

**T.C.  
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TEKSTİL ENDÜSTRİSİNDE İLERİ OKSİDASYON/MEMBRAN  
FİLTRASYON BÜTÜNLEŞİK SİSTEMİYLE SU GERİ KAZANIMI  
VE KONSANTRE YÖNETİMİ**

**SEVGİ TOPCU  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GEBZE**

**2017**

**T.C.  
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TEKSTİL ENDÜSTRİSİNDE İLERİ  
OKSİDASYON/MEMBRAN FİLTRASYON  
BÜTÜNLEŞİK SİSTEMİYLE SU GERİ  
KAZANIMI VE KONSANTRE YÖNETİMİ**

**SEVGİ TOPCU  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMANI  
DOÇ. DR. COŞKUN AYDINER**

**GEBZE  
2017**

**T.C.**  
**GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY**  
**GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES**

**WATER RECOVERY AND CONCENTRATE  
MANAGEMENT BY ADVANCED  
OXIDATION/MEMBRANE FILTRATION  
INTEGRATED SYSTEM IN TEXTILE  
INDUSTRIES**

**SEVGİ TOPCU**

**A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF SCIENCE  
DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING**

**THESIS SUPERVISOR  
ASSOC. PROF. DR. COŞKUN AYDINER**

**GEBZE 2017**

GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 22/06/2017 tarih ve 2017/34 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 07/07/2017 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Sevgi TOPCU'nun tez çalışması Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

**JÜRİ**

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Doç. Dr. Coşkun AYDINER

ÜYE

: Prof. Dr. Ahmet KARAGÜNDÜZ

ÜYE

: Yrd. Doç. Esra CAN DOĞAN

**ONAY**

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun

...../...../..... tarih ve ...../..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

## ÖZET

Bu çalışmada, geliştirilen bütünleşik ileri oksidasyon (İOP)/membran filtrasyon entegre sistemlerinin kararlı hal işletimi altında yoğun su tüketen tekstil endüstrisi atıksularından proses suyu geri kazanımı ve konsantre minimizasyonu çalışmaları yerine getirilmiştir. Ultrafiltrasyon(UF) ile güçlendirilmiş, fenton ve foto-Fenton (UVA-365, UVC-254) ileri oksidasyon teknolojileriyle geliştirilen İOP/batık UF hibrit reaktör, nanofiltrasyon [NF<sub>sıkı</sub>], ters osmoz [TO] ve [NF<sub>gevşek</sub>/TO] membran prosesleriyle entegre edilmiştir. Endüstriyel su geri kazanımı ve konsantre minimizasyonunun sağlandığı bu 3 farklı yenilikçi arıtma sistemi içeriğinde önceden belirlenmiş optimum şartlarda işletilerek, lab-pilot ölçekte kararlı hal performansları belirlenmiştir.

(IOP/UF)/[NF<sub>sıkı</sub>], (IOP/UF)/[TO], ve (IOP/UF)/[NF<sub>gevşek</sub>/TO] yenilikçi sistemler %80 su geri kazanım oranında işletilmiş, oluşan membran konsantrelerin minimizasyonu geri devirle hibrit reaktörde ham atıksuyla birlikte arıtımı ile sağlanmıştır. Diğer yandan ise hedeflenen çıkış suyu kalitesi (pH, Toplam Çözünmüş Katı(TÇK), Kimyasal Oksijen İhtiyacı(KOI), Toplam Organik Karbon(TOK)) izlenmiştir. Tekstil atıksuyunun tüm sistemlerde konsantre minimizasyonu yapılarak etkin bir şekilde arıtılabildiği belirlenmiştir. Sistemlerin kararlı hal işletimi sonucunda oluşan konsantrelerin birbirlerine çok benzer özelliklere sahip olması dolayısıyla, sadece Fenton destekli sistem konsantresinde tehlike sınıflaması analizleri yapılarak, oluşan tüm konsantreler için bertaraf seçenekleri beraberce değerlendirilmiştir.

Sonuç olarak, tekstil endüstrisi atıksularından elde edilen geri kazanım suyu kalite değerleri bakımından, organik içerikleri itibariyle hedef sınır değerlerin çok az üzerinde kaldığı (IOP/UF)/[NF<sub>sıkı</sub>] ve (IOP/UF)/[TO] uygulamaları dışında tüm hedef parametreler sağlanmıştır. (IOP/UF)/[NF<sub>gevşek</sub>/TO] uygulaması ile hedeflenenden çok daha iyi kalitede geri kazanım suyu elde edilmiştir. Hibrit reaktörden açığa çıkması muhtemel konsantre atığın tehlikeli atık olarak değerlendirilerek, ya insinerasyonla yakılarak ya da merkezi atıksu arıtma tesisinde arıtılarak bertarafı en uygun metodlar olarak belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler: Tekstil Atıksuları, Su Geri Kazanımı, İleri Oksidasyon, Membran Prosesler, Konsantre Yönetimi.**

## SUMMARY

In this study, three innovative integrated membrane systems ([IOP/UF]/NF<sub>tight</sub>, [IOP/UF]/TO and [IOP/UF]/NF<sub>loose</sub>/TO) were studied to obtain clean water and less concentrated stream. Effluent concentrates were treated by Fenton and Photo Fenton processes (UVA-365 ve UVC-254) to evaluate minimization of concentrate stream.

In this study, three innovative integrated membrane systems ([IOP/UF]/NF<sub>tight</sub>, [IOP/UF]/TO and [IOP/UF]/NF<sub>loose</sub>/TO) were studied to obtain clean water and less concentrated stream. Effluent concentrates were treated by Fenton and Photo Fenton processes (UVA-365 ve UVC-254) to evaluate minimization of concentrate stream.

Textile wastewater treatment with innovative membrane filtration ([AOP/UF]/NF<sub>tight</sub>, [AOP/UF]/TO and [AOP/UF]/NF<sub>loose</sub>/TO) were operated by recycling concentrated effluent to reactor until steady state. Recycling concentrates to hybrid reactors provide minimizing the amount of waste concentrated minimization. As well as clean water production by next step membrane filtration. Aimed effluent concentrations were also monitored. It was determined that it was possible to treat textile wastewater effectively by concentrate minimization under continuous operating conditions. Textile wastewater concentrates originated from both innovative membrane configurations ([AOP/UF]/NF<sub>tight</sub>, [AOP/UF]/TO and [AOP/UF]/NF<sub>loose</sub>/TO) and Fenton enhanced and photo fenton enhanced oxidation processes were evaluated by looking environmental hazardousness, disposal/recovery methods and reuse alternatives. Quality of minimized waste concentrates were determined and evaluated by hazard class and disposal methods.

**Key Words: Textile Wastewater, Water Recovery, Advanced Oxidation , Membrane Processes, Concentrated Management.**

## TEŞEKKÜR

Öncelikle yüksek lisans eğitim sürecimin her aşamasında benden yardımlarını ve desteğini esirgemeyen, bilgi, deneyim ve önerilerini benimle paylaşıp bu süre boyunca bana her fırsatta yol gösteren çok değerli hocam Doç.Dr. Coşkun Aydınar' e,

Yine tez çalışmam süresi boyunca, kıymetli fikirleriyle katkıda bulunan Yrd. Doç.Dr. Esra CAN DOĞAN' a, Doç.Dr. Hüseyin Cengiz YATMAZ' a, Yrd.Doç. Dr. Berna KIRIL MERT' e ve Prof.Dr. Ahmet KARAGÜNDÜZ' e

Aynı zamanda tez çalışmam boyunca bana yardımcı olan ve destekleyen arkadaşlarım Elif DURNA' ya, Ödül KILIÇOĞLU' na, Ali Oğuzhan NARCI' ya, Tuğba Nur YILMAZ' a, Esin BALCI' ya, Cemre TÖNGEL' e, Cevdet DOĞAN' a ve Mahir YAKIN'a,

Eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen ve her konuda bana destek olan sevgili aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması 113Y352 no'lu “Yoğun Su Tüketilen Endüstrilerde Bütünleşik İleri Oksidasyon/Membran Filtrasyon Sistemi ile Su Geri Kazanımı ve Konsantrasyon Yönetimi” başlıklı TÜBİTAK projesinde edinilen bilgiler ışığında gerçekleştirilmiştir.

# İÇİNDEKİLER

	<b><u>Sayfa</u></b>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELEK VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
TABLÖLÖR DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	1
2. TEKSTİL ENDÜSTRİSİ	3
2.1. Tekstil Endüstrisi Genel Tanımı	3
2.2. Tekstil Endüstrisinde Sınıflandırma	4
2.3. Tekstil Üretim Prosesleri	5
2.3.1. Kuru Prosesler	5
2.3.2. Yaş Prosesler	6
2.4. Altkategorizasyon	6
2.5. Su Kullanımı ve Atıksu Karakteristikleri	6
2.6. Tekstil Atıksuyu Arıtma Yöntemleri	8
2.6.1. Fiziksel Arıtma Yöntemleri	8
2.6.2. Kimyasal Arıtma Yöntemleri	10
2.6.3. Biyolojik Arıtma Yöntemleri	16
2.6.4. İleri Arıtım Yöntemleri	18
2.7. Tekstil Atıksularının Arıtım Performansları	23
2.8. Literatür Taraması ve Değerlendirme	24
3. MALZEME VE YÖNTEM	26
3.1. Tekstil Endüstrisi Atıksularının Karakterizasyonu	26
3.2. Analitik Yöntemler	27
3.3. Malzeme	30
3.4. Deneysel Çalışma Düzenekleri	34



3.4.1. İOP/Batık UF Hibrit Sistemi	34
3.4.2. Basınç Sürücülü Membran Filtrasyon Sistemi	36
3.5. Lab Pilot Ölçekli Sistemlerin İşletim Esasları	37
3.5.1. Lab Pilot Ölçek ‘İOP/Batık UF Proses’inin İşletim Esasları	37
3.5.2. Lab Pilot Ölçek “Basınç Sürücülü Membran Proses” Sistemleri'nin(UF, NFgevşek,NFsıkı, TO) İşletim Şartları	42
3.6. Konsantre Yönetimi	44
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	46
4.1. Tekstil Atıksularının Arıtımı	46
4.1.1. İleri Oksidasyon Ultrafiltrasyon Destekli Batık UF ve NFsıkı Sistemi ({İOP/UF}/[NFsıkı])	46
4.1.2. İleri Oksidasyon Ultrafiltrasyon Destekli Batık UF ve TO sistemi ({İOP/UF}/[TO])	58
4.1.3. İleri Oksidasyon Ultrafiltrasyon Destekli Batık UF ve NFgevşek/TO Sistemi ({İOP/UF}/[NFgevşek/TO])	69
4.2. Şahit İşlerim Deneyleri	81
4.2.1. Tekstil Endüstrisi Nihai Konsantre Atıksuları	81
4.3. Konsantre Yönetimi: Analizler, Sınıflandırma ve Değerlendirmeler	87
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	101
KAYNAKLAR	104
ÖZGEÇMİŞ	108
EKLER	109

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<b><u>Simgeler ve</u></b>	<b><u>Acıklamalar</u></b>
<b><u>Kisaltmalar</u></b>	
$E_i$	: İletkenlik
J	: Akı (LMH)
T	: Sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ )
t	: Süre (dk)
Iş	: Işık şiddeti
$v_{SC}$	: Membrandan su çekim hızı
$v_H$	: Hava akış hızı
AKM	: Askıda katı madde
AOX	: Adsorplanabilen organik halojenler
BOİ	: Biyolojik oksijen ihtiyacı
DAF	: Çözülmüş Hava Flotasyonu
ÇOK	: Çözülmüş organik karbon
ED	: Elektrodializ
İOP	: İleri oksidasyon prosesi
KOİ	: Kimyasal oksijen ihtiyacı
MWCO	: Moleküler Ağırlık Engelleme Sınırı
$M_T$	: Membran türü
MF	: Mikrofiltrasyon
MP	: Membran proses
NF	: Nanofiltrasyon
pH	: Hidrojen potansiyeli
TÇK	: Toplam çözülmüş katı
TÇM	: Toplam çözülmüş madde
THM	: Trihalometan
TO	: Ters osmoz
TOK	: Toplam organik karbon
UF	: Ultrafiltrasyon

UV : Ultraviyole  
UVC : Ultraviyole C  
UVA : Ultraviyole A



# ŞEKİLLER DİZİNİ

<b><u>Sekil No:</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
2.1: Tekstil Üretim Süreci.	3
3.1: KOİ-H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> İlişki Grafiği.	29
3.2: Çoklu Parametre Cihazı a)TDS, İletkenlik ve pH Ölçüm Cihazı. b)Bulanıklık Ölçüm Cihazı.	30
3.3: TOK Analiz Cihazı.	30
3.4: a)UVC 254 Işık Ölçer, b)UVA 365 Işık Ölçer.	30
3.5: Yenilikçi İOP/MP entegre endüstriyel atıksu arıtma (su geri kazanma ve konsantre hacmi/yükü azaltma) sistemi genel proses akış şeması.	33
3.6: Yenilikçi İOP/MP sistemi için 3 farklı işletim seçeneği.	33
3.7: Pilot ölçek İOP/Batık UF hibrit reaktörü a) UVC-254 lambalarla donatılmış genel görünüm, b)Sistem otomasyon ünitesi, c)UVA-365 lambalara ait dış reaktör donanımının genel görünümü, d)Batık UF membran modülünün yakın görünümü.	35
3.8: Basınç Sürücülü Membran Proses.	36
3.9: İOP/Batık UF hibrit reaktöründe lamba sayısına bağlı ışık şiddeti değişimleri.	37
4.1: İleri Oksidasyon Destekli Batık UF ve NFsıkı ({İOP/UF}/{NFsıkı}) bütünleşik membran sisteminde sırasıyla a)Toplam Fe Değişimi, b)Organik Madde Giderim Performansı, c)Akı Değişimleri; 1:Fenton Destekli {Fenton/UF}/{NFsıkı}, 2:UVA Foto Fenton Destekli {UVA-Fenton/UF}/{NFsıkı}, 3:UVC Foto Fenton Destekli {UVC-Fenton/UF}/{NFsıkı}.	54
4.2: İleri Oksidasyon Destekli Batık UF ve NFsıkı ({İOP/UF}/{NFsıkı}) bütünleşik membran sisteminde sırasıyla a)Fenton destekli {Fenton/UF}/{NFsıkı}, b)UVA Foto-Fenton Destekli {UVA-Fenton/UF}/{NFsıkı}, c)UVC Foto-Fenton destekli {UVC-Fenton/UF}/{NFsıkı} sistemlerinde organik madde ve renk giderim performansları.	55

- 4.3: İleri Oksidasyon Destekli Batık UF ve TO ( $\{\dot{I}OP/UF\}/[TO]$ ) bütünleşik membran sisteminde sırasıyla a)Toplam Fe Değişimi, b)Organik Madde Giderim Performansı, c)Akı Değişimleri; 1:Fenton Destekli  $\{Fenton/UF\}/[TO]$ , 2:UVA Foto Fenton Destekli  $\{UVA-Fenton/UF\}/[TO]$ , 3:UVC Foto Fenton Destekli  $\{UVC-Fenton/UF\}/[TO]$ . 64
- 4.4: İleri Oksidasyon Destekli Batık UF ve TO ( $\{\dot{I}OP/UF\}/[TO]$ ) bütünleşik membran sisteminde sırasıyla a)Fenton destekli  $\{Fenton/UF\}/[TO]$ , b)UVA Foto-Fenton destekli  $\{UVA-Fenton/UF\}/[TO]$ , c)UVC Foto-Fenton destekli  $\{UVC-Fenton/UF\}/[TO]$  sistemlerinde organik madde ve renk giderim performansları. 65
- 4.5: İleri Oksidasyon Destekli Batık UF ve NFG-TO ( $\{\dot{I}OP/UF\}/[NFG-TO]$ ) bütünleşik membran sisteminde sırasıyla a)Toplam Fe Değişimi, b)Organik Madde Giderim Performansı, c)Akı Değişimleri; 1:Fenton Destekli  $\{Fenton/UF\}/[NFG-TO]$ , 2:UVA Foto Fenton Destekli  $\{UVA-Fenton/UF\}/[NFG-TO]$ , 3:UVC Foto Fenton Destekli  $\{UVC-Fenton/UF\}/[NFG-TO]$ . 77
- 4.6: İleri Oksidasyon Destekli Batık UF ve NFG-TO ( $\{\dot{I}OP/UF\}/[NFG-TO]$ ) bütünleşik membran sisteminde sırasıyla a)Fenton destekli  $\{Fenton/UF\}/[NFG-TO]$ , b)UVA Foto-Fenton destekli  $\{UVA-Fenton/UF\}/[NFG-TO]$ , c)UVC Foto-Fenton destekli  $\{UVC-Fenton/UF\}/[NFG-TO]$  sistemlerinde organik madde ve renk giderim performansları. 78
- 4.7: Tekstil endüstrisi nihai konsantre karışımlarının değişen  $\dot{I}OP/UF$  hacimsel su çekim oranlarına karşı a) pH, b) Renk, c) TÇK, d) Ei, e) TOK, f) KOİ değişimleri. 83
- 4.8: Tekstil endüstrisi nihai konsantre karışımlarının değişen  $\dot{I}OP/UF$  hacimsel su çekim oranlarına karşı değişen a) toplam Fe değerleri b) organik madde giderim performansları. 84
- 4.9: Tekstil endüstrisi nihai konsantre karışımlarının değişen  $\dot{I}OP/UF$  hacimsel su çekim oranlarına karşı (a) UF süzüntü suyu akı değerleri (b)akı değişimleri. 85

## TABLolar DİZİNİ

<b><u>Tablo No:</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
2.1: Tekstil Endüstrisi Atık Yükleri.	7
2.2: Tekstil Atıksularının Arıtımında Çeşitli Proseslerin Performans Etkinlikleri.	23
3.1: Tekstil endüstrisi atıksularının karakterizasyonu.	26
3.2: Tekstil endüstrisi atıksularında kararlı haldeki deneylerde izlenen parametreler.	28
3.3: Kararlı halde işletimli deneylerde kullanılan basınç sürücülü membranların (UF, NFgevşek, NFsıkı, TO) genel özellikleri.	32
3.4: Pilot ölçek İOP/batık UF hibrit reaktörleri optimum işletme şartları.	38
3.5: Tekstil endüstrisi atıksularının {İOP/UF}/[NFsıkı] sisteminde değişen ileri oksidasyon prosesleriyle uzun süreli arıtım, su geri kazanım ve konsantre bertarafı lab pilot ölçek deneylerinin ardışık işletme şartları.	39
3.6: Tekstil endüstrisi atıksularının {İOP/UF}/[TO] sisteminde değişen ileri oksidasyon prosesleriyle uzun süreli arıtım, su geri kazanım ve konsantre arıtımı pilot ölçek deneylerinin ardışık işletme şartları.	40
3.7: Tekstil endüstrisi atıksularının {İOP/UF}/[NFgevşek/TO] sisteminde değişen ileri oksidasyon prosesleriyle uzun süreli arıtım, su geri kazanım ve konsantre arıtımı pilot ölçek deneylerinin ardışık işletme şartları.	41
3.8: Tekstil endüstrisi atıksularının uzun süreli arıtımlarındaki tur (konsantre geri devri) ve toplam ardışık işletim sayıları.	42
3.9: Basınç ve sıcaklık sürücülü membran proseslerin işletim şartları.	44
3.10: Bütünleşik İOP/MP kombinasyonlarında üretilen konsantre atıklardaki testler ve analiz yöntemleri.	44
4.1: İleri Oksidasyon Destekli Batık UF ve NFsıkı ({Fenton/UF}/[NFsıkı], {UVA-Fenton/UF}/[NFsıkı], {UVC-	

	Fenton/UF}/[NFsıkı]) bütünleşik membran sisteminde pH, Renk, TÇK, Ei, TOK, KOİ değişimleri.	53
4.2:	Fenton destekli {İOP/UF}/[NFsıkı], UVA Foto-Fenton destekli {İOP/UF}/[NFsıkı] ve UVC Foto-Fenton destekli {İOP/UF}/[NFsıkı] bütünleşik membran sisteminde geri kazanım suyu kalitesi ve toplam sistem verimleri.	56
4.3:	İleri Oksidasyon Destekli Batık UF ve TO ({Fenton/UF}/[TO], {UVA-Fenton/UF}/[TO], {UVC-Fenton/UF}/[TO]) bütünleşik membran sisteminde pH, Renk, TÇK, Ei, TOK, KOİ değişimleri.	63
4.4:	Fenton destekli {İOP/UF}/[TO], UVA Foto-Fenton destekli {İOP/UF}/[TO] ve UVC Foto-Fenton destekli {İOP/UF}/[TO] bütünleşik membran sisteminde geri kazanım suyu kalitesi ve toplam sistem verimleri.	67
4.5:	İleri Oksidasyon Destekli Batık UF ve NFsıkı ({Fenton/UF}/[ NFG-TO], {UVA-Fenton/UF}/[ NFG-TO], {UVC-Fenton/UF}/[ NFG-TO]) bütünleşik membran sisteminde pH, Renk, TÇK, Ei, TOK, KOİ değişimleri.	76
4.6:	Fenton destekli {İOP/UF}/[NFgevşek-TO], UVA Foto-Fenton destekli {İOP/UF}/[NFgevşek-TO] ve UVC Foto-Fenton destekli {İOP/UF}/[NFgevşek-TO] bütünleşik membran sisteminde geri kazanım suyu kalitesi ve toplam sistem verimleri.	79
4.7:	G1-1 Örneğinin Nihai Konsantre Atık Analiz Yöntemleri ve Sonucu.	91
4.8:	G1-2 Örneğinin Nihai Konsantre Atık Analiz Yöntemleri ve Sonucu.	92
4.9:	G2-1 Örneğinin Nihai Konsantre Atık Analiz Yöntemleri ve Sonucu.	93
4.10:	G2-2 Örneğinin Nihai Konsantre Atık Analiz Yöntemleri ve Sonucu.	94
4.11:	G3-1 Örneğinin Nihai Konsantre Atık Analiz Yöntemleri ve Sonucu.	95
4.12:	G3-2 Örneğinin Nihai Konsantre Atık Analiz Yöntemleri ve Sonucu.	96
4.13:	Tekstil atıksularının yenilikçi sistemler ile arıtımı sonucunda oluşan konsantre akımının {İOP/batık UF} prosesinde Fenton ve Foto-Fenton (UVA ve UVC) oksidasyonu sonrası konsantrelerinde analiz/içerik belirleme sonuçları.	97
4.14:	Tekstil atıksularının yenilikçi sistemler ile arıtımı sonucunda oluşan konsantre akımının {İOP/batık UF} prosesinde Fenton ve Foto-	

Fenton (UVA ve UVC) oksidasyonu sonrası konsantrlerinde tehlikelilik özellikleri, bertaraf/geri kazanım yöntemleri ve yeniden kullanım alternatifleri.

99





# 1. GİRİŞ

## 1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu tezde ulaşılmak istenen temel amaç, sürdürülebilir su kaynakları yönetimi çerçevesinde, yüksek hacimde su tüketimine sahip tekstil endüstrilerinden kaynaklanan atıksulardan yüksek oranda kaliteli proses suyu geri kazanımı ve membran konsantre yüklerinin azaltımı sağlanarak, bu atıksuların sahada uygulanabilir yönetim ve bertarafının sağlanmasıdır. Bu sayede, su tüketimi yüksek olan bu endüstrilere ait atıksuların yenilikçi bütünleşik arıtma sistemi ile artırılması sağlanarak; proseste yeniden kullanılacak artırılmış su eldesi neticesinde yoğun su tüketimli endüstrilere yönelik su tüketimlerinin azaltılarak temiz su kaynaklarının korunması, oluşturulacak etkin konsantre yönetimi çerçevesinde çevrenin sürdürülebilir nitelikte korunmasına katkı sağlanması, aynı zamanda da sahada sadece teknik değil aynı zamanda da ekonomik olarak yapılabilir teknolojik esaslı endüstriyel uygulama ya da uygulamaların geliştirilmesidir. Bu bağlamda; tekstil endüstrisi atıksuları özelinde, sıfır/sıfıra yakın sıvı deşarjı yaklaşımı uyarınca endüstriyel su ve atıksu yönetiminin planlanmasını, mevcut en iyi teknolojilerin (ileri oksidasyon prosesi (İOP) ve membran proses (MP)) bir arada kullanılacağı yenilikçi arıtma sistemlerinin gerçek atıksulara uygulanmasını, proseste yeniden kullanım amaçlı geri kazanım suyunun miktar ve kalitesinin artırılmasını, membran konsantrelerinin çevresel etkilerini azaltmak amacıyla teknolojik uygulama ve nihai bertaraf esaslarının belirlenmesini, atıksu arıtımı ve konsantre azaltımı ile etkin su geri kazanımı sağlayan bütünleşik arıtma teknolojisinin gerçek ölçekte uygulanabilirliğinin ortaya konmasını ve önerilen arıtma yaklaşımının diğer yoğun su tüketimine sahip endüstriler için de uygulanabilirliğinin değerlendirilmesini amaçlamaktadır.

Bu çalışmanın konusu, yoğun su tüketilen tekstil sanayileri(1000–5000 m<sup>3</sup>/gün) atıksularından proses suyu geri kazanımı ve membran konsantreleri yönetiminin eşzamanlı yapıldığı hibrit ve entegre bütünlükteki İOP/MP kombinasyonunda, sahada uygulanabilir yenilikçi arıtma sistemleri geliştirilmesidir. Tez kapsamında yenilikçi nitelikte olan, teknik açıdan etkin işletim performansı beklenen İOP/batik ultrafiltrasyon (UF) ve sonrasında nanofiltrasyon (NF) ve ters osmoz (TO) ([İOP/UF]/NF ve TO) (3 farklı seçenekteki [İOP/UF]/NF<sub>sıkı</sub>,

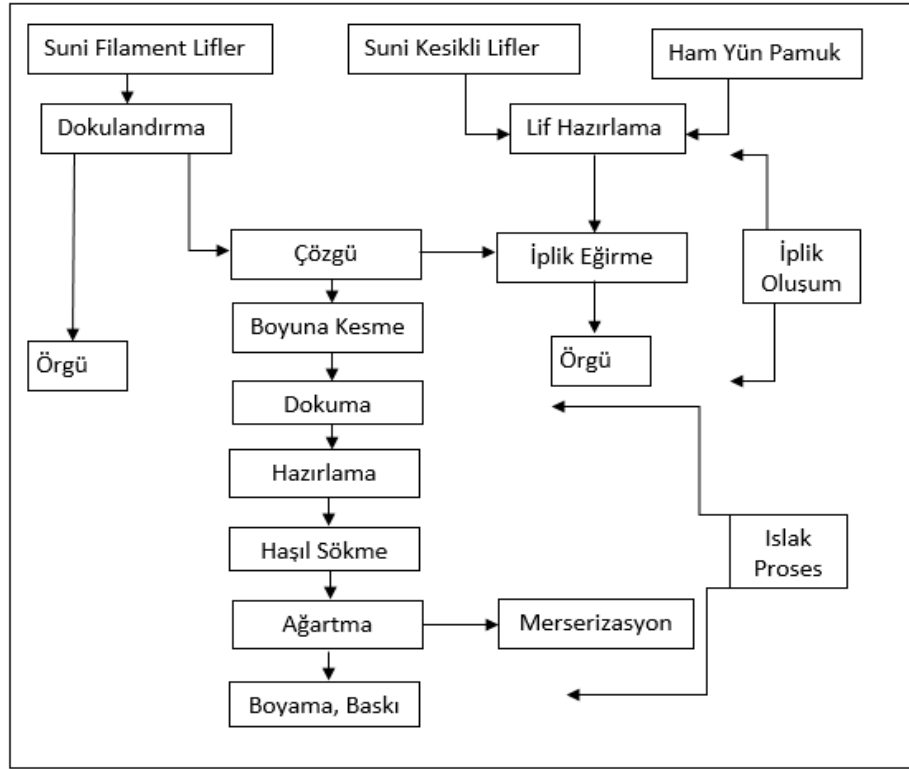
[İOP/UF]/TO ve [İOP/UF]/NF<sub>gevşek</sub>/TO) kullanılan entegre membran sistemi olup, sistemde NF ve/veya TO çıkışlarından temiz su elde edilerek konsantre akım yükünün azaltılması sağlanmıştır. Bu membran sisteminde batık reaktör içerisinde UV ışınlarının etkisi altında membran yüzeylerindeki organik kirlilik etkisinin azaltılarak daha yüksek performansta UF işletimi sağlanması ve sonrasında da NF ve/veya TO proseslerinin de daha yüksek performanslarda işletimlerinin yerine getirilmesi beklenmiştir. Bu sayede, su geri kazanım prosesleri olarak kullanılan NF veya TO proseslerinin atıksulardan daha yüksek su geri kazanım oranlarında işletilmeleri temin edilerek, daha düşük konsantre akım yükünde bütünleşik sistem uygulamasının yerine getirilmesi sağlanmıştır. Kararlı halde işletim şartları altında oluşan nihai membran konsantrelerinin kalite analizlerinin ve tehlike sınıflamalarının yapılarak, bertaraf edilme yöntemlerinin (insinerasyon, düzenli depolama, katılaştırma, merkezi endüstriyel atıksu arıtma tesisine verme) kıyaslamalı olarak değerlendirilmeleri üzerinden, sıfır ve sıfıra yakın sıvı deşarj yaklaşımlarını esas alan nihai konsantre atık bertaraf yöntemleri belirlenmiştir.

## 2. TEKSTİL ENDÜSTRİSİ

### 2.1. Tekstil Endüstrisi Genel Tanımı

Tekstil endüstrisi birçok hammaddenin kullanılıp tekstil ürünlerine dönüştürülmesini sağlayan bir endüstri dalı olarak nitelendirilmektedir. Tekstil endüstrisi öncelikle doğal ve yapay liflerin eğrilerek kesintisiz ve düzgün ipliklerin hazırlanmasını, daha sonra ise dokuma, örme veya başka yöntemlerle bez, kumaş, halı vb. ürünlerine dönüştürülmesini kapsayan işlemler bütünüdür. Kumaş ve ipliklere baskı, boya ve apre gibi terbiye işlemlerinin uygulanması faaliyetlerini kapsamaktadır. Doğal elyafların temizlendikten sonra iplik haline dönüştürülmesi tekstil endüstrisi içerisinde yer alırken kimyasal elyafların üretimi, çırçırılama ve giyim sanayi tekstil endüstrisi grubunun dışında yer almaktadır [1,2].

Tekstil üretim süreci Şekil 2.1' de şematik olarak gösterilmiştir [2].



Şekil 2.1: Tekstil Üretim Süreci.

Tekstil endüstrisinin genel olarak temel hammaddesi elyaftır. Elyafar genellikle kesilmiş ve uzun olup pamuklu tekstil işlemlerinde benzer özellikler göstermesine rağmen aralarında en büyük fark yünün yıkanmasıdır. Elyafar, doğal,

yapay ve sentetik elyaflar olmak üzere üç grupta toplanır. Doğal elyaflar grubuna giren elyaflar bitkisel ve hayvansal kökenlidir. Bu elyaflar da kendi içlerinde de farklı olarak isimlendirilebilmektedir. Hayvansal kökenli elyaflar içerisinde ipek, yün ve protein elyaflar bulunmaktadır. Bitkisel kökenli elyaflar içerisinde ise keten, kenevir ve pamuk bulunmaktadır. Bunlar aynı zamanda selülozik elyaflar olarak da isimlendirilebilmektedir. Sentetik elyaflar aynı zamanda bileşiminde selüloz olmayan organik maddelerden sentetik yolla üretilen elyaf olarak da ifade edilebilir. Bu elyaflara naylon, polyester ve poliakrilik örnek olarak gösterilebilir. Yapay elyaflar; doğal selülozun kimyasal prosesler ile işlenmesi sonucunda elde edilmektedir. Yapay elyaflara asetat rayon örnek olarak verilebilir [2].

## **2.2. Tekstil Endüstrisinde Sınıflandırma**

Dünya’da ve Türkiye’de tekstil endüstrisi liflerin kullanım şartlarına ve özelliklerine göre 3 sınıfa ayrılır:

Pamuklu Tekstil Endüstrisi; elyaftan ipliğin oluşturulması, dokuma hazırlık ve üretilen ürünlerin terbiyesi olmak üzere üç aşamada işlenir. İpliğin oluşturulması aşaması açma temizleme, tarama, çekme, eğirme, bobinleme vb. işlemlerini kapsamaktadır. Bunlar çoğunlukla fiziksel kuru işlemlerdir. Dokuma hazırlık işlemleri, bobin ve çile hazırlaması, çözümler, tahar, haşılama ve dokuma gibi kuru işlemleri kapsamaktadır. Ürünlerin terbiye işlemlerinde ise yüksek miktarda su harcanmaktadır. Terbiye işlemlerinden en önemlileri; haşıl sökme, ağartma, yıkama, merserizasyon, ağartma, pişirme, boyama ve apre işlemleridir. Haşıl sökme dokuma esnasında ipliklerin zedelenmeden, fiziksel özelliklerini kaybetmeden terbiye işlemlerine olumsuz etki yapmayan kimyasal maddelerden hazırlanan viskoz bir sıvıdan geçirme işlemine dayanır. Pişirme işlemi ise pamuklu ürüne uygun bazla kaynatılarak temizlenmesine sürecine dayanır. Kasar klorit, bir ağartma işlemidir. Boyama işleminde reaktif naftol, kükürtlü, direkt, indigo gibi farklı boya türleri kullanılır. Kasar ile boyama işlemlerinde fazla miktarda su kullanılır. Apre ise oluşturulan ürünün; su geçirmesini, çekmesini, buruşmasını engelleyen en son işlemdir [2].

Yünlü tekstil, pamuklu tekstil ile benzer özellikler taşımasına rağmen aralarındaki en büyük fark yünün yıkanması işlemidir. Yünlü tekstil, hayvan kaynaklı lifler arasında yer alan koyun postundan elde edilmektedir. Genellikle

yüksek ölçülerde nebati hav, çimen, yapağı yağı ve yün yağı içermektedirler. Genellikle yünler %30 oranında lif, %70 oranında ise yabancı madde içermektedirler. İlk aşamada taraklama işlemi yapıldıktan sonra ipliklere sentetik madde ilave edilerek makaralara sarılıp dokunur. Boyama işleminde metelize ve mordant boyalar kullanıldıktan sonra sıcak kimyasal madde ya da sıcak su ile fiksaj işlemi yapılır. Keçeleşmezlik ve apre pamuklu kumaşlara uygulanan diğer işlemler arasında yer alır [2].

Sentetik Tekstil, selüloz yapılı ve organik içerikli polimer elyaflar iplik hazırlama, haşılama, boya ve apre işlemleri uygulanır veya pamuk ve yünlere karıştırılır. Boya işleminde asit, naftol, bazik dispers gibi boyalar kullanılır. İpek iplik üretiminde ipek çekimi, liflerin terbiyesi, yıkama, ağartma, boyama işlemleri bulunur. Halı üretimi; lateks ile taban kaplaması işlemini, keçeleştirilmiş ve doku içermeyen kumaşın oluşturulmasında ise keçeleştirme, yıkama boya gibi işlemlerini içerir [2].

## **2.3. Tekstil Üretim Prosesleri**

Tekstil endüstrisinde mevcut prosesler, işlenen elyafın özelliğine göre farklılıklar göstermesine karşın genel olarak birbirleriyle benzerlik göstermektedir.

Tekstil endüstrisinin tüm aşamalarında yıkama, boyama, baskı gibi ana proseslere rastlanmaktadır. Fakat farklı elyaflar kullanıldığı zaman kullanılan kimyasal maddeler değiştiğinden dolayı endüstride bulunan proses ve işlemlerin en çok kullanılan elyaf çeşitlerine göre ele alınıp incelenmesi gerekmektedir [1].

Tekstil ürünleri kuru ve yaş prosesler vasıtasıyla elde edilmektedir. Yaş prosesler kuru proseslerin ardından uygulanmaktadır. Yaş prosesler önemli ölçüde apre ve boyama işlemlerini içermektedir. Kuru prosesler çok fazla su tüketimi gerektirmediği için kirlenme açısından önem taşımamaktadır [3]. Tekstil endüstrisindeki prosesler kuru ve yaş prosesler olmak üzere iki ayrı ana başlık altında toplanabilmektedir [2].

### **2.3.1. Kuru Prosesler**

İplik üretimi; elyaftan iplik çekme, çekerek büzme, eğirme, daha sonraki işlemler için hazırlık adımı olan bobinlere iletme ve bükme kapsamaktadır. İnce ve

uzun ürünlerin üretimi; büküm ve örgü aşamalarından oluşmaktadır. Açık enli ürünlerin üretimi; tafting, dokuma, keçeleştirme ve sağlamaştırma, örgü ve floklaştırma aşamaları sayesinde gerçekleştirilmektedir [2].

### **2.3.2. Yaş Prosesler**

Önemli ölçüde apre ve boyama işlemlerini kapsamaktadır. Haşılama, haşıl sökme, pişirme, merserizasyon, apreleme, kasarılama, boyama ve dinkleme gibi yaş proseslerden sonra kuru prosesler uygulanır [2].

## **2.4. Altkategorizasyon**

Altkategorizasyon atıksu kaynaklarını belirlemek için kullanılan yöntemlerden biridir. Altkategorizasyonun amacı; aynı kategori içerisinde olmasına rağmen üretim farklılıkları olan veya aynı ürünün üretiminde farklı işlemlerin uygulandığı tesislerin atık sularında ortaya çıkacak farklılıkların belirtilmesini hedeflemektedir. Atıksuların özelliklerinin belirlenmesiyle birlikte her altkategori için uygun arıtma teknolojisi tanımlanır ve bu sayede atıksu deşarj kalite kriterleri geliştirmektedir.

Altkategorizasyonda gruplama yapılırken sadece atıksu kalitesi benzerliği yeterli olmamaktadır. Tekstil endüstrisindeki altkategorizasyonlar hammaddelere, üretim işlemlerine, ürünlere, atıksuyun karakteristiği ve su kullanımlarındaki benzerliklere dayanılarak yapılmaktadır.

Tekstil endüstrisindeki hammaddeler, atıksu karakterizasyonu, son ürünler ve su kullanımı benzerlikleri göz önünde bulundurularak, tekstil endüstrisi altkategorileri 10 gruba ayrılmaktadır [1].

Bunlar; Yapağı yıkama, dokunmuş kumaş son işlemleri, yünlü kumaş son işlemleri, örgü kumaş son işlemleri, açık elyaf ve boyama son işlemleri, keçeleştirilmiş kumaş üretimi, halı son işlemleri, dokusuz yüzeyli kumaş üretimi, az su kullanılan işlemler, koza işleme ve doğal iplik üretimidir [1].

## **2.5. Su Kullanımı ve Atıksu Karakteristikleri**

Su kullanımı ve atıksu oluşumu altkategori bazında ele alınabilir. Her alt kategoride işlem farklılıkları, işlemler için uygulanan teknoloji ve diğer faktörlere

bağlı olarak ele alınabilir. Bu işlemler için kullanılan teknoloji ve diğer faktörlere bağlı olarak su kullanımı bazen geniş aralıklarda değişmektedir. Birim yükler dikkate alındığında az su kullanılan proseslerde atıksu miktarı genellikle 10 m<sup>3</sup>/ton kumaş değerinin altındadır. Bu değer dokunmuş kumaş son işlemleri için 50-300 m<sup>3</sup>/ton kumaş arasında değişmektedir. Yünlü kumaş son işlemleri ise orta ve yüksek değerler civarında atıksu üretmektedir [5].

Tekstil sektöründeki çoğu işletme; haşılama, merserizasyon, boyama ve yıkama vb. işlemleri içermektedir. İşlemlerde kullanılan maddeler ise oluşan atıksuyun bileşimini içermektedir [2].

Atıksuların karakteri elyafın cinsine, kullanılan kimyasal maddelere ve uygulanan işlemlere bağlı olarak değişkenlik gösterir. Tekstil endüstrisinde ana kirletici parametreler KOİ, BOİ<sub>5</sub>, AKM, yağ ve gres, fenol, sülfür ve toplam kromdur. Bunların dışında özellikle kullanılan boya ve diğer kimyasal maddelere bağlı olarak hem organik içerikli hem de ağır metal olarak birden fazla sayıda mikrokirletici atıksularda bulunmaktadır.

Tablo 2.1' de bazı altkategoriler için kirletici yükleri verilmiştir [2].

Tablo 2.1: Tekstil Endüstrisi Atık Yükleri.

Parametre (mg/L)	BOİ <sub>5</sub> mg/L		AKM mg/L		Yağ ve Gres mg/L		Sülfür mg/L	
Altkategori	kg/ton.kumaş		kg/ton.kumaş		kg/ton.kumaş		kg/ton.kumaş	
Yapay yıkama	310-6700	3,8-210	120-1300	1,9-240	80-5000	1,3-62	-	-
Dokunmuş kumaş son işlemleri	20-2000	3,8-220	20-2400	0,8-220	6-1400	0,6-150	25-580	0,6-130
Örgü kumaş son işlemleri	60-1900	4,4-85	20-2200	2,9-42	14-460	0,5-46	20-700	3,1-770
Yünlü kumaş son işlemleri	66-750	22-140	17-240	9,5-97	-	-	1,1-60	-

## 2.6. Tekstil Atıksuyu Arıtma Yöntemleri

Tekstil endüstrisi yüksek miktarda su tüketimi yapan endüstrilerin başında gelmektedir. Özellikle boyama ve son işlemler prosesinden sonra oluşan atıksular belli bir süre sonra atıksu karakterizasyonu olarak farklılık gösterebilmektedir. Tekstil endüstrisi birbirinden farklı üretim proseslerine ve farklı karakterlerde atıksulara sahip olduğu için birçok arıtma yöntemi kullanılarak arıtılabilmektedir. Tekstil atıksularının arıtımı temel olarak dört aşamadan meydana gelmektedir. Bu aşamalar; ilk arıtma, kimyasal arıtım, biyolojik arıtım ve gerekli olduğu hallerde ileri arıtma yöntemleri kullanılmaktadır.

### 2.6.1. Fiziksel Arıtma Yöntemleri

Tekstil atıksularının nötralize edilmesi, kimyasal ve biyolojik arıtma sistemleri belli bir pH toleransına sahip oldukları için, büyük pH değişiklikleri arıtma tesislerini olumsuz olarak etkilemektedir. pH ayarlaması yapılmadan önce arıtma proseslerinin devamı mümkün olmamaktadır. Suyun pH değerine bağlı olarak asit veya baz ilavesi yapılmalıdır [3].

Bu ön arıtım ile birlikte tekstil atıksuyunun askıda katı madde içeriği giderilmiş olup ve pH ayarlaması yapılarak atıksu arıtılmaya hazır hale getirilir. Ham tekstil atıksuyunun karakteristik yapısına göre gerekli olduğu durumlarda dezenfeksiyon ya da kimyasal dozajlama; bazı gerekli durumlarda ise sadece ızgaradan geçirme, kum tutucu ya da filtrasyon yeterli olmaktadır. Sonraki arıtma aşamasına geçecek olan atıksuların debi salınımlarının önüne geçmek amacıyla dengeleme havuzuna alınır. Bu sayede arıtma prosesine girecek olan atıksuyun yaklaşık olarak aynı özellikte olması sağlanmış olur [7], [8].

Izgaralar, atıksu içerisinde asılı ya da yüzer halde bulunan maddelerin sudan ayrılması için ve diğer arıtma kısımlarından gelen yükün hafifletilmesi için kullanılır. Boru, pompa ve diğer ekipmanlara zarar gelmemesi için özellikle katı parçacık ve elyaf içeren atıksulara uygun olan ızgaralar kullanılmalıdır. Izgaralar, atıksu arıtma tesisinin girişlerine yerleştirilmektedirler. Izgaraların serbest açıklığı, maksimum debiyi kaldırabilecek hatta daha fazlasını kaldırabilecek büyüklüğe sahip olmalıdır. Izgaralar, kaba ve ince ızgara olmak üzere iki çeşittir. Elyaf ve ince parçacıklar içeren atıksularda, öncelikle 20-50 mm genişliğinde olan kaba ızgaralar, sonra ise



elyaf boyutuna göre 0.5-1 mm genişliğinde olan ince ızgaralar önerilmektedir. Kaba ızgaraların temizliği el veya otomatik olarak yapılabilir. Fakat ince ızgaralar otomatik temizlemeli olmalıdır. Arıtma tesisinde rahat bir işletme sağlamak ve tesisin uzun ömürlü uzun ömürlü olması amacıyla ham atıksu ile çalışacak olan ızgaraların nemli ve ıslak olan parçaları paslanmaz malzemeden yapılmış olmalıdır. Giriş ve çıkış su seviyeleri arasındaki fark belirli bir değere (mesela 15-25 cm) ulaştığı zaman ızgaralar temizlenmelidir [5].

Kaba ızgaralar 3 tipte inşa edilmektedir. Bunlar, hareketli bant ızgaralar, sabit çubuk ızgaralar ve öğütücülerdir. Çubuk ızgaralar, terfi merkezlerinin ve pompaların önüne yerleştirilmektedirler. Hareketli bant ızgaralar (mikroelekler), çubuk ızgaraya kıyasla daha küçük parçacıkların atıksudan uzaklaştırılması amacıyla kullanılmaktadır. Kafes, düz sepet ve disk tiplileri vardır. ızgaralar kanaldan çıkarılıp temizlenir ve daha sonra tekrar yerine takılırlar. Yeni tip ızgaralar ince ızgaralara benzeyen hareketli eleklerdir. Kaba eleklerle beraber kullanılan öğütücüler ızgaralarda tutulmuş olan katı maddeleri öğütürler. Dönen veya titreşen bir merdane üzerinde kesme dişleri veya doğrama kısımları vardır. Öğütücüler tamamen batmış konumdadırlar. İnce ızgaralar ise hareketli ve hareketsiz eleklerden oluşmaktadır. Hareketsiz elekler yatay, eğik veya dik olarak monte edilebilmektedir. Hareketli elekler, çalışma sırasında sürekli olarak temizlenmelidir. Her iki tip elekte de iyi bir ızgaralama sonucunda % 5-10 BOİ giderimi, %25-55 askıda katı madde giderimi sağlanmış olmaktadır [5].

Yüzdürme işlemi olan flotasyon, çöktürme işleminin tam tersidir. Aynı zamanda sudan daha az özgül ağırlığa sahip olan parçacıkların su yüzeyine yükselmesi esasına dayanır. Flotasyon, atıksu içerisinde bulunan yağ, sabun, ahşap parçaları, gres, reçineli maddeler gibi sudan daha hafif maddeleri tutmak için kullanılmaktadırlar. Basit bir bekletme işlemiyle birlikte suda çözünmemiş faz halinde olan yağ vb. maddelerin ayrıldığı flotasyon, çözünmüş hava flotasyonu (DAF) ya da dağıtılmış hava flotasyonu ile birlikte kullanılmasıyla yaklaşık olarak %70-95 verimle ayrılması sağlanmıştır. Çözünmüş emülsifiye halde bulunan yağ ve benzerler türevlerinin yüzdürülerek sudan ayrılması için, emülsifiye halde bulunan yağın serbest forma dönüştürülmesi gerekmektedir. Bunun için emülsiyon kırıcı polimerler kullanılmalıdır. Serbest forma dönüştürülen yağ ise yüzeyden flotasyon ile alınmaktadır. Emülsiyon halindeki yağı ayırmak için ise, disperse hava flotasyonu ya da çözünmüş hava flotasyonu gibi üniteler kullanılır [5].

## 2.6.2. Kimyasal Arıtma Yöntemleri

Kimyasal arıtma yöntemi tekstil atıksularından çıkan renkli atıksuların arıtılmasında yıllardır yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunun en önemli nedeni atıksu niteliğinde oluşan değişikliklerin kullanılan kimyasalda veya miktarda yapılan değişiklikleri tolere etmesidir. En yaygın olarak kullanılan yöntemler şunlardır: Oksidasyon yöntemleri, kimyasal çöktürme ve flokülasyon yöntemidir [20].

Oksidasyon kimyasal arıtma yöntemleri içerisinde en fazla kullanılan renk giderme yöntemi olup bunun nedeni ise uygulanmasının kolay oluşudur. Kimyasal oksidasyon sonucu boya molekülündeki aromatik halka yapısı kırılarak atıksudaki boyar maddeler uzaklaştırılmış olmaktadır [15].

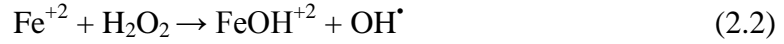
Kimyasal çöktürme ile askıdaki katı maddeler, yağ, gres, krom, organik maddeler ve renk giderilebilmektedir. Tekstil atıksularının kimyasal çöktürme yöntemiyle arıtılması; konvansiyonel, hızlı karıştırma, yumaklaştırma ve çökeltme sistemlerinde gerçekleşmektedir. Temel olarak kullanılan kimyasal maddeler arasında  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{FeSO}_4$ ,  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  ve  $\text{CaCl}_2$  bulunmaktadır. Her koagülant madde için, maksimum çökeltmenin izlendiği pH değerini yani optimum izoelektrik noktasının belirtilmesi şarttır. Kimyasal çöktürme işleminin verimi çökeltme verimine bağlıdır. Burada yumaklaştırma yardımcısı olarak polielektrolit uygulaması görülmektedir. Tekstil atıksularında uygulanan konvansiyonel arıtma yöntemleri içerisinde kimyasal çöktürme, tekstil atıksularındaki rengin giderilmesi açısından önem taşımaktadır. Kimyasal çöktürme prosesi yoluyla vat ve dispers boyalar gibi çözülmüş halde olmayan boyaların neden olduğu renk, sudan basit bir şekilde uzaklaştırılmaktadır [9].

### •Fenton ve Foto Fenton Prosesi

Fenton ve Foto-Fenton prosesi, birçok organik bileşikleri parçalaması sebebiyle yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu prosesler  $\text{OH}^\bullet$  radikalleriyle gerçekleşen oksidasyonlar içerisinde oldukça önemli görülmektedir. Fenton reaksiyonu, asidik şartlar altında  $\text{Fe}^{+2}$ , nin  $\text{OH}^\bullet$  radikalleri oluşturmak üzere  $\text{H}_2\text{O}_2$  ile oksidasyonuna dayanır [10].



Fenton prosesinin oksidasyon gücü, UV ışınları ile birlikte büyük ölçüde artar. Fenton prosesi UV ışınlarının varlığında Foto-Fenton prosesi olarak isimlendirilmektedir [11].



Fenton prosesinin avantajı oksidasyon ve koagülasyonu yöntemlerini bir arada uygulamaktır. Fenton prosesi atıksuda bulunan kirleticilerin oksidasyon yoluyla arıtımının yanısıra koagülasyon yoluyla da ikinci bir arıtım sağlamaktadır. Bundan dolayı oksidasyon ve koagülasyonu birleştiren Fenton arıtımı çift arıtım etkisine sahiptir [12].

Boyar madde içeren atıksuların arıtımında konvansiyonel metotlar kullanılmaktadır. Organik maddelerin giderimi açısından bu yöntem yüksek oranda başarılı olmasına rağmen renk ve toksisite giderimi açısından istenilen düzeye gelememiştir [13]. Fenton prosesi uygulandığında, tekstil vb. endüstriyel atıksuların renginin tamamen giderildiği ve organik madde gideriminin kısmen gerçekleştiği savunulur.

Fenton prosesinde, pH değeri yaklaşık olarak 3'e ayarlanmaktadır. Daha sonra Fe (II) tuzu eklenir ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ilave edilir. Reaksiyon gerçekleştirilip katılar tamamen ayrıldıktan sonra kireç sütü ya da kostik soda ile nötralize edilmektedir.

Demir ve hidrojen peroksit kimyasallarının ucuz olması, homojen katalitik yapısından ötürü kütle transfer sınırlamasının olmaması, prosesin teknolojik olarak basit ve kolay oluşu fenton prosesinin başlıca avantajlarıdır.

Foto Fenton prosesi hidrojen peroksit varlığında boya moleküllerini UV radyasyonu ile CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O'a dönüştürür. Parçalanma, yüksek konsantrasyonlardaki hidroksil radikallerinin oluşmasıyla meydana gelmektedir. Yani, UV ışığı hidrojen peroksiti aktive ederek iki hidroksil radikaline parçalanmasını gerçekleştirmektedir. Bu sayede organik maddenin kimyasal oksidasyonu gerçekleşmiş olur. Fotokimyasal yöntemlerde UV radyasyonu genellikle civa ark lambalarıyla sağlanmaktadır [15].

Fenton prosesiyle birlikte organik maddelerin parçalanma hızı ışık kaynağının olduğu durumlarda artmaktadır. Foto-Fenton reaksiyonlarının yaklaşık 400 nm'ye yakın dalga boylarındaki işletimlerinin, diğer oksidasyon proseslerine oranla daha az enerji tüketimine gerek olduğu bilinmektedir. Fenton prosesi geniş pH aralıklarında

işletilebilmelerine rağmen, Foto-Fenton prosesi pH'a bağlı olarak genel olarak asidik pH aralıklarında en iyi işletim performansını göstermektedir [21].

Boyar maddenin giderim hızı, UV radyasyonunun şiddetine, pH'a, boyar maddenin yapısına ve boya banyosunun kompozisyonuna bağlıdır [14]. Genellikle, pH 7 olduğunda, UV radyasyon şiddeti yüksek olduğunda, farklı boya sınıfları için farklı değerler alan optimum miktarda hidrojen peroksit uygulandığı zaman etkili seviyede renk giderimi söz konusudur [15]. Boyar madde içeren atıksuların fotokimyasal yöntemlerle arıtılmasının en önemli avantajlarından biri atık çamurun oluşmaması, aynı zamanda da kötü kokulara sebep olan organik maddelerin büyük ölçüde azaltılmış olmasıdır.

#### •Ozonlama

Yüksek pH aralığında ozonlama, ozonun OH<sup>-</sup> iyonlarıyla olan tam reaksiyonu aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:



Tekstil atıksularındaki ozonlama yöntemi ile etkin bir şekilde renk giderimi sağlanmaktadır. Ozonlama sonucu renk giderimi elde edilirken kullanılan boyanın cinsine göre değişiklik göstermektedir. Ozon gaz formunda kullanıldığından atıksu hacminde bir artışa neden olmadığı gibi aynı zamanda çamur da meydana getirmemektedir. Ayrıca toksik ara ürünlerin oluşumuna neden olmamaktadır. Strickland ve Perkins (1995) tarafından gerçekleştirilen 30 dakikalık bir çalışmada zaman süresince ozonlanan azoik, dispers/sülfür ve reaktif boya içeren atıksularda başarılı bir renk giderimi sağlanırken, Vat boyar maddesi içeren atıksuda aynı renk giderimini sağlayamayıp %50 ile sınırlı kalmıştır [15]. Azo boyar madde içeren tekstil atıksularının ozonlama yöntemiyle arıtıldığı bir çalışmada ozon transfer hızı bazı kriterlere bağlıdır. Bunlar; başlangıç boya konsantrasyonu, uygulanacak olan ozon dozlaması ve sıcaklıkla birlikte arttığı belirtilmiştir. Çalışmanın sonucunda yapılan ozonlamanın kimyasal oksijen ihtiyacını %27 ila %87 oranında düşürdüğü ve atıksuyun biyolojik parçalanabilirliğini 11 ile 66 kez arttırabildiğine vurgu yapılmıştır [22]. Ozonlama yönteminin en büyük dezavantajı Yarı ömrünün kısa olmasıdır. (yaklaşık olarak 20 dakika) Alkali şartlarda ozonun bozunması hızlı gerçekleştiği için atıksuyun pH'ı dikkatle izlenmelidir. Ozonlama yönteminin bir

diğer dezavantajı ise kısa yarı ömründen dolayı ozonlamanın sürekli olması ve yüksek maliyettir [23].

- Elektrokimyasal yöntem

Elektrokimyasal bir reaksiyonda yük, elektrod ile iletken sıvı içindeki reaktif türler arasındaki ara yüzeyde transfer olur. Elektrokimyasal reaktör bir anot, bir katot, bir iletken elektrolit ve bir güç kaynağından oluşmaktadır. Katotta yük reaksiyona giren türlere geçerek oksidasyon durumunda azalmaya neden olur. Anotta ise yük reaktif türlerden elektroda geçerek oksidasyon durumunu arttırmış olmaktadır. Oksidasyon durumundaki değişiklikler türlerin formlarının ve kimyasal özelliklerinin değişmesine sebep olur [15]. Boya gideriminde oldukça yaygın kullanımından dolayı bazı avantajlara sahiptir. Kimyasal madde tüketimi bu yöntemde çok azdır ya da yoktur. Bu yöntem sonunda çamur oluşmaz. Oldukça etkili bir yöntem olup aynı zamanda da ekonomik olarak boya giderimini sağlamaktadır. Renk gideriminde ve dirençli kirleticilerin parçalanmasında yüksek verim göstermektedir. Organik bileşiklerin elektrokimyasal yöntemlerle arıtımında söz konusu bileşikler anot üzerinde su ve karbondioksit okside olmaktadır. Önceden anot olarak grafit sıklıkla kullanılmaktaydı fakat son zamanlarda yapılan çalışmalar elektro-oksidasyon için ince tabaka halinde soy metallerle (Platin, rutenyum vb.) kaplanmış titanyum elektrodlarının kullanımını yaygınlaştırmıştır [26]. Tekstil atıksularının arıtıldığı bir çalışmada titanyum/platin anodu kullanılmış ve 18 dakikalık bir aktif arıtım süresinden sonra BOİ, KOİ ve renkteki azalmanın % 80'leri aştığı görülmüştür [15]. Pelegrini ve diğ. (1999) tarafından yapılan bir diğer çalışmada fotokimyasal yöntemden sonra uygulanan elektrokimyasal yöntemin verimi belirgin olarak arttırdığı gözlenmiştir. Bu bütünleşik prosesin kullanılmasıyla 120 dakikalık bir reaksiyon süresinde C.I. Reaktif Blue 19 boyar maddesinin rengi tamamen giderilmiştir. Aynı zamanda da %50 oranında mineralizasyon sağlanmıştır. Yöntemin en büyük dezavantajı ise tehlikeli bileşiklerin oluşma olasılığıdır. Naumczyk ve diğ. (1996) tarafından yapılan bir çalışmada tekstil atıksularının elektrokimyasal arıtım süresi boyunca oluşan kloroorganik bileşik miktarlarının oldukça fazla olduğu görülmüştür [15].

#### •Kimyasal Floklaştırma ve Çöktürme Yöntemi

Bu yöntemde floklaşma ve çökeltme kimyasal maddeler ilavesiyle gerçekleştirilir. Atıksuya ilave edilen kimyasal maddeler (alum vb.) yardımıyla çözülmüş maddeler ve kolloidler yumaklaştırma ve çökeltmeyle atıksudan giderilmektedir. Bu kimyasallardan en çok tercih edilenler arasında,  $Al_2(SO_4)_3$ ,  $FeCl_3$ ,  $FeSO_4$  ve kireç sayılabilir. Tünay ve diğ. (1996) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada asit boya içeren bir atıksuda sırasıyla kimyasal çöktürme, kimyasal oksidasyon ve adsorpsiyon yöntemleri denenmiş olup, bu yöntemler renk giderim verimliliği açısından incelenmiştir. Kimyasal çöktürme deneylerinde uygun kimyasal dozlarıyla orta dereceden yüksek dereceye kadar renk giderimi sağlanmıştır. Burada kullanılan kimyasal maddeler içerisinde alumun etkili olduğu izlenmiştir. Kimyasal çöktürme yönteminde inşaat masraflarından ziyade işletme masrafları önem taşımaktadır [15]. Bu yöntemde koagülantlar sebebiyle yüksek miktarda çamur oluşur. Özellikle floklaşma maddeleri ve ortaya çıkan çamurun bertaraf edilmesi, giderlerin büyük bir kısmına tekabül etmektedir [24].

#### •Sodyum Hipoklorit (NaOCl) Yöntemi

Renkli atıksuların kimyasal oksidasyonu klorlu bileşiklerle de mümkündür. Sodyum hipoklorit'in (NaOCl) toz, granül ve sıvı halde olmak üzere üç farklı şekli bulunmaktadır. Sodyum hipokloritin en önemli maddesi klordur. Bu metotta,  $Cl^+$  ile boya molekülünün amino grubuna etki eder ve daha sonra azo bağının kırılmasını sağlar. Klor konsantrasyonundaki artışla sayesinde renk giderimi de artar. Sodyum hipoklorit ile renk giderimi asit ve direkt boyalar için olumlu sonuçlar vermektedir. Reaktif boyaların arıtımı için ise daha uzun zamana ihtiyaç vardır. Metal-kompleks boya çözeltileri, arıtmadan sonra nispeten renkli kalırken dispers boya çözeltilerinde NaOCl ile renk giderimi sağlanmaz [5], [15]. Klorun son yıllarda alıcı ortamları olumsuz etkilediği için boyar madde gideriminde klor kullanımı azalmıştır [15].

#### •Elektrokoagülasyon Yöntemi

Elektrokoagülasyonda kullanılan elektrot malzemesinin elektriksel olarak çözünmesiyle birlikte koagülantların oluşturulması prensibine dayanmaktadır. Bir elektrokimyasal prosesinde en önemli durumlardan biri kullanılan elektrotun cinsidir. Elektrokoagülasyonda yaygın olan elektrotlar; alüminyum ( $Al^{+3}$ ) ve demir ( $Fe^{+3}$ ,  $Fe^{+2}$ ) kullanılmaktadır. Bu elektrotlar prosesin işletme aşamasında suyla reaksiyona

girerek  $\text{Al}(\text{OH})_3$ ,  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  ve  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  gibi metal hidroksit bileşiklerini ortaya çıkarmaktadır. Sistemde arıtma, metal hidroksitlerin oluşması ile başlamaktadır. Adsorpsiyon kapasitesi yüksek olan metal hidroksit bileşiklerinin sudaki farklı kirletici parametreleri adsorbe ederek çökelme yoluyla sudan uzaklaştırma kuralına dayanmaktadır. Bu arıtma metodu günümüzde çoğu yerde kullanılmaktadır [5]. Elektrot malzemesi olarak en çok tercih edilen malzemeler, bulunması kolay ve ucuz olan demir ve alüminyumdur. Elektrokoagülasyon ile kimyasal koagülasyon arasındaki fark alüminyum veya demirin ortama ilave edilme şeklidir. Elektrokoagülasyonda, pıhtılaşma ve çökelme mekanizmaları sisteme kimyasal madde ilavesi ile değil, elektrokimyasal reaktördeki elektrotlar aracılığı ile gerçekleştirilmektedir [25].

Serkan Bayar ve diğerleri tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada (2012), sentetik olarak hazırlanan Direct Red 23 boyar maddesinin sulu ortamdan elektrokolagülasyon yöntemi kullanılarak giderimi amaçlanmıştır. Alüminyum elektrotların kullanıldığı bu çalışmada, başlangıç çözelti pH'sı, karıştırma hızı ve destek elektrolit cinsinin renk giderimi üzerine etkileri araştırılmıştır. Denemeler süresi boyunca akım yoğunluğu  $0.1 \text{ mA cm}^{-2}$  ve sıcaklık  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ' de sabit tutulmuştur. Elektrotlar arası mesafe  $0.5 \text{ cm}$  olarak belirtilmiştir. Renk giderme verimi üzerine çözeltinin başlangıç pH'sının çok etkili bir parametre olduğu gözlemlenmiştir. En yüksek renk giderim verimi deney sonunda %98 olarak gerçekleşmiştir. Bu deney başlangıç çözelti pH'sı 5, 150 devir dakika<sup>-1</sup> karıştırma hızı ve 5 mMolar NaCl tuzunun kullanıldığı, 30 dakika deney süresi şartlarında çalıştırılmıştır. Yapılan deneylerde destek elektrolit cinsinin renk giderim verimine etki etmediği gözlemlenmiştir. Çalışma sonucunda Direct Red 23 boyar maddesi içeren atıksuların arıtımında elektrokoagülasyon prosesinin alüminyum elektrot içermesi görüşüne varılmıştır. Destek elektrolit cinsinin giderim verimi üzerine yapılan denemelerde ise pH: 5.0, 500 mg/L başlangıç boya konsantrasyonu için 5 mmol NaCl,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NaNO}_3$  ve  $\text{CaCl}_2$  destek elektrolit türleri çalışılmış destek elektrolit türünün boya giderimi için etkili bir parametre olmadığı gözlenmiştir. Giderim verimleri NaCl,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NaNO}_3$  ve  $\text{CaCl}_2$  için yaklaşık olarak sırasıyla; %98, %91, %87 ve %94 olup ve en iyi giderimi 5 mmol NaCl için elde edilmiştir [25].

### 2.6.3. Biyolojik Arıtma Yöntemleri

Biyolojik arıtım, endüstriyel proseslerden alıcı sistemlere transfer olan organikler için en önemli giderim prosesidir. Tekstil endüstrisi atıksuları için daha önceden önerilen fiziksel ve kimyasal yöntemlerin yüksek maliyet gerektirdiği için ve her boya için kullanılamıyor olmaları, uygulanmalarının sınırlı olmasına sebep olmuştur. Son zamanlarda yapılan araştırmalar birçok boya türünü atıksudan giderebilme yeteneğine sahip yaygın mikroorganizma türlerinin mevcudiyetini vurgulamış ve biyoteknolojik yöntemleri ön plana çıkarmıştır. Yani, teorik olarak biyolojik arıtma sistemleri fiziksel ve kimyasal arıtma yöntemlerine göre daha az çamur oluşturmaları, maliyetinin daha düşük düzeyde olması veya alıcı ortamlar için toksik yan ürünlerin oluşmaması gibi faydalarından ötürü tekstil endüstrisi atıksularının arıtımında ideal bir çözüm olarak kabul edilmektedir [15].

#### •Aerobik Yöntem

Aerobik yöntem, tekstil atıksularının aerobik arıtımında kullanılan klasik aktif çamur sistemleri için birçok boya maddesi biyolojik olarak indirgenememektedir. Ancak boya maddeleri bakterilerin üzerine adsorbe olup giderilmektedir. Fakat bu fiziksel bir durumdur [16].

Tekstil endüstrisi atıksuları, pH değişimlerine duyarlılığı yüksek olan konvansiyonel biyolojik arıtma tesislerinde birçok önemli sıkıntılara neden olmaktadır. Endüstriyel atıksuların aerobik arıtımında kullanılan konvansiyonel aktif çamur sistemleri için tekstil endüstrisindeki birçok boya bileşiği indirgenememektedir. Suda iyi çözünen bazik ve bazı azo boya maddelerinin olması durumunda mikroorganizmalar bu tür bileşikleri biyolojik olarak indirgeyememekle birlikte boyanın bir kısmını adsorbe ederek atıksuyun renk giderimini sağlayabilmektedir. Boyar maddelerin aerobik biyodegradasyonunu sınırlandıran bir diğer faktör ise moleküler ağırlıklarının yüksek olması sebebiyle biyolojik hücre zarından geçişlerinin sıkıntılı olmasıdır. Azo ve reaktif boyar madde içeren bir tekstil atıksuyu renginin mikrobiyal proseslerle giderilmesinin araştırıldığı bir çalışmada aerobik kolonlardan izole edilmiş saf bakteri kültürlerinin renk giderimini gerçekleştirmediği görülmüştür. O'Neill ve diğ. (2000a) atıksudaki azo boyar maddeler gibi reaktif boyaların yaklaşık olarak %10'unun aerobik biyokütleye adsorbe olduğunu, geri kalanının ise aktif çamur tesisinden herhangi bir değişime



uğramadan geçtiğini belirtmişlerdir. Yani azo boyar madde içeren tekstil atıksularının renginin giderilmesinde aerobik arıtımın yetersizliğini vurgulamışlardır [15].

#### •Anaerobik Yöntem

Anaerobik arıtımın ilk aşamasındaki asidojenik bakteriler karbonhidratlar, yağlar veya proteinler gibi organikleri düşük moleküler ağırlıklı ara ürünlere dönüştürürler. Dönüştürülen bu ara ürünler asidojenik bakteriler tarafından kullanılır bunun sonucunda da asetat, karbon dioksit ve moleküler hidrojen açığa çıkar. Son aşamada ise metanojenik bakteriler asetat ve karbondioksiti metana indirgerler. Metan ve karbondioksit içeren biyogaz, anaerobik parçalanma testlerinde parçalanmanın seviyesini belirlemek amacıyla kullanılmaktadır [15].

Boyar maddelerle birlikte gerçekleştirilen anaerobik parçalanma çalışmaları, aerobik ortamda parçalanamayan suda çözünebilir reaktif azo boyar maddelerinin anaerobik ortamda parçalanması üzerinde yoğunlaşmıştır. Anaerobik olarak renk gideriminin olması için fazla sayıda ek karbon kaynağına ihtiyaç duyulmaktadır. İlave karbon; metan ve karbondioksit dönüştürüldükten sonra elektronlar açığa çıkmaktadır. Bu elektronlar son elektron alıcısı olarak reaktif boyayla reaksiyona girerek ve azo bağının indirgenmesini gerçekleştirirler. Bu anaerobik parçalanma sonucunda azo boyar maddelerdeki renkten sorumlu azo bağı kırılmakta ve renk giderimi sağlanmış olmaktadır. Bu olay oksijenin varlığında gerçekleşmemektedir. Bu sebepten dolayı aerobik proses gerçekleşmeden önce anaerobik koşullarda azo bağının kırılması gerekmektedir. Yapılan bir çalışmada ilave karbon kaynağı olarak kullanılan optimum miktardaki tapioca nişastasının prosesin renk giderme kapasitesini arttırdığı vurgulanmıştır [15]. Sponza ve diğ. (2000) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada Reaktif Black 5 ve Synozol Red boyalarının anaerobik arıtmayla birlikte renginin giderildiği, kullanılan mikroorganizma kültürüne ve boya derişimine bağlı olarak %23 ile %78 arasında değişen KOİ giderme verimlerinin elde edilebileceği görülmüştür. Rengin tamamının giderilmesi ancak azo boyar maddelerin renk veren N=N yapısının anaerobik ortamda parçalanmasıyla gerçekleşmiştir. KOİ'nin tamamen giderilememesinin nedeni ise meydana gelen ara ürünlerin anaerobik ortamda parçalanamamasından dolayıdır [15]. Tekstil endüstrisi arıtma tesisleri uygulamalarında aerobik arıtmanın önüne anaerobik reaktörün konması renk giderim verimi açısından fayda sağlayacağı görülmüştür [5].

#### •Biyosorpsiyon

Kimyasal maddelerin mikrobiyal kütle tarafından adsorpsiyonu ya da kütlede birikimi biyosorpsiyon olarak belirtilmektedir. Boyar madde içeren tekstil atıksularının giderilmesinde ölü bakteriler, maya ve mantarlar kullanılabilir. Tekstil boyalarının kimyası geniş aralıktadır olduğundan mikroorganizmalarla olan etkileşimler boyanın yapısına ve mikrobiyal kütle için özel kimyasına dayanmaktadır. Bu nedenden ötürü kullanılan mikroorganizmanın türüne ve boyaya bağlı olarak farklı bağlanma hızları ve kapasiteleri söz konusudur. Boyar madde içeren atıksu çok toksik olduğunda biyosorpsiyon avantajlı olmaktadır [27].

#### 2.6.4. İleri Arıtım Yöntemleri

Tekstil endüstrisinden çıkan yoğun miktardaki boya atıksularının arıtımı için konvansiyonel biyolojik arıtma yöntemleri yeterli miktarda renk giderimine ulaşamamaktadır. Fizikokimyasal koagülasyon ve flokülasyon metotları verimli bir şekilde etkili olamamaktadır. Tekstil endüstrisinin kullanılan boyaların üretiminde; kimyasal özellikleri, molekül büyüklüğü ve yapılarının farklılığından ötürü biyolojik arıtma yöntemleri atıksuyun rengin giderilmesinde pek de etkili olamamaktadır. Nadir uygulamaların dışında boyalar, aerobik şartlar altında biyolojik olarak parçalanamamaktadır, örnek olarak güçlü bir renge sahip atıksuların oluşumuna sebep olan reaktif boyalar, reaksiyonlara girmeden ve arıtma tesislerindeki giriş konsantrasyonları değişmeden biyolojik arıtma proseslerinden çıkmaktadır. Reaktif boyalar, diğer boya türlerine göre suda daha fazla oranda çözünmekte ve biyolojik olarak parçalanabilirliklerinin az olması sebebiyle konvansiyonel aktif çamur tesislerinde oldukça zor arıtılabilmektedir. Bazı boyaların hemen hemen tamamı lif üzerinde tutulurken reaktif boyaların kullanımı durumunda, boya konsantrasyonunun yaklaşık olarak % 40' ı atıksuya taşınmaktadır ve bu durum, biyolojik arıtmadan ayırılmadan biyolojik arıtmayı terk eden reaktif boyaların konsantrasyonunu arttırmaktadır. Sonuç olarak her ne kadar askıda katı ve biyolojik olarak parçalanabilen organiklerin maddelerin arıtımı için klasik ikinci kademe arıtma sistemleri bir miktar yeterli olsa da deşarjın göl, nehir, dere ya da hassas bölgelere yapılması halinde daha fazla arıtım gerekmektedir ve bu da ileri arıtma sistemlerinin ilavesini zorunlu kılmaktadır [5].

## •Adsorpsiyon

Adsorpsiyon yöntemi konvansiyonel yöntemlerdeki kararlı olan kirletici maddelerin giderimindeki verimliliğinden ötürü son zamanlarda rağmen görmektedir. Adsorpsiyon ekonomik açıdan makul bir yöntemdir ve yüksek kalitede ürün oluşumu sağlar. Adsorpsiyon prosesi, boya/adsorban etkileşimi, pH, tanecik büyüklüğü, adsorbanın yüzey alanı, sıcaklık ve temas süresi gibi birçok fizikokimyasal faktörün etkisi altındadır. Adsorpsiyonla renk gideriminde en çok kullanılan aynı zamanda da en etkili yöntem aktif karbon yöntemidir. En etkili adsorpsiyon maddesi ise aktif karbondur Aktif karbonla renk giderimi özellikle mordant, katyonik ve asit boyalar için etkiliyken, dispers, vat, direkt, pigment ve reaktif boyalar için daha az bir renk giderimi söz konusudur. Aktif karbon yönteminin performansı kullanılan karbonun cinsine ve tekstil atıksuyunun karakteristik yapısına bağlıdır [15]. Aktif karbon aktif çamur sistemine ilave olarak eklendiğinde, renk giderimi veriminin ve aynı zamanda aktif çamurun organik madde giderim verimini de arttırmaktadır [28]. Ancak aktif karbonun pahalı olması nedeniyle, aktif karbon kullanımında geri kazanım ve yeniden kullanım gibi yöntemlere başvurulması gerekmektedir. Geri kazanım ve yeniden kullanım performansta azalmaya sebep olurken bu dezavantajı çok miktarda aktif karbonun kullanılmasıyla giderilebilir.

Reaktif boyaların aynı zamanda inorganik adsorbanlarla birlikte arıtılması ile ilgili kaynaklar bulunmaktadır. İnorganik adsorban olarak sentetik kil kullanılması durumunda, aynı sıcaklık ve pH şartlarında aktif karbondan daha yüksek bir adsorpsiyon kapasitesine ulaşıldığı görülmüştür [5].

Adsorban olarak kullanılan bir diğer malzeme ise bataklık kömürüdür. Bataklık kömürü, boya içeren atıksularda bulunan organik bileşikleri ve geçiş metallerini adsorplayabilmektedir. Bataklık kömürü özellikle İrlanda ve İngiltere gibi ülkelerde kullanımı çoktur. Bataklık kömürü aktif karbona kıyasla daha ucuzdur fakat aktif karbonun toz haldeki yapısından dolayı geniş yüzey alanı daha yüksek bir adsorpsiyon kapasitesini belirtmektedir. Ağaç parçacıkları, uçucu kül+kömür karışımı, silika jeller, doğal killer, mısır koçanı gibi malzemeler boya gideriminde adsorban olarak kullanılabilir. Bunların ucuz ve kolay elde edilebilir oluşu boyar madde giderimindeki kullanımını ekonomik açıdan cazip kılmaktadır [14].

Boyama atıksularındaki reaktif boyaların giderimi için ise, en uygun adsorban yüksek adsorpsiyon kapasitesine sahip aktif karbon adsorpsiyonudur. Sonuç olarak

boya atıksularında etkili bir renk giderim yöntemi de Granüler Aktif Karbon adsorpsiyonudur [23].

#### •Membran Prosesler

Membran filtrasyonu son yıllarda suyun geri kazanımı ve yeniden kullanılmasıyla ilgili birçok stratejiler geliştirilmiştir. Bu stratejiler sırasıyla; Denizler, yüzeysel ve yer altı suları gibi kirlenmiş su kaynaklarının arıtılarak temizlenmesi daha sonra iyileştirilmesi, proses çıkış sularının arıtılarak geri kazanımı ve başka bir proseste yeniden kullanımı, ayırma tekniklerinin proseslere uyarlanarak atık ya da enerjinin kullanımının minimize edilmesidir.

Membran teknolojisi, bahsedilen bu stratejilerden ayırma prosesinin ve arıtım teknolojisinin bir parçası olarak uygulanmaya başlanmıştır [29]. UF, NF ve TO membranları suyun ve kimyasalların tekrar kullanımı için uygulanmaktadır. Membran seçimine gerekli özen gösterilip, ön filtrasyon sistemi kullanılırsa, belirli aralıklarla yapılan temizleme işlemleriyle membranın tıkanma riski azaltılmış olmaktadır. Yün yıkama suları, sıcak yıkama çözeltisi içerip yüksek pH seviyelerinde deterjan ve yüksek KOİ konsantrasyonuna sahip olduğundan filtrasyon teknikleri ile arıtılabilmektedir. UF yöntemiyle %80'e varan KOİ, yağlar ve askıda madde giderimi sağlanmaktadır. Filtre edilen kısmı kanalizasyona verilirken, konsantre kısmı yüksek maliyetlerle lagünlere taşınmaktadır. Membranın tıkanmasına neden olmak için koagülasyon ve mikrofiltrasyon kesinlikle gerekmektedir. Filtrasyon prosesleri, konsantre akımın uzaklaştırılması probleminden ötürü sınırlı bir uygulama alanına sahiptir. Ozonlama ve membran nanofiltrasyonu ile yüksek renk konsantrasyonuna sahip boyalı atıksular arıtılmaktadır. Ayrıca MF, NF ve TO membran proseslerinin ikincil arıtmadan çıkan atıksulara uygulanması, maddi açıdan ekonomik olma özellikle olup yeniden kullanım şartlarını da sağlamaktadır [34].

Membran, birbirinden farklı iki fazı ya da ortamı birbirinden ayıran, bir taraftan diğer bir tarafa maddelerin seçici bir şekilde taşınmasını sağlayan geçirgen bir zar tabakadır. Bütün membranla ayırma teknolojilerinde membrandan geçme yönü doğrultusunda akışı sağlamak için itici bir kuvvet ve bazı maddelerin geçişini engelleyen ayırma faktörü, temel iki prensiptir. Kütle transferi, konsantrasyon farkı, basınç farkı ve elektriksel potansiyel farkı gibi itici güçlerin yardımıyla gerçekleşmektedir. Membran proseslerinde en yaygın itici kuvvet basınçtır [30]. Membran proseslerde besleme, süzüntü ve konsantre akımları olmak üzere 3 az

vardır. Arıtma işlemi, I. fazdaki bileşenin, membran tarafından belirli bir miktarda tutulmasına dayanmaktadır. Membranda akım iki kısma ayrılmaktadır. Membrandan geçen akım süzüntü, geçemeyen akım ise konsantre akımı olarak isimlendirilmektedir. Membrandan süzüntü tarafına doğru bir geçişin olması için sürücü kuvvetin uygulanması gerekmektedir. Membran sürücü kuvvetlerine göre, basınç, konsantrasyon, elektriksel potansiyel ve sıcaklık farklığı olmak üzere dört ana grupta toplanmaktadır [31]. Membran ayırma prosesleri mikrofiltrasyon (MF), ultrafiltrasyon (UF), nanofiltrasyon (NF), ters ozmos (TO), elektrodializ (ED) ve pervaporasyondur. Bu yöntemlerde ayırma, moleküllerin boyutlarına ve molekül kütlelerine göre olur.

Mikrofiltrasyon, basınç kuvveti altında çalışan ve en az verimliliğin gözlendiği membran türüdür. Mikrofiltrasyon membranlarının gözenek çapları 0,05 ile 5 µm arasındadır. Membran direnci düşüktür. Bu yüzden düşük basınç altında işletilmektedir ve ortalama 2 bar'a kadar olan basınçlarda çalıştırıldıklarında optimum verim elde edilmektedir. Mikrofiltrasyonda, akım membran yüzeyine paralel olarak uygulanmaktadır ve membrandan geçemeyen konsantre kısım, membran üzerinde birikmektedir. Zamanla membran yüzeyinde oluşan direnç artmaktadır. Membranda akı değerinde azalma gözlendiği zaman membran temizlenmeli veya değiştirilmelidir [7]. Mikrofiltrasyon uygulamalarında arıtma esnasında herhangi hiçbir kimyasal madde kullanımı yoktur. MF membranların bir diğer uygulama alanı suların geri kazanılmasında NF ve TO membranları öncesinde ön arıtma elemanı olarak kullanılmasıdır [32].

Ultrafiltrasyon, işletme bakımından mikrofiltrasyon membranlara benzemektedir. Delik çapı, 0.05-1 nm arasında değişmektedir. UF membranlar, çözülmüş maddeleri ve küçük partikülleri ayırmak için kullanılmaktadır. UF membranlarda, maddelerin tutulma seviyeleri; moleküler ağırlık engelleme sınırı (MWCO) ile ifade belirtilmektedir. Her farklı membran türü için MWCO değeri belirlenmiştir.

Ultrafiltrasyonun tekstil endüstrisinde yün yıkama atıksularının geri kazanılmasında, yağ içeren atıksuların arıtılmasında, elektro kaplama endüstrisinde, mezbaha atıksularının arıtılmasında, gıda endüstrisinde vb. bunun gibi bir çok endüstriyel atıksuların arıtılmasında kullanılmaktadır [33]. UF membranlar, içme suyunda ileri arıtma amaçlı da kullanılmaktadır. Klorlamayla birlikte insanlarda kanser yapıcı THM' ler (trihalometan) oluşmaktadır. Bundan dolayı, THM

oluşumuna sebep olan organik maddeler klorlamadan önce giderilmelidir. UF membranlar bu amaçla kullanılırsa, THM oluşumu, % 20 – 50 arasında azaltılmaktadır. UF membranlar, bakteri ve virüs giderimi bakımından da oldukça güvenilirdir. İçme suyu tesislerinde kurulan tam ölçekli UF proseslerinden alınan sularda hiçbir mikroorganizma gözlenmemiştir. UF membranlar, TO membranlarından önce ön arıtım amaçlı olarak da kullanılmaktadır. Bundan dolayı TO membranlarının ömrü uzatılmış olmaktadır. UF sistemlerinin, TO öncesinde kullanılmasının; sürekli ve basit işletmesinin olması, TO membranları için yüksek kalitede su üretmesi, kimyasal maddeye ihtiyaç duymaması gibi faydaları olmaktadır [7].

Nanofiltrasyon membranlar, boşluk çapı bakımından, ters osmoz ile ultrafiltrasyon membranlar arasındadır. NF membranlar, ters osmozdan daha düşük seviyelerdeki basınçlarda işletilmektedir. Fakat ters osmoza oranla daha düşük kalitede su vermektedir. NF membranlardaki giderim mekanizması, ters osmoz gibi çözünme difüzyon modeline göre olmaktadır. Çapı 0,001µm'den fazla olan moleküllerin gideriminde kullanılmaktadır.

Ters osmoz, bir membranın yarı geçirgenliği, onun bir çözeltinin bileşenlerine karşı göstermiş olduğu seçimli geçirgenlik kapasitesidir. Yani membrandan geçen sıvı ile membrandan geçemeyen sıvı bileşimleri birbirinden farklıdır. Osmotik basınç, osmoz işlemi esnasında düşük konsantrasyondaki çözülden yüksek konsantrasyondaki çözültiye su geçişi ile hacimler arasında meydana gelen farklılık sonucunda oluşan basınçtır. Ters osmoz durumunda, konsantre çözültiye osmotik basıncından daha fazla miktarda basınç uygulamasıyla gerçekleştirilir. TO prosesi, tekstil endüstrisinde renk giderimi, gıda endüstrisinde geri kazanım, kağıt endüstrisinde renk giderimi, mezbaha atıksularının arıtımı, madencilik, ilaç üretimi gibi birçok endüstride yoğun olarak tercih edilmektedir. Aynı zamanda birçok endüstride TO düşük molekül ağırlıklı çözülmüş maddelerin, çözülden giderilmesi için kullanılmaktadır. TO membranlar bütün çözülmüş organik ve inorganik türleri ayırabilmektedir. Çoğunlukla ters osmoz membranlarda, uygulanması gereken yüksek basınç aralığı 30-100 bar arasında değişmektedir [7]. TO membranları birçok iyonik türler için %90'nın üzerinde bir giderim verimi gösterir. Aynı zamanda da yüksek kalitede süzüntü eldesi sağlar. Boya banyoları çıkış sularındaki boyalar ve yardımcı kimyasallar tek bir basamakta giderilmiş olur. Fakat yüksek osmotik basınç farklılığı TO uygulamalarını sınırlandırmaktadır [15].

NF membranları negatif yüzeysel yüklerinden ötürü iyon seçicidirler. Yani, çok değerlikli anyonlar tek değerlikli anyonlara kıyasla daha sıkı tutulurlar. Membranların bu karakteristiğine bağlı olarak boyalı atıksularda bulunan bir kısım yardımcı kimyasal membrandan geçebilmektedir. Yapılan çalışmalar, membran filtrasyonu ile, çıkış suyunda düşük konsantrasyonda boyar madde içeren tekstil endüstrilerinde suyun tesise geri kazandırılmasının mümkün olduğunu göstermektedir. Ancak yöntem, suyun yeniden kullanımı açısından önemli bir parametre olan çözünmüş katı madde içeriğini düşürmez [15].

İyon değişimi, iyon değiştiriciler tekstil atıksularının arıtımında çok tercih edilmemektedirler. Bunun nedeni iyon değiştiricilerle arıtılmış olup, yüksek verim sağlayan boyaların yeterli miktarda olduğu düşünülmektedir. Bu iyon değiştirme yönteminde değişim yerleri, doyma seviyesine gelene kadar iyon değiştirici reçineler üzerinden geçmektedir. Bu sayede katyonik ve anyonik boyalar tekstil atıksularından giderilmiş olur. Adsorban kaybının olmaması, parçalanabilir boyaların yüksek miktarlarda gideriminin olması bu yöntemin avantajlarıdır [5].

## 2.7. Tekstil Atıksularının Arıtım Performansları

Tekstil atıksularının arıtımında proseslerin performansları ve verimleri Tablo 2.2' de verilmiştir.

Tablo 2.2: Tekstil Atıksularının Arıtımında Çeşitli Proseslerin Performans Etkinlikleri.

Proses	Performans
Koagülasyon/Flokülasyon	Çok büyük miktarda çamur oluşur. Renk gideriminde etkili değildir.
Flokülasyon/Çökeltme ile Atıksuyun Arıtımı ve Oluşan Çamurun Yakılması	Bu arıtma sistemiyle %40-50 KOİ %80-90 renk giderimi sağlanmıştır.
Adsorpsiyon Prosesi	Renk gideriminde umut verici sonuçlar sağlanmıştır.

Tablo 2.2: Devam.

Oksidasyon/İleri Oksidasyon Prosesi	Hem KOİ hem de renk gideriminde oldukça başarılı bir prosestir. %80-90 verimle KOİ %85-95 verimle renk
Membran Prosesler	Genellikle NF ve TO renk, organik madde ve iletkenlik gideriminde ve su geri kazanımında etkili bir prosestir.
Koagülasyon/ Flokülasyon /Çökeltme ve MF Prosesi	%80-90 KOİ verimi sağlanmıştır.
Aerobik Arıtma ve NF İle Arıtma	>%85 KOİ , >%90 renk, yaklaşık %50 iletkenlik verimi sağlanmıştır.
Anaerobik Arıtma ve NF ile Arıtma	>%85 KOİ , >%90 renk, yaklaşık %50 iletkenlik verimi sağlanmıştır.

## 2.8. Literatür Taraması ve Değerlendirme

Alcaina-Miranda ve diğ. Tarafından gerçekleştirilen bu çalışmada UF+NF membranlarıyla birlikte tekstil atıksuyunun arıtımı yapılmıştır. Bu çalışmanın sonucunda yüksek seviyelerde renk, KOİ ve bulanıklık giderim veriminin gözlemlendiği ve süzöntü kalitesinin yeniden kullanım için gerekli şartları sağladığı görülmüştür [35].

Bir önceki çalışmaya benzer bir şekilde Tang ve Chen tarafından gerçekleştirilen çalışmada NF membranı ile tekstil atıksuyunun tuz ve boya giderim veriminin yüksek olduğu belirtilmiştir [36].

Aydiner ve diğ. tarafından yapılan bu çalışmada tekstil atıksularının çeşitli kombinasyonlardaki membran proseslerinde arıtılabilirliği araştırılmıştır. Tekstil atıksuyunun ve tekstil atıksuyunun içerdiği tuzun boya banyosunda tekrar kullanılabilirliği incelenmiştir. Çalışmada UF, NF ve TO prosesleri ile ayrı ayrı arıtım çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Çalışmada yeniden kullanım şartlarına uygun biçimde renk giderimi ve yüksek oranda tuz miktarı geri kazanımı gerçekleşmesine



rağmen, elde edilen KOİ gideriminin yeniden kullanım şartlarını sağlamadığı belirlenmiştir. Bununla birlikte UF+NF ve UF+TO kombinasyonları ile gerçekleştirilen KOİ ve renk giderimleri sırasıyla yaklaşık olarak %80 ve %90 olarak elde edilmiştir. Bu kombinasyonlarda, en düşük akı kaybı UF+NF kombinasyonundan sağlanmıştır [37].

Çapar ve diğerleri tarafından gerçekleştirilen çalışmada bir halı fabrikasına ait boyama atıksularının arıtımı ve su geri kazanımı için uygun membran proses türleri incelenmiştir. Bu çalışma sonucunda NF membranı ile %99.5 oranında KOİ giderimi sağlarken, UF membranı %25 KOİ giderimine ulaşabilmiştir. MF membranında %82 oranında renk, %77 oranında bulanıklık giderimi sağlanmıştır. NF membranında ise renk ve bulanıklık için %100 ve %78 oranında giderim sağlanırken, KOİ giderim verimi %59 da kalmıştır. Elde edilen süzüntü suyunun yeniden kullanım kriterlerine uygun olmadığından ikinci ve üçüncü kademe NF işlemleri uygulanıp KOİ giderim verimi %97' ye çıkarılmıştır [38].

Aydın ve diğerleri (2007) tarafından yapılan çalışmada arıtma tesisi çamurlarından piroliz ile elde edilen adsorbentlerle, tekstil atıksularından KOİ ve renk giderimi araştırılmıştır. Sonuç olarak tekstil endüstrisi atıksularının çok değişken özellikte olması nedeniyle sistemin kararlılığı önem kazanmış olup, bu bağlamda biyolojik arıtımın ilgili işletmeler için alternatif olacağı düşünülmüştür.

Gürtekin ve diğerleri tarafından gerçekleştirilen bu çalışmada tekstil atıksularından Fenton prosesi ile renk giderimi üzerinde araştırma yapılmıştır. Bu çalışma sonunda Fenton prosesiyle renk giderme verimlerinin oldukça yüksek olduğu görülmüştür. Sıcaklık, pH ve reaktiflerin konsantrasyonunun optimize edilmesi gerekmektedir. Fenton prosesi, diğer ileri oksidasyon yöntemleri ile renk giderimi açısından kıyaslandığında Fenton prosesinde çok daha yüksek renk giderim verimleri sağlanmıştır [39].

Tekstil atıksularında etkin su ve atıksu yönetiminde tercih edilen teknolojilerin başında İOP (özellikle Fenton ve Foto-Fenton) ve MP (özellikle basınç sürücülü) gelmektedir. Bu iki prosesin bir arada kullanılarak su geri kazanımı ve konsantre atık azaltımının yapıldığı az sayıda literatür çalışması bulunmaktadır [18], [19], [40], [41].

### 3. MALZEME VE YÖNTEM

#### 3.1. Tekstil Endüstrisi Atıksularının Karakterizasyonu

Tekstil endüstrisine ait atıksuların karakterizasyon sonuçları, tekstil endüstrisi (tekstil ürünleri yıkama banyosu çıkış suyu) atıksuları ve tekstil endüstrisi nihai çıkış sularının proste yeniden kullanımı için literatür değerleri Tablo 3.1’de sunulmuş olup, tez kapsamında tekstil atıksuyu için hedeflenen çıkış suyu kalitesi değerleri tabloda beraber ayrıntılarıyla verilmiştir.

Tablo 3.1: Tekstil endüstrisi atıksularının karakterizasyonu.

Parametre	Birim	Tekstil Atıksuyu		Yeniden Kullanım Suyu Kalitesi	
		Ortalama	Std. Sapma	Tekstil endüstrisi (Bes-Pia vd., 2010)	Hedeflenen Su Kalitesi
pH	-	6,22	0,03	6-8	6
Sıcaklık	°C	25	1,33	-	-
İletkenlik	µS/cm	2226	613	<2.500	210
TÇK	mg/L	1130	321	<1250	-
ÇO	mg/L	8,04	0,87	-	-
KOİ	mg/L	2362	727	25	20
TOK	mg/L	744	234	-	10
AKM	mg/L	19,03	10,31	-	-
Bulanıklık	NTU	3,51	5,04	10	-
Amonyak	mg/L	1,77	1,57	-	-
Renk	λ:436 nm	0,29	0,05	0	-
	λ:525 nm	0,26	0,06	0	-
	λ:620 nm	0,25	0,08	0	-

Tablo 3.1: Devam.

Nitrat	mg/L	8,5	5,7	-	-
Sülfat	mg/L	440	453	-	-
Klorür	mg/L	35,5	14,2	-	-
Demir II	mg/L	7,7	12,5	-	-
Demir III	mg/L	4	3,06	-	-
Toplam Azot	mg/L	13,7	17,6	-	-
Toplam Sertlik	mg/L	101	71	10	-
Fenol	mg/L	11,5	4,7	-	-
Toksisite*	TU	9,6	6,30	-	-
* Toksisite parametresi, TU (toxicity unit) biriminde; 0: toksik değil, >1: az toksik, 1-10:toksik, 11-100: çok toksik, >10: aşırı toksik olarak değerlendirilmekte, analiz edilen tekstil yıkama banyosu atıksuyu ortalama değer olarak çok toksik sınırında toksik grubuna girmektedir.					

### 3.2. Analitik Yöntemler

Yaygın işletimleri ve yakın seviyelerdeki kirlilik durumları sebebiyle bu teze konu olarak seçilmiş tekstil endüstrisi atıksuları, genel karakteristiklerinin, KOİ: 1000-2000 mg/L, TOK: 500-800 mg/L, pH: 6-8, iletkenlik: 1000-2000  $\mu$ S/cm, TÇM: 800-1500 mg/L değerlerinde olduğu literatürden bilinmektedir [16]-[19].

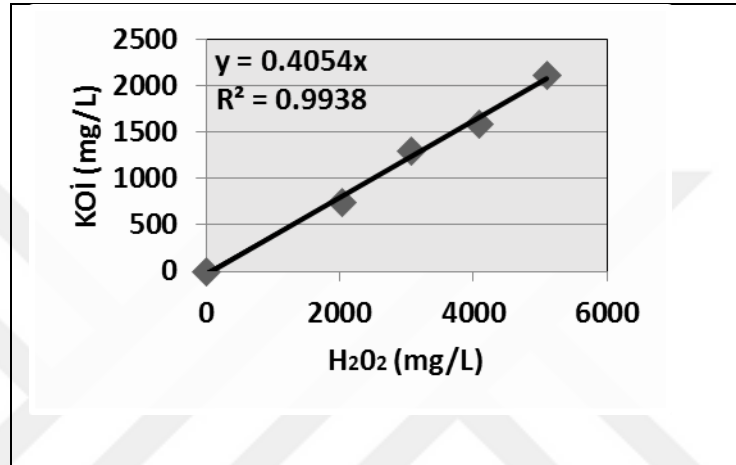
Tez kapsamında deneysel çalışma sonuçlarının izlenmesi için kararlı işletimli şartlarda deneyler gerçekleştirilmiştir. İşletim şartlarında izlenen parametreler, ölçüm yöntemleri de dahil olmak üzere, tekstil atıksuyunda izlenen parametreler Tablo 3.2'de ayrıntılı olarak sunulmuştur.

Tablo 3.2: Tekstil endüstrisi atıksularında kararlı haldeki deneylerde izlenen parametreler.

Parametre	Ölçüm Yöntemleri	Tekstil Endüstrisi		
		Giriş Atıksuyu	İOP reaktörü	MP çıkışı
pH	Multiparametre ölçüm cihazı	√	√	√
Sıcaklık (°C)	Multiparametre ölçüm cihazı	√	√	√
İletkenlik(μS/cm)	Multiparametre ölçüm cihazı	√	√	√
TÇK(mg/L)	Multiparametre ölçüm cihazı	√	√	√
Çözünmüş Oksijen (mg/L)	Multiparametre ölçüm cihazı		√	
KOİ (mg/L)	5220 D: Kapalı reflux kalorimetrik yöntem	√		√
TOK (mg/L)	5310 C: Yüksek sıcaklıkta persülfat oksidasyon yöntemi	√	√	√
AKM (mg/L)	2540 D: 103-105 °C Gravimetrik yöntem	√		
Bulanıklık (NTU)	2130 B: Neflometrik yöntem	√	√	√
Amonyak (mg/L)	4500 NH <sub>3</sub> B nolu “Ön Destilasyon Metodu	√	√	√
Renk	Spektrofotometrik yöntem	√	√	√
Nitrat (mg/L)	Spektrofotometrik yöntem	√	√	√
Sülfat (mg/L)	Spektrofotometrik yöntem	√	√	√
Klorür (mg/L)	Spektrofotometrik yöntem	√	√	√
Demir (II/III) (mg/L)	Spektrofotometrik yöntem	√	√	√
Toplam Azot (mg/L)	Spektrofotometrik yöntem	√	√	√
Toplam Sertlik(mg/L)	Spektrofotometrik yöntem	√	√	√
Fenol (mg/L)	Spektrofotometrik yöntem	√		√
Toksisite	ISO 11348-3	√	√	√

Tekstil atıksuları için uygulanan tüm proseslerde, proses performansı; pH, iletkenlik, TÇK, TOK, renk, klorür ve sülfat olmak üzere toplam 7 su kalitesi parametresi üzerinden izlenmiştir.

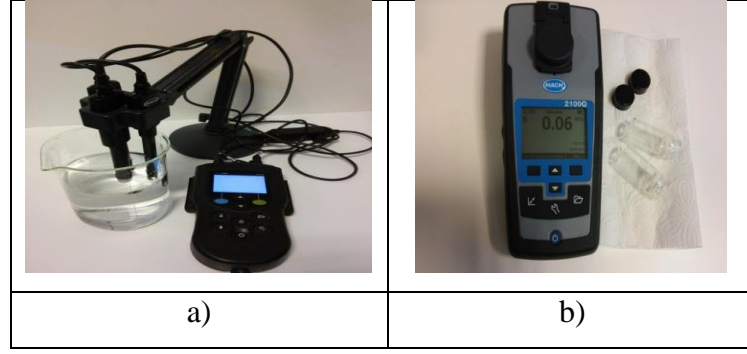
Ölçümlerdeki kalıntı  $H_2O_2$  kaynaklı KOİ girişimlerini tespit edilmesi amacıyla, Şekil 3.1' de verilen KOİ- $H_2O_2$  grafik verileri kullanılarak düzeltme deneyleri yapılmış ve elde edilen  $y = 0,4054x$  denkleminde ( $[KOİ] = 0.4054x[H_2O_2]$ ) tüm deneyler için KOİ değerleri düzeltilmiştir.



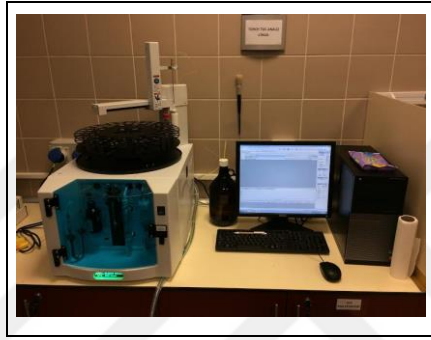
Şekil 3.1: KOİ- $H_2O_2$  İlişki Grafiği.

Sıcaklık, pH, iletkenlik, TÇK parametresi ve bulanıklık parametresi ölçümleri için kullanılan Hach marka multiparametre ve bulanıklık ölçüm cihazlarına ait fotoğraflar Şekil 3.2 a) ve Şekil 3.2 b)' de gösterilmiş olup Şekil 3.3' de TOK analiz cihazı gösterilmiştir. Ayrıca kullanılan ışık kaynaklarının şiddetlerini ölçmek için temin edilen UVC-254 ve UVA-365 light-meter ışık ölçer cihazlarının genel görünüşleri ise Şekil 3.4 a) ve Şekil 3.4 b)'de sunulmuştur.

Tezde önerilen yenilikçi İOP/MP endüstriyel atıksu arıtma sisteminin genel proses akış şeması Şekil 3.5'te, İOP/MP'nin 3 farklı seçeneğindeki yenilikçi seçeneklere ait proses akış şemaları Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.2: Çoklu Parametre Cihazı a)TDS, İletkenlik ve pH Ölçüm Cihazı, b)Bulanıklık Ölçüm Cihazı.



Şekil 3.3: TOK Analiz Cihazı.



Şekil 3.4: a) UVC 254 Işık Ölçer, b)UVA 365 Işık Ölçer.

### 3.3. Malzeme

Kararlı haldeki işletimli deneylerde, önerilen sistemlerin tamamında kullanılan 5 adet UF,  $NF_{\text{gevşek}}$ ,  $NF_{\text{sıkı}}$  ve TO membranlarının genel özellikleri Tablo 3.3'de verilmiştir. Kararlı haldeki İOP reaktöründe batık olarak çalışılan UF prosesine ait deneylerde UH050 ve UV150 membranları kullanılmıştır. Diğer membran prosesler

için ise;  $NF_{\text{gevşek}}$  membranları olarak NFG;  $NF_{\text{sıkı}}$  membranları olarak ESNA-1 ve TO membranları olarak da LFC-3, membranları kullanılmıştır.

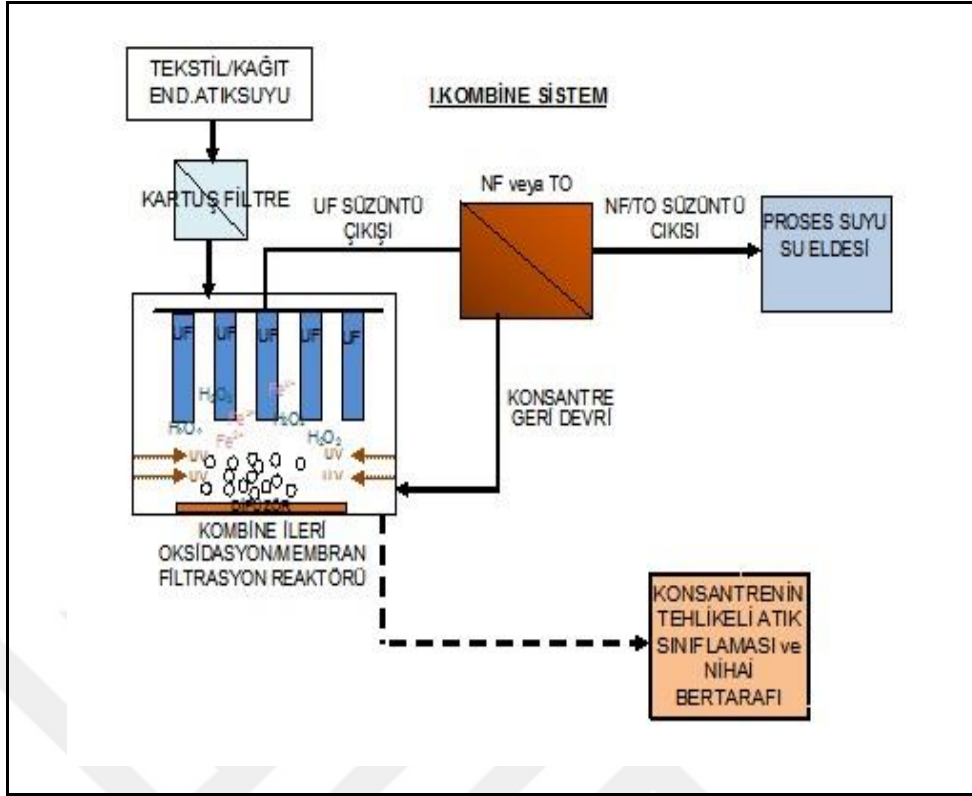


Tablo 3.3: Kararlı halde işletimli deneylerde kullanılan basınç sürücülü membranların (UF, NF<sub>gevşek</sub>, NF<sub>sıkı</sub>, TO) genel özellikleri.

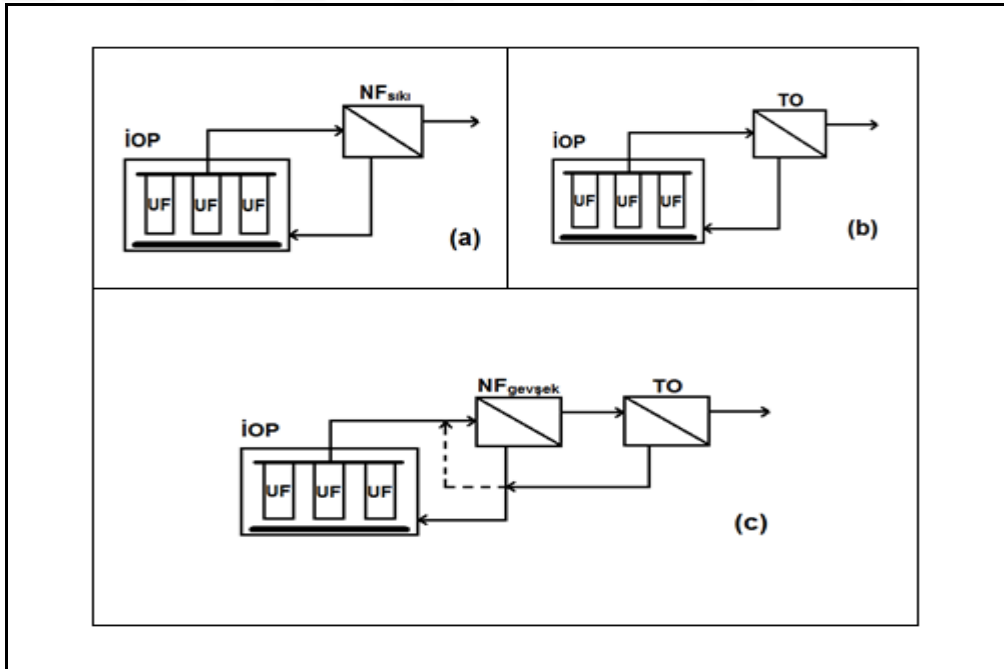
Proses	Membran Türü	Üretici Firma	Materyal	MWCO (Da)	pH	MgSO <sub>4</sub> (%)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (%)	NaCl (%)	Temiz Su Akısı (L/m <sup>2</sup> sa bar ) (25 C <sup>0</sup> )	Maksimum Basınç	Maksimum Sıcaklık	Kaynaklar
Fenton UF UVC UF	UH050	Microdyn ®Nadir	PES	50000	0-14	-	-	-	>250	-	95	www.microdyn-nadir.com
UVA UF	UV150	Microdyn ®Nadir	PVDF	150000	2-11	-	-	-	>200	-	95	www.microdyn-nadir.com
NF <sub>SIKI</sub>	ESNA-1	Hydranautics (Nitto Denko)	PA <sub>MPD</sub> TFC	250	3-10	89	-	86	4,38	41,6	45	Hesampoura vd.2010,Xu vd.2006,Cho vd.2002
NF <sub>GEVŞEK</sub>	NFG	Sterlitech Corporation	Polyamide-TFC	600-800	4-10	50	-	10	55-60	110 psi	-	www.sterlitech.com
TO	LFC-3	Hydranautics (Nitto Denko)	Kompozit poliamid	100-200	3-10 2-10	-	-	99,7 99,97	3,01	41,6	45	Bennani vd.2012

PES: Polietersülfon; PVDF: Polivinilidenflorür; TFC: İnce film kompozit; PA<sub>MPD</sub>: meta-fenilen daimin (MPD)-bazlı poliamid





Şekil 3.5: Yenilikçi İOP/MP entegre endüstriyel atıksu arıtma (su geri kazanma ve konsantre hacmi/yükü azaltma) sistemi genel proses akış şeması.

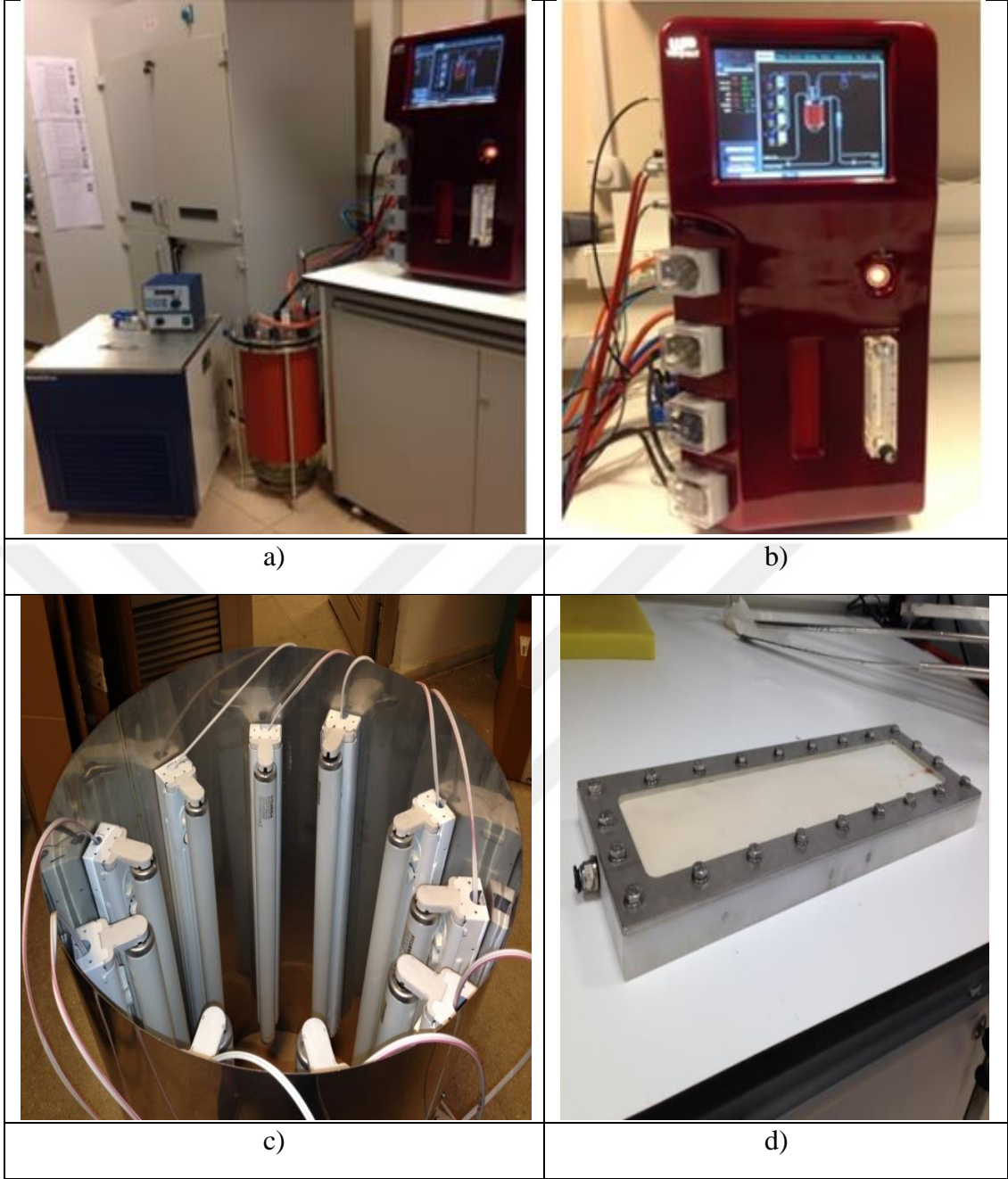


Şekil 3.6: Yenilikçi İOP/MP sistemi için 3 farklı işletim seçeneği.  
a)- {İOP/UF}/[NFsıkı], b)- {İOP/UF}/[TO] ve c) {İOP/UF}/[NFgevşek/TO]

## 3.4. Deneysel Çalışma Düzenekleri

### 3.4.1. İOP/Batık UF Hibrit Sistemi

Deneyler kararlı hale gelene kadar çalıştırılmıştır. Lab pilot ölçek yenilikçi İOP/batık UF hibrit sisteminin fotoğrafları ayrıntılarıyla Şekil 3.7'de gösterilmiştir. Yenilikçi İOP/batık UF hibrit sistem 20 L (azami 25 L) kapasiteli borosilikat camdan üretilmiş bir reaktör olup, reaktöre su banyosu bağlantısı bulunmaktadır. Reaktör ile birlikte kullanılan bütün metal parçalar paslanmaz çelikten imal edilmiştir. Foto-Fenton prosesi işletimleri için reaktör içeriden UVC-254 ve dışarıdan UVA-365 olmak üzere farklı ışık kaynakları ile donatılarak işletilebilmektedir. UVC-254 için reaktör, içerisine monte edilip sökülüp takılabilir kuvars cam korumalı 5 adet 40 Watt (toplam 200 Watt) lamba sistemi ile simetrik yerleşimde donatılmıştır. Her bir UVC lamba, harici bir enerji kaynağı kullanılarak ayrı ayrı devreye alınabilmektedir. UVA-365 için ise reaktöre dışarıdan monte edilen 10 adet 20 Watt (toplam 200 Watt) simetrik lamba sistemi sayesinde, aynı UVC-254'teki gibi, reaktörün işletimi harici bir güç kaynağı kullanılarak, sayısı ayarlanabilir lamba yakılması üzerinden foto-oksidasyonun istenilen ışık şiddetinde yerine getirilmesi sağlanmaktadır. Batık membran filtrasyon sistemi 298 cm<sup>2</sup> aktif membran alanına sahip bir batık membran modül içermektedir. Membran modül, 20 L'lik İOP reaktörü içerisinde tamamıyla suya batık olarak işletilebilir özelliktedir. Modül, Delrin® malzemenle imal edilmiş, batık İOP reaktör sisteminde yer alan reaktör haznesi içerisine monte edilip, sökülüp takılabilir ve yüzeyde hava sıyırma amacıyla istenen açıda eğilendirilebilir niteliktedir.



Şekil 3.7: Pilot ölçek İOP/Batık UF hibrit reaktörü a)UVC-254 lambalarla donatılmış genel görünüm, b)Sistem otomasyon ünitesi, c)UVA-365 lambalara ait dış reaktör donanımının genel görünümü, d)Batık UF membran modülünün yakın görünümü.

Membran modülden çıkan filtre edilmiş süzüntü akımı 5L'lik bir kaba alınarak, bir adet hassas terazi vasıtasıyla süzüntü suyunda ağırlık ölçümleri yapılmıştır. Kararlı haldeki batık membran filtrasyon sistemi, su akısının belirlenmesi amacıyla peristaltik pompa yardımı ile membrandan geçen su hacmini ölçen bir terazi ile işletilmekte; bilgisayar ve otomasyona bağlı yazılım üzerinden membranın su akısı izlenebilmekte, reaktöre hava besleme hızı ile reaktördeki atıksuyun pH'sı, sıcaklığı

ve çözünmüş oksijen değerleri ölçülerek kontrol edilebilmektedir. Tüm bu veriler anlık olarak izlenip kaydedilmektedir.

$$J = \left[ \frac{1}{A} * \frac{dV}{dt} \right] \quad (3.1)$$

Denklemden; J (L/m<sup>2</sup>·sa), membrandan geçen süzüntü suyu akışı; A (m<sup>2</sup>), etkili membran alanı; V (L), membrandan geçen suyun hacmi; ve t (sa), filtrasyon süresini ifade etmektedir.

$$R = 100 * \left[ \frac{C_k - C_s}{C_k} \right] \quad (3.2)$$

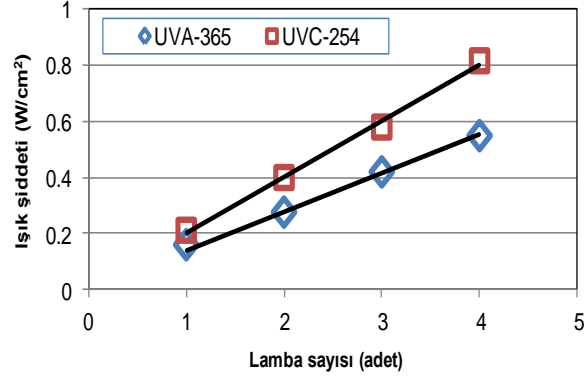
Denklemden, R (%) kirletici giderim verimini, C<sub>s</sub> süzüntü, C<sub>k</sub> ise konsantre akımlarındaki kirletici parametre ölçüm sonuçlarını ifade etmektedir.

### 3.4.2. Basınç Sürücülü Membran Filtrasyon Sistemi

Tekstil atıksuları ile yürütülen bu çalışmada, su geri kazanım etkinlikleri literatürden bilinen sırasıyla NF<sub>gevşek</sub>/NF<sub>sıkı</sub> ve UF/NF<sub>sıkı</sub>/TO bütünleşik membran sistemlerinin kararlı haldeki işletimleri, Şekil 3.8’de verilen yüksek basınçlı işleme sahip pilot ölçek çapraz akış membran filtrasyon sistemi kullanılarak yerine getirilmiştir. 12 L atıksu besleme hacmi kapasitesine sahip, yüksek basınç çapraz akış membran filtrasyon sisteminde %75-80’lere varan seviyelerde su geri kazanımlarında membran proses işletimleri sağlanabilmektedir. İOP/Batık UF hibrit reaktöründe lamba sayısına bağlı ışık şiddeti değişimleri ise Şekil 3.9’da verilmiştir.



Şekil 3.8: Basınç Sürücülü Membran Proses.



Şekil 3.9: İOP/Batık UF hibrit reaktöründe lamba sayısına bağlı ışık şiddeti değişimleri.

### 3.5. Lab Pilot Ölçekli Sistemlerin İşletim Esasları

#### 3.5.1. Lab Pilot Ölçek 'İOP/Batık UF Proses'inin İşletim Esasları

Uzun süreli lab-pilot ölçek İOP/batık UF hibrit reaktörü optimum işletme şartları Tablo 3.4'de tekstil endüstrisi için verilmiştir.

Tekstil atıksuyu ile gerçekleştirilen uzun süreli İOP/UF-MP deneyleri, hibrit İOP/UF reaktörde günde 2 arıtma işletimi uygulaması yapılarak; kararlı hal işletim performanslarının belirlenmesi amacıyla, her bir önerilen sistemde her bir ileri oksidasyon işlemi (Fenton, Fenton-UVA ve Fenton-UVC) için toplamda farklı sayıda işletim uygulamaları altında tamamlanmıştır. Tekstil atıksuları için lab pilot ölçekli ardışık sürekli denemelerde her işletim başına ilave edilen kimyasalar (hidrojen peroksit ve demir) ve atıksu miktarları ile toplam işletim sayıları, Fenton, Foto-Fenton (UVA-365) ve Foto-Fenton (UVC-254) proseslerini içerir haliyle;  $NF_{sıki}$ , TO ve  $NF_{gevşek}/TO$  prosesleri için sırasıyla Tablo 3.5-3.7'de, verilmiştir. Deneyler, her bir kararlı akım işletim döngüsünde (reaktöre ham atıksuyla beraber sonraki adımdaki MP konsantresi beraberinde ilavesi döngüsü), hibrit İOP/UF reaktöründe kalan arıtılmış atıksu TOK değeri, 80-120 mg/L aralığına düşürülene kadar sürdürülmüştür.

İOP/batık UF sonrası MP bütününde, batık UF çıkış suyunda yaklaşık ortalama 100 mg/L TOK çıkış seviyesinin sağlandığı nokta, ardışık işletim için MP konsantresinin İOP reaktöre geri devrettirildiği döngü noktasını oluşturmuştur. İOP reaktöründeki atıksu kalitesinin membran çıkış suyu kalitesini organik ve inorganik

kalite yönünden bozmayacağı haliyle her sistemin İOP reaktörü içinde UF akısının ve TOK çıkış değerinin ve sonrasında da nihai çıkış suyunda hedeflenen TOK ve TÇK değerleriyle  $7\pm 0,2$  ve  $\text{pH} < 1,0$  mg/L toplam demir konsantrasyonu değerleri için giderim veriminin kararlı hale ulaştığı toplam tur (konsantre geri devri) sayısı esas alınarak; saha ölçek işletim için uygulamada gereken kararlı hal son tur işletim sayılarındaki performanslar belirlenmiştir. Tekstil endüstrisi atıksuyu ile yürütülen {İOP/UF}/[MP] sistemleri deneyleri 4 ardışık tur işletiminde tamamlanmıştır. Uzun süreli arıtmalarda uygulanan konsantre geri devri veya tur sayısı ve toplam ardışık işletim sayısı, Tablo 3.8’de, her önerilen yenilikçi sistem için ayrı ayrı sunulmuştur.

Tablo 3.4: Pilot ölçek İOP/batık UF hibrit reaktörleri optimum işletme şartları.

Parametre	Açıklaması	Birim	Fenton Prosesi	Foto-Fenton Prosesi (UVA)	Foto-Fenton Prosesi (UVC)
			Tekstil endüstrisi	Tekstil endüstrisi	Tekstil endüstrisi
$t$	zaman	dk	60,0	60,0	41,0
$T$	sıcaklık	$^{\circ}\text{C}$	26,5	40,0	40,0
pH	pH	-	3,73	4,0	4,44
$\text{H}_2\text{O}_2/\text{TOK}$	$\text{H}_2\text{O}_2/\text{TOK}$ oranı	g/g	6,0	7,75	9,88
$\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$	$\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$ oranı	g/g	15,0	10,75	7,27
$\nu\text{H}$	İOP reaktörü havalandırma hızı	L/dk	5,0	2,8	8,0
$\nu\text{SÇ}$	UF membranda su çekim hızı	rpm	80	71,1	64,7
$I_{\text{ş}}$	Işık şiddeti	adet	-	3 lamba	2 lamba
$I_{\text{T}}$	Işık türü	-	-	UVA-365	UVC-254
-	Membran türü	-	UH050	UV150	UH050

Tablo 3.5: Tekstil endüstrisi atıksularının  $\{\text{İOP/UF}\}/[\text{NF}_{\text{sıkı}}]$  sisteminde değişen ileri oksidasyon prosesleriyle uzun süreli arıtım, su geri kazanım ve konsantrte bertarafı lab pilot ölçek deneylerinin ardışık işletme şartları.

	<i>İşletme Zamanı (gün)</i>	<i>1. Gün</i>		<i>2. Gün</i>		<i>3. Gün</i>		<i>4. Gün</i>		<i>5. Gün</i>		<i>6. Gün</i>		<i>7. Gün</i>		<i>8. Gün</i>		<i>Toplam</i>
	<i>Arıtma İşletimi Sayısı</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>	<i>15</i>	<i>16</i>	<i>16</i>
Fenton	Reaktöre ham atıksu İlavesi (L)	20	5	5	5	5	5	3	5	5	5	3	5	5	5	3	5	89
	Reaktörden çekilen su hacmi (L)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	80
	NF <sub>sıkı</sub> 'dan konsantrte geri devri (L)	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0	2	0	6
	Reaktöre ilave edilen Fe <sup>+2</sup> miktarı (gr)	9,8	9,0	5,9	4,8	6,8	6,7	6,8	7,2	7,5	6,8	7,2	8,0	8,1	8,7	8,7	7,5	119,3
	Reaktöre ilave edilen H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> miktarı (mL)	74,3	68,2	45,0	36,6	51,8	51,2	52,2	54,5	57,0	51,6	54,9	60,9	61,6	66,0	58,7	56,8	901,3
Foto-Fenton (UVA)	<i>İşletme Zamanı (gün)</i>	<i>1. Gün</i>		<i>2. Gün</i>		<i>3. Gün</i>		<i>4. Gün</i>		<i>5. Gün</i>		<i>6. Gün</i>		<i>7. Gün</i>		<i>8. Gün</i>		<i>Toplam</i>
	<i>Arıtma İşletimi Sayısı</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	-	-	-	-	<i>12</i>
	Reaktöre ham atıksu İlavesi (L)	20	5	5	5	3	5	3	5	3	5	5	5	-	-	-	-	69
	Reaktörden çekilen su hacmi (L)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	-	-	-	-	60
	NF <sub>sıkı</sub> 'dan konsantrte geri devri (L)	0	0	0	0	2	0	2	0	2	0	0	0	-	-	-	-	6
	Reaktöre ilave edilen Fe <sup>+2</sup> miktarı (gr)	18,1	13,1	14,9	14,2	12,8	16,2	14,6	13,9	13,9	12,9	12,1	12,2	-	-	-	-	168,9
Reaktöre ilave edilen H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> miktarı (mL)	98,9	71,4	81,4	77,6	69,6	88,7	79,6	75,7	76,0	70,4	66,2	66,7	-	-	-	-	922,3	
Foto-Fenton (UVC)	<i>İşletme Zamanı (gün)</i>	<i>1. Gün</i>		<i>2. Gün</i>		<i>3. Gün</i>		<i>4. Gün</i>		<i>5. Gün</i>		<i>6. Gün</i>		<i>7. Gün</i>		<i>8. Gün</i>		<i>Toplam</i>
	<i>Arıtma İşletimi Sayısı</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	-	-	-	-	-	-	<i>10</i>
	Reaktöre ham atıksu İlavesi (L)	20	5	3	5	5	5	3	5	3	5	-	-	-	-	-	-	59
	Reaktörden çekilen su hacmi (L)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	-	-	-	-	-	-	50
	NF <sub>sıkı</sub> 'dan konsantrte geri devri (L)	0	0	2	0	0	0	2	0	2	0	-	-	-	-	-	-	6
	Reaktöre ilave edilen Fe <sup>+2</sup> miktarı (gr)	32,8	23,3	24,2	27,3	25,3	29,3	30,6	31,1	17,3	31,1	-	-	-	-	-	-	272,3
Reaktöre ilave edilen H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> miktarı (mL)	121,1	86,1	89,3	100,8	93,3	108,3	112,8	114,8	63,6	114,2	-	-	-	-	-	-	1004,4	

Tablo 3.6: Tekstil endüstrisi atıksularının {İOP/UF}/[TO] sisteminde değişen ileri oksidasyon prosesleriyle uzun süreli arıtım, su geri kazanım ve konsantrite arıtımı pilot ölçek deneylerinin ardışık işletme şartları.

	<i>İşletme Zamanı (gün)</i>		<i>1. Gün</i>		<i>2. Gün</i>		<i>3. Gün</i>		<i>4. Gün</i>		<i>5. Gün</i>		<i>6. Gün</i>		<i>7. Gün</i>		<i>Toplam</i>
	<i>Arıtma İşletimi Sayısı</i>		<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>	<i>14</i>
Fenton	Reaktöre ham atıksu İlavesi (L)		20	5	5	5	5	5	5	5	3	5	3	5	3	5	79
	Reaktörden çekilen su hacmi (L)		5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	70
	NF <sub>sıkı</sub> 'dan konsantrite geri devri (L)		0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	0	2	0	6
	Reaktöre ilave edilen Fe <sup>+2</sup> miktarı (gr)		8,9	5,8	5,4	5,5	5,6	5,1	4,8	5,9	6,0	4,6	7,7	7,8	8,9	9,1	91,0
	Reaktöre ilave edilen H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> miktarı (mL)		68,1	44,5	41,4	41,5	42,6	38,5	36,2	44,8	45,9	34,6	58,6	59,5	67,8	69,2	693,3
Foto-Fenton (UVA)	<i>İşletme Zamanı (gün)</i>		<i>1. Gün</i>		<i>2. Gün</i>		<i>3. Gün</i>		<i>4. Gün</i>		<i>5. Gün</i>		<i>6. Gün</i>		<i>7. Gün</i>		<i>Toplam</i>
	<i>Arıtma İşletimi Sayısı</i>		<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	-	-	-	-	<i>10</i>
	Reaktöre ham atıksu İlavesi (L)		20	5	5	5	3	5	3	5	3	5	-	-	-	-	59
	Reaktörden çekilen su hacmi (L)		5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	-	-	-	-	50
	NF <sub>sıkı</sub> 'dan konsantrite geri devri (L)		0	0	0	0	2	0	2	0	2	0	-	-	-	-	6
	Reaktöre ilave edilen Fe <sup>+2</sup> miktarı (gr)		18,4	13,3	23,9	14,7	14,4	16,2	15,7	13,8	15,8	16,4	-	-	-	-	162,6
Reaktöre ilave edilen H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> miktarı (mL)		100,3	72,4	75,8	80,1	78,6	88,7	85,8	75,5	86,5	89,5	-	-	-	-	833,4	
Foto-Fenton (UVC)	<i>İşletme Zamanı (gün)</i>		<i>1. Gün</i>		<i>2. Gün</i>		<i>3. Gün</i>		<i>4. Gün</i>		<i>5. Gün</i>		<i>6. Gün</i>		<i>7. Gün</i>		<i>Toplam</i>
	<i>Arıtma İşletimi Sayısı</i>		<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	-	-	-	-	<i>10</i>
	Reaktöre ham atıksu İlavesi (L)		20	5	5	5	3	5	3	5	3	5	-	-	-	-	59
	Reaktörden çekilen su hacmi (L)		5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	-	-	-	-	50
	NF <sub>sıkı</sub> 'dan konsantrite geri devri (L)		0	0	0	0	2	0	2	0	2	0	-	-	-	-	6
	Reaktöre ilave edilen Fe <sup>+2</sup> miktarı (gr)		36,5	21,2	17,7	21,5	22,7	23,6	17,5	24,6	22,4	25,8	-	-	-	-	233,6
Reaktöre ilave edilen H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> miktarı (mL)		134,8	78,4	65,4	79,5	84,0	87,0	64,8	91,0	82,7	95,2	-	-	-	-	862,8	



Tablo 3.7: Tekstil endüstrisi atıksularının {İOP/UF}/[NF<sub>gevşek</sub>/TO] sisteminde değişen ileri oksidasyon prosesleriyle uzun süreli arıtım, su geri kazanım ve konsantrite arıtımı pilot ölçek deneylerinin ardışık işletme şartları.

	<i>İşletme Zamanı (gün)</i>		<i>1. Gün</i>		<i>2. Gün</i>		<i>3. Gün</i>		<i>4. Gün</i>		<i>5. Gün</i>		<i>Toplam</i>
	<i>Arıtma İşletimi Sayısı</i>		<i>1</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>10</i>
Fenton	Reaktöre ham atıksu ilavesi (L)		20	5	5	5	3	5	3	5	3	5	59
	Reaktörden çekilen su hacmi (L)		5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	50
	NF <sub>gevşek</sub> -TO 'dan konsantrite geridevri (L)		0	0	0	0	2	0	2	0	2	0	6
	Reaktöre ilave edilen Fe <sup>+2</sup> miktarı (gr)		14,0	8,1	6,3	6,1	7,6	8,6	6,7	7,5	11,2	11,7	87,7
	Reaktöre ilave edilen H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> miktarı (mL)		107,0	61,7	48,2	46,3	57,8	65,6	50,7	56,9	85,3	89,0	668,5
Foto-Fenton (UVA)	<i>İşletme Zamanı (gün)</i>		<i>1. Gün</i>		<i>2. Gün</i>		<i>3. Gün</i>		<i>4. Gün</i>		<i>5. Gün</i>		<i>Toplam</i>
	<i>Arıtma İşletimi Sayısı</i>		<i>1</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>10</i>
	Reaktöre ham atıksu ilavesi (L)		20	5	5	5	3	5	3	5	3	5	59
	Reaktörden çekilen su hacmi (L)		5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	50
	NF <sub>gevşek</sub> -TO 'dan konsantrite geri devri (L)		0	0	0	0	2	0	2	0	2	0	6
	Reaktöre ilave edilen Fe <sup>+2</sup> miktarı (gr)		27,1	16,1	17,0	12,5	15,0	14,7	16,5	18,6	16,3	17,1	170,8
Reaktöre ilave edilen H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> miktarı (mL)		147,9	87,7	92,6	68,5	81,9	80,0	90,1	101,4	89,0	93,4	932,6	
Foto-Fenton (UVC)	<i>İşletme Zamanı (gün)</i>		<i>1. Gün</i>		<i>2. Gün</i>		<i>3. Gün</i>		<i>4. Gün</i>		<i>5. Gün</i>		<i>Toplam</i>
	<i>Arıtma İşletimi Sayısı</i>		<i>1</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>10</i>
	Reaktöre ham atıksu ilavesi (L)		20	5	5	5	3	5	3	5	3	5	59
	Reaktörden çekilen su hacmi (L)		5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	50
	NF <sub>gevşek</sub> -TO 'dan konsantrite geri devri (L)		0	0	0	0	2	0	2	0	2	0	6
	Reaktöre ilave edilen Fe <sup>+2</sup> miktarı (gr)		51,3	38,0	29,0	34,8	29,7	32,8	35,2	37,3	35,2	31,9	355,2
Reaktöre ilave edilen H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> miktarı (mL)		189,3	140,4	107,2	128,5	109,7	121,2	130,0	137,8	129,8	117,7	1311,7	

Tablo 3.8: Tekstil endüstrisi atıksularının uzun süreli arıtımlarındaki tur (konsantrere geri devri) ve toplam ardışık işletim sayıları.

Atıksu Kaynağı	Uygulanan İOP/UF prosesi	Uygulanan membran prosesi	<u>1. Tur</u>	<u>2. Tur</u>	<u>3. Tur</u>	<u>4. Tur</u>	Toplam işletim sayısı
Tekstil	Fenton/UF	NF <sub>sıkı</sub>	6	4	4	<u>2</u>	16
	UVA-Fenton/UF		4	2	2	<u>4</u>	12
	UVC-Fenton/UF		4	2	2	<u>2</u>	10
	Fenton/UF	TO	8	2	2	<u>2</u>	14
	UVA-Fenton/UF		4	2	2	<u>2</u>	10
	UVC-Fenton/UF		4	2	2	<u>2</u>	10
	Fenton/UF	NF <sub>gevşek</sub> /TO	4	2	2	<u>2</u>	10
	UVA-Fenton/UF		4	2	2	<u>2</u>	10
	UVC-Fenton/UF		4	2	2	<u>2</u>	10

### 3.5.2. Lab Pilot Ölçek “Basınç Sürücülü Membran Proses” Sistemleri’nin(UF, NF<sub>gevşek</sub>, NF<sub>sıkı</sub>, TO) İşletim Şartları

İOP/batık UF hibrit prosesi sonrası membran proseslerin de hibrit reaktör ile ardışık sürekli kararlı hal işletim performanslarının belirlenmesi çalışmaları yürütülmüştür. Buna göre, hibrit reaktör UF çıkış suyu tekstil için NF<sub>sıkı</sub>, TO ve NF<sub>gevşek</sub>/TO işlemlerine tabi tutularak; İOP reaktörde UF süzüntü akışı ve toplam kirletici giderim verimleri üzerinden sonraki adımda yer alan MP’lerin her bir

prosesi için, değişen ardışık sürekli işletim şartları altında değişmeyen seviyelerdeki süreklilik sağlanmış işletme performansları, ayrı ayrı tespit edilmiştir. Bu itibarla, çalışılan tüm sistemlerdeki sonraki adım MP'lerin İOP/UF hibrit reaktörle, tekstil atıksularında 3'er kez ardışık sürekli işletiminin yerine getirilmesinin, sistem bütünündeki proseslerin ardışık kararlı hal işletimleri için yeterli olduğu belirlenmiş ve uygulanmıştır. Bu sayede, bir yandan hibrit reaktörde ham atıksuyla konsantrenin beraberce arıtılmasının etkisi altında dahi kararlı işletim reaktör içi su kalitesi değerlerine ulaşarak; sonrasında ardışık kararlı işletilen MP performanslarına dayalı hedeflenen nihai çıkış suyu kalitelerinin sürekli olarak sağlandığı işletme şartlarında deneyler tamamlanmıştır.

MP'lerde organik madde giderim veriminin yaklaşık %90 ya da üzeri seviyelerde olacağı bilgisi üzerinden (daha önceki işletimlerde belirlenen değerlerden hareketle) basınç sürücülü proseslerin işletiminde %80 su geri kazanım oranı işletim şartları altında, besleme akımının konsantre olmasına bağlı kirletici giderme verimi performansları da ayrıca dikkate alınmak suretiyle; membran filtrasyon sonunda elde edilen çıkış suyunun örnek endüstride yeniden kullanım için istenen su kalite değerlerine ulaştırılması amacıyla ulaşılma düzeninde işletimler gerçekleştirilmiştir. İşletimler, hibrit İOP/UF proses deneylerinde reaktörün içine ilave edilen hidrojen peroksitin reaktör içerisinde bütünüyle tüketiminin sağlandığı optimum sürelerde devam ettirilmiş olup, her işletim sonunda reaktörden batık UF filtrasyonu yapılarak, 5L UF süzüntü suyu alınmıştır. Buradan alınan süzüntü suyu, tekstilde  $NF_{sıkı}$ , TO ve  $NF_{gevşek}/TO$ , filtrasyonuna tabi tutularak, uzun süreli bütünlük sistemlerin ardışık sürekli işletimi sağlanmıştır.

Basınç ve sıcaklık sürücülü membran proseslerin bundan önce yapılan çalışmalardaki kesikli işletimlerine dayalı olarak sürekli işletimlerinde uygulanan proses işletme şartları tekstil atıksuyu için Tablo 3.9'da verilmiştir.

Tablo 3.9: Basınç ve sıcaklık sürücülü membran proseslerin işletim şartları.

Önerilen Sistem	Proses	Tekstil Atıksuyu			
		$M_T$	$v (L/sa)$	$T(^{\circ}C)$	$\Delta P (bar)$
Sistem 1	NF <sub>Sıkı</sub>	ESNA-1	10	26,5 (Fenton'da)	20
Sistem 2	TO	LFC-3		40,0 (UVA-Fenton'da)	40
Sistem 3	NF <sub>Gevşek</sub>	NFG		40,0 (UVC-Fenton'da)	12
	TO	LFC-3			40

### 3.6. Konsantre Yönetimi

Bu tez kapsamında; bütünleşik İOP/MP sisteminde konsantre atık yönetimindeki test ve analizler TÜBİTAK MAM Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü Laboratuvarları'ndan hizmet alımı vasıtasıyla gerçekleştirilmiş olup; numunelere uygulanan testler ve analiz yöntemleri Tablo 3.10'daki gibidir.

Tablo 3.10: Bütünleşik İOP/MP kombinasyonlarında üretilen konsantre atıklardaki testler ve analiz yöntemleri.

<u>Test Adı</u>	<u>Ölçüm Yöntemleri</u>
pH değeri (sulu çözelti)	TS ISO 10390
Görünüm/Koku	-
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	SM 5520 B
Klorür (mg/L)	SM 4410 B
Yağ ve Gres Tayini (mg/kg)	ASTM D 7066-04 E
Toplam Organik Karbon (TOK)(mg/l)	SM 5310 B
Parlama Tayini Noktası	ASTM D93
Ağır Metal Taraması	EPA 6020A
Eko-Toksisite Testi	EPA 6020A
Akut Toksisite Testi (balıklarda)	92/69/EEC

Tekstil atıksuyu için sürekli işletimli deneyler sonucunda oluşan nihai konsantrelerin değerlendirmeleri için numuneler TÜBİTAK'a ayrıca gönderilmiş olup, analiz ve değerlendirme sonuçları araştırma bulguları ve tartışma bölümünde sırasıyla Tablo 4.7, Tablo 4.8, Tablo 4.9'da "Yenilikçi Sistemlerin Nihai Konsantr Atık Analizleri Raporu"nda sunulmuştur. Bu tablo için planlanmış kodlar, Gebze (G: Tekstil atıksuyu konsantresi) olduğu şekliyle; ilk sıradaki rakamlar 1, 2, 3, sırasıyla Fenton, Foto-Fenton (UVA) ve Foto-Fenton (UVC) arıtımını, ikinci sıradaki rakamlar 1, 2, 3 ve 4 ise sırasıyla tekstile ait  $[NF_{sıkı}]$ ,  $[TO]$ ,  $[NF_{gevşek}/TO]$  olmak üzere önerilen sistemlerdeki MP uygulama adımlarını göstermektedir. Tablo 4.7 analizi yapılmış konsantreler, Fenton destekli için G1-1, G1-2; Foto-Fenton (UVA) destekli için G2-1, G2-2; Foto-Fenton (UVC) destekli için ise G3-1, G3-2; kodları ile tanımlanmıştır. Tekstil atıksuyunda  $[NF_{sıkı}]$  ve  $[TO]$ 'lu sistemlerde sırasıyla 3 ve 3 olmak üzere analiz edilen ve raporlanan konsantr atık sayısı 6'dır.

## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

### 4.1. Tekstil Atıksularının Arıtımı

Bu tezde önerilen yenilikçi  $\{\dot{I}OP/UF\}/[NF_{sıkl}]$ ,  $\{\dot{I}OP/UF\}/[TO]$  ve  $\{\dot{I}OP/UF\}/[NF_{gevşek}/TO]$  entegre sistemleri ile kararlı haldeki işletim şartlarında tekstil atıksuları için deneyler ayrı ayrı yürütülmüş ve sonuçlar aşağıda verilmiştir.

#### 4.1.1. İleri Oksidasyon Ultrafiltrasyon Destekli Batık UF ve NF<sub>sıkl</sub> Sistemi ( $\{\dot{I}OP/UF\}/[NF_{sıkl}]$ )

##### •Fenton Destekli $[NF_{sıkl}]$ Sistemi ( $\{Fenton/UF\}/[NF_{sıkl}]$ )

Bundan önceki çalışmalardan elde edilen veriler ışığında belirlenen optimum işletme şartlarında reaktöre ham tekstil suyu ile birlikte demir ve hidrojen peroksit ( $H_2O_2/TOK$  (g/g)= 6,  $H_2O_2/Fe^{2+}$  (g/g)= 15 oranları doğrultusunda) ilave edilerek kararlı haldeki işletimleri yerine getirilmiştir. Atıksuyun yapılan karakterizasyon çalışmalarında, TOK değeri 258 mg/L olarak belirlenmiş ve bu doğrultuda Fenton prosesinin gerçekleşmesi için gerekli olan demir ve hidrojen peroksit Tablo 3.5’de verilen miktarlarda reaktöre eklenmiştir. Ayrıca, literatürden de bilindiği üzere, demir çökmesini önlemek için asidik şartlarda gerçekleşen Fenton prosesi için uzun süreli deneyler başlamadan önce reaktöre  $H_2SO_4$  ilave edilerek pH ayarlaması yapılmıştır.

8 gün süreyle günde 2 işletim üzerinden gerçekleştirilen  $\{Fenton/UF\}/[NF_{sıkl}]$  deneylerinin her işletiminde reaktör hacmi 20 L’ye tamamlanarak reaktördeki atıksuyun yeni TOK değerleri üzerinden kimyasal ilaveleri yapılmıştır.

Her işletimde 5 L UF çıkış suyu alınmak üzere birinci, ikinci, üçüncü, beşinci ve yedinci günlerde çekilen UF çıkış suları yerine reaktör girişine 5 L ham atıksu ilave edilmiş olup dördüncü, altıncı ve sekizinci günlerin birinci işletimlerinde 5 L UF çıkış suyu yerine, NF filtrasyonu sonrasında oluşan 2 L konsantre ve 3 L ham atıksu karıştırılarak  $\dot{I}OP/UF$  reaktörüne ilave edilmiştir. %80 su geri kazanımı ile endüstriyel su geri kazanımının hedeflendiği işletimde her  $NF_{sıkl}$  filtrasyonu 2 işletim günü sürdürülmüştür.

Sekizinci gün sonunda  $\dot{I}OP/UF$  reaktöründe kalan tekstil atıksuyu konsantresi TÜBİTAK MAM’a gönderilerek kalan konsantrenin nihai analizleri yaptırılmıştır.

Fenton/batık UF hibrit sistemi çıkış suyunun  $NF_{sıkı}$  filtrasyon deneyleri değişen işletim şartları altında değişmeyen seviyelerdeki kararlılık sağlanmış işletme performansları ile süzüntü akı değerleri kararlı hale gelene kadar tekrarlanmıştır.

Fenton destekli İOP/batık UF ve sonrası  $NF_{sıkı}$  bütünleşik membran sisteminde pH, Renk, TÇK,  $E_i$ , TOK, KOİ değişimleri ham atıksu, Fenton, Fenton/batık UF ve  $NF_{sıkı}$  çıkış suları için Tablo 4.1’de verilmiştir.

{Fenton/UF}/[ $NF_{sıkı}$ ] için 8 günlük, {UVA-Fenton/UF}/[ $NF_{sıkı}$ ] için 6 günlük, {UVC-Fenton/UF}/[ $NF_{sıkı}$ ] için 5 günlük deney süresince her işletim sonundaki toplam demir konsantrasyonları, organik madde giderim performansı ve akı değişimleri de {Fenton/UF}/[ $NF_{sıkı}$ ], {UVA-Fenton/UF}/[ $NF_{sıkı}$ ], {UVC-Fenton/UF}/[ $NF_{sıkı}$ ] için ham atıksu, Fenton, Fenton/batık UF ve  $NF_{sıkı}$  çıkış suları için Şekil 4.1’deki gibidir. Batık UF ve  $NF_{sıkı}$  membran filtrasyon kararlı hal akıları UF için 16 işletim,  $NF_{sıkı}$  için 3 işletim üzerinden elde edilmiş ve Şekil 4.1’de gösterilmiştir. pH parametresi ilk günlerde salınım göstermesine rağmen deneyin devamında kararlı hale ulaşarak Fenton/batık UF reaktöründe 2,55 seviyelerinde kalmış,  $NF_{sıkı}$  filtrasyon çıkışında ise 5,87’ye kadar yükselmiştir. Renk, her işletim başlangıcında TOK parametresine bağlı olarak reaktöre ilave edilen demir kaynaklı olup, sürekli artış eğilimi ile ham atıksuda 0,219 A seviyelerine kadar çıkmıştır. Hibrit işletimdeki İOP/UF ortak arıtımı ile bu değer 0,038 A değerine, daha sonra uygulanan  $NF_{sıkı}$  filtrasyonu ile 0,001 A değerlerine kadar düştüğü görülmektedir. Ham atıksuda, Fenton ve Fenton/batık UF prosesleri sonrasında TÇK ve  $E_i$  değerleri benzer değişimler göstererek Fenton ve Fenton/batık UF sonrasında TÇK ve  $E_i$  değerleri ham atıksuya göre daha yüksek değerler almıştır. Ancak uygulanan  $NF_{sıkı}$  filtrasyonu ile TÇK ve  $E_i$  değerleri sırasıyla 16,71 mg/L ve 37,6  $\mu$ S/cm’lere kadar düşmüştür.

Atıksudaki organik madde giderimi ile suyun yeniden kullanılabilirliğinin hedeflendiği bu tezde; {Fenton/UF} prosesi ile {Fenton/UF}/[ $NF_{sıkı}$ ] bütünleşik sisteminin performansları karşılaştırıldığında, Fenton/batık UF prosesi ile çıkış suyunda TOK ve KOİ değerleri sırasıyla 81 mg/L ve 186 mg/L değerlerini alırken, {Fenton/UF}/[ $NF_{sıkı}$ ] sisteminde bu değerler 13 mg/L ve 28 mg/L değerlerine kadar düşmüştür. Şekil 4.1’e bakıldığında, toplam Fe konsantrasyonu, Fenton oksidasyonu ile İOP/batık UF reaktörde 277 mg/L değerinde olup, batık UF proseste %60-65,  $NF_{sıkı}$  prosesinde ise %98 seviyelerinde giderimi sağlanarak toplam demir konsantrasyonunun 0,18 mg/L seviyesine düştüğü görülmüştür.

Şekil 4.1’de görüldüğü üzere, reaktör girişine ham tekstil suyu ile birlikte  $NF_{sıkı}$  konsantresi de ilave edilmiş olmasına rağmen, ilk iki gün haricindeki İOP/batık UF reaktörü işletimlerinde reaktör çıkışı itibariyle %60’ın üzerinde TOK, %63’ün üzerinde KOİ ve ayrıca  $NF_{sıkı}$  filtrasyonunda kararlı organik madde giderimi ile %94’ün üzerinde KOİ ve %92’nin üzerinde TOK giderimleri elde edildiği görülmektedir. 5,87 seviyelerinde olan nihai çıkış suyu pH’ı literatürde verildiği şekliyle, pH 6-8 arasında bir değere getirildikten sonra elde edilen çıkış suyunun yeniden kullanılabilir su kalitesinde olabileceği görülmüştür. Şekil 4.1’de ise membran süzüntü akılarının kullanılan UF membran (UH050) için artarak 958,87  $L/m^2$  sa seviyelerinde değerler aldığı,  $NF_{sıkı}$  (ESNA-1) membran akısının ise 23,57  $L/m^2$  sa değerinde kararlı hale ulaştığı söylenebilir.

•UVA Foto-Fenton Destekli [ $NF_{sıkı}$ ] sistemi ({UVA-Fenton/UF}/[ $NF_{sıkı}$ ])

Tekstil atıksuyu ile optimum işletme şartlarında yürütülen deneylerde Foto-Fenton destekli UVA/batık UF reaktörüne,  $H_2O_2$ /TOK (g/g) oranı 7,75 ve  $H_2O_2/Fe^{2+}$  (g/g) oranı 10,75 olacak şekilde Tablo 3.5’de verilen miktarlarda demir ve hidrojen peroksit ilaveleri yapılmıştır. {UVA-Fenton/UF}/[ $NF_{sıkı}$ ] deneyleri öncesinde atıksuyun, TOK ve KOİ analizleri sonucunda bu değerler sırasıyla 258 mg/L ve 784 mg/L olarak bulunmuştur. Bu değerler doğrultusunda reaktöre demir ve hidrojen peroksit ilaveleri gerçekleştirildikten sonra reaktördeki atıksuda pH ayarlaması yapılmıştır. 6 gün süreyle günde 2 işletim üzerinden gerçekleştirilen deneylerin her işletiminde reaktördeki atıksuyun TOK değeri ölçülmüş ve buna göre gerekli kimyasal ilaveleri yapılmıştır. Her işletim sonunda 5 L UF çıkış suyu alınmak üzere birinci, ikinci ve altıncı günlerde günde iki işletim olmak üzere çekilen UF çıkış suları yerine reaktöre 5 L ham atıksu ilave edilmiştir. Her biri 2’şer gün süren ve deneylerin üçüncü, dördüncü ve beşinci günlerinde tamamlanan  $NF_{sıkı}$  filtrasyon deneyleri sonrasında oluşan 2 L NF konsantreleri ise aynı günlerin birinci işletimlerinde 3 L ham su ile karıştırılarak 20 L kapasiteli pilot reaktöre ilavesi sağlanmıştır.  $NF_{sıkı}$  filtrasyon deneyleri, %80 su geri kazanımında yürütülerek, süzüntü akısı değerlerinin kararlı hale geldiği üçüncü tekrarda tamamlanmıştır.

Konsantre yönetimini de içerisine alan, altı gün boyunca işletilen İOP/UF reaktöründe kalan tekstil atıksuyu konsantresi TÜBİTAK MAM’a gönderilerek konsantrenin nihai analizleri yaptırılmıştır.



UVA Foto-Fenton destekli {UVA-Fenton/UF}/[NF<sub>sıkı</sub>] bütünleşik ileri oksidasyon/membran sisteminde pH, Renk, TÇK, E<sub>i</sub>, TOK, KOİ değişimleri ham atıksu, UVA-Fenton, UVA-Fenton/batık UF ve NF<sub>sıkı</sub> çıkış suları için Tablo 4.1’de verilmiştir.

6 günlük deney süresince her işletim sonundaki toplam demir konsantrasyonu değişimleri Tablo 4.1’de gösterilmiştir. Şekil 4.1’de ise organik madde giderimi açısından {UVA-Fenton/UF} ve {UVA-Fenton/UF}/[NF<sub>sıkı</sub>] teknolojileri karşılaştırılmıştır. Batık UF ve NF<sub>sıkı</sub> membran filtrasyon kararlı hal süzüntü akıları ise UF için 12 ve NF<sub>sıkı</sub> için 3 işletim üzerinden elde edilmiş ve Şekil 4.1’de verilmiştir.

Bu çalışmada, pH parametresi UVA-Fenton ve UVA-Fenton/batık UF için de 2,22 seviyelerinde sabitlenmiştir. Renk parametresi, demir ilavesinden dolayı ham atıksuda ve UVA oksidasyonu sırasında sürekli artış eğilimi göstermesine rağmen UVA-Fenton/batık UF prosesinde özellikle dördüncü gün itibariyle 0,123-0,125 A arasında kararlı hale ulaşmıştır. NF<sub>sıkı</sub> çıkışında ise bu değer 0,002 A’lara düşmüştür. UVA-Fenton/batık UF hibrit prosesinde TÇK ve E<sub>i</sub> parametreleri benzer değişimler göstererek artmış ve TÇK 1546 mg/L, E<sub>i</sub> 3040 µS/cm seviyelerine çıkararak kararlı hale gelmiştir. NF<sub>sıkı</sub> çıkışında ise bu değerler 91,4 mg/L ve 178,8 µS/cm’ dir.

NF<sub>sıkı</sub> konsantresi olduğu zamanlarda işletim başında reaktöre ham tekstil suyu ile birlikte konsantre de ilave edilmiş olmasına rağmen, organik madde giderimi açısından TOK ve KOİ değişimleri benzerlikler göstermiş olup, İOP/batık UF adımı ile TOK giderimi yaklaşık %50, KOİ giderimi %60 seviyelerinde kararlı hale gelmiştir. NF<sub>sıkı</sub> çıkışında ise %96’nın üzerinde TOK ve %96’nın üzerinde KOİ giderimi ile değerler sırasıyla 6,7 mg/L ve 16 mg/L’lere kadar düşerek geri kazanım suyu kalitesinde çıkış suyu elde edilmiştir.

Uzun süreli işletim sırasında İOP/batık UF reaktöründe ve NF<sub>sıkı</sub> filtrasyonu sırasında kararlı bir organik madde giderimi ile hibrit sistem işletilebilmektedir. Demir konsantrasyonu her işletim başında ilave edilen demir(+2) iyonundan dolayı altı günlük deney süresince UVA-Fenton oksidasyonunda ve batık UF hibrit prosesinin çıkışında artış eğilimi gösterse de, NF<sub>sıkı</sub> prosesinde %100 oranında toplam demir giderimi söz konusudur. {UVA-Fenton/UF}/[NF<sub>sıkı</sub>] entegre membran sisteminde hem batık UF (UV150) hem de NF<sub>sıkı</sub> (ESNA-1) filtrasyon sırasında akı düşüş eğilimi göstermekte ve kararlı halde sırasıyla 388,24 L/m<sup>2</sup> sa ve 34,71 L/m<sup>2</sup> sa değerlerini almaktadır.

•UVC Foto-Fenton Destekli  $[NF_{sıkı}]$  sistemi ( $\{UVC-Fenton/UF\}/[NF_{sıkı}]$ )

$H_2O_2/TOK$  (g/g) oranı 9,88 ve  $H_2O_2/Fe^{2+}$  (g/g) oranı 7,27 olacak şekilde ilave edilen demir ve hidrojen peroksit miktarları Tablo 3.5’de verildiği gibidir. UVC-Fenton/batık UF deneyleri öncesinde atıksuyun, TOK değeri 258 mg/L bulunmuştur. UVC-Fenton/batık UF reaktöründe uzun süreli deneyler başlamadan önce pH ayarlaması yapılmıştır. 5 gün süreyle günde 2 işletim üzerinden gerçekleştirilen deneylerinin her işletiminde, 20 L’lik reaktördeki atıksuyun TOK değeri ölçülmüş ve buna göre kimyasal ilaveleri yapılmıştır. Her işletim sonunda 5 L UF çıkış suyu alınmak üzere, birinci ve üçüncü günlerde çekilen UF çıkış suları yerine reaktör girişine 5’er L ham atıksu ilave edilmiş, ikinci, dördüncü ve beşinci günlerde %80 su geri kazanımının hedeflendiği  $NF_{sıkı}$  filtrasyon deneyleri tamamlandığı için 5 L ham su yerine 2 L NF konsantresi 3 L ham su ile karıştırılarak reaktöre ilave edilmiştir. Beşinci gün sonunda reaktörde kalan tekstil atıksuyu konsantresi TÜBİTAK MAM’a gönderilerek konsantrenin nihai analizleri yaptırılmıştır. Ardışık şartlarda işletilen UF çıkış suyunun her bir  $NF_{sıkı}$  filtrasyonu 2’şer işletim günü sürmüş olup, filtrasyon akısı kararlı hale geldiği 3 işletimle tamamlanmıştır.

Tablo 4.1’de UVC Foto-Fenton destekli  $\{UVC-Fenton/UF\}/[NF_{sıkı}]$  bütünleşik membran sisteminde pH, Renk, TÇK, Ei, TOK, KOİ değişimleri ham atıksu, UVC-Fenton, UVC-Fenton/batık UF ve  $NF_{sıkı}$  çıkış suları için ayrı ayrı verilmiştir. 5 günlük deney süresince her işletim sonrasında proseslerdeki toplam demir konsantrasyonları Şekil 4.1’deki gibi değişmektedir. Şekil 4.1’de organik madde giderimi  $\{UVC-Fenton/batık UF\}$  prosesi ile  $\{UVC-Fenton/UF\}/[NF_{sıkı}]$  sistemi için KOİ ve TOK parametreleri üzerinden değerlendirilmiştir. UF ve  $NF_{sıkı}$  membran filtrasyon kararlı hal süzüntü akıları Şekil 4.1’de verilmiştir.

pH parametresi sistemde 2,16’lar seviyesinde stabil halde tutulmuş olup,  $NF_{sıkı}$  süzüntü suyu ancak 3,28 seviyelerine çıkmıştır. Renk parametresi, UVC-Fenton/UF prosesinde üçüncü günden sonra kararlı hale ulaşarak 0,138 A değerini almış;  $NF_{sıkı}$  çıkışında da 0,001 A seviyesine kadar düşmüştür. TÇK ve Ei değerleri, UVC-Fenton/batık UF çıkışında 2350 mg/L ve 4500  $\mu S/cm$  iken  $NF_{sıkı}$  çıkışında 87,9 mg/L ve 185  $\mu S/cm$  değerlerini almıştır. Şekil 4.1’de görüldüğü üzere,  $NF_{sıkı}$  filtrasyonu sonucunda süzüntü suyunda toplam demir konsantrasyonu 2,3 mg/L bulunmuştur. TOK ve KOİ değerleri, ikinci, dördüncü ve beşinci günlerde  $NF_{sıkı}$  konsantresinin reaktöre ilave edilmesine rağmen, hem reaktör içinde hem de UF çıkışında kararlı seviyelerdedir ve ayrıca Şekil 4.1’  $NF_{sıkı}$  çıkışında %98 üzerinde giderim

sergileyerek, TOK değeri 3,1 mg/L ve KOİ değeri de 6,5 mg/L' seviyesine kadar azalmıştır Şekil 4.1). Batık UF membran (UH050) süzüntü akısı artarak kararlı hale ulaşmış (447,53 L/m<sup>2</sup>sa), NF<sub>sıki</sub> (ESNA-1) membran akısı sırasıyla üç işletimde 33,85, 28,29 ve 27,43 L/m<sup>2</sup>sa seviyelerinde kalmıştır.

Fenton destekli ve Foto-Fenton (UVA-365 ve UVC-254) destekli {İOP/UF}/[NF<sub>sıki</sub>] entegre membran arıtma sistemlerinde uzun süreli işletimlerle kararlı hale ulaşıldığında her bir proses adımı için organik madde ve renk giderim performansları Şekil 4.2'de verilmiştir. Fenton destekli ve Foto-Fenton (UVA-365 ve UVC-254) destekli {İOP/UF}/[NF<sub>sıki</sub>] bütünleşik membran sistemlerinde geri kazanım suyu kalitesi ve toplam sistem verimleri Tablo 4.2'de ayrı ayrı verilmiştir. Her üç hibrit sistemde oluşan NF<sub>sıki</sub> membran konsantreleri belirli günlerde İOP/batık UF reaktörüne geri devredilerek, atıksu ile birlikte konsantr bertarafı da gerçekleşmekte ve eş zamanlı olarak da reaktörde kararlı hal durumu bozulmadan geri kazanım suyu temin edilebilmektedir.

Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, tüm sistemlerde pH ve sadece {Fenton/UF}/[NF<sub>sıki</sub>] sisteminde TOK ve KOİ parametreleri hariç; diğer iki sistemin çıkış suyu kalite değerlerinin tamamının herhangi bir demir kalıntısı olmaksızın, literatürde verilen ve tez kapsamında hedeflenen yeniden kullanım suyu kriterleri (Tablo 3.8) ile uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır. Fenton destekli {Fenton/UF}/[NF<sub>sıki</sub>] sistemindeki TOK ve KOİ değerlerinin, hedef su kalitesi değerlerinin çok az üzerinde olduğu (hedef TOK ve KOİ <10 mg/L ve 20 mg/L iken işletim sonu 3 ölçüm sonucu ortalaması olarak 11,2 ve 22,8 mg/L olarak ölçülmüştür.) belirlenmiştir. Bu kalite değerlerinin, hedef değerlerin çok az üzerinde olması sebebiyle, uygulamada yeniden kullanım suyu kalitesi bakımından sorun teşkil etmeyeceği değerlendirilmiştir.

Kararlı hal işleme dayalı konsantr akım döngüsü (reaktöre ham atıksuyla beraber MP konsantresi beraberce ilave edildiği konsantr geri besleme) altında; sistem bütününde Fenton destekli İOP/batık UF entegre sistemi ile birlikte etkin seviyelerde organik madde giderimi sağlanmasının yanı sıra batık membranda istenmeyen tıkanma problemlerine sebep olmayan membran kirlenmesi durumunun da varlığından hareketle, geri beslemeli atık minimizasyonuna dayalı konsantr yönetimi etkisi ile birlikte endüstriyel su geri kazanımını başarıyla yerine getiren bütünleşik bir atıksu arıtım, su geri kazanımı ve konsantr yönetimi uygulamasının,

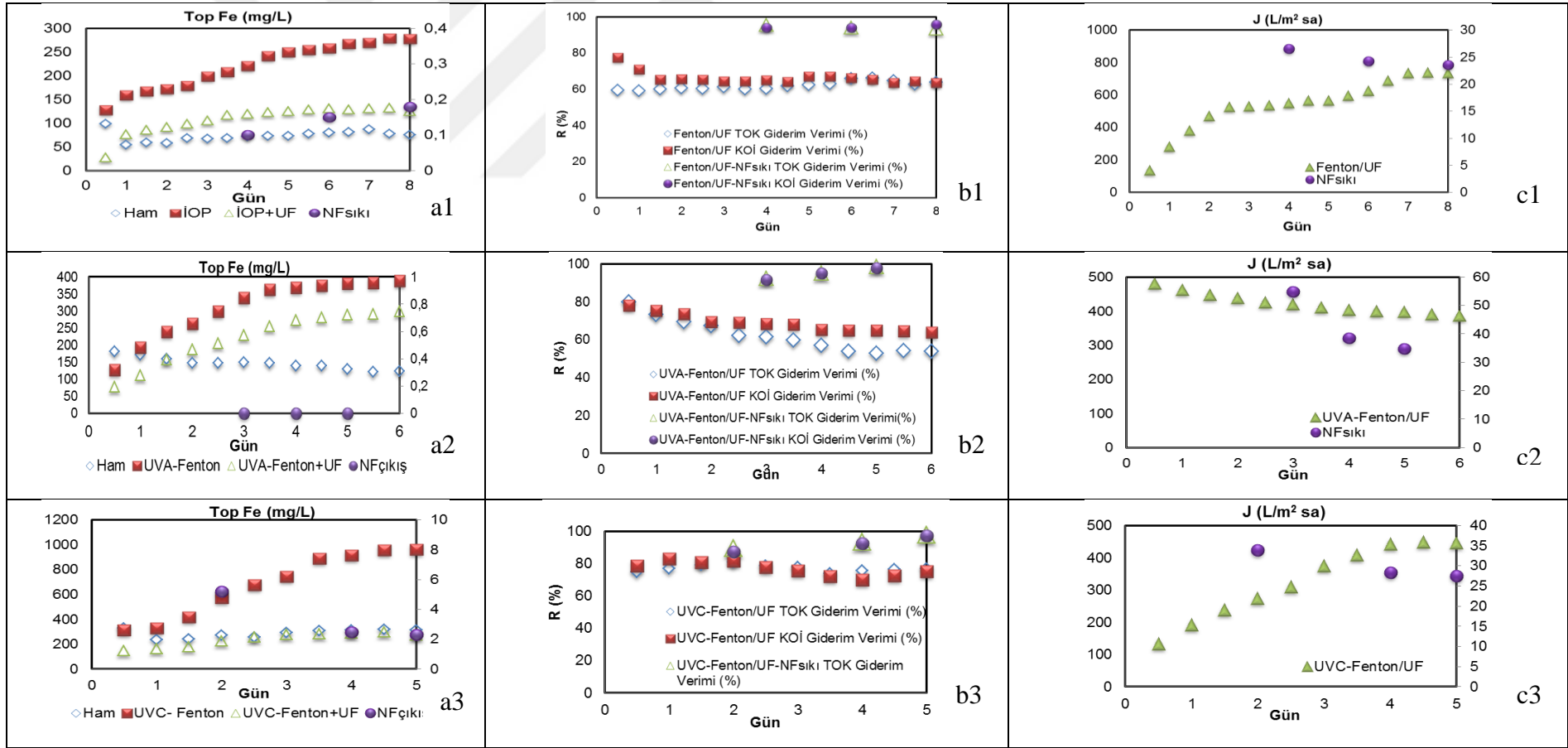
önerilen Fenton destekli ve Foto-Fenton (UVA-365 ve UVC-254) destekli {İOP/UF}/[NF<sub>sıkı</sub>] sistemlerinin her biri ile sağlandığı tespit edilmiştir.

Nihai çıkış suyu kalite değerlerinden görülmektedir ki, tekstil endüstrisi atıksularının Fenton ve foto-Fenton (UVA-365 ve UVC-254) destekli İOP/batık UF reaktörü sonrasında NF<sub>sıkı</sub> filtrasyonunun gerçekleştirildiği sistemlerde arıtılarak, üretilen endüstriyel yeniden kullanım suları pH'ları 6-8 aralığına ayarlandıktan sonra, bu teknolojilerin membran konsantre yönetimini de içine alan bir yaklaşım ile saha ölçeğe uygulanabilir olduğu görülmektedir.

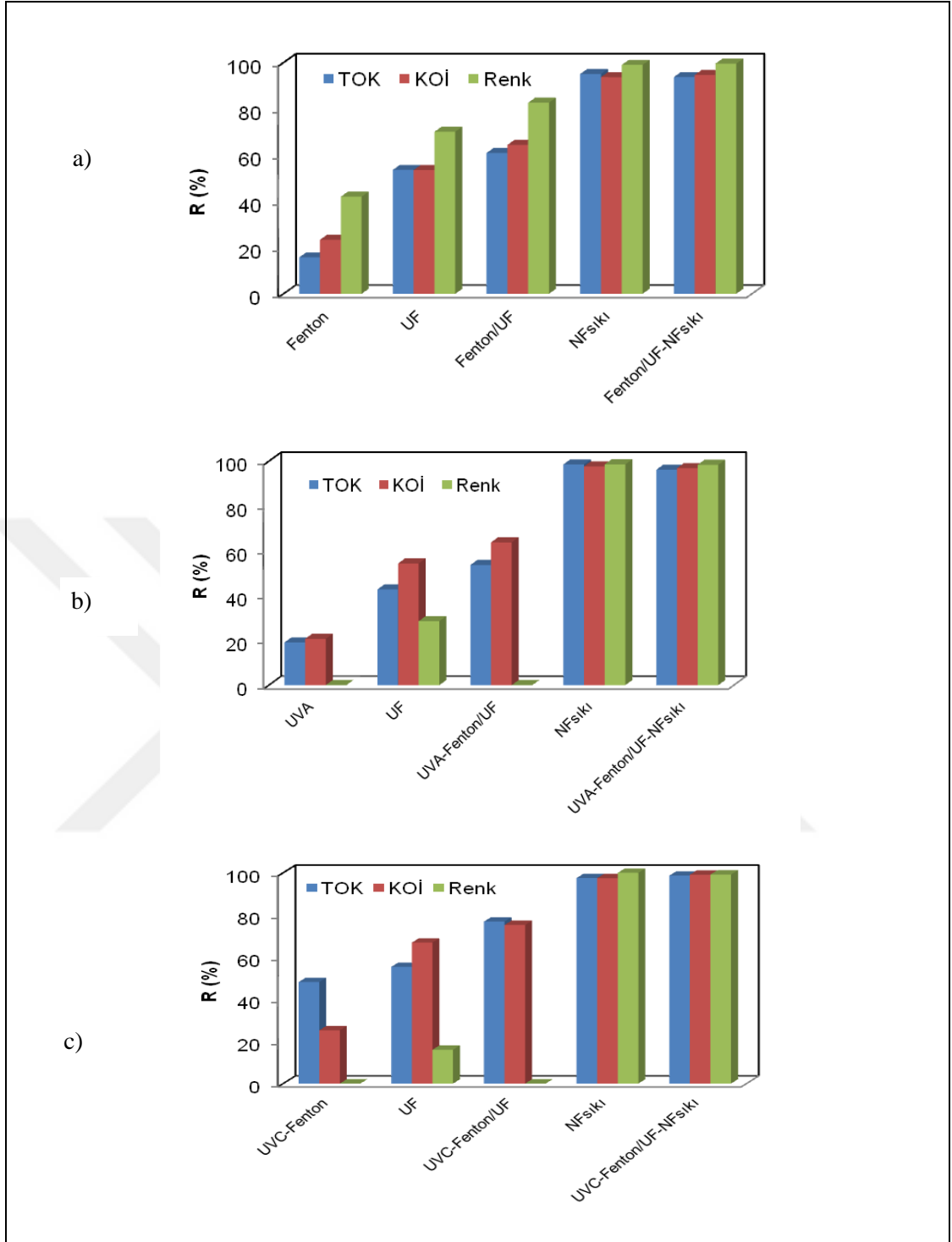


Tablo 4.1: İleri Oksidasyon Destekli Batık UF ve NF<sub>sıkı</sub> ({Fenton/UF}/[NF<sub>sıkı</sub>], {UVA-Fenton/UF}/[NF<sub>sıkı</sub>], {UVC-Fenton/UF}/[NF<sub>sıkı</sub>]) bütünleşik membran sisteminde pH, Renk, TÇK, Ei, TOK, KOİ değişimleri.

PARAMETRE	NF <sub>SIKI</sub>											
	FENTON				FOTO FENTON_UVA				FOTO FENTON_UVC			
	HAM	İOP	İOP/UF	NF	HAM	İOP	İOP/UF	NF	HAM	İOP	İOP/UF	NF
pH	2,82	2,6	2,55	5,87	2,58	2,2	2,22	2,92	2,52	2,21	2,16	3,28
RENK (Abs)	0,219	0,127	0,038	0,001	0,124	0,175	0,125	0,002	0,118	0,164	0,138	0,001
TÇK (mg/L)	1028	1149	1161	16,71	1351	1515	1546	91,4	1850	2195	2350	87,9
İLETKENLİK (μS/cm)	2043	2270	2290	37,6	2270	2990	3040	178,8	3570	4220	4500	185
TOK (mg/L)	207,1	174,5	81	13	175,8	142,3	81,5	6,7	228,6	188,5	52,9	3,1
KOİ (mg/L)	522	400	186	28	516	410	187	16	711	538	176	6,5



Şekil 4.1: İleri Oksidasyon Destekli Batık UF ve NF<sub>sıkı</sub> ({İOP/UF}/{NF<sub>sıkı</sub>}) bütünleşik membran sisteminde sırasıyla a)Toplam Fe Değişimi, b)Organik Madde Giderim Performansı, c)Akı Değişimleri; 1:Fenton Destekli {Fenton/UF}/{NF<sub>sıkı</sub>}, 2:UVA Foto Fenton Destekli {UVA-Fenton/UF}/{NF<sub>sıkı</sub>}, 3:UVC Foto Fenton Destekli {UVC-Fenton/UF}/{NF<sub>sıkı</sub>}. (Sol eksen; Ham, UVA-Fenton, UVA-Fenton/UF sonuçlarını, sağ eksen; NF<sub>sıkı</sub> sonuçlarını vermektedir.).



Şekil 4.2: İleri Oksidasyon Destekli Batık UF ve NF<sub>sıkı</sub> ( $\{UF/UF\}/[NF_{sıkı}]$ ) bütünleşik membran sisteminde sırasıyla a)Fenton destekli  $\{Fenton/UF\}/[NF_{sıkı}]$ , b)UVA Foto-Fenton Destekli  $\{UVA-Fenton/UF\}/[NF_{sıkı}]$ , c)UVC Foto-Fenton destekli  $\{UVC-Fenton/UF\}/[NF_{sıkı}]$  sistemlerinde organik madde ve renk giderim performansları.

Tablo 4.2: Fenton destekli  $\{\text{İOP/UF}\}/[\text{NF}_{\text{sıkı}}]$ , UVA Foto-Fenton destekli  $\{\text{İOP/UF}\}/[\text{NF}_{\text{sıkı}}]$  ve UVC Foto-Fenton destekli  $\{\text{İOP/UF}\}/[\text{NF}_{\text{sıkı}}]$  bütünleşik membran sisteminde geri kazanım suyu kalitesi ve toplam sistem verimleri.

Parametre	Birim	Ham atıksu	$\{\text{Fenton/UF}\}/[\text{NF}_{\text{sıkı}}]$			$\{\text{UVA-Fenton/UF}\}/[\text{NF}_{\text{sıkı}}]$			$\{\text{UVC-Fenton/UF}\}/[\text{NF}_{\text{sıkı}}]$				
			Geri Kazanım Suyu	Konsantre Atıksu	Toplam Verim (%)	Ham atıksu	Geri Kazanım Suyu	Konsantre Atıksu	Toplam Verim (%)	Ham atıksu	Geri Kazanım Suyu	Konsantre Atıksu	Toplam Verim (%)
pH	-	6,2	5,87	2,61	-	6,2	2,92	2,3	-	6,2	3,28	2,34	-
Sıcaklık	°C	25,0	26,5	26,5	-	25	40	40	-	25,0	40,0	40,0	-
İletkenlik	µs/cm	1044	37,6	2280	96,1	1044	178,8	2960	93,1	1044	185	4240	95,6
TÇK	mg/L	613	16,71	1167	96,0	613	91,4	1515	93,6	613	87,9	2210	96
Çözünmüş Oksijen	mg/L	5,93		9,47	-	5,93	-	8,47	-	5,93	-	8,54	-
KOİ	mg/L	784	22,8	510	95,63	784	16	325	96,9	784	6,5	420	98,9
TOK	mg/L	258	11,2	174,5	93,36	258	6,7	132	96,6	258	3,1	109,5	98,6
AKM	mg/L	10,5	-	-	-	10,5	-	-	-	10,5	-	-	-
AOX	mg/L	0,682	-	-	-	0,682	-	-	-	0,682	-	-	-



Tablo 4.2: Devam.

Bulanıklık	NTU	2,72	0,39	2810	100,0	2,72	0,22	4020	100,0	2,72	0,29	15,80	98,2
Amonyak	mg/L	1,16	0,32	2,01	84,2	1,16	0,17	1,46	88,2	1,16	0,25	1,38	81,9
Renk	λ436:	0,086	0,001	0,174	98,9	0,086	0,002	0,051	94,1	0,086	0,0	0,183	100
	λ525:	0,080	0,001	0,018	94,4	0,080	0,002	0,013	84,6	0,080	0,0	0,046	100
	λ620:	0,076	0,001	0,011	90,9	0,076	0,001	0,005	80,0	0,076	0,0	0,021	100
Nitrat	mg/L	13,5	1,56	7,25	78,5	13,5	1,95	8,52	77,1	13,5	1,39	10,5	86,8
Sülfat	mg/L	29,5	6,2	1039	99,4	29,5	0,0	1245	100	29,5	0,0	3087	100
Klörür	mg/L	25,29	<0,5	<0,5	<100	25,29	<0,5	<0,5	<100	25,29	<0,5	<0,5	<100
Demir II	mg/L	0,76	0,0	35,5	100	0,76	0,0	23,2	100	0,76	1,3	196,1	98,8
Demir III	mg/L	2,56	0,18	268,2	99,9	2,56	0,0	288	100	2,56	1	826,9	99,8
Demir (II/III)	mg/L	3,32	0,18	303,7	99,9	3,32	0,0	311,2	100	3,32	2,3	1023	99,6
Toplam Azot	mg/L	14,66	1,88	9,25	79,7	14,7	2,12	9,98	78,8	14,66	1,64	11,88	86,2
Toplam Sertlik	mg/L	77,9	11,89	307,5	96,1	77,9	33,6	604,8	94,4	77,9	11,89	204,1	94,2
Fenol	mg/L	7,50	0,01	-	-	7,50	0,01	-	-	7,50	0,01	-	-

#### 4.1.2. İleri Oksidasyon Ultrafiltrasyon Destekli Batık UF ve TO sistemi ({İOP/UF}/{TO})

##### •Fenton Destekli [TO] sistemi ({Fenton/UF}/{TO})

258 mg/L TOK değerine sahip ham tekstil atıksuyu 20 L kapasiteli {Fenton/UF} reaktörüne konularak TOK değerine bağlı Tablo 3.6'da verilen gerekli demir ve hidrojen peroksit ( $H_2O_2/TOK$  (g/g)= 6,  $H_2O_2/Fe^{2+}$  (g/g)= 15 oranları doğrultusunda) ilavelerinden sonra pH ayarlaması yapılarak işletilmiştir. Sistem bütününde işletimleri 7 gün devam eden deneylerde hergün iki işletim gerçekleştirilmiş ve her işletim sonunda 5 L UF çıkış suyu elde edilmiştir. Her işletim başlangıcında reaktördeki TOK değerinden yola çıkılarak gerekli demir ve hidrojen peroksit ilaveleri yapılmıştır.

{Fenton/UF} prosesi ile iki işletim sonunda elde edilen 10 L süzüntü suyu belirlenen günlerde TO ile %80 oranında konsantre edilmiştir. Birer gün süren TO filtrasyonu sonucunda 2 L konsantre edilerek 8 L süzüntü suyu elde edilmiştir. İkinci, üçüncü ve dördüncü günlerde her işletimde süzülen 5 L çıkış suyu yerine reaktöre 5 L ham su ilave edilirken; beşinci, altıncı ve yedinci günlerde, UF süzüntüsü yerine 2 L TO konsantresi 3 L ham suyla karıştırılarak {Fenton/batık UF} reaktörüne ilave edilmiştir. Fenton/batık UF prosesi çıkış suyunun TO filtrasyon deneyleri değişen işletim şartları altında değişmeyen seviyelerdeki kararlılık sağlanmış işletme performansları ile süzüntü akı değerleri kararlı hale ulaştığı üçüncü tekrarda filtrasyon tamamlanmıştır.

Tablo 4.3'de Fenton destekli İOP/UF-TO bütünleşik membran sisteminde pH, Renk, TÇK, Ei, TOK, KOİ değişimleri ham atıksu, Fenton, Fenton/batık UF ve TO çıkış suları için verilmiştir. 7 günlük deney süresince her işletim sonrasında kalan toplam demir konsantrasyonu ise Şekil 4.3'deki gibi değişmektedir. Şekil 4.3'de {Fenton/UF}/{TO} sistemi hibrit prosesinde organik madde giderim verimleri TOK ve KOİ parametreleri üzerinden karşılaştırılmıştır. Batık UF ve TO membran filtrasyon kararlı hal akıları UF için 14 işletim, TO için 3 işletim üzerinden elde edilmiş ve Şekil 4.3'de gösterilmiştir.

{Fenton/UF}/{TO} bütünleşik membran sistemi ile arıtımda ardışık yürütülen deneylerden TO hariç diğer proses adımlarında kararlı halde pH 2,41-2,56 arasında değişmekte olmasına karşı, TO filtrasyonu sonrasında pH 5,17 değerine çıkmıştır. Renk parametresi üçüncü güne kadar farklı bir gidişat sergilemesine rağmen, diğer

tüm sistemlerde olduğu gibi ancak TO filtrasyonu sonucunda 0,002 A mertebelerine düşmüştür. TÇK ve Ei sistem bütününde benzer değişimler göstermekte olup Fenton/batık UF adımı sonrasında sırasıyla 1400 mg/L ve 2740 µS/cm gibi yüksek değerler alırken TO sonrasında 7,06 mg/L ve 15,3 µS/cm'lere kadar düşmüştür.

Atıksudaki organik madde giderimi ile suyun yeniden kullanılabilirliğinin hedeflendiği bu çalışmada, {Fenton/UF} prosesi ile {Fenton/UF}/[TO] bütünleşik membran sistemi karşılaştırıldığında, {Fenton/UF} prosesi ile TOK değeri 87,7 mg/L, KOİ değeri 168 mg/L'lere düşerken, {Fenton/UF}/[TO] sisteminde sırasıyla 12,5 mg/L ve 33,25 mg/L değerlerini alarak, hedef değerlerin bir miktar üzerinde çıkmıştır.

Toplam demir konsantrasyonunun 7,14 mg/L'ye kadar düştüğü bütünleşik sistemde UF (UH050) süzüntü akışı 820 L/m<sup>2</sup> sa, TO (LFC-3) süzüntü akışı 20,01 L/m<sup>2</sup> sa değerlerini alarak kararlı hale ulaşmıştır. Fenton/batık UF prosesi ve Fenton/UF-TO sisteminde TOK giderim verimleri sırasıyla %61,6 ve %94,4; KOİ giderim verimleri sırasıyla %69,8 ve %94,1 değerlerini almıştır.

•UVA Foto-Fenton Destekli [TO] sistemi ({UVA-Fenton/UF}/[TO])

258 mg/L TOK değerine sahip ham tekstil atıksuyu 20 L kapasiteli UVA-Fenton/batık UF reaktörüne konularak TOK değerine bağlı gerekli demir ve hidrojen peroksit ilavelerinden ( $H_2O_2/TOK$  (g/g) oranı 7,75 ve  $H_2O_2/Fe^{2+}$  (g/g) oranı 10,75 olacak şekilde Tablo 3.6'da verilen değerlerde) sonra pH ayarlaması yapıldıktan sonra işletilmeye başlanmıştır. Sistem bütününde ardışık işletimleri 5 gün devam eden deneylerde her gün iki işletim gerçekleştirilmiş ve her işletim sonunda 5 L UF çıkış suyu elde edilmiştir. Her işletim başlangıcında reaktördeki TOK değerinden yola çıkılarak gerekli demir ve hidrojen peroksit ilaveleri yapılmıştır. {UVA-Fenton/UF} prosesi ile iki işletim sonunda elde edilen 10 L süzüntü suyu belirlenen günlerde TO filtrasyonu ile %80 oranında konsantre edilmiştir. Birer gün süren TO filtrasyon deneyleri sonucunda 2 L konsantre, 8 L süzüntü suyu elde edilmiştir. Her işletimde UVA-Fenton/batık UF çıkışında elde edilen 5 L süzüntü suyu yerine reaktöre 5 L ham su ilave edilirken; üçüncü, dördüncü ve beşinci günlerde, birinci işletimlerde elde edilen 5 L UF süzüntüsü yerine 2 L TO konsantresi 3 L ham suyla karıştırılarak UVA-Fenton/batık UF reaktörüne ilave edilmiştir. Batık UF ve TO membran filtrasyon kararlı hal süzüntü akıları UF 10 ve TO 3 işletim üzerinden elde edilmiştir.

Tablo 4.3'de Fenton destekli UVA/UF-TO bütünleşik membran sisteminde pH, Renk, TÇK, Ei, TOK, KOİ değişimleri ham atıksu, UVA-Fenton, UVA-Fenton/batık UF ve TO çıkış suları için ayrı ayrı verilmiştir. 7 günlük deney süresince her işletim sonrasında kalan toplam demir konsantrasyonu ise Şekil 4.3'deki gibi değişmektedir. Şekil 4.3'de {UVA-Fenton/UF}/[TO] hibrit sisteminde organik madde giderim verimleri TOK ve KOİ parametreleri üzerinden karşılaştırılmış olup UF ve TO membran filtrasyonunda kararlı hal süzüntü akı değerleri Şekil 4.3'de verilmiştir.

{UVA-Fenton/UF}/[TO] bütünleşik membran sistemi ile arıtımda ardışık yürütülen deneylerden TO hariç diğer proses adımlarında kararlı halde pH 2,1-2,3 arasında değişmekte olmasına karşı, TO filtrasyonu sonrasında pH 4,37 değerine çıkmıştır. Renk parametresi TO filtrasyonu sonucunda süzüntü suyunda tamamen giderilmiştir. TÇK ve Ei sistem bütününde genel olarak benzer değişimler göstermekte olup, UVA-Fenton/batık UF adımı sonrasında sırasıyla 1755 mg/L ve 3420  $\mu S/cm$  gibi yüksek değerler alırken, TO sonrasında 12,7 mg/L ve 27,2  $\mu S/cm$ 'lere kadar düşmüştür.

TO konsantresi olduğu zamanlarda işletimlerin başında UVA-Fenton/batık UF reaktörüne ham tekstil suyu ile birlikte konsantre de ilave edilmiş olmasına rağmen, süzüntü suyunda organik madde giderimi değerlendirildiğinde, UVA-Fenton/batık UF prosesi ile TOK değeri 71,1 mg/L'ye, KOİ değeri 120 mg/L'ye düşerken, TO filtrasyonu çıkışında bu değerler sırasıyla 4,2 mg/L ve 14 mg/L değerlerine kadar düşmüştür. Toplam demir konsantrasyonunun 7,44 mg/L'lerde olduğu {UVA-Fenton/UF}/[TO] bütünleşik sistemde UF (UV150) 126 L/m<sup>2</sup> sa ve TO (LFC-3) 31,85 L/m<sup>2</sup> sa kararlı hal akılarına {UVA-Fenton/UF} prosesi ile {UVA-Fenton/UF}/[TO] sisteminde TOK giderim verimleri sırasıyla %68,9 ve %98,1 iken KOİ giderim verimleri sırasıyla %79,02 ve %97,6 değerlerini almıştır.

•UVC Foto-Fenton Destekli [TO] sistemi ({UVC-Fenton/UF}/[TO])

H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/TOK (g/g) oranı 9,88 ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe<sup>2+</sup> (g/g) oranı 7,27 olacak şekilde ilave edilen demir ve hidrojen peroksit miktarları Tablo 3.6'da verilmiştir. UVC-Fenton/batık UF deneyleri öncesinde de atıksuyun TOK analizi sonucunda TOK değeri 160 mg/L olarak bulunmuştur. 20 L kapasiteli UVC-Fenton/batık UF reaktöründe uzun süreli deneyler başlamadan önce demirin reaktörde çökmemesi için pH asidik şartlara ayarlanmıştır.

Sistem bütününde işletimleri 5 gün devam eden deneylerde hergün iki işletim gerçekleştirilmiş ve her işletim sonunda 5 L UF çıkış suyu elde edilmiştir. Her işletim başlangıcında reaktördeki TOK değerinden yola çıkılarak gerekli demir ve hidrojen peroksit ilaveleri yapılmıştır. UVC-Fenton/batık UF ile iki işletim sonunda elde edilen 10 L süzüntü suyu belirlenen günlerde TO ile %80 oranında konsantre edilmiştir. Birer gün süren TO filtrasyon deneyleri sonucunda 2 L konsantre ve 8 L süzüntü suyu elde edilmiştir. Her işletimde süzülen 5 L UF çıkış suyu yerine reaktöre 5 L ham su ilave edilirken; üçüncü, dördüncü ve beşinci günlerde, UF süzüntü suyu yerine 2 L TO konsantresi 3 L ham suyla karıştırılarak UVC/batık UF reaktörüne ilave edilmiştir. UVC-Fenton/batık UF çıkış suyunun TO ile filtrasyonunda elde edilen akı değerlerinin kararlı hale ulaştığı üçüncü tekrarda filtrasyon deneyleri tamamlanmıştır.

Tablo 4.3'de Fenton destekli {UVC-Fenton/UF}/[TO] bütünleşik membran sisteminde pH, Renk, TÇK, Ei, TOK, KOİ değişimleri ham atıksu, UVC-Fenton, UVC-Fenton/batık UF ve TO çıkış suları için ayrı ayrı verilmiştir. 7 günlük deney süresince her işletim sonrasında kalan toplam demir konsantrasyonu ise Şekil

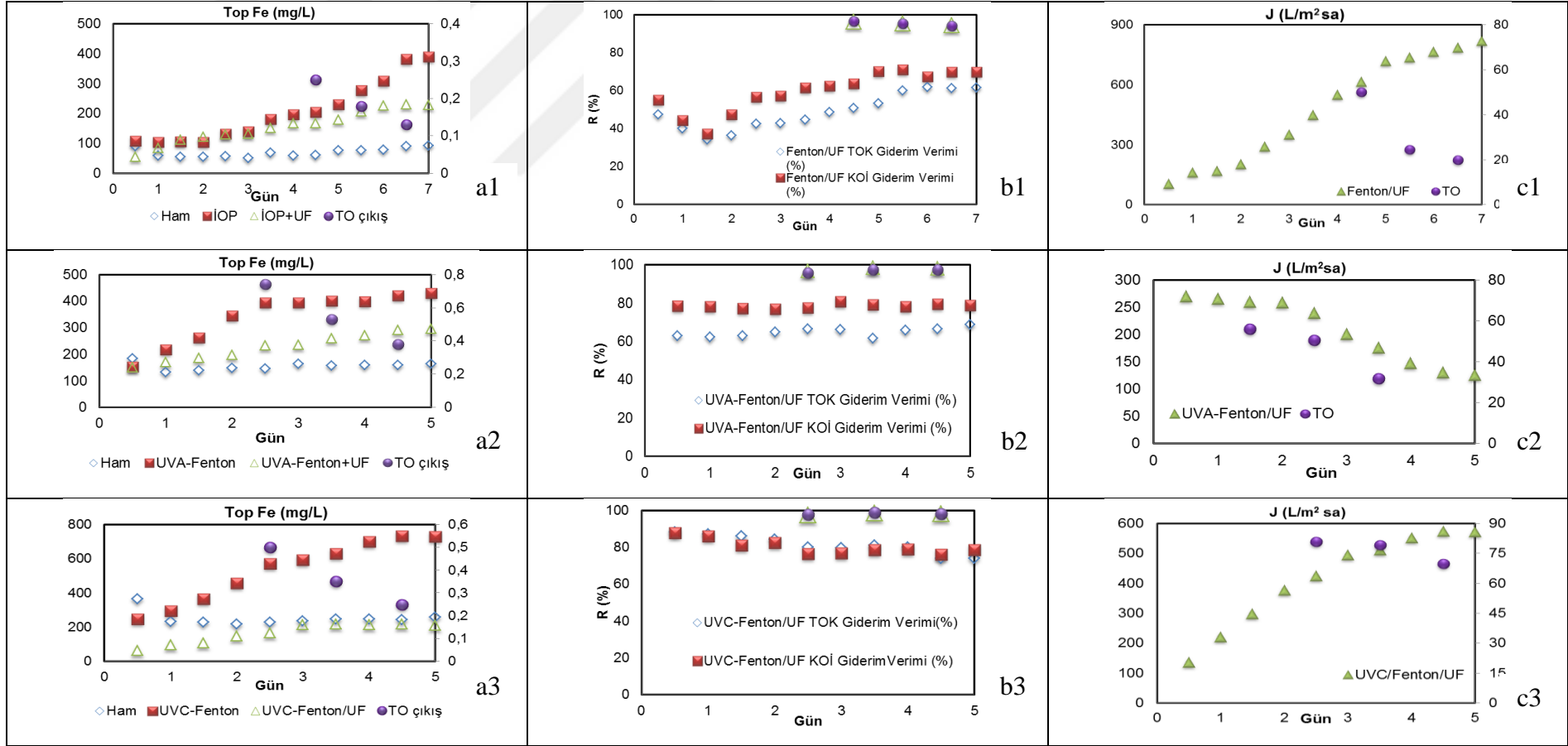
4.3'deki gibi değişmektedir. Şekil 4.3'de Fenton/UF-TO hibrit prosesinde organik madde giderim verimleri TOK ve KOİ parametreleri üzerinden karşılaştırılmış olup batık UF ve TO membran filtrasyonunda kararlı hal süzüntü akı değerleri Şekil 4.3'de verilmiştir.

{UVC-Fenton/UF}/[TO] bütünleşik membran sistemi ile arıtımda ardışık yürütülen deneylerden TO hariç diğer proses adımlarında kararlı halde pH 2,14-2,49 arasında değişmekte olmasına karşı, TO filtrasyonu sonrasında pH 4,79 değerine kadar çıkmıştır. Renk parametresi demir kaynaklı olarak UVC/UF sisteminde artış eğilimi göstermesine karşı TO filtrasyonu ile 0,003 A değerine kadar inmiştir. TÇK ve Ei parametreleri sistem bütününde benzer eğilimler göstermiş ve deney sonunda kararlı hal durumunda sırasıyla 10,33 mg/L ve 22,3 µS/cm değerlerini almışlardır. TOK ve KOİ üzerinden gerçekleştirilen organik madde değerlendirmeleri bu çalışmada çok önemli bir hususu oluşturmaktadır. {UVC-Fenton/UF} prosesi ile TOK değeri 49,1 mg/L'ye, KOİ değeri 130 mg/L'ye düşerken, TO filtrasyonu ile bu değerler sırasıyla 3,6 mg/L ve 10,5 mg/L değerlerine kadar düşerek, elde edilen çıkış suyu ile yeniden kullanım suyu kalitesine ulaşılmıştır.

TOK değerine bağlı olarak her işletimde ilave edilen demir (2+) kaynaklı İOP/batık UF reaktöründe toplam demir konsantrasyonu 258,9 mg/L olmasına rağmen TO filtrasyonu ile çıkış suyundaki toplam demir konsantrasyonu 0,89 mg/L değerine düşmüştür. Bütünleşik {UVC-Fenton/UF}/[TO] entegre sistemde UF (UH050) 572 L/m<sup>2</sup> sa ve TO (LFC-3) 69,85 L/m<sup>2</sup> sa yüksek kararlı hal akılarında {UVC-Fenton/UF} prosesi ile {UVC-Fenton/UF}/[TO] sisteminde TOK giderim verimleri sırasıyla %73,8 ve %98,1 iken KOİ giderim verimleri sırasıyla %78,6 ve %98,3 değerlerini almıştır. Yenilikçi {Fenton/UF}/[TO] ve {UVC veya UVA-Fenton/UF}/[TO] entegre membran arıtma sistemlerinde kararlı hale ulaşıldığında herbir proses adımı için organik madde ve renk giderim performansları Şekil 4.4'de verilirken, bütünleşik membran sistemlerinde geri kazanım suyu kalitesi ve toplam sistem verimleri sırasıyla Tablo 4.4'de ayrı ayrı verilmiştir.

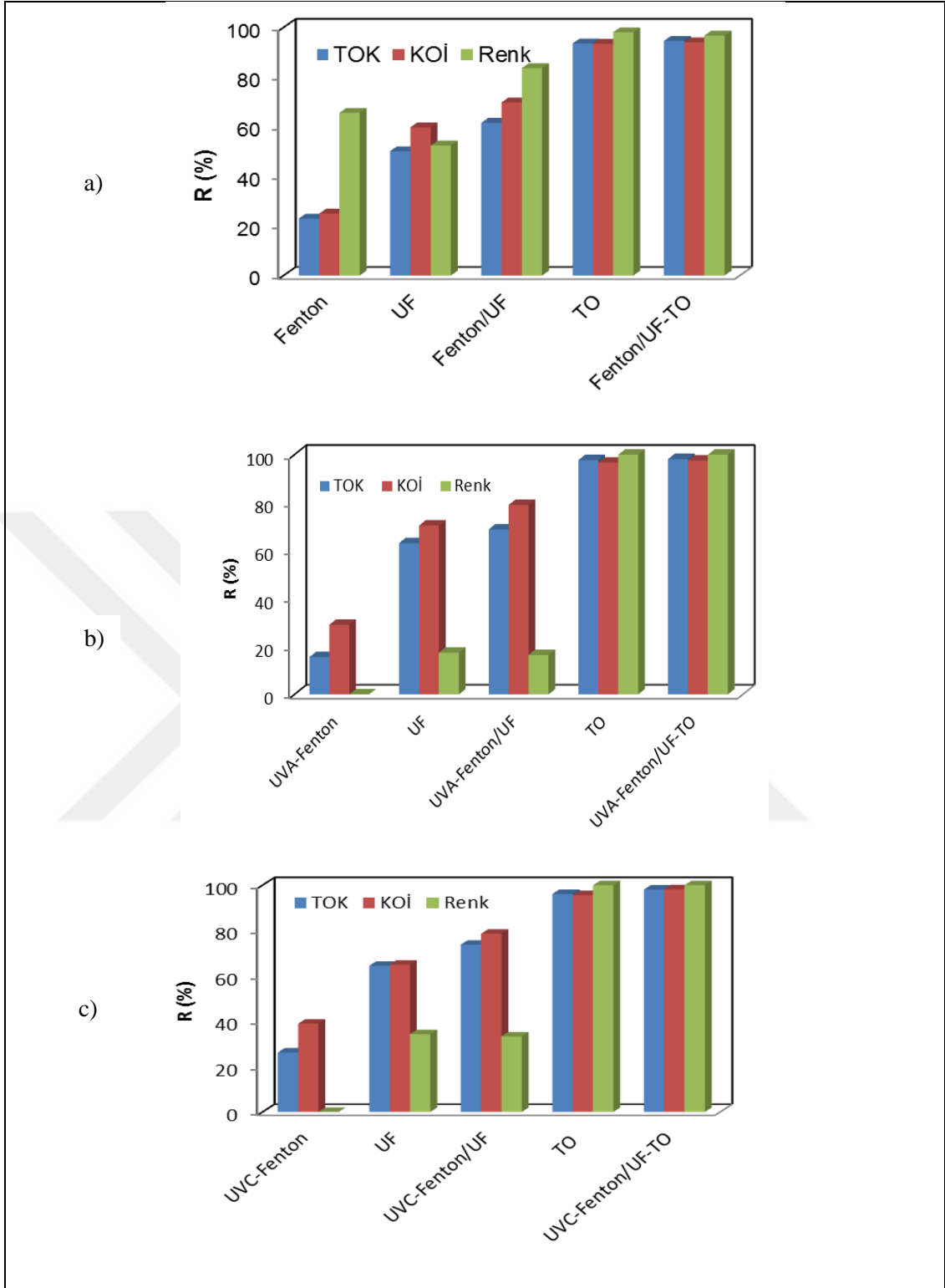
Tablo 4.3: İleri Oksidasyon Destekli Batık UF ve TO ({Fenton/UF}/[TO], {UVA-Fenton/UF}/[TO], {UVC-Fenton/UF}/[TO]) bütünleşik membran sisteminde pH, Renk, TÇK, Ei, TOK, KOİ değişimleri.

PARAMETRE	TO											
	FENTON				FOTO FENTON_UVA				FOTO FENTON_UVC			
	HAM	İOP	İOP/UF	TO	HAM	İOP	İOP/UF	TO	HAM	İOP	İOP/UF	TO
pH	2,56	2,44	2,41	5,17	2,3	2,1	2,09	4,37	2,49	2,25	2,14	4,79
RENK (Abs)	0,061	0,021	0,01	0,002	0,085	0,086	0,071	0	0,066	0,067	0,044	0
TÇK (mg/L)	1269	1391	1400	7,06	1560	1666	1755	12,7	1772	2112	2280	10,33
İLETKENLİK ( $\mu$ S/cm)	2500	2730	2740	15,3	3030	3230	3420	27,2	3530	4070	4380	22,3
TOK (mg/L)	228,2	175,8	87,7	12,5	228,4	192,8	71,1	4,169	187,5	138,3	49,1	3,576
KOİ (mg/L)	556	417,3	168	33,25	572	405,7	120	14	608	371,3	130	10,5



Şekil 4.3: İleri Oksidasyon Destekli Batık UF ve TO ( $\{IOP/UF\}/[TO]$ ) bütünleşik membran sisteminde sırasıyla a)Toplam Fe Değişimi, b)Organik Madde Giderim Performansı, c)Akı Değişimleri; 1:Fenton Destekli  $\{Fenton/UF\}/[TO]$ , 2:UVA Foto Fenton Destekli  $\{UVA-Fenton/UF\}/[TO]$ , 3:UVC Foto Fenton Destekli  $\{UVC-Fenton/UF\}/[TO]$  (Sol eksen; Ham, UVA-Fenton, UVA-Fenton/UF sonuçlarını, sağ eksen;  $NF_{sıkı}$  sonuçlarını vermektedir.).





Şekil 4.4: İleri Oksidasyon Destekli Batık UF ve TO ( $\{Fenton/UF\}/[TO]$ ) bütünleşik membran sisteminde sırasıyla a)Fenton destekli  $\{Fenton/UF\}/[TO]$ , b)UVA Foto-Fenton destekli  $\{UVA-Fenton/UF\}/[TO]$ , c)UVC Foto-Fenton destekli  $\{UVC-Fenton/UF\}/[TO]$  sistemlerinde organik madde ve renk giderim performansları.

Tez kapsamında uygulanan {Fenton/UF}/[TO] ve {UVA veya UVC-Fenton/UF}/[TO] sistemleri ile yürütülen deneyler sonrasında oluşan TO membran konsantreleri belirli günlerde Fenton destekli İOP/batık UF reaktörüne geri devredilerek, uygulanan bu sistemler ile oluşan membran konsantrelerinin de bertarafı gerçekleşmekte ve eş zamanlı olarak da reaktörde kararlı hal durumu bozulmadan geri kazanım suyu temin edilebilmektedir.

Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, tüm sistemlerde pH ve sadece {Fenton/UF}/[TO] sisteminde TOK ve KOİ parametreleri hariç; diğer iki sistemin çıkış suyu kalite değerlerinin tamamının çok düşük demir kalıntısı ile literatürde verilen ve proje kapsamında hedeflenen yeniden kullanım suyu kriterleri (Tablo 3.8) ile uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır. Fenton destekli sistemdeki TOK ve KOİ değerlerinin, hedef su kalitesi değerinin sadece çok az üzerinde olduğu (hedef TOK<10 mg/L ve KOİ<20 mg/L iken işletim sonu 3 ölçüm ortalaması 12,5 ve 33,25 mg/L olarak ölçülmüştür.) belirlenmiştir. Bu kalite değerlerinin, hedef değerlerin çok az üzerinde olması sebebiyle, uygulamada yeniden kullanım suyu kalitesi bakımından sorun teşkil etmeyeceği değerlendirilmiştir.

İOP/batık UF reaktörüne ham atıksuyla beraber sonraki adımda oluşan TO konsantrisinin beraberce ilave edildiği konsantr geri beslemesi altında; sistem bütününde Fenton destekli İOP/batık UF hibrit sistemi ile birlikte etkin seviyelerde organik madde giderimi sağlanmasının yanı sıra batık membranda istenmeyen tıkanma problemlerine sebep olmadan, geri beslemeli atık minimizasyonuna dayalı konsantr yönetimi ile birlikte endüstriyel su geri kazanımını başarıyla yerine getiren bütünlük bir atıksu arıtım, su geri kazanımı ve konsantr yönetimi uygulamasının, Fenton destekli ve Foto-Fenton (UVA-365 ve UVC-254) destekli {İOP/UF}/[TO] sistemlerinin her biri ile sağlandığı tespit edilmiştir.

Nihai çıkış suyu kalite değerlerinden görülmektedir ki, tekstil endüstrisi atıksularının Fenton ve Foto-Fenton (UVA-365 ve UVC-254) destekli İOP/batık UF reaktörü sonrasında TO filtrasyonunun gerçekleştirildiği sistemlerde arıtılarak, üretilen endüstriyel yeniden kullanım suları pH'ları 6-8 aralığına ayarlandıktan sonra, bu teknolojilerin membran konsantr yönetimini de içine alan bir yaklaşım ile saha ölçeğe uygulanabilir olduğu görülmektedir.

Tablo 4.4: Fenton destekli {İOP/UF}/[TO], UVA Foto-Fenton destekli {İOP/UF}/[TO] ve UVC Foto-Fenton destekli {İOP/UF}/[TO] bütünleşik membran sisteminde geri kazanım suyu kalitesi ve toplam sistem verimleri.

Parametre	Birim	{Fenton/UF}/[TO]				{UVA-Fenton/UF}/[TO]				{UVC-Fenton/UF}/[TO]			
		Ham atıksu	Geri Kazanım Suyu	Konsantre Atıksu	Toplam Verim (%)	Ham atıksu	Geri Kazanım Suyu	Konsantre Atıksu	Toplam Verim (%)	Ham atıksu	Geri Kazanım Suyu	Konsantre Atıksu	Toplam Verim (%)
pH	-	6,2	5,17	2,46	-	6,2	4,37	2,16	-	6,23	4,79	2,2	-
Sıcaklık	°C	25	26,5	26,5	-	25	40	40	-	25	40	40	-
İletkenlik	µs/cm	1044	15,3	2720	99,4	1044	27,2	3340	99,2	1221	22,3	4060	99,5
TÇK	mg/L	613	7,06	1393	99,5	613	12,7	1737	99,3	605	10,3	2115	99,5
Çözülmüş Oksijen	mg/L	5,93	-	9,13	-	5,93	-	9,32	-	5,95	-	8,52	-
KOİ	mg/L	784	33,25	-	-	784	16	-	-	456	10,5	-	-
TOK	mg/L	258	12,5	198,4	93,7	258	4,2	165,3	97,5	160	3,6	92,19	96,1
Bulanıklık		2,72	0,51	3220	100,0	2,72	0,22	2460	100,0	3,62	0,34	9700	100
Amonyak	mg/L	1,16	0,50	1,41	64,5	1,16	0,52	2,91	82,1	2,43	0,36	2,39	84,9

Tablo 4.4: Devam.

Renk	λ436:	0,086	0,002	0,023	91,3	0,086	0,0	0,111	100	0,136	0,004	0,090	95,6
	λ525:	0,080	0,002	0,009	77,8	0,080	0,0	0,016	100	0,144	0,004	0,030	86,7
	λ620:	0,076	0,002	0,008	75,0	0,076	0,0	0,009	100	0,155	0,003	0,019	84,2
Nitrat	mg/L	13,5	0,3	8,5	96,3	13,5	0,4	7,5	94,6	5,4	0,3	6,8	95,7
Sülfat	mg/L	29,5	40,3	1055	96,2	29,5	40,9	1612	97,5	56	31,8	782,3	95,9
Klörür	mg/L	25,29	0,50	27,49	98,2	25,29	0,50	23	97,8	24,6	0,50	8,50	94,1
Demir II	mg/L	0,76	0,13	25,69	99,5	0,76	0,40	68,5	99,4	1,0	0,25	103,8	99,8
Demir III	mg/L	2,56	7,01	386	98,2	2,56	7,04	608	98,8	3,8	0,64	795,6	99,9
Demir (II/III)	mg/L	3,32	7,14	412	98,3	3,32	7,44	676,5	98,9	4,8	0,89	899,3	99,9
Toplam Azot	mg/L	14,66	0,80	9,91	91,9	14,66	0,92	10,41	91,1	7,83	0,66	9,19	92,8
Toplam Sertlik	mg/L	77,9	11,9	410	97,1	77,9	11,8	430,5	97,3	52,9	6,56	235	97,2
Fenol	mg/L	7,50	0,0	-	-	7,50	0,011	-	-	6,49	0,003	-	-

### 4.1.3. İleri Oksidasyon Ultrafiltrasyon Destekli Batık UF ve NF<sub>gevşek</sub>/TO Sistemi ({İOP/UF}/{NF<sub>gevşek</sub>/TO})

#### •Fenton Destekli [NF<sub>gevşek</sub>/TO] sistemi ({Fenton/UF}/{NF<sub>gevşek</sub>/TO})

330 mg/L TOK değerine sahip ham tekstil atıksuyu 20 L'lik Fenton/batık UF reaktöründe 5 gün süreyle daha önceki işletilen deneylerde belirlenen optimum işletme şartlarında arıtıma tabi tutulmuştur. Günde 2 işletim üzerinden her işletimde 5 L UF çıkış suyu elde edilecek şekilde gerçekleştirilen {Fenton/batık UF}/{NF<sub>gevşek</sub>-TO} deneylerinde her işletim öncesinde reaktördeki atıksuyun yeni TOK değerine bağlı olarak Tablo 3.7'de verilen demir ve hidrojen peroksit ilaveleri (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/TOK (g/g)=6 ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe<sup>2+</sup> (g/g)=15) sonrasında pH düzenlemeleri yapılmıştır. 2 işletim sonrasında elde edilen 10 L UF çıkış suyu büyük basınçlı sistemde ikinci, üçüncü ve dördüncü günlerde NF<sub>gevşek</sub> filtrasyonuna tabi tutulmuştur. Birinci ve ikinci günlerde her işletimde 5 L UF çıkış suyu yerine 5 L ham su Fenton/batık UF reaktörüne ilave edilirken, üçüncü, dördüncü ve beşinci günlerin birinci işletimlerinde elde edilen 2 L NF<sub>gevşek</sub> konsantresi 3 L ham su ile karıştırılarak Fenton/batık UF reaktörüne ilave edilmiştir.

NF<sub>gevşek</sub> filtrasyonu bir gün süreyle %80 konsantre etme oranında 2 L konsantre ve 8 L süzüntü suyu elde edilene kadar sürmüştür. NF<sub>gevşek</sub> filtrasyonunda elde edilen 2 L konsantre 3 L ham su ile karıştırılarak Fenton/batık UF reaktörüne verilirken, elde edilen 8 L süzüntü suyu TO filtrasyonu için aynı basınçlı sistem kullanılarak deneyler yürütülmüştür. NF filtrasyonunda olduğu gibi, %80 konsantre etme oranında TO filtrasyon deneyleri tamamlandığında 1,6 L konsantre ve 6,4 L süzüntü suyu elde edilmiştir. Üçüncü, dördüncü ve beşinci günlerde gerçekleştirilen TO filtrasyon deneyleri birer günde tamamlanmıştır. TO filtrasyonu sonrasında elde edilen 1,6 L TO konsantresi ise NF<sub>gevşek</sub> deneylerinde kullanılmak üzere bekletilmiştir. Üçüncü günde elde edilen Fenton/batık UF reaktöründen çıkan süzüntü suyu (toplam 10 L) ile TO filtrasyonu sonucunda kalan 1,6 L TO konsantresi karıştırılarak, karışımdan alınan 10 L NF<sub>gevşek</sub> sisteminde tekrar %80 konsantre edilerek (2 L konsantre-8 L süzüntü) işletim tekrarlanmıştır. NF<sub>gevşek</sub> deneyi sonunda elde edilen süzüntü suyu tekrar TO filtrasyonu için basınçlı sisteme konulmuştur. Bir gün sonunda 1,6 L TO konsantresi elde edilmiştir. NF<sub>gevşek</sub> süzüntü akılarının kararlı hale ulaştığı üçüncü tekrarda oluşan konsantre İOP/batık UF reaktörüne geri devredilerek deneyler tamamlanmıştır. Tablo 4.5'de işletilen Fenton destekli

İOP/UF-NF<sub>gevşek</sub>-TO bütünleşik membran sisteminde pH, Renk, TÇK, Ei, TOK, KOİ değişimleri ham atıksu, Fenton, Fenton/batık UF, NF<sub>gevşek</sub> ve TO çıkış suları için ayrı ayrı verilmiştir. 5 günlük deney süresince her işletim sonrasında kalan toplam demir konsantrasyonu Şekil 4.5'deki gibidir. Şekil 4.5'de {Fenton/batık UF}/[NF<sub>gevşek</sub>-TO] entegre sistemi ile organik madde giderim verimleri TOK ve KOİ parametreleri üzerinden karşılaştırılmıştır. Batık UF ve NF<sub>gevşek</sub> ve TO membran filtrasyonunda kararlı hal süzüntü akı değerleri Şekil 4.5'de verilmiştir.

pH, oksidasyon basamağında düşüş eğilimi göstererek Fenton/batık UF çıkışında 3,09'lara düşmüş fakat NF<sub>gevşek</sub> filtrasyon çıkışında 5,37, TO filtrasyon çıkışında 6,57 değerlerine çıkararak iki kademeli membran filtrasyonu ile pH değeri suyun yeniden kullanım kriterlerine ulaşmıştır. TO filtrasyonu sonucunda süzüntü suyunda TÇK ve Ei değerleri sırasıyla 4,67 mg/L ve 10,02 µS/cm değerlerini almıştır. Renk parametresi TO filtrasyonu ile 0,001 A değerine kadar düşmüştür. Organik madde giderimi Fenton/batık UF reaktörü girişi ve çıkışı ve 3 kez tekrarlanan NF<sub>gevşek</sub> filtrasyonunda kararlı hale ulaşarak nihai konsantrasyon oluşmaksızın, TO çıkışında TOK değeri %99,52 giderim verimi ile 1,06 mg/L'ye, KOİ değeri %99,67 giderim verimi ile 2 mg/L değerlerini alarak, yüksek kalitede yeniden kullanım suyu elde edilmiştir. Şekil 4.5'e bakıldığında, {Fenton/batık UF}/[NF<sub>gevşek</sub>-TO] entegre sisteminde demir (+) ve demir (+3) kaynaklı toplam demir konsantrasyonu 2,6 mg/L' dir. Şekil 4.5'de verildiği üzere kararlı hale ulaşıldığında, UF (UH050) akısı artarak 700 L/m<sup>2</sup> sa, NF<sub>gevşek</sub> (NFG) akısı 60,43 L/m<sup>2</sup> sa ve TO (LFC-3) akısı 80 L/m<sup>2</sup> sa değerlerini almıştır.

•UVA Foto-Fenton Destekli [NF<sub>gevşek</sub>/TO] sistemi ({UVA-Fenton/UF}/[NF<sub>gevşek</sub>/TO])

350 mg/L TOK değerine sahip 20 L ham atıksu UVA-Fenton/batık UF reaktörüne konarak Tablo 3.7'de verilen gerekli demir ve hidrojen peroksit ilaveleri (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/TOK (g/g) oranı 7,75 ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe<sup>2+</sup> (g/g) oranı 10,75) sonrasında pH düzenlemesi yapılarak 5 gün süreyle işletilmiştir.

Günde 2 işletim üzerinden her işletimde 5 L UF çıkış suyu elde edilecek şekilde gerçekleştirilen {UVA-Fenton/batık UF} proses deneylerinde her işletim öncesinde reaktördeki atıksuyun TOK değerine bağlı olarak demir ve hidrojen peroksit ilaveleri gerçekleştirilmiştir. Her gün iki işletim sonunda elde edilen 10 L UF çıkış suyu büyük basınçlı sistemde NF<sub>gevşek</sub> filtrasyonuna tabi tutulmuştur. Birinci

ve ikinci günlerde her işletimde 5 L UF çıkış suyu yerine 5 L ham su UVA-Fenton/batık UF reaktörüne ilave edilirken, üçüncü, dördüncü ve beşinci günlerin birinci işletimlerinde elde edilen 2 L  $NF_{gevşek}$  konsantresi 3 L ham su ile karıştırılarak reaktöre verilmiştir.  $NF_{gevşek}$  filtrasyonu %80 konsantre etme oranında 2 L konsantre ve 8 L süzüntü suyu elde edilene kadar işletilmiştir. Her  $NF_{gevşek}$  deneyi yaklaşık olarak bir gün sürmüştür.  $NF_{gevşek}$  filtrasyonunda elde edilen 2 L konsantre 3 L ham su ile karıştırılarak UVA-Fenton/batık UF reaktörüne verilirken, elde edilen 8 L süzüntü suyu TO filtrasyonu için  $NF_{gevşek}$  deneyi sonrasında aynı basınçlı sistem kullanılarak TO filtrasyonuna tabi tutulmuştur. NF filtrasyonunda olduğu gibi, %80 konsantre etme oranında işletilen basınçlı filtrasyon sisteminden 1,6 L TO konsantresi ve 6,4 L TO süzüntü suyu elde edilene kadar filtrasyon deneyi devam etmiştir. Üçüncü, dördüncü ve beşinci günlerde gerçekleştirilen TO deneyleri birer gün sürmüştür. TO sisteminde elde edilen 1,6 L TO konsantresi ise  $NF_{gevşek}$  deneylerinde kullanılmak üzere bekletilmiştir. Üçüncü gün elde edilen UF çıkış suyu (10 L) ile TO filtrasyonu sonucunda kalan 1,6 L konsantre karıştırılarak, karışımdan alınan 10 L atıksu  $NF_{gevşek}$  sisteminde %80 konsantre edilerek (2L konsantre-8 L süzüntü) filtrasyon deneyi yapılmıştır. Bir gün süren  $NF_{gevşek}$  deneyi sonunda elde edilen süzüntü tekrar TO filtrasyonu için basınçlı sistemde filtre edilmiştir.  $NF_{gevşek}$  süzüntüsü kararlı hale ulaşılan üçüncü deney tekrarı sonunda UVA-Fenton/batık UF reaktörüne geri devredilerek deneyler tamamlanmıştır.

Tablo 4.5’de Foto-Fenton destekli {UVA-Fenton/batık UF}/[ $NF_{gevşek}$ -TO] bütünleşik membran sisteminde pH, Renk, TÇK, Ei, TOK, KOİ değişimleri ham atıksu, UVA-Fenton, UVA-Fenton/batık UF,  $NF_{gevşek}$  ve TO filtrasyon çıkış suları için ayrı ayrı verilmiştir. 5 günlük deney süresince her işletim sonrasında kalan toplam demir konsantrasyonu ise Şekil 4.5’deki gibi değişmektedir. Şekil 4.5’de organik madde giderimi açısından {UVA-Fenton/batık UF} ve {UVA-Fenton/batık UF}/[ $NF_{gevşek}$ -TO] teknolojileri TOK ve KOİ giderim verimi üzerinden karşılaştırılmıştır. Batık UF, ve  $NF_{gevşek}$  ve TO membran filtrasyonunda kararlı hal süzüntü akı değerleri ise UF için 10 ve  $NF_{gevşek}$  ve TO için 3 işletim üzerinden Şekil 4.5’de verilmiştir.

Tablo 4.5’de görüldüğü üzere pH parametresi UVA/batık UF reaktöründe 2,26 seviyelerinde kararlı hale ulaşmıştır. pH,  $NF_{gevşek}$  filtrasyon deneylerinin sonunda 3,16 seviyelerinde kalırken, TO filtrasyonu sonrasında 4,44 değerine çıkmıştır. Renk, her işletim başlangıcında TOK parametresine bağlı olarak reaktöre ilave edilen demir

kaynaklı olup,  $NF_{\text{gevşek}}$  filtrasyonu ile 0,025 A'lara, TO filtrasyonu ile 0,001 A'lara düşmüştür.  $E_i$  ve TÇK değerleri bütün işletimlerde benzer değişimler göstermiş,  $NF_{\text{gevşek}}$  filtrasyonunda sırasıyla 880  $\mu\text{S/cm}$  ve 433 mg/L'lere kadar düşmesine karşın, TO filtrasyonunda 2,5 katına çıkarak 2110  $\mu\text{S/cm}$  ve 1060 mg/L değerlerini almıştır.

Su geri kazanımının hedeflendiği arıtma proseslerinde organik madde giderimi önemli bir parametredir. Bu çalışmada organik madde giderimi TOK ve KOİ parametreleri üzerinden değerlendirilmiş olup başlangıçtaki ham atıksu ile İOP sonrasındaki TOK ve KOİ değişimleri benzerlikler göstermekte olup  $NF_{\text{gevşek}}$  sonrasında TOK 23,8 mg/L'ye KOİ değeri 48 mg/L'ye düşürülmüş iken TO filtrasyonu sonrasında TOK 1,9 mg/L, KOİ ise 5,0 mg/L'lere düşerek %99 seviyelerinde giderim performansı yakalanmıştır.

Şekil 4.5'e bakıldığında, UVA oksidasyonu ile toplam Fe konsantrasyonu 441,2 mg/L'lere kadar çıkmış ancak devamında UF membranının demiri %50-55 seviyelerinde tuttuğu,  $NF_{\text{gevşek}}$  filtrasyonu ile toplam demir konsantrasyonunu 9,6 mg/L, TO filtrasyonu ile 3,6 mg/L değerindedir.

Şekil 4.5'de görüldüğü üzere, sistem bütünündeki proseslerin ardışık kararlı hal işletimleri ile UVA-Fenton/batık UF reaktörünün girişine ham tekstil suyu ile birlikte  $NF_{\text{gevşek}}$  konsantresi,  $NF_{\text{gevşek}}$  girişine ise TO konsantresi döndürülerek, UF (UV150) süzüntü akısı 96,4 L/m<sup>2</sup> sa ile reaktör içerisinde TOK ve KOİ giderimleri sırasıyla %59 ve %73,7 seviyelerinde iken, 52,14 L/m<sup>2</sup> sa kararlı hal akısında  $NF_{\text{gevşek}}$  (NFG) sonrasında %89 ve %93,1; 33 L/m<sup>2</sup> sa süzüntü akısında TO (LFC-3) sonrasında %99,2 ve %99,3 performans ile sistem işletimi tamamlanmıştır. {UVA-Fenton/batık UF}/[ $NF_{\text{gevşek}}$ -TO] bütünlük membran sistemi çıkışında TOK konsantrasyonu 1,9 mg/L, KOİ konsantrasyonu ise 5,0 mg/L değerini alarak, süzüntü suyunun hedeflenen yeniden kullanım suyu için uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

•UVC Foto-Fenton Destekli [ $NF_{\text{gevşek}}$ /TO] sistemi ({UVC-Fenton/UF}/[  $NF_{\text{gevşek}}$  /TO])

TOK değeri 375 mg/L olan ham tekstil atıksuyu H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/TOK (g/g) oranı 9,88 ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe<sup>2+</sup> (g/g) oranı 7,27 olacak şekilde Tablo 3.7'de verilen gerekli demir ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ilavelerinden sonra pH ayarlaması yapılarak 20 L'lik UVC-Fenton/batık UF reaktöründe oksidasyona tabi tutulmuştur. 5 gün süreyle devam eden deneylerde her gün iki işletim gerçekleştirilmiş ve her işletim sonunda 5 L UF çıkış suyu elde



edilmiştir. Her işletim başlangıcında reaktördeki TOK değerinden yola çıkılarak gerekli demir ve hidrojen peroksit ilaveleri yapılmıştır.

UVC-Fenton/batık UF reaktörü günde iki işletim üzerinden 10'ar L çıkış suyu elde edilecek şekilde 10 kez işletilmiş olup çıkışta elde edilen 10 L süzüntü suyu  $NF_{\text{gevşek}}$  ile %80 oranında konsantre edilmiştir. Birer gün süren deneyler sonucunda 8 L süzüntü suyu elde edilerek 2 L NF konsantresi oluşmuştur. İkinci günde her iki işletimde de 5'er L ham su reaktöre ilave edilirken, üçüncü, dördüncü ve beşinci günlerde, elde edilen 2L NF konsantresi 3 L ham suyla karıştırılarak UVC-Fenton/batık UF reaktörüne ilave edilmiştir.  $NF_{\text{gevşek}}$  sisteminde elde edilen 8 L süzüntü suyu TO ile filtrasyona tabi tutularak, bir günlük deney süresi sonunda %80 konsantre etme oranında 1,6 L TO konsantresi ile 6,4 L süzüntü suyu elde edilmiştir. TO filtrasyonu sonrasında elde edilen 1,6 L konsantre,  $NF_{\text{gevşek}}$  filtrasyonu için deneylerde kullanılmak üzere bekletilmiştir. İkinci gün sonunda elde edilen UVC-Fenton/batık UF çıkış suyu (5+5 L) ile TO filtrasyonu sonrasında oluşan 1,6 L konsantre karıştırılarak, karışımdan alınan 10 L  $NF_{\text{gevşek}}$  sisteminde %80 konsantre edilerek (2L konsantre-8 L süzüntü) işletim tekrar edilmiştir. Ardışık şartlarda işletilen batık UF çıkış suyunun  $NF_{\text{gevşek}}$  ve TO filtrasyonları üçer işletim günü sürmüş olup, filtrasyon akısı kararlı hale üç işletimde tamamlanmıştır.

Tablo 4.5'de Foto-Fenton destekli {UVC-Fenton/batık UF}/[ $NF_{\text{gevşek}}$ -TO] bütünlük membran sisteminde pH, Renk, TÇK, Ei, TOK, KOİ değişimleri ham atıksu, UVC-Fenton, UVC-Fenton/UF,  $NF_{\text{gevşek}}$  ve TO çıkış suları için ayrı ayrı verilmiştir. 5 günlük deney süresince her işletim sonrasında kalan toplam demir konsantrasyonu Şekil 4.5'deki gibi değişmektedir. Şekil 4.5'de {UVC-Fenton/batık UF}/[ $NF_{\text{gevşek}}$ -TO] entegre sisteminde organik madde giderim verimleri TOK ve KOİ parametreleri üzerinden karşılaştırılmıştır. Batık UF,  $NF_{\text{gevşek}}$  ve TO membran filtrasyonunda kararlı hal süzüntü akı değerleri Şekil 4.5'de verilmiştir.

Ham tekstil atıksuyu UVC-Fenton oksidasyonu ve UVC-Fenton /batık UF hibrit prosesinde pH benzer değişimler göstermekte olup, pH değeri 2 seviyelerinde kararlı hale ulaşmıştır. pH değeri membran filtrasyonu ile  $NF_{\text{gevşek}}$  çıkış suyunda 3,07, TO çıkış suyunda 4,24 değerlerine çıkmıştır. Demir ilavesinden dolayı UVC-Fenton/batık UF reaktöründe renk artış eğiliminde olup membran NF ve TO filtrasyonu ile renk 0,001 A değerinin altına düşmüştür. UVC-Fenton/batık UF reaktöründe ham tekstil atıksuyunda 2044 mg/L civarında olan TÇK değeri,  $NF_{\text{gevşek}}$  ile 650 mg/L değerine kadar düşmüş, daha sonra TO membran filtrasyonunda 1400

mg/L'lere çıkmıştır. Ei ise ham atıksuda 3940  $\mu\text{S}/\text{cm}$  iken  $\text{NF}_{\text{gevşek}}$  sonrasında süzüntü suyunda 1220  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'ye düşerken, TO filtrasyonu sonrasında TÇK' da olduğu gibi 2660  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'lere çıkmıştır.

255,6 mg/L ve 646 mg/L değerlerindeki ham tekstil atıksuyu TOK ve KOİ değerleri, kararlı hale ulaştığında {UVC-Fenton/batık UF}/[ $\text{NF}_{\text{gevşek}}$ -TO] entegre sistemi ile sırasıyla 72,5 mg/L ve 176 mg/L'lere,  $\text{NF}_{\text{gevşek}}$  filtrasyonu ile 21,3 mg/L ve 44 mg/L'lere, TO filtrasyonu ile ise 2,2 mg/L ve 5,9 mg/L'lere kadar düşmüştür. Şekil 4.5'de görüldüğü üzere, UVC-Fenton/batık UF reaktöründe kararlı hale ulaşıldığında toplam Fe konsantrasyonu yaklaşık 554,6 mg/L değerinde olup, NF filtrasyonu sonrasında toplam demir konsantrasyonu 35,76 mg/L'ye, TO filtrasyonu sonrasında 1,7 mg/L'ye düşerek, özellikle de TO filtrasyonu ile sudaki demir hemen hemen tamamen uzaklaştırılmıştır. Şekil 4.5'de verilen TOK ve KOİ giderim verimleri, hibrit sistem bütününde ayrı ayrı değerlendirilecek olursa, {UVC-Fenton/batık UF}/[ $\text{NF}_{\text{gevşek}}$ -TO] bütünleşik sistemi en yüksek verimin elde edildiği kombinasyon olarak görülmekte olup her iki parametre için de %99'un üzerinde giderim verimi elde edilmiştir. Kararlı hal süzüntü akıları UF (UH050) prosesinde 588  $\text{L}/\text{m}^2\text{sa}$ ' e kadar çıkarken,  $\text{NF}_{\text{gevşek}}$  (NFG) ve TO (LFC-3) filtrasyonlarında üçer kez işletilerek sırasıyla 48,9  $\text{L}/\text{m}^2\text{sa}$  ve 20,14  $\text{L}/\text{m}^2\text{sa}$  değerlerinde kararlı hale ulaşmıştır.

Fenton destekli ve Foto-Fenton (UVA-365 ve UVC-254) destekli {İOP/UF}/[ $\text{NF}_{\text{gevşek}}$ -TO] entegre membran arıtma sistemlerinde uzun süreli işletimlerle kararlı hale ulaşıldığında her bir proses adımı için organik madde ve renk giderim performansları Şekil 4.6'da verilmiştir. Fenton destekli ve Foto-Fenton (UVA-365 ve UVC-254) destekli {İOP/UF}/[ $\text{NF}_{\text{gevşek}}$ -TO] bütünleşik membran sistemlerinde geri kazanım suyu kalitesi ve toplam sistem verimleri sırasıyla Tablo 4.6'da ayrı ayrı sunulmuştur.

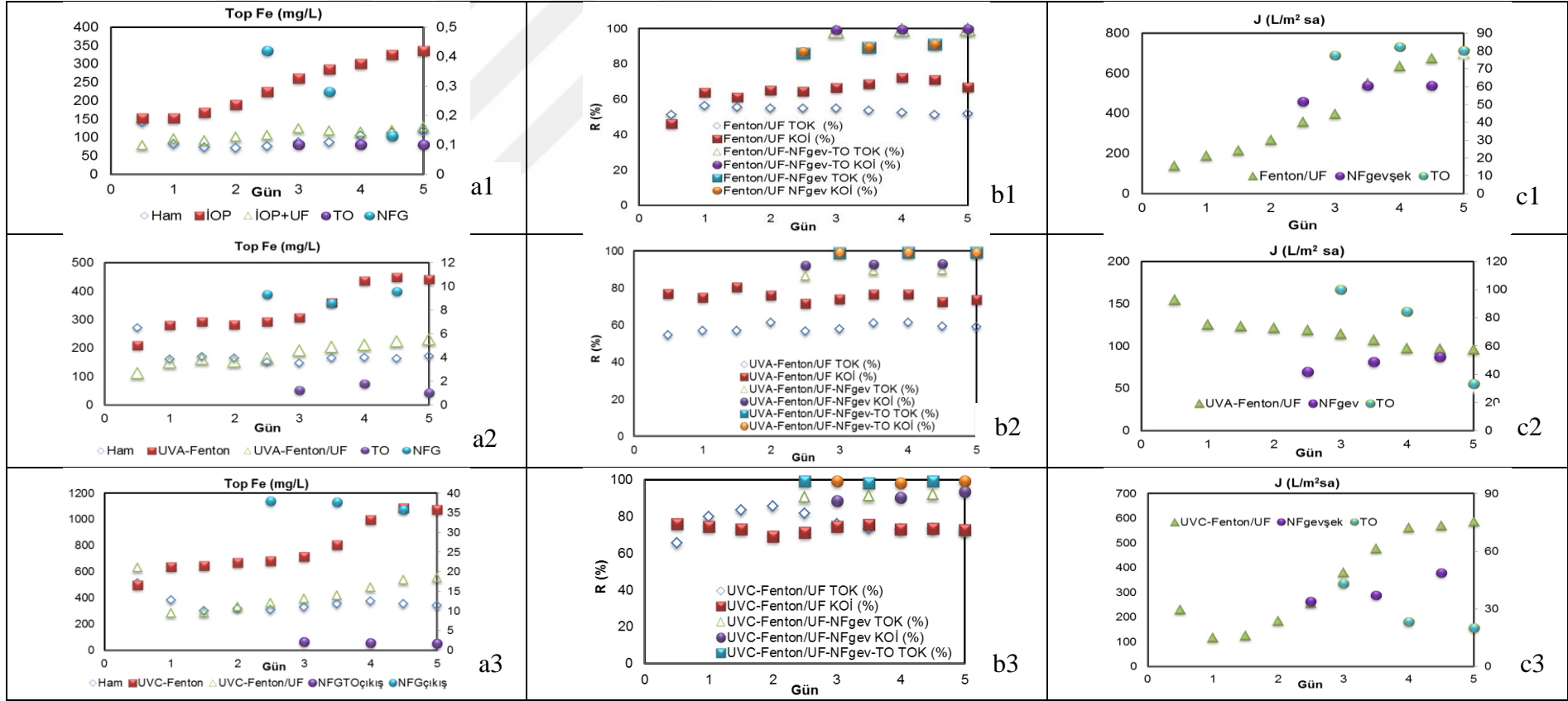
Her üç hibrit sistemde oluşan  $\text{NF}_{\text{gevşek}}$  ve TO filtrasyonu sonrasında oluşan membran konsantrasyonlarının bertarafını da içine alan bir yaklaşımla oluşan  $\text{NF}_{\text{gevşek}}$  konsantrasyonu belirli günlerde İOP/batık UF reaktörüne geri devredilerek, oluşan TO konsantrasyonu ise UF çıkış suyu ile karıştırılıp  $\text{NF}_{\text{gevşek}}$  sisteminde %80 konsantrasyon edilerek, tüm sistemde atıksu arıtımı ile birlikte konsantrasyon bertarafı da gerçekleşmekte ve eş zamanlı olarak da reaktörde kararlı hal durumu bozulmadan geri kazanım suyu temin edilebilmektedir.

Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, sadece {Fenton/UF}/[NF<sub>gevşek</sub>-TO] sisteminde pH ayarlaması yapılmadan elde edilen çıkış suyu kalite değerlerinin tamamının herhangi bir demir ve renk problemi olmaksızın, literatürde verilen ve tez kapsamında hedeflenen yeniden kullanım suyu kriterleri (Tablo 3.8) ile uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır. Fenton destekli ve Foto-Fenton (UVA-365 ve UVC-254) destekli {İOP/UF}/[NF<sub>gevşek</sub>-TO] sistemlerinde çıkış suyunda TOK ve KOİ değerleri sırasıyla 1,06 ve 2 mg/L, 1,9 ve 5,0 mg/L, 2,2 ve 5,9 mg/L gibi çok düşük değerler olarak bu sistemler ile yüksek organik madde giderimi sağlanmıştır.

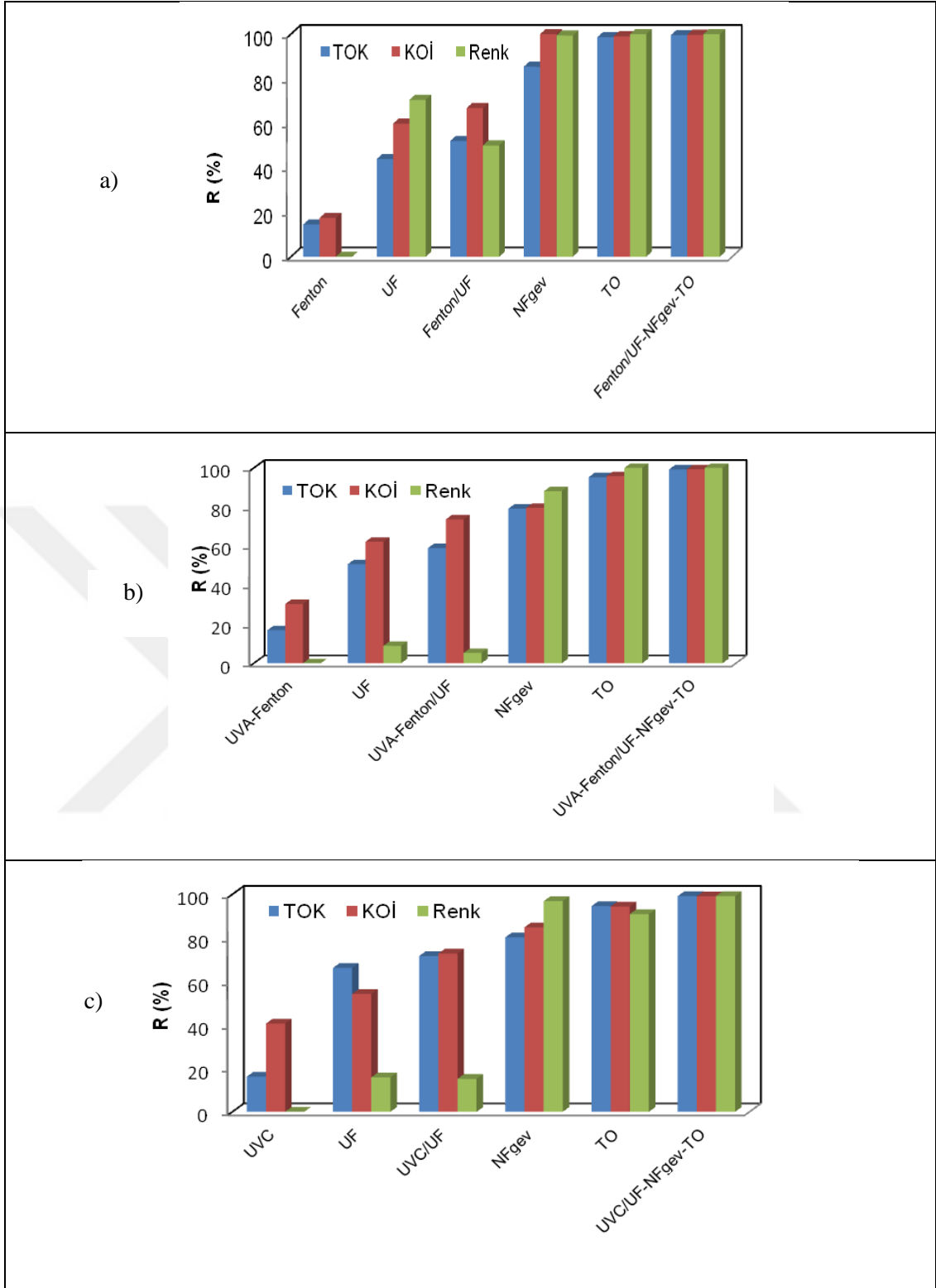
Kararlı hal işleme dayalı konsantrasyon akım döngüsü (reaktöre ham atıksuyla beraber sonraki adımdaki MP konsantrasyonu beraberce ilave edildiği konsantrasyon geri besleme) altında; sistem bütününde İOP/batık UF hibrit sistemi ile birlikte etkin seviyelerde organik madde giderimi sağlanmasının yanı sıra batık membranda istenmeyen tıkanma problemlerine sebep olmayan membran kirlenmesi durumunun da varlığından hareketle, geri beslemeli atık minimizasyonuna dayalı konsantrasyon yönetimi etkisi ile birlikte endüstriyel su geri kazanımını başarıyla yerine getiren bütünlük bir atıksu arıtım, su geri kazanımı ve konsantrasyon yönetimi uygulamasının, Fenton destekli ve Foto-Fenton (UVA-365 ve UVC-254) destekli {İOP/UF}/[NF<sub>gevşek</sub>-TO] sistemlerinin her biri ile sağlandığı tespit edilmiştir. Nihai çıkış suyu kalite değerlerinden görülmektedir ki, tekstil endüstrisi atıksularının Fenton ve Foto-Fenton (UVA-365 ve UVC-254) destekli İOP/batık UF reaktörü sonrasında NF<sub>gevşek</sub> ve sonrasında TO filtrasyonlarının gerçekleştirildiği sistemlerde arıtılarak, üretilen endüstriyel yeniden kullanım suları Fenton hariç diğer sistemlerde pH' ayarlamasından sonra entegre sistemin membran konsantrasyon yönetimini de içine alan bir yaklaşım ile saha ölçeğe uygulanabilir olduğu görülmektedir.

Tablo 4.5: İleri Oksidasyon Destekli Batık UF ve NF<sub>sıkı</sub> ({Fenton/UF}/[ NFG-TO], {UVA-Fenton/UF}/[ NFG-TO], {UVC-Fenton/UF}/[ NFG-TO]) bütünleşik membran sisteminde pH, Renk, TÇK, Ei, TOK, KOİ değişimleri.

PARAMETRE	NFG-TO														
	FENTON					FOTO FENTON_UVA					FOTO FENTON_UVC				
	HAM	İOP	İOP/UF	NFG	TO	HAM	İOP	İOP/UF	NFG	TO	HAM	İOP	İOP/UF	NFG	TO
pH	3,33	2,66	3,09	5,37	6,57	2,52	2,39	2,26	3,16	4,44	2,25	2,07	2,03	3,07	3,74
RENK (Abs)	0,088	0,149	0,044	0,001	0	0,076	79	0,072	0,025	0	0,119	0,12	0,101	0,019	0,001
TÇK (mg/L)	1295	1401	1402	265	4,67	1599	1794	1884	433	1060	2044	2480	2520	650	1400
İLETKENLİK (µS/cm)	2550	2740	2750	548	10,18	3080	3480	3550	880	2110	3940	4720	4900	1220	2660
TOK (mg/L)	223,19	190,86	107,13	19,05	1,061	238,42	198,2	97,8	23,76	1,9	255,55	214,22	72,5	21,29	2,198
KOİ (mg/L)	608	502	202	53,6	2	706	492	186	48	5	646	384	176	44	5,9



Şekil 4.5: İleri Oksidasyon Destekli Batık UF ve NFG-TO ( $\{İOP/UF\}/[NFG-TO]$ ) bütünleşik membran sisteminde sırasıyla a)Toplam Fe Değişimi, b)Organik Madde Giderim Performansı, c)Akı Değişimleri; 1:Fenton Destekli  $\{Fenton/UF\}/[NFG-TO]$ , 2:UVA Foto Fenton Destekli  $\{UVA-Fenton/UF\}/[NFG-TO]$ , 3:UVC Foto Fenton Destekli  $\{UVC-Fenton/UF\}/[NFG-TO]$  (Sol eksen; Ham, UVA-Fenton, UVA-Fenton/UF sonuçlarını, sağ eksen; NF<sub>sıkı</sub> sonuçlarını vermektedir.).



Şekil 4.6: İleri Oksidasyon Destekli Batık UF ve NFG-TO ( $\{ \text{İOP/UF} \} / \text{[NFG-TO]} \}$ ) bütünleşik membran sisteminde sırasıyla a) Fenton destekli  $\{ \text{Fenton/UF} \} / \text{[NFG-TO]}$ , b) UVA Foto-Fenton destekli  $\{ \text{UVA-Fenton/UF} \} / \text{[NFG-TO]}$ , c) UVC Foto-Fenton destekli  $\{ \text{UVC-Fenton/UF} \} / \text{[NFG-TO]}$  sistemlerinde organik madde ve renk giderim performansları

Tablo 4.6: Fenton destekli  $\{\text{İOP/UF}\}/[\text{NF}_{\text{gevşek}}\text{-TO}]$ , UVA Foto-Fenton destekli  $\{\text{İOP/UF}\}/[\text{NF}_{\text{gevşek}}\text{-TO}]$  ve UVC Foto-Fenton destekli  $\{\text{İOP/UF}\}/[\text{NF}_{\text{gevşek}}\text{-TO}]$  bütünlük membran sisteminde geri kazanım suyu kalitesi ve toplam sistem verimleri.

Parametre	Birim	Ham atıksu	{Fenton/UF}/[NF <sub>gevşek</sub> -TO]			{UVA-Fenton/UF}/[NF <sub>gevşek</sub> -TO]				{UVC-Fenton/UF}/[NF <sub>gevşek</sub> -TO]			
			Geri Kazanım Suyu	Konsantre Atıksu	Toplam Verim (%)	Ham atıksu	Geri Kazanım Suyu	Konsantre Atıksu	Toplam Verim (%)	Ham atıksu	Geri Kazanım Suyu	Konsantre Atıksu	Toplam Verim (%)
pH	-	6,25	6,57	3,26	-	6,24	4,44	2,27	-	6,22	4,24	2,04	-
Sıcaklık	°C	25,0	26,5	26,5	-	25	40	40	-	25	40	40	-
İletkenlik	µs/cm	1172	10,2	2730	99,6	995	2110	3710	43	997	2660	4660	43
TÇK	mg/L	580	4,67	1397	99,7	490	1060	1923	45	491	1400	2450	43
Çözünmüş Oksijen	mg/L	7,05	9,3	8,59	-	7,05	8,65	8,57	-	8,39	8,86	9,39	-
KOİ	mg/L	875	2,0	640	99,7	925	5,0	790	99,4	998	5,9	280	97,9
TOK	mg/L	330	1,06	236,8	99,6	350	1,9	294	99,4	375	2,2	101	97,8
Bulanıklık	NTU	7,69	0,27	1410	100	7,77	0,44	5560	100	8,40	0,0	16100	100

Tablo 4.6: Devam.

Amonyak	mg/L	2,14	0,57	1,75	67,4	2,32	0,69	1,90	63,7	2,09	0,60	1,95	69,2
Renk	λ436:	0,189	0,001	0,030	90	0,205	0,001	0,125	97,6	0,198	0,001	0,155	98,7
	λ525:	0,191	0,001	0,010	80	0,215	0,001	0,024	87,5	0,206	0,001	0,035	97,1
	λ620:	0,242	0,001	0,008	87,5	0,246	0,002	0,014	85,7	0,235	0,000	0,015	100
Nitrat	mg/L	2,1	0,2	8,5	98,1	3,12	0,4	9,5	95,3	3,33	0,382	8,0	95,2
Sülfat	mg/L	132,0	0,0	1177	100	84,4	0,0	1752	100	86,9	0,0	3053	100
Klörür	mg/L	26,20	<0.5	<0.5	<100	26,8	<0.5	<0.5	<100	27,8	<0.5	<0.5	<100
Demir II	mg/L	0,00	0,0	30,6	100	0,0	1,0	81,8	98,8	0,0	1,7	138,8	98,8
Demir III	mg/L	0,00	2,6	304,0	99,2	0,0	2,6	505,6	99,5	0,0	0,0	1161	100
Demir (II/III)	mg/L	0,00	2,6	334,6	99,2	0,0	3,6	587,4	99,4	0,0	1,7	1300	99,9
Toplam Azot	mg/L	5,32	0,77	10,3	92,5	5,44	1,09	11,4	90,4	5,42	0,98	9,95	90,1
Toplam Sertlik	mg/L	2,16	0,0	480	100	2,15	2,09	520	99,6	2,05	2,50	265	99,1
Fenol	mg/L	9,95	0,02	-	-	10,40	0,06	-	-	9,58	0,296	-	-



## 4.2. Şahit İşletim Deneyleri

Şahit işletim deneyleri, geliştirilen yenilikçi sistemlerin saha ölçek simülasyonlarında, hibrit İOP reaktörünün hidrolik bekletme süresinin hangi değere indirilerek işletilebileceğinin (rölatif daha düşük yatırım ve işletme maliyeti eldesi için) belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. İşletimler tekstil atıksuyu için yerine getirilmiş olup ilgili deneysel çalışmalarda, İOP reaktöründeki atıksu kalitesinin membran çıkış suyundaki hedef geri kazanım kalitesini bozmadığı işletimde, her sistemin İOP reaktörü içinde UF akısının ve TOK çıkış değerinin ve sonrasında da nihai çıkış suyunda hedeflenen TOK, TÇK ve pH ile <1,0 mg/L toplam demir konsantrasyon değerleri için kirletici giderim verimlerinin kararlı hale ulaştığı konsantre geri devrin son turu esas alınarak tamamlanmıştır.

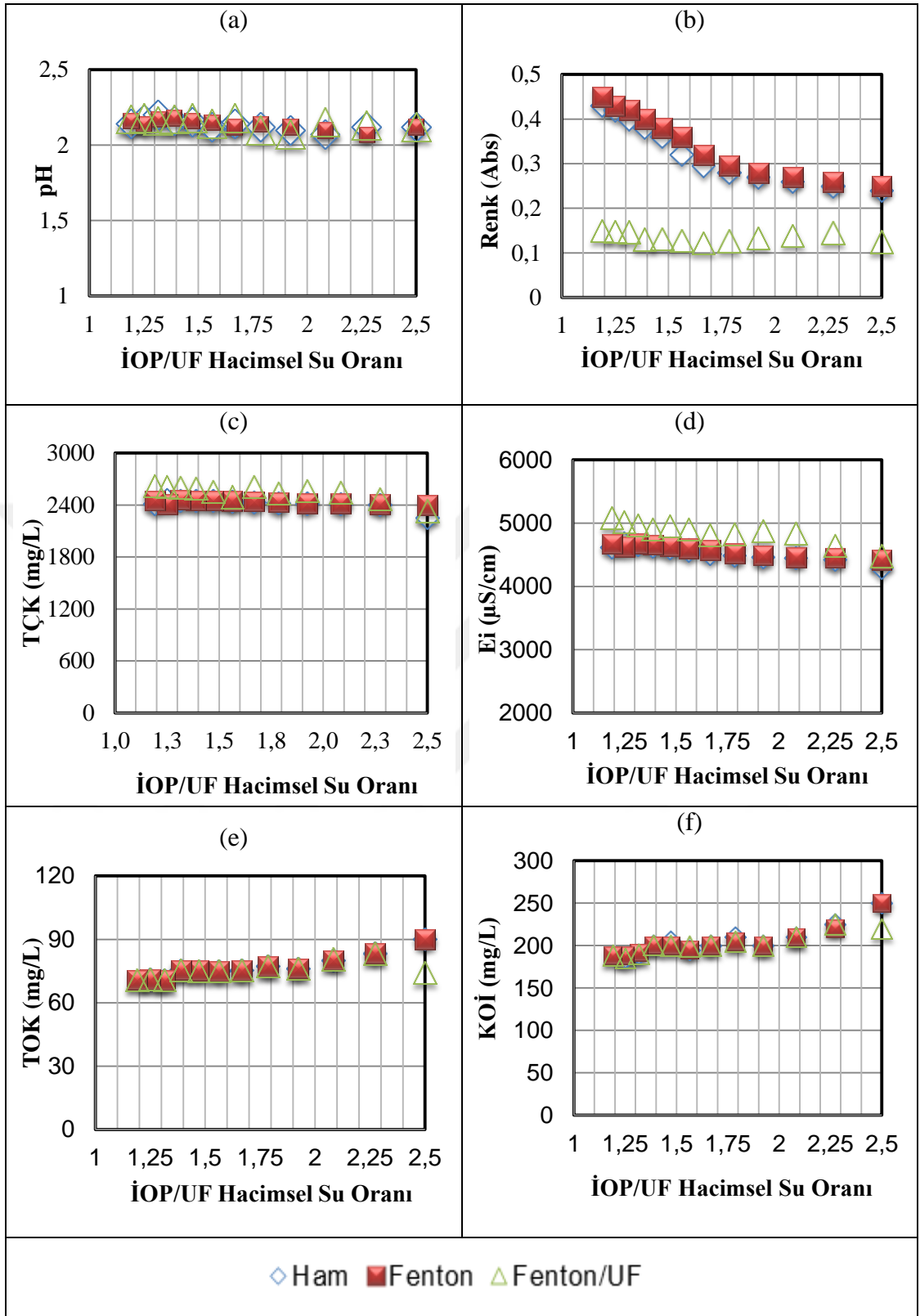
### 4.2.1. Tekstil Endüstrisi Nihai Konsantre Atıksuları

Fenton, UVA-Fenton ve UVC-Fenton destekli ve uzun süreli işletimli NF<sub>sıkı</sub> konfigürasyonun son turlarında oluşan İOP reaktör içerisindeki konsantre içerikli arıtılmış atıksular, eşdeğer oranlarda karıştırılarak tekstil endüstrisi nihai konsantre atıksuları için İOP hidrolik bekletme süresi ya da İOP/UF hacimsel oranının hangi değere kadar temsili indirilebilir olduğu belirlenmiştir. Bu itibarla, İOP/batık UF prosesinde hacimsel su çekim oranına karşı pH, renk, TÇK, E<sub>i</sub>, TOK, KOİ değişimleri; konsantrelerin deney başlangıcı karışım halini temsilen ham konsantre atıksuyu, İOP, İOP/batık UF çıkış suları için Şekil 4.7’de ayrı ayrı verilmiştir. İOP’tan azalan hacimsel su çekim oranlarında ham konsantre atıksuyu, İOP, İOP/batık UF süzüntü suyunda toplam demir konsantrasyonları ve organik madde giderim verimleri Şekil 4.8’deki gibidir. Organik madde giderim verimleri TOK ve KOİ parametreleri üzerinden belirlenerek verilmiş olup, süzüntü suyu akı değişimleri Şekil 4.9’da sunulmuştur.

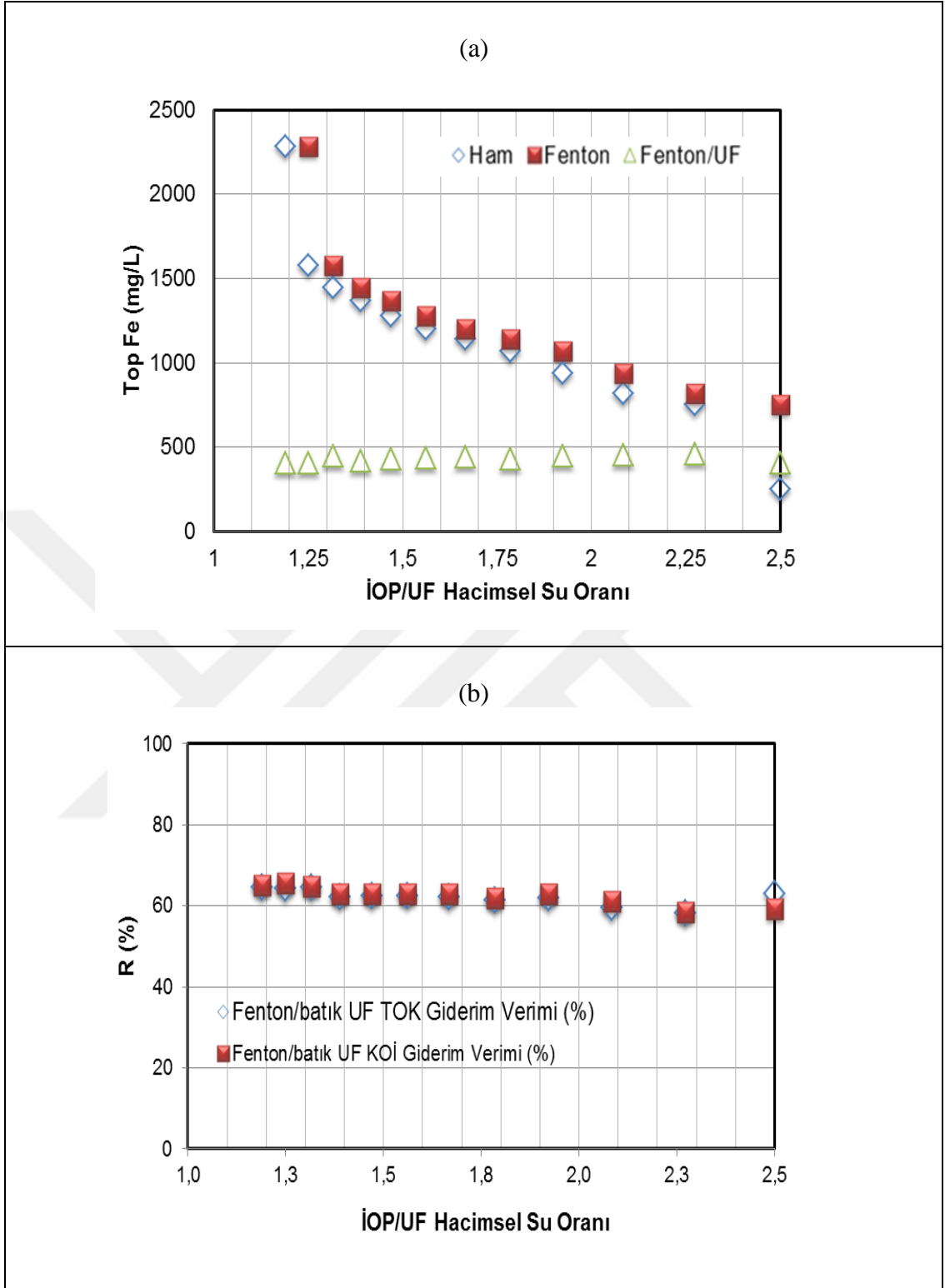
Tekstil endüstrisi atıksuları için ham konsantre atıksuyu, İOP, İOP/batık UF çıkış sularındaki pH değerleri hacimsel su çekim oranından etkilenmemiş olup, sistemin minimum işletilebildiği değer olan 1,19 gün’de yaklaşık 2,1 civarındadır. TÇK ve E<sub>i</sub> su kalite parametreleri azalan su çekim oranlarında benzer değişimler göstererek, ham konsantre atıksuyu, İOP, İOP/batık UF çıkış sularında kararlı halde bir değişim sergilediği görülmüştür. Renk parametresi de farklı hacimsel su çekim

oranlarında UF filtrasyonu sonrasında kararlı halde olup, ham ve İOP reaktörde su çekim oranı azaldıkça yaklaşık %50-60 oranlarında artış göstererek 1,19 gün'e tekabül eden 1,19'luk su çekim oranında 0,400-0,450 A değerlerine, konsantre olan reaktör atıksu hacmi dolayısıyla reaktörde artan katı ve demir içeriği ile artmıştır. Nitekim, 1,19'luk su çekim oranına doğru oldukça artan reaktör içi demir konsantrasyonu sebebiyle, toplam demir için de renk parametresiyle benzer bir değişim gözlenmiştir.

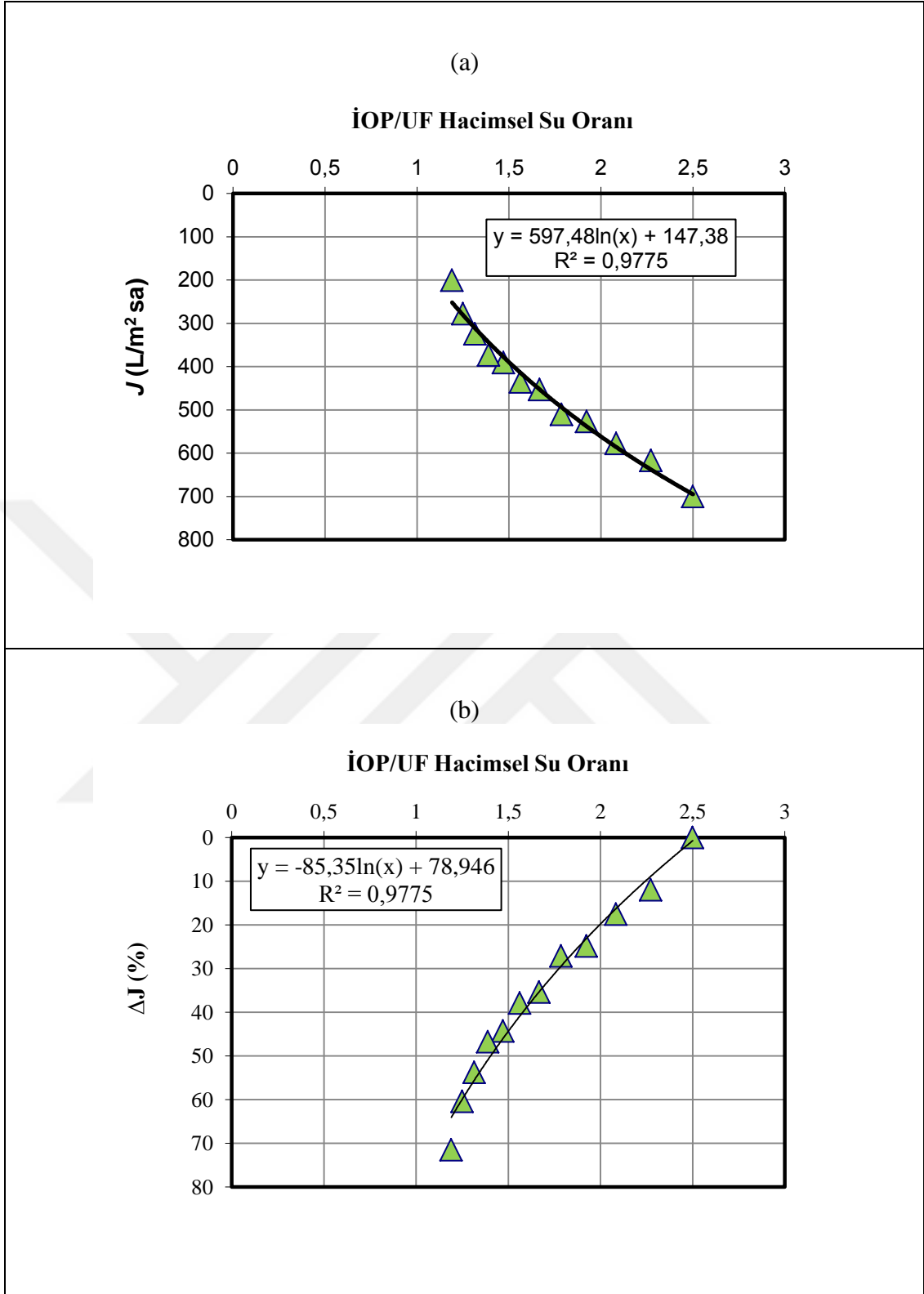




Şekil 4.7: Tekstil endüstrisi nihai konsantre karışımlarının değişen İOP/UF hacimsel su çekim oranlarına karşı a) pH, b) Renk, c) TÇK, d) Ei, e) TOK, f) KOİ değişimleri.



Şekil 4.8: Tekstil endüstrisi nihai konsantre karışımlarının değişen İOP/UF hacimsel su çekim oranlarına karşı değişen a) toplam Fe değerleri b) organik madde giderim performansları.



Şekil 4.9: Tekstil endüstrisi nihai konsantre karışımlarının değişen İOP/UF hacimsel su çekim oranlarına karşı a) UF süzüntü suyu akı değerleri b)akı değişimleri.

Hibrit işletimin bir başka faydası olarak, düşük İOP hidrolik bekletme süresinde UF filtrasyonu ile yaklaşık %70-80 oranında yüksek seviyede bir toplam demir giderim performansının elde edilebildiği görülmüştür. Bu da, bir yandan reaktör içerisinde demir konsantr olurlken, diğler yandan reaktörde eşzamanlı oksidasyon işletimi yapılmamasına karşın Fe(+3)'e dönüşümle reaktör içi katı demir miktarının arttığıının göstergesidir. Zira, İOP/UF arıtılmış çıkış suyu değlereri, işletimi yapılan su çekim oranları aralığı için 403-458 mg/L arasında hemen hemen değışmeyen değlerer ile kararlılık göstermiştir. Organik madde giderimi performansının değlerlendirilmesinde İOP, UF ve İOP/UF proseslerinde TOK ve KOİ çıkış değlerlerinin hacimsel su çekim oranı ile değışmediğı, İOP/UF prosesi ile yaklaşık %58-75 aralığındaki TOK-KOİ giderim etkinliğı ile TOK değgerinin 70-85, KOİ değgerinin de 188-220 mg/L arasında değlerlerle pek değışmeyen bir performans sergilediğı görülmüştür. Buradan, reaktörden çekilen su miktarındaki artışın çıkış suyundaki organik madde konsantrasyonunu etkilemediğı açıkça görülmektedir. Buna karşılık hacimsel su çekim oranındaki azalmayla reaktör içi artan katı madde miktarına doğrudan bağılı olarak, hacimsel su çekim oranı 2,5'da süzüntü akısı 700 L/m<sup>2</sup>sa iken, 1,19'da süzüntü akısı 200 L/m<sup>2</sup>sa olup %71,43'lük bir azalış ile akı değgerinde önemli seviyede düşüş olduğı gözlenmiştir.

Bu sonuçlar ışığında, teknolojik olarak İOP/batık UF reaktöründen maksimum çekilebilecek süzüntü suyu miktarına bağılı olarak, saha ölçek simülasyon hesaplamalarında kabul edilebilecek minimum hacimsel su oranı değgeri 1,19 (İOP hidrolik bekletme süresi 1,19 gün) olarak belirlenmiştir. Lab-ölçek pilot işletim uygulamasından görülmektedir ki, değışen hacimsel su çekim oranına karşın organik ve inorganik madde giderim verimlerinde dikkate değger bir değışim gözlenmemiş olmasına rağmen, reaktörde yüksek akı düşüşleri ile karşılaşmıştır. Hacimsel su çekim oranı azaldıkça, mühendislik uygulaması yaklaşımı altında, İOP reaktör hacmi ve batık UF modül sayısı azalacağından (tekstil atıksuyunda yaklaşık 2 kat), saha ölçek işletimli arıtma sistemlerinin daha az yatırım ve işletme maliyeti değgerleri ile etkin konsantr yönetimi ve endüstriyel su geri kazanımı içerikli uygulamalarının sağlanacağı değgerlendirilmektedir.

### 4.3. Konsantre Yönetimi: Analizler, Sınıflandırma ve Değerlendirmeler

Bu tez kapsamında, bütünleşik İOP/MP kombinasyonunda oluşacak konsantre atıklar (atık sıvılar) için üç aşamalı bir yönetim modeli uygulanmıştır. Bu bağlamda,

- Birinci aşamada;

Önerilen sistemlerde İOP reaktöründe oluşan konsantre atıkların tüm fiziksel, kimyasal ve toksikolojik analizleri yapılmıştır.

- İkinci aşamada;

Birinci aşamada elde edilen analiz bulgularına göre konsantre atıkların tehlike sınıflamaları yapılarak, arıtma seçenekleri içerisinde yönetilebilirliklerini de içerisine alan değerlendirmeler gerçekleştirilmiştir.

- Üçüncü aşamada;

Üretilen membran konsantre akımlarının farklı bertaraf etme yöntemleri ile (insinerasyon, düzenli depolama, merkezi endüstriyel atıksu arıtma tesisine verme) yönetimi değerlendirilerek, sistemler bütününde en uygun çevresel konsantre yönetim metodolojisi'ne karar verilmiştir. Bunun için temel ölçüt de, İOP reaktöründeki atıksu kalitesinin membran çıkış suyu kalitesini bozmadığı zamana/şartlara göre uzun süreli işletimin deneysel işletimlerde sağlanması olmuştur.

Konsantre atık yönetimi konusundaki test ve analizler TÜBİTAK MAM Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü Laboratuvarları'ndan hizmet alımı vasıtasıyla gerçekleştirilmiş olup; numunelere uygulanan testler ve analiz yöntemleri Tablo 3.1'deki gibidir. Konsantre yönetim modelinin birinci aşamasında, tekstil atıksuyu için önerilen sistemlerde deneyler sonucunda oluşan nihai konsantrelerin değerlendirmeleri için numuneler TÜBİTAK MAM'a ayrıca gönderilmiş olup, analiz ve değerlendirme sonuçları sırasıyla Tablo 4.7, Tablo 4.8, Tablo 4.8, Tablo 4.9, Tablo 4.10 Tablo 4.11, Tablo 4.12'de sunulmuştur.

Bu tablodaki kodlar; Gebze (G: Tekstil atıksuyu konsantresi) olduğu şekliyle 1, 2, 3 numaraları ile Fenton, Foto-Fenton (UVA-365 ve UVC-254) arıtımını, ikinci sıradaki rakamlar 1, 2, 3 sırasıyla  $[NF_{sıkı}]$ ,  $[TO]$ ,  $[NF_{gevşek}/TO]$  olmak üzere MP uygulama adımlarını göstermektedir. Fenton destekli için G1-1, G1-2; Foto-Fenton (UVA) destekli için G2-1, G2-2; Foto-Fenton (UVC) destekli için ise G3-1, G3-2; kodları ile tanımlanmıştır.

Tekstil endüstrisi için membran konfigürasyonu ile arıtımı sonucunda oluşan konsantre akımının {İOP/batık UF} proseste Fenton ve Foto-Fenton (UVA ve UVC) oksidasyonu sonrası konsantrelerinde analiz/içerik belirleme sonuçları, Fenton destekli {İOP/UF}/[NF<sub>sıkı</sub>] ve {İOP/UF}/[TO] yenilikçi sistemleri için Tablo 4.13’de verilmiştir. Yenilikçi söz konusu sistemlerde oluşan konsantre atıkların tehlikelilik özellikleri, bertaraf/geri kazanım yöntemleri ve yeniden kullanım alternatifleri Tablo 4.14’de değerlendirilmiştir.

Belirtilen TÜBİTAK raporlarında analizleri yapılmış konsantre atıklar, 02.04.2015 tarih ve 29314 sayılı “Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmelik” çerçevesinde 161002 (Saha dışı arıtmaya gönderilecek ve 161001 dışındaki sulu sıvı atıklar) kodu ile tanımlanmaktadır. Önerilen sistem konsantrelerinin ekotoksikite analiz sonuçlarının bazılarında, Sınıf 3 “Çok toksik” olduğu için, sulu sıvı atıkların biyolojik yaşama zararlı olacağı ve ayrıca analiz raporunda da “ekotoksik özellikleri nedeniyle açıkta geçici depolanmamalı ve alıcı ortamlara karışmasını engelleyici tedbirler alınmalıdır” ibaresine yer verilmiştir. Bu bilgi ve değerlendirmeden yola çıkılarak, ilgili mevzuat bilgileri ışığında tez kapsamına giren tüm nihai konsantrelerin 161001 muhtemel tehlikeli sınıfta değerlendirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Zira, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı-Atık Yönetimi Yönetmeliği’nin Madde 11(1)’e göre, “muhtemel tehlikeli, (M) atıkların, tehlikelilik özelliklerinin belirlenmesi gerekir” denmektedir. Bu amaçla yapılacak çalışmalarda, ek-3/A’da listelenen özelliklerden H3 (Yüksek oranda alevlenir yada Alevlenir), H4 (Tahriş edici), H5 (Zararlı), H6 (Toksik), H7 (Kanserojen), H8 (Aşındırıcı-korozif) ile H10 (Üreme sistemine toksik) ve H11 (Mutojenik) ile ilgili değerlendirmeler, ek-3/B’de yer alan konsantrasyon değerleri esas alınarak yapılır denmektedir. Bu teze konu olan tekstil atıksularının, konsantre edilmeksizin dahi tahriş edici, zararlı, toksik ve aşındırıcı olduğu bellidir. Nitekim bu atıksular, ileri oksidasyonla arıtmaya tabi tutularak daha da konsantre edilmiş olduklarından, bu özellikleri daha ileri seviyede barındırmaktadırlar.

14.03.2005 tarih ve 25755 sayılı “Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği”nde “Tanımlar” başlığı altında RG-4/9/2009-27339 ile değiştirilmiş “tehlikeli atık” tanımı dahilinde, “Ayrıca doğal karakterleri ya da oluşmalarına neden olan aktiviteye bağlı olarak bu Yönetmeliğin ekinde yer alan EK-3 A’da veya EK-3-B’de bulunup E-4’te verilen maddeleri içeren atıkların, Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmeliğin ekinde yer alan EK-III A’daki özelliklerden bir veya



birkaçına sahip olmaları ve aynı Yönetmeliğin ekinde yer alan EK-III B’de verilen tehlikeli özellikleri göstermeleri durumunda tehlikeli atık olarak sınıflandırılan atıkları ifade eder” denmektedir. İlgili tanımın altı çizili verilmiş kısmından, mevzuat hükümlerine göre H3-H8 ile H10-H11 özelliklerinden bir ya da birkaçını barındıran atıkların, “A kodlu tehlikeli atık” olarak değerlendirilmesi gerektiği sonucuna ulaşılmaktadır.

Tablodaki sonuçlar ve mevzuatlardan yapılan değerlendirmeler; önerilen sistemlerle üretilen nihai konsantre atıksuların, “1902: Atıkların fiziksel/kimyasal arıtımından kaynaklanan atıklar” kodu altındaki “190211\*: Tehlikeli maddeler içeren diğer atıklar” kapsamında olduğu ve “Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği” uyarınca bu atıkların “Tehlikeli Atık” sınıfında yer aldığı sonucunu ortaya koymuştur. Konsantre atıkların sahada nihai bertarafı için pratikte tercih edilebilir 3 bertaraf etme yöntemi olarak;

- İnsinerasyonla yakma,
- Düzenli depolama ve
- Merkezi arıtma tesisine vererek arıtma

öne çıkmaktadır. Bu yöntemler esas alınarak, literatür bilgileri ışığında gerçekleştirilen piyasa fiyat araştırmaları neticesinde; yoğun su tüketimli endüstrilerin atıksularının arıtıldığı tesislerde, günlük yüksek debilerde bertaraf edilecek nihai konsantre atıksu oluşumları söz konusu olabileceğinden, bu atıkların doğrudan düzenli depolama yapılmasının, pratikte tercih edilir bir uygulama metodu olmayacağı değerlendirilmiştir. Nitekim, 190211\* atık kodundaki atığın düzenli depolama yöntemiyle bertarafı için lisanslı firmalardan teklif alınamamıştır. Bu nedenle; tüm sistemlerin saha ölçek maliyet analizlerinde konsantre atık bertaraf yöntemlerinin 2 ana esasta uygulanmasına karar verilmiştir.

Bunlar;

- Sıfır Sıvı Deşarjı:

Konsantre atığın, endüstriyel atıksu arıtma tesisine yakın bir insinerasyon tesisinde yakılarak kalan katısının endüstriyel nihai düzenli depolama sahasında depolanarak bertarafının sağlandığı uygulamayı,

•Sıfıra Yakın Sıvı Deşarjı:

Konsantre atığın, tesis içi endüstriyel atıksu arıtma sistemi sonrasında bir merkezi endüstriyel atıksu arıtma tesisinde arıtılmasıyla kanala ya da alıcı ortama deşarj edilerek bertarafının sağlandığı uygulamayı ifade etmektedir.



Tablo 4.7: G1-1 Örneğinin Nihai Konsantre Atık Analiz Yöntemleri ve Sonucu.

Test Adı	Ölçüm Yöntemi	Ölçüm Sonuçları							
pH değeri (sulu çözelti)	TS ISO 10390	3,95							
Görünüm/Koku	-	Kahverengi-Bulanık, Kokusuz							
Kimyasal Oksijen	SM 5520 B	228							
Klorür (mg/L)	SM 4410 B	32,59							
Yağ ve Gres Tayini (mg/kg)	ASTM D 7066-04 E	<0,50							
Toplam Organik	SM 5310 B	14,14							
Parlama Tayini Noktası	ASTM D93	>105 ° C							
Ağır Metal Taraması	EPA 6020A	Cu	Pb	Cd	Cr	Ni	Zn	As	Hg
		14.8	815	2.31	287	155	15	7.6	6
Eko-Toksisite Testi	EPA 6020A	EC 50 (%)		Toksisite Sınıfı			Sonuç / Açıklama		
		5,39		3			Çok Toksik		
Akut Toksisite Testi (balıklarda)	92/69/EEC	Toksisite Sınıfı			Sonuç/Açıklama				
		ZSF=4			Düşük Riskli				
Akut Toksisite Testi (farelerde)	OECD TG 423	Toksisite Sınıfı			Sonuç/Açıklama				
		GHS=5			-				

Tablo 4.8: G1-2 Örneğinin Nihai Konsantre Atık Analiz Yöntemleri ve Sonucu.

Test Adı	Ölçüm Yöntemi	Ölçüm Sonuçları							
pH değeri (sulu çözelti)	TS ISO 10390	3,16							
Görünüm/Koku	-	Kahverengi-Bulanık, Kokusuz							
Kimyasal Oksijen	SM 5520 B	288							
Klorür (mg/L)	SM 4410 B	38,71							
Yağ ve Gres Tayini (mg/kg)	ASTM D 7066-04 E	<0,50							
Toplam Organik	SM 5310 B	6,8							
Parlama Tayini Noktası	ASTM D93	>105 ° C							
Ağır Metal Taraması	EPA 6020A	Cu	Pb	Cd	Cr	Ni	Zn	As	Hg
		36,7	1,2	4,8	495	331	52	10,8	2,2
Eko-Toksisite Testi	EPA 6020A	EC 50 (%)		Toksisite Sınıfı			Sonuç / Açıklama		
		6,51		3			Çok Toksik		
Akut Toksisite Testi (balıklarda)	92/69/EEC	Toksisite Sınıfı			Sonuç/Açıklama				
		ZSF=4			Düşük Riskli				
Akut Toksisite Testi (farelerde)	OECD TG 423	Toksisite Sınıfı			Sonuç/Açıklama				
		GHS=5			-				

Tablo 4.9: G2-1 Örneğinin Nihai Konsantre Atık Analiz Yöntemleri ve Sonucu.

Test Adı	Ölçüm Yöntemi	Ölçüm Sonuçları							
pH değeri (sulu çözelti)	TS ISO 10390	3,68							
Görünüm/Koku	-	Kahverengi-Bulanık, Kokusuz							
Kimyasal Oksijen	SM 5520 B	382							
Klorür (mg/L)	SM 4410 B	32,16							
Yağ ve Gres Tayini (mg/kg)	ASTM D 7066-04 E	<0,50							
Toplam Organik	SM 5310 B	4,45							
Parlama Tayini Noktası	ASTM D93	>105 ° C							
Ağır Metal Taraması	EPA 6020A	Cu	Pb	Cd	Cr	Ni	Zn	As	Hg
		13,8	611	3	396	1,6	29	7,63	2
Eko-Toksisite Testi	EPA 6020A	EC 50 (%)		Toksisite Sınıfı			Sonuç / Açıklama		
		1<		4			Oldukça Çok Toksik		
Akut Toksisite Testi (balıklarda)	92/69/EEC	Toksisite Sınıfı			Sonuç/Açıklama				
		ZSF=4			Düşük Riskli				
Akut Toksisite Testi (farelerde)	OECD TG 423	Toksisite Sınıfı			Sonuç/Açıklama				
		GHS=5			Fare ölümü gözlenmiştir				

Tablo 4.10: G2-2 Örneğinin Nihai Konsantre Atık Analiz Yöntemleri ve Sonucu.

Test Adı	Ölçüm Yöntemi	Ölçüm Sonuçları							
pH değeri (sulu çözelti)	TS ISO 10390	2,93							
Görünüm/Koku	-	Kahverengi-Bulanık, Kokusuz							
Kimyasal Oksijen	SM 5520 B	339							
Klorür (mg/L)	SM 4410 B	35,30							
Yağ ve Gres Tayini (mg/kg)	ASTM D 7066-04 E	<0,50							
Toplam Organik	SM 5310 B	6,91							
Parlama Tayini Noktası	ASTM D93	>105 ° C							
Ağır Metal Taraması	EPA 6020A	Cu	Pb	Cd	Cr	Ni	Zn	As	Hg
		26	714	2,39	395	1,5	29	5	1,5
Eko-Toksosite Testi	EPA 6020A	<u>EC 50 (%)</u>		<u>Toksosite Sınıfı</u>			<u>Sonuç / Açıklama</u>		
		1<		4			Oldukça Çok Toksik		
Akut Toksikite Testi (balıklarda)	92/69/EEC	<u>Toksosite Sınıfı</u>				<u>Sonuç/Açıklama</u>			
		ZSF=4				Düşük Riskli			
Akut Toksikite Testi (farelerde)	OECD TG 423	<u>Toksosite Sınıfı</u>				<u>Sonuç/Açıklama</u>			
		GHS=5				-			

Tablo 4.11: G3-1 Örneğinin Nihai Konsantre Atık Analiz Yöntemleri ve Sonucu.

Test Adı	Ölçüm Yöntemi	Ölçüm Sonuçları							
pH değeri (sulu çözelti)	TS ISO 10390	2,50							
Görünüm/Koku	-	Kahverengi-Bulanık, Kokusuz							
Kimyasal Oksijen	SM 5520 B	827							
Klorür (mg/L)	SM 4410 B	35,30							
Yağ ve Gres Tayini (mg/kg)	ASTM D 7066-04 E	<0,50							
Toplam Organik	SM 5310 B	7,62							
Parlama Tayini Noktası	ASTM D93	>105 ° C							
Ağır Metal Taraması	EPA 6020A	Cu	Pb	Cd	Cr	Ni	Zn	As	Hg
		28	989	6,10	701	484	63	21,6	5
Eko-Toksosite Testi	EPA 6020A	<u>EC 50 (%)</u>		<u>Toksosite Sınıfı</u>			<u>Sonuç / Açıklama</u>		
		87,8		1			Az Toksik		
Akut Toksikite Testi (balıklarda)	92/69/EEC	<u>Toksosite Sınıfı</u>				<u>Sonuç/Açıklama</u>			
		ZSF=4				Düşük Riskli			
Akut Toksikite Testi (farelerde)	OECD TG 423	<u>Toksosite Sınıfı</u>				<u>Sonuç/Açıklama</u>			
		GHS=5				-			

Tablo 4.12: G3-2 Örneğinin Nihai Konsantre Atık Analiz Yöntemleri ve Sonucu.

Test Adı	Ölçüm Yöntemi	Ölçüm Sonuçları							
pH değeri (sulu çözelti)	TS ISO 10390	3,08							
Görünüm/Koku	-	Kahverengi-Bulanık, Kokusuz							
Kimyasal Oksijen	SM 5520 B	184							
Klorür (mg/L)	SM 4410 B	27,81							
Yağ ve Gres Tayini (mg/kg)	ASTM D 7066-04 E	<0,50							
Toplam Organik	SM 5310 B	6,33							
Parlama Tayini Noktası	ASTM D93	>105 ° C							
Ağır Metal Taraması	EPA 6020A	Cu	Pb	Cd	Cr	Ni	Zn	As	Hg
		13	685	2,47	847	303	25	7,87	0,7
Eko-Toksisite Testi	EPA 6020A	<u>EC 50 (%)</u>		<u>Toksisite Sınıfı</u>			<u>Sonuç / Açıklama</u>		
		Bulunamadı		0			Toksik değil		
Akut Toksisite Testi (balıklarda)	92/69/EEC	<u>Toksisite Sınıfı</u>				<u>Sonuç/Açıklama</u>			
		ZSF=2				Düşük Riskli			
Akut Toksisite Testi (farelerde)	OECD TG 423	<u>Toksisite Sınıfı</u>				<u>Sonuç/Açıklama</u>			
		GHS=5				-			



Tablo 4.13: Tekstil atıksularının yenilikçi sistemler ile arıtımı sonucunda oluşan konsantre akımının {İOP/batik UF} prosesinde Fenton ve Foto-Fenton (UVA ve UVC) oksidasyonu sonrası konsantrelerinde analiz/içerik belirleme sonuçları.

Yapılan analizler						
Numune kodları ve sınıfları	Fiziko-kimyasal Analiz	Organik İçerik	İnorganik İçerik	Ekolojik Toksikite	Akut Toksikite (balıklarda)	Akut Toksikite (farelerde)
G1-1 (Tehlikesiz Atık)	-Asidik ve sulu. -Yağ ve gres ile TOK değeri düşük olduğu için organik içeriği düşük -KOİ evsel atıksularda bulunmanın altındadır.	-FTIR analizi sonucunda alkil gruplar gözlemlenmiştir. -GC-MS ile yapılan ölçümlerde uçucu/yarı uçucu organiklere rastlanmamıştır.	-ICP-MS analizleri sonucunda inorganik açıdan AAY'ye göre tehlikesiz özelliktedir.	-Vibrio fisheri için çok toksik etki göstermiştir. <b>(Toksosite sınıfı 3)</b>	ZSF=4 Akut açıdan düşük riskli	Global Harmonize Sistemine (GHS) göre kategori 5 LD50 >10000 mg/kg vücut ağırlığı
G1-2 (Tehlikesiz Atık)	-Asidik ve sulu. -Yağ ve gres ile TOK değeri düşük olduğu için organik içeriği düşük -KOİ evsel atıksularda bulunmanın altındadır.	-FTIR analizi sonucunda alkil gruplar gözlemlenmemiştir. -GC-MS ile yapılan ölçümlerde uçucu/yarı uçucu organiklere rastlanmamıştır.	-ICP-MS analizleri sonucunda inorganik açıdan AAY'ye göre tehlikesiz özelliktedir.	-Vibrio fisheri için çok toksik etki göstermiştir. <b>(Toksosite sınıfı 3)</b>	ZSF=4 Akut açıdan düşük riskli	Global Harmonize Sistemine (GHS) göre kategori 5 LD50 >10000 mg/kg vücut ağırlığı
G2-1 (Tehlikeli Atık)	-Asidik ve sulu. -Yağ ve gres ile TOK değeri düşük olduğu için organik içeriği düşük -KOİ evsel atıksularda bulunmanın altındadır.	-FTIR analizi sonucunda alkil gruplar gözlemlenmemiştir. -GC-MS ile yapılan ölçümlerde uçucu/yarı uçucu organiklere rastlanmamıştır.	-ICP-MS analizleri sonucunda inorganik açıdan AAY'ye göre tehlikesiz özelliktedir.	-Vibrio fisheri için oldukça çok toksik etki göstermiştir. <b>(Toksosite sınıfı 4)</b>	ZSF=4 Akut açıdan düşük riskli	Global Harmonize Sistemine (GHS) göre kategori 5 LD50 >10000 mg/kg vücut ağırlığı Fare ölümü görülmüştür.

Tablo 4.13: Devam.

G2-2 (Tehlikeli Atık)	-Oldukça asidik ve sulu. -Yağ ve gres ile TOK değeri düşük olduğu için organik içeriği düşük -KOİ evsel atıksularda bulunanın altındadır	-FTIR analizi sonucunda alkil gruplar gözlemlenmiştir. -GC-MS ile yapılan ölçümlerde uçucu/yarı uçucu organiklere rastlanmamıştır.	-ICP-MS analizleri sonucunda inorganik açıdan AAY' ye göre tehlikesiz özelliktedir.	-Vibrio fisheri için oldukça çok toksik etki göstermiştir. <b>(Toksosite sınıfı 4)</b>	ZSF=4 Akut açıdan düşük riskli	Global Harmonize Sistemine (GHS) göre kategori 5 LD50 >10000 mg/kg vücut ağırlığı
G3-1 (Tehlikesiz Atık)	-Oldukça asidik ve sulu. -Yağ ve gres ile TOK değeri düşük olduğu için organik içeriği düşük -KOİ evsel atıksularda bulunanın üzerindedir	-FTIR analizi sonucunda alkil gruplar gözlemlenmiştir. -GC-MS ile yapılan ölçümlerde uçucu/yarı uçucu organiklere rastlanmamıştır.	-ICP-MS analizleri sonucunda inorganik açıdan AAY' ye göre tehlikesiz özelliktedir.	-Vibrio fisheri için oldukça az toksik etki göstermiştir. <b>(Toksosite sınıfı 1)</b>	ZSF=4 Akut açıdan düşük riskli	Global Harmonize Sistemine (GHS) göre kategori 5 LD50 >10000 mg/kg vücut ağırlığı
G3-2 (Tehlikesiz Atık)	-Asidik ve sulu. -Yağ ve gres ile TOK değeri düşük olduğu için organik içeriği düşük -KOİ evsel atıksuların altındadır	-FTIR analizi sonucunda alkil gruplar gözlemlenmemiştir. -GC-MS ile yapılan ölçümlerde uçucu/yarı uçucu organiklere rastlanmamıştır.	-ICP-MS analizleri sonucunda inorganik açıdan AAY'ye göre tehlikesiz özelliktedir.	-Vibrio fisheri için toksik etki göstermemiştir. <b>(Toksosite sınıfı 0)</b>	ZSF=2 Akut açıdan düşük riskli	Global Harmonize Sistemine (GHS) göre kategori 5 LD50 >10000 mg/kg vücut ağırlığı

Tablo 4.14: Tekstil atıksularının yenilikçi sistemler ile arıtımı sonucunda oluşan konsantre akımının {İOP/batik UF} prosesinde Fenton ve Foto-Fenton (UVA ve UVC) oksidasyonu sonrası konsantrelerinde tehlikelilik özellikleri, bertaraf/geri kazanım yöntemleri ve yeniden kullanım alternatifleri.

Örnek No	Fenton Prosesi	<sup>a</sup> Foto-Fenton Prosesi (UVA-365)	<sup>b</sup> Foto-Fenton Prosesi (UVC-254)
Atık Türü/İsmi	Tekstil atıksuyu	Tekstil atıksuyu	Tekstil atıksuyu
AYY Analiz Sonucu	Tehlikeli( Zararlı) Atık	Tehlikesiz Atık	Tehlikeli (Zararlı) Atık
Tehlikelilik Özelliği	H4-Tahriş Edici H5-Zararlı	H4-Tahriş edici	H4-Tahriş Edici H5-Zararlı
Bertaraf/Geri Kazanım Yöntemleri			
Düzenli Depolama	Nem içeriğinin <%50 olması ve pH dengelenmesi halinde mümkün; ayrıca EK-2 analizi yapılarak depolama sınıfı belirlenmeli	Nem içeriğinin <%50 olması ve pH dengelenmesi halinde mümkün; ayrıca EK-2 analizi yapılarak depolama sınıfı belirlenmeli	Nem içeriğinin <%50 olması ve pH dengelenmesi halinde mümkün; ayrıca EK-2 analizi yapılarak depolama sınıfı belirlenmeli
Yakma (Lisanslı)	Kek haline kadar (yaklaşık %60-70) mekanik susuzlaştırma yapılması halinde yakma için organik içeriği uygun	Mümkün değil (Organik içeriği susuzlaşma halinde de düşük olacaktır-yüksek kalorifik atıkla paçallama denenebilir)	Kek haline kadar (yaklaşık %60-70) mekanik susuzlaştırma yapılması halinde yakma için organik içeriği uygun

Tablo 4.14: Devam.

Katılaştırma	Zeolit, perlit, uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve/veya çimento ile katılaştırma yapılabilir. pH değeri açısından kireç ile katılaştırılmasında yüksek verim alınması olasıdır, denenmelidir.	Zeolit, perlit, uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve/veya çimento ile katılaştırma yapılabilir. pH değeri açısından kireç ile katılaştırılmasında yüksek verim alınması olasıdır, denenmelidir.	Zeolit, perlit, uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve/veya çimento ile katılaştırma yapılabilir. pH değeri açısından kireç ile katılaştırılmasında yüksek verim alınması olasıdır, denenmelidir.
Dengeleme+ Distilasyon	pH nötralizasyonuna ilaveten vakum distilasyonu ile organik açıdan zengin yan ürün üretimi denenmelidir (farklı reaktifler ile farklı yan ürünlerin üretimi mümkün olabilir).	Organik açıdan yeterince zengin değil	pH nötralizasyonuna ilaveten vakum distilasyonu ile organik açıdan zengin yan ürün üretimi denenmelidir (farklı reaktifler ile farklı yan ürünlerin üretimi mümkün olabilir).
Yeniden Kullanım Yöntemleri			
Dengeleme+ Distilasyon sonrası	Kek kıvamındaki atığın tarımda gübre kullanımı denenmelidir (Sodyum içeriği kısıtlayıcı olabilir).	Organik açıdan yeterince zengin değil	Kek kıvamındaki atığın tarımda gübre kullanımı denenmelidir (Sodyum içeriği kısıtlayıcı olabilir).
Merkezi atıksu arıtmaya vererek	Arıtılmış sular tehlikeli atık grubunda yer alsa bile, ön arıtılmış atıksu kapsamında değerlendirilerek; uygun debi ve/veya karışım oranları sağlanmak şartıyla ya merkezi endüstriyel atıksu arıtma tesisi ya da kentsel atıksu arıtma tesisinde verilerek paçallama yapılmak suretiyle nihai arıtım sayesinde bertaraf edilebilir.		
<p><sup>a</sup>Önerilen sistemlerden {Fenton/UF}/[NF<sub>sıki</sub>] (G1-1) ve {Fenton/UF}/[TO] (G1-2) ile {UVC-Fenton/UF}/[NF<sub>sıki</sub>] (G3-1) ve {UVC-Fenton/UF}/[TO] (G3-2)'e ait konsantrelerin, daha önceki işletimlerdeki {UVA-Fenton/UF} konsantrisiyle aynı tehlikelilik özelliği, bertaraf/geri kazanım yöntemi ve yeniden kullanım alternatiflerinde olduğunu ifade eder.</p> <p><sup>b</sup>Önerilen sistemlerden {UVA-Fenton/UF}/[NF<sub>sıki</sub>] (G2-1) ile {UVA-Fenton/UF}/[TO] (G2-2)'e ait konsantrelerin, daha önceki işletimlerdeki {UVA-Fenton/UF} konsantrisiyle aynı tehlikelilik özelliği, bertaraf/geri kazanım yöntemi ve yeniden kullanım alternatiflerinde olduğunu ifade eder.</p>			

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez kapsamında; bütünleşik ileri oksidasyon/membran filtrasyon sistemi ile su tüketimi yüksek olan tekstil endüstrisi atıksularının arıtmaları sağlanmış ve gerçek ölçekli tesisler için başarıyla uygulanabilir yenilikçi arıtma sistemleri geliştirilmiştir.

İOP/batık UF hibrit prosesi için önceden belirlenmiş olan optimum şartlarda ileri oksidasyon teknolojisi Fenton ve Foto-Fenton (UVC-254 ve UVA-365) uygulanmıştır. Sonrasında da bu hibrit reaktörün  $[NF_{sıki}]$ ,  $[TO]$  ve  $[NF_{gevşek}/TO]$  membran prosesleriyle entegre edilerek endüstriyel su geri kazanımının sağlandığı 3 farklı arıtma sistemi (Fenton, Fenton-UVA, Fenton-UVC) içeriğinde saha ölçeğe başarıyla uygulanabilirlikleri belirlenmiştir. Ham tekstil atıksularının “yenilikçi membran filtrasyon sistemleri” ile kararlı hale gelmiş işletim şartları altında arıtıldığı deneysel çalışmalarla; geliştirilen yenilikçi sistemlerin saha ölçek benzeştirilmeleri için gereken etkinlik performanslarının tespiti yerine getirilmiş ve teknik olarak sahada başarıyla uygulanabilir olduğu görülmüştür.

Tekstil atıksularının yenilikçi membran filtrasyon sistemleri arıtımında,  $[NF_{sıki}]$ ,  $[TO]$  ve  $[NF_{gevşek}/TO]$  her bir proses adımında %80 su geri kazanım oranında kararlı halde işletimi yerine getirilerek, bir yandan oluşan membran konsantrilerinin geri devirle hibrit reaktörde ham atıksularla bir arada arıtım ve minimizasyonları sağlanmıştır. Diğer yandan ise hedeflenen çıkış suları kalitesi izlenmiştir. Tekstil atıksuyunun kararlı hal işletim altında konsantr minimizasyonu yapılarak sistem bütününde etkin bir şekilde arıtılabildiği belirlenmiştir.

Tekstil atıksularından su geri kazanımı, çıkış suyu kalitesi değerlerinin  $[NF_{sıki}]$  ve  $[TO]$  uygulamasında hedef sınır değerlerin TOK parametresi itibariyle çok az üzerinde kaldığı sağlanmış ,  $[NF_{gevşek}/TO]$  uygulama düzeninde ise hedeflenenden çok daha iyi kalitedeki geri kazanım suyunun üretimi yerine getirilmiştir.

Saha ölçeğine benzeştirme için lab ölçekli kararlı halde işletimleri yapılan tüm sistem uygulamalarının deneysel işletimleri boyunca, hibrit İOP/batık UF reaktörde uygulanan “konsantr+ham atıksu” arıtmalarının hiçbirinde; bertarafa gönderilmesi gereken herhangi bir nihai konsantr atık oluşumu söz konusu olmamış; sistemlerin etkin su geri kazanımı altında herhangi bir nihai konsantr atık oluşmaksızın kararlı hal işletimleri başarıyla yerine getirilmiştir.

Kararlı hal işletim deneyleri sonrası gerçekleştirilen şahit işletim deneyleriyle, geliştirilen tüm arıtma sistemlerinin saha ölçek simülasyonları öncesinde; İOP

reaktörü hidrolik bekletme süresinden etkilenmeksizin yeniden kullanım suyu kalitesinin başarıyla sağlandığı en düşük İOP reaktörü hidrolik bekletme süresine kadar bütün işlemler gerçekleştirilmiştir.

Şahit işletim deneyleriyle; hibrit İOP/UF içerikli tüm sistemlerin gerçek ölçekteki ekonomik performanslarının tahmininde temel belirleyici ölçüt olan İOP/UF hacimsel su oranının göstergesi İOP reaktörü hidrolik bekletme süresi (İOP/UF hacimsel su oranı değeri), lab pilot ölçek hibrit proseste inilebilen en düşük değer olan 1,19 gün (1,19) değeri için; hibrit İOP/UF proseste performans değişimlerinin olup olmadığının belirlenmesi amacıyla, tekstil atıksuyu için işletilmiştir. İşlemlerde, tekstil atıksularına ait hibrit reaktör uygulaması için belirlenmiş organik ve inorganik kirleticileri giderme verimlerinde kayda değer herhangi bir değişim olmadığı gözlenmiş; buna karşın, batık UF süzüntü akısının azalan bekletme süresiyle lineer olmayan esasta azaldığı görülmüştür. Bu sebeple, hibrit İOP/UF içerikli sistem konfigürasyonlarının, saha ölçek simülasyonlarında İOP reaktörü hidrolik bekletme süresine bağlı azalan UF süzüntü akısı değerleri sebebiyle, batık UF prosesin tasarımında sadece azalmış yeni süzüntü suyu akısı değerleri kullanılarak gerçek ölçekteki uygulamaları tasarlanabileceği belirlenmiştir.

Tekstil endüstrisi atıksularının yenilikçi  $[NF_{sık1}]$ ,  $[TO]$ ,  $[NF_{gevşek}/TO]$  membran konfigürasyonları ile arıtımı sonucunda oluşan konsantre akımlarının Fenton, Foto-Fenton (UVA-365) ve (UVC-254) prosesleri ile oksidasyonu sonrası oluşan konsantreleri tehlikelilik özellikleri, bertaraf/geri kazanım yöntemleri ve yeniden kullanım alternatifleri açısından tehlikeli atık niteliğinde olup, gerekli düzenlemeler (nem içeriği, susuzlaştırma, uygun debi ve/veya karışım oranları) yapıldığı takdirde, bu konsantrelerin düzenli depolama, yakma ve merkezi atıksu arıtma sistemine verme gibi seçeneklerle bertaraf edilebileceği değerlendirilmiştir.

Sonuç olarak, geliştirilen teknolojik uygulamaların, arıtılmış endüstriyel atıksulardan proses suyu geri kazanma ve membran konsantrelerinde atıksu yönetimi yaklaşımıyla, ülkemiz temiz su kaynaklarının korunmasına ve çevrenin sürdürülebilir nitelikte korunmasına katkı sağlanmıştır. İOP/batık UF prosesi esaslı hibrit bir endüstriyel atıksu arıtma teknolojisinin geliştirildiği ve bu teknoloji içerikli geliştirilen yenilikçi ileri oksidasyon/membran filtrasyonu uygulamalarının gerçek ölçek ekonomik performanslarının belirlenmesi saha tercih edilebilirliklerinin ortaya konması bakımından önerilir. Arıtılmış endüstriyel atıksulardan proses suyu geri kazanma ve membran konsantrelerinde hacim/yük azaltılmasına dayalı sıfır/sıfıra

yakın sıvı deşarjı odaklı bütüncül bir atıksu arıtımı, su geri kazanımı ve konsantre yönetimi yaklaşımı altında geliştirilen yenilikçi teknolojik çözümlerin sahada başarıyla hayata geçirilmesi sayesinde, Ülkemiz ve Dünya geneli su kirlenmesi problemlerinin azaltılmasına, temiz su kaynaklarının ve çevrenin sürdürülebilir bir nitelikte korunmasına katkıda bulunulacağı değerlendirilmektedir. Bu itibarla, geliştirilen teknolojik çözümlerin sahada pratik uygulamalarını dikkate alan pilot tesis çalışmaları yapılmasının ya da küçük debilerde gerçek tesis kurulumlarıyla diğer endüstriyel atıksular için de etkin işletim ve maliyet şartlarının araştırılmasının, zahmetine değecek çabalar barındıran gelecek vaat edici teknolojik yeni yatırımların önünü açacağı önemle değerlendirilmektedir.



## KAYNAKLAR

- [1] Üçgül İ., İskender K. A., (2013), “Tekstil Endüstrisi Atık Suyunun Renk Giderimi İçin Elektrokoagülasyon Yöntemi Uygulaması”, Süleyman Demirel Üniversitesi, Yekarum e-Dergi, 2(1), 1-12.
- [2] Tünay O., (1996), “Endüstriyel Kirlenme Kontrolü”, 1. Baskı, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası.
- [3] Sözen S., (1991), “Tekstil Endüstrisinde Kirlenme Kontrolü”, İstanbul Teknik Üniversitesi, Su Kalitesi Kontrolü Dergisi, 1(3), 133-144.
- [4] Germirli F., Orhon D., Tünay O., (1990), “Tekstil Endüstrisinde Atıksu Özelliklerini Etkileyen Faktörler – Örnek Tesislerde Uygulama”, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2. Endüstriyel Kirlenme Sempozyumu’90, Bildiriler Kitabı, 95-108, İstanbul, Türkiye, Eylül.
- [5] Balcı E., (2016), “Tekstil Atıksularının Membran Proseslerle Arıtımı ve Endüstriyel Su Geri Kazanımı”, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi.
- [6] Büyükdere A., (2008), “Tekstil Endüstrisi Atıksularının Membran Teknolojileri İle Arıtılması ve Geri Kazanılması”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [7] Kayacan B. B., (2010), “Pamuklu Tekstil Endüstrisi Atıksularının Membran Proseslerle Geri Kazanımının Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.
- [8] Köseoğlu G., (2004), “Tekstil Endüstrisi Atıksularındaki Renk Sorununun İleri Aktif Çamurlu Ardışık Kesikli Biyoreaktör ile Giderilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi.
- [9] Baburşah S., (2004), “Tekstil Endüstrisi Atıksularının Geri Kazanımı ve Yeniden Kullanılması”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [10] Eslami A., Moradi M., Ghanbari F., Mehdipour F., (2013), “Decolorization and COD Removal From Real Textile Wastewater By Chemical and Electrochemical Fenton Processes: A Comparative Study”, Journal of Environmental Health Science and Engineering, 11(1), 31.
- [11] Kang S.F., Liao C.H., Po S.T., (2000), “Decolorization of Textile Wastewater By Photo-Fenton Oxidation Technology”, Chemosphere, 41(8), 1287-94.
- [12] Aksu Ş., (2016), “İleri Oksidasyon/Ultrafiltrasyon Hibrit Sistemi Kullanılarak Tekstil Atıksularından Organik Madde Giderimi”, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi.



- [13] Hao O.J., Kim H., Chang P.C., (2000), "Decolorization of Wastewater", *Critical Review in Environmental Science and Technology*, 30(4), 449-505.
- [14] Robinson T., McMullan G., Marchant R., Nigam P., (2001), "Remediation of Dyes in Textile Effluent: A Critical Review on Current Treatment Technologies With a Proposed Alternative", *Bioresource Technology*, 77, 247-255.
- [15] Kocaeli F.O., Alkan U., (2002), "Boyar Madde İçeren Tekstil Atıksularının Arıtım Alternatifleri", *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 7(1), 47-55.
- [16] Gönder Z.B., Arayıcı S., Barlas H., (2011), "Advanced Treatment of Pulp And Paper Mill Wastewater By Nanofiltration Process: Effects of Operating Conditions On Membrane Fouling", *Separation and Purification Technology*, 76(3), 292-302.
- [17] Xu M., Wang Q., Hao Y., (2007), "Removal of organic carbon from wastewater pulp effluent by lab-scale solar photo-Fenton process", *Journal of Hazardous Materials*, 148(2007) 103-109.
- [18] Perez M., Torrades F., Domenech X., Peral J., (2002a), "Fenton and photo-Fenton oxidation of textile effluents", *Water Research*, 36(2002a), 2703-2710.
- [19] Perez M., Torrades F., Garcia-Hortal. J. A., Domenech X., Peral J., (2002b), "Removal of organic contaminants in paper pulp treatment effluents under Fenton and photo-Fenton conditions", *Applied Catalysis B: Environmental* 36(2002b), 63-74.
- [20] Socha, K. (1991) "Treatment of Textile Effluents", *Textile Month*, 12, 52-56.
- [21] PEREZ M., Torrades, F., Domenech, X., Peral, J., (2002), "Fenton and photo-Fenton oxidation of textile effluents", *Water Research*, 36(11), 2703-2710.
- [22] Wu J. and Wang T., (2001), "Ozonation of Aqueous Azo Dye In a Semi-Batch Reactor", *Water Research*, 35(4), 1093-1099.
- [23] Robinson T., McMullan G., Marchant, R., Nigam P., (2001), "Remediation of Dyes in Textile Effluent: A Critical Review on Current Treatment Technologies With a Proposed Alternative", *Bioresource Technology*, 77, 247-255.
- [24] Lin S.H., Liu W. Y., (1994), "Continuous Treatment of Textile Water by Ozonation and Coagulation", *Journal of Environmental Engineering*, 120(2), 437-446.
- [25] Bayar S., (2012), "Elektrokoagülasyon Yöntemi Kullanılarak Direct Red 23 Boyar Maddesinin Gideriminin İncelenmesi", *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2(2), 21-28.
- [26] Demiral N., (2008), "Pamuklu Tekstil Endüstrisi Atıksularının Membran Teknolojisi İle Geri Kazanımı", *Yüksek Lisans Tezi*, Kocaeli Üniversitesi.

- [27] Robinson T., McMullan G., Marchant R., Nigam P., (2001), "Remediation of Dyes in Textile Effluent: A Critical Review on Current Treatment Technologies with a Proposed Alternative", *Bioresource Technology Journal*, 77(3), 247-256.
- [28] Lambert S.D., Graham N.J.D., Sollars C.J., (1997), "Evaluation of Inorganic Adsorbents for the Removal of Problematic Textile Dyes and Pesticides", *Water Science and Technology Journal*, 36(2), 173-180.
- [29] Fane A.B., (1996), "Membranes for Water Production and Wastewater Reuse", *Journal of Desalination*, 106(1), 1-9.
- [30] Correia V.M., Stephenson T., Judd S.J., (1994), "Characterisation of Textile Wastewaters-a Review", *Environmental Technology*, 917-929.
- [31] Büyükdere A. (2008), "Tekstil Endüstrisi Atıksularının Membran Teknolojileri ile Arıtılması", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [32] Amara N. B., Kechaouc N., Palmerid, J., Deratanie, A., Sghaierf, A. (2009), "Comparison of tertiary treatment by nanofiltration and reverse osmosis for water reuse in denim textile industry", *Journal of Hazardous Materials* 170, 111-117.
- [33] Arnal J.M., León M. C., Lora J., Gozávez, J.M., Santafé A., Sanz D., Tena J. (2008), "Ultrafiltration as a Pre-Treatment of Other Membrane Technologies in the Reuse of Textile Wastewaters", *Desalination* 221, 405-412.
- [34] Marjoleine P. J., (1998), "Evaluation of Current Wet Sludge Disintegration Techniques", *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 73(1), 83-30.
- [35] Alcaina-Miranda M.I., Barredo-Damas S., Bes-Pia A., Mendoza-Roca J.A., (2009), "Nanofiltration as a Final Step Towards Textile Wastewater Reclamation", *Desalination* 240, 290-297.
- [36] Tang C., ve Chen V., (2002), "Nanofiltration of Textile Wastewater for Water Reuse", *Desalination*, 143, 11-20.
- [37] Aydın C., Kaya Y., Gönder, Z.B., ve Vergili, İ., (2009), "Tekstil Boyama Atıksularından Su ve Tuz Geri Kazanımında Farklı Membran Proseslerinin Kullanımı", *Membran Teknolojileri ve Uygulamaları Sempozyumu, İstanbul, Türkiye*, 2-3 Kasım.
- [38] Çapar G., Yetiş Ü., ve Yılmaz L., (2004), "Halı Boyama Atıksularının Membran Prosesleri ile Arıtımı", *Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Su Kirlenmesi Kontrolü Dergisi*, 14(2), 9-15.
- [39] Gürtekin E., Şekerdağ N., (2008), "Fenton Prosesi ile Tekstil Atıksularından Renk Giderimi", *Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 26(3), 216.
- [40] Bes-Pia A., Iborra-Clar A., Garcia-Figueruelo C., Barredo-Damas S., Alcaina-Miranda M.I., Mendoza-Roca J.A., Iborra-Clar M.I., (2009), "Comparison of Three

NF Membranes For The Reuse of Secondary Textile Effluents”, Desalination, 241(1), 1-7.

- [41] Grzechulska-Damszel J., Tomaszewska M., Morawski A.W., (2009), “Integration of Photocatalysis With Membrane Processes For Purification of Water Contaminated With Organic Dyes”, Desalination 241 (1), 118-126.



## ÖZGEÇMİŞ

1992 yılında Gebze’de doğdu. Gebze Anadolu Lisesi’nde lise eğitimini gördü. 2010 yılında Kocaeli Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümünde lisans eğitimine başladı. 2015 yılında mezun oldu. 2015 yılında Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı.



## **EKLER**

### **Ek A: Tez Çalışması Kapsamında Yapılan Yayınlar**

Aydiner, C., Dogan, E.C., Mert, B. K., Yilmaz, T.N., Balci, E., Topcu, S., Tongel, C. And Narci, A.O., (2017), “Eco-Innovative Treatment Systems For Zero Liquid Discharge: Demonstration For Sustainable Water Management in Textile Industry”, 2nd International Conference on Civil and Environmental Engineering(ICOCEE), Cappadocia- Turkey, 8-10 May.

