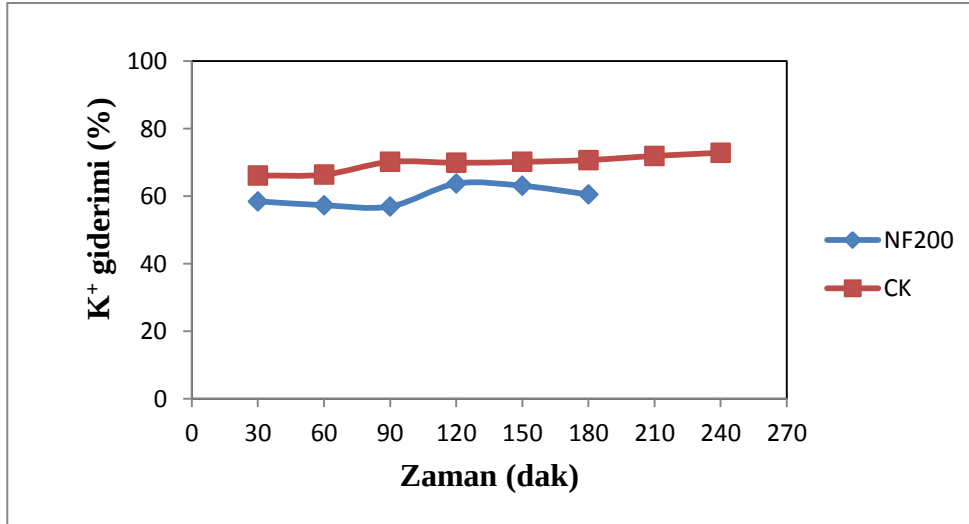
Şekil 4.6'da membranlara ait Na^+ iyon giderimi verilmiştir. NF membranı olan NF200 membranının da ortalama Na^+ iyon giderimi sırasıyla %57.1 iken, CK RO membranının da bu değer %70.4'dür.



Şekil 4.6 Membranların zamana karşı Na^+ giderimleri

NF/RO membranlarının K^+ iyon giderimi

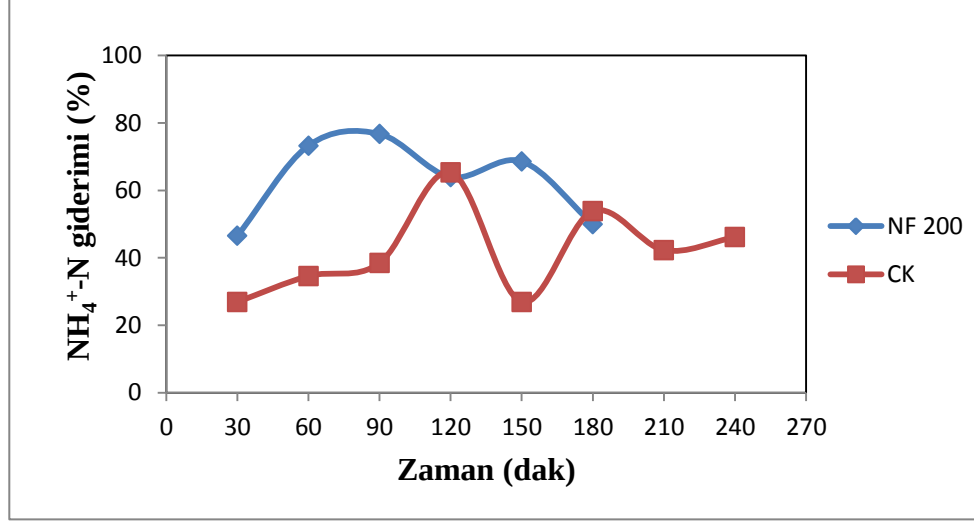
NF200 ve CK membranına ait 10 bar'da elde edilen K^+ iyonu giderimi Şekil 4.7'de verilmiştir. NF200 membranında ortalama K^+ iyonu giderimi %60.2'dir. CK membranında bu değer sırasıyla %69.8'dir.



Şekil 4.7 Membranların zamana karşı K^+ iyon giderimleri

NF/RO membranlarının NH_4^+ iyonu giderimi

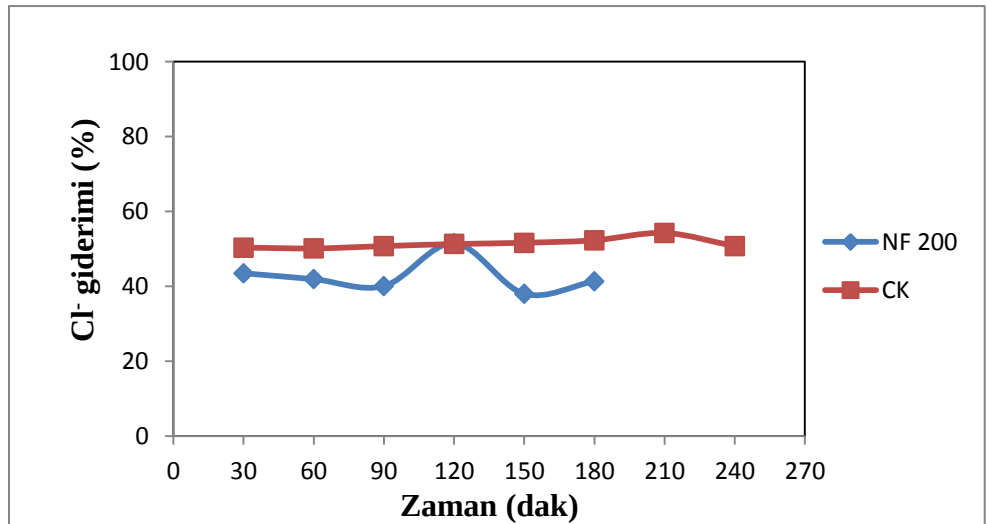
Şekil 4.8’de membranlara ait 10 bar uygulama basıncında NH_4^+ iyonu giderimleri verilmiştir. NF200 ve CK membranına ait ortalama NH_4^+ iyonu giderimleri sırasıyla %63.2 ve %41.8’dir.



Şekil 4.8 Membranların zamana karşı NH_4^+ -N giderimleri

NF/RO membranlarının Cl^- iyonu giderimi

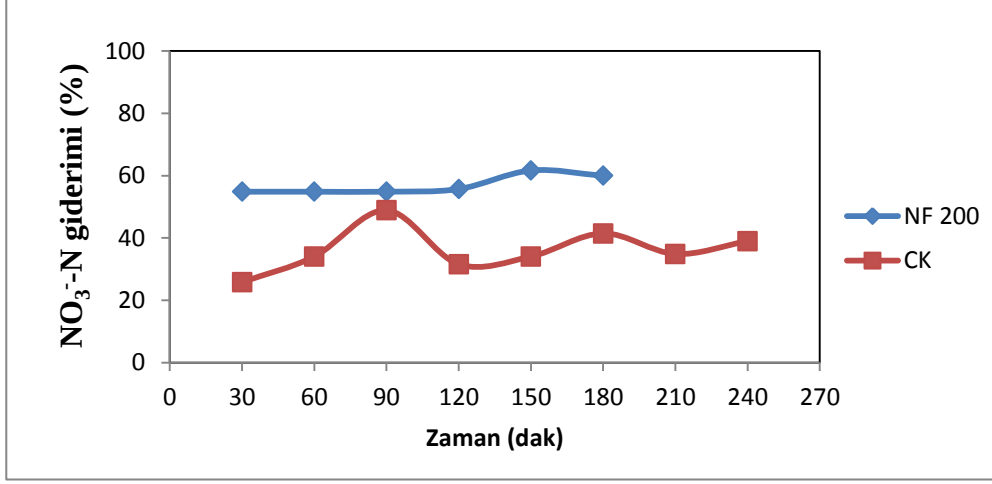
Şekil 4.9’da membranlara ait 10 bar’da elde edilen Cl^- iyonu giderimi verilmiştir. Monovalent katyonlarda elde edilen değerlere benzer şekilde; NF200 membranına ait ortalama Cl^- iyonu giderimi %42.7 iken, CK membranına ait giderim %51.4’dür.



Şekil 4.9 Membranların zamana karşı Cl^- iyonu giderimleri

NF/RO membranlarının NO_3^- iyon giderimleri

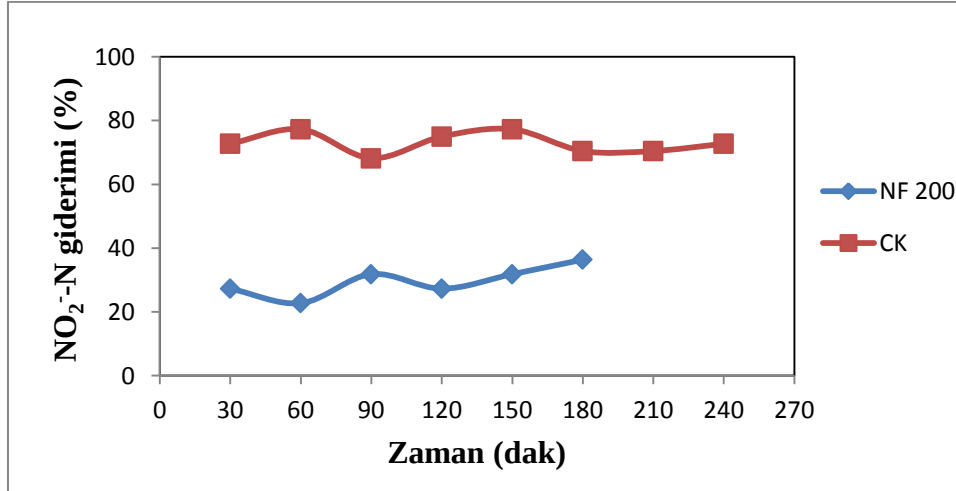
NO_3^- iyonu giderimi CK membranı için NF200'dan daha düşüktür. Ortalama NO_3^- iyonu giderimi, CK membranı için %36.2 iken, NF200 membranı için bu değer %57'dir. Şekil 4.10'de membranlara ait nitrat giderimi verilmiştir.



Şekil 4.10 Membranların zamana karşı NO_3^- iyonu giderimleri

NF/RO membranlarının NO_2^- iyonu giderimi

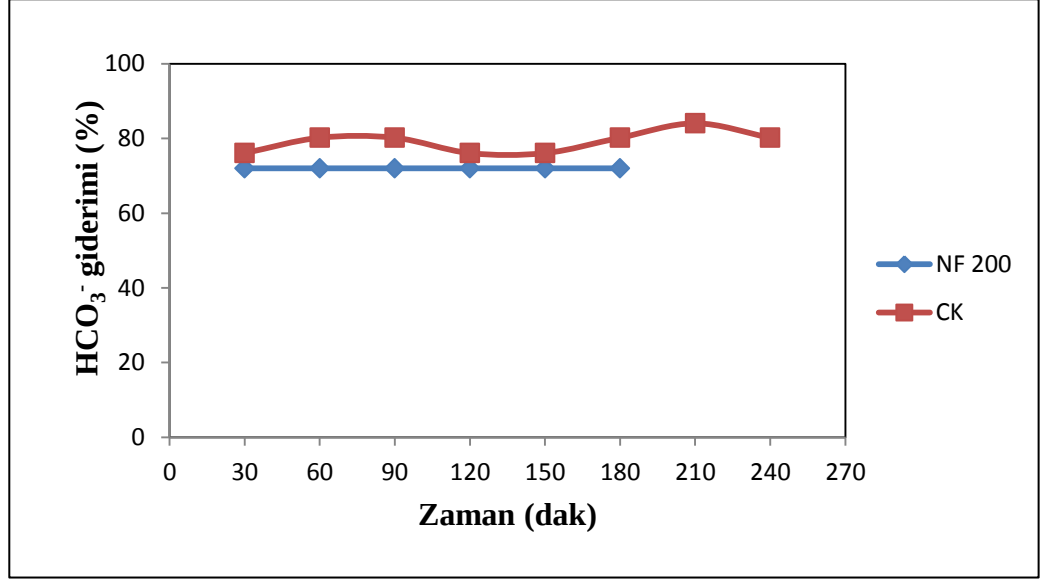
Şekil 4.11'de membranlara ait 10 bar'da elde edilen NO_2^- iyonu giderimi verilmiştir. Ortalama NO_2^- iyonu giderimi CK membranı için %73.8'dir. NF200 membranları için bu değer sırasıyla %30 düzeyindedir.



Şekil 4.11 Membranların zamana karşı NO_2^- iyonu giderimleri

NF/RO membranlarının HCO_3^- iyonu giderimi

Şekil 4.12’de membranlara ait HCO_3^- iyonu giderimleri verilmiştir. NF200 ve CK membranına ait 10 bar’da elde edilen ortalama HCO_3^- giderimleri sırasıyla %72.0 ve %80.2’dir.

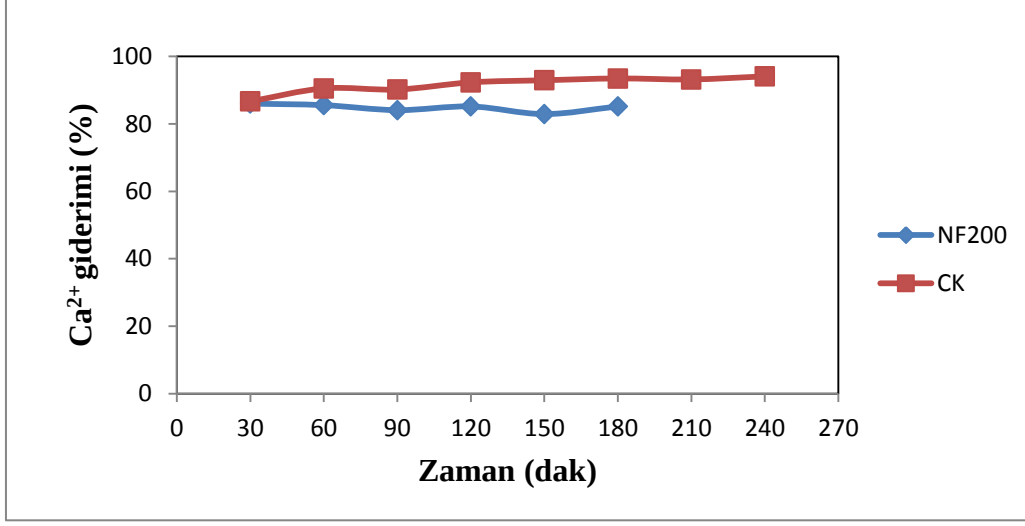


Şekil 4.12 Membranların zamana karşı HCO_3^- iyonu giderimleri

NF/RO membranlarına ait multivalent iyonların giderimi

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

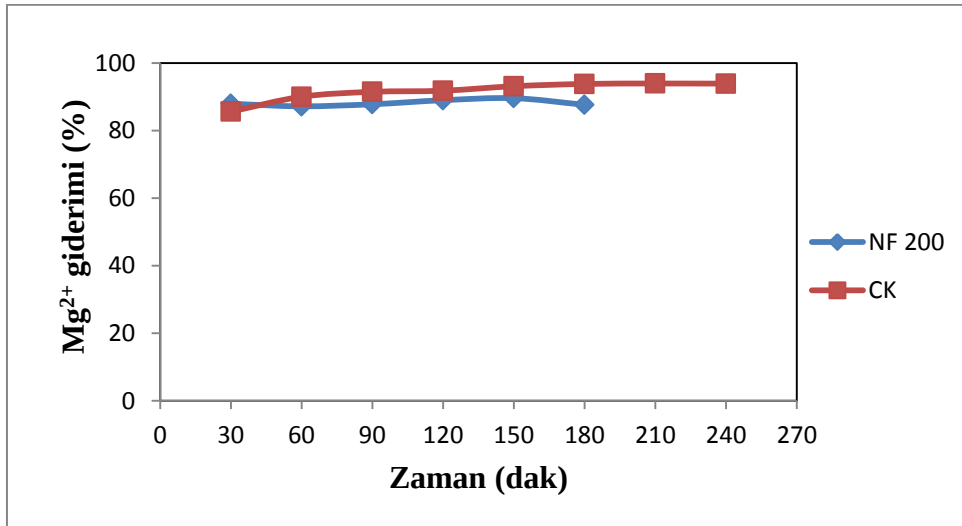
Şekil 4.13’de membranlara ait 10 bar’da elde edilen Ca^{2+} iyon giderimleri verilmiştir. Tek değerlikli iyonların aksine çift değerlikli iyonların NF200 ve CK membranları ile giderimleri daha yüksek görünmektedir. Yaptığımız çalışmada NF200 membranına ait ortalama Na^+ iyon giderimi %84.8’dir. RO membranı ise çift değerlikli iyonların gideriminde yüksek verime sahiptir. CK membranına ait ortalama Ca^{2+} iyon giderimi %91.7 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.13 Membranların zamana karşı Ca^{2+} iyon giderimleri

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

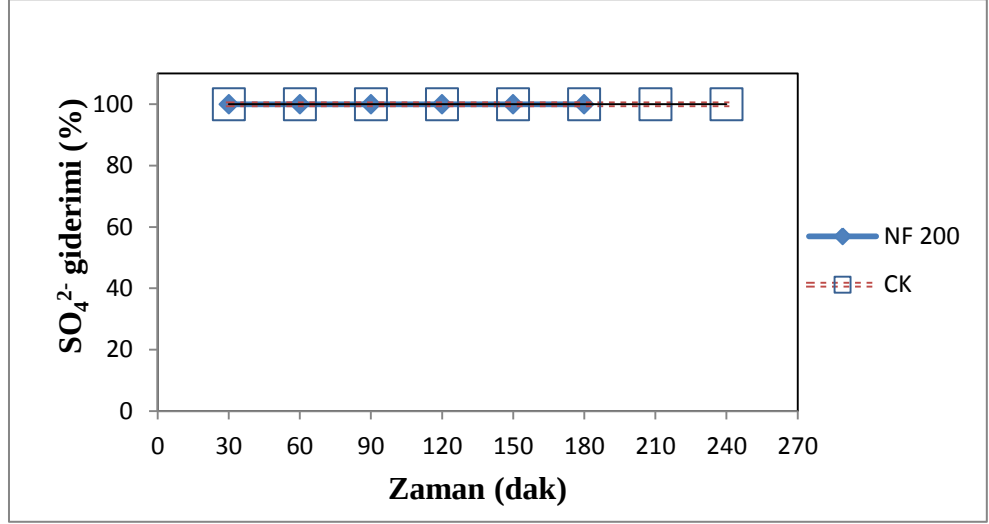
NF200 ve CK membranlarına ait Mg^{2+} iyonu giderimi Ca^{2+} giderimi ile benzerlik göstermiştir. Şekil 4.14’de membranlara ait 10 bar’da elde edilen Mg^{2+} iyonu giderimi verilmiştir. En yüksek Mg^{2+} iyonu giderimini %91.8 ile CK membranı vermiştir. NF200 membranına ait ortalama Mg^{2+} iyonu giderimi %88.2’dir.



Şekil 4.14 Membranların zamana karşı Mg^{2+} iyonu giderimleri

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

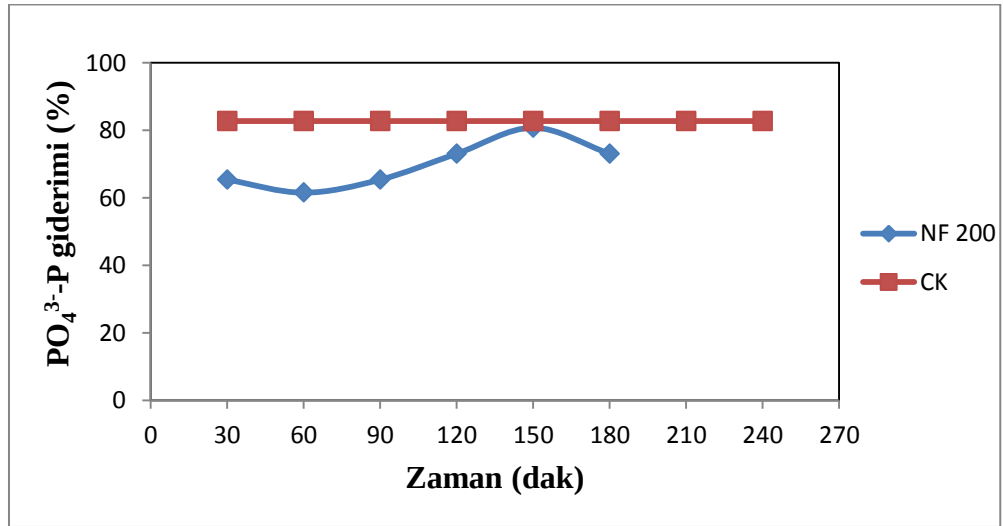
Şekil 4.15’de membranlara ait 10 barda elde edilen sülfat giderimi verilmiştir. Her iki membranda %99’un üzerinde giderim performansı göstermiştir.



Şekil 4.15 Membranların zamana karşı SO_4^{2-} giderimleri

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

Şekil 4.16’da membranlara ait 10 bar’lık uygulama basıncında hesaplanan PO_4^{3-} iyonu giderimleri verilmiştir. CK membranına ait giderim, zamana karşı değişim göstermemiştir. Ortalama PO_4^{3-} iyonu giderimi CK membranı için %82.8’dir. NF200 membranına ait ortalama PO_4^{3-} iyonu giderimi %69.9’dur.

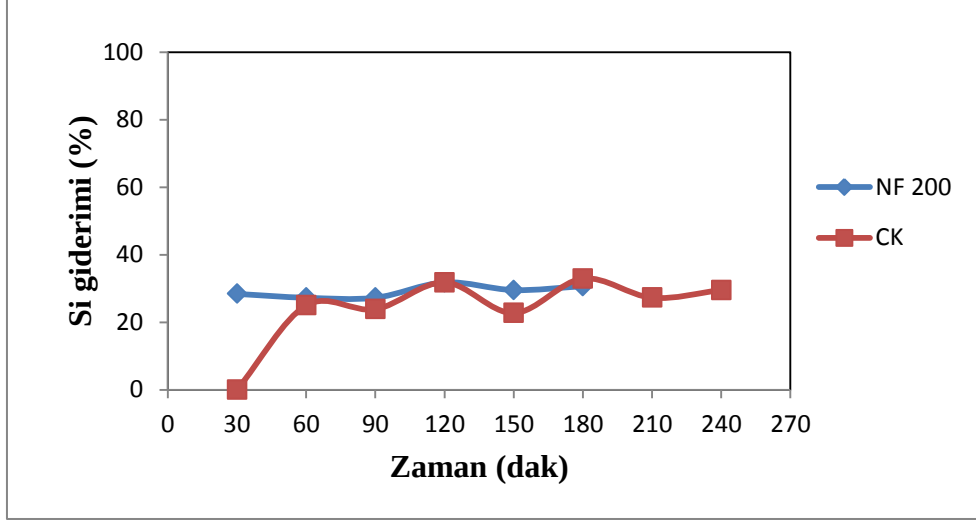


Şekil 4.16 Membranların zamana karşı PO_4^{3-} -P giderimleri

NF/RO membranlarına ait diğer maddelerin giderimi

NF/RO membranlarının silisyum giderimi

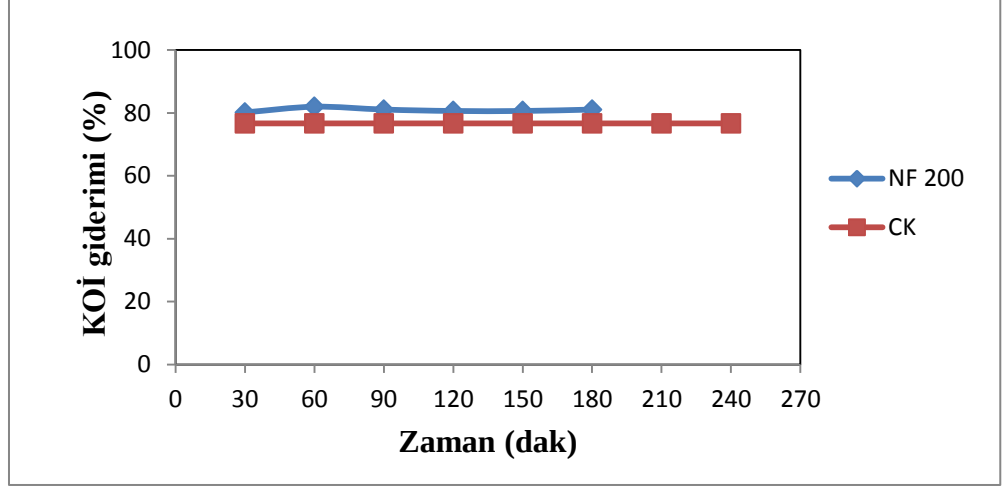
Silisyum gideriminde NF ve RO membranları benzer davranış sergilemişlerdir. NF200 membranları için ortalama silisyum giderimi %29.2 olarak elde edilmiştir. CK membranı için bu değer %25.9'dur. Şekil 4.17'de membranlara ait 10 bar'da elde edilen silisyum giderim performansları verilmiştir.



Şekil 4.17 Membranların zamana karşı silisyum giderimleri

NF/RO membranlarının KOİ giderimi

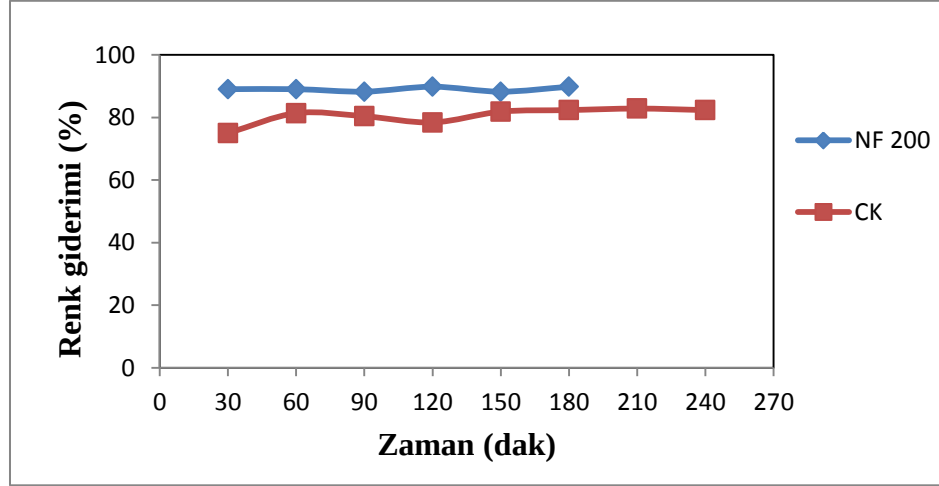
Şekil 4.18'de membranlara ait KOİ giderimi verilmiştir. NF200 ve CK membranlarına ait 10 bar uygulama basıncında ortalama KOİ giderimi sırasıyla %80.9 ve %76.7 olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.18 Membranların zamana karşı KOİ giderimleri

NF/RO membranlarının renk giderimi

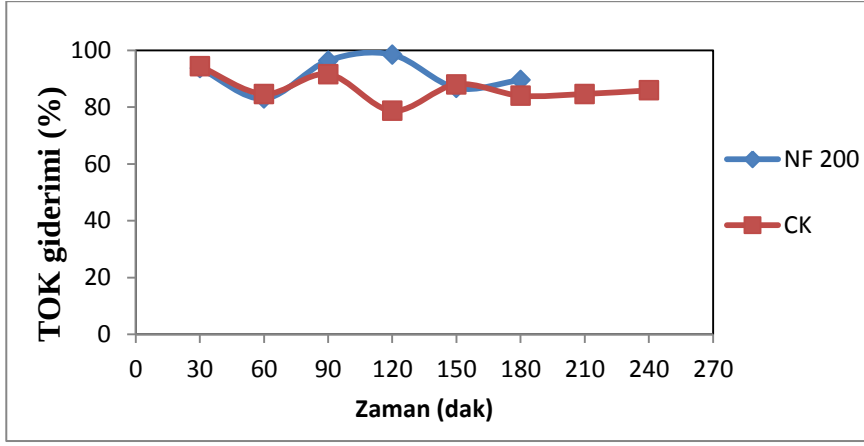
NF200 ve CK membranlarına ait renk, giderimi, Şekil 4.19’da verilmiştir. Ortalama olarak en yüksek renk giderimini %89.0 ile NF200 membranı sağlamıştır. CK membranına ait 10 bar’da elde edilen ortalama renk giderimi %80.6’dır.



Şekil 4.19 Membranların zamana karşı renk giderimleri

NF/RO membranlarının TOK giderimi

Şekil 4.20’de NF200 ve CK membranlarına ait TOK değerleri verilmiştir. TOK giderimi her iki membran içinde zaman karşı sabit kalmayıp, değişim göstermiştir. Ortalama TOK giderimi, NF200 ve CK membranı için 10 bar’da sırasıyla %91.3 ve %86.5’dir.



Şekil 4.20 Membranların zamana karşı TOK giderimleri

1.1. Laboratuvar çalışmalarına ait sonuçlar

NF ve RO membranları ile elde edilen ürün suyun özellikleri ile sulama suyunun kimyasal kalitesinin değerlendirilmesi için geliştirilmiş parametrelerle karşılaştırılması, Tablo 4.1’de ve Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY) ile sulama suyu standartlarıyla karşılaştırılması ise Tablo 4.2’de verilmiştir. Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği’ne göre NF200 ve CK membranları 2. sınıf su standartlarını sağlamaktadır. SKKY’ne göre NF200 ve CK membranları pH, magnezyum, amonyum, sülfat, nitrit, KOİ, ve renk parametrelerinde 1. Sınıf su kalite değerlerini sağlamaktadır.

Membranların süzöntü akıları değerlendirildiğinde en yüksek süzöntü akısı NF200 membranı ile elde edilmiştir. NF200 ve CK membranlarına ait ürün suyu kalitesi benzerlik göstermektedir.

Tablo 4. 1 Farklı membranlarla elde edilen ürün suyun kimyasal kalitesinin değerlendirilmesi için geliştirilmiş parametreler ile karşılaştırılması

		NF200	CK-RO
SAR		19.68	16.72
Sodyum (mg/L)		417.41	256.18
Klorür (mg/L)		1090	872.62
TÇK (mg/L)		1.23	0.77
EC (mS/cm)		2.46	1.54
Geçirgenlik		2.sınıf su	2.sınıf su
Tuzluluk		2. sınıf su	2. sınıf su
Özgül İyon toksisitesi	Na	3. sınıf Y,D	3. sınıfY, D
	Cl	3. sınıf Y,D	3. sınıf Y,D
	B	-	-

(Y: Yüzey sulaması; D: Damlatmalı sulama)

Tablo 4. 2 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	NF200	CK		
TÇK (mg/L)	1234	772	500	0-2000
İletkenlik (mS/cm)	2.46	1.54	SB ¹	0-3.00
pH	7.63	7.03	6.5-8.5	6.5-8.80
Tuzluluk (psu)	2.96	0.83	SB ¹	0-1.94
Bulanıklık (NTU)	0.37	0.58	SB ¹	0-0.20
Na ⁺ (mg/L)	417	256	125	0-920
Ca ²⁺ (mg/L)	23.6	12.8	SB ¹	0-400
K ⁺ (mg/L)	157	112	SB ¹	0-2.00
Mg ²⁺ (mg/L)	3.91	2.67	SB ¹	0-60.0
NH ₄ -N (mg/L)	0.03	0.01	0.2	0-5.00
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	109	81.12	SB ¹	0-610
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	0.05	0.05	200	0-960
Cl ⁻ (mg/L)	1091	873	25	0-1065
PO ₄ -P (mg/L)	0.07	0.05	0.02	0-2.00
NO ₃ -N (mg/L)	5.05	7.73	5	0-10.0
NO ₂ -N (mg/L)	0.015	0.011	0.002	SB ¹
Si (mg/L)	0.62	0.65	SB ¹	SB ¹
KOİ (mg/L)	4.23	4.00	25	SB ¹
Renk (Hazen)	2.8	3.96	5	SB ¹
TOK (mg/L)	0.90	3.21	SB ¹	SB ¹
SAR	29.3	7.48	SB ¹	SB ¹

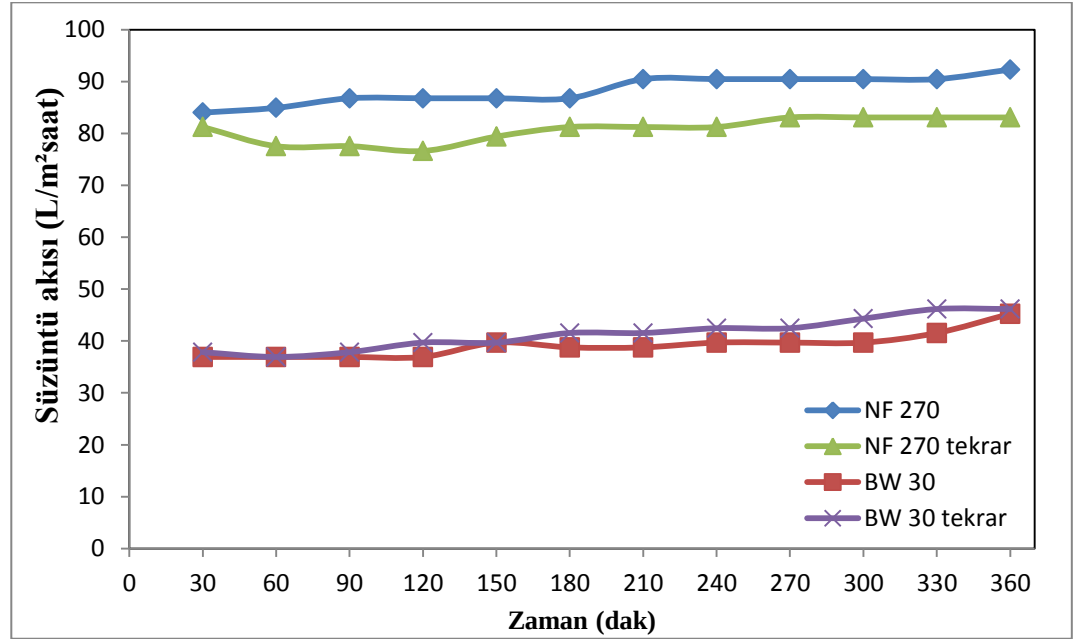
¹Standart Belirtilmemiş.

4.2. Arazi çalışmaları

4.2.1. Kesikli Çalışmalar

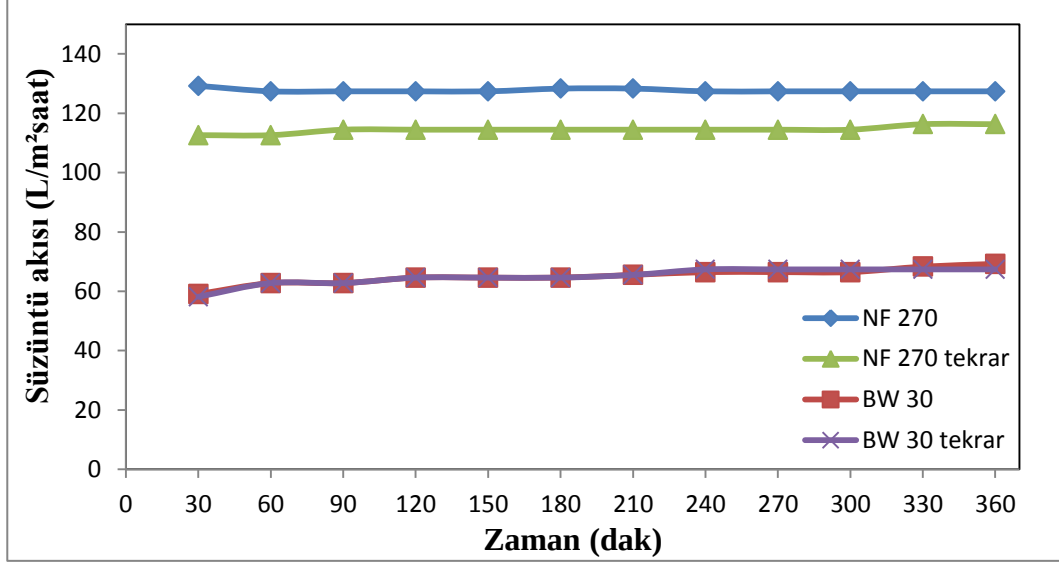
NF/RO membranlarının süzöntü akı değerleri

Şekil 4.21 ve 4.22 'de NF270 ve BW30 membranı ile 10 ve 15 bar'da elde edilen süzöntü akısı değerleri verilmiştir. Yapılan çalışmalarda NF membranı NF270'e ait süzöntü akısı, RO membranı olan BW30 membranından daha yüksek bulunmuştur. Ortalama süzöntü akısı NF270 ve BW30 membranları için 10 bar'da sırasıyla 84.6 L/hm² ve 40.3 L/hm²'dir.



Şekil 4.21 Membranlara ait zamana karşı süzöntü akısı değerleri (10 bar)

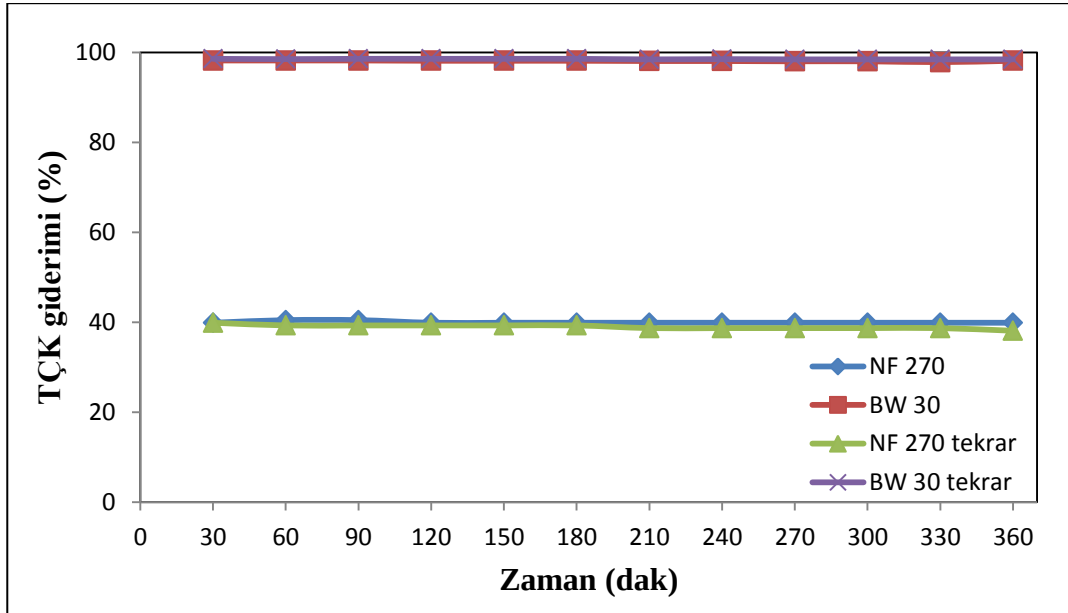
15 Bar'da elde edilen ortalama süzöntü akısı NF270 ve BW30 membranları için sırasıyla 121.1 L/hm² ve 65.1 L/hm²'dir.



Şekil 4.22 Membranlara ait zamana karşı süzüntü akısı değerleri (15 bar)

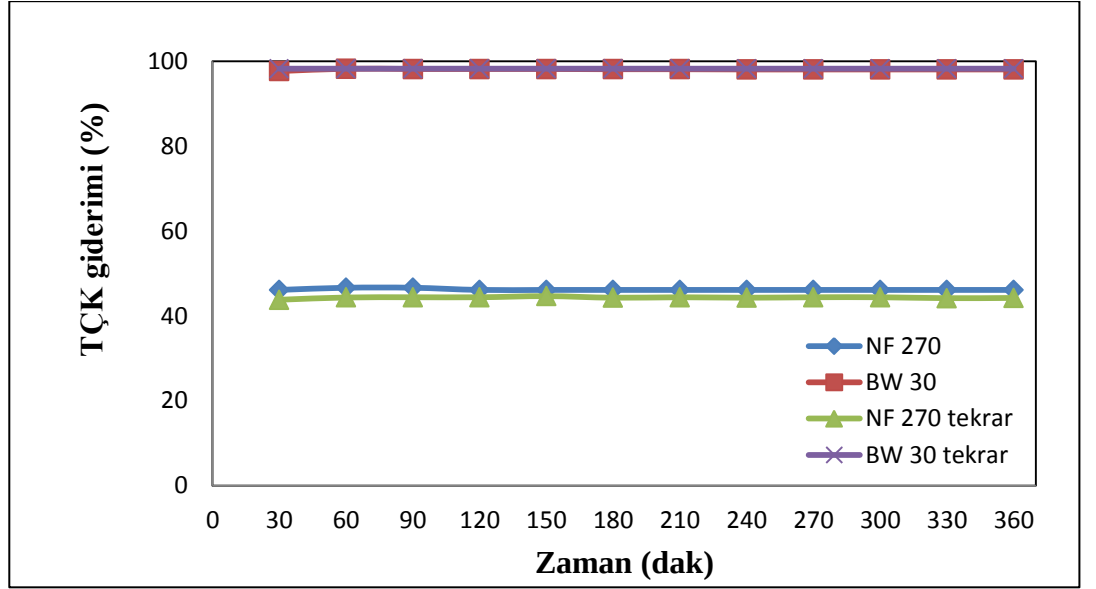
NF/RO membranlarının toplam TÇK giderimleri

Membranlara ait 10 bar uygulama basıncında elde edilen ortalama TÇK giderimi Şekil 4.23’de verilmiştir. NF270 membranına ait ortalama TÇK giderimi %39.5 iken, BW30 membranı için bu değer %98.3’dür.



Şekil 4.23 Membranlara ait zamana karşı TÇK giderimi (10 bar)

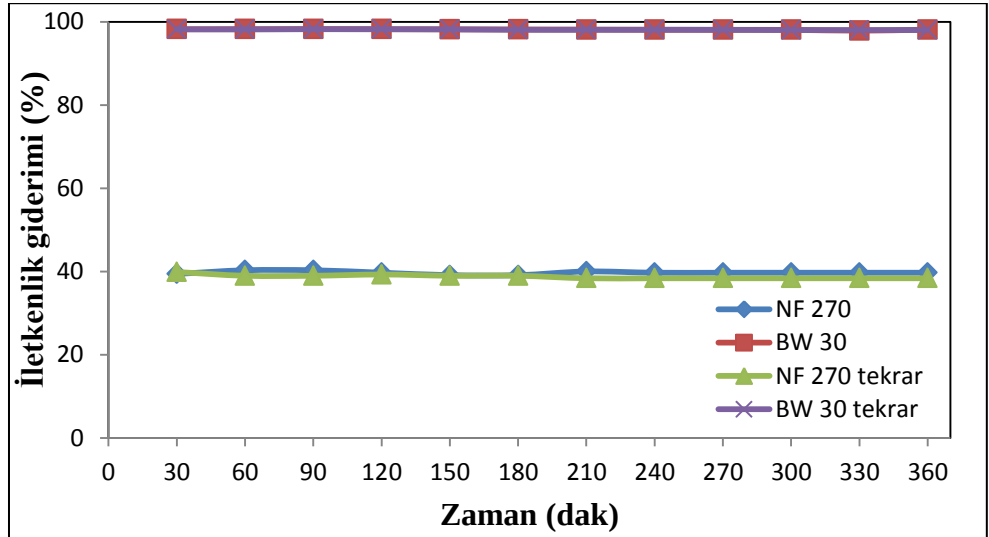
Membranlara ait 15 bar uygulama basıncında elde edilen ortalama TÇK giderimi Şekil 4.24’de verilmiştir. NF270 membranına ait ortalama TÇK giderimi %45.3 iken, BW30 membranı için bu değer %98.2’dir.



Şekil 4.24 Membranlara ait zamana karşı TÇK giderimi (15 bar)

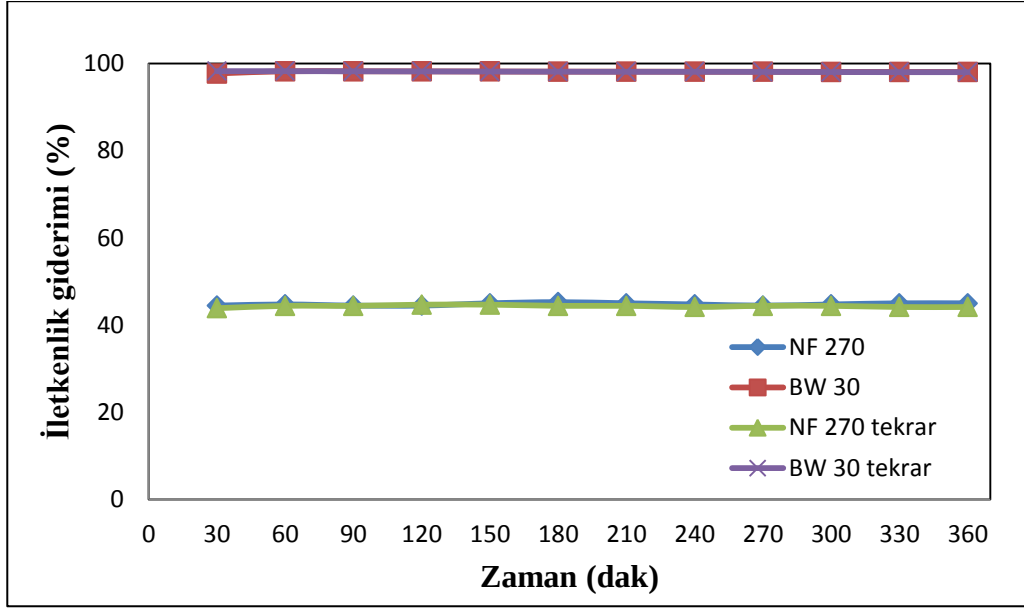
NF/RO membranlarının iletkenlik giderimleri

Şekil 4.25'de membranların 10 bar'da elde edilen iletkenlik giderimi verilmiştir. İletkenlik giderimleri sırasıyla NF270 membranı için %39.5, BW30 membranı için %98.1'dir.



Şekil 4.25 Membranlara ait zamana karşı iletkenlik giderimi (10 bar)

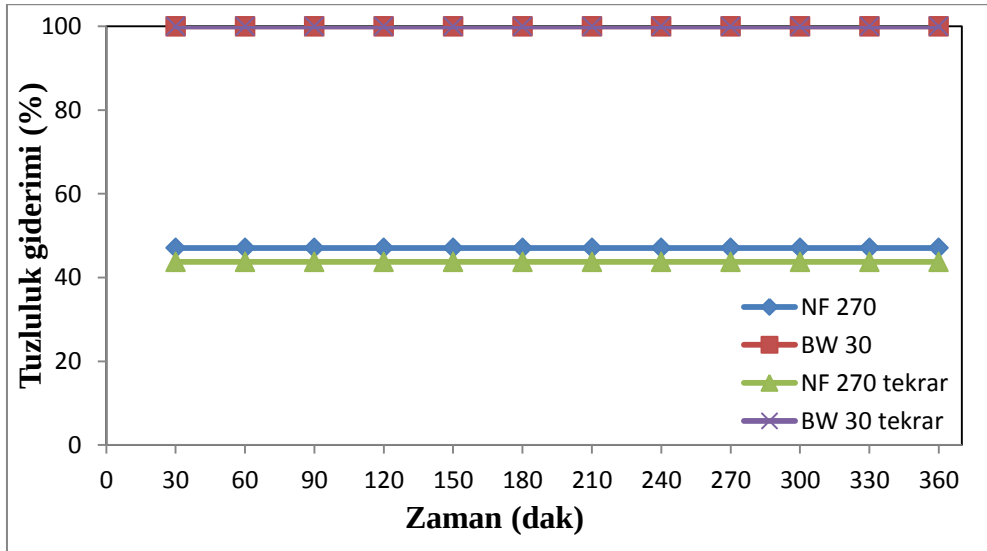
Şekil 4.26'de membranların 15 bar'da elde edilen iletkenlik giderimleri verilmiştir. İletkenlik giderimleri sırasıyla NF270 membranı için %44.6, BW30 membranı için %98.2'dir.



Şekil 4.26 Membranlara ait zamana karşı iletkenlik giderimi (15 bar)

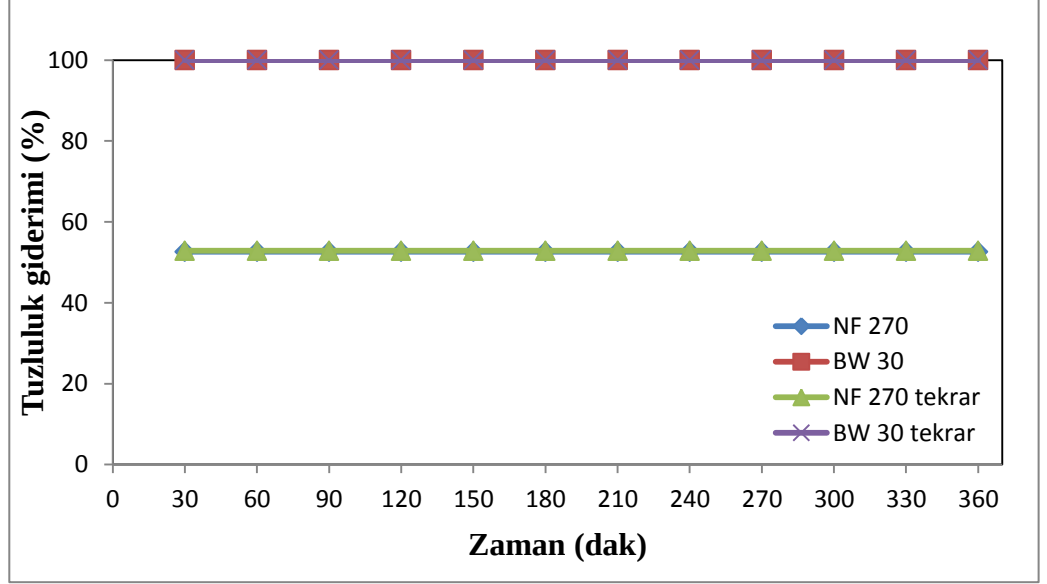
NF/RO membranlarının tuzluluk giderimleri

NF270 ve BW30 membranlarına ait tuzluluk giderimleri çalışma süresince değişim göstermemiştir. NF270 membranı için 10 bar'da elde edilen tuzluluk giderimi %45. 5 ve BW30 membran için %100 olmuştur. Membranlara ait zamana karşı tuzluluk giderimleri Şekil 4.27'de verilmiştir.



Şekil 4.27 Membranlara ait zamana karşı tuzluluk giderimleri (10 bar)

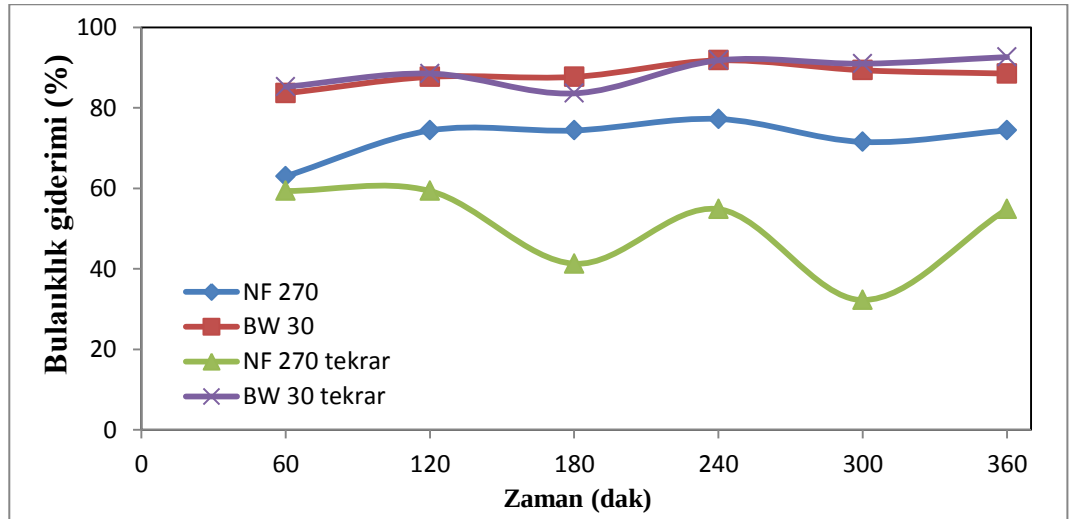
NF270 ve BW30 membranlarına ait tuzluluk giderimleri 15 bar çalışma süresince’de değişim göstermemiştir. NF270 membranı için 15 bar’da elde edilen tuzluluk giderimi %52.8 ve BW30 membran için %100 olmuştur. 15 bar’da elde edilen membranların zamana karşı tuzluluk giderimleri Şekil 4.28’de verilmiştir.



Şekil 4.28 Membranlara ait zamana karşı tuzluluk giderimleri (15 bar)

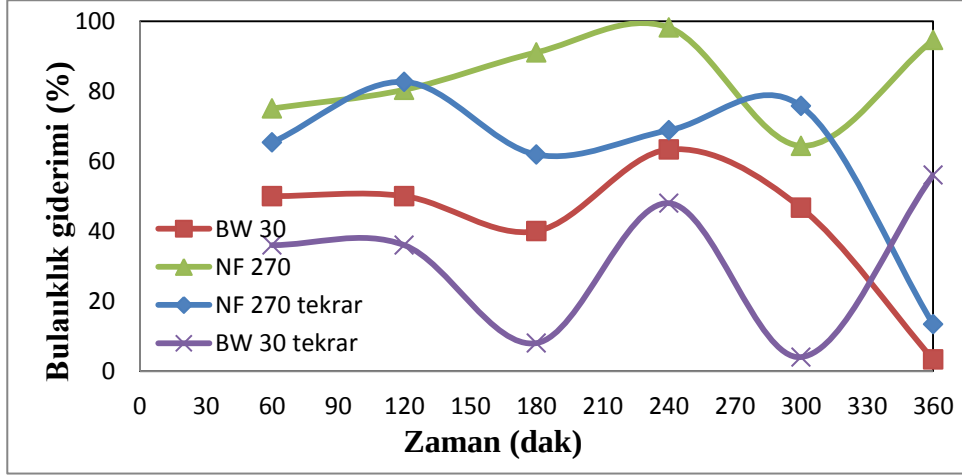
NF/RO membranlarının bulanıklık giderimleri

Şekil 4.29’da membranların 10 bar’da elde edilen bulanıklık giderimleri verilmiştir. Çalışma süresince ortalama bulanıklık giderimi, NF270 membranı için %61.4 , BW30 membranı için %88.5 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.29 Membranlara ait zamana karşı bulanıklık giderimleri (10 bar)

Şekil 4.30'da membranlara ait 15 bar'da elde edilen bulanıklık giderimleri verilmiştir. Çalışma süresince ortalama bulanıklık giderimi zamana karşı, NF270 membranı için %72.6 , BW30 membranı için %36.8 olarak bulunmuştur.

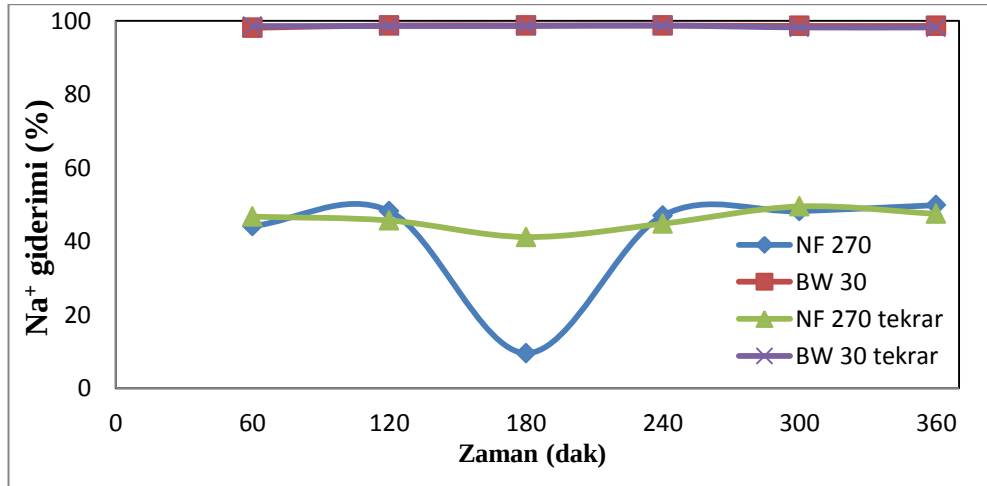


Şekil 4.30 Membranlara ait zamana karşı bulanıklık giderimleri (15 bar)

NF/RO membranlarının monovalent iyon giderimleri

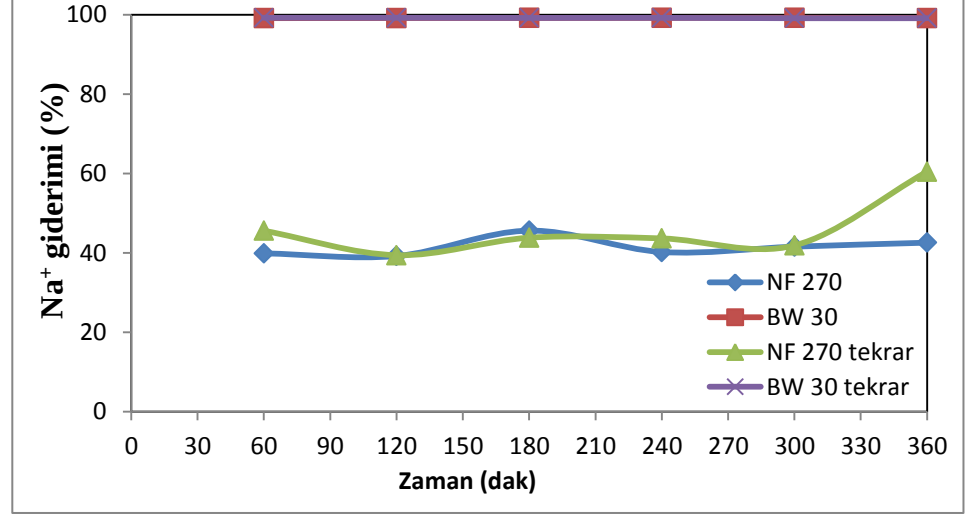
NF/RO membranlarının Na^+ iyonu giderimleri

Şekil 4.31'de membranların 10 bar'da elde edilen Na^+ iyonu giderimi verilmiştir. Na^+ iyonu giderimi BW30 membran için zamanla değişim göstermemiştir. Ortalama Na^+ iyonu giderimi NF270 ve BW30 membranları için sırasıyla, %43.5 ve %98.5'dir.



Şekil 4.31 Membranlara ait zamana karşı Na^+ iyonu giderimi (10 bar)

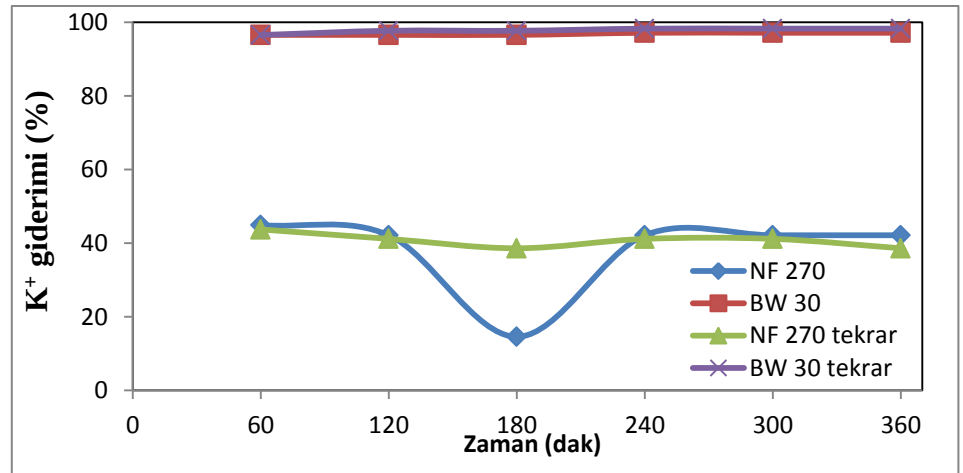
Şekil 4.32’de membranların 15 bar’da elde edilen Na^+ iyonu giderimi verilmiştir. Na^+ iyonu giderimi BW30 membran için zamanla değişim göstermemiştir. Ortalama Na^+ iyonu giderimi NF270 ve BW30 membranları için sırasıyla, %43.7 ve %99.2’dir.



Şekil 4.32 Membranlara ait zamana karşı Na^+ iyonu giderimi (15 bar)

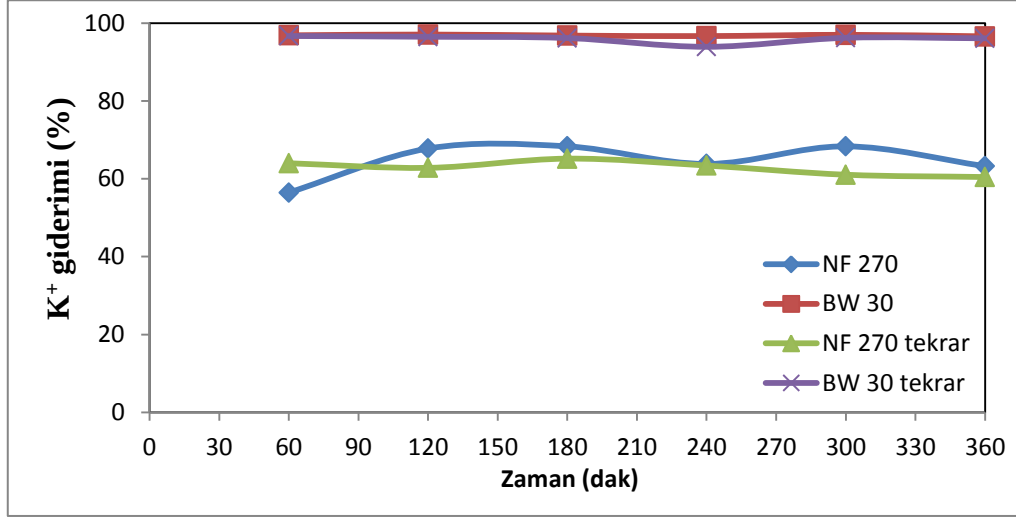
NF/RO membranlarının K^+ iyonu giderimleri

Tek değerlikli iyon olan K^+ iyonu için giderim verimi, BW30 membranından daha yüksek bulunmuştur. NF270 ve BW30 membranlarına ait 10 bar’da elde edilen ortalama K^+ iyonu giderimleri sırasıyla %39.4 ve %97.3’dür. Şekil 4.33’de zamana karşı K^+ iyonu giderimi verilmiştir.



Şekil 4.33 Membranlara ait zamana karşı K^+ iyonu giderimleri (10 bar)

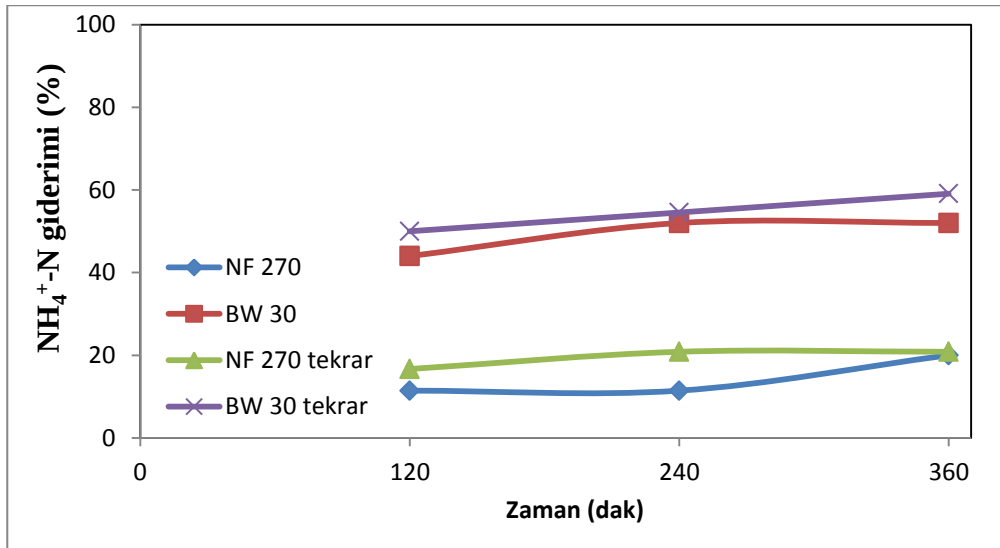
NF270 ve BW30 membranlarına ait 15 bar'da elde edilen ortalama K^+ iyonu giderimleri sırasıyla %63.7 ve %96.4'dür. Şekil 4.34'de zamana karşı K^+ iyonu giderimi verilmiştir.



Şekil 4.34 Membranlara ait zamana karşı K^+ iyonu giderimleri (15 bar)

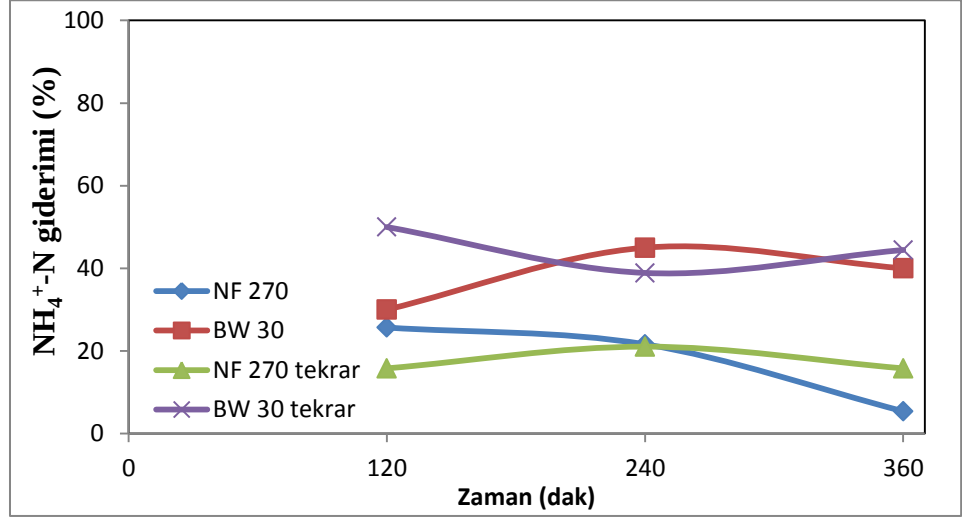
NF/RO membranlarının NH_4^+ iyonu giderimleri

Şekil 4.35'de membranlara ait NH_4^+ iyonu giderimi verilmiştir. NF270 ve BW30 membranlarına ait 10 bar'da elde edilen ortalama NH_4^+ giderimleri sırasıyla %16.9 ve %51.9'dir.



Şekil 4.35 Membranlara ait zamana karşı NH_4^+ iyonu giderimleri (10 bar)

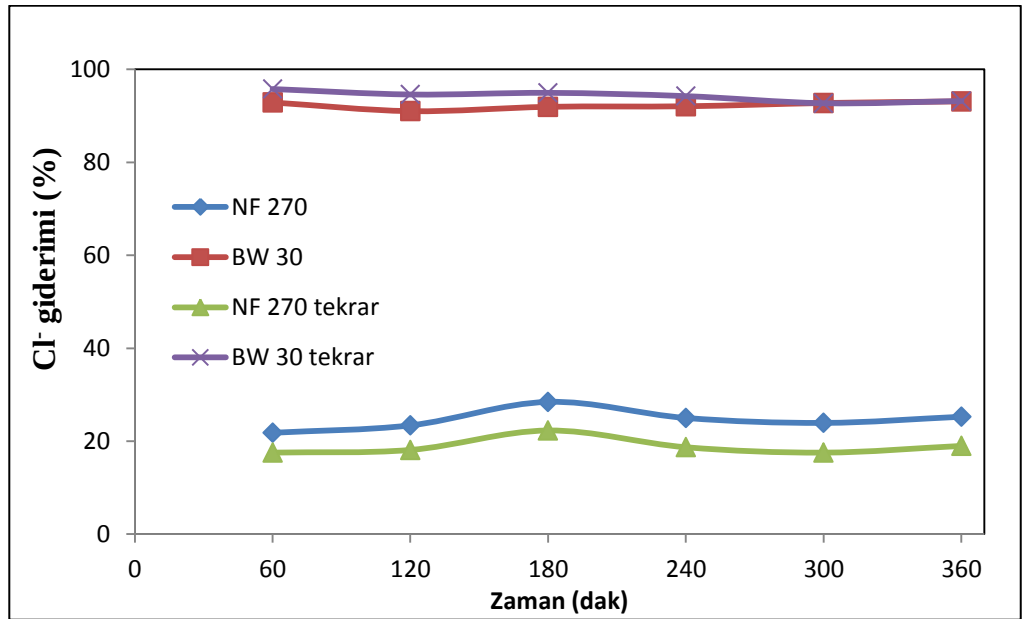
Şekil 4.36’da membranlara ait NH_4^+ iyonu giderimi verilmiştir. NF270 ve BW30 membranlarına ait 15 bar’da elde edilen ortalama NH_4^+ giderimleri sırasıyla %17.6 ve %41.4’dür.



Şekil 4.36 Membranlara ait zamana karşı NH_4^+ iyonu giderimleri (15 bar)

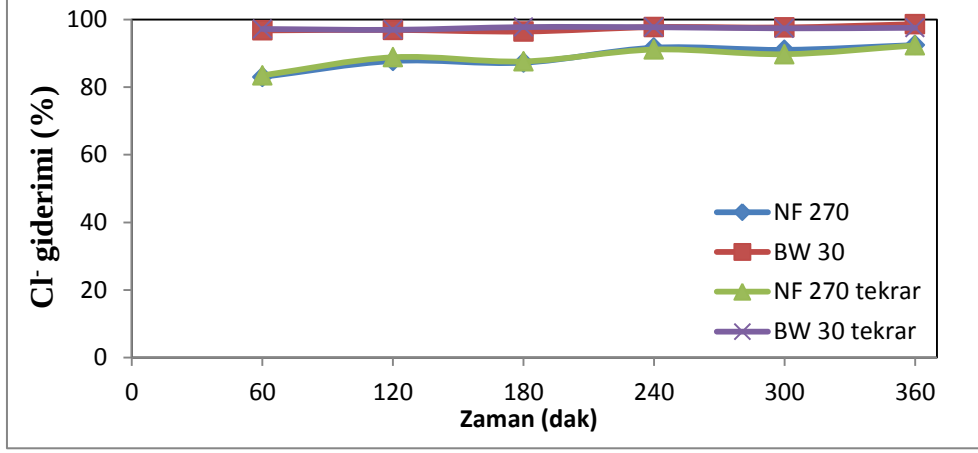
NF/RO membranlarının Cl^- iyonu giderimleri

Şekil 4.37’da membranlara ait Cl^- iyonu giderimleri verilmiştir. 10 bar’da elde edilen ortalama Cl^- iyonu giderimi NF270 membranına göre, BW30 membranı için daha yüksek bulunmuştur. Giderim değerleri NF270 membranı için %21.8, BW30 membranı için %93.3’dür.



Şekil 4.37 Membranlara ait zamana karşı Cl^- iyonu giderimleri (10 bar)

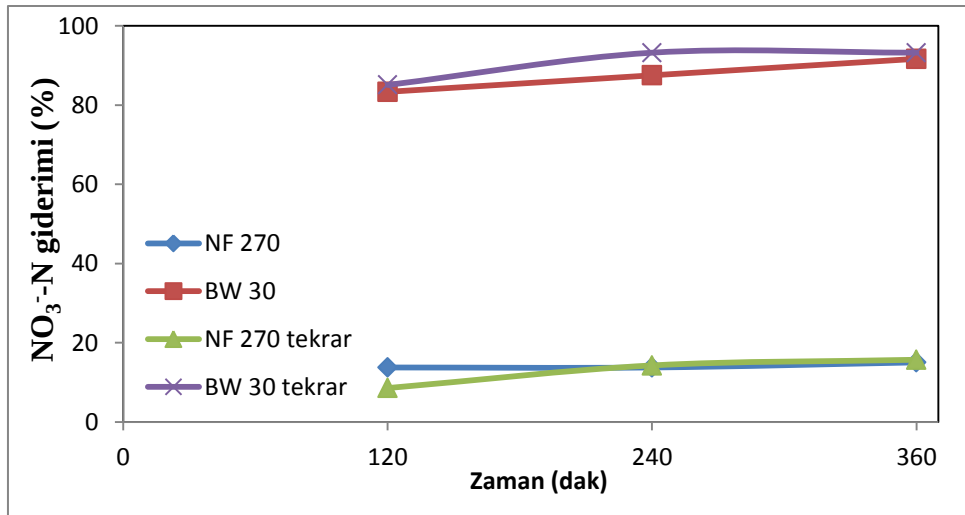
Şekil 4.38’de membranların Cl^- iyonu giderimleri verilmiştir. 15 bar’da elde edilen ortalama Cl^- iyonu giderimi NF270 membranına göre, BW30 membranı için daha yüksek bulunmuştur. Giderim değerleri NF270 membranı için %89, BW30 membranı için %97.4’dir.



Şekil 4.38 Membranlara ait zamana karşı Cl^- iyonu giderimleri (15 bar)

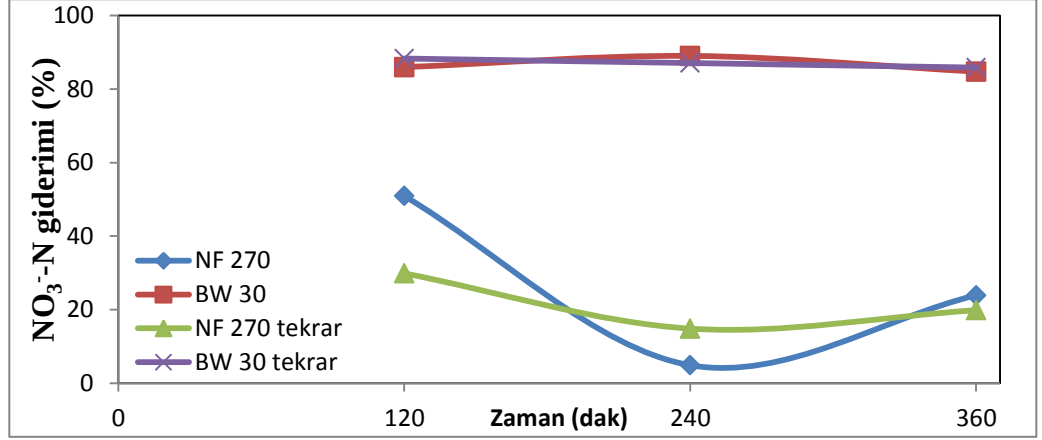
NF/RO membranlarının NO_3^- iyonu giderimleri

Yapılan çalışmada, NF270 membranına ait NO_3^- iyonu giderimi, NO_2^- ve NH_4^+ iyonlarında da olduğu gibi BW30 membranına göre daha az bulunmuştur. NF270 membranları için 10 bar’da elde edilen ortalama NO_3^- iyonu giderimi %13.5 iken, BW30 membranı için bu değer %89.0’dur. Şekil 4.39’da membranlara ait zamana karşı NO_3^- iyonu giderimi verilmiştir.



Şekil 4.39 Membranlara ait zamana karşı NO_3^- iyonu giderimleri (10 bar)

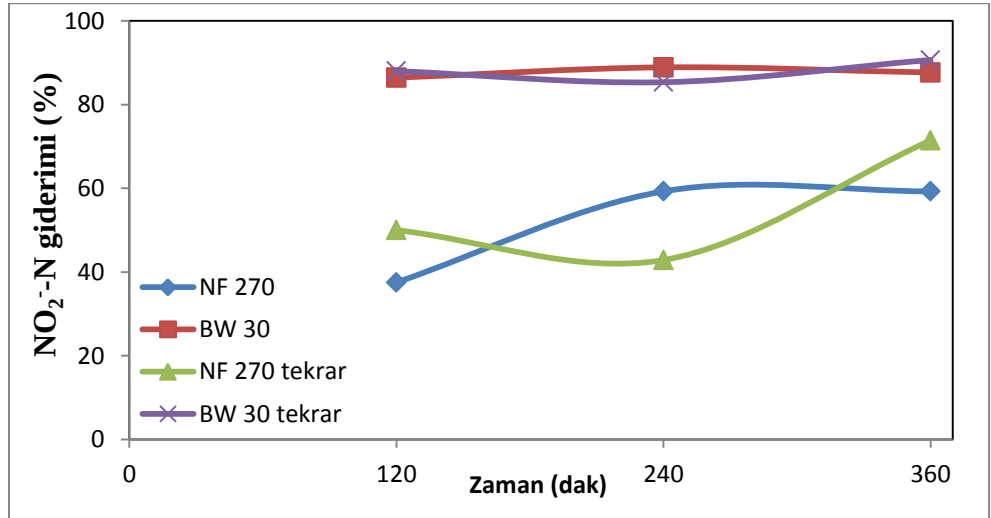
Yapılan çalışmada, NF270 membranına ait NO_3^- iyonu giderimi, NO_2^- ve NH_4^+ iyonlarında da olduğu gibi BW30 membranına göre daha az bulunmuştur. NF270 membranları için 15 bar'da elde edilen ortalama NO_3^- iyonu giderimi %24.1 iken, BW30 membranı için bu değer %86.1'dir. Şekil 4.40'da membranlara ait NO_3^- iyonu giderimleri verilmiştir.



Şekil 4.40 Membranlara ait zamana karşı NO_3^- iyonu giderimleri (15 bar)

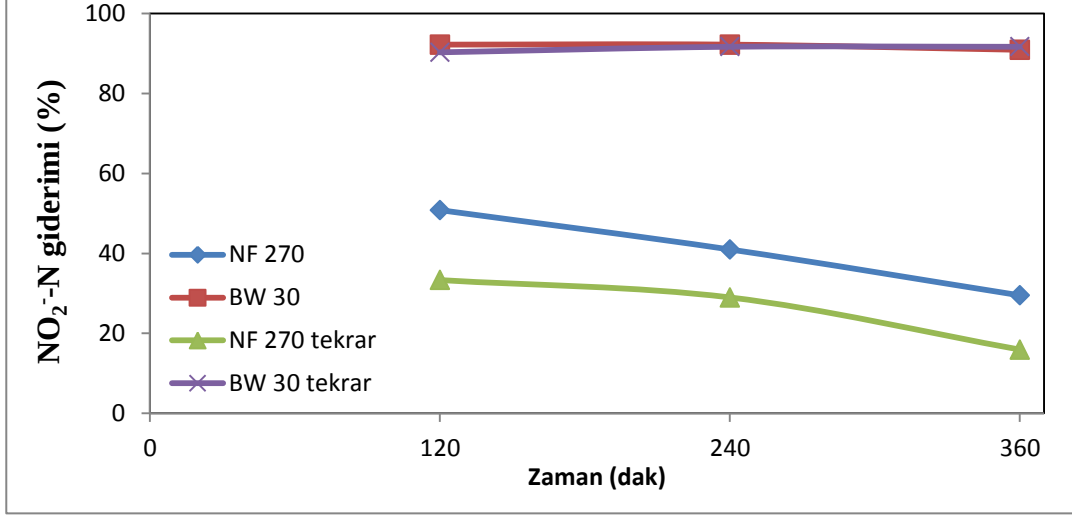
NF/RO membranlarının NO_2^- iyonu giderimleri

NO_2^- iyonu giderimine ait grafik Şekil 4.41'de verilmiştir. RO membranına ait NO_2^- iyonu giderimi, NF membranına göre daha yüksek bulunmuştur. Ortalama NO_2^- iyonu giderimi 10 bar uygulama basıncı altında NF270 membranı için %53.4 iken, BW30 membranı için bu değer %87.8'dir.



Şekil 4.41 Membranlara ait zamana karşı NO_2^- iyonu giderimleri (10 bar)

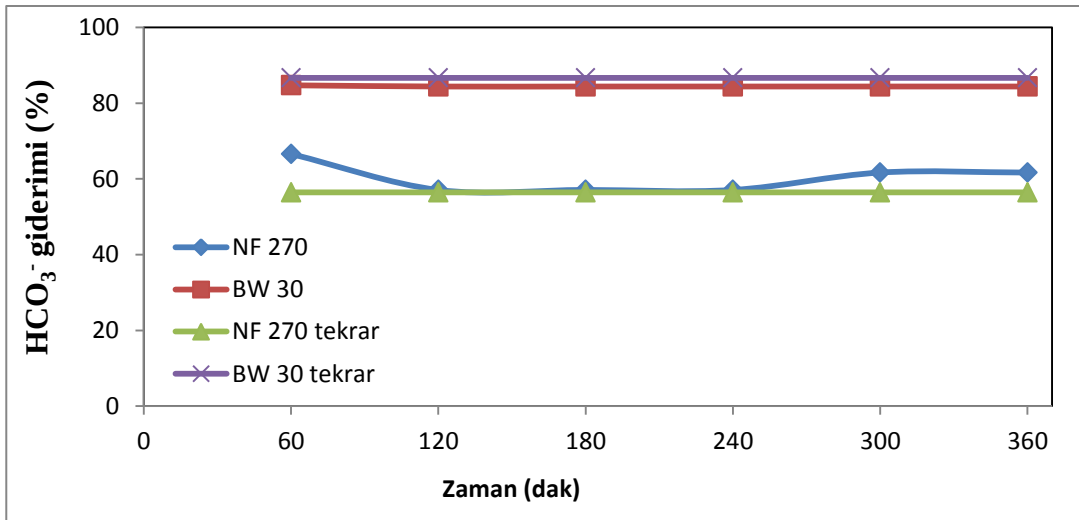
NO_2^- iyonu giderimine ait grafik Şekil 4.42’de verilmiştir. RO membranına ait NO_2^- iyonu giderimi, NF membranına göre daha yüksek bulunmuştur. Ortalama NO_2^- iyonu giderimi 15 bar uygulama basıncı altında NF270 membranı için %33.3 iken, BW30 membranı için bu değer %91.5’dir.



Şekil 4.42 Membranlara ait zamana karşı NO_2^- iyonu giderimleri (15 bar)

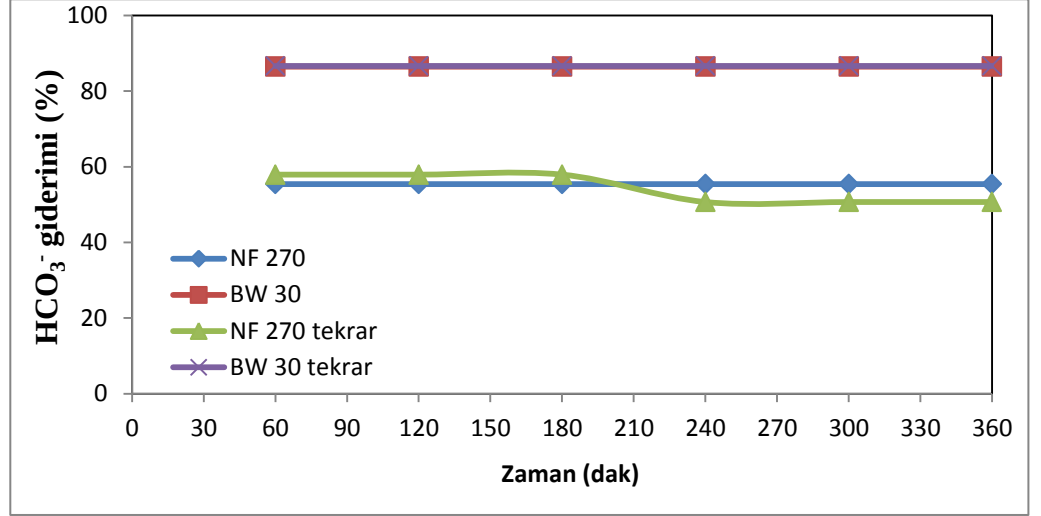
NF/RO membranlarının HCO_3^- iyonu giderimleri

Diğer tek değerlikli iyonlarda olduğu gibi, NF270 membranı HCO_3^- iyonu gideriminde de yüksek giderim göstermiştir. Şekil 4.43’da membranlara ait 10 bar’da elde edilen HCO_3^- iyonu giderimleri verilmiştir. Ortalama HCO_3^- iyonu giderimi NF270 membranı için %58.3, BW30 membranı için %85.6’dır.



Şekil 4.43 Membranlara ait zamana karşı HCO_3^- iyonu giderimleri (10 bar)

Diğer tek değerlikli iyonlarda olduğu gibi, NF270 membranı HCO_3^- iyonu gideriminde de yüksek giderim göstermiştir. Şekil 4.44’de membranlara ait 10 bar’da elde edilen HCO_3^- iyonu giderimleri verilmiştir. Ortalama HCO_3^- iyonu giderimi NF270 membranı için %54.9, BW30 membranı için %86.6’dır.

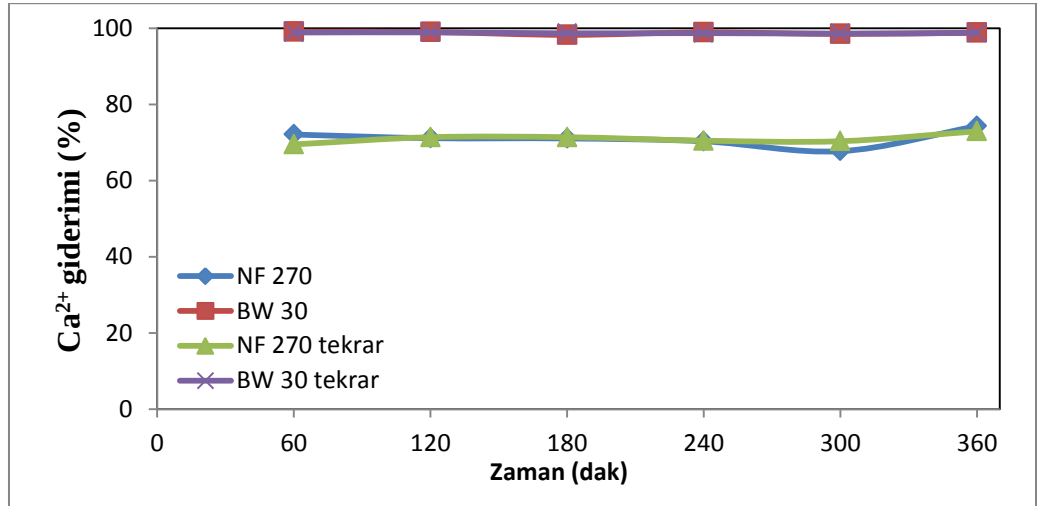


Şekil 4.44 Membranlara ait zamana karşı HCO_3^- iyonu giderimleri (15 bar)

NF/RO membranlarının multivalent iyon giderimleri

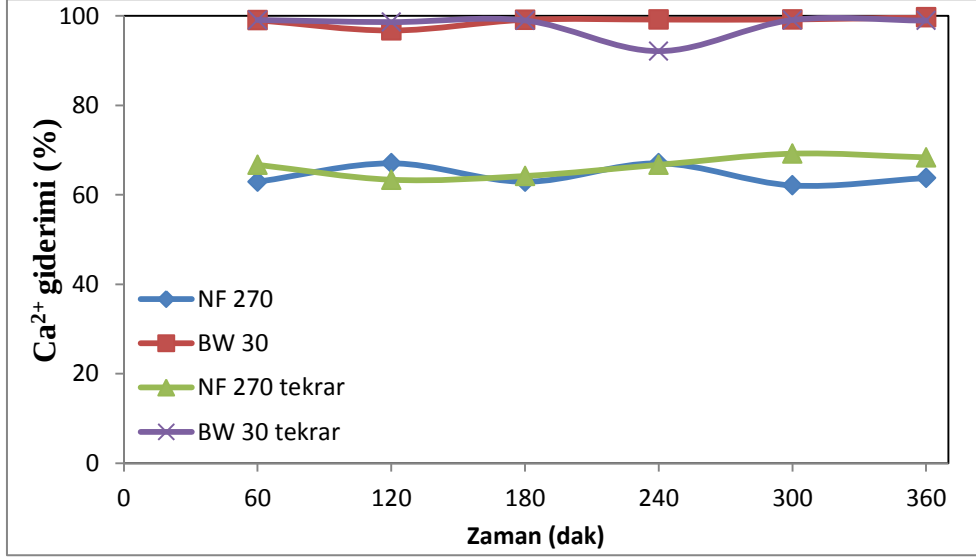
NF/RO membranlarının Ca^{2+} iyonu giderimleri

Şekil 4.45’de membranlara ait Ca^{2+} iyonu giderimleri verilmiştir. NF membranları ile çift değerlikli iyonların giderimi 10 bar’da %90-98 arasındadır. Yaptığımız çalışmada, Ca^{2+} iyonu giderimi NF270 membranı için %71.2, BW30 membranı için %98.8 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.45 Membranlara ait zamana karşı Ca^{2+} iyonu giderimleri (10 bar)

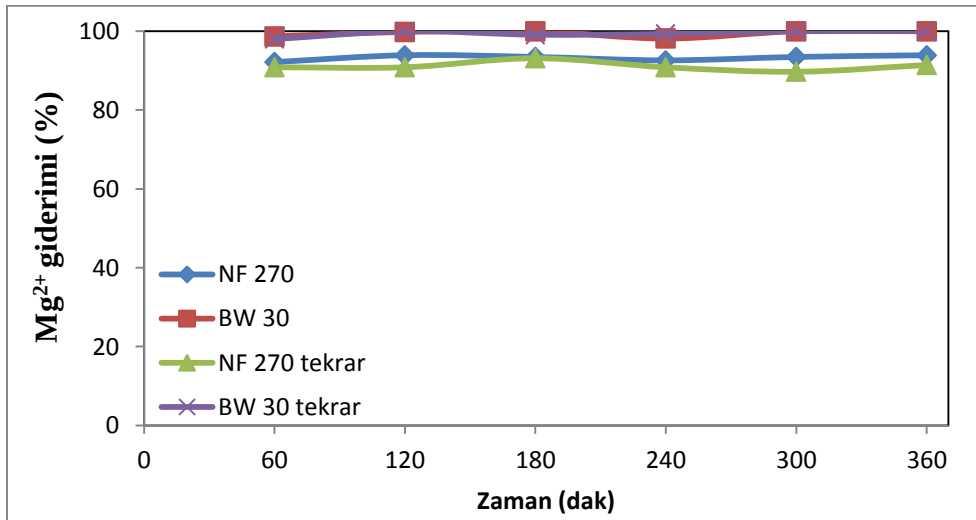
Şekil 4.46'de membranlara ait Ca^{2+} iyonu giderimleri verilmiştir. NF membranları ile çift değerlikli iyonların giderimi 15 bar'da %90-98 arasındadır. Yaptığımız çalışmada, Ca^{2+} iyonu giderimi NF270 membranı için %65.4, BW30 membranı için %98.3 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.46 Membranlara ait zamana karşı Ca^{2+} iyonu giderimleri (15 bar)

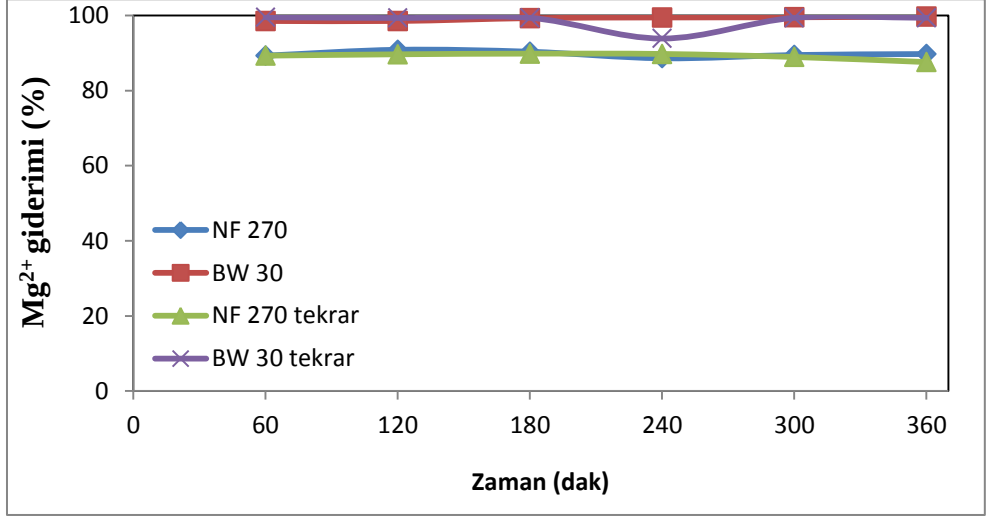
NF/RO membranlarının Mg^{2+} iyonu giderimleri

Mg^{2+} iyonu gideriminde her iki membran içinde yüksek giderim elde edilmiştir. Şekil 4.47'de membranlara ait 10 bar'da Mg^{2+} iyonu giderimleri verilmiştir. NF270 membranı için %92.2 ve BW30 membranı için %99.4 düzeyinde Mg^{2+} giderimi elde edilmiştir.



Şekil 4.47 Membranlara ait zamana karşı Mg^{2+} iyonu giderimleri (10 bar)

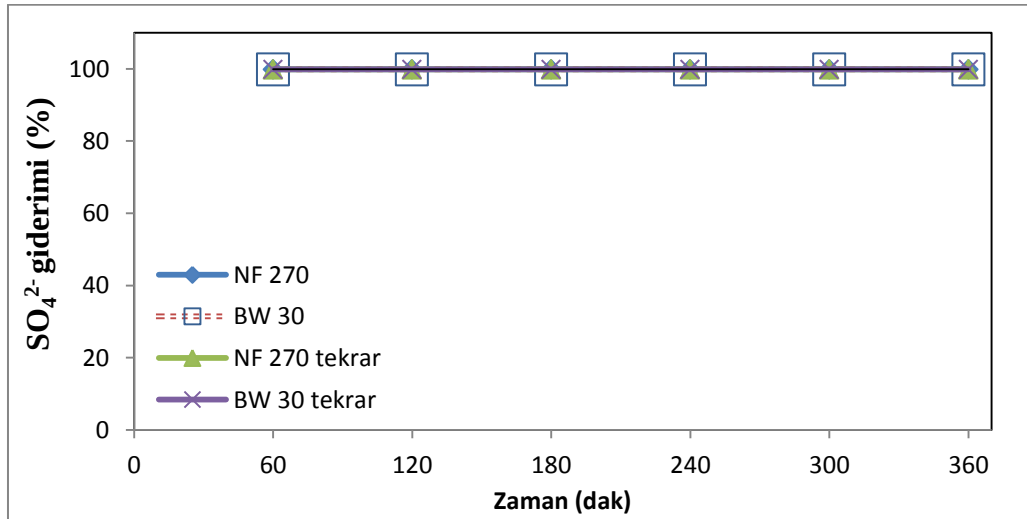
Mg^{2+} iyonu gideriminde her iki membran ile yüksek giderim elde edilmiştir. Şekil 4.48’de membranlara ait 15 bar’da zamana karşı Mg^{2+} iyonu giderimleri verilmiştir. NF270 membranı için %89.4 ve BW30 membranı için %98.8 düzeyinde Mg^{2+} giderimi elde edilmiştir.



Şekil 4.48 Membranlara ait zamana karşı Mg^{2+} iyonu giderimleri (15 bar)

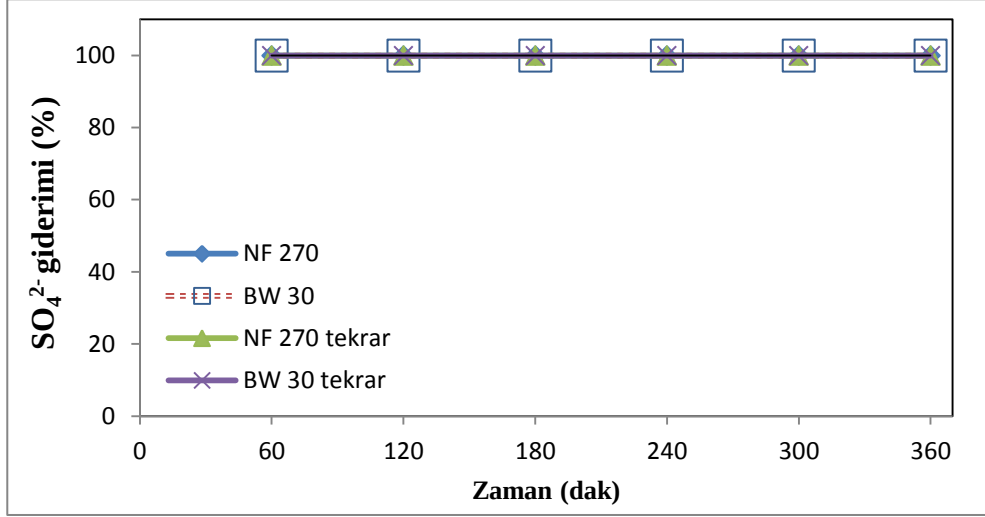
NF/RO membranlarının SO_4^{2-} iyonu giderimleri

Mg^{2+} ve Ca^{2+} iyonlarında olduğu gibi çift değerlikli anyon olan SO_4^{2-} iyonunda da giderim, her iki membran için yüksek bulunmuştur. Şekil 4.49’da membranlara ait SO_4^{2-} iyonu giderimi verilmiştir. NF270 ve BW30 membranları için 10 bar’da elde edilen ortalama SO_4^{2-} iyonu giderimi %99.9’un üzerindedir.



Şekil 4.49 Membranlara ait zamana karşı SO_4^{2-} iyonu giderimleri (10 bar)

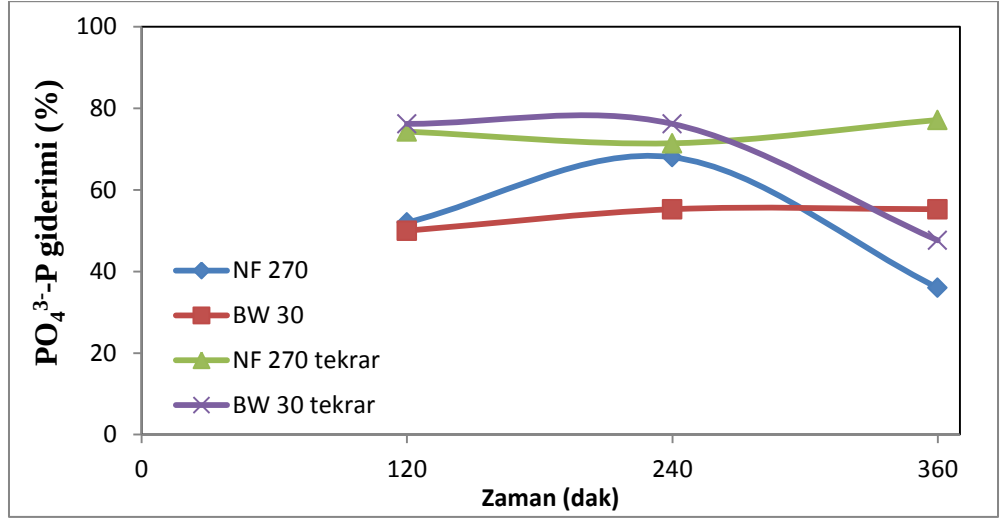
Mg^{2+} ve Ca^{2+} iyonlarında olduğu gibi çift değerlikli anyon olan SO_4^{2-} iyonunda da giderim her iki membran için yüksek bulunmuştur. Şekil 4.50’de membranlara ait 15 bar’da elde edilen SO_4^{2-} iyonu giderimi verilmiştir. NF270 ve BW30 membranları için 15 bar’da elde edilen ortalama SO_4^{2-} iyonu giderimi %99.9’un üzerindedir.



Şekil 4.50 Membranlara ait zamana karşı SO_4^{2-} iyonu giderimleri (15 bar)

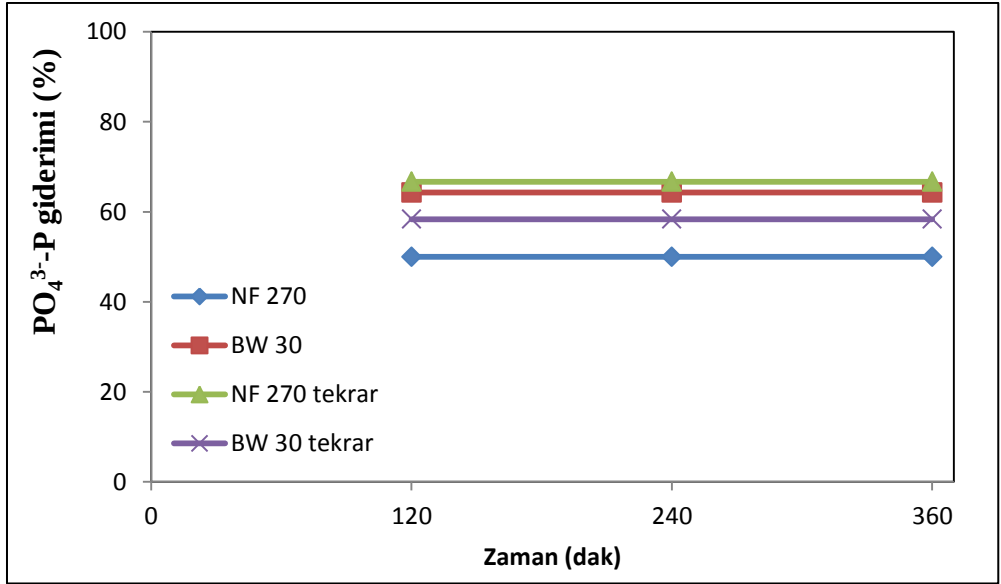
NF/RO membranlarının PO_4^{3-} iyonu giderimleri

Şekil 4.51’de 10 bar’da elde edilen membranlara ait zamana karşı PO_4^{3-} iyonu giderimi verilmiştir. Çalışma süresi boyunca her iki membran için de PO_4^{3-} 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 10 bar’da ortalama PO_4^{3-} giderimi NF270 ve BW30 membranları için sırasıyla %63.1 ve %60.1’dir.



Şekil 4.51 Membranlara ait zamana karşı PO_4^{3-} iyonu giderimleri (10 bar)

Şekil 4.52’de 15 bar basınç altında membranlara ait PO_4^{3-} iyonu giderimi verilmiştir. Çalışma süresi boyunca her iki membran için de PO_4^{3-} ’u değeri 0.05 mg/L’nin altında ölçülmüştür. Dolayısıyla membranlara ait PO_4^{3-} iyonu gideriminin ölçülen değerlerden daha yüksek olduğu düşünülebilir. Şekil 4.52’ye göre 15 bar’da ortalama PO_4^{3-} giderimi NF270 ve BW30 membranları için sırasıyla %58.3 ve %61.3’dir.

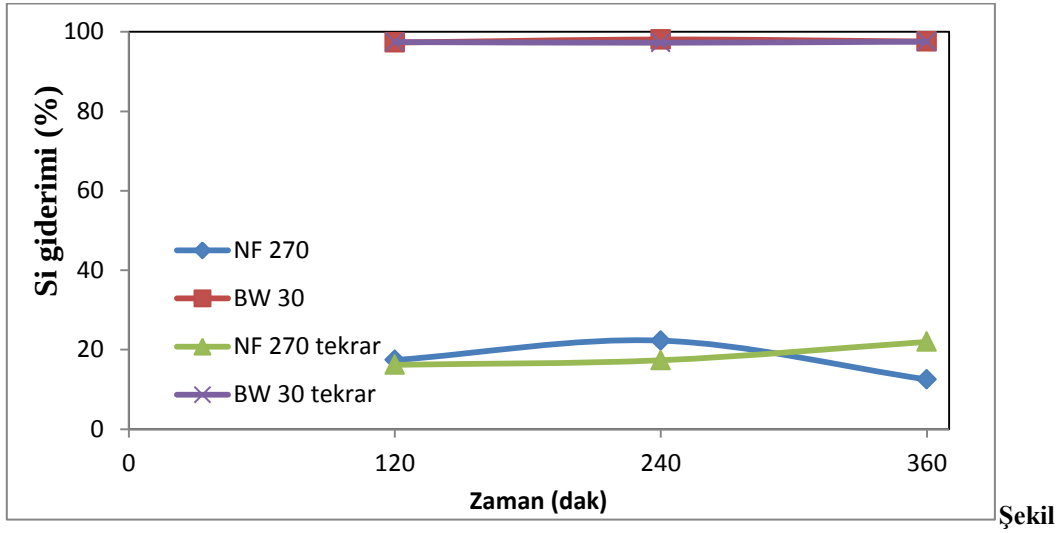


Şekil 4.52 Membranlara ait zamana karşı PO_4^{3-} iyonu giderimleri (15 bar)

NF/RO membranlarının diğer madde giderimleri

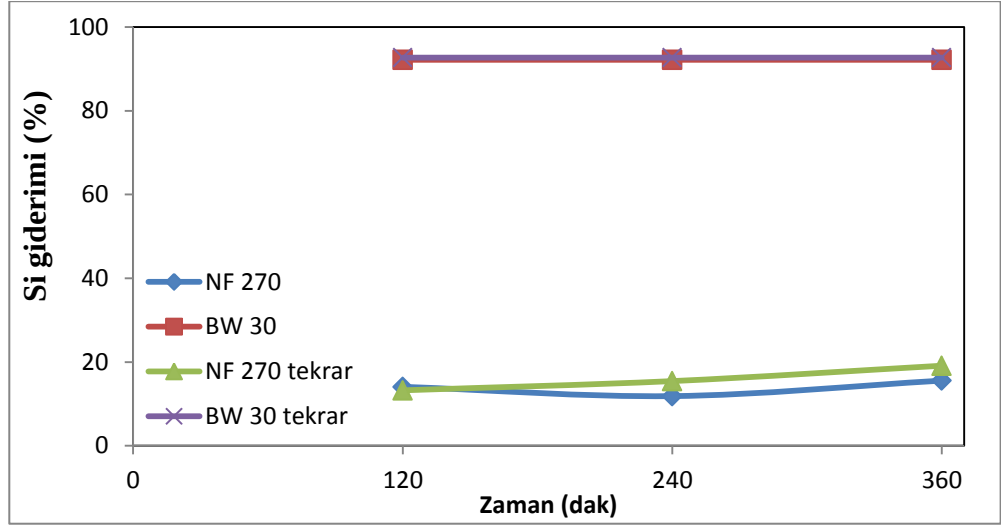
NF/RO membranlarının silisyum giderimleri

NF270 ve BW30 membranlarına ait 10 bar'da elde edilen zamana karşı silisyum giderimi Şekil 4.53'de verilmiştir. Çalışma süresi boyunca her iki membran içinde silisyum giderimi çok farklılık göstermemiştir. Ortalama silisyum giderimi NF270 ve BW30 membranları için sırasıyla %17.9 ve %97.5 olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.53 Membranlara ait zamana karşı silisyum giderimleri (10 bar)

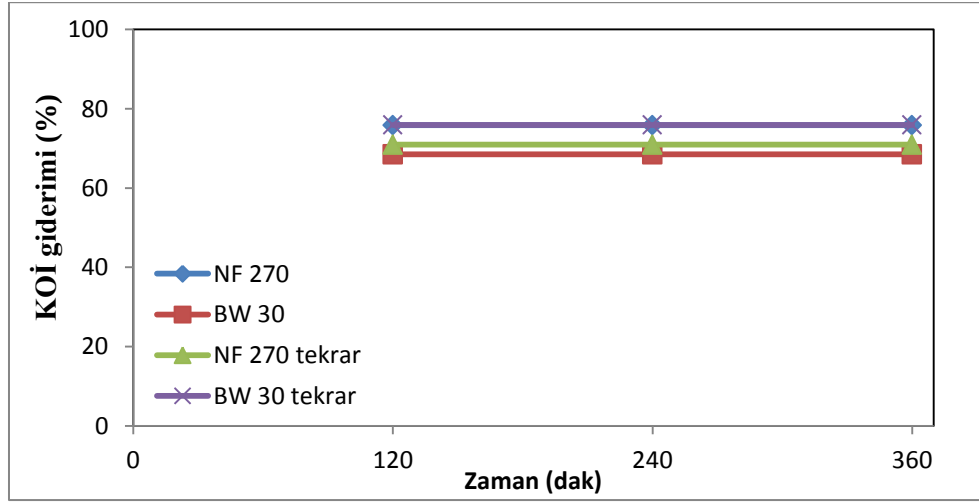
NF270 ve BW30 membranlarına ait 15 bar'da elde edilen silisyum giderimi Şekil 4.54'de verilmiştir. Çalışma süresi boyunca her iki membran içinde silisyum giderimi çok farklılık göstermemiştir. Ortalama silisyum giderimi NF270 ve BW30 membranları için sırasıyla %14.8 ve %92.4 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.54 Membranlara ait zamana karşı silisyum giderimleri (15 bar)

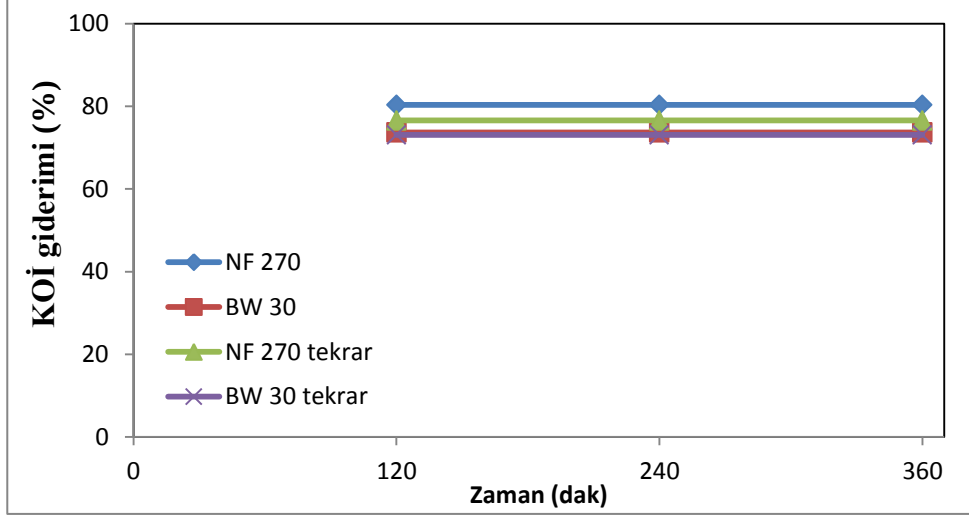
NF/RO membranlarının KOİ giderimleri

Her iki membran için KOİ giderimi 10 bar uygulama basıncında zamana karşı değişim göstermemiş, çalışma süresi boyunca KOİ değeri 4 mg/L'nin altında ölçülmüştür. Dolayısıyla KOİ gideriminin Şekil 4.55'de verilen değerlerden daha yüksek olabileceği düşünülebilir.



Şekil 4.55 Membranlara ait zamana karşı KOİ giderimleri (10 bar)

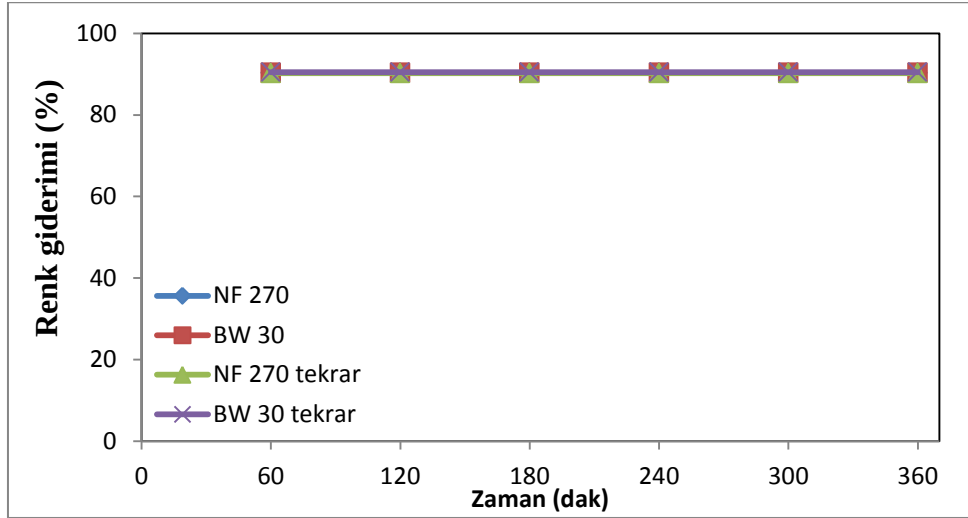
Her iki membran için KOİ giderimi 15 bar uygulama basıncında zamana karşı değişim göstermemiş, çalışma süresi boyunca KOİ değeri 4 mg/L'nin altında ölçülmüştür. Dolayısıyla KOİ gideriminin Şekil 4.56'de verilen değerlerden daha yüksek olabileceği düşünülebilir.



Şekil 4.56 Membranlara ait zamana karşı KOİ giderimleri (15 bar)

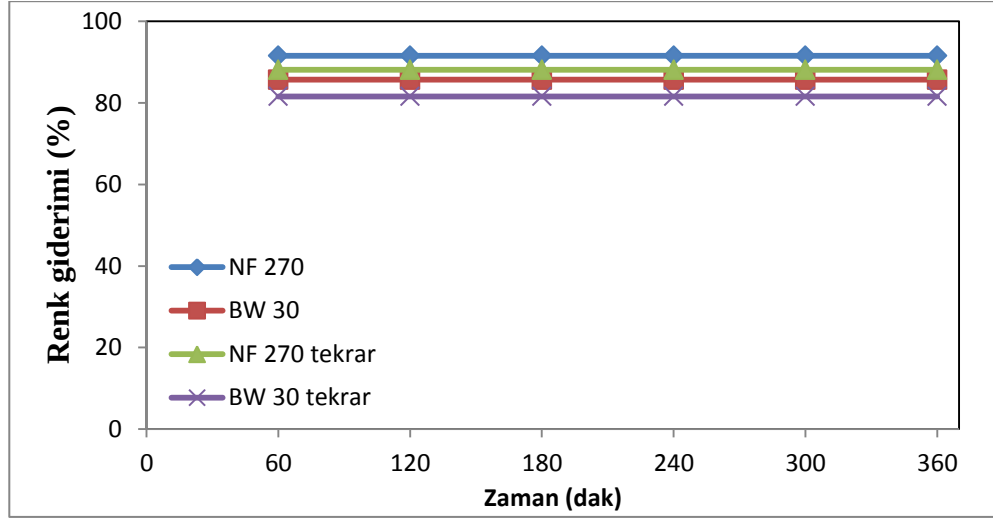
NF/RO membranlarının renk giderimleri

Şekil 4.57’de membranlara ait renk giderimleri verilmiştir. 10 bar’da elde edilen ortalama renk giderimi NF270 membranı için %90.3, BW30 membranı için %90.4 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.57 Membranlara ait zamana karşı renk giderimleri (10 bar)

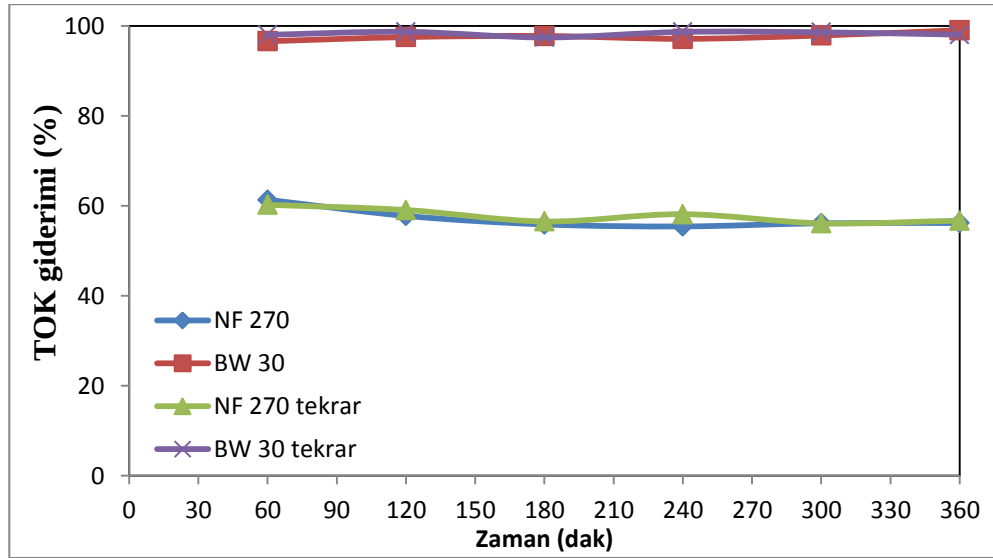
Şekil 4.58’de membranlara ait renk giderimleri verilmiştir. 15 bar’da elde edilen ortalama renk giderimi NF270 membranı için %89.9, BW30 membranı için %83.6 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.58 Membranlara ait zamana karşı renk giderimleri (15 bar)

NF/RO membranlarının TOK giderimleri

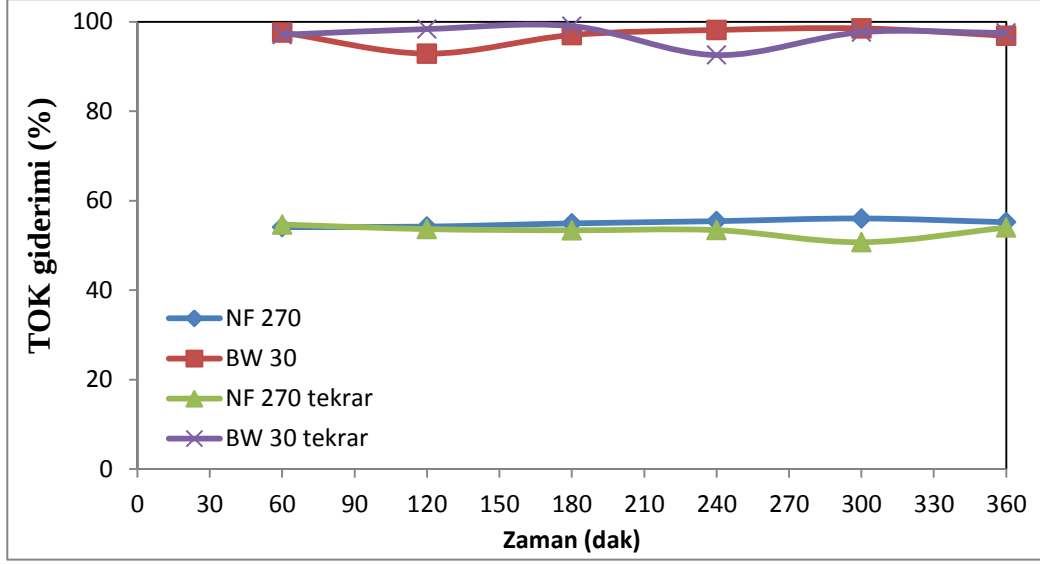
Şekil 4.59’da membranların 10 bar’da elde edilen TOK giderimleri verilmiştir. Her iki membran için de TOK giderimi çalışmanın başlangıcından itibaren artış göstermiştir. TOK giderimi en yüksek seviyeye ulaştıktan sonra bir azalma göstermiş ve dengeye gelmiştir. Ortalama giderim NF270 membranı için %57.5, BW30 membranı için %98.0’dır.



Şekil 4.59 Membranlara ait zamana karşı TOK giderimleri (10 bar)

Şekil 4.60’da 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

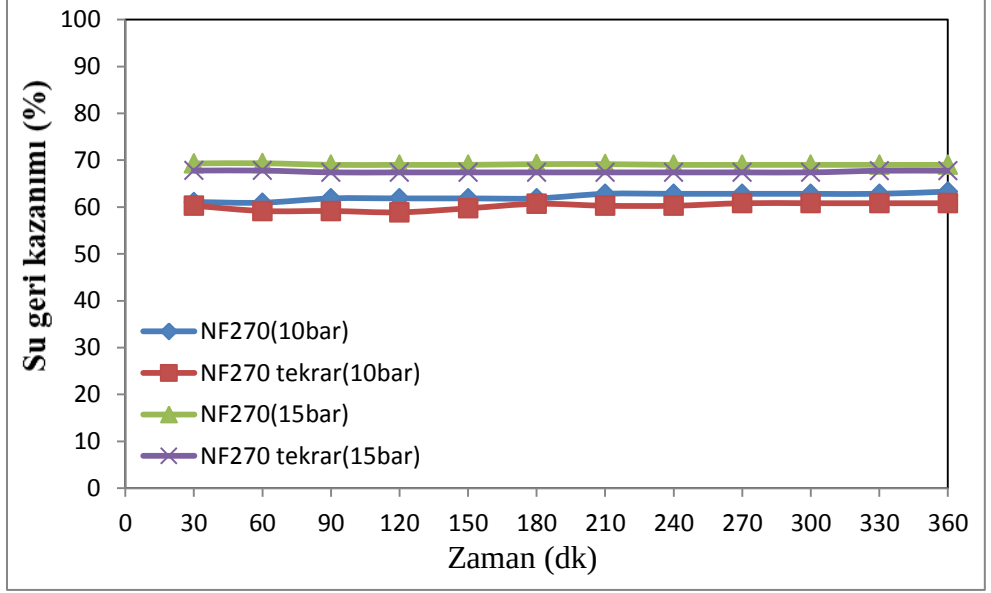
azalma göstermiş ve dengeye gelmiştir. Ortalama giderim NF270 membranı için %54.1, BW30 membranı için %96.9 'dur.



Şekil 4.60 Membranlara ait zamana karşı TOK giderimleri (15 bar)

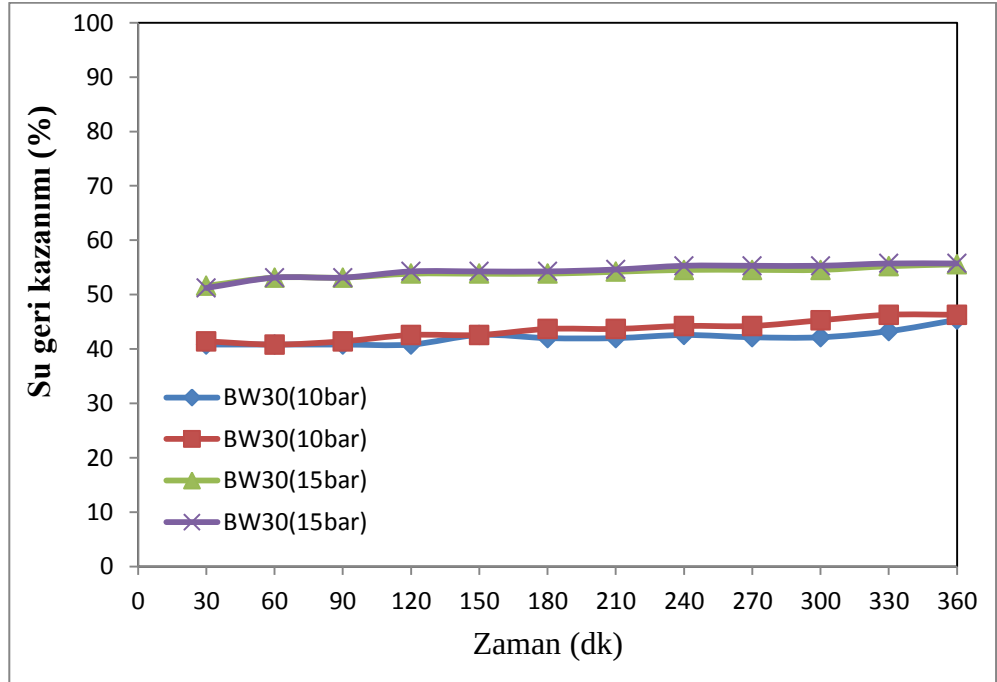
NF/RO membranlarının atıksu geri kazanımları

NF270 membrannına ait 10 ve 15 bar'da elde edilen su geri kazanım değerleri Şekil 4.61'de verilmiştir. Her iki membranla yapılan çalışmada konsantre akıları sabit tutulmuştur. Şekil 4.61'de görüldüğü gibi; NF270 membranında 15 bar'da elde edilen su geri kazanımı 10 bar'da elde edilenden daha yüksek bulunmuştur. 10 bar'da elde edilen ortalama su geri kazanımı NF270 membranı için %62.1, 15 bar'da ise %68.4'dür.



Şekil 4.61 Membranlara ait zamana karşı su geri kazanımı

BW30 membranı için 10 ve 15 bar'da elde edilen su geri kazanım değerleri Şekil 4.62 'de verilmiştir. Şekil 4.62'de görüldüğü gibi; BW30 membranı için 15 bar'da elde edilen su geri kazanımı 10 bar'da elde edilen değerden daha yüksek bulunmuştur. 10 bar'da elde edilen ortalama su geri kazanımı BW30 membranı için %45.8, 15 bar'da ise %55.6'dır.



Şekil 4.62 Membranlara ait zamana karşı su geri kazanımı

Basınç etkisinin incelendiği çalışmaya ait elde edilen ürün suyun özellikleri ile sulama suyunun kimyasal kalitesinin değerlendirilmesi için geliştirilmiş parametrelerle karşılaştırılması Tablo 4.3’de, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY) ile sulama suyu standartlarıyla karşılaştırılması Tablo 4.4 ve 4.5’de verilmiştir.

10 bar ve 15 bar’da yapılan çalışmaların sonuçları karşılaştırıldığında giderim verimleri bakımından çok büyük farklılıklar gözlenmemiştir. Asıl değişim süzüntü akıları ve buna bağlı olarak su geri kazanımında edile edilmiştir. Çalışmaların yapıldığı 10 bar’da ortalama süzüntü akısı ve su geri kazanımı değerleri sırasıyla NF270 membranı için 84 L/hm² ve %62, BW30 membranı için 40 L/hm² ve %45’dir. 15 bar’da ise bu değerler artış göstermiş, süzüntü akısı ve su geri kazanım oranı NF270 membranı için 121 L/hm² ve %68’a, BW30 membranı için 65 L/hm² ve %55’e çıkmıştır. Dolayısıyla uygulama basıncının artmasıyla birlikte, süzüntü akısı ve atıksu geri kazanımı da artmıştır.

Tablo 4.3 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			
						Geçirgenlik	Tuzluluk	Özgül İyon toksisitesi	
								Na	Cl
NF270 (10 bar)	7.90	60	564	1.03	2.06	1.sınıf su	2. sınıf su	3.sınıf Y	3. sınıf Y,D
NF270 (15 bar)	13.46	335	71	1.03	2.07	2.sınıf su	2. sınıf su	3.sınıf Y	1. sınıf Y,D
BW30 (10 bar)	3.79	11	57	0.02	0.05	3.sınıf su	1. sınıf su	3.sınıf Y	1. sınıf Y,D
BW30 (15 bar)	0.84	4	14	0.03	0.06	3.sınıf su	1. sınıf su	2.sınıf Y	1. sınıf Y,D

(Y: Yüzey sulaması; D: Damlatmalı sulama)

Tablo 4. 4 NF270 ve BW30 membranları ile elde edilen ürün suyun özellikleri ve SKKY ile sulama suyu standartlarıyla karşılaştırılması (10 bar)

Parametre	Ürün suyu Özellikleri			(SKKY)	(SKKY)	(SKKY)	SSSD ²
Membran	MBR Çıkış	NF270 (10 Bar)	BW30 (10 bar)	1. sınıf su değerleri	2. sınıf su değerleri	3. sınıf su değerleri	(Ayers 1985, Solak, 2010)
TÇK (mg/L)	1730	1030	20	500	1500	5000	0-2000
İletkenlik (mS/cm)	3.4	2.06	0.05	SB ¹	SB ¹	SB ¹	0-3.00
t (°C)	26.35	26.35	30.7	SB ¹	SB ¹	SB ¹	SB ¹
pH	6.6	6.6	4.9	6.5-8.5	6.5-8.5	6.0-9.0	6.5-8.80
Tuzluluk (psu)	1.7	0.9	0	SB ¹	SB ¹	SB ¹	0-1.94
Bulanıklık (NTU)	0.35	0.1	0.13	SB ¹	SB ¹	SB ¹	0-0.20
Na ⁺ (mg/L)	109.3	60.42	11.5	125	125	250	0-920
Ca ²⁺ (mg/L)	14.63	4.16	0.65	SB ¹	SB ¹	SB ¹	0-400
K ⁺ (mg/L)	3.63	2.28	4.7	SB ¹	SB ¹	SB ¹	0-2.00
Mg ²⁺ (mg/L)	2.3	0.15	0.02	SB ¹	SB ¹	SB ¹	0-60.0
NH ₄ ⁺ -N (mg/L)	0.35	0.24	0.11	0.2	1	2	0-5.00
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	236.3	119.4	241	SB ¹	SB ¹	SB ¹	0-610
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	370	0.5	0.5	200	200	400	0-960
Cl ⁻ (mg/L)	752	564	57.5	25	200	400	0-1065
PO ₄ ³⁻ -P (mg/L)	0.25	0.1	0.12	0.02	0.16	0.65	0-2.00
NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	7.8	6.4	0.8	5	10	20	0-10.0
NO ₂ ⁻ -N (mg/L)	0.16	0.08	0.09	0.002	0.01	0.05	SB ¹
Si (mg/L)	1.84	1.46	0.04	SB ¹	SB ¹	SB ¹	SB ¹
KOİ (mg/L)	16.6	<4.00	<4.00	25	50	70	SB ¹
Renk (Hazen)	10.3	1	1.00	5.00	50	300	SB ¹
TOK (mg/L)	36	15.5	0.73	SB ¹	SB ¹	SB ¹	SB ¹
SAR	17.16	7.90	3.79	SB ¹	SB ¹	SB ¹	SB ¹

¹Standart Belirtilmemiş, ²Sulama suyu standart değerleri

Tablo 4. 5 NF270 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	NF270 (15 Bar)	BW30 (15 bar)				
TÇK (mg/L)	1840	1030	30	500	1500	5000	0-2000
İletkenlik (mS/cm)	3.63	2.07	0.064	SB ¹	SB ¹	SB ¹	0-3.00
t (°C)	31.9	32.2	33.79	SB ¹	SB ¹	SB ¹	SB ¹
pH	7.11	6.75	5.6	6.5-8.5	6.5-8.5	6.0-9.0	6.5-8.80
Tuzluluk (psu)	1.83	0.9	0	SB ¹	SB ¹	SB ¹	0-1.94
Bulanıklık (NTU)	0.35	0.1	0.17	SB ¹	SB ¹	SB ¹	0-0.20
Na ⁺ (mg/L)	566	335	4.39	125	125	250	0-920
Ca ²⁺ (mg/L)	113	41.8	1.7	SB ¹	SB ¹	SB ¹	0-400
K ⁺ (mg/L)	177	62.5	5.45	SB ¹	SB ¹	SB ¹	0-2.00
Mg ²⁺ (mg/L)	21.7	2.38	0.23	SB ¹	SB ¹	SB ¹	0-60.0
NH ₄ ⁺ -N (mg/L)	0.47	0.46	0.22	0.2	1	2	0-5.00
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	232	105	31	SB ¹	SB ¹	SB ¹	0-610
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	625.5	0.5	0.5	200	200	400	0-960
Cl ⁻ (mg/L)	599	71.8	14.3	25	200	400	0-1065
PO ₄ ³⁻ -P (mg/L)	0.12	0.05	0.05	0.02	0.16	0.65	0-2.00
NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	16.7	13.00	2.2	5	10	20	0-10.0
NO ₂ ⁻ -N (mg/L)	0.70	0.43	0.06	0.002	0.01	0.05	SB ¹
Si (mg/L)	1.3	1.2	0.1	SB ¹	SB ¹	SB ¹	SB ¹
KOİ (mg/L)	16.9	<4.00	<4.00	25	50	70	SB ¹
Renk (Hazen)	8.18	1.00	1.00	5.00	50	300	SB ¹
TOK (mg/L)	29.8	14.9	0.82	SB ¹	SB ¹	SB ¹	SB ¹
SAR	12.7	13.5	0.84	SB ¹	SB ¹	SB ¹	SB ¹

¹Standart Belirtilmemiş, ²Sulama suyu standart değerleri

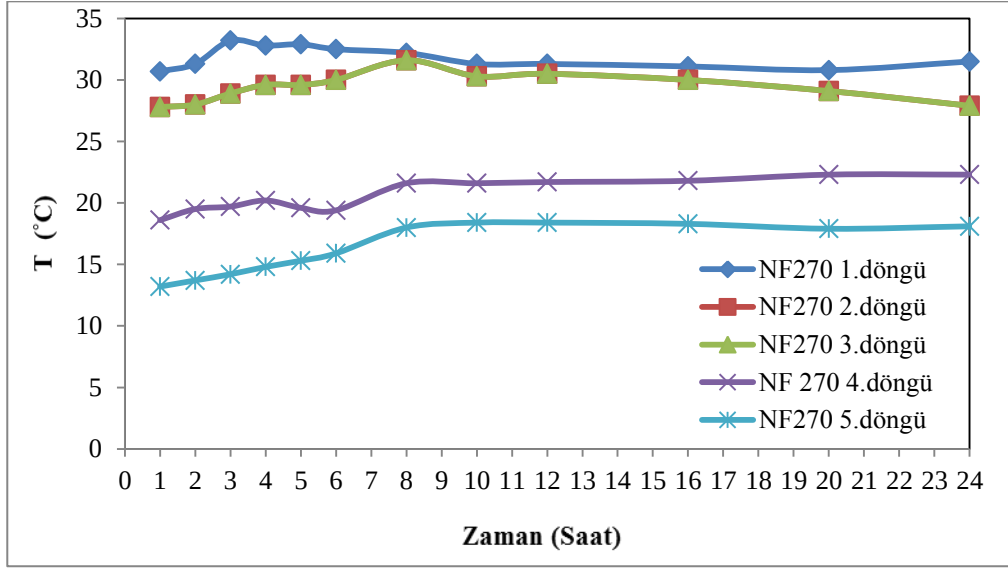
Tablo 4. 6 NF270 ve BW30 membranları ile farklı basınçlardan elde edilen ürün suyun ortalama özelliklerinin karşılaştırılması

Basınç	10 bar		15 bar		10 bar		15 bar	
Membran	NF270	NF270 Giderim (%)	NF270	NF270 Giderim (%)	BW30	BW30 Giderim (%)	BW30	BW30 Giderim (%)
Parametre								
TÇK (mg/L)	1030	39.5	1030	45.3	20	98.3	30	98.2
İletkenlik (mS/cm)	2.06	39.3	2.07	44.6	0.05	98.1	0.06	98.15
t (°C)	26.35	-	32.22	-	30.7	-	33.79	-
pH	6.6	-	6.75	-	4.92	-	5.6	-
Tuzluluk (psu)	0.9	45.5	0.9	52.8	0.00	100	0	100
Bulanıklık (NTU)	0.1	61.4	0.1	72.6	0.13	88.5	0.17	36.8
Na ⁺ (mg/L)	60.4	43.5	335	43.7	11.49	98.5	4.39	99.2
Ca ²⁺ (mg/L)	4.2	71.2	41.8	65.4	0.65	98.8	1.7	98.3
K ⁺ (mg/L)	2.3	39.4	62.5	63.7	4.66	97.3	5.45	96.4
Mg ²⁺ (mg/L)	0.15	92.2	2.4	89.4	0.02	99.4	0.23	98.8
NH ₄ ⁺ -N (mg/L)	0.24	16.9	0.46	17.6	0.11	51.9	0.22	41.4
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	119.4	58.3	105	54.9	241	85.6	31	86.6
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	0.5	99.9	0.5	99.9	0.5	99.9	0.5	99.9
Cl ⁻ (mg/L)	564	21.8	71.8	88.9	57.5	93.3	14.26	97.4
PO ₄ ³⁻ -P (mg/L)	0.10	63.1	0.05	58.3	0.12	60.1	0.05	61.3
NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	6.35	13.5	13.03	24.1	0.8	89.0	2.15	86.8
NO ₂ ⁻ -N (mg/L)	0.08	53.4	0.43	33.3	0.09	87.8	0.06	91.5
Si (mg/L)	1.46	17.9	1.15	14.9	0.04	97.5	0.1	92.4
KOİ (mg/L)	4	73.4	4	78.5	4	71.8	4	73.4
Renk (Hazen)	1	90.3	1	89.6	1	90.4	1	83.6
TOK (mg/L)	15.46	57.5	14.88	54.1	0.73	98.00	0.82	96.9

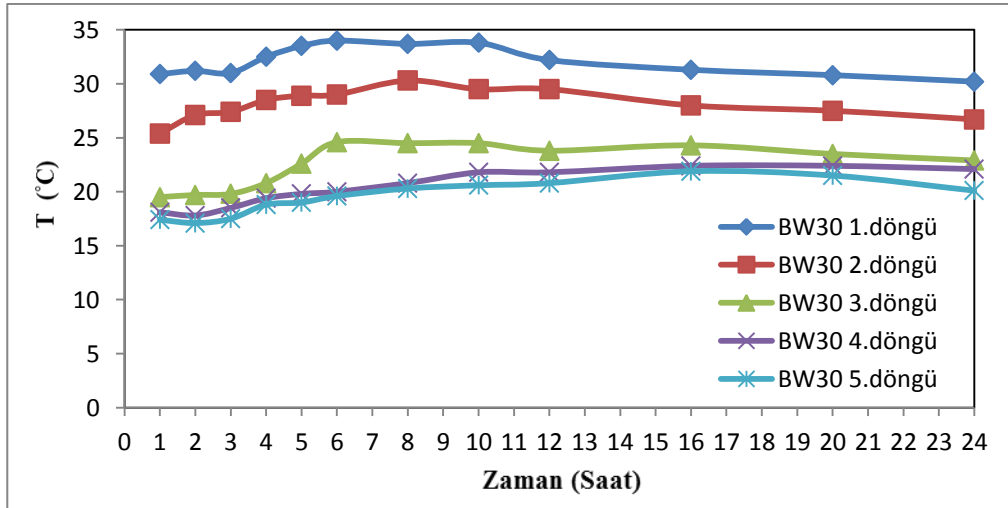
4.2.2. Sürekli Döngü Çalışmaları

Sıcaklık değişimleri

24 saat süreyle kesintisiz olarak gerçekleştirilen sürekli döngü çalışmalarında, membrandan çıkan süzöntü suyu, süzöntü toplama tankında depolanmıştır. İkinci, üçüncü, dördüncü ve beşinci döngü çalışmalarında membranlar asit ve baz ile geri yıkanmıştır. Çalışmalar boyunca zamana bağlı sıcaklık değişimleri Şekil 4.63 ve 4.64’de verilmiştir. Sürekli çalışmada konsantre ve süzöntü suyu tekrardan besleme tankına verilmediğinden, süzöntü suyuna ait sıcaklık değerlerinde aşırı bir artış gözlenmemiştir.



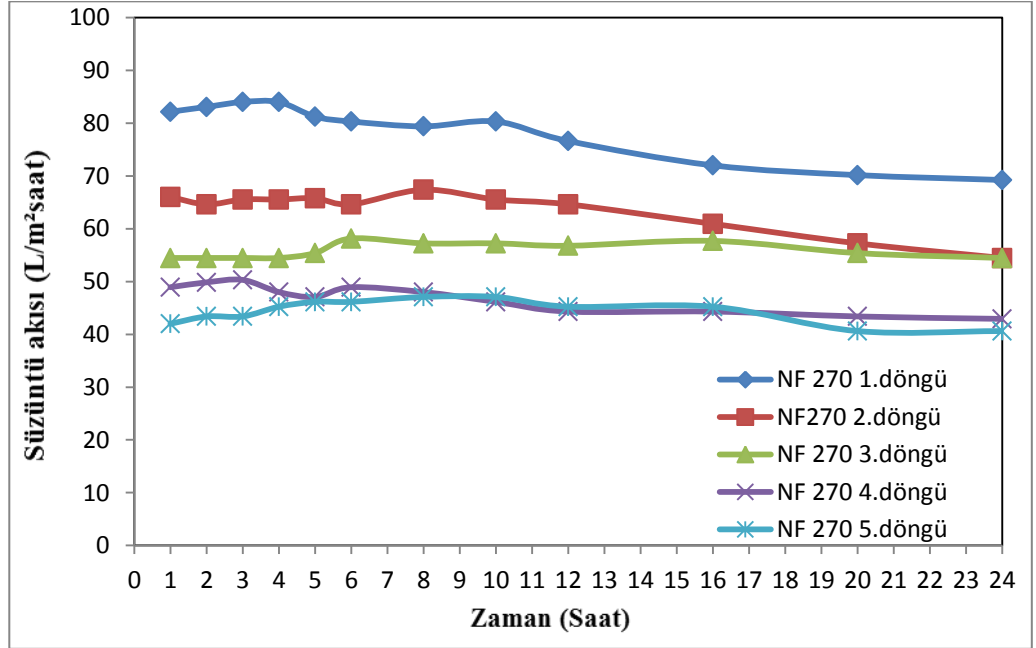
Şekil 4.63 Sürekli döngü çalışmasında zamana karşı sıcaklık değişimleri (NF270)



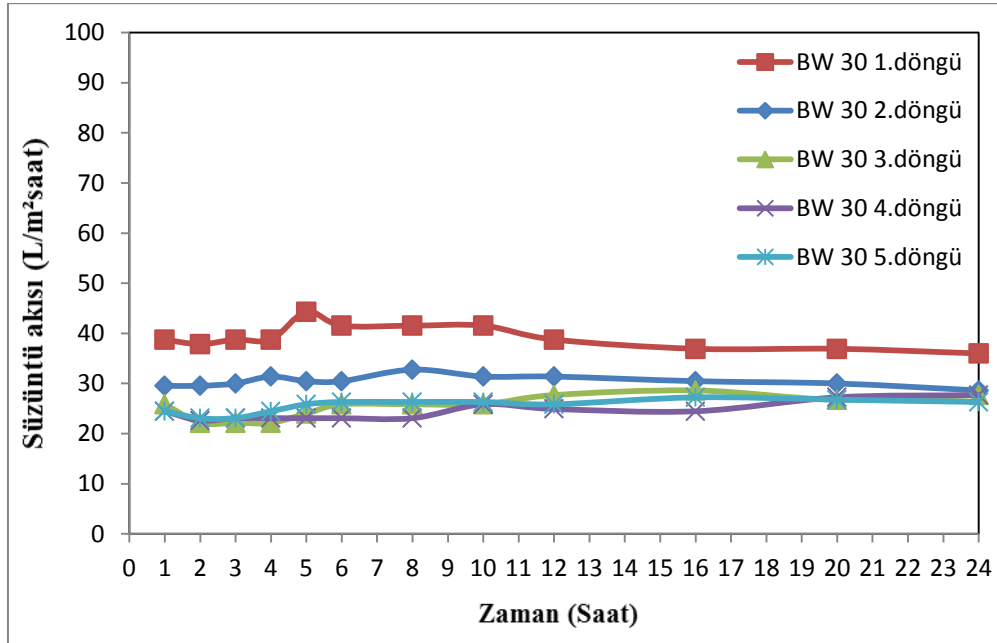
Şekil 4.64 Sürekli döngü çalışmasında zamana karşı sıcaklık değişimleri (BW30)

Süzüntü akı değerleri

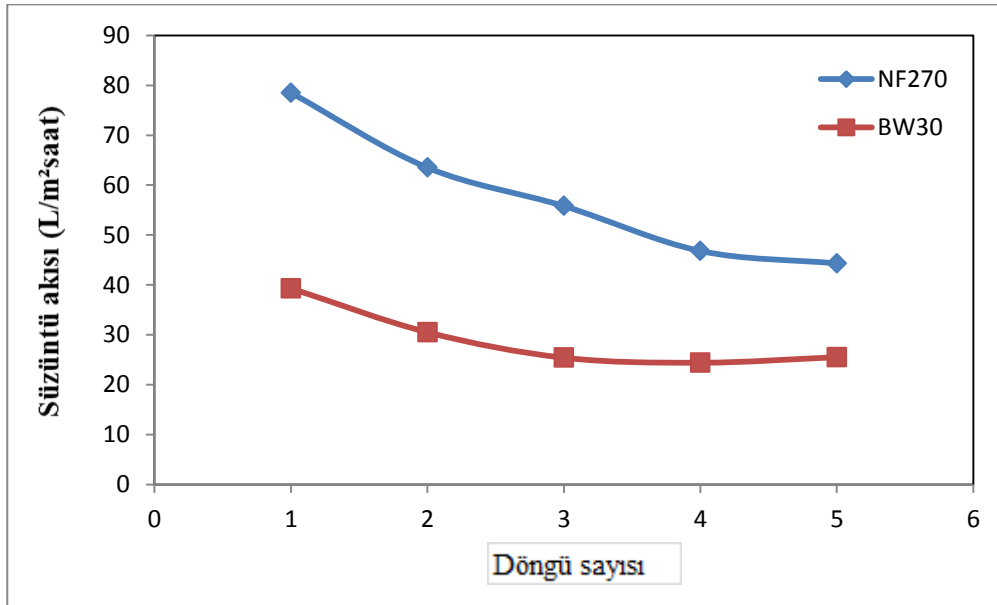
Şekil 4.65 ve 4.66’da sürekli döngü çalışmasına ait süzöntü akı değerleri verilmiştir. Membranların kimyasal yıkamasından sonra yapılan döngü çalışmalarında süzöntü akılarının çok etkisi olmadığı görülmüştür. Ortalama süzöntü akısı NF270 membranı için birinci döngüde 78.54 L/m²saat iken, ikinci döngüde 63.5 L/m²saat, üçüncü döngüde 55.9 L/m²saat, dördüncü döngüde 46.9 L/m²saat ve beşinci döngüde 44.3 L/m²saat olmuştur, BW30 membranı için birinci döngüde 39.31 L/m²saat iken, ikinci döngüde 30.50 L/m²saat, üçüncü döngüde 25.4 L/m²saat, dördüncü döngüde 24.38 L/m²saat ve beşinci döngüde 25.5 L/m²saat olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.67’de ise NF270 ve BW30 membranlarına süzöntü akısının her bir döngü için karşılaştırılması verilmiştir.



Şekil 4.65 Sürekli döngü çalışmasında NF270 membranının süzöntü akısı



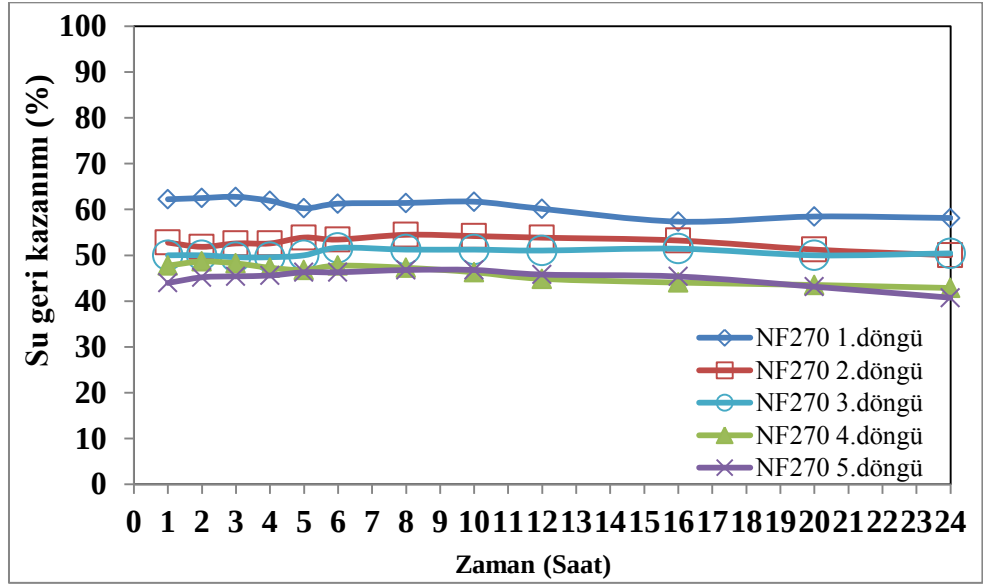
Şekil 4.66 Sürekli döngü çalışmasında BW30 membranının süzöntü akısı



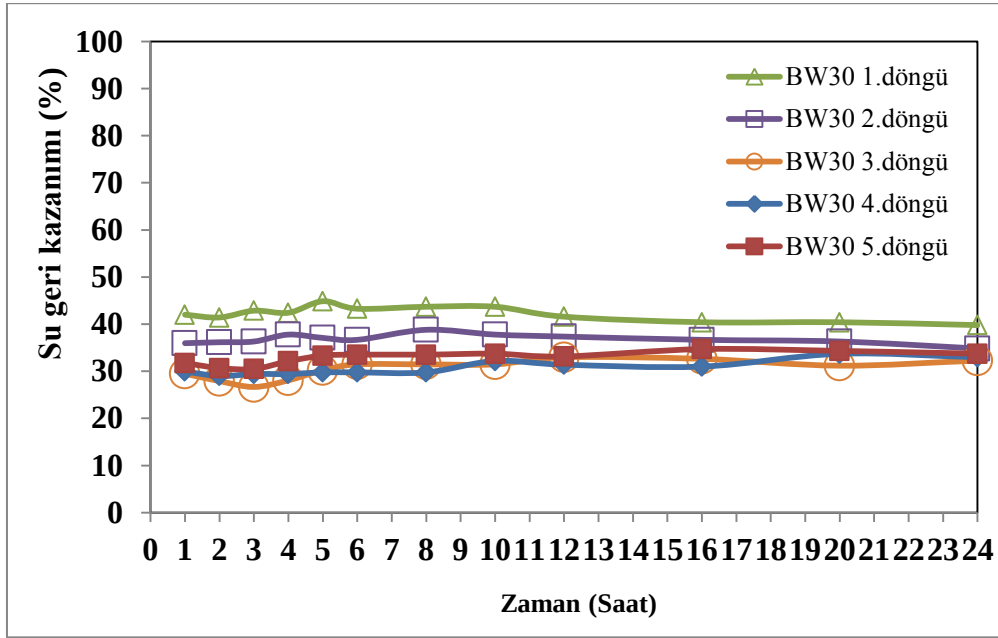
Şekil 4.67 NF270 ve BW30 membranlarına ait süzöntü akılarının döngüsel çalışmalarda değişimi

Sürekli döngü çalışmasına ait atıksu geri kazanımı

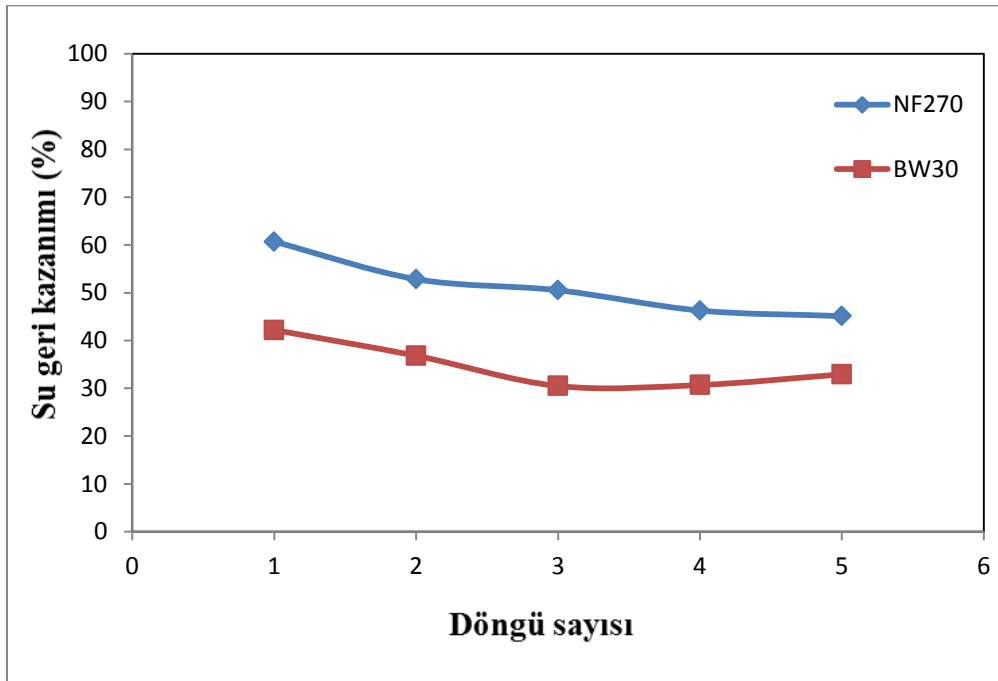
NF270 membranına ait birinci döngüde su geri kazanımı ortalama %60.7 iken, ikinci döngü çalışmasında bu değer %52.8'e üçüncü döngüde %50.5'e dördüncü döngüde %46.3'e ve beşinci döngüde ise %45.1'e azalmıştır. Benzer şekilde BW30 membranına ait ilk çalışmada su geri kazanım oranı %42.2 iken, ikinci döngü çalışmasında bu değer %36.8'e, üçüncü döngü çalışmasında ise %30.5'e dördüncü döngüde %30.7 ve beşinci döngüde %32.9'e düşmüştür. Şekil 4.68 ve 4.69'da her iki membran için gerçekleştirilen sürekli çalışmalara ait atıksu geri kazanımı, Şekil 4.70'de ise NF270 ve BW30 membranlarına ait döngü sayılarına göre suyun geri kazanım değerlerindeki değişimler verilmiştir.



Şekil 4.68 Sürekli döngü çalışmasına ait atıksu geri kazanımları (NF270)



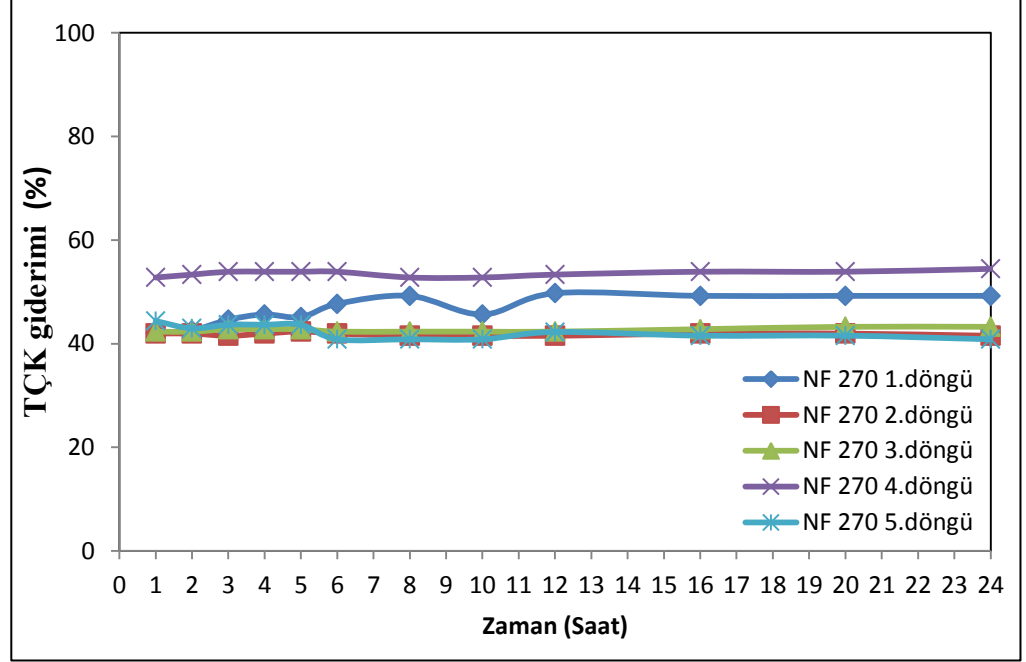
Şekil 4.69 Sürekli döngü çalışmasına ait atıksu geri kazanımları (BW30)



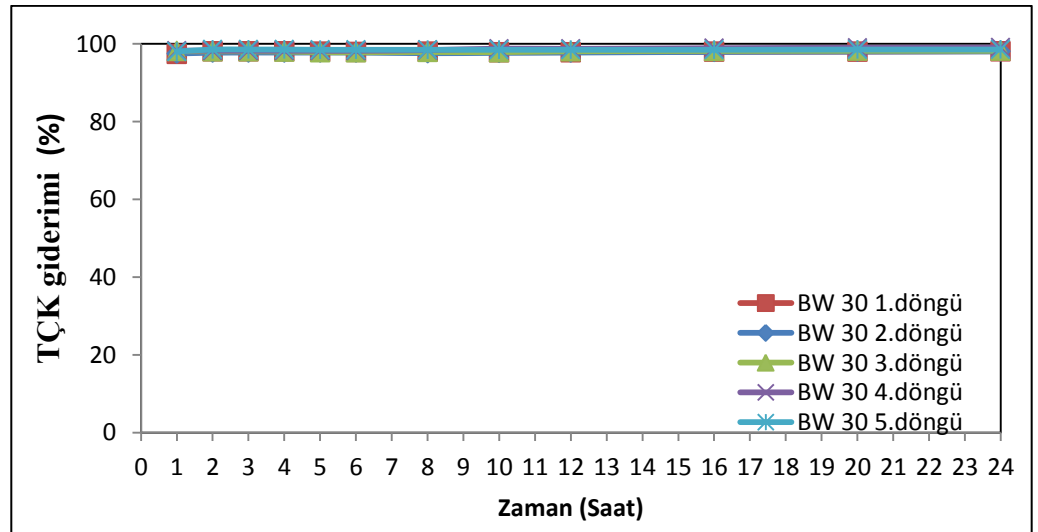
Şekil 4.70 NF270 ve BW30 membranlarına ait atıksu geri kazanım değerlerinin döngüsel çalışmalarda değişimi

Toplam TÇK giderimleri

Şekil 4.71 ve 4.72’de her iki membran için TÇK gideriminin zamana göre değişimi ait değerler verilmiştir. NF270 membranı için birinci ile beşinci döngü sırasıyla TÇK giderimleri %46.7, %41.8, %42.6, %53.6 ve %42.3 BW30 membranı için bu değerler %98, %98, %98, %99 ve %98’ olarak bulunmuştur.



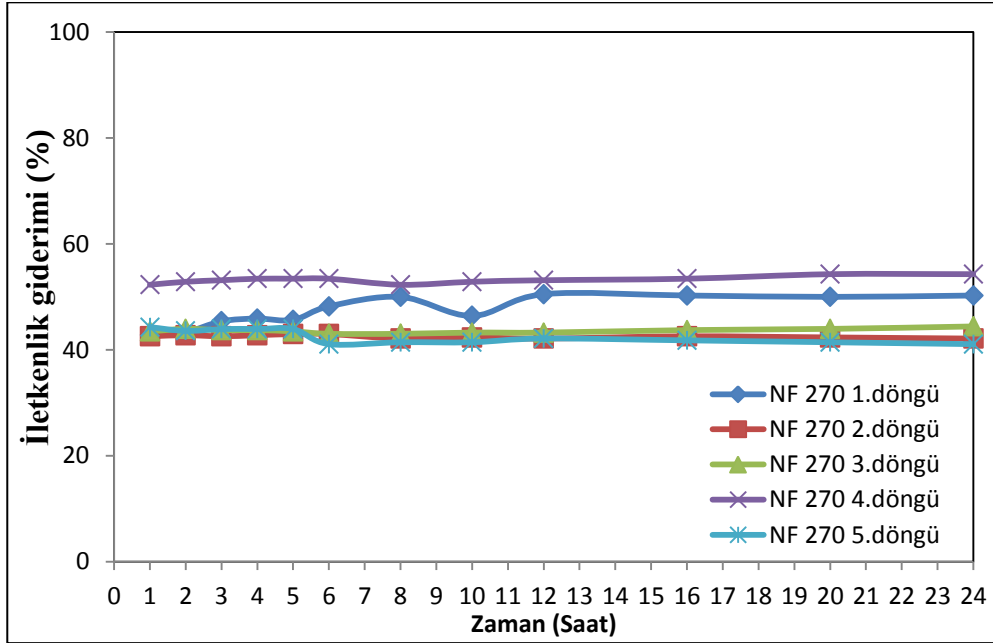
Şekil 4.71 Sürekli döngü çalışmasında zamana karşı TÇK giderimi (NF270)



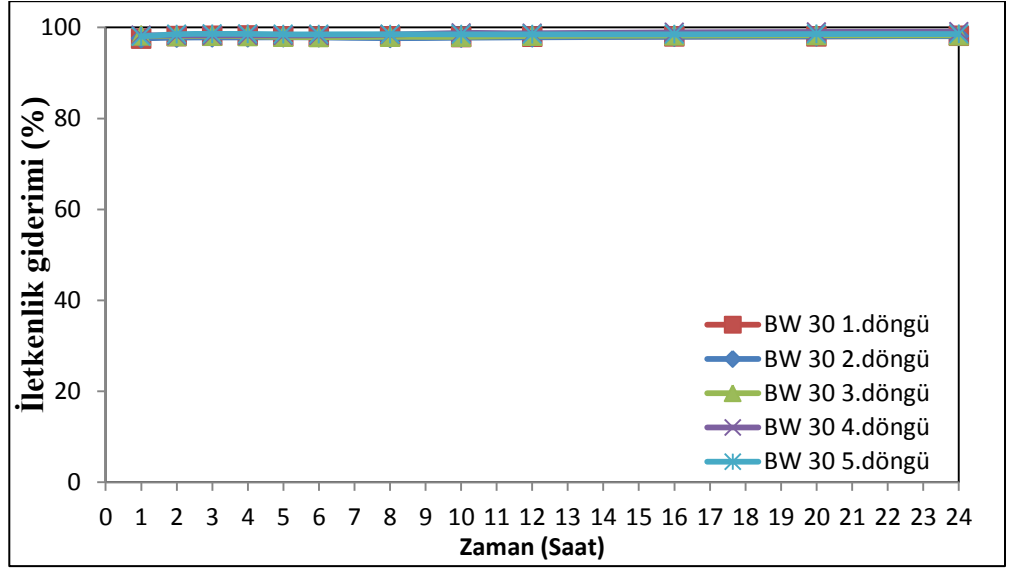
Şekil 4.72 Sürekli döngü çalışmasında zamana karşı TÇK giderimi (BW30)

İletkenlik giderimleri

Şekil 4.73 ve 4.74’de her iki membrana ait iletkenlik gideriminin zamana karşı değişimleri gösterilmiştir. İletkenlik giderimine ait değerler, TÇK giderimi ile benzerlik göstermektedir. Her döngü çalışmasının sonrasında membranların temizlenmesi iletkenlik gideriminde değişime neden olmamıştır. İletkenlik giderimi 1. döngü ve 5. döngü arasında NF270 membranı için sırasıyla %47.4, %43, %44, %53 ve %42.5’de, ve BW30 membranı için da sırasıyla %98, %98, %98, %99 ve %98’ olarak bulunmuştur.



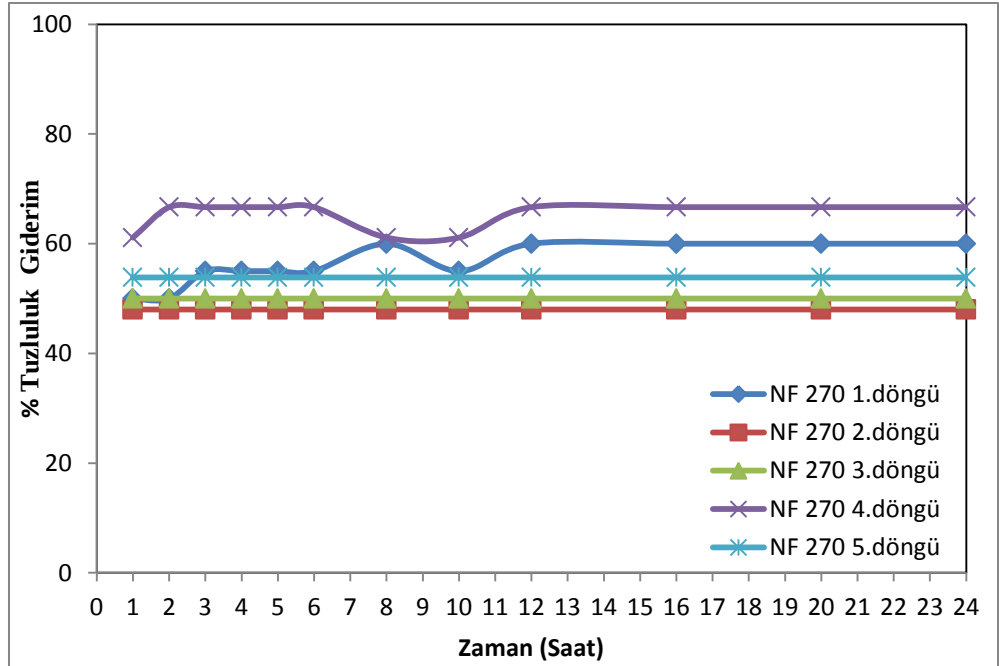
Şekil 4.73 Sürekli döngü çalışmasında zamana karşı iletkenlik giderimi (NF270)



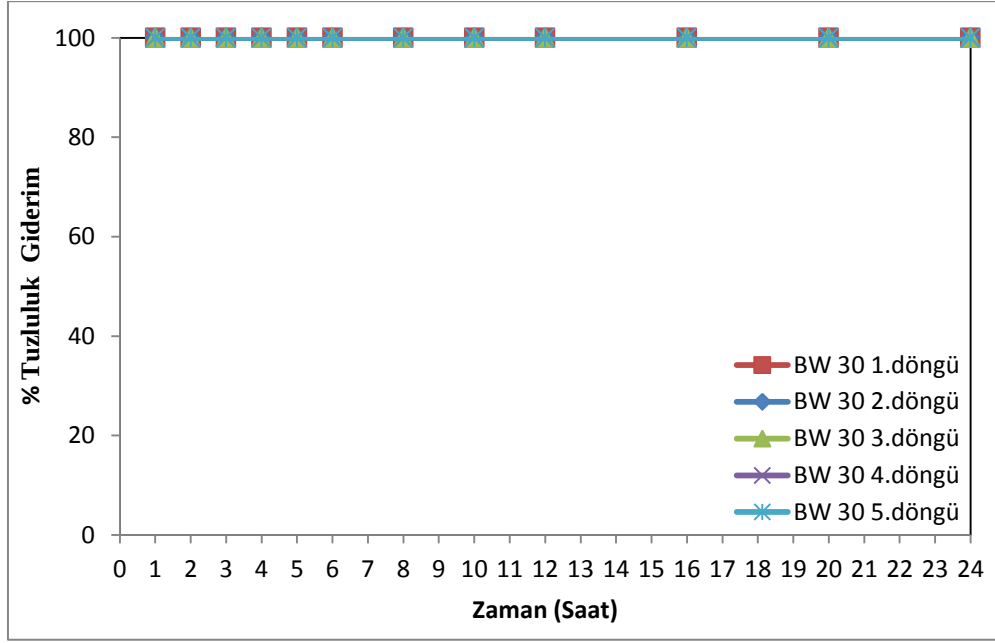
Şekil 4.74 Sürekli döngü çalışmasında zamana karşı iletkenlik giderimi (BW30)

Tuzluluk giderimleri

Diğer çalışmalarda olduğu gibi sürekli döngü çalışmasında da tuzluluğun hemen tamamı BW30 membranından tarafından giderilmiştir. Bu miktar NF270 membranı için 1.döngü ve 5.döngü arasında sırasıyla %56.3, %48, %50, %65 ve %54 olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.75 ve 4.76’da sürekli döngü çalışmasında elde edilen zamana karşı tuzluluk giderimleri verilmiştir.



Şekil 4.75 Sürekli döngü çalışmasında zamana karşı tuzluluk giderimi (NF270)



Şekil 4.76 Sürekli döngü çalışmasında zamana karşı tuzluluk giderimi (BW30)

Sürekli çalışmalarda elde edilen su kalite değerleri

Tablo 4.7 ve 4.8’de, NF270 ve BW30 membranları ile sürekli çalışmada elde edilen su kalite değerleri verilmiştir.

Arazi Gerçekleşen Sürekli Döngü Çalışmalarına İlişkin Sonuçlar

Sürekli döngü çalışmalarında elde edilen ürün suyun özelliklerinin kimyasal kalitesinin değerlendirilmesi için geliştirilmiş parametrelerle karşılaştırılması ve Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY) ile sulama suyu standartlarıyla karşılaştırılması Tablo 4.9 ve 4.10 verilmiştir.

Tablo 4.7 Sürekli döngü çalışmalarında NF270 membranı ile elde edilen ürün suyun kalitesinin değerlendirilmesi

Parametre	NF270 Besleme (1.döngü)	NF270 Süzüntü (1.döngü)	NF270 Besleme (2.döngü)	NF270 Süzüntü (2.döngü)	NF270 Besleme (3.döngü)	NF270 Süzüntü (3.döngü)	NF270 Besleme (4.döngü)	NF270 Süzüntü (4.döngü)	NF270 Besleme (5.döngü)	NF270 Süzüntü (5.döngü)
TÇK (g/L)	1.95	1.04	2.4	1.4	2.2	1.2	1.80	0.83	1.4	0.82
İletkenlik (mS/cm)	3.9	2.00	4.7	2.7	4.3	2.4	3.5	1.6	2.8	1.6
T °C	29.8	31.8	27.8	29.4	21.2	22.4	20.6	20.7	15.0	16.4
pH	7.0	6.7	7.5	7.0	7.4	6.7	7.6	7.0	7.4	7.0
Tuzluluk (psu)	2.0	0.87	2.50	1.3	2.20	1.10	1.80	0.62	1.30	0.60
Bulanıklık (NTU)	0.69	0.19	0.81	0.21	0.73	0.20	0.94	0.25	0.67	0.22
Na ⁺ (mg/L)	279	245	814	478	796	405	186	113	276	152
Ca ²⁺ (mg/L)	11.2	2.1	83.3	13.9	106.0	15.6	162.3	9.7	97.6	14.0
K ⁺ (mg/L)	224	113.4	646.3	305.9	551.0	247.5	177.3	105.8	458.3	265.5
Mg ²⁺ (mg/L)	16.9	3.9	37.2	4.2	37.2	3.7	29.9	2.6	36.2	2.4
NH ₄ -N	0.60	0.36	0.85	0.36	0.13	0.08	0.34	0.15	0.29	0.21
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	277.8	154.5	818	333.7	337.3	125	205.3	113.4	214.8	70.2
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	769.3	<5	459.8	<0.5	499.0	<0.5	429.5	0.50	369.2	<5
Cl ⁻ (mg/L)	498.2	346.5	734.2	564.6	623.2	415.6	125.7	81.0	132.3	87.6
PO ₄ -P (mg/L)	0.17	0.11	0.73	0.34	1.2	0.78	0.34	0.13	0.14	0.08
NO ₃ -N (mg/L)	3.97	3.5	16.1	12.3	59.9	50.5	14.9	12.6	74.3	61.6
NO ₂ -N (mg/L)	0.11	0.05	0.11	0.07	0.20	0.11	0.19	0.11	0.10	0.04
Si (mg/L)	1.6	1.1	1.7	1.3	2.0	1.4	2.7	2.0	2.7	2.0
KOİ (mg/L)	17.6	<4	25.8	<4	18.0	<4	23.3	<4	16.4	<4
Renk (Hazen)	22.7	1.7	35.0	4.5	20.3	1.0	26.0	1.0	14.8	1.0
TOK (mg/L)	34.4	13.8	93.6	23.8	17.6	5.2	107.8	23.9	124.0	4.1

Tablo 4.8 Sürekli döngü çalışmalarında BW30 membranından elde edilen ürün suyun kalitesinin değerlendirilmesi

Parametre	BW30 Besleme (1.döngü)	BW30 Süzüntü (1.döngü)	BW30 Besleme (2.döngü)	BW30 Süzüntü (2.döngü)	BW30 Besleme (3.döngü)	BW30 Süzüntü (3.döngü)	BW30 Besleme (4.döngü)	BW30 Süzüntü (4.döngü)	BW30 Besleme (5.döngü)	BW30 Süzüntü (5.döngü)
TÇK (g/L)	1.97	0.04	2.42	0.05	2.25	0.04	1.81	0.03	1.58	0.02
İletkenlik (mS/cm)	3.94	0.08	4.84	0.11	4.50	0.09	3.56	0.05	3.11	0.05
T °C	29.93	32.09	26.10	28.15	20.54	22.54	19.29	20.41	18.56	19.55
pH	7.18	4.96	7.53	5.90	7.50	5.63	7.41	5.26	7.05	4.83
Tuzluluk (psu)	2.01	0	2.55	0	2.34	0	1.78	0	1.50	0
Bulanıklık (NTU)	0.96	0.16	0.98	0.17	0.97	0.17	1.14	0.38	0.81	0.25
Na ⁺ (mg/L)	389	3.63	651	4.64	1208	17.1	183	0.97	197	4.42
Ca ²⁺ (mg/L)	10.03	0.04	95.87	0.39	118.13	0.50	184.37	0.30	89.7	0.24
K ⁺ (mg/L)	340	6.13	590	11.6	629.7	14.3	329	8.13	630	14.30
Mg ⁺² (mg/L)	3.20	0.00	41.5	0.00	45.6	0.00	32	0.02	29	0.00
NH ₄ -N	0.49	0.16	0.43	0.15	0.33	0.16	0.32	0.07	0.83	0.46
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	273	41.7	766.5	50.8	421	31	196	12	81	12
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	743	7.11	478	1.19	433	6.04	403	5.17	443	0.50
Cl ⁻ (mg/L)	632	2.32	858	21	613	10.4	70.7	1	168	5.33
PO ₄ -P (mg/L)	0.20	0.12	0.90	0.35	1.13	0.55	0.26	0.42	1.81	0.93
NO ₃ -N (mg/L)	3.4	0.71	22.7	3.8	54	5.7	41.7	5.1	59.5	2.28
NO ₂ -N (mg/L)	0.15	0.02	0.11	0.02	0.24	0.02	0.32	0.02	0.32	0.02
Si (mg/L)	1.39	0.08	1.76	0.02	2.13	0.10	2.42	0.10	3.25	0.10
KOİ (mg/L)	15.3	<4	26.5	<4	19.20	<4	24.0	<4	15.2	<4
Renk (Hazen)	19.3	1.33	31.8	3.90	23.3	1.00	32.8	1.00	14.8	2.17
TOK (mg/L)	45.3	0.67	45.8	0.92	30.0	0.68	94.3	0.70	30.0	0.68

Tablo 4. 9 Sürekli döngü çalışmalarında elde edilen ürün su kalitesinin sulama suyu için geliştirilmiş parametreler ile karşılaştırılması

	SAR	Na ⁺ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	TÇK (g/L)	EC (mS/cm)	Kullanımında zarar derecesi			
						Geçirgenlik	Tuzluluk	Özgül İyon toksisitesi	
								Na	Cl
NF270 1. döngü	23.15	245	347	1.04	2.05	3.sınıf su	2.sınıf su	3.sınıf Y 2.sınıf D	2.sınıf Y,D
NF270 5. döngü	9.87	152	88	0.82	1.61	2.sınıf su	2. sınıf su	3.sınıf Y 2.sınıf D	1. sınıf Y,D
BW30 1. döngü	3.62	4.41	2.32	0.04	0.08	3.sınıf su	1.sınıf su	2.sınıf Y 1.sınıf D	1.sınıf Y,D
BW30 5. döngü	2.52	6.14	5.33	0.02	0.05	3.sınıf su	1. sınıf su	2.sınıf Y 1.sınıf D	1. sınıf Y,D

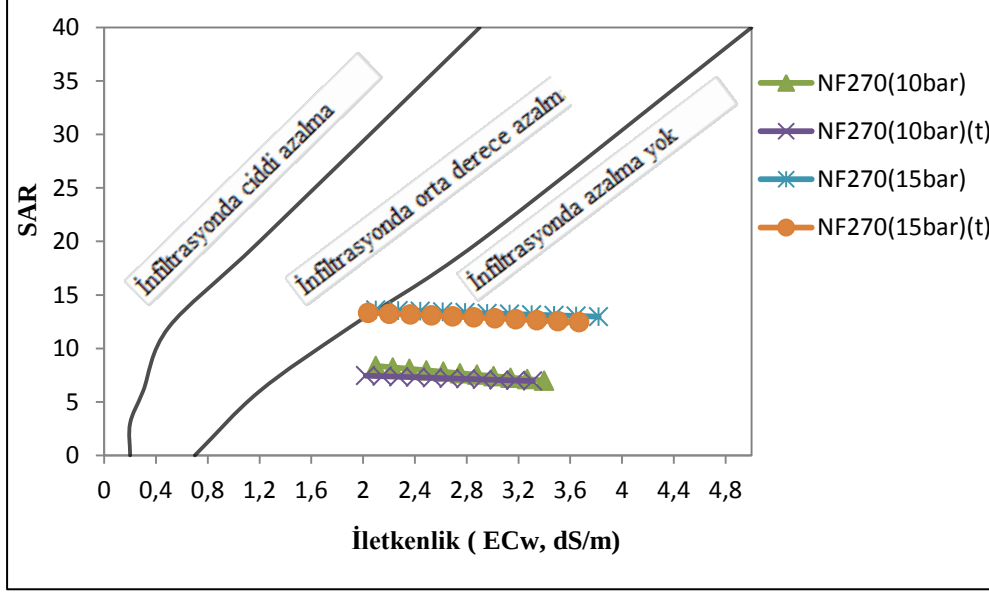
Tablo 4. 10 Sürekli döngü çalışmalarında (1-5) elde edilen ürün suyun ortalama özelliklerinin Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY) ile sulama suyu standartlarıyla karşılaştırılması

Parametre	Ürün suyu Özellikleri			(SKKY) 1. sınıf su değerleri	(SKKY) 2. sınıf su değerleri	(SKKY) 3. sınıf su değerleri	SSSD ² (Ayers1985, Solak, 2010)
Membran	MBR çıkış	NF270	BW30				
TÇK (mg/L)	1980	106	40	500	1500	5000	0-2000
İletkenlik (mS/cm)	3.92	2.09	0.08	SB ¹	SB ¹	SB ¹	0-3.00
t (°C)	22.9	24.1	24.6	SB ¹	SB ¹	SB ¹	SB ¹
pH	7.35	6.88	5.32	6.5-8.5	6.5-8.5	6.0-9.0	6.5-8.80
Tuzluluk (‰)	1.99	0.90	0	SB ¹	SB ¹	SB ¹	0-1.94
Bulanıklık (NTU)	0.87	0.22	0.23	SB ¹	SB ¹	SB ¹	0-0.20
Na⁺ (mg/L)	498	279	6.14	125	125	250	0-920
Ca²⁺ (mg/L)	95.9	11.1	0.29	SB ¹	SB ¹	SB ¹	0-400
K⁺ (mg/L)	458	208	10.9	SB ¹	SB ¹	SB ¹	0-2.00
Mg⁺² (mg/L)	43.1	5.66	0.05	SB ¹	SB ¹	SB ¹	0-60.0
NH₄⁺N	0.46	0.23	0.20	0.2	1	2	0-5.00
HCO₃⁻ (mg/L)	359	159	29.5	SB ¹	SB ¹	SB ¹	0-610
SO₄²⁻ (mg/L)	503	<0.5	4.00	200	200	400	0-960
Cl⁻ (mg/L)	445	299	8.00	25	200	400	0-1065
PO₄³⁻P (mg/L)	0.69	0.29	0.47	0.02	0.16	0.65	0-2.00
NO₃⁻N (mg/L)	35.1	28.1	3.51	5	10	20	0-10.0
NO₂⁻N (mg/L)	0.19	0.08	0.02	0.002	0.01	0.05	SB ¹
Si (mg/L)	2.16	1.55	0.08	SB ¹	SB ¹	SB ¹	SB ¹
KOİ (mg/L)	19.9	<4	<4	25	50	70	SB ¹
Renk (Hazen)	24.1	1.82	1.88	5	50	300	SB ¹
TOK (mg/L)	13.0	14.1	0.73	SB ¹	SB ¹	SB ¹	SB ¹
SAR	13.0	18.8	3.49	SB ¹	SB ¹	SB ¹	SB ¹

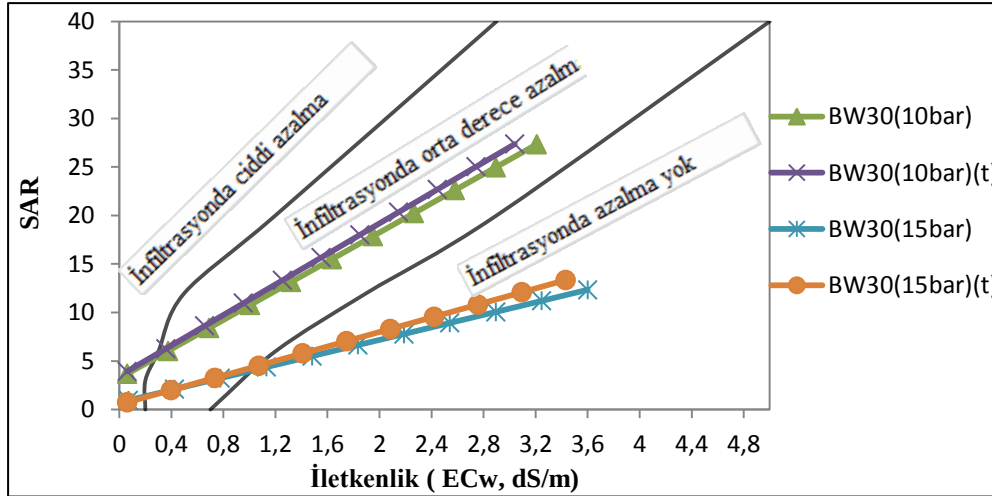
¹Standart Belirtilmemiş, ²Sulama suyu standart değerleri

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

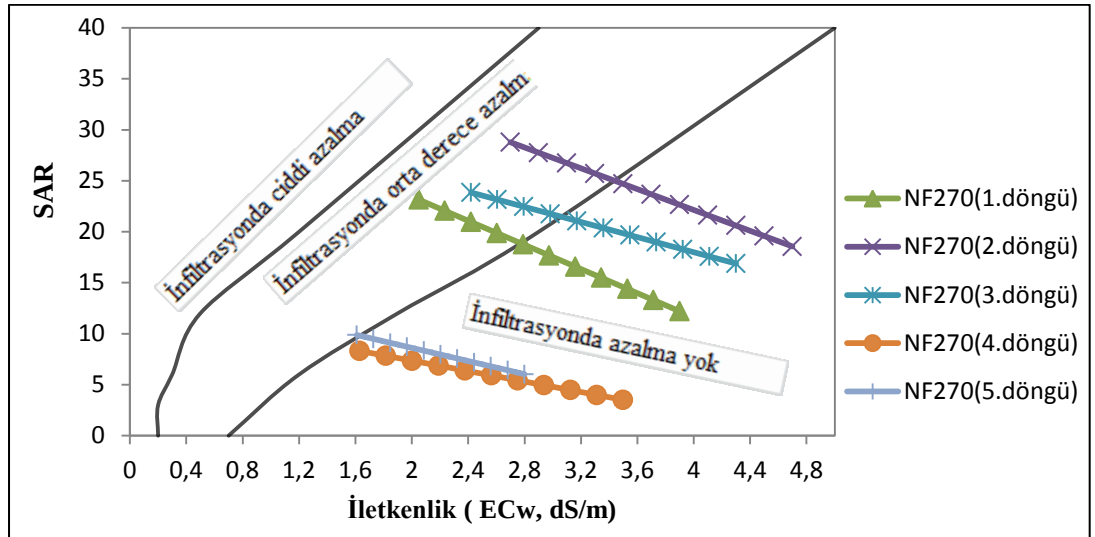
Şekil 4.77-80 de, MBR çıkış suyu ile farklı koşullarda elde edilen NF-RO membranların süzöntü suyunun farklı oranlarında karıştırılmasıyla elde edilen SAR ve iletkenlik değerlerinin karşılaştırılması gösterilmiştir. Tablo 4.11’de her bir karışım oranındaki SAR ve iletkenlik değerleri ayrı ayrı verilmiştir.



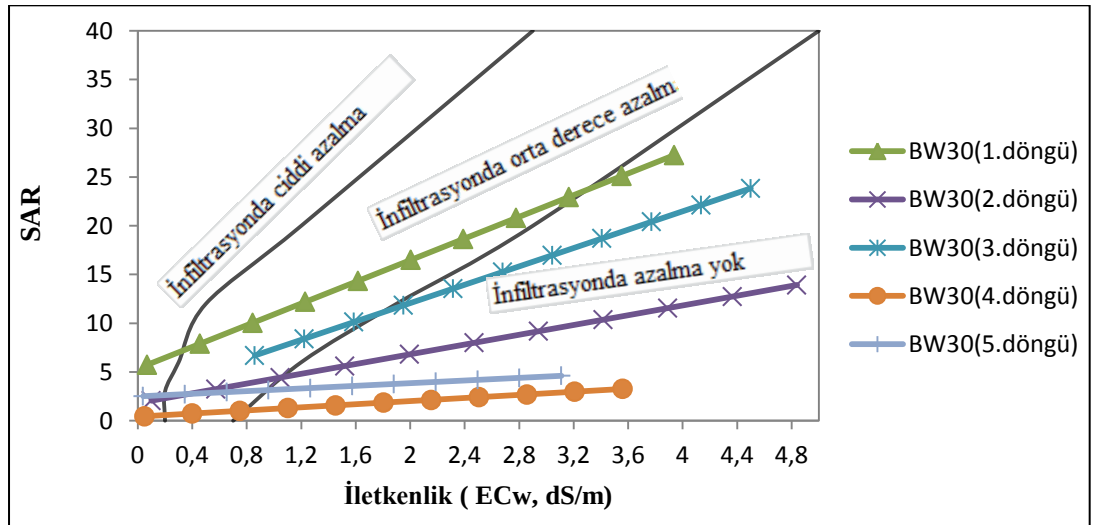
Şekil 4.77 MBR çıkış ve NF270 süzöntüsünün farklı oranlarında karıştırılmasıyla elde edilen suyun SAR ve iletkenlik değerleri



Şekil 4.78 MBR çıkış ve BW30 süzöntüsünün farklı oranlarında karıştırılmasıyla elde edilen suyun SAR ve iletkenlik değerleri



Şekil 4.79 MBR çıkış NF270 süzütüsünün farklı karışım oranlarındaki SAR ve iletkenlik değerleri (sürekli döngü çalışmaları)



Şekil 4.80 MBR çıkış, BW30 süzütüsünün farklı karışım oranlarındaki SAR ve iletkenlik değerleri (Sürekli döngü çalışmaları)

Tablo 4.11 MBR çıkış ve membran süzöntü 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
NF270	10 bar	SAR	8,36	8,22	8,09	7,95	7,81	7,68	7,54	7,4	7,26	7,13	6,99	
		EC _w (dS/m)	2,1	2,23	2,36	2,49	2,62	2,75	2,88	3,01	3,14	3,27	3,4	
	10 bar tekrar	SAR	7,45	7,4	7,35	7,3	7,25	7,2	7,15	7,1	7,05	7	6,95	
		EC _w (dS/m)	2,02	2,15	2,28	2,41	2,54	2,67	2,79	2,92	3,05	3,18	3,31	
	15 bar	SAR	13,59	13,53	13,47	13,4	13,34	13,28	13,22	13,16	13,09	13,03	13	
		EC _w (dS/m)	2,1	2,27	2,44	2,62	2,79	2,96	3,13	3,3	3,48	3,65	3,82	
	15 bar tekrar	SAR	13,34	13,25	13,16	13,07	12,98	12,9	12,81	12,72	12,63	12,54	12,5	
		EC _w (dS/m)	2,04	2,2	2,37	2,53	2,69	2,86	3,02	3,18	3,34	3,51	3,67	
BW30	10 bar	SAR	3,67	6,04	8,4	10,77	13,14	15,51	17,87	20,24	22,61	24,97	27,3	
		EC _w (dS/m)	0,06	0,38	0,69	1,01	1,32	1,64	1,95	2,27	2,58	2,9	3,21	
	10 bar tekrar	SAR	3,93	6,27	8,62	10,96	13,3	15,65	17,99	20,33	22,67	25,02	27,4	
		EC _w (dS/m)	0,06	0,36	0,66	0,95	1,25	1,55	1,85	2,15	2,44	2,74	3,04	
	15 bar	SAR	0,95	2,09	3,23	4,37	5,51	6,65	7,78	8,92	10,06	11,2	12,3	
		EC _w (dS/m)	0,07	0,42	0,78	1,13	1,48	1,84	2,19	2,54	2,89	3,25	3,6	
	15 bar tekrar	SAR	0,74	2	3,26	4,52	5,78	7,04	8,3	9,56	10,82	12,08	13,3	
		EC _w (dS/m)	0,06	0,4	0,73	1,07	1,41	1,75	2,08	2,42	2,76	3,09	3,43	

Tablo 4.11 MBR çıkış ve membran süzöntü oranlarının, SAR ve iletkenlik değerleriyle karşılaştırılması(devam)

	Dönem	Süzöntü	MBR süzöntü payı	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
			NF/RO süzöntü payı	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0
NF270	Sürekli1. döngü	SAR		23,15	22,06	20,96	19,87	18,77	17,7	16,58	15,49	14,39	13,3	12,2
		EC _w (dS/m)		2,05	2,24	2,42	2,61	2,79	2,98	3,16	3,35	3,53	3,72	3,9
BW30	Sürekli1. Döngü	SAR		5,74	7,89	10	12,2	14,35	16,5	18,65	20,8	22,96	25,11	27,3
		EC _w (dS/m)		0,07	0,46	0,84	1,23	1,62	2,01	2,39	2,78	3,17	3,55	3,94
NF270	Sürekli2. döngü	SAR		28,78	27,76	26,74	25,71	24,69	23,67	22,65	21,63	20,6	19,58	18,56
		EC _w (dS/m)		2,7	2,9	3,1	3,3	3,5	3,7	3,9	4,1	4,3	4,5	4,7
BW30	Sürekli2. döngü	SAR		2,06	3,25	4,43	5,62	6,81	8	9,18	10,37	11,56	12,74	13,93
		EC _w (dS/m)		0,1	0,57	1,05	1,52	2	2,47	2,94	3,42	3,89	4,37	4,84
NF270	Sürekli3. döngü	SAR		23,85	23,15	22,46	21,76	21,06	20,37	19,67	18,97	18,27	17,58	16,88
		EC _w (dS/m)		2,42	2,61	2,8	2,98	3,17	3,36	3,55	3,74	3,92	4,11	4,3
BW30	Sürekli3. döngü	SAR		6,7	8,41	10,13	11,84	13,56	15,27	16,98	18,7	20,41	22,13	23,84
		EC _w (dS/m)		0,86	1,22	1,59	1,95	2,32	2,68	3,04	3,41	3,77	4,14	4,5
NF270	Sürekli4. döngü	SAR		8,31	7,83	7,35	6,87	6,39	5,91	5,43	4,95	4,47	3,99	3,51
		EC _w (dS/m)		1,63	1,82	2	2,19	2,38	2,57	2,75	2,94	3,13	3,31	3,5
BW30	Sürekli4. döngü	SAR		0,46	0,74	1,02	1,3	1,58	1,86	2,14	2,42	2,7	2,98	3,26
		EC _w (dS/m)		0,05	0,4	0,75	1,1	1,45	1,81	2,16	2,51	2,86	3,21	3,56
NF270	Sürekli5. döngü	SAR		9,87	9,49	9,1	8,72	8,33	7,95	7,57	7,18	6,8	6,41	6,03
		EC _w (dS/m)		1,61	1,73	1,85	1,97	2,09	2,21	2,32	2,44	2,56	2,68	2,8
BW30	Sürekli5. döngü	SAR		2,52	2,73	2,94	3,15	3,36	3,57	3,77	3,98	4,19	4,4	4,61
		EC _w (dS/m)		0,04	0,35	0,65	0,96	1,27	1,58	1,88	2,19	2,5	2,8	3,11

5. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

5.1. Laboratuvar Çalışmaları

Gerçekleştirilen laboratuvar çalışmalarında NF200 ve CK RO membranlar ile NF200 membranı ile daha yüksek süzüntü akısı elde edilmiştir. süzüntüya sahibdir(50.9 L/m²saat). Süzüntü akısı CK RO membran' için 21.2 L/m²saat olarak hesaplanmıştır.

Membranlara ait iletkenlik, tuzluluk ve toplam çözünmüş katı madde giderimleri incelendiğinde, CK membranı NF200 membranına göre daha yüksek giderim vermiştir. RO membranı olan CK membranı, NF200 membranına göre daha yoğun bir yüzey morfolojisine sahip olduğu için bu membrana ilişkin madde giderimleri daha yüksek bulunmuştur.

Renk ve bulanıklık giderimleri bakımından NF200 membranı daha yüksek giderim sağlamıştır. Bu değer 10 barda NF200 membranı için ortalama sırasıyla %89 ve %65 ve CK RO membranı için %81 ve %52 düzeyindedir.

Fosfat gideriminde, NF200 membranı %70 giderim verirken, CK RO membranı için bu değer %83 'dür.

Klorür ve sülfat gideriminde NF200 membranı sırasıyla %43 ve %100 giderim sağlamıştır. Bu değerler CK RO membranı için %51 ve %100' dür. Klorür gideriminde her iki membran düşük giderim göstermiştir.

KOİ değeri NF200 membranı için 10 bar'da yaklaşık %81'iken CK RO membranı için bu değer %76.7 olmuştur.

Metal iyonlarının gideriminde CK membranı NF200 membranına göre daha yüksek performans göstermiştir. Yaptığımız çalışmada sodyum ve potasyum giderimi CK membranı için sırasıyla %70.4 ve %70 olarak bulunmuştur. NF200 membranı için sodyum giderimi %57 düzeyindedir. İki değerlikli iyon olan, magnezyum ve kalsiyum gideriminde ise her iki membran ile, tek değerlikli iyonlara göre daha yüksek giderim elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar literatürdeki değerlerle karşılaştırıldığında uygunluk göstermektedir.

TOK gideriminde, NF200 ve CK RO membranlarının performansları arasında küçük farklılıklar gözlenmiştir.

Amonyum, nitrit ve nitrat giderimleri NF200 ve CK RO membranları için farklı olmuştur. Yaptığımız çalışmada NF200 membranına ait nitrat giderimi %57 iken CK RO membranı için bu değer %36 düzeyindedir. Nitrit giderimi NF200 için %30 ve CK RO bu değer %73 olmuştur. Amonyum giderimi NF200 için %63 ve CK RO %41.8 düzeyindedir.

5.2. Arazi Çalışmaları

10 bar ve 15 bar'da yapılan arazi çalışmalarının sonuçları karşılaştırıldığında; giderim değerleri bakımından çok büyük farklılıklar gözlenmemiştir. Basınç etkisinin asıl neden olduğu değişim, membranlara ait süzüntü akısı ve atıksuyun geri kazanımında görülmüştür. Uygulama basıncındaki artış, süzüntü akısının ve su geri kazanımının artmasına neden olmuştur. Yaptığımız 10 bardaki çalışmada, ortalama süzüntü akısı NF270 ve BW30 membranı için sırasıyla 84.6 L/m²saat ve 40.3 L/m²saat iken, 15 barda bu değerler NF270 ve BW30 membranı için sırasıyla 121.1 L/hm² ve 65.1 L/hm² olarak elde edilmiştir. Suyun geri kazanım değerleri 10 bar'da NF270 membranı için %62 ve 15 bar'da %64 'dür, BW30 membranı için 10 bar'da %46 ve 15 bar'da 56 düzeyindedir.

Arazide yapılan sürekli döngü çalışmalarında, konsantre ve süzüntü suyunun ayrı tanklara verilmesinin yanında, ayrıca membranların asit ve bazla geri yıkama çalışmaları da gerçekleştirilmiştir. Literatürde tıkanan membranların sadece süzüntü akılarında düşme olmadığını, aynı zamanda membranların ömrünü de kısaldığını bundan dolayı membranların temizlenmesi için çeşitli kimyasalların kullanılması gerektiği belirtilmiştir. Yaptığımız çalışmalarda, kimyasal yıkamadan sonra her iki membran için süzüntü akısının stabilize olması sağlamıştır. Öte yandan madde giderimlerinde azalma gözlenmemiştir. Tam tersine bazı giderimler döngü sayısı arttıkça artmıştır.

Sürekli çalışmalarda ileri döngülere gidildikçe ortalama giderimlerde çok az düşme görülmüştür. 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, Gozalvez-Zafrilla et al., 2008).

5.3. Sonuç

Atık suların uygun olarak toplanması ve arıtıldıktan sonra güvenli yöntemlerle tarımda kullanılması teşvik edilmelidir. Bu sayede su tasarrufu sağlanır ve su kaynakları kirletilmez, bitki verimi artar, yapay gübre gereksinimi azalır, atık sular doğaya zarar vermeden en yararlı şekilde uzaklaştırılmış olur. Atık suların arıtılmadan, plansız ve kontrolsüz bir şekilde kullanılması ise ne sağlık ne de tarım açısından önerilir. Tarımsal üretim için kullanılan arıtılmış atık su kalitesinin, hem bitkiler hem de tüketiciler üzerine etkileri konusunda bazı endişeler bulunmaktadır. Su kalitesine ilişkin olarak atık suların içeriğindeki çözünmüş tuzlar, organik madde içeriği ve sodyum konsantrasyonları, ağır metaller ile patojenler, ilaçlar ve endokrin sistemini bozan maddeler gibi kirleticiler üzerinde durulmaktadır (Toze, 2006).

Kimyasal içerikleri bakımından, atık suların tarımsal amaçlı kullanımını kısıtlayan asıl önemli sorun yüksek tuz konsantrasyonu ve Na, Cl, SO₄ gibi iyonlardır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre NF ve RO membranları MBR yöntemiyle arıtılan atık suların yeniden kullanımı için MBR arıtma sistemine eklenebilir. NF/RO süzöntü suyu, MBR çıkış suyu ile belli oranlarda karıştırılarak istenen kalitede sulama suyu elde etmek mümkün olabilecektir.

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.
- Adham, S., Gagliardo, P.,** 1998, Membrane Bioreactors for Water Repurification. Phase I. Desalination Research and Development Program Report No. 34. U.S Department of Interior, Bureau of Reclamation, USA.
- Al-Malack, M.,** 2006, Determination of biokinetic coefficients of an immersed membrane bioreactor, *Journal of Membrane Science*, 271, 47-58.
- Ayers, R.S., Westcot, D.W.,** 1985, Water quality for agriculture, FAO Irrigation and Drainage Paper 29, FAO, Rome.
- Baker, R. W.,** 2004, Membrane Technology and Applications, 2nd Ed., John Wiley and Sons Ltd., England, 538p
- Buisson, H., Cote, P., Praderie, M. And Paillard, H.,** 1998, The use of immersed membranes for upgrading wastewater treatment plants. *Water Sci. Technol.*, 37(9), 89-95.
- Bunani, S.,** 2013, Application of Membrane Technology for Reuse of Biotreated Municipal Wastewater and Quality Analysis of Product water, MSc thesis, Ege University, 145p.
- Chang, Andrew C; Pan, Genxing; Page, Albert L.; and Asano, Takashi;**1992, Developing Human Health-related Chemical Guidelines for Reclaimed Water and Sewage Sludge Applications in Agriculture, 24p
- Chang, I.S., Bag, S.O. and Lee, C.H.,** 2001, Effects of Membrane Fouling on Solute Rejection during Membrane
- Chang, I.S., Le-Clech, P., Jefferson, B. and Judd, S.J.,** 2002, Membrane Fouling in Membrane Bioreactors for Wastewater Treatment. *Environ. Eng. Sci.*, 128(11), 1018-1029.
- Cicek, N., Winnen, H., Suidan, T.M., Wrenn, B.E., Urbain, V. and Manem, J.,** 1998, Effectiveness of Membrane Bioreactors in the Biodegradation of High Molecular Weight Compounds. *Water Res.*, 32(5), 1553-1563.
- Crawford, G., Thompson, D., Lozier, J., Daigger, G. and Fleischer, E.,** 2000, “Membrane Bioreactors – A Designer’s Perspective”. Proc. of the Water Environment Federation Technical Symposia, Anaheim, California, USA.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Çevre ve Orman Bakanlığı**, 2010, Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği, 95s.
- Çitil, E.**, 1995, Evsel Atıksu Arıtma Tesislerinin Optimum Tasarımı (İTÜ Fen Bil.Ens. Yüksek Lisans Tezi),29s.
- Defrance L., Jaffrin M.Y., Gupta B., Paullier P. and Geaugey V.**, 2000, Contribution of various constituents of activated sludge to membrane bioreactor fouling. Bioresource Technol., 73, 105-112.
- EPA.**, 2004, Guidelines for Water Reuse US Environmental Protection Agency.EPA/625/R-04/108 September.
- EROĞLU, V.**, 1995 Su Tasfiyesi ,İTÜ Mühendislik Mimarlık Fakültesi Yayınları Cilt1-2
- Fane, A., Chang, S.**, 2002, Membrane bioreactors: design and operational options. Filtr. Separat., 39, 26-29.
- Galil, N.I., Levinsky, Y.**, 2007, Sustainable rec-lamation and reuse of industrial wastewater in-cluding membrane bioreactor technologies: Case studies, Desalination, 202, 411-417.
- Gunder B.**, 2001 The Membrane-Coupled Activated Sludge Process in Municipal Wastewater Treatment.Technomic Publishing, Lancaster, PA., UK.
- Gürel, L. ve Büyükgüngör, H.**, 2011, Atıksu Arıtımında Membran Biyoreaktörler, İtü Dergisi/E, 21(1):13-23s.
- İLLER BANKASI**, 1989, Atıksu Arıtma tesisleri Proses – İşletme – Bakım El Kitabı,Ankara,43s.
- Judd S.J.**, 2001, A Review of Fouling of Membrane Bioreactors in Sewage Treatment. School of Water Sciences,Cranfield University, UK.
- Judd S.J.**, 2002a, The Development of the Membrane Bioreactor Technology for Sewage Treatment in the UK.School of Water Sciences, Cranfield University, UK.
- Judd S.J.**, 2006 The MBR Book: Principles and Applications of Membrane Bioreactors in Water and WastewaterTreatment. Elsevier, Oxford, UK.
- Khoury, Nadim; Kalbermatten, John M. And Bartone, Carl R.**; 1994, Reuse of wastewater in agriculture : a guide for planners

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Kitiş, M. ve Yiğit, N.,** 2009, Su ve Atıksu Arıtımında İleri Arıtma Teknolojileri-Arıtılmış Atıksuların Geri Kullanımı Ders Notu, Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi
- Köseoğlu, H.,** 2007 Membran Biyoreaktörü İle (Mbr) Evsel Atıksu Arıtımı, Doktora Tezi, S.D.Ü. Çevre Mühendisliği Bölümü, 151s.
- Le-Clech P., Chen V. and Fane T.A.G.,** 2006a, Fouling in membrane bioreactors used in wastewater treatment. J.Membrane Sci., 284, 17-53.
- Lesage, N., Sperandio, M. and Cabassud, C.,** 2008, Study of a hybrid process: Adsorption on activated carbon/membrane bioreactor for the treatment of an industrial wastewater, Chemical Engineering and Processing, 47, 303-307.
- Levent GÜREL, Hanife BÜYÜKGÜNGÖR,** 2011, Atıksu arıtımında membran biyoreaktörler, itüdergisi/e su kirlenmesi kontrolü Cilt:21, Sayı:1, 13-23
- Liu, R., Huang, X., Wang, C., Chen, L. and Qian Y.,** 2000, Study on hydraulic characteristics in a submerged membrane bioreactor process, Process Biochem., 36, 249–254.
- Meng, F., Zhang, H., Yang, F., Li, Y., Xiao, J. and Zhang, X.,** 2006a Effect of filamentous bacteria on membrane fouling in submerged membrane bioreactor, Journal of Membrane Science, 272, 161-168.
- Moftah. K.,** 2007 ‘High pH RO for Wastewater Treatment’ Pollution Engineering, ÇEVRE ORMAN BAKANLIĞI,.16s.
- Ortiz, M., Raluy, R.G., Serra, L. and Uche, J.,** 2007 Life cycle assessment of water treatment technologies: wastewater and water-reuse in a small town. Desalination, 204, 121-131.
- Öztürk M.,** 2007, Ters Osmoz Sistemlerle Suların Arıtımı’, ÇEVRE ORMAN BAKANLIĞI,.21s.
- Pescod, M.B.** 1992, Wastewater Treatment and Use in Agriculture. Irrigation and Drainage Paper, No. 47, FAO, Rome. 125 p.
- SAMSUNLU, A.,** 1999 Reuse of Wastewater in Agriculture Çevre Mühendisliği Kimyası.
- Sert, G.,** 2010, Membran Biyoreaktör (MBR) prosesi ile arıtılan endüstriyel atık suların yeniden kullanımı için membran teknolojilerin uygulanması, Doktora tezi. 29-60s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Shimizu, Y., Shimodera, K.I. and Watanabe, A.,** 1993, Crossflow Microfiltration of Bacterial Cells, J. Fermentation and Bioeng., 76, 493-500.
- 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.
- Stephenson, T., Brindle, K., Judd and S., Jefferson,** 2000, Membrane Bioreactors for Wastewater Treatment, ISBN1-900222-07-8, IWA Publishing, UK.
- Su Kirliligi Kontrol Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği,** 2004, Resmi gazete
- T.K. Chen and J.N. Chen,** 2004, Water Science and Technology Vol 50 No 2 pp 99–106 © IWA
- Toze, S.** 2006, Reuse of Effluent Water-Benefits and Risks. J. of Agricultural Management, 80:147-159.
- Tsai, H.H., Ravindran, V. and Pirbazari, M.,** 2005, Model for predicting the performance of mem-brane bioadsorber reactor process in water treat-ment applications, Chemical Engineering Sci-ence, 60, 5620-5636.
- USEPA,** 1992, Guidelines for Water Reuse. Washington, DC, USA.
- Ünlü, A., Hasar, H., Kınacı, C., Çakmakçı, M. ve Koçer, N.N.,** 2005 Real role of an ultrafiltra-tion hollow-fiber membrane module in a submerged membrane bioreactor, Desalination, 181, 185-191
- Van der Roest, H.F., Lawrence, D.P. and Van Bentem, A.G.N.,** 2002, Membrane Bioreactors for Municipal Wastewater Treatment. ISBN 1843390116, IWA Publishing, UK.
- Visvanathan, C., Ben Aim, R. and Parameswaran, K.,** 2000, Water and Sanitation Program The World Bank Washington, DC
- Water And Wastewater Reuse,** 2003 An Environmentally Sound Approach for Sustainable Urban Water Management United Nations Environment Programme.
- Water Environment Federation,** 2001, Membrane Bioreactors: Feasibility and Use in Water Reclamation. ISBN 1
- WHO,** 1989, Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture. WHO Tech. Report Series No. 77, WHO; Geneva, Switzerland

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Wisniewski, C., Grasmick, A.,** 1998, Flocculation Size Distribution in a Membrane Bioreactor and Consequences for Membrane Fouling. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 138, 403-411.
- Wisniewski, C., Grasmick, A. and Leon-Cruz, A.,** 2000, Critical Particle Size in Membrane Bioreactors- Case of a Denitrifying Bacterial Suspension. *J. Membrane Sci.*, 178:141-150.
- Yasemin S. KUKUL, Ayben D. Ve ÜNAL ÇALIŞKAN Süer ANAÇ,** 2007 Arıtılmış Atık Suların Tarımda Kullanılması ve İnsan Sağlığı Yönünden Riskler, *Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg.*, , 44 (3): 101-116
- Yildiz, E., Keskinler, B., Pekdemir, T., Akay, G. ve Nuhoglu, A.,** 2005 High strength wastewater treatment in a jet loop membrane bioreactor: kinetics and performance evaluation, *Chemical Engineering Science*, 60, 1103-1116.
- Zaidi, A., K. Simms and S. Kok** 1992 The Use of Micro/Ultrafiltration for the Removal of Oil and Suspended Solids from Oilfield Brines Water *Science & Technology* Vol 25 No 10 pp 163–176
- ZENON Environmental Inc.,** 2002, www.zenon.com, Oakville, Ontario, Canada.

ÖZGEÇMİŞ**Kişisel Bilgiler**

Adı, Soyad : Arash ARIANFAR

Cinsiyet : Erkek

Doğum Tarihi : 05.05.1977

Doğum Yeri : Tahran-IRAN

Medeni Durumu : Evli

Uyruk : İranlı

Sürücü Belgesi : B sınıfı

İletişim Bilgileri

Adres : 8273 sok No:5 D:1 İatasyonaltı- Çiğli/İZMİR

Cep Telefonu : (536) 654 4377

Elektronik Posta : ararianfar1977@gmail.com

Eğitim Bilgileri

2008-2010 Yüksek Lisans

Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Bilimleri Bölümü (2015-devam ediyor)

Tez Konusu: EVSEL VE ENDÜSTRİYEL ATIK SULARIN ARITIMINDA MEMBRAN
BİYOREAKTÖR TEKNOLOJİSİNİN KULLANILAMASI VE ARITILMIŞ
ÜRÜN SU KALİTESİNİN İNCELENMESİ

Danışman: Prof.Dr.Nalan Kabay

2003-2008 Lisans

İRAN- Shahreza Azad Üniversitesi

Kimya Bölümü

Nitelikler

Bilgisayar Bilgisi

İşletim Sistemi : Windows

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

Yabancı Dil :Orta derece İngilizce

Hobiler : Spor, film