

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Tekstil Endüstrisi Atıksularının Sonlu Filtrasyon Sistemi ile Nanofiltrasyon ve Ters Ozmoz Membranları Kullanılarak Filtrasyonu**

Adem YURTSEVER<sup>1,2\*</sup>, Deniz UÇAR<sup>3</sup>, Erkan ŞAHİNKAYA<sup>4</sup>

<sup>1</sup>*İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Hasan Kalyoncu Üniversitesi, Gaziantep*

<sup>2</sup>*Çevre Uygulama ve Araştırma Merkezi, Hasan Kalyoncu Üniversitesi, Gaziantep*

<sup>3</sup>*Çevre Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa*

<sup>4</sup>*Biyomühendislik Bölümü, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İstanbul Medeniyet Üniversitesi, İstanbul*  
(ORCID: 0000-0001-6512-5232) (ORCID: 0000-0002-0536-6250) (ORCID: 0000-0002-9898-9173)

---

### **Öz**

Mevcut çalışmada çeşitli nanofiltrasyon (NF) ve ters ozmoz (TO) membranları ile tekstil endüstrisi atıksularının filtrasyon performansları değerlendirilmiştir. Çalışmalar sonlu filtrasyon düzeneği ile farklı basınçlar altında yapılmıştır (10, 15, 20 ve 25 Bar). Test edilen nanofiltrasyon membranları NF90, NF270, NFTS40, NFXN45, NFDK ve NFDL'dir. Ters ozmoz membranları ise ROX201, ROBW30FR ve ROACM5'tir. Nanofiltrasyon membranları için basınç başına en yüksek geçirgenlik NF270 membranı ile elde edilmiş olup bu değer 5,95 L/(m<sup>2</sup>.h.Bar)'tır. Diğer nanofiltrasyon membranlarına nazaran NF270 ile daha yüksek geçirgenlik değerine ulaşılmasına rağmen, geçirgenlikteki birim zamanda en yüksek azalma da bu membranda olmuştur. 15 bar basınç altında başlangıç geçirgenlik değeri olan 12,41 L/(m<sup>2</sup>.h.Bar) 1 saatlik test süresi sonunda, 4,41 L/(m<sup>2</sup>.h.Bar)'a düşmüştür. Ters ozmoz membranlarında ise en yüksek geçirgenlik değeri ROACM5 membranı ile 2,96 L/(m<sup>2</sup>.h.Bar) olarak tespit edilmiştir. En yüksek geçirgenlik düşüşü de yine ROACM5 membranında gözlemlenmiştir (hem 10 hem de 15 bar basınç için yaklaşık olarak 4,14 L/(m<sup>2</sup>.h.Bar)'dan 2,48 L/(m<sup>2</sup>.h.Bar)'a). Nanofiltrasyon membranları için en yüksek renk, iletkenlik ve KOİ giderimi, NF90 ile 4515 µS/cm iletkenlik; 518 Pt-Co renk ve 119 mg/L KOİ giriş koşulları için sırasıyla >95%, >99% ve >97% olarak bulunmuştur. Daha yüksek iletkenlik giderimi istendiğinde ise ters ozmoz membranlarının kullanılması gerekmektedir. Test edilen ters ozmoz membranları için iletkenlik giderim yüzdeleri aynı atıksuda ROBW30FR, ROX201 ve ROACM5 için sırasıyla >97%, >98% ve >98%'dir.

**Anahtar kelimeler:** Sonlu filtrasyon, nanofiltrasyon, ters ozmoz, tekstil atıksuyu, membran filtrasyonu.

---

## **Filtration of Textile Industry Wastewaters Using Dead End Filtration System with Nanofiltration and Reverse Osmosis Membranes**

### **Abstract**

In this study, filtration performance of various nanofiltration and reverse osmosis membranes and textile industry wastewater were evaluated. The work was carried out under different pressures (10–15–20 and 25 Bar) with a dead end filtration system. The nanofiltration membranes tested were NF90, NF270, NFTS40, NFXN45, NFDK and NFDL. Reverse osmosis membranes are ROX201, ROBW30FR and ROACM5. The highest permeability per pressure for nanofiltration membranes was obtained with NF270 membrane, which is 5.95 L/(m<sup>2</sup>.h.Bar). Although higher permeability was achieved with NF270 compared to other nanofiltration membranes, the highest reduction in permeability per unit time was also found in this membrane. The initial permeability value of 12.41 L/(m<sup>2</sup>.h.Bar) under a pressure of 15 Bar decreased to 4.41 L/(m<sup>2</sup>.h.Bar) after a 1 hour test period. In reverse osmosis membranes, the highest permeability value was determined as 2.96 L/(m<sup>2</sup>.h.Bar) by ROACM5 membrane and the highest permeability decrease was observed again in ROACM5 membrane (approximately from 4.14 L/(m<sup>2</sup>.h.Bar) to 2.48 L/(m<sup>2</sup>.h.Bar) for both 10 and 15 Bar pressures). Highest color, conductivity and COD removal for nanofiltration membranes was obtained with NF90 membranes. The influent was contained 4515 µS / cm conductivity; 518 Pt-Co color and 119 mg / L COD , and >95% ,>99% and >97% removal efficiency were obtained, respectively. When higher conductivity removal is desired, reverse osmosis membranes are required The percent conductivity removal for the tested reverse osmosis membranes is >97%, >98% and >98% for ROBW30FR, ROX201 and ROACM5 in the same wastewater, respectively.

**Keywords:** Dead-end filtration, nanofiltrasyon, reverse osmosis, textile wastewater, membrane filtration

---

\*Sorumlu yazar: [adem.yurtsever@hku.edu.tr](mailto:adem.yurtsever@hku.edu.tr)

Geliş Tarihi: 28.07.2019, Kabul Tarihi: 06.12.2019

## 1. Giriş

Su maliyetlerinde meydana gelen artış ve atıksu deşarj standartlarına uyma zorunluluğu birçok endüstri alanını atıksularını yeniden kullanmaya zorlamaktadır. Tekstil endüstrisi bu endüstrilerin başında gelmektedir. Tekstil endüstrisinde su; ağartma, boyama ve baskı gibi aşamalarda büyük miktarlarda kullanılır. Su tüketiminin, son ürünün kilogramı başına 200-400 L civarında olduğu tahmin edilmektedir [1]. Üretilen atık sular organik madde, sabitleyici maddeler, deterjanlar, boyalar ve tuzlardan türetilmiş ürünler içerir ve bu nedenle de deşarj edilmeden önce işleme tabi tutulmalıdır [2]. Tekstil atıksularının arıtımı için membran biyoreaktörler [3], kimyasal oksidasyon [4], elektrokimyasal yöntemler [5], biyolojik arıtma [6], adsorpsiyon [7,8] ve kimyasal koagülasyon [9] gibi birçok metot kullanılmaktadır. Su sıkıntısının bir sonucu olarak, geçmişte tekstil endüstrisi atıksuları kanalizasyona deşarj edilirken, günümüzde su kalitesi yeterli olduğunda prosesin çeşitli aşamalarında geri kullanılmaktadır. Bu nedenle dünyada ve Türkiye'de kullanılmış suların yeniden kullanımı üzerine teknolojiler son yıllarda giderek yaygınlaşmaktadır.

Tekstil endüstrisi çıkış suları üretim prosesinden kaynaklanan kalıntı tuzu da içermektedirler. Tuz, boyanın kumaşa bağlanması için gereklidir ve geri devir yapılan su tuz içerebilirken boya içermemelidir. Bu nedenle proses seçimi yapılırken seçici bir giderim büyük önem arz etmektedir. Bu durumda tuz ve boyar maddelerin moleküler özelliklerine ve büyüklüklerine göre bir süreç izlenmesi gerekir.

Nanofiltrasyon (NF) basınç ile yönetilen bir ayırım prosesidir ve bu süreçte boyar maddeler, tuzlar ve bazı diğer kirleticiler (ör: sülfat, sertlik vb.) giderilebilir [10]. Membran filtrasyon prosesleri içerisinde, nanofiltrasyon, ultrafiltrasyon ile ters ozmoz arasında bulunup MWCO değeri 100 ile 1000 Da arasındadır (gözenek çapı yaklaşık 1 nm). Nanofiltrasyon sürecinde membranın iç yüzeyine ait mikro hidrodinamik özellikler sayesinde kirleticilerin yüzeyde tutunması sağlanır. Örnek olarak filtrasyon performansı membran yüzeyindeki yük dengesine bağlıdır [11]. Bazı endüstriyel sektörler düşük işletme basıncı, düşük maliyetleri, tekli ve çoklu iyonların ayrı ayrı tutulmaları gibi avantajlarından dolayı NF proseslerini tercih etmektedirler. Nanofiltrasyon yöntemleri, sahip olduğu avantajlar nedeni ile birçok endüstri tarafından kabul görmüştür [11]. Lau ve İsmail (2009) yaptıkları derleme çalışmasında birçok ticari membranın yüksek akıda çalıştırılabilirliklerini ya da yüksek performansta boya giderimi yapabildiklerini bildirmişlerdir. İdeal membranlar ise her iki özelliği de barındırmalıdır [12]. Membranın kirleticileri tutma yeteneği gözenek çapı membran yapısı gibi özelliklerin yanı sıra membran ile kirleticinin elektriksel yükleri arasındaki etkileşime de bağlıdır. Elektriksel olarak yüklü membran ilk olarak Erswell ve arkadaşları (1988) tarafından kullanılmıştır. Membran performansı çeşitli işletim koşulları altında boya ve tuz ayırımı ve süzüntü akı değerleri baz alınarak değerlendirilmiştir. Çalışma sonunda nanofiltrasyon prosesinin yüksek miktarda su geri kazanımı ile boyar madde içeren atıksuların arıtımında uygulanabilir olduğu sonucuna varmışlardır [13]. Fakat 40 bara kadar basınç uygulanmasına rağmen sadece 30 L/(m<sup>2</sup>.h) akı elde edilmiştir. Avlonitis ve arkadaşları (2008) [14] ise yaptıkları çalışmada pamuk boyama çıkış sularının nanofiltrasyon prosesi ile %72'lik bir oranda tuz giderimi ile arıtılabileceğini ortaya koymuştur.

Literatürde nanofiltrasyon ve ters ozmoz membranları ile tekstil atıksularının arıtılmasına yönelik bir dizi çalışma bulunmasına rağmen piyasada bulunan yaygın membranların birbirleri ile akı ve arıtılabilirlik yönünden karşılaştırmalı çalışması henüz çalışılmamıştır. Bu çalışmada ise bir dizi nanofiltrasyon ve ters ozmoz membranı ile sonlu filtrasyon testleri yapılarak çeşitli basınçlar altında filtrasyon performansını belirlenmiş ve arıtım verimleri ortaya konmuştur. Bu süreç, membran yüzeyi ve kirletici moleküller arasındaki elektrostatik ilişkiden büyük oranda etkilenmektedir ve bu sürecin izlenebilmesi için anaerobik ve aerobik olarak arıtılmış gerçek tekstil endüstrisi atıksuyu farklı pH değerlerinde yalnızca NF270, NF90 ve NFTS40 membranı filtre edilmiş ve sonuçlar tartışılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Atıksu

Çalışmada kullanılan atıksu tekstil endüstrilerinin yoğun olarak bulunduğu bir organize sanayi bölgesine ait atıksu arıtma tesisinin çıkışından alınmıştır. Bölgedeki işletmelerden kaynaklanan evsel ve endüstriyel nitelikli atıksuda, uzun havalandırılmalı aktif çamur prosesi ile karbon, azot ve fosfor giderimi

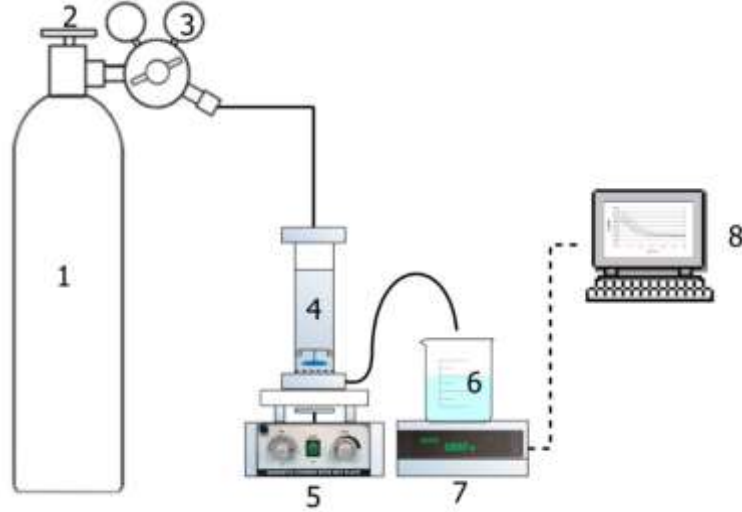
yapılmaktadır. Çalışmada kullanılan atıksu bu tesisin son çökeltim havuzu çıkışından alınmıştır. Atıksuya ait karakterizasyon Tablo 1’de görülmektedir. Atıksu arıtma tesisi çıkışından alınan su ise nanofiltrasyon ve ters ozmoz membranları ile filtre edilmeden önce, 0,45 µm gözenek boyutuna sahip poliethersülfon (PES) mikrofiltrasyon membranı ile ön işleme tabi tutularak askıda katı maddelerin giderimi sağlanmıştır.

**Tablo 1.** Çalışmada kullanılan atıksuyun karakterizasyonu.

Membran	pH	İletkenlik (µS/cm)	Renk Pt-Co (465 nm)	Renklilik Sayısı (RES)			KOİ (mg/L)
				436 nm	525 nm	620 nm	
Atıksu	8,2	4515	518	10,7	7,3	3,4	119

## 2.2. Sonlu Filtrasyon Mekanizması ve Kullanılan Membranlar

Çalışmada kullanılan sonlu sistemi Şekil 1’de gösterilmektedir. Mekanizma, basıncı oluşturmak için bir azot tüpü, atıksuyun içine konacağı bir hazne (250 ml) hazne sonunda membran bölmesi ve membran üzerinde çapraz akışı sağlayacak bir manyetik karıştırıcıdan oluşur. Filtre edilen su ise sürekli olarak hassas terazide ölçülür ve bu ölçümler bilgisayar ortamında kayıt edilir (Şekil 1).



**Şekil 1.** Filtrasyon testlerinde kullanılan sonlu filtrasyon ünitesi (1, gerekli basıncı sağlamak için kullanılan azot gazı; 2, valf; 3, basınç göstergesi; 4, sonlu filtrasyon mekanizması; 5, manyetik karıştırıcı; 6, süzüntü toplama beheri; 7, hassas terazi; 8, bilgisayar.

Filtrasyon çalışması, konsantrasyon polarizasyonunun ölçülmesi amacıyla, filtrasyon testleri öncelikli olarak saf su, sonrasında atıksu ve tekrar saf su olacak şekilde döngüler halinde yapılmıştır. Atıksu filtrasyonundan önce ve sonra elde edilen saf su akıları arasındaki fark, konsantrasyon polarizasyonundan kaynaklanan akıdaki düşüşü vermektedir. Çalışmada membranın atıksu akıları, akı düşüşleri ve KOİ, renk ve iletkenlik giderim performansları incelenmiştir. Çalışmada 300 ml’lik hacme sahip su haznesi kullanılmış olup, 250 ml’lik aktif hacimde çalışmalar yürütülmüştür. Konsantrasyon polarizasyonunun azaltılması amacıyla membran yüzeyinde akış hızı oluşturulmuş olup, bunun için manyetik balık ve karıştırıcı kullanılmıştır (Şekil 1). Çapraz akış hızı membran tıkanıklığına etki eden önemli bir parametre olup, hız arttıkça suyun membran yüzeyinde biriken kek tabakasını sıyrıcı gücü de artar. Bu sayede konsantrasyon polarizasyonu ve jel tabakası oluşu azalabilir [15]. Çalışmada öncelikle bütün membranlar için geçirgenlik testleri yapılmış olup, bunun için temiz membranda farklı basınç altında (10, 15, 20 ve 25 bar) saf su filtrasyonu yapılmıştır. Elde edilen akılar basınçlara bölünerek geçirgenlik hesaplanmıştır. Daha sonra seçilen 3 farklı NF membranı (NF90, NF270 ve NFTS40) için farklı pH değerlerinde (3, 7 ve 10) filtrasyon testleri yapılarak pH’nın membran filtrasyonu ve akısı üzerine etkileri belirlenmiştir. Yapılan her bir çalışmada arıtım performanslarının belirlenmesi için KOİ, iletkenlik ve renk ölçümleri yapılmıştır.

Çalışmada 6 farklı NF membranı ile 3 ters ozmoz membranı kullanılmıştır. Bu membranlara ait özellikler Tablo 2'de sunulmuştur.

**Tablo 2.** Çalışmada kullanılan membranların özellikleri.

Özellikler/ Membranlar	Polimer	Moleküler Ağırlık Engelleme Sınırı (MWCO)	Tuz Giderme Oranı	pH Aralığı (25 °C)	Tipik Akı/psi GFD@PSI
NF90	Polyamide	~100-200 Da	-	2-11	46-60/130
NF270	Polyamide	~200-400 Da	99,2-MgSO <sub>4</sub>	2-11	72-98/130
NFTS40	Polypiperazine amide	200 MWCO	99% - MgSO <sub>4</sub>	2-11	20/110
NFXN45	Polypiperazine amide	500 MWCO	95.0% - MgSO <sub>4</sub>	2-11	35/110
NFDK	TF (Thin Film)	150-300 MWCO	98% - MgSO <sub>4</sub>	2-10	22/100
NFDL	TF (Thin Film)	150-300 MWCO	96% - MgSO <sub>4</sub>	2-10	31/100
ROX201	Polyamide-urea	-	99,5%	2-11	30/225
ROBW30FR	Polyamide	~100 D	99,5%	2-11	26/255
ROACM5	Polyamide	0 MWCO	98,5%	2-11	30/110

## 2.3. Verilerin Analizi

### 2.3.1. Akı, tuzluluk ve boya giderimi

Membranın kullanılabilirliği membrandan geçen akı olarak ifade edilir. Saf su akısı  $J_w$  (LMH) olarak tanımlanmıştır:

$$J_w = Q_w / (A \cdot t) \quad (1)$$

Burada;  $Q_w$ , Saf su için elde edilen süzüntünün hacmi (Litre),  $A$ , Membran alanı (m<sup>2</sup>),  $t$  ise toplama zamanı (saat)'dir.

Tuzluluk ve boya içeren atıksuyun filtrasyonu sırasında elde edilen Akı ( $J_{sd}$ ) ise şu şekilde ifade edilir:

$$J_{sd} = Q_s / (A \cdot t) \quad (2)$$

Burada;  $Q_s$ , atıksu testleri sırasında süzüntünün hacmini ifade eder.

Gözlemlenen tuz giderimi ( $R_0$ ) ise aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$R_0 (\%) = (C_b - C_p) / C_b * 100 \quad (3)$$

Burada,  $C_b$  ve  $C_p$  sırasıyla atıksudaki ve süzüntüdeki tuz konsantrasyonudur.

Gerçek giderim ise  $R$  ile sembolize edilir ve aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanır:

$$R = (C_m - C_p) / C_m * 100 \quad (4)$$

Burada;  $C_m$ , membran yüzeyindeki kirlenici konsantrasyonu,  $C_p$  ise kirlenicinin süzüntüdeki konsantrasyonudur.

Boya giderimi ise şu şekilde tanımlanır:

$$R_0 \text{ boya } (\%) = (A_b - A_p) / A_b * 100 \quad (5)$$

Gerçek giderim ise:

$$R \text{ boya } (\%) = (A_b - A_p) / A_m * 100 \quad (6)$$

Burada; Ab ve Ap, atıksu ve süzöntüdeki boya konsantrasyonu olup, Am = Membran yüzeyindeki boya konsantrasyonudur.

Ayrıca her bir membran için hacim azaltma faktörleri (volume reduction factor: VRF) aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$VRF = V_i / (V_i - V_s)$$

Burada, Vi ve Vs sırasıyla ilk hacim ve membrandan çekilen süzöntü hacmini göstermektedir.

## 2.4. Analitik Metotlar

Filtrasyon sonrası elde edilen süzöntüden KOİ, pH, iletkenlik ve renk tayini yapılmıştır. KOİ testi, düşük aralık KOİ kiti ile yapılmıştır (Hach 5-60 mg/L). pH ve iletkenlik ise Hach marka pH metre ile ölçülmüştür (Hach – HQ 40d pH meter). Renk ise Hach Marka spektrofotometre ile 460 nm’de Pt-Co olarak analiz edilmiştir [16].

## 3. Bulgular ve Tartışma

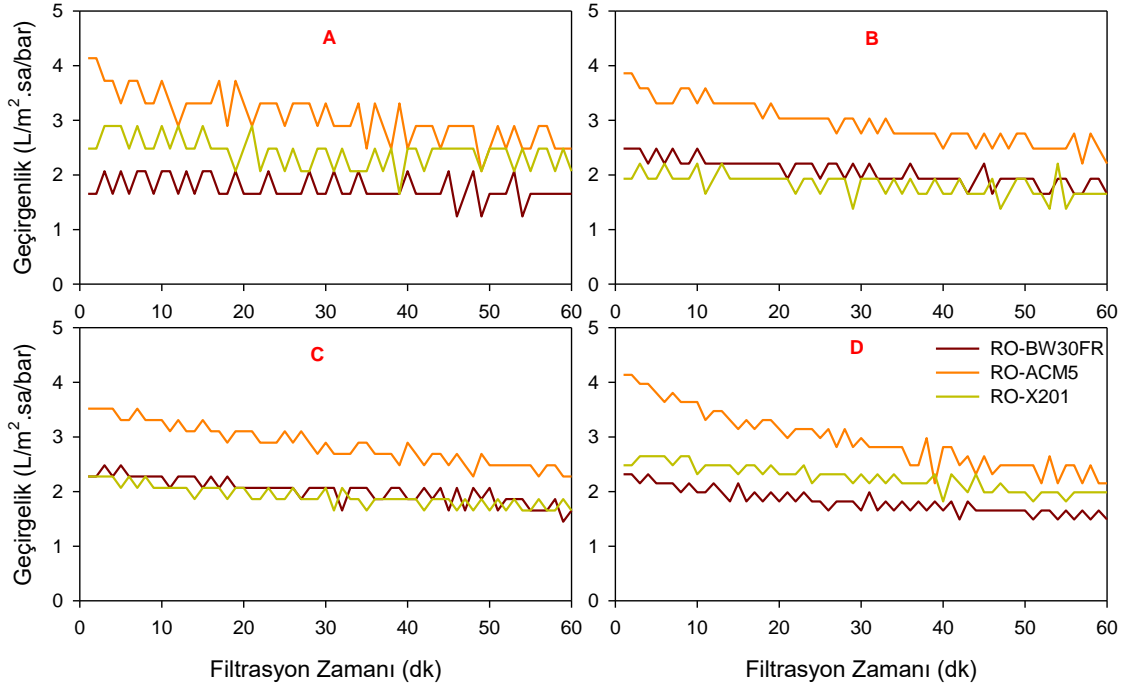
### 3.1. Membranların Birbirleri ile Kıyaslanmaları

Atıksu filtrasyonları sırasında elde edilen atıksu geçirgenlik değerleri, her bir membran için saf su geçirgenliği ile kıyaslanmıştır ve zamana göre değişen geçirgenlik değerleri Şekil 2’de gösterilmektedir. RO membranları içinde ROX201 akıdaki azalma açısından en yüksek performansı göstermiştir. Akıdaki azalma test süresinin başında saf su akısına göre %8,24 ile başlayıp 25 Bar basınç altında 1 saatlik döngü sonunda %29,41 değerine ulaşmıştır (Hacim Azaltma Faktörü: Volume Reduction Factor (VRF)=1,51). En yüksek akı RO-ACM5 membranı ile elde edilmiştir. Ortalama geçirgenlik değerleri ROBW30FR, ROACM5 ve ROX201 için 1,91, 2,95 ve 2,10 L/(m<sup>2</sup>.h.Bar)’dır.

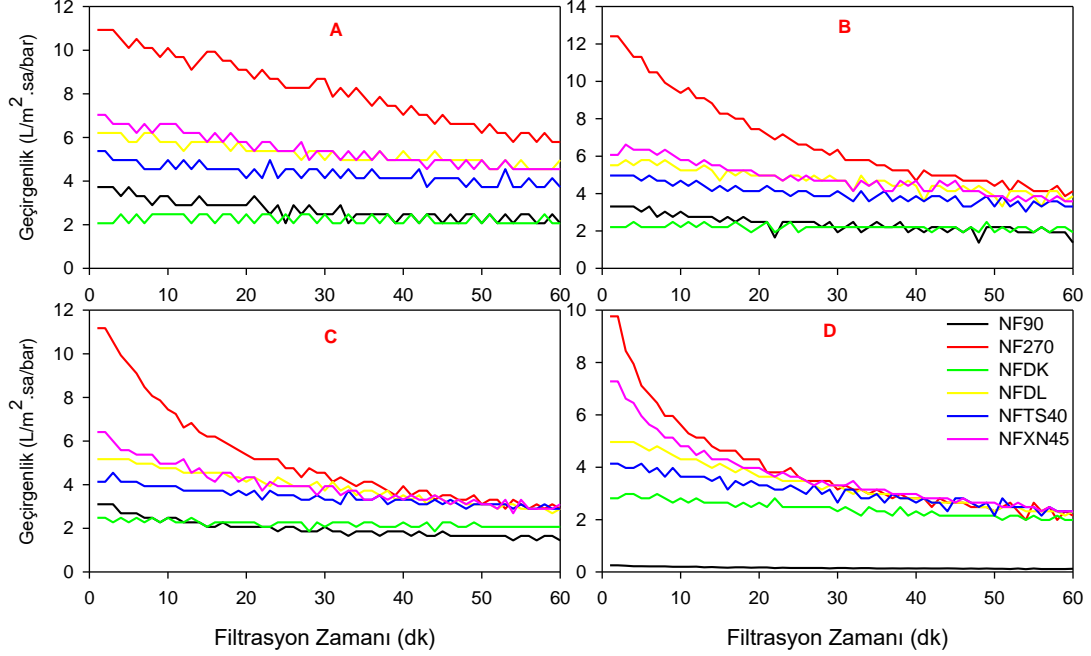
ROBW30FR membranı 100 Da’lık MWCO ile poliamid bir membrandır. Akının arttırılabilmesi için sülfürik asit ve hidroflorik asit ile bir hidrofilikleştirme prosedürü önerilmiş ve artan membran performansı elde edilmiştir [17]. Mevcut çalışmada BW30FR ile 25 barlık basınç altında 1 saat sonunda atıksu akısındaki azalma saf suya nazaran % 0 ile başlayıp 27,13’e yükselmiştir.

NF membranları için en yüksek geçirgenlik değeri NF270 membranı ile ortalama 5,95 L/(m<sup>2</sup>.h.Bar) olarak bulunmuştur. Bu membran için akıdaki azalma %38,75 ile başlayıp %83,74’ye ulaşmıştır (VRF 2,24 olmuştur). Akıda en düşük azalma NFDK membranında gözlemlenmiş olup 10, 15, 20 ve 25 Bar için 1 saatlik filtrasyon sonunda azalma sırasıyla %0, 8,70, 13,44 ve 24,30’dur. NFDK membranı %98’lik MgSO<sub>4</sub> tutma özelliği ile 150–300 MWCO değerine sahiptir. Bu membran için üretici tarafından verilen geçirgenlik ise gıda endüstrisi atıksuları için tipik olarak 5.42 L/(m<sup>2</sup>.h.bar)’dır. Tekstil endüstrisi çıkış suları için, aynı değer çalışmamızda 2,26 L/(m<sup>2</sup>.h.Bar) olarak tespit edilmiştir. Bu düşük geçirgenlik genel olarak membran yüzey özellikleri ve atıksu içerisindeki boyar maddelerin yükleri ile ilişkilidir. NFDK membranı yüksüz organik moleküller için yaklaşık 150-300 daltonluk MWCO değeri ile karakterize edilen ince bir film membrandır. Öte yandan en yüksek akı düşüşü NFXN45 membranında gözlenmiştir (25 Bar ile atıksu ile yapılan testte saf suya göre başlangıçta %0 olan azalma sonrasında %62,10’a yükselmiştir). Her bir NF için atıksu geçirgenlikleri ve bu değerlerdeki düşüşler Şekil 3’te gösterilmiştir.

Yapılan bir çalışmada süt endüstrisi atıksularından farklı NF ve TO membranlarıyla su geri kazanılması çalışılmış olup, çalışmada NF membranları için 15 bar altında 3,5-5 LMH’lık elde edilmiştir (VRF yaklaşık 3). Aynı VRF değeri için 25 bar basınç altında TO membranları için de 3,5-4 LMH arasında akı elde edilmiştir [18]. Bu sonuçlarla çalışmada NF ve TO membranları için en yüksek geçirgenlik değeri sırasıyla 0,33 LMH/bar ve 0,16 LMH/bar olarak elde edilmiş olup, bu çalışmada elde edilen geçirgenlik değerlerinden oldukça düşük seviyelerdedir. Bunun temel nedeni ise yüksek organik madde konsantrasyonundan (KOİ: 36 g/L) kaynaklandığı vurgulanmıştır. Özellikle kazeinler, peynir altı suyundan gelen proteinler ve laktoz kaynaklı olarak membran üzerinde jel tabakasının oluştuğu ve bu dinamik tabakanın, akı koşullarının sınırlandırılmasına yol açan aktif katman olduğu belirtilmiştir [18].



**Şekil 2.** Farklı basınçlar altında RO membranları ile atıksu geçirgenlikleri (a:10 Bar; b: 15 Bar; c:20 Bar; d:25 Bar) Saf su geçirgenlikleri: ROB30FR: 2,30 L/(m<sup>2</sup>.h.Bar); ROACM5: 5,27 L/(m<sup>2</sup>.h.Bar); ROX201: 2,96 L/(m<sup>2</sup>.h.Bar).



**Şekil 3.** Çeşitli basınç değerleri altında test edilen NF membranları. (a: 10 Bar; b:15 Bar, c:20 Bar ve d:25 Bar). Saf su geçirgenlikleri: NF90, 7.41 L/(m<sup>2</sup>.h.Bar); NF270, 13.78 L/(m<sup>2</sup>.h.Bar); NFDK, 2.77 L/(m<sup>2</sup>.h.Bar); NFDL, 6.19 L/(m<sup>2</sup>.h.Bar); NFTS40, 5.25 L/(m<sup>2</sup>.h.Bar); NFXN45, 7.11 L/(m<sup>2</sup>.h.Bar).

Suksaroj ve arkadaşları (2005) tarafından yapılan bir çalışmada, biyolojik olarak arıtılmış olan tekstil endüstrisi atıksuyu geri kazanımı çalışılmış olup, NF (Osmonics Desal 5 Dk) ve TO (Filmtec Cycron) membranları koagülasyon/flokülasyon ile ön arıtım yapılarak ve ön arıtım yapılmayarak kıyaslanmıştır [19]. Yapılan çalışmada kullanılan atıksu 1400-1800  $\mu\text{S}/\text{cm}$  iletkenlik değerine sahip olup, ön arıtma uygulanmış olan atıksuda NF membranında 12,5 bar basınç altında 17,9 LMH'lık akı elde edilmiştir (Geçirgenlik: 1,43  $\text{L}/(\text{m}^2.\text{h}.\text{Bar})$ ). Bu değer bu çalışmada kullanılan NF membranlarından elde edilen geçirgenlik değerinden yüksek olup, bu durumunda iki muhtemel nedeni olduğu söylenebilir. Bunlardan birincisi, sisteme beslenen atıksudaki iletkenlik değerinin bu çalışmada kullanılan iletkenlik değerinden oldukça düşük seviyelerde olması ve ikincisi ise atıksuya ön arıtım uygulanmasıdır. Benzer şekilde, yapılan çalışmada TO membranında ise 15 bar basınç altında 9,8 LMH'lık akı elde edilmiş olup (Geçirgenlik: 0,65  $\text{L}/(\text{m}^2.\text{h}.\text{Bar})$ ) [19], çalışmamızda elde edilen değerlerden yüksek seviyelerdedir. TO membranlarında da elde edilen bu değerlerin sebebi NF membranlarındaki ile aynıdır. Ayrıca yapılan çalışmada da ön arıtım uygulanan atıksuda elde edilen akının ön arıtım uygulanmayan atıksudan daha yüksek elde edildiği ve ön arıtımın filtrasyon akısını arttırdığı vurgulanmıştır [19].

### 3.2. Atıksu akısına pH'nın etkisi

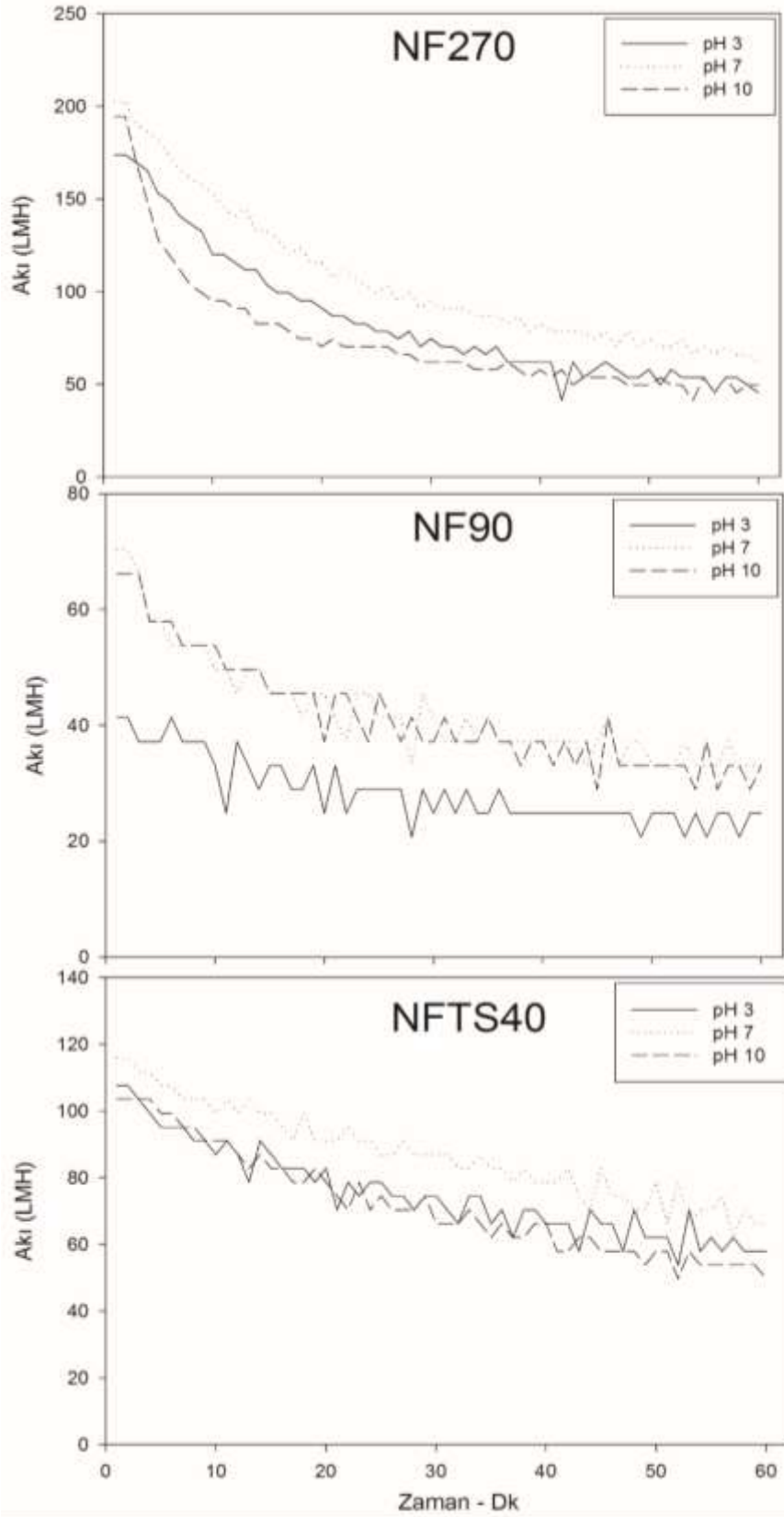
Şekil 4'te üç nanofiltrasyon membranına ait pH 3, 7 ve 10'da NF90, NF270 ve NFTS40 membranlarına ait atıksu akıları yer almaktadır. En yüksek akı düşüşü her üç pH değeri için NF90 membranında elde edilmiştir. Çalışma başındaki saf suya nazaran hesaplanan akı düşüşleri %75,19, 66,07 ve 67,53 iken pH 3, 7 ve 10 değerleri için çalışma sonunda sırasıyla % 88,2, 81,73 ve 83,76 'ya yükselmişlerdir. Atıksu denemelerinden sonra da membranlar bir sünger ile fiziksel olarak temizlenmiş ve tekrardan saf su akılarına bakılarak başlangıç saf su akıları ile kıyaslanmıştır. Farklı pH değerleri için atıksu akı düşüş değerleri Şekil 4'te gösterilmektedir.

NF270 ve NFTS40 membranları NF90 membranından farklı olarak daha iyi akı değerleri göstermiştir. pH 3 ve 7 değerinde NF270 membranı akısında benzer miktarda düşüş gözlenmiştir (pH 3 ve 7 için sırasıyla %35,07'ten 79,81'e ve % 31,18'den 75,72'e). Fakat pH 10'da akı düşüşü %45,46 ile başlayıp %83,23'e yükselmiştir. pH'nın 3'ten 10'a yükselmesi akı geri kazanımını da arttırmıştır. Şekil 5'ten de görülebileceği gibi, pH 10 değerinde saf su akısı neredeyse tamamen testin başlangıcındaki değerlere eşittir.

Asidik pH'larda boya molekülleri daha az ayrışmaya sebep olup boya molekülü ile membran yüzeyi arasındaki ilişki yoğunluk kazanabilmektedir. Bu da boya moleküllerinin membran yüzeyine adsorpsiyonunu artırıp akıyı düşürmektedir. pH değerinin 7'ye yükselmesi ile membran yüzeyindeki negatif yük yükselmeye başlar ve negatif yüklenmiş membran ile boya molekülleri arasındaki itme daha az gözenek tıkanmasına sebep olur. Bu da artan pH ile birlikte NF270 membranının akısının artmasına sebep olur. pH'nın 10'a artırılması ise akıda daha fazla artışa sebep olmazken akı geri kazanımının artmasına sebep olmuştur.

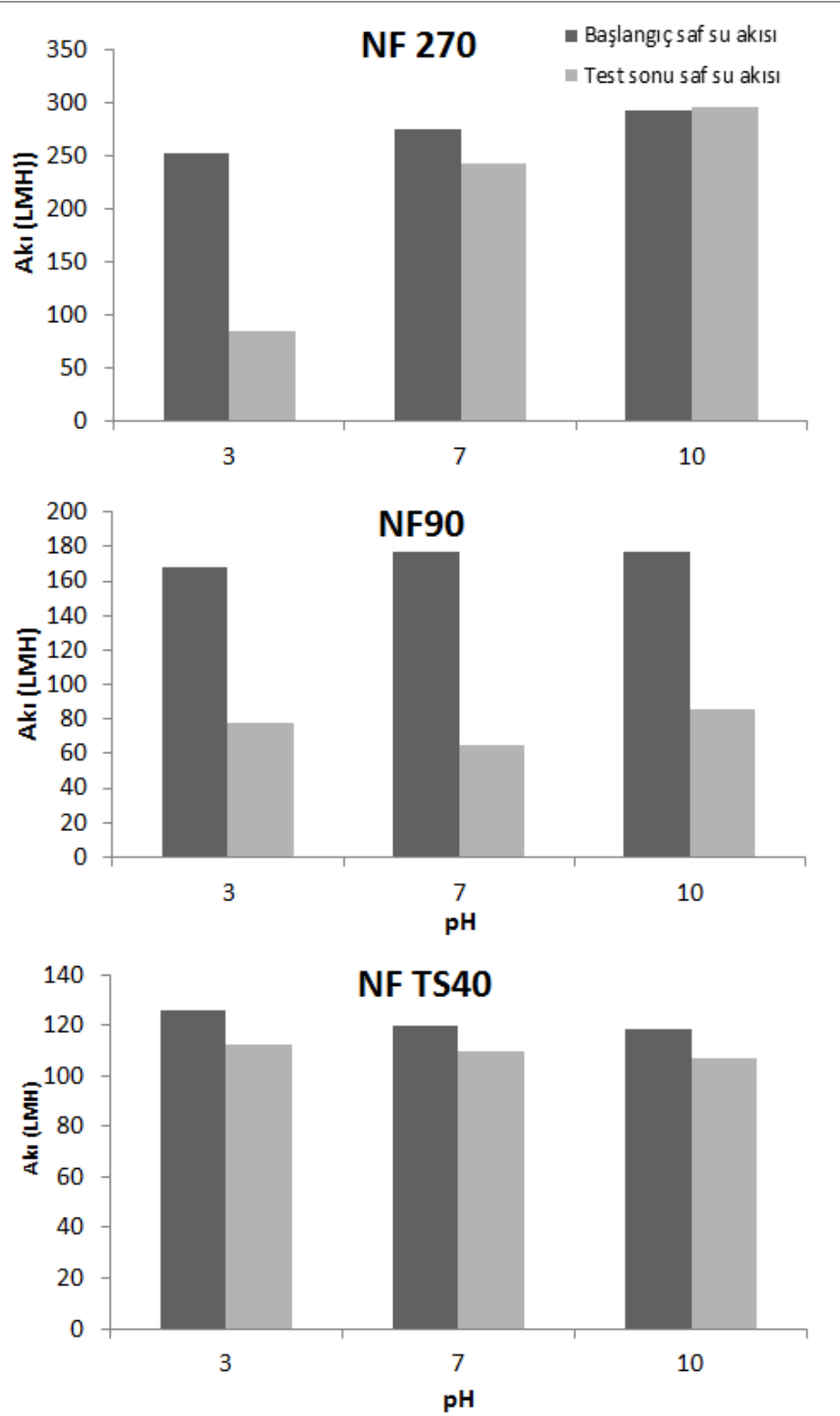
NFTS40 membranı akısında daha az düşme gözlenmiş ve yüksek akı geri kazanımı elde edilmiştir. En yüksek akı nötral pH'da NFTS40 membranı için elde edilmiştir. Giriş suyu pH'sından bağımsız olarak, membran fiziksel temizleme ile saf su akısına geri kavuşmuştur. Bu duruma pH'nın önemli bir derecede katkısı yoktur. Poliamid membranlardan farklı olarak, NFTS40 bir polipiperazin amid membranıdır. Atıksu testlerinde saf su akısına göre akı düşüşü %19,67, %5,57 ve %13,75 ile başlayıp pH 3, 7 ve 10 için % 53, 42,90 ve 55,12'ye yükselmiştir. Test sonundaki saf su akısındaki düşüş ise pH 3, pH 7 ve pH 10 için % 10,80, 8,30 ve 9,44'dur. Su ve atıksu geçirgenlikleri ayrıca birim bar başına elde edilen LMH değerleri olarak da değerlendirilmiştir. Aşağıdaki Şekil 6,7 ve 8'de başlangıçtaki saf su, atıksu ve çalışma sonunda elde edilen saf su geçirgenlik değerleri her bir membran için verilmiştir.

Çalışmanın bu kısmına göre, NF270 membranı için ortalama saf su geçirgenlikleri pH 3, 7 ve 10 için  $10,11\pm 0,08$ ,  $11,02\pm 0,15$  ve  $11,68\pm 0,16$   $\text{L}/(\text{m}^2.\text{h}.\text{Bar})$ 'dır. Sonraki süreçte yapılan atıksu testinde ise ortalama geçirgenlik değerleri aynı pH değerleri için  $3,39\pm 1,42$ ,  $4,26\pm 1,53$  ve  $2,98\pm 1,34$   $\text{L}/(\text{m}^2.\text{h}.\text{Bar})$ 'dır. Son olarak çalışma sonunda yapılan saf su geçirgenlikleri ise aynı sıraya göre  $3,40\pm 1,13$ ,  $9,68\pm 0,35$  ve  $11,85\pm 0,64$   $\text{L}/(\text{m}^2.\text{h}.\text{Bar})$ 'dır.

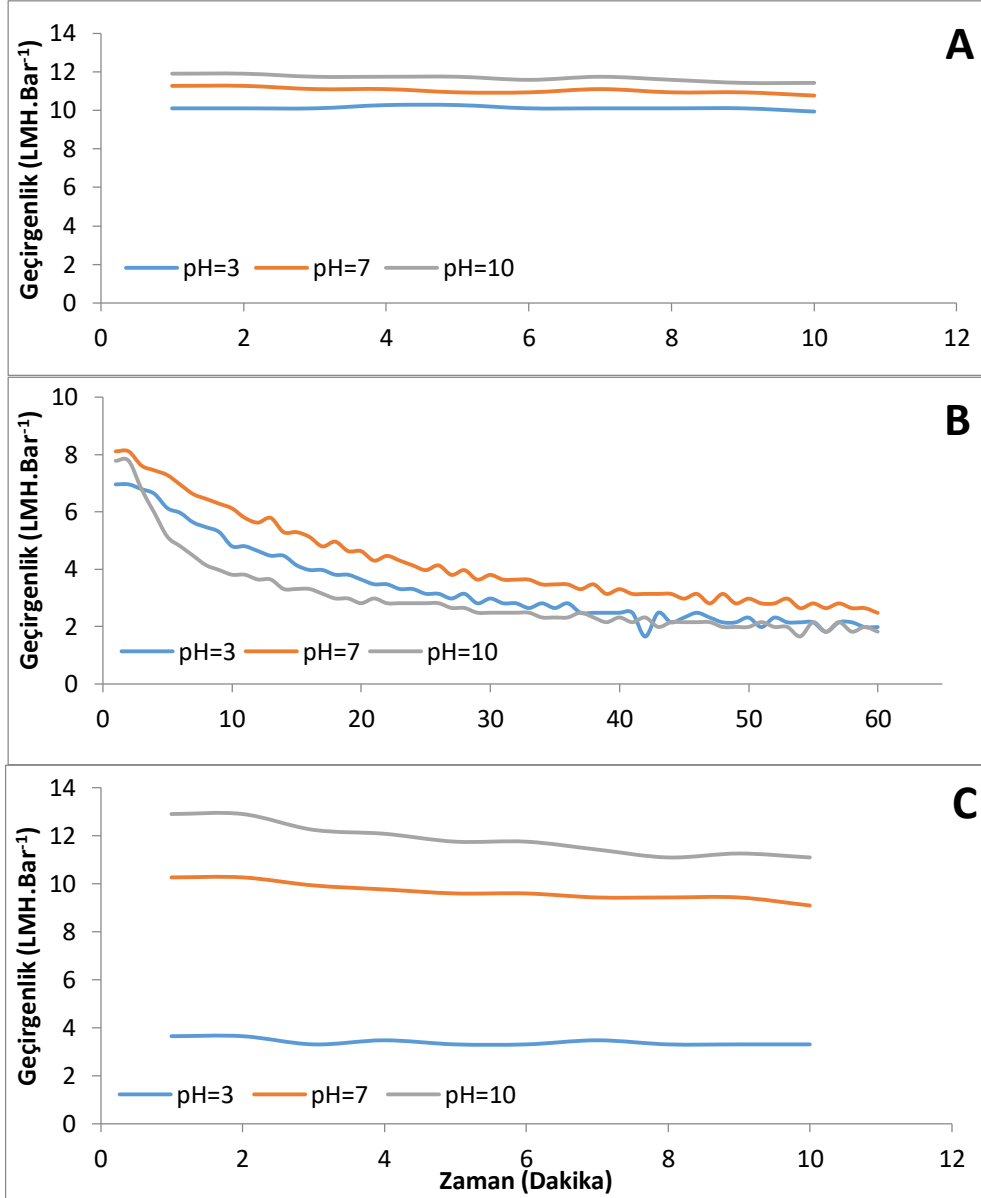


Şekil 4. Farklı pH değerleri için 25 Bar basınç altında NF270, NF90 ve NFTS40 için atıksu akıları.

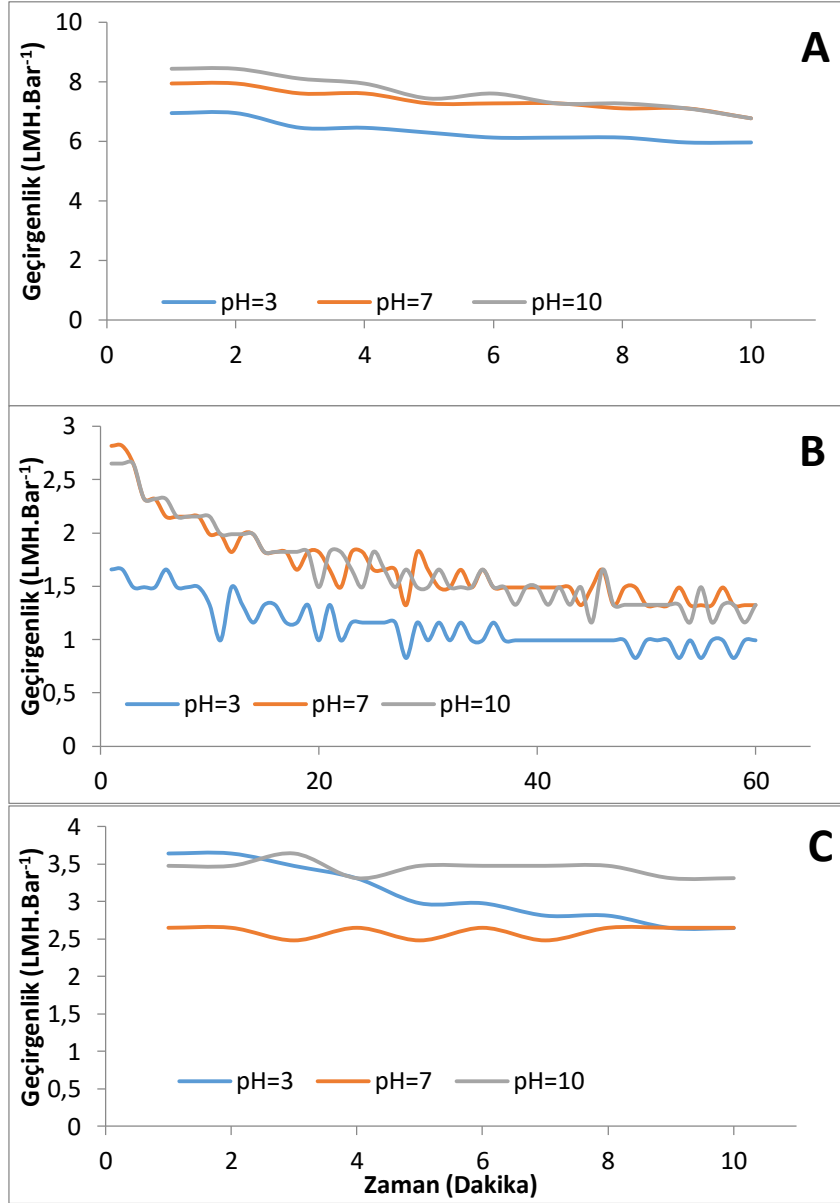




Şekil 5. Farklı pH'larda NF270, NF90 ve NF TS40 membranlarının saf su geçirgenlikleri.



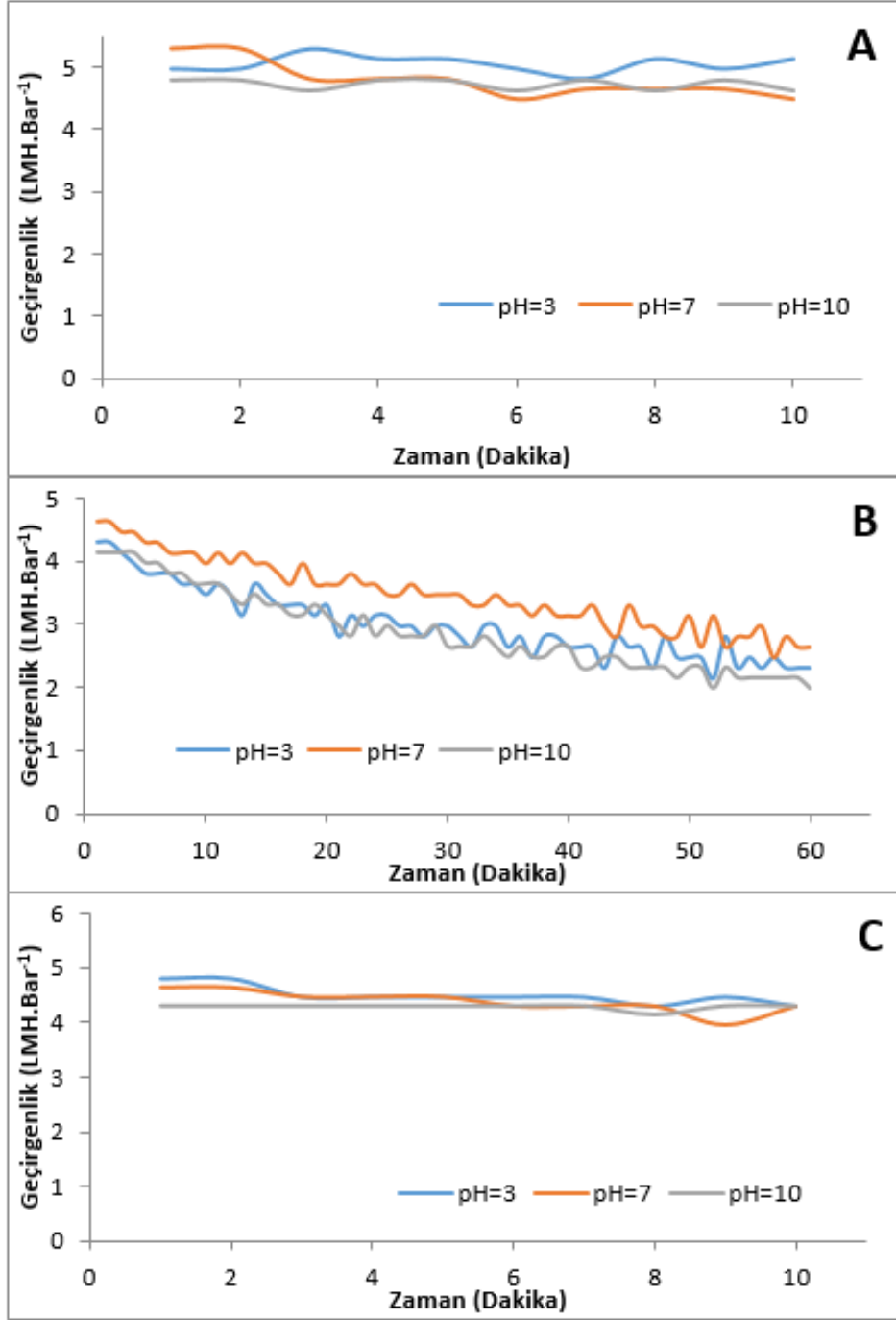
Şekil 6. NF270 membranı için 25 Bar basınç altında farklı pH'larda geçirgenlik değerleri (a: Başlangıçtaki saf su geçirgenliği, b: atkusu geçirgenliği ve c: çalışma sonundaki saf su geçirgenliği).



Şekil 7. NF90 membranı için farklı pH'larda geçirgenlik değerleri (a: Başlangıçtaki saf su geçirgenliği b: atıksu geçirgenliği ve c: çalışma sonundaki su geçirgenliği).

NF90 membranı için saf su geçirgenlik değerleri çalışma öncesinde pH 3, 7 ve 10 için  $6,33 \pm 0,34$ ,  $7,40 \pm 0,35$  ve  $7,64 \pm 0,3$  L/(m<sup>2</sup>.h.Bar) olarak belirlenmiştir. Çalışma sonunda ise saf su geçirgenlikleri  $3,09 \pm 0,37$ ,  $2,60 \pm 0,07$  ve  $3,44 \pm 0,1$  L/(m<sup>2</sup>.h.Bar)'a düşmüştür (Şekil 7). Ortalama atıksu geçirgenliği ise  $1,33 \pm 0,22$ ,  $1,7 \pm 0,36$  ve  $1,66 \pm 0,38$  L/(m<sup>2</sup>.h.Bar)'tır. Atıksu geçirgenliği pH 7 değeri için 2,58'den 1,35 L/(m<sup>2</sup>.h.Bar)'a düşmüştür. Oldukça benzer geçirgenlik düşüşleri pH 10 için de gözlemlenmiştir. Bu pH 'da geçirgenlik 2,51'den 1,3 L/(m<sup>2</sup>.h.Bar)'a düşmüştür. En düşük geçirgenlik düşüşü pH 3'te test edilen atıksuda gözlemlenmiştir. Bu testte geçirgenlik 1,57 den 0,93 L/(m<sup>2</sup>.h.Bar)'a düşmüştür (Şekil 7b).

NFTS40 membranına ait geçirgenlik değerleri de Şekil 8'de görülmektedir. pH 3, 7 ve 10 için geçirgenlik düşüşleri sırasıyla  $5,04 \pm 0,13$ 'den  $4,50 \pm 0,16$ 'a;  $4,78 \pm 0,28$  den  $4,38 \pm 0,18$ 'a ve  $4,73 \pm 0,08$  'den  $4,28 \pm 0,04$  L/(m<sup>2</sup>.h.Bar)'a düşmüştür.



Şekil 8. NFTS40 membranına ait farklı pH'lardaki geçirgenlik değerleri (a: Başlangıçtaki saf su geçirgenliği, b: atıksu geçirgenlik değeri ve c: çalışma sonundaki saf su geçirgenliği).

### 3.3. Ters Ozmoz ve Nanofiltrasyon Membranları için Arıtma Performansları

Her bir filtrasyon alternatifine göre elde edilen VRF değerleri Tablo 3'de verilmiştir. Elde edilen süzüntülerden her bir döngü sonunda örnekler alınarak pH, iletkenlik, renk ve KOİ analizleri yapılmıştır. Tablo 3 ters ozmoz membranları için arıtım performanslarını göstermektedir. Beklendiği üzere ters ozmoz membranları yüksek seviyede renk ve iletkenlik giderimi sağlamıştır. ROB30FR membranı için KOİ değeri 1 saatlik süren filtrasyon sonucunda ölçülmüş ve 120 mg/L'den 12±0,2 mg/L'ye düşmüştür. 1 saatlik çalışma sonunda 25 Bar basınç altında VRF 1,36 değerine ulaşmıştır. Süzüntü iletkenliği ise 173±0,28 µS/cm olup bu değer %96,16'lık bir giderime tekabül etmektedir. Süzüntü renk giderimi ise %100 olup çıkış boya konsantrasyonu tespit edilebilir seviyenin altında bulunmuştur. ROACM5 membranı da yüksek KOİ, iletkenlik ve renk giderim performansı göstermiştir. 25 Bar basınç

altında sırasıyla %96,11, 98,84 ve 91,09 oranlarında iletkenlik, renk ve KOİ giderimi gerçekleşmiştir. ROX201 membranı da benzer ayırım özellikleri göstermiştir. İletkenlik 117,4  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'ye düşerek %97,4'lük bir giderim göstermiştir. Renk ve KOİ ise sırasıyla 5 Pt-Co ile 11,46 mg/L olarak bulunmuştur. TO membranlarına ait test edilen tüm parametreler Tablo 3'de verilmiştir.

**Tablo 3.** Ters ozmoz membranlarının arıtım performansları.

Membran	Basınç (Bar)	VRF	pH	İletkenlik ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Renk Pt-Co (465 nm)	RES			KOİ (mg/L)
						436 nm	525 nm	620 nm	
Atıksu	-		8,2	4515	518	10,722	7,370	3,404	119
RO BW30FR	10	1,11	6,9	234	4	0,466	0,232	0,234	7,4
	15	1,22	6,8	162	12	0,933	0,464	0,467	16
	20	1,30	6,7	119	0	0,000	0,000	0,000	11
	25	1,35	6,9	173	0	0,000	0,000	0,000	11
RO X201	10	1,16	7,2	271	15	2,332	1,393	1,168	4,4
	15	1,19	6,7	107	13	2,332	1,393	0,934	6,2
	20	1,28	6,5	89	11	1,865	1,161	0,701	10
	25	1,50	7,5	117	5	0,233	0,232	0,234	11,5
RO ACM5	10	1,21	7,8	126	29	4,663	3,483	2,569	7
	15	1,34	6,5	85	25	3,964	3,251	2,102	8
	20	1,50	6,5	110	19	3,264	2,090	1,401	9
	25	1,74	6,7	176	6	1,632	0,929	0,467	11

Nanofiltrasyon membranları için arıtım verimleri membrana bağlı olarak farklılık göstermiştir. En düşük çıkış iletkenlik değeri NF90 membranı ile 25 Bar basınç altında  $218,65 \pm 0,63 \mu\text{S}/\text{cm}$  olarak ölçülmüş ve bu değeri NFDK membranı  $1559 \mu\text{S}/\text{cm}$ 'lik çıkış iletkenlik değeri ile takip etmiştir. Diğer yandan XFNF45 membranı ise en düşük iletkenlik giderim performansını göstermiştir (25 Bar basınç altında  $3420 \mu\text{S}/\text{cm}$ ). Tablo 2'den de görüldüğü üzere diğer NF membranlarına kıyasla daha düşük gözenek boyutundan ( $\sim 100-200 \text{ Da}$ ) dolayı NF90 membranı daha iyi iletkenlik giderimi gerçekleştirmiştir. Bunun Donnan etkisi nedeniyle olduğu tahmin edilmektedir. Renk giderimi neredeyse tüm membranlar için stabildir. Çıkış renk konsantrasyonları en düşük NF90 ve NF270 membranı ile 4 Pt-Co olarak ölçülürken en yükdek değer XFNF45 membranı ile 114 Pt-Co'dur. NF90 ve NF270 membranları 4 Pt-Co çıkış renk konsantrasyonu ile maksimum renk giderim verimleri (Her iki membran için 25 Bar basınç altında  $> \%99$ 'dan fazla) göstermiştir. Süzüntü renk konsantrasyonu XFNF45 membranı için 114 Pt-Co'dur. Bu değer test edilen membranlar arasındaki en düşük verim olsa da çıkış suyu halen atıksu deşarj standartlarını karşılamaktadır. Türkiye için deşarj standardı 280 Pt-Co'dur. COD konsantrasyonları  $< 4 \text{ mg}/\text{L}$  ile  $39,21 \pm 6,85 \text{ mg}/\text{L}$  arasında değişmektedir. Test edilen herbir membran için süzüntü KOİ konsantrasyonları Tablo 3'te gösterilmiştir. Görüleceği üzere NF90, NF270 ve NFDL oldukça yüksek KOİ giderim verimi göstermiştir. Test edilen tüm NF membranlara ait KOİ, renk ve iletkenlik giderim değerleri Tablo 4'te gösterilmiştir.

**Tablo 4.** Test edilen NF membranlarına ait iletkenlik, renk ve KOİ giderim verimleri.

Membran	Basınç (Bar)	VRF	pH	İletk. ( $\mu\text{S/cm}$ )	Renk Pt-Co (465 nm)	436 nm	525 nm	620 nm	KOİ (mg/L)
Atıksu	-	-	8,2	4515	518	10,722	7,370	3,404	119
NF90	10	1,18	6,83	263	4	0,233	0,000	0,000	<4 mg/L
	15	1,27	6,86	257	0	0,233	0,000	0,000	8,8
	20	1,29	6,91	300	8	0,466	0,232	0,234	<4 mg/L
	25	1,33	6,82	219	4	0,233	0,000	0,000	<4 mg/L
NF270	10	1,85	8,01	3125	8	1,399	0,697	0,234	12,3
	15	2,36	8,10	2970	12	0,699	0,464	0,234	14,4
	20	2,40	8,03	2770	0	0,000	0,000	0,000	17,2
	25	2,24	8,09	2805	4	0,466	0,000	0,000	16,4
NF DK	10	1,15	7,59	2380	51	4,197	3,251	2,335	37,6
	15	1,24	7,51	2045	28	1,632	1,161	0,934	40,1
	20	1,34	7,46	1911	83	4,896	3,483	2,569	42,4
	25	1,53	7,49	1559	75	23,782	2,090	1,401	25,2
NF DL	10	1,43	8,04	3025	20	1,166	0,697	0,234	10,3
	15	1,68	8,00	2965	35	2,332	1,625	0,934	18,5
	20	1,94	8,03	2995	28	1,865	0,929	0,467	12
	25	1,90	7,94	2530	12	0,699	0,464	0,234	6,0
NF TS40	10	1,32	7,91	3425	24	1,632	0,929	0,467	40
	15	1,51	7,91	2760	28	1,632	1,161	0,701	38
	20	1,64	7,99	2870	16	0,933	0,697	0,234	30
	25	1,77	7,98	2865	4	0,466	0,000	0,000	29
XF NF 45	10	1,46	8,20	3540	83	5,596	3,018	1,168	8,4
	15	1,71	8,24	3625	102	9,093	3,715	1,868	46
	20	1,84	8,17	3460	110	7,461	6,269	2,335	27
	25	2,12	8,27	3420	114	7,694	4,179	2,102	39

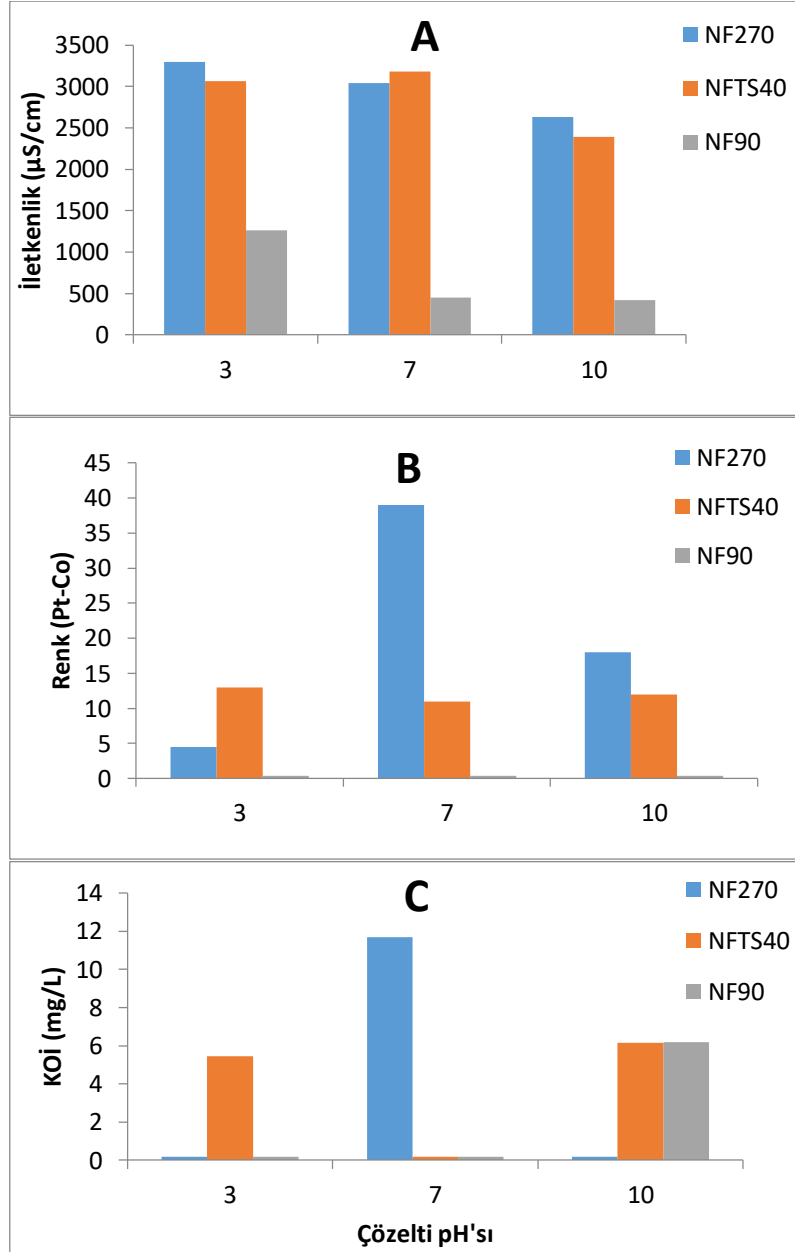
### 3.4. pH'nın Arıtım Performansına Olan Etkisi

Şekil 9'da farklı pH'larda yapılan denemelere ait çıkış değerleri görülmektedir. NF270 membranı için pH arttıkça iletkenlikte düşüş gözlemlenmiş ve pH 3 için  $3300 \pm 28,3$  olan iletkenlik pH 10 ile  $2630 \pm 28,2$   $\mu\text{S/cm}$  değerine düşmüştür. Benzer sonuçlar NF90 membranı için de gözlemlenmiştir. Bu membran için pH'nın 3 ten 10'a yükselmesi, iletkenlik değerinde  $1261 \pm 1,41$  den  $418 \pm 2,82$   $\mu\text{S/cm}$ 'ye düşmesine neden olmuştur. Fakat NF270 membranı için sızıntı iletkenlik değeri sadece pH 10 değerine yükseltildiğinde düşüşe geçmiştir. İletkenlik seviyesi 3 ve 7 için sırasıyla  $3065 \pm 21,21$  ve  $3180$   $\mu\text{S/cm}$  iken pH 10 için  $2390 \pm 70,71$   $\mu\text{S/cm}$ 'ye düşmüştür.

Renk giderim verimleri de Şekil 9b'de görülmektedir. Görüleceği üzere, test edilen tüm pH'larda NF90 membranı %100'lük boya giderimi sağlamıştır. NF270 membranı için ise nötral değer renk giderimine olumsuz bir etki yaratmıştır. pH 3 değeri için %99'un üzerinde giderim verimi elde edilirken giderim verimi pH 7 için %92'ye düşmüştür. pH sonraki süreçte 10'a yükseltince giderim verimi %96,5 olarak tespit edilmiştir. Asidik ya da bazik koşullar NF270 membranı için renk

gideriminde nötral seviyeler kadar etkin olamamıştır. Muhtemel sebep asidik ya da bazik boyaların uygun pH'larda çözünür forma geçmeleridir.

NFTS40 membranında yapılan arıtım atıksuyun pH'sından etkilenmemiştir ve çıkış renk konsantrasyonu yaklaşık 12 Pt-Co'dur. KOİ giderim verimleri ise Şekil 9c'de görülebilmektedir. Test edilen tüm membranlar için farklı pH'larda %90'ın üzerinde KOİ giderim verimi gözlemlenmiştir.



Şekil 9. Farklı pH değerleri için NF270, NF90 ve NFTS40 membranlarında İletkenlik, renk, KOİ giderim verimleri (Giriş iletkenlik: 4515 µS/cm; renk: 518 Pt-Co ve KOİ: 119 mg/L).

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Nanofiltrasyon ve ters ozmoz membranları tekstil endüstrisi atıksuyu için filtrasyon testlerinde kullanılmıştır. Nanofiltrasyon membranları içerisinde NF90 membranı iletkenlik ve KOİ gideriminde en yüksek verimi sergilerken, NFTS40, NFDK, NFDL ve NF270 membranları renk gideriminde etkin iken iletkenlik gideriminde NF90 kadar etkili olamamışlardır. pH'da yapılan değişiklik akı değerlerini etkilemiştir. NF270 membranı için pH'nın 10'a yükseltilmesi, nötral ya da asidik koşullara göre daha yüksek akı/geçirgenlik elde edilmesini sağlamıştır. Ters ozmoz membranları ile yüksek oranlarda renk

(>%99), iletkenlik (%98) ve KOİ (%97) giderim verimleri elde edilmiştir. Bu çalışma NF90 membranı ile %99 renk, %94 iletkenlik ve %97 oranında KOİ giderimi sağladığını ortaya koymaktadır. Daha yüksek giderim verimleri için ters ozmoz membranları gerekmektedir. Test edilen membranların gerçek ölçekli sistemlere uygulanması için daha uzun süreli testlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaçla geri döngülü ya da konsantre modda çalıştırılan çapraz akışlı filtrasyon düzenekleri bulunmaktadır.

### **Teşekkür**

Bu çalışma 113Y336 numaralı proje ile TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.

### **Yazarların Katkısı**

Adem YURTSEVER makaledeki sistemin çalıştırılması, analizlerin yapılması, makalenin yazılması ve yazım kurallarının kontrol edilmesinde katkı sağlamıştır. Deniz UÇAR makaledeki sistemin çalıştırılması, analizlerin yapılması, grafiklerin çizilmesi ve makalenin yazılmasında katkı sağlamıştır. Erkan ŞAHİNKAYA 113Y336 numaralı projenin yürütücüsü olup, konunun belirlenmesi, makalenin yazılması, son kontrollerin yapılması ve yorumların genişletilmesinde katkı sağlamıştır.

### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### **Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı**

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

### **Kaynaklar**

- [1] Marcucci M., Nosenzo G., Capannelli G., Ciabatti I., Corrieri D., Ciardelli G. 2001. Treatment and reuse of textile effluents based on new ultrafiltration and other membrane technologies. *Desalination*, 138: 75-82.
- [2] Amar N.B., Kechaou N., Palmeri J., Deratani A., Sghaier A. 2009. Comparison of tertiary treatment by nanofiltration and reverse osmosis for water reuse in denim textile industry. *J. Hazard. Mater.*, 170: 111-117.
- [3] Yurtsever A., Sahinkaya E., Aktaş Ö., Uçar D., Çınar Ö., Wang Z. 2015. Performances of anaerobic and aerobic membrane bioreactors for the treatment of synthetic textile wastewater. *Bioresour. Technol.*, 192: 564-73.
- [4] Asghar A., Raman A.A.A., Daud W.M.A.W. 2015. Advanced oxidation processes for in-situ production of hydrogen peroxide/hydroxyl radical for textile wastewater treatment: a review. *J. Clean. Prod.*, 87: 826-838.
- [5] Körbahti B.K., Turan K.M. 2016. Electrochemical Decolorization of Reactive Violet 5 Textile Dye using Pt/Ir Electrodes. *J. Turkish Chem. Soc. Sect. A Chem.*, 3: 229-246.
- [6] Sahinkaya E., Yurtsever A., Çınar Ö. 2017. Treatment of textile industry wastewater using dynamic membrane bioreactor: Impact of intermittent aeration on process performance. *Sep. Purif. Technol.*, 174: 445-454.
- [7] Ucar D., Armağan B. 2012. The removal of reactive black 5 from aqueous solutions by cotton seed shell. *Water Environ. Res.*, 84: 323-327.
- [8] Uçar D. 2014. Adsorption of Remazol Black RL and Reactive Yellow 145 from Aqueous Solutions by Pine Needles. *Iran. J. Sci. Technol. Trans. Civ. Eng.*, 38: 147-155.
- [9] Rodrigues C.S.D., Madeira L.M., Boaventura R.A.R. 2013. Treatment of textile dye wastewaters using ferrous sulphate in a chemical coagulation/flocculation process. *Environ. Technol.*, 34: 719-729.
- [10] Van Der Bruggen B., Everaert K., Wilms D., Vandecasteele C. 2001. Application of nanofiltration for removal of pesticides, nitrate and hardness from ground water: Rejection properties and economic evaluation. *J. Memb. Sci.*, 193: 239-248.



- [11] Cheng S., Oatley D.L., Williams P.M., Wright C.J. 2012. Characterisation and application of a novel positively charged nanofiltration membrane for the treatment of textile industry wastewaters. *Water Res.*, 46: 33-42.
- [12] Lau W.-J., Ismail A.F.I. 2009. Polymeric nanofiltration membranes for textile dye wastewater treatment: Preparation, performance evaluation, transport modelling, and fouling control — a review. *Desalination*, 245: 321-348.
- [13] Erswell A., Brouckaert C.J., Buckley C.A. 1988. The reuse of reactive dye liquors using charged ultrafiltration membrane technology. *Desalination*, 70: 157-167.
- [14] Avlonitis S.A., Poullos I., Sotiriou D., Pappas M., Moutesidis K. 2008. Simulated cotton dye effluents treatment and reuse by nanofiltration. *Desalination*, 221: 259-267.
- [15] Zahrim A.Y., Tizaoui C., Hilal N. 2011. Coagulation with polymers for nanofiltration pre-treatment of highly concentrated dyes: A review. *Desalination*, 266: 1-16.
- [16] APHA. 2005. *Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater.*, 21st ed., Washington DC. USA,.
- [17] Mukherjee D., Kulkarni A., Gill W.N. 1996. Chemical treatment for improved performance of reverse osmosis membranes. *Desalination*, 104: 239-249.
- [18] Balannec B., Vourch M., Rabiller-Baudry M., Chaufer B. 2005. Comparative study of different nanofiltration and reverse osmosis membranes for dairy effluent treatment by dead-end filtration. *Sep. Purif. Technol.*, 42: 195-200.
- [19] Suksaroj C., Heran M., Allegre C., Persin F. 2005. Treatment of textile plant effluent by nanofiltration and/or reverse osmosis for water reuse. *Desalination*, 178: 333-341.