T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

# TEKSTİL ATIKSULARININ MEMBRAN PROSESLERLE ARITIMI VE ENDÜSTRİYEL SU GERİ KAZANIMI

ESİN BALCI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GEBZE
2016

**T.C.**

**GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

# TEKSTİL ATIKSULARININ MEMBRAN PROSESLERLE ARITIMI VE ENDÜSTRİYEL SU GERİ KAZANIMI

**ESİN BALCI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

DANIŞMANI

DOÇ. DR. COŞKUN AYDINER

**GEBZE**

**2016**

**T.R.**

**GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY**

**GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES**

# TREATMENT OF TEXTILE WASTEWATER BY MEMBRANE PROCESS INDUSTRIAL WASTEWATER RECOVERY

**ESİN BALCI**

**A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF**

**MASTER OF SCIENCE**

**DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING**

THESIS SUPERVISOR

ASSOC. PROF. DR. COŞKUN AYDINER

**GEBZE**

**2016**

| | |
|---|---|
| GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ | **YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU** |

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 15/06/2016 tarih ve 2016/37 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 30/06/2016 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Esin BALCI'nın tez çalışması Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

**JÜRİ**

ÜYE
(TEZ DANIŞMANI) :Doç.Dr.Coşkun AYDINER

ÜYE :Doç.Dr.Hüseyin Cengiz YATMAZ

ÜYE : Yrd.Doç.Dr.Esra CAN DOĞAN

**ONAY**

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...../...../..... tarih ve ...../..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

# ÖZET

Bu çalışmada, iki farklı entegre membran sistemi işletimi altında tekstil yıkama sularını arıtma ve arıtılmış suyun endüstriyel proses suyu olarak yeniden kullanımını değerlendirme çalışmaları yapılmıştır. İlk sistemde; Ultrafiltrasyon (UF), Nanofiltrasyon (NF), Ters Osmoz (TO) prosesleri için en iyi performans veren membranlar belirlenip, UF/NF/TO bütünleşik membran sisteminin işletimi gerçekleştirilerek endüstriyel proses suyu üretim başarımı araştırılmıştır. Bu sistemde oluşan membran konsantrelerinin; Fenton ve foto-Fenton (UVA-365, UVC-254) ileri oksidasyon prosesi (İOP)/batık UF hibrit prosesinde arıtımları konsantre minimizasyonunu değerlendirmek amacıyla ayrıca incelenmiştir. İkinci sistemde ise tekstil yıkama sularında optimum işletme şartları bilinen İOP/batık UF hibrit sistemiyle arıtılmış sulardan NF ve/veya TO proseslerinde su geri kazanımı için en uygun işletme şartları tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, her iki membran sisteminde de endüstriyel su geri kazanımı başarıyla gerçekleştirilmiştir.

İlk sistemde (UF/NF/TO ve İOP/UF); UF/NF/TO sistemi membran konsantreleri kesikli İOP/ UF hibrit reaktörde arıtılarak konsantre atık minimizasyonu sağlanmıştır. İOP/UF reaktöründe kalan nihai konsantre, suyu alındıktan sonra yakma ve/veya düzenli depolama veya merkezi atıksu arıtma tesisinde nihai bertarafının sağlanabileceği değerlendirilmiştir.

İkinci sistemde (İOP/UF ve NF ve/veya TO); ilk sisteme göre daha iyi kalitede geri kazanım suyu eldesi sağlanmıştır. Bu sistemle ayrıca ilk sisteme göre daha düşük nihai konsantre atık eldesiyle, bir başka deyişle daha fazla hacimsel su geri kazanımıyla işletilebileceği tespit edilmiştir. Özellikle İOP/UF sonrası tek kademe TO uygulanan seçeneğin en ekonomik seçenek sağlayacağı kanaatine ulaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler: Tekstil Yıkama Atıksuyu, Fenton ve foto-Fenton, Ultrafiltrasyon, Nanofiltrasyon, Ters Osmoz, Su geri kazanım.**

# SUMMARY

In this study, textile washing water was treated under two different integrated membrane systems operation and treated water was evaluated reusing as process water. In the first system; membranes providing the best performances, were determined for Ultrafiltration (UF), Nanofiltration (NF), Reverse Osmosis (RO) membrane processes. When UF/NF/RO integrated membrane system was operated successfully, production performance of industrial process water was investigated. Formed concentrate was treated by Fenton and foto-Fenton (UVA-365, UVC-254) advanced oxidation process (AOP)/submerged UF hybrid system. Treatment performance was examined in order to evaluate concentrate minimization. In the second system after textile washing waters was treated AOP/submerged UF hybrid system known optimum operation conditions, permeate water was treated by NF and/or RO processes. For these processes optimum operation conditions were determinated in order to recycle.

Consequently, both the membrane systems were carried out industrial water recycling succesfully.

In the first system (UF/NF/RO and AOP/UF), concentrate of UF/NF/RO system was treated by batch benchtop AOP/UF hybrid reactor, and achieved concentrated waste minimization. After Final concentrate remaining in the AOP/UF reactor was dewatered, final disposal which was provided by incineration or landfill or central wastewater teatment plant was evaluated.

In the second system (AOP/UF NF and/or RO); recycling water which is better quality than the first system was provided. Final concentrate waste of this system is less than first system. In other words it was determined that this system can be operated in volumetric water recycling. Especially, After AOP/UF process was carried out, performed single stage RO option was considered to be the most economical option.

**Key Words: Textile Washing Wastewater, Fenton and foto-Fenton, Ultrafiltration, Nanofiltration, Reverse Osmosis, Water recycle.**

# TEŞEKKÜR

Çalışmanın her aşamasında benden yardımlarını ve deneyimlerini esirgemeyen, bilgi ve önerilerini benimle paylaşan çok değerli hocam Doç. Dr. Coşkun Aydıner'e teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması 113Y352 nolu Yoğun Su Tüketilen Endüstrilerde Bütünleşik İleri Oksidasyon\Membran Filtrasyon Sistemi İle Su Geri Kazanımı Ve Konsantre Yönetimi başlıklı proje TUBİTAK tarafından desteklenmiştir.

Tez çalışmam boyunca, kıymetli fikirleriyle katkıda bulunan Doç. Dr. Hüseyin Cengiz YATMAZ' a, Yrd. Doç. Dr. Esra CAN DOĞAN' a ve Yrd. Doç. Dr. Berna KIRIL MERT' e teşekkür ederim.

Membran konsantreleri bertaraf teknolojilerinin değerlendirilmesine kıymetli bilgileriyle katkılar sağlayan TUBİTAK Uzmanı Dr. Sönmez DAĞLI' ya teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca bana yardımcı olan ve destekleyen arkadaşlarım Yasemin Melek TİLKİ' ye, Ali Oğuzhan NARCI'ya, Gizem ŞAHİN' e, Şeyda AKSU' ya, Sevgi TOPCU' ya, Tuğba Nur YILMAZ' a, Cemre TÖNGEL' e ve Enes ÖZTEL 'e teşekkür ederim.

Maddi ve Manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen ve her konuda bana destek olan sevgili aileme sonsuz teşekkür ederim.

# İÇİNDEKİLER


| | Sayfa |
|---|---|
| ÖZET | v |
| SUMMARY | vi |
| TEŞEKKÜR | vii |
| İÇİNDEKİLER | viii |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ | x |
| ŞEKİLLER DİZİNİ | xii |
| TABLOLAR 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. Altkategorizasyon | 5 |
| 2.3. Su Kullanımı Ve Atıksu Karakteristikleri | 5 |
| 2.4. Tekstil Atıksuyu Arıtım Yöntemleri | 6 |
| 2.5. Tekstil Atıksularının Arıtım Performasları | 16 |
| 2.6. Literatür Taraması Ve Değerlendirme | 17 |
| 3. MALZEME VE YÖNTEM | 20 |
| 3.1. Malzeme | 20 |
| 3.2. Deneysel Çalışma Düzenekleri | 21 |
| 3.3. Deneysel İzleme | 28 |
| 3.4. Tekstil Yıkama Atıksuyunun Karakterizasyonu | 30 |
| 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA | 31 |
| 4.1. Etkinliği Bilinen UF/NF/TO+İOP/UF Sistemlerinde Arıtma Çalışmaları | 31 |
| 4.2. Önerilen İOP/UF+ NF Ve/Veya TO Sistemlerinde Arıtma | 51 |
| 5. SONUÇLAR | 67 |
| 6. DEĞERLENDİRMELER VE ÖNERİLER | 70 |

KAYNAKLAR 71
ÖZGEÇMİŞ 74

# SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

| **Simgeler ve Kısaltmalar** | | **Açıklamalar** |
|---|---|---|
| $E_i$ | : | İletkenlik |
| J | : | Akı (LMH) |
| T | : | Sıcaklık ($^oC$) |
| t | : | Süre (dk) |
| Iş | : | Işık şiddeti |
| $\nu_{SÇ}$ | : | Membrandan su çekim hızı |
| $\nu_H$ | : | Hava akış hızı |
| AKM | : | Askıda katı madde |
| AOX | : | Adsorplanabilen organik halojenler |
| BOİ | : | Biyolojik oksijen ihtiyecı |
| ÇO | : | Çözünmüş oksijen |
| ÇOK | : | Çözünmüş organik karbon |
| EPA | : | Çevre Koruma Ajansı |
| İOP | : | İleri oksidasyon prosesi |
| KOİ | : | Kimyasal oksijen ihtiyacı |
| $M_T$ | : | Membran türü |
| MF | : | Mikrofiltrasyon |
| MP | : | Membran proses |
| NF | : | Nanofiltrasyon |
| pH | : | Hidrojen potansiyeli |
| TÇK | : | Toplam çözünmüş katı |
| TÇM | : | Toplam çözünmüş madde |
| TO | : | Ters osmos |
| TOK | : | Toplam organik karbon |
| UF | : | Ultrafiltrasyon |

| | | |
|---|---|---|
| UVC | : | Ultraviyole C |
| UVA | : | Ultraviyole A |

# ŞEKİLLER DİZİNİ


| Şekil No: | | Sayfa |
|---|---|---|
| 2.1: | Tekstil Üretim Süreci. | 4 |
| 3.1: | Çapraz Akışlı Basınç Sürücülü Membran Proses Çalışma Düzeneği. | 22 |
| 3.2: | Sürekli İşletimli Basınç Sürücülü Membran Proses. | 23 |
| 3.3: | Tezgah-üstü İleri Oksidasyon Prosesi/Batık Ultrafiltrasyon (İOP/ UF) Hibrit Reaktörü. | 23 |
| 3.4: | Sürekli İşletimli İleri Oksidasyon Prosesi/Batık Ultrafiltrasyon (İOP/batık UF) Büyük Hibrit Reaktörü a) UVC-254 Lambalarla Donatılmış Genel Görünüm b) Sistem Otomasyon Ünitesi. | 26 |
| 3.5: | KOİ-$H_2O_2$ İlişki Grafiği. | 28 |
| 3.6: | Çoklu Parametre Cihazı a) TDS, İletkenlik ve pH Ölçüm Cihazı b) Bulanıklık Ölçüm Cihazı. | 29 |
| 3.7: | TOK Analiz Cihazı. | 29 |
| 3.8: | a) UVC 254 Işık Ölçer b) UVA 365 Işık Ölçer. | 29 |
| 4.1: | UF Membranlarına Ait Süzüntü Akılar. | 31 |
| 4.2: | UF Memranlarına Ait Kirletici Filtrasyon Performansları. | 32 |
| 4.3: | NF Membranlara Ait Süzüntü Suyu Akıları. | 33 |
| 4.4: | NF Membranlara Ait Kirletici Filtrasyon Performansları. | 34 |
| 4.5: | TO Membranlara Ait Süzüntü Suyu Akıları. | 35 |
| 4.6: | TO Membranlara Ait Kirletici Filtrasyon Performansları. | 36 |
| 4.7: | Etkinliği Bilinen Büyük Basınçlı Sistemlerle Sürekli Şartlarda Filtrasyonunda UF Membranlarına Ait Süzüntü Akıları. | 37 |
| 4.8: | Etkinliği Bilinen Büyük Basınçlı Sistemlerle Sürekli Şartlarda Filtrasyonunda $NF_{sıkı}$ Membranlarına Ait Süzüntü Akıları. | 38 |
| 4.9: | Etkinliği Bilinen Büyük Basınçlı Sistemlerle Sürekli Şartlarda Filtrasyonunda TO Membranlarına Ait Süzüntü Akıları. | 38 |
| 4.10: | Etkinliği Bilinen Sistemlerde Karışık Konsantrelerinin Tezgah-üstü İOP/ Batık UF Hibrit Prosesi ile Arıtımında UF Membranlara ait Süzüntü Akı Değerleri. | 48 |

4.11: Etkinliği Bilinen Sistemlerde UF/NFsıkı/TO Prosesi İle Arıtımı Sonucunda Elde Edilen Karışık Konsantrelerin Tezgah-üstü İOP/ Batık UF Hibrit Prosesi İle Arıtımı Performansları. 48

4.12: Önerilen Sistemlerde İOP/Batık UF Büyük Hibrit Prosesi İle Arıtımında Fenton ve Foto-Fenton (UVA-365, UVC-254) Proseslerinde Kullanılan UH050, UV150 Ve UH050 Membranlarına Ait Süzüntü Akıları. 53

4.13: Önerilen Sistemlerde İOP/Batık UF Büyük Hibrit Reaktöründe Fenton ve Foto-Fenton (UVA-365, UVC-254) Prosesleri İle Arıtımı Sonucunda Elde Edilen Arıtım Performansları. 55

4.14: Önerilen Sistemlerde İOP/Batık UF Büyük Hibrit Reaktöründe Fenton Prosesi Sonrasında Elde Edilen Süzüntü Akımlarında En Uygun Bulunan $NF_{gevşek}$, $NF_{sıkı}$, $NF_{gevşek}$/TO ve TO Memran Konfigürasyonlarının Akı Grafikleri. 60

4.15: Önerilen Sistemlerde İOP/Batık UFBüyük Hibrit Reaktöründe Foto-Fenton (UVA-365) Prosesi Sonrasında Elde Edilen Süzüntü Akımlarında En Uygun Bulunan $NF_{gevşek}$, $NF_{sıkı}$, $NF_{gevşek}$/TO ve TO Memran Konfigürasyonlarının Akı Grafikleri. 61

4.16: Önerilen Sistemlerde İOP/Batık UF Büyük Hibrit Reaktöründe Foto-Fenton (UVC-254) Prosesi Sonrasında Elde Edilen Süzüntü Akımlarında En Uygun Bulunan $NF_{gevşek}$, $NF_{sıkı}$, $NF_{gevşek}$/TO ve TO Memran Konfigürasyonlarının Akı Grafikleri. 62

# TABLOLAR DİZİNİ


| Tablo No: | | Sayfa |
|---|---|---|
| 2.1: | Tekstil Endüstrisi Atık Yükleri. | 6 |
| 2.2: | Tekstil Atıksularının Arıtımında Çeşitli Proseslerin Performans Etkinlikleri. | 17 |
| 3.1: | Deneylerde Kullanılan UF, NF ve TO Membranların Genel Özellikleri. | 20 |
| 3.2: | Tezgah-üstü Hibrit Reaktörde Uygulanan Fenton ve Foto-Fenton (UVA-365, UVC-254) Proseslerinin Optimum İşletme Şartları. | 23 |
| 3.3: | Sürekli İşletimli Büyük Hibrit Reaktörde Uygulanan Fenton ve Foto-Fenton (UVA-365 ve UVC-254) Proseslerinin Optimum İşletme Şartları. | 25 |
| 3.4: | Önerilen İOP/MP Sistemlerinin Kesikli İşletimli Membran Filtrasyon Deneylerinde Değişkenlerin Kodlanmış Taguchi Deneysel Tasarım Tablosu. | 28 |
| 3.5: | Tekstil yıkama atıksularının karakteristik özellikleri. | 30 |
| 4.1: | Etkinliği Bilinen Büyük Basınçlı Sistemlerle UF Prosesi İle Sürekli Şartlarda Filtrasyonu Sonucunda Elde Edilen Su Kalitesi Analiz Sonuçları. | 39 |
| 4.2: | Etkinliği Bilinen Büyük Basınçlı Sistemlerle $NF_{sıkı}$ Prosesi İle Sürekli Şartlarda Filtrasyonu Sonucunda Elde Edilen Su Kalitesi Analizi Sonuçları. | 41 |
| 4.3: | Etkinliği Bilinen Büyük Basınçlı Sistemlerle TO Prosesi İle Sürekli Şartlarda Filtrasyonu Sonucunda Elde Edilen Su Kalitesi Analiz Sonuçları. | 43 |
| 4.4: | Membran Konsantre Karışımının İOP/Batık UF Hibrit Reaktöründe Fenton ve Foto-Fenton (UVA-365, UVC-254) Prosesleri İle Ardışık Arıtımı. | 46 |
| 4.5: | İOP/Batık UF Sistemi İle Arıtım Sonucunda Elde Edilen Konsantre Bertaraf/Teknoloji Tablosu. | 49 |

4.6: UF/NF/TO Birleşik Membran Sistemiyle Tekstil Yıkama Atıksuyunun Filtrasyonunda Proses Performansları ve Çıkış Suyu Kalitesi Değerleri. 51

4.7: Küçük Ölçekli Sistemlerde Belirlenen Optimum Şartların Büyük Ölçekli Sisteme Uyarlanması. 52

4.8: İOP/Batık UF Büyük Hibrit Reaktöründe Fenton Ve Foto-Fenton (UVA-360, UVC-254) Prosesleri İle Ardışık Arıtım Sonucunda Elde Edilen Analiz Sonuçları. 54

4.9: İOP/Batık UF Büyük Hibrit Reaktörü İle Arıtım Sonrası $NF_{gevşek}$ Membranla Filtrasyonundaki Değişkenlerin Değerlerini İçeren Taguchi Deneysel Tasarımı ve Her Bir Sonuç Parametresi İçin Elde Edilen Sonuçlar. 56

4.10: İOP (Fenton Prosesi)/Batık UF Büyük Hibrit Reaktörü İle Arıtım Sonrası $NF_{sıkı}$ Membranla Filtrasyonundaki Değişkenlerin Deneysel Değerlerini İçeren Taguchi Deneysel Tasarımı ve Her Parametre İçin Sonuçlar. 57

4.11: İOP (Fenton Prosesi)/Batık UF Büyük Hibrit Reaktörü İle Arıtım Sonrası $NF_{gevşek}$/TO Filtrasyonunda TO Membran İçin Değişkenlerin Deneysel Değerlerini İçeren Taguchi Deneysel Tasarımı ve Her Parametresi İçin Sonuçlar. 58

4.12: İOP (Fenton prosesi)/Batık UF Büyük Hibrit Reaktörü İle Arıtım Sonrası TO Membran la FiltrasyonundakiDeğişkenlerin Deneysel Değerlerini İçeren Taguchi Deneysel Tasarımı ve Her Parametre İçin Sonuçlar. 59

4.13: İOP (Foto-Fenton Prosesi, UVA-365)/Batık Büyük UF Hibrit Reaktörü İle Arıtım Sonrası NFG, ESNA, NFG/LFC-3 ve LFC-3 Konfiigürasyonları İle Filtrasyonundaki Değişkenlerin Deneysel Değerlerini İçeren Taguchi Deneysel Tasarımı ve Her Parametre İçin Sonuçlar. 63

4.14: İOP (Foto-Fenton Prosesi, UVC-254)/Batık UF Büyük Hibrit Reaktörü İle Arıtım Sonrası NFG, ESNA, NFG/LFC-3 ve LFC-3 Konfigürasyonları İle Filtrasyonundaki Değişkenlerin Deneysel Değerlerini İçeren Taguchi Deneysel Tasarımı ve Her Parametre İçin Sonuçlar. 64

# 1. GİRİŞ

## 1.1. Çalışmanın Amacı Ve Kapsamı

Dünya genelinde endüstriyel faaliyetlerdeki gelişmeler, su tüketiminin artmasına ve endüstriyel su kirlenmesi problemlerinin yaygınlaşmasına neden olmaktadır. Artan su kıtlığı problemleriyle beraber bu durum, özellikle aşırı su tüketilen endüstrilerde proses atıksularından yeniden kullanılabilir su geri kazanımının sağlandığı, tatlı su kaynaklarının korunduğu ve endüstriyel su girdi maliyetlerinin azaltıldığı başarılı uygulamalarının hayata geçirilmesini gerekli kılmaktadır.

Atık su hacmi ve bileşimi de göz önüne alındığında tekstil endüstrisinin çevresel açıdan en "kirletici" endüstrilerden birisi olduğu görülmektedir [1]. Tekstil Atıksularının arıtımı değerlendirilirse, klasik atık su arıtımının yanında tekstil boyama endüstrisi atık suyunun temel karakteristiği olan rengin giderilmesi için ilave tedbirler gerekmektedir çünkü klasik arıtma tesisleri atık suyun rengini uzaklaştırmada ancak kısmi başarı sağlayabilmektedir. Bu da, başarısını ispat etmiş teknolojilere dayalı yeni ve/veya pratik çözümlerin hayata geçirilmesini daha ivedi bir hale getirmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında, yoğun su tüketen ve yüksek miktarlarda atıksu oluşturan sektörlerin başında gelen tekstil endüstrisinde (1000–5000 $m^3$/gün), üretilen atıksuların yüksek hacmini oluşturan tekstil yıkama atıksularında, iki farklı entegre membran sistemleriyle etkin seviyede arıtım ve endüstriyel su geri kazanımı amaçlanmaktadır. Birinci entegre membran sisteminde, UF, NF ve TO prosesleri kullanılarak, proseste yeniden kullanıma uygun kalitede suyun geri kazanılması amaçlanmıştır. Her bir proses için memran türü ve etkisi, süzüntü akısı ve kirletici giderme etkinliği ayrı ayrı incelenmiştir. UF, NF ve TO prosesler için en iyi performans veren membranlar tek tek belirlenerek, bu membranların kullanıldığı birleşik membran sisteminde en iyi kalitede geri kazanım suyu eldesi sağlayan işletim altında yeniden kullanım suyu üretimi sağlanmıştır. Üretilen geri kazanım

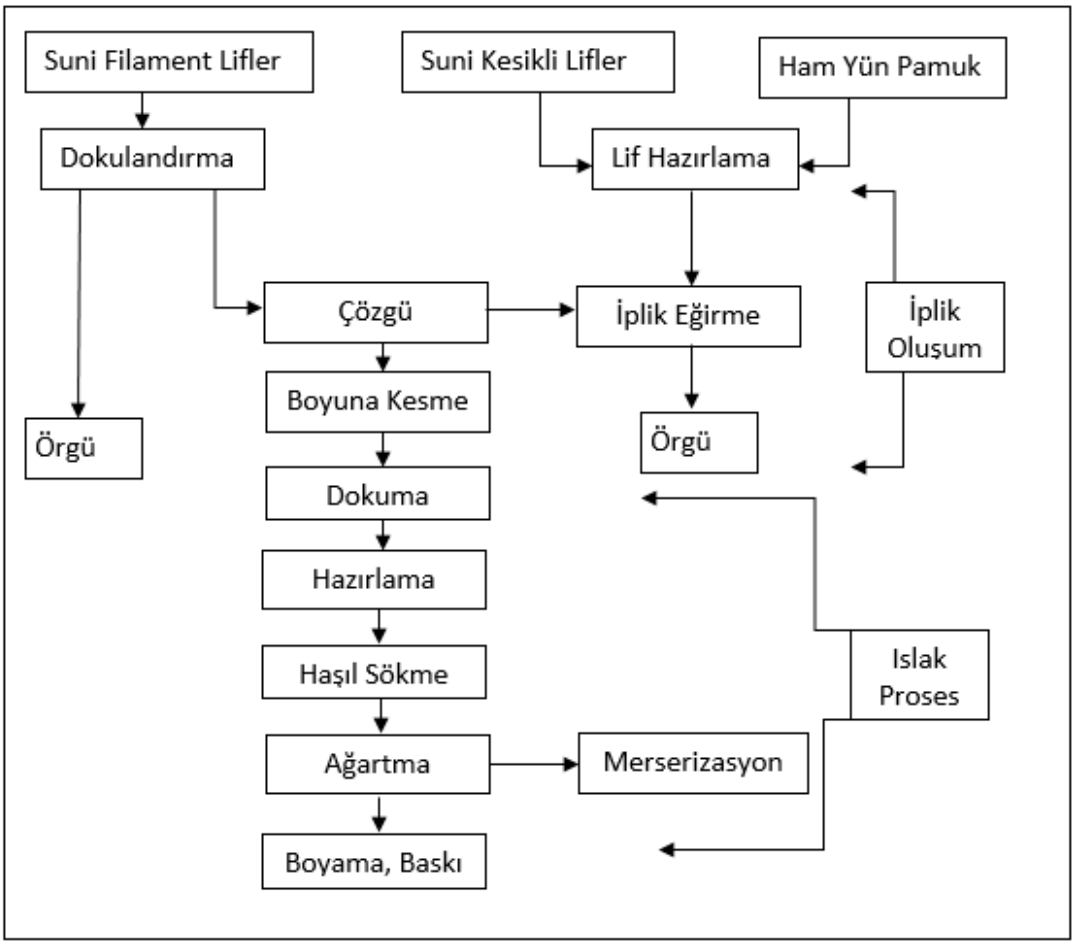
suyu kalitesi, proseste yeniden kullanımda beklenen su kalitesi değerleri üzerinden değerlendirilmiştir. UF/NF/TO bütünleşik sisteminde oluşan konsantreler İOP/batık UF hibrit sisteminde arıtılmıştır. İkinci entegre membran sisteminde İOP/batık UF hibrit sistemi sonrası NF/TO proseslerinin 3 farklı sistem kombinasyonunda işletilmiştir. Her iki sistemde konsantre atık minimizasyonu ve bertarafı açısından değerlendirilmiştir.

# 2. TEKSTİL ENDÜSTRİSİ

## 2.1. Tekstil Endüstrisi Genel Tanımı

Tekstil endüstrisi çeşitli hammadelerin kullanılması ile tekstil ürünlerini üreten tesisleri kapsayan endüstri dalı olarak nitelendirilmektedir. Tekstil endüstrisi tabii ve fabrikalarda yapılan ipliklerin hazırlanması, dokuma, örme veya diğer yöntemlerle kumaş, triko, halı gibi ürün haline getirilmesi, iplik ve kumaşlara boya, baskı, apre gibi terbiye işlemlerini içerir. Tekstil endüstrisinde kullanılan ham maddenin ürüne dönüştürülmesine kadar olan temel işlemler Şekil 2.1' de şematik olarak gösterilmiştir [2].

Tekstil Endüstrisinin hammaddesini elyaf oluşturmaktadır. Tabii elyaflar pamuk, keten, kenevir, yün, ipek, mohair ve kıllardır. Fabrika yapımı elyaflar arasında reyon, akrilik, selüloz, asetat, kazein, polyster, naylon ve vinildir. Tekstil endüstrisindeki proses ve işlemler elyaflara göre farklılıklara rağmen benzerdir [2].




Şekil 2.1: Tekstil Üretim Süreci.

Pamuklu Tekstil, pamuk elyafı, ipliğin oluşturulması, dokuma hazırlık ve ürünlerin terbiyesi olarak üç aşamada işlenir. İpliğin oluştulması; açma temizleme, tarama, çekme, eğirme, bobinleme vb. işlemleri kapsamaktadır. Bunlar çoğunlukla fiziksel kuru işlemlerdir. Dokuma hazırlık işlemleri, bobin ve çile hazırlaması, çözgüler, tahar, haşıllama ve dokuma gibi kuru işlemleri kapsamaktadır. Terbiye işlemlerinde yüksek miktarda su harcanır. En önemli terbiye işlemleri haşıl sökme, ağartma, yıkama, merserizasyon, ağartma, pişirme, boyama ve apre işlemleridir. Haşıl sökme dokuma esnasında yıpranmaın engellenmesi için kullanılan nişastanın asitle ve enzimle elimine edilmesi işlemine dayanır. Pişirme işlemi pamuklu ürünün uygun bir bazla kaynatılarak temizlenmesine dayanır. Kasar klorit, bir ağartma işlemidir. Boyama işleminde reaktif naftol, direkt, kükürtlü, indigo gibi çok sayıda değişik boya türleri kullanılır. Kasar ile boyama işlemlerinde çok yüksek miktarda su kullanılır. Apre en son oluşturulan ürüne; buruşmasını, çekmesini, su geçirmesini engelleyen son işlemdir [2].

Yünlü Tekstil, çeşitli hayvan kaynaklı lifler arasında en eski olanı yün koyun postundan elde edilir ve yüksek miktarda çimen, nebati hav, yapağı yağı ve hayvanın büyümesinde lifleri koruyan yün yağıi çermektedir. Genellikle yün %30 lif, %70 yabancı madde içerir.

Yünlü tekstil ve pamuklu tekstil işlemlerinde benzer özellikler olmasına rağmen aralarında en büyük fark yünün yıkanmasıdır. Bu işlemde oldukça yüksek kirliğe sahip atıksu oluşur. İlk aşamada taraklama işlemi yapılır ve ipliklere sentetik madde katkılarıda eklenerak makaralara sarılıp dokunur. Boyama işleminde metalize ve mordant boyalar kullanıldıktan sonra sıcak asit, metalize ve mordant boyalar kullanılır, sonra sıcak su veya kimyasal maddeler ile fiksaj yapılır. Apre ve keçeleşmezlik işlemi pamuklu kumaşlara uygulanan diğer işlemleri içerir [2].

Sentetik Tekstil, selüloz yapılı ve organik içerikli polimer elyaflar iplik hazırlama, haşıllama, 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].

## 2.2. Altkategorizasyon

Tekstil endüstrisinde hammaddeler, üretim işlemleri, ürünler su kullanımı ve atıksu özellikleri kriterleri dikkate alınarak altkategorilere ayrılır. Temel alt kategoriler 10 tanedir. Yapağı yıkama, yün son işlemleri, dokunmuş kumaş son işlemleri, örgü kumaş son işlemleri, açık elyaf ve iplik son işlemleri, halı son işlemleri, dokusuz yüzeyli kumaş üretimi, keçeleştirilmiş kumaş üretimi, az su kullanılan işlemler, koza işleme ve doğal iplik üretimidir [2].

## 2.3. Su Kullanımı Ve Atıksu Karakteristikleri

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

olarak ele alınabilir. Her alt kategoride işlem türleri, işlemler için kullanılan teknolji ve diğer faktörlere bağlı olarak su kullanımı bazen geniş aralıklarda değişmektedir. Birim yükler dikkate alındığında az su kulanılan proseslerde atıksu miktarı genelde 10 $m^3$/ton kumaş değerinin altındadır. Dokunmuş kumaş son işlemleri altkategorisi için bu değer 50-300 $m^3$/ton kumaş arasında değişir. Yünlü kumaş son işlemleri ise orta ve yüksek değerler civarında atıksu üretmektedir [2].

Tekstil sektöründeki birçok işletme; haşıllama, merserizasyon, yıkama ve boyama vb. işlemleri bulundurmaktadır. İşlemlerde kullanılan maddeler oluşan atıksuyun bileşimini içermektedir [2].

Atıksuların karakteri elyaf cinsi, uygulanan işlemler ve kullanılan kimyasal maddelere bağlı olarak değişkendir. Tekstil endüstrisinde temel kirletici parametreler $BOİ_5$, KOİ, AKM, yağ ve gres, toplam krom, fenol ve sülfürdür. Bunların dışında özellikle kullanılan boya ve diğer kimyasal maddelere bağlı olarak hem organik nitelikli hem ağır metal olarak çok sayıda mikrokirletici atıksularda bulunmaktadır. Tablo 2.1' de bazı altkategoriler için kirletici yükleri verilmiştir [2].

Tablo 2.1: Tekstil Endüstrisi Atık Yükleri.

| Altkategori | $BOİ_5$ mg/L kg/ton.kumaş | | AKM mg/L kg/ton.kumaş | | Yağ ve Gres mg/L kg/ton.kumaş | | Sülfür mg/L 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 | - |

## 2.4. Tekstil Atıksuyu Arıtım Yöntemleri

Arıtma uygulamaları üç aşamada ele alınabilir. Bunlar ilk arıtma, ön arıtma, son arıtmadır. İlk arıtma atıksuların askıda madde giderimi, dengeleme ve pH ayarını

kapsar. Her üç uygulamada tekstil de askı maddelerinin çevreye ve ileri arıtma adımlarına zararları, atıksuların yük ve debilerindeki değişkenlik ve biyolojik arıtma için uygun olmayan pH' larının ayarlanması açısından temel düzenlerdir. Ön arıtma ile ayrı şekilde ele alınabilir. Birincisi krom indirgeme, sülfür oksidasyonu gibi ayrılmış akımlara uygulanan arıtma yöntemleridir. Diğeri toplam atıksulara uygulanan kimyasal çöktürme veya yüzdürme gibi organik ve zehirli atık yüklerinin kontrolüne yönelik arıtma işlemleridir. Son arıtma genellikle biyolojik arıtma olup bu amaçla en yaygı şekilde uzatmalı havalandırma tipi aktif çamur sistemleri veya damlatmalı filtreler kullanılmaktadır. Bazı hallerde biyolojik arıtma sonrasında daha ileri arıtma sağlamak için bir üçüncü kademe arıtma uygulaması yapılmaktadır [2].

- İlk Arıtım Yötemleri

Atıksuların ayrılması ve dengelenmesi, tekstil endüstrisi, yüksek miktarda su tüketimi yapan endüstrilerden biri olamkla birlikte boyama ve son işlem prosesleri kaynaklı atıksular, günden güne hatta gün içerisinde de farklı karakterde olabilmektedir. Özellikle pH, renk ve KOİ konsantrasyonlarındaki değişim dolayısıyla atıksuların, uygulanacak arıtma metotlarına göre farklı akımlar ve prosesler olarak ayrılması ve debide, pH değerinde, sıcaklık ve kirletici yüklerindeki bu salınımı engellemek için dengeleme tanklarında depolanması gerekmektedir. Ayrıca, karıştırma ve havalandırma işlemleriyle kötü kokunun yok edilmesi ve diğer kirletici yüklerinin azaltılması sağlanabilmektedir [3].

Atıksuların nötralize edilmesi, kimyasal ve biyolojik arıtma sistemleri belli bir pH toleransına sahip olmalarından dolayı, büyük pH değişiklikleri arıtma tesislerini olumsuz etkilemektedir. Sonuç olarak pH ayarlaması yapılmadan arıtma proseslerinin devamı mümkün değildir. Suyun pH değerine bağlı olarak asit veya baz ilavesi yapılması gerekmektedir [3].

Izgara, atıksuda asılı veya yüzer halde bulunan katı maddelerin sudan ayrılması amacıyla kullanılır. Özellikle elyaf ve katı parçalar içeren atıksularda, uygun olan ızgaralar kullanılmalıdır. Aksi durumda pompalar ve diğer mekanizmalarda çeşitli tıkanma problemleri olacaktır. İnce partikül ve elyaf içerenatıksularda, önce ızgara aralığı 20-50 mm olan kaba ızgaralar, sonrasında elyaf boyutuna bağlı olarak daha küçük aralıklı (0.5-1 mm) olan ince ızgaralar önerilir. Kaba ızgaralarda temizleme el

veya otomatik temizlemeli olabilir ancak ince ızgaralar otomatik temizlemeli olmalıdır. Uzun ömürlü ve kolay bir işletme sağlamak amacıyla ham atıksuyla çalışılacak olan ızgaraların ıslak olan kısımları paslanmaz malzemeden olmalıdır. Ugulamalarda en çok kullanılan ızgara tipleri; çubuk tip kanal ızgaralar, döner tambur ızgaralar, vidalı presleyici ızgaralar, titreşimli seperatörlerdir. Özellikle son zamanlarda yurt dışında geliştirilen ve yurt dışındaki modern tesislerde kullanılan adım tipi ızgaralarda bulunmaktadır. Adım ızgaraların çalışması yürüyen merdivene benzetilebilir. Atıksuda bulunan katı parçalar, basamaklarla tutulup su içinden yükseltilmekte, suyu süzülmekte ve bir konteynıra boşaltılıp kokuşma olmadab uzaklaştırılmaktadır. İyi bir ızgaralama sonucunda %25-55 askıda katı madde giderimi, % 5-10 BOİ giderimi elde edilebilir [4].

Flotasyon, atıksu içinde bulunan AKM, yağ ve gres, elyaf, reçineli maddeler gibi yüzdürülebilen maddelerin ayrılması amacıyla kullanılır. Basit bekletme işlemiyle suda çözünmemiş ve ayrı bir faz halinde olan yağ vb. maddelerin ayrıldığı flotasyon yanında, çözünmüş hava flotasyonu (DAF) veya dağıtılmış hava flotasyonu kullanılmasıyla yaklaşık %70-95 verimle ayrılması daha zor maddelerin yüzdürme işlemleride yapılmaktadır. Çözünmüş veya emülsiyon halinde bulunan yağ ve türevlerinin yüzdürülerek ayrılmasında asit ve uygun kimyasal maddeler ile de flotasyonda yapılabilmektedir [4].

- Atıksuların Kimyasal Yöntemlerle Arıtılması

Uzun yıllardır yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bunun en önemli sebebi atıksuniteliğinde oluşan değişikliklerin kullanılan kimyasalda veya miktarda yapılan değişiklikleri tolere etmesidir [5]. Tekstil atıksularının kimyasal olarak arıtımında en yaygın kullanılan yöntemler şunlardır: Oksidasyon yöntemleri, kimyasal çöktürme ve flokülasyon yöntemidir.

Oksidasyon, kimyasal arıtma metotları içinde en çok rastlanan renk giderme yöntemlerinden biridir. Bunun sebebi uygulanmasının kolay oluşudur. Uygulanması sonucunda boya molekülünde bulunan aromatik yapı kırılıp atıksuda bulunan boyar madde giderilir [6].

Fenton ve foto-Fenton, Fenton reaksiyonuyla, pek çok organik bileşik parçalanır. Bu nedenle yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. İlaveten $OH^{\bullet}$

radikalleriyle gerçekleşen oksidasyonlar içinde oldukça önemli görülmektedir. Fenton reaksiyonu, asidik şartlar altında $Fe^{+2}$' nin $OH^{\bullet}$ radikalleri oluşturmak üzere $H_2O_2$ ile oksidasyonuna dayanır [7].

$$Fe^{+2} + H_2O_2 \rightarrow Fe^{+3} + OH^{-} + OH^{\bullet} \quad (2.1)$$

Fenton prosesinin oksidasyon gücü, UV ışınlarıyla önemli oranda artar. UV ışınlarının varlığında gerçekleşen Fenton prosesi foto-Fenton prosesi olarak adlandırılır.

$$Fe^{+2} + H_2O_2 \rightarrow FeOH^{+2} + OH^{\bullet} \quad (2.2)$$

$$FeOH^{+2} + hV \rightarrow Fe^{+2} + OH^{\bullet} \quad (2.3)$$

Boyar madde içeren atıksuların arıtımında konvansiyonel metotlar kullanılmaktadır. Organik maddelerin giderimi yönünden büyük oranda başarılı olan bu yömtem renk ve toksiste gideriminde istenilen kaliteye ulaşamamaktadır [8].
Fenton prosesi uygulandığında, tekstil vb. endüstriyel atıksuların renginin tamamen giderildiği ve organik madde gideriminin kısmen gerçekleştiği savunulur.

Fenton prosesinde, pH değeri yaklaşık 3' e ayarlanır, Fe (II) tuzu eklenir, $H_2O_2$ ilave edilir. Reaksiyon gerçekleştrilip katılar ayrıldıktan sonra kireç sütü veya kostik soda ile nötralize edilir [9].

Hem demir hem de hidrojen peroksitin ucuz olması, homojen katalitik yapısından dolayı kütle transfer sınırlamasının olmaması, prosesin teknolojik olarak basit olması fenton prosesinin başlıca avantajlarıdır.

Yüksek pH aralığında ozonlama, ozonun, $OH^{-}$ iyonlarıyla olan tam reaksiyonu aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$3O_3 + H_2O \rightarrow 2OH^{\cdot} + 4O_2 \quad (2.4)$$

Staehlin ve diğerleri (1982) ozonlama prosesinin mekanizmasının yüksek pH değerlerinde değiştiğini göstermişlerdir. Kompleks bir zincir reaksiyon sonucunda hidroksil radikalleri oluşmaktadır. Bikarbonat, karbonat ve humik maddelerin

organik içeriklerinin bulunduğu bir ortamda, ozon ve hidroksit iyonu ile başlayan kapalı zincir reaksiyonu, $OH^{\cdot}$ ve radikal-radikal çifti prosesleriyle parçalanmaktadır. Ayrıca, reaksiyon ortamındaki makro ve/veya mikro kirleticilerin de $OH^{\cdot}$ radikallerince reaksiyona girmesi mümkün olmaktadır. Ozonla olan reaksiyonlarda, nötral pH seviyelerinde çeşitli kirleticilerin bulunması ile ilgili olacak şekilde kirletici maddenin hem ozonla hem de $OH^{\cdot}$ radikalleri ile reaksiyonu aynı anda gerçekleşmesi mümkün olmaktadır [10].

Kimyasal çöktürme, boya içeren atıksuların kimyasal olarak arıtım yöntemlerinden biridir. Atıksuya eklenen alum vb. kimyasallarla çözünmüş ve kolloidal halde bulunan maddeler yumaklaştırma ve çökelmeyle sudan uzaklaştırılır. Bu yöntemde koagülantlar sebebiyle yüksek miktarda çamur oluşur. Kestioğlu ve diğ. (1996) tarafından yapılan çalışmada yüksek KOİ içeren tekstil atıksularında kimyasal çöktürme ve adsorpsiyon yöntemleriyle arıtılabilirliği denemiştir. Atıksu standart metotlara göre analizi yapılmış ve pH=7.08, KOİ=41.120 mg/L AKM=210 mg/L olarak bulunmuştur. Birinci çalışmada 6 farklı dozda alüm (500-8000 mg/L) kullanılarak pH=7.5' da, ikinci çalışmada 3 farklı dozda alüm (1500-8000 mg/L)+non iyonik PE (1-4 mg/L) kullanılarak pH=7.5' da, üçüncü çalışmada ise 5 farklı dozda PAC (1000-3000 mg/L) kullanılarak pH=8.5' da, kimyasal arıtılabilirlik çalışmaları yapılmıştır. Her üç çalışmada da üst sıvı fazdan alınan örneklerde KOİ analizleri yapılmıştır. Sonuç olarak görülmüştür ki PAC ile yapılan fizikokimyasal arıtılabilirlik çalışmaları sonucunda 2500 mg/L PAC dozunda %60 oranında en yüksek KOİ giderme verimi elde edilmesine rağmen, bu doz miktarı yüksek maliyet getireceðinden 1000 mg/L PAC ile elde edilen %52'lik KOİ giderme veriminin uygun olabileceği kanaatine varılmıştır. 750 mg/L alüm ve 1000 mg/L PAC ile aynı oranda (%52) KOİ giderme verimi elde edilmesine rağmen, adsorpsiyon ünitesinde problem yaratmaması için 1000 mg/L PAC dozu esas alınmış ve adsorpsiyon prosesiyle arıtılabilirlik çalışması yapılmıştır [11].

NaOCl ile arıtım, sodyum hipoklorit (NaOCl) Sodyum hipoklorit'in (NaOCl) toz, granül ve sıvı olmak üzere üç şekli bulunmaktadır. Sıvı sodyum hipoklorit belli miktarlarda alınarak bilinen çamaşır suyu elde edilir. Sodyum hipokloritin en önemli maddesi klordur. pH a bağlı olarak sulu ortamda farklı bileşenlere ayrışır. Buna göre

pH 5’ in üzerinde çözeltide hipoklorik asit (HOCl) ve hipoklor iyonları (OCl) baskınken pH 5’ in altında $Cl_2$ ve suya dönüşmektedir [12].

Klorlu bileşiklerle arıtma, boya içeren atıksuların oksidasyonuna dayanır. Bu yöntemle amino grubuna etki eden $Cl^-$ boya molekülü sonucunda azo bağı kırılır ve klor konsantrasyonu artar, buna bağlı olarak da renk giderim verimi artar.

Elektrokoagülasyon yöntemi, bir elektrokimyasal arıtım prosesinde en önemli etkenlerden biri kullanılan elektrotun cinsidir. Elektrokoagülasyon prosesinde genellikle alüminyum ($Al^{+3}$) ve demir ($Fe^{+3}$ veya $Fe^{+2}$) elektrotlar kullanılmaktadır. Proses işletim sırasında bu elektrotlar atıksuda reakte olarak $Al(OH)_3$, $Fe(OH)_3$ ve $Fe(OH)_3$ gibi metal hidroksit bileşikleri meydana gelmektedir. Bu metal hidroksitler atıksu ortamındaki farklı kirlilik parametrelerini adsorbe ederek çökelmesini sağlar. Kirleticiler bu sayede atıksudan uzaklaştırılmış olur [13].

F. Özyonar ve B. Karagözoğlu tarafından yapılan bir çalışmada tekstil sanayi atıksularının elektrokoagülasyon prosesi ile arıtılabilirliği incelenmiştir. Paralel bağlı elektrotlar kullanılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen veriler değerlendirilerek EC prosesinin optimum koşulları belirlenmiştir. Bu koşullar; başlangıç pH:3, akım yoğunluğu 100 $A/m^2$ ve elektroliz süresi 20 dk olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar neticesinde TOK, KOİ, renk ve bulanıklık giderme verimleri sırasıyla, %82.6, %72.5, %97.7 ve %98.7’ dir. Ayrıca yapılan çalışmada KOİ parametresi açısından, arıtılmış suyun Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği’nde belirtilen deşarj limit değerini sağladığı görülmüştür. Sonuç olarak tekstil sanayi atıksuyunun arıtımında EC prosesinin etkili bir yöntem olduğu ortaya konulmuştur [14]. Serkan Bayar ve diğerler tarafından yapılan bir çalışmada (2012), sentetik olarak hazırlanan Direct Red 23 boyar maddesinin sulu ortamdan elektrokolagülasyon yöntemi kullanılarak giderimi amaçlanmıştır. Alüminyum elektrotların kullanıldığı çalışmada, başlangıç çözelti pH’sı, karıştırma hızı ve destek elektrolit türünün renk giderimi üzerine etkileri incelenmiştir. Denemeler süresince akım yoğunluğu 0.1 mA $cm^{-2}$ ve sıcaklık 20 $^0C$’ de sabit tutulmuştur. Elektrotlar arası mesafe 0.5 cm olarak belirlenmiştir. Renk giderme verimi üzerine çözeltinin başlangıç pH’sının çok etkili bir parametre olduğu gözlemlenmiştir. En yüksek renk giderim verimi başlangıç çözelti pH’sı 5, 150 devir $dakika^{-1}$ karıştırma hızı ve 5 mMolar NaCl tuzunun kullanıldığı denemede 30 dakika deney süresi sonunda % 98 olarak gerçekleşmiştir.

Yapılan deneylerde destek elektrolit türünün renk giderim verimine etkili bir parametre olmadığı gözlemlenmiştir. Çalışma sonucunda Direct Red 23 boyar maddesi içeren atıksuların arıtımında alüminyum elektrot içeren elektrokoagülasyon prosesinin uygulanabileceği görüşüne varılmıştır. Destek elektrolit türünün giderim verimi üzerine yapılan denemelerde pH:5.0,500 mg/L başlangıç boya konsantrasyonu için 5 mmol NaCl, $Na_2SO_4$, $NaNO_3$ ve $CaCl_2$ destek elektrolit türleri çalışılmış destek elektrolit türünün boya giderimi için etkin bir parametre olmadığı görülmüştür. Giderim verimleri NaCl, $Na_2SO_4$, $NaNO_3$ ve $CaCl_2$ için sırasıyla; yaklaşık %98, %91, %87 ve %94 elde edilmiş ve en iyi giderimi 5 mmol NaCl için elde edilmiştir [15].

- Biyolojik Arıtım Yöntemleri

Biyolojik arıtım, endüstriyel proseslerden alıcı sistemlere transfer olan organikler için en önemli giderim prosesidir. Tekstil endüstrisi atıksuları için önerilen fiziksel ve kimyasal yöntemlerin yüksek maliyet gerektirmeleri ve her boya için kullanılamıyor olmaları, uygulanmalarının sınırlı olmasına neden olmuştur. Son zamanlarda yapılan çalışmalar birçok boya türünü atıksudan giderebilme yeteneğine sahip yaygın mikroorganizma türlerinin mevcudiyetini vurgulamış ve biyoteknolojik metodları ön plana çıkarmıştır. Yani, teorik olarak biyolojik arıtma sistemleri kimyasal ve fiziksel arıtma yöntemlerine göre daha az çamur üretmesi, maliyetinin daha düşük olması veya alıcı ortamlar için zararlı yan ürünlerin oluşmaması gibi özelliklerinden dolayı tekstil endüstrisi atıksularının arıtımı için ideal çözüm olarak kabul edilmektedir.

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].

Yapılan çalışmalarda aerobik ve anaerobik koşullarda boya giderimi yapabilen birçok mikroorganizma izole edilmiştir. Yapılan çalışmalar, bu mikroorganizmaların boyaları biyosorpsiyon, biyobirikim, biyodegradasyon gibi farklı mekanizmalarla giderdiğini göstermektedir. Son yıllarda tüm bunlara ek olarak azo boyaların dönüşümü, parçalanması veya mineralize edilmesi amaçlanmaktadır [17].

Bakterilerin renk giderim mekanizmaları tam olarak aydınlatılamamakla birlikte, azo boyaların renginin giderilmesi, azoredüktazların katalizlediği anaerobik indirgeme veya azo bağının kırılması üzerinden aromatik aminlerin oluştuğu, aerobik veya anaerobik parçalanma ile yaptıkları bilinmektedir [18]. Azo boyaların renginin giderilmesine yönelik çalışmalarda izole edilen birçok anaerobik bakteri türünün azoredüktaz enzim aktivitesine sahip olduğu ve genellikle azo bağları oksijenli koşullarda bakteriler tarafından parçalanmaya karşı dayanıklı ise de bazı özel aerobik bakteri türleri oksijene tolerans gösteren azoredüktaz enzimiyle bu bağları parçalayabildiği bildirilmiştir [19].

Anaerobik yöntem, tekstil atıksularının içindeki boyaların anaerobik olarak parçalanmasında aerobik şartlarda parçalanamayan reaktif azo boya maddeleri etkin rol oyanamaktadır. Bu arıtımda, renk gideriminin olması için fazla sayıda karbon kaynağına ihtiyaç vardır. İlave edilen karbonun metan ve $CO_2$' ye dönüşmesiyle elektronlar ortaya çıkmaktadır. Elektronlar son elektron alıcısı olarak reaktif boyayı kullanırlar ve azo bağının indirgenmesini sağlarlar. Oksijenin varlığında bu işlem gerçekleşmemektedir. Bu sebepten dolayı aerobik prosesten önce anaerobik şartlarda azo bağının kırılması gerekmektedir [20].

Sponza ve diğerleri (2000) tarafından yapılan bir çalışmada indigo boyar maddelerini kullanan tekstil endüstrisi atıksularının anaerobik arıtımına ışık tutmak amacıyla anaerobik ve granül çamur kültürlerinde indigo boyasının anaerobik olarak biyolojik parçalanabilirliği ve bu boyanın bu kültürlerde toksisitesi araştırılmıştır. Granül ve anaerobik çamur kültürleri için toksisiteyi gösteren $IC_{50}$ değerleri sırasıyla 1070 mg/L ve 510 mg/L bulunmuştur. Bu değerler granül çamur kültürünün indigo boyasının toksisitesine daha dirençli olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak görülmüştür ki indigo boyalarının aerobik mikroorganizmalara toksik etki yapması sonucunda arıtma verimlerinde düşüşler kaydedilmektedir ve arıtma tesisi çıkış suları alıcı ortama verildiklerinde öncelikle renk sucul ekosistemin estetiğini bozmakta boyadan kaynaklanan inert KOİ' de ekosistemde ayrışamadan akümüle olmaktadır. Renk gideriminin %100 olduğu 13 ve 20 günlük çamur yaşlarında granül çamur ve anaerobik mikroorganizmaların tam aklime olmaması nedeni ile düşük KOİ verimleri elde edilmiştir. Ancak 50 günlük çamur yaşlarında granül çamur ve anaerobik çamur mikroorganizmalarının aklimasyonları sonucu %70 KOİ giderme

verimleri elde edilmiştir. Uygulamalarda tekstil endüstrisi arıtma tesislerinde aerobik arıtmanın önüne anaerobik bir reaktörün konması renk giderimini sağlayacağı görülmüştür.

- İleri Arıtım Yöntemleri

Tekstil endüstrisinde boya atıksularının arıtımında konvansiyonel biyolojik arıtma yöntemleriyle yeterli renk giderimine ulaşılamamakta, fizikokimyasal koagülasyon ve flokülasyon metotları da etkisiz kalmaktadır. Tekstil endüstrisinin üretiminde kullanılan boyaların, kimyasal özellikleri, molekül büyüklüğü ve yapılarının çeşitliliğinden dolayı biyolojik arıtma yöntemleri rengin giderilmesinde etkili olamamaktadır. Az sayıdaki uygulamanın dışında boyalar, aerobik koşullar altında biyolojik olarak ayrışmamaktadır, örneğin kuvvetli renge sahip atıksuların oluşumuna neden olan reaktif boyalar, reaksiyonlara katılmadan ve arıtma tesislerine giriş konsantrasyonları değişmeden biyolojik arıtma proseslerinden çıkmaktadır. Reaktif boyalar, diğer boya türlerine oranla suda çok daha fazla çözünmekte ve biyolojik ayrışabilirliklerinin az olması nedeniyle konvansiyonel aktif çamur tesislerinde çok zor arıtılabilmektedir. Bazik boyalar, neredeyse tamamıyla lif üzerinde tutulurken reaktif boyaların kullanımı halinde, boya konsantrasyonunun yaklaşık % 40' ı atıksuya taşınmaktadır. Bu durum, biyolojik arıtmayı ayrışmaksızın terk eden reaktif boyaların konsantrasyonunu arttırmaktadır [21]. Sonuç olarak fizikokimyasal-biyolojik arıtma tesislerinde neredeyse hiç giderilemeyen tekstil boyalarının arıtımı için "İleri Arıtma Teknolojileri" geliştirilmiştir.

Adsorbsiyon, biyolojik olarak ayrışamayan çözünmüş organik maddelerin giderimi için, adsorpsiyon kademesinden yararlanılmaktadır. En etkin adsorpsiyon maddesi, aktif karbondur. Aktif karbon adsorpsiyonu, renk gideriminde en verimli işlemlerden biridir. Aktif karbon ya bir son işlem olarak temel arıtma yöntemlerinden sonra bir yatak içerisinde uygulanmaktadır, ya da aktif çamur sisteminde havalandırma havuzuna ilave edilmektedir. Bir son işlem olarak uygulandığında, filtrasyondan geçen sularda kalan artık organik maddeler ile renk giderimini sağlamaktadır; aktif çamur sistemine ilave edildiğinde ise, renk gideriminin yanında aktif çamurun organik madde giderme verimini de arttırmaktadır. Ancak bu maddenin pahalı oluşu, kullanımında geri kazanma

yöntemlerine başvurulmasını gerektirmektedir. Reaktif boyaların, inorganik adsorbanlar ile arıtılması ile ilgili referanslar bulunmaktadır. İnorganik adsorban olarak sentetik kil kullanılması halinde, aynı sıcaklık ve pH koşullarında aktif karbondan daha yüksek adsorpsiyon kapasitesine ulaşılmıştır [22]. Biyolojik adsorbanlar olarak, mısır koçanı, pirinç kabuğu ve tahta gibi sorbentlerin kullanılmasının, asit boyalara göre bazik boya gideriminde daha etkili olduğu gözlenmiştir. Bazik boyalara olan bu çekimin sebebi, adsorbanın negatif yüzeyi ile boyanın pozitif yüklü iyonları arasındaki Coulombic etkileşimden kaynaklanmaktadır. Tekstil endüstrisinde, bazik boyaların kullanımı çok yaygın olmadığı için, biyolojik sorbanlar kullanarak renk giderimi sınırlı kalmaktadır. Tekstil boyama atıksularında bulunan reaktif boyaların giderimi için ise, en uygun adsorban olarak yüksek adsorpsiyon kapasitesine sahip olan aktif karbon adsorpsiyonudur. Sonuç olarak boya atıksularında etkili bir renk giderim yöntemi de Granüler Aktif Karbon adsorpsiyonudur [23].

Membran filtrasyonu, son yıllarda suyun geri kazanımı ve tekrar kullanılması ile ilgili çeşitli stratejiler geliştirilmiştir. Bu stratejiler sırasıyla;

Denizler, yüzeysel sular, yeraltısuları gibi kirlenmiş su kaynaklarının arıtılarak temizlenmesi ve iyileştirilmesi, proses çıkış sularının arıtılarak geri kazanımı ve diğer bir proseste yeniden kullanımı, ayırma tekniklerinin proseslere uyarlanarak atık veya enerjinin kullanımının azaltılmasıdır [22].

Membran teknolojisi, bu stratejilerden arıtım teknolojisi ve ayırma prosesinin bir parçası olarak uygulanmaya başlanmıştır [24], [25].

Ultrafiltrasyon, nanofiltrasyon ve ters ozmos hem tam ölçekli arıtma için hem de suyun ve kimyasalların yeniden kullanımı için uygulanmaktadır. Membran seçimi dikkatli yapıldığı takdirde, ön filtrasyon sistemi kullanıldığında, düzenli temizleme işlemleri ile membranın tıkanma riski de azaltılmaktadır. Yün yıkama suları, sıcak yıkama çözeltisi içerip yüksek pH da deterjan ve yüksek KOİ konsantrasyonuna sahip olduğu için filtrasyon teknikleri ile arıtılabilmektedir. Tam ölçekli ultrafiltrasyon yöntemi ile %80"e kadar KOİ, yağlar ve askıda madde arıtımı gerçekleşmektedir. Filtre edilen kısım kanalizasyona verilirken, konsantre kısım yüksek maliyetler ile lagünlere taşınmaktadır. Boyahane atıklarının da yeniden kullanımı ters ozmos ile yapılsa da bu sadece su için söz konusudur. Koagülasyon ve mikrofiltrasyon ise,

membranın tıkanmasını engellemek için mutlaka gerekmektedir. Filtrasyon prosesleri, konsantre akımın uzaklaştırılması probleminden dolayı sınırlı bir uygulama alanına sahiptir. Ozonlama ve membran nanofiltrasyonu ile yüksek renk konsantrasyonuna sahip boyalı atıksular arıtılmaktadır. Ayrıca mikrofiltrasyon, nanofiltrasyon ve ters ozmos membran proseslerinin ikincil arıtmadan çıkmış atıksulara uygulanması, maddi olarak ulaşılabilir özellikte olup yeniden kullanım standartlarını da sağlanmaktadır [26].

İyon değişimi, tekstil atıksularının arıtımında iyon değiştiricilerin kullanımı yaygın değildir. Bunun sebebi iyon değiştiricilerle arıtılıp yüksek verim sağlayan boyaların sınırlı olduğu düşünülmektedir. Bu yöntemde değişim yerleri, doyma seviyesine erişene kadar iyon değiştirici reçineler üzerinden geçmektedir. Böylece tekstil atıksularındaki anyonik ve katyonik boyalar giderilmiş olur. Bu yöntemin avantajları adsorban kaybının olmaması, çözünebilir boyaların yüksek seviyelerde giderimidir. En önemli dezavantajı da maliyetinin yüksek olmasıdır [27].

## 2.5. 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/Flokulasyon | Çok büyük miktarda çamur oluşur. Renk gideriminde etkili değildir. |
| Flokulasyon/Çökelme İle 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. |
| Oksidasyon/İleri Oksidasyon Prosesi | Hem KOİ hem de renk gideriminde oldukça başarılı bir prosestir. %80-90 verimle KOİ %85-95 verimle renk giderimi sağlanmıştır. |
| Membran Prosesler | Genellikle NF ve TO renk, organik madde ve iletkenlik gideriminde ve su geri kazanımında etkili bir prosestir. |
| Koagülasyon/ Flokulasyon /Çökelme ve MF | %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. |

## 2.6. Literatür Taraması Ve Değerlendirme

Dong ve diğerleri (1999) tarafından yapılan çalışmada tekstil endüstrisi atıksuyunun arıtımı için Fenton oksidasyonu ve koagulasyon bir arada kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre optimum şartlarda sırasıyla renk ve KOİ giderimi için %94 ve %92 giderim verimleri elde edilmiş olup koagulant olarak alumun, demir sülfattan daha etkili olduğu tespit edilmiştir.

Çapar ve diğerleri (2004) tarafından yapılan çalışmada halı boyama atıksularının membran proseslerle arıtımı araştırılmıştır. Ön arıtma yapılmış olan atıksu UF ve NF sistemlerine beslenmiştir. NF prosesinde %90 üzerinde Ultraviyole absorbans ($\mathrm{UVA}_{195}$) ve bulanıklık giderimi sağlanmıştır, renk ve KOİ tamamen uzaklaştırılmıştır. UF prosesi de %90' ının üzerinde gerçekleşmesine rağmen %8-25 KOİ ve %0-13 düzeyinde renk giderimi sağlanmıştır.

Kestioğlu ve diğerleri (2006) tarafından yapılan çalışmada yüksek KOİ içerikli tekstil atıksularının kimyasal çökeltim ve adsorpsiyon yöntemiyle arıtılabilirliği araştırılmıştır. Atıksuyun debisi düşük olduğundan ve atıksu biyolojik olarak parçalanamayan organik maddeler içerdiğinden atıksuyun arıtımı için kireçle pH ayarlandıktan sonra PAC (1000 mg/L) kullanılarak kimyasal floklar oluşturulmuş, daha sonra bu floklar kimyasal çökeltim tanklarında çöktürülmüş ve supernatant çıkışı atıksu GAC adsorpsiyon kolonlarından geçirilmiş ve deşarj kriterleri sağlanmıştır.

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 (2008) tarafından yapılan çalışmada tekstil atıksularından Fenton prosesiyle renk giderimi araştırılmıştır. Fenton prosesiyle oldukça yüksek renk giderme verimleri elde edilmektedir. pH, sıcaklık ve reaktiflerin konsantrasyonunun optimize edilmesi gerekmektedir. Ayrıca, gerek boyar madde yapısı ve gerekse de atıksuda bulunan boya yardımcı kimyasalların ve iyonların renk giderimini etkilediği ve bu faktörlerinde renk gideriminde dikkate alınması gerektiği görülmektedir. Fenton prosesi ve diğer ileri oksidasyon yöntemleri renk giderimi bakımından karşılaştırıldığı çalıştırlıdığında, Fenton prosesiyle daha yüksek renk giderim verimleri elde edildiği görülmüştür.

Quader (2010) tarafından, klor ile tekstil atıksuyundan renk, KOİ, BOİ ve TDS giderimini amaçlayan çalışmalar yapılmıştır.

İleri ve diğerleri (2011) tarafından yapılan çalışmada, tekstil atıksularından Fenton prosesiyle akut toksisite giderimi araştırılmıştır. Çalışma sonucunda toksisitenin kaynağının yüksek KOİ ve renk parametrelerinin olduğu tespit edilmiş ve yapılan Fenton prosesiyle, atıksuyun KOİ giderim veriminin %98' e ulaştığı tespit edilmiştir.

Kaykıoğlu ve diğerleri (2012) tarafından yapılan çalışmada, aerobik ve anaerobik ön arıtmalı membran sistemlerle tekstil atıksularının geri kazanımı amaçlanmıştır. NF10 ve NF30 membran kullanılarak anaerobik (SGYAR) ve aerobik

arıtma çıkışında yapılan uzun süreli çalışma sonucunda, her iki atıksu için de NF 30 membranların süzüntü suyu kalitesi bakımından uygulamada en uygun membran olacağı kanaatine varılmıştır. Ancak, anaerobik arıtma çıkışında NF30 membran iletkenlik parametresini 10 bar basınç altında uygun seviyelere indirmeyi başaramamıştır. Aerobik arıtma sonrası NF30 uygulamasıyla elde edilen süzüntü suyunun fabrikanın herhangi bir prosesinde (koyu renkli boyama, ilk yıkama vb.) kullanım için uygun olduğu belirlenmiştir.

Aksu (2016) tarafından yapılan çalışmada, ileri oksidayon/ultrafiltrasyon hibrit sistemi kullanılarak tekstil atıksularından organik madde giderimi amaçlanmıştır. Sistem için optimum şartlar ve uygun membranlar belirlenmiştir.

Yapılan çalışmada tekstil atıksularının arıtımı amacıyla iki farklı entegre membran sistemde Fenton foto-Fenton deneyleri gerçekleştirilmiş ve basınçlı sistemlerde çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Yapılan diğer çalışmalardan farklı olarak oluşan nihai konsantrelerin minimizasyonu amaçlanıp risk analizleri yapılmıştır ve membran süzüntü sularının endüstriyel geri kazanım suyu olarak kullanımı değerlendirilmiştir.

# 3. MALZEME VE YÖNTEM

## 3.1. Malzeme

Membranlar, proses işletimleri, UF proseste 4 (UP005, UP020, UH050, UV150), NF proseste 4 (NP030, NF270, DS-5DK, ESNA-1) ve TO proseste 5 (TFC-HRRO, LFC-3, CPA-3, CPA-5 ve BW30) olmak üzere toplam 13 farklı membran kullanılarak yerine getirilmiştir. Deneylerde kullanılan membranlara ilişkin genel özellikler Tablo 3.1' de verilmiştir.

Tablo 3.1: Deneylerde Kullanılan UF, NF ve TO Membranların Genel Özellikleri.

| Proses | Membran | Üretici Firma | Malzeme | MWCO[2] (kDa) | pH | T[2] ($^0$C) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| UF | UP005 | MicrodynNadir | PES | 5000 | 0-14 | 95 |
| | UP020 | MicrodynNadir | PES | 20000 | 0-14 | 95 |
| | UH050 | MicrodynNadir | PES | 50000 | 0-14 | 95 |
| | UV150 | MicrodynNadir | PVDF | 150000 | 2-11 | 95 |
| NF | NP030 | MicrodynNadir | PES | 400 | 0-14 | 95 |
| | NF270 | Filmtech DOW | A-PA TFC | 300 | 2-11 | 45 |
| | DS-5DK | GE-Osmonics | TFC | 150-300 | 2-11 | 50 |
| | ESNA-1 | Hydranautics | A-PA TFC | 200 | 2-10 | 45 |
| TO | CPA-3 | Hydranautics | A-PA | 100-200 | 3-10 | 45 |
| | CPA-5 | Hydranautics | K-PA | 100-200 | 2-11 | 45 |
| | BW30 | DOW | PA-TFC | 100-200 | 2-11 | 45 |
| | LFC-3 | Hydranautics | K-PA | 100-200 | 2-10 | 45 |
| | TFC-HRRO | KOCH | PA | 100 | 4-11 | 45 |

[1] PES: Polietersülfon, RC: Rejenere selüloz; PVDF: Polivinilidenflorit; TFC: İnce film kompozit; A-TFC: Aromatik ince film kompozit; A-PA: Aromatik poliamid; K-PA: Kompozit poliamid.

[2] Molecular weight cutt-off'ın kısaltması olarak MWCO membranın, kirletici molekül boyutu üzerinden ayırma büyüklüğünü, sıcaklığın sembolü olarak T membranın azami işletme sıcaklığını ifade eder.

## 3.2. Deneysel Çalışma Düzenekleri

- Etkinliği Bilinen Sistemler (UF/NF/TO + İOP/UF)

Memran Seçimi İçin Deneysel Çalışmalar; deneylerde kullanılan tezgah-üstü çalışma düzeneği Şekil 3.1' de gösterilmiştir. Düzenek, bir adet Sterlitech marka 300 mL besleme kapasitesine ve paslanmaz dikey yerleşimli çelik çapraz akış membran modülüne sahiptir. Modülde istenen membran geçiş basıncı, modüle doğrudan beslenen azot gazı ile sağlanmıştır. Bu amaçla düzenek bir adet azot tüpü ile donatılarak; modüle gaz geçişini sağlayan azot gazı iletim ve tahliye hattına bağlı bir adet basınç açma ve bir adet basınç ayarlama vanası vasıtasıyla güvenli işletim yerine getirilmiştir. Membran modül içerisine beslenen atıksuda istenen sabit sıcaklık ve çapraz akış hızı değerleri, sıcaklık ve karıştırma hızı ayarlamalı manyetik karıştırıcı vasıtasıyla sağlanarak deneyler yürütülmüştür. Membran modülden çıkan filtre edilmiş süzüntü akımı cam bir behere alınarak, bir adet hassas terazi vasıtasıyla süzüntü suyunda ağırlık ölçümleri yapılmıştır. Teraziden veri bağlantısı aracılığıyla bilgisayara alınan süzüntü suyu ağırlığı verileri üzerinden (2.1)' de verilen su akısı hesaplama formülü kullanılarak, süzüntü suyu akısı zamana karşı elde edilmiştir.

$$J= [\frac{1}{A}*dV] \tag{3.1}$$

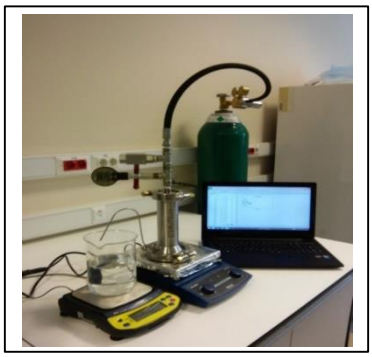
Denklemde; J ($L/m^2 \cdot sa$), membrandan geçen süzüntü suyu akısı; A ($m^2$), etkili membran alanı; V ($dm^3$), membrandan geçen suyun hacmi; ve t (sa), filtrasyon süresini ifade etmektedir.

$$R= 100*[\frac{C_k - C_s}{C_k}] \tag{3.2}$$

Denklemde, R (%) kirletici giderme verimini ve $C_s$ ve $C_k$ ise sırasıyla süzüntü ve konsantre akımlarındaki kirletici parametre ölçüm sonuçlarını ifade etmektedir.

Membran proses işletimlerinde kullanılan düzenekte deneysel çalışmalar, herhangi bir pH ayarlaması yapılmaksızın, 25 ºC sıcaklık ve 300 rpm'lik çapraz akış hızı şartlarında; UF, NF ve TO prosesleri için sırasıyla 8, 12 ve 40 bar'lık membran geçiş basıncı şartlarında yerine getirilmiştir. NF deneylerinde UF' ten geçirilmiş, TO

deneylerinde ise UF ve sonrasında NF'ten geçirilmiş arıtılmış atıksu, membran proseste besleme akımı olarak kullanılmıştır.



Şekil 3.1: Çapraz Akışlı Basınç Sürücülü Membran Proses Çalışma Düzeneği.

Yapılan deneyler sonucunda elde edilen veriler ışığında Tekstil endüstrisi atıksuyunda membran seçiminde sırasıyla UF, NFsıkı ve TO filtrasyonları ile çıkış sularında en yüksek performansı veren UF/NFsıkı/TO membran sistem kombinasyonu belirlenmiştir.

Tekstil endüstrisi atıksuları için etkinlikleri bilinen UF/NFsıkı/TO sistemleri için en uygun membran konfigürasyonları UH050/NF270/LFC-3 olduğu görülmüştür. Şekil 3.2' de verilen sürekli işletimli yüksek basınç filtrasyon sistemleri kullanılarak su eldeleri sağlanmıştır. Yüksek basınç çapraz akış membran filtrasyon sistemi 12 L atıksu besleme hacmi kapasitesine sahip olup, sistemde %75-80' e varan seviyelerde su geri kazanımı sağlanabilmektedir. Yüksek basınç çapraz akış membran filtrasyon sistemi 12 L atıksu besleme hacmi kapasitesine sahip olup, sistemde %75-80' e varan seviyelerde su geri kazanımı sağlanabilmektedir.

Su geri kazanım etkinliği literatürden bilinen, UF/NFsıkı/TO (tekstil atıksuyu için) konfigürasyonları ile yüksek basınç filtrasyon sistemi ile yürütülen sürekli denemelerde %80 oranında su geri kazanımları sonucunda oluşan membran konsantreleri çeşitli oranlarda karıştırılarak Şekil 3.3' de gösterilen yenilikçi tezgâh-üstü İOP/batık UF hibrit reaktörü Tablo 3.2' de verilmiş olan optimum işletme şartlarında oksidasyona tabi tutulmuş ve bu sayede membran konsantre yükünün azaltılması amaçlanmıştır.

Şekil 3.2: Sürekli İşletimli Basınç Sürücülü Membran Proses.

Şekil 3.3: Tezgah-üstü İleri Oksidasyon Prosesi/Batık Ultrafiltrasyon (İOP/ UF) Hibrit Reaktörü.

Tablo 3.2: Tezgah-üstü Hibrit Reaktörde Uygulanan Fenton ve Foto-Fenton (UVA-365, UVC-254) Proseslerinin Optimum İşletme Şartları.

| Parametre | Açıklaması | Birim | Tekstil Endüstrisi | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Fenton Prosesi | Foto-Fenton Prosesi (UVA) | Foto-Fenton Prosesi (UVC) |
| t | süre | dk | 60.0 | 60.0 | 41.0 |
| T | sıcaklık | $^0$C | 26.5 | 40.0 | 40.0 |
| pH | pH | – | 3.73 | 4.0 | 4.44 |
| $H_2O_2$/TOK | $H_2O_2$/TOK oranı | g/g | 6.00 | 7.75 | 9.88 |
| $H_2O_2/Fe^{2+}$ | $H_2O_2/Fe^{2+}$ oranı | g/g | 15.0 | 10.75 | 7.27 |
| $\nu_H$ | İOP reaktör havalandırma hızı | L/dk | 1.8 | 1.00 | 2.89 |
| $I_Ş$ | Işık şiddeti | adet | - | 3 lamba | 3 lamba |
| $I_T$ | Işık türü | - | - | UVA-365 | UVC-254 |
| $M_T$ | Membran türü | - | UH050 | UV150 | UH050 |

Deneysel çalışmalar 3 L kapsaiteli borosilikat camdan üretilmiş İOP/UF reaktöründe yürütülmüştür. Reaktör ve reaktörde kullanılan tüm metal içerikli parçalar paslanmaz çelikten üretilmiştir. Çalışmaların farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilebilmesi amacıyla reaktörle su banyosu bağlantısı sağlanmıştır. Ayrıca reaktör haznesi sökülüp takılabilir ve hava sıyırmak için eğimlendirilebilir şekilde üretilmiştir. Foto-Fenton prosesinde, UVA-365 ve UVC-254 olmak üzere iki farklı lamba kullanılmıştır. Reaktör, dışarıdan sökülüp takılabilen, her biri 8 Watt'lık 5 tane (toplam 40 Watt) floresan ışık mekanizmalı UVA-365 lambalarıyla donatılmıştır. Reaktör, sökülüp takılabilir kuvars cam korumalı 4 tane 10 Watt'lık (toplam 40 Watt) UVC-254 lamba sistemi ile simetrik olarak yerleştirilmiştir. Ayrıca hem UVA hem de UVC lambarıın her biri enerji kaynağı kullanılarak ayrı ayrı devreye alınabilmektedir.

Batık membran filtrasyon sistemi 39.4 $cm^2$ (dikdörtgen ebatlı, 14.6 cm x 2.7 cm) aktif membran alanına sahip bir batık membran modül içermektedir. Membranın modül içerisine harket etmeyecek şekilde yerleştirilmesi, paslanmaz çelik malzemeden yapılmış modül üst bağlantı elemanıyla sağlanmıştır.

Batık membran filtrasyon sistemi, su akısını tespit etmek amacıyla peristaltik pompa yardımıyla membrandan geçen su hacmini ölçen, bilgisayar otomasyon ünitesiyle bağlantılı bir terazi ile su akısı ölçülerek veriler anlık izlenilip kaydedilmiştir. İOP/batık UF hibrit reaktörü, farklı sıcaklık, havalandırma hızı, UF membranlardan su çekim hızı, ışık şiddeti ve ışık türünde işletilebilir niteliktedir.

Tekstil atıksularının arıtımı için kesikli şartlarda işletilen laboratuvar ölçekli sistemlerde UVA-365 ve UVC-254 lambalarla donatılan İOP/batık UF tezgâh-üstü kesikli hibrit reaktörde Fenton ve foto-Fenton deneyleri gerçekleştirilmiştir. Etkinliği bilinen membran konfigürasyonlarında oluşan konsantre akımının arıtılacağı 2.5 L kapasiteli Tezgah-üstü hibrit İOP/batık UF reaktöründe Fenton, foto-Fenton (UVA-365) ve foto-Fenton (UVC-254) deneyleri ayrı ayrı yürütüldüğünden, toplamda 7.5 L olacak şekilde konsantre karışımları elde edilmiştir. Üç kademeli UH050/NF270/LFC-3' membran konfigürasyonu ile elde edilen konsantreler sırasıyla 3.07, 2.46 ve 2 L oranlarında karıştırılıp, oksidasyona tabi tutulmuştur.

- Önerilen Sistemler (İOP/UF+NF ve/veya TO)

Çalışmanın asıl konusu önerilen arıtma seçenekleri ile tekstil endüstrisi atıksularının belirlenen optimum işletme şartlarında [28] Şekil 3.3' de verilen yenilikçi İOP/batık UF hibrit sisteminde, Tablo 3.3' de verilmiş olan optimum işletme şartlarında Fenton ve foto-Fenton (UVA-365 ve UVC-254) prosesleri ile su eldesi çalışmaları yerine getirilmiştir.

Hibrit reaktörde arıtılmış sular sonrasında, Şekil 3.1' de verilen çapraz akış membran proses düzeneğinde $NF_{gevşek}$, $NF_{sıkı}$ ve TO proseslerinin uygun işletme şartlarının tespiti gerçekleştirilmiştir. Bu sayede NF ve/veya TO çıkış sularının endüstriyel proseste yeniden kullanımı potansiyeli ortaya konmuştur.

Tablo 3.3: Sürekli İşletimli Büyük Hibrit Reaktörde Uygulanan Fenton ve Foto-Fenton (UVA-365 ve UVC-254) Proseslerinin Optimum İşletme Şartları.

| Parametre | Açıklaması | Birim | Fenton Prosesi | Foto-Fenton Prosesi (UVA) | Foto-Fenton Prosesi (UVC) |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Tekstil endüstrisi | Tekstil endüstrisi | Tekstil endüstrisi |
| t | süre | dk | 60.0 | 60.0 | 41.0 |
| T | sıcaklık | $^0C$ | 26.5 | 40.0 | 40.0 |
| pH | pH | – | 3.73 | 4.0 | 4.44 |
| $H_2O_2$/TOK | $H_2O_2$/TOK oranı | g/g | 6.00 | 7.75 | 9.88 |
| $H_2O_2/Fe^{2+}$ | $H_2O_2/Fe^{2+}$ oranı | g/g | 15.0 | 10.75 | 7.27 |
| $\nu_H$ | İOP reaktörü havalandırma hızı | L/dk | 5 | 2.8 | 8 |
| $I_Ş$ | Işık şiddeti | adet | - | 3 lamba | 2 lamba |
| $I_T$ | Işık türü | - | - | UVA-365 | UVC-254 |
| $M_T$ | Membran türü | - | UH050 | UV150 | UH050 |

Şekil 3.4 a) ve Şekil 3.4 b)' de gösterilmiş olan yenilikçi İOP/batık UF hibrit sistem 20 L kapasiteli borosilikat camdan üretilmiş bir reaktöre sahip olup reaktöre su banyosu bağlantısı bulunmaktadır. Sürekli işletimli batık membran filtrasyon sistemi, su akısını tespit etmek amacıyla peristaltik pompa yardımıyla membrandan geçen su hacmini ölçen, bilgisayar otomasyon ünitesiyle bağlantılı bir terazi ile su akısı ölçülüp, reaktöre hava besleme hızı ile reaktördeki atıksuyun pH'ı, sıcaklığı ve

çözünmüş oksijen içeriği ölçülerek kontrol edilebilmekte ve tüm veriler anlık olarak izlenip kaydedilebilmektedir.

Foto-Fenton prosesi işletimleri amacıyla UVA-365 ve UVC-254 olmak üzere iki farklı lamba kullanılmıştır. Reaktör, dışarıdan sökülüp takılabilen, her biri 20 Watt'lık 10 tane (toplam 200 Watt) floresan ışık mekanizmalı UVA-365 lambalarıyla donatılmıştır. Reaktör, sökülüp takılabilir kuvars cam korumalı 5 tane 40 Watt'lık (toplam 200 Watt) UVC-254 lamba sistemi ile simetrik olarak yerleştirilmiştir. Ayrıca hem UVA hem de UVC lambarıın her biri enerji kaynağı kullanılarak ayrı ayrı devreye alınabilmektedir.

a)

b)

Şekil 3.4: Sürekli İşletimli İleri Oksidasyon Prosesi/Batık Ultrafiltrasyon (İOP/batık UF) Büyük Hibrit Reaktörü a) UVC-254 Lambalarla Donatılmış Genel Görünüm b) Sistem Otomasyon Ünitesi.

Batık membran filtrasyon sistemi 298 $cm^2$ (kesikli sistemdeki modül membran alanının yaklaşık 7.5 katı olmak üzere dikdörtgen ebatlı, 8.5 cm x 35 cm) aktif membran alanına sahip bir batık membran modül içermektedir. Membran modül yüzeyde hava sıyırma amacıyla istenen açıda eğimlendirilebilir özelliğe sahip olarak üretilmiş olup, 20 L'lik İOP reaktörü içerisinde tamamıyla suya batık olarak işletilmiştir. Sürekli işletimli batık membran filtrasyon sistemi, su akısının belirlenmesi amacıyla peristaltik pompa yardımı ile membrandan geçen su hacmini

ölçen bir terazi ile işletilmiş; bilgisayar ve otomasyona bağlı yazılım üzerinden membranın su akısı izlenmiştir.

Pilot ölçek İOP/batık UF hibrit prosesinde Fenton sonrasında elde edilen UF çıkış suları, NFgevşek, NFsıkı, Nfgevşek/TO ve TO olmak üzere 4 ayrı konfigürasyonda, Şekil 3.1' de verilen Sterlitech tezgah-üstü çapraz akış membran filtrasyon sistemi kullanılarak, 8' li Taguchi deneysel tasarım planlamasına tabi tutularak; deneysel sonuçların analizi, organik madde giderimi ve süzüntü akı değerleri dikkate alınarak belirlenmiştir.

Tekstil endüstrisi atıksularının Fenton/batık UF sistemi ile arıtımı sonrasında herbir membran konfigürasyonu için kesikli işletimli basınç sürücülü membran filtrasyonu ile uygulanan 8' li Taguchi deneysel tasarım sonuçlarından, herbir membran için elde edilen en uygun deney seti belirlenerek, foto-Fenton (UVA-365)/batık UF ve foto-Fenton (UVC-254)/batık UF sistemleri ile de deneyler tekrarlanmıştır.

Önerilen İOP/batık UF sisteminden elde edilen süzüntü akımının NFgevşek, NFsıkı ve TO ile arıtımına ilişkin deneysel çalışmalar, elde edilen sonuçların istatistikî yöntemlerle değerlendirilebilmesi amacıyla deneysel tasarım çerçevesinde planlanmış ve yürütülmüştür. Bu amaçla, Taguchi deneysel tasarım planlaması uygulanmış; deneysel sonuçların analizi, organik madde giderimi ve akı değerleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu doğrultuda, membran tipi ($M_T$), çapraz akış hızı ($\nu$), sıcaklık (T), membran geçiş basıncı ($\Delta P$) olmak üzere 4 farklı değişkenin ve değişken seviyelerinin NF ve TO proseslerinin teknik performansları üzerindeki etkileri incelenmiştir. Deneysel tasarımda dikkate alınmış giriş değişkenleri ve seviyelerine ilişkin bilgiler Tablo 3.4' de verilmiştir.

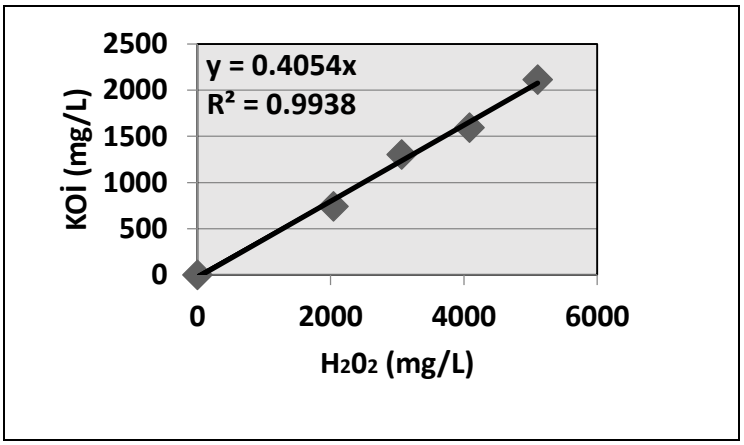
Tablo 3.4: Önerilen İOP/MP Sistemlerinin Kesikli İşletimli Membran Filtrasyon Deneylerinde Değişkenlerin Kodlanmış Taguchi Deneysel Tasarım Tablosu.

| Deney No | Giriş Parametreleri | | | |
|---|---|---|---|---|
| | $M_T$ | $v$ | $T$ | $\Delta P$ |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 1 | 4 | 4 | 4 |
| 3 | 2 | 1 | 1 | 4 |
| 4 | 2 | 4 | 4 | 1 |
| 5 | 3 | 1 | 4 | 1 |
| 6 | 3 | 4 | 1 | 4 |
| 7 | 4 | 1 | 4 | 4 |
| 8 | 4 | 4 | 1 | 1 |

## 3.3. Deneysel İzleme

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. Atıksu karakterizasyonu dahil ham ve arıtılmış atıksu kalitesi analiz çalışmaları, Tablo 3.4' de verilen analiz yöntemleri üzerinden yerine getirilmiştir.

Ölçümlerdei kalıntı $H_2O_2$ kaynaklı KOİ girişimlerini tespit edilmesi amacıyla, Şekil 3.5' de verilen KOİ-$H_20_2$ grafik verileri kullanılarak düzeltme deneyleri yapılmış ve elde edilen y= 0,4054x denkleminden ([KOİ]=0.4054x[$H_2O_2$]) tüm deneyler için KOİ değerleri düzeltilmiştir.




Şekil 3.5: KOİ-$H_2O_2$ İlişki Grafiği.

Sıcaklık, pH, iletkenlik ve TÇK parametreleri ve bulanıklık parametresi ölçümleri için kullanılan Hach marka multiparametre ve bulanıklık ölçüm cihazlarına ait fotoğraflar Şekil 3.6 a) ve Şekil 3.6 b)' de gösterilmiş olup Şekil 3.7' 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 görünümleri ise Şekil 3.8 a) ve Şekil 3.8 b)'de sunulmuştur.

a)

b)

Şekil 3.6: Çoklu Parametre Cihazı a) TDS, İletkenlik ve pH Ölçüm Cihazı b) Bulanıklık Ölçüm Cihazı.

Şekil 3.7: TOK Analiz Cihazı.

a)

b)

Şekil 3.8: a) UVC 254 Işık Ölçer b) UVA 365 Işık Ölçer.

## 3.4. Tekstil Yıkama Atıksuyunun Karakterizasyonu

Deneylerde kullanılmış olan tekstil yıkama atıksularının ortalama değerleri ve standart sapmaları Tablo 3.5' de gösterilmiştir.

Tablo 3.5: Tekstil yıkama atıksularının karakteristik özellikleri.

| Parametre | Birim | Ölçüm Yöntemi | Ortalama | Std. Sapma |
|---|---|---|---|---|
| pH | – | Dijital multi-metre | 6.22 | 0.03 |
| Sıcaklık | ºC | Dijital multi-metre | 25.0 | 1.3 |
| İletkenlik | µS/cm | Dijital multi-metre | 2226 | 613 |
| TÇK | mg/L | Dijital multi-metre | 1130 | 321 |
| $ÇO_2$ | mg/L | Dijital multi-metre | 8.04 | 0.87 |
| KOİ | mg/L | Kapalı reflux kalorimetrik | 2362 | 727 |
| TOK | mg/L | 750 $^0$C' de sıcaklıkta | 744 | 234 |
| AKM | mg/L | 105 $^0$C' de gravimetrik | 19.0 | 10.3 |
| AOX | mg/L | UV absorbsiyon | 0.85 | 0.79 |
| Bulanıklık | NTU | Nefelometrik | 3.51 | 5.04 |
| Amonyak | mg/L | Ön Destilasyon | 1.77 | 1.57 |
| Renk | A (436-620 | UV spektrofotometrisi | 0.27 | 0.07 |
| Nitrat | mg/L | UV spektrofotometrisi | 8.5 | 5.7 |
| Sülfat | mg/L | UV spektrofotometrisi | 440 | 453 |
| Klorür | mg/L | UV spektrofotometrisi | 35.5 | 14.2 |
| Demir (II) | mg/L | UV spektrofotometrisi | 7.7 | 12.5 |
| Demir (III) | mg/L | UV spektrofotometrisi | 4.0 | 3.1 |
| Toplam Azot | mg/L | UV spektrofotometrisi | 13.7 | 17.6 |
| Toplam Sertlik | mg/L | UV spektrofotometrisi | 101 | 71 |
| Fenol | mg/L | UV spektrofotometrisi | 11.5 | 4.7 |
| Toksisite* | TU | Işık saçan bakteri testi | 9.6 | 6.3 |

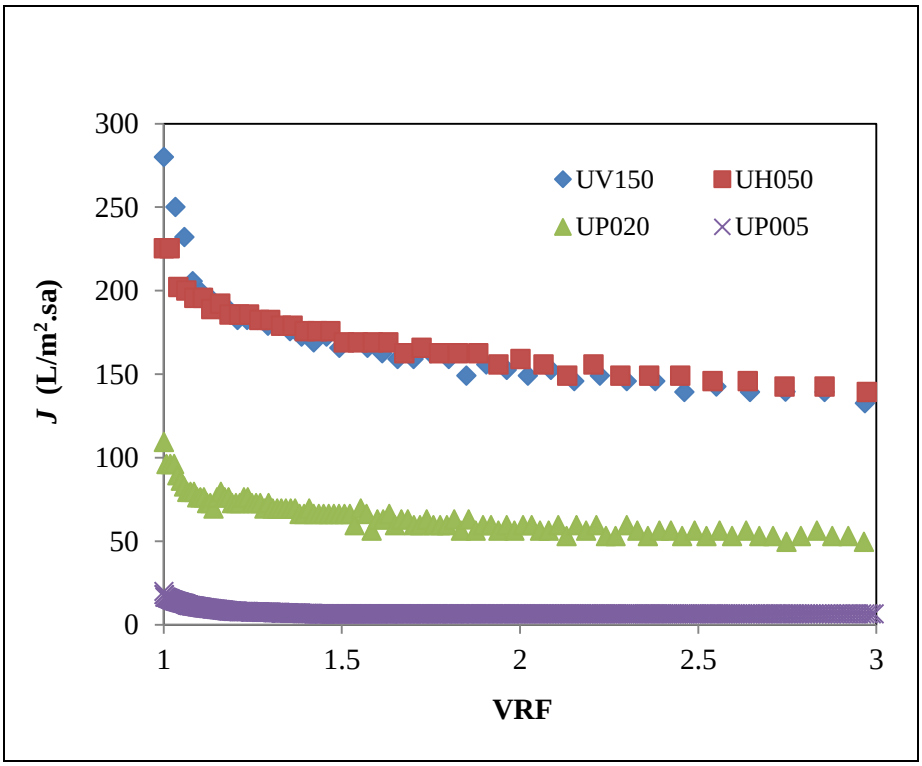
* Toksisite parametresi, TU (toxicity unit) biriminde; 0: toksik değil, >1: az toksik, 1-10:toksik, 11-100: çok toksik, >100: aşırı toksik olarak değerlendirilmekte, analiz edilen tekstil yıkama banyosu atıksuyu ortalama değer olarak çok toksik sınırında toksik endüstriyel atıksu grubuna girmektedir.

# 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

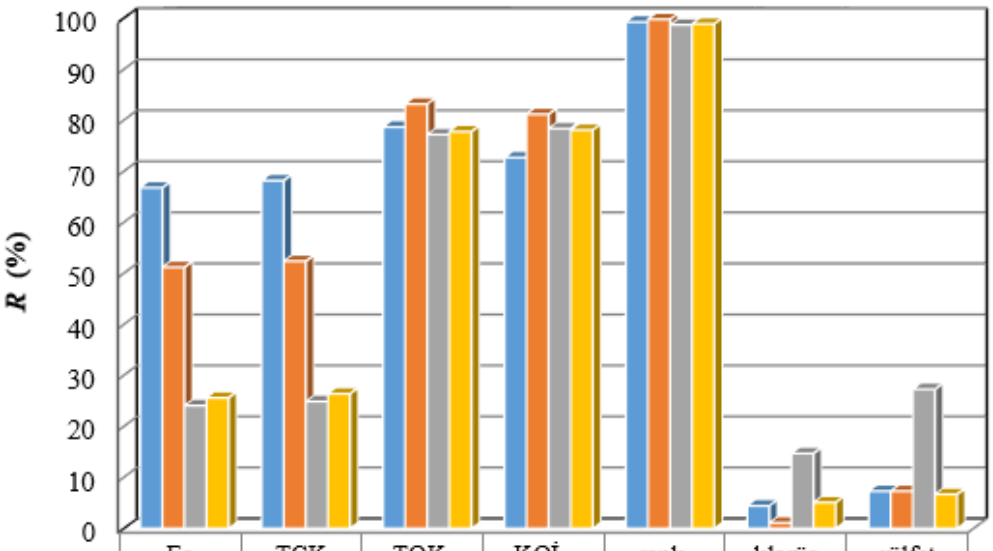
## 4.1. Etkinliği Bilinen UF/NF/TO+İOP/UF Sistemlerinde Arıtma Çalışmaları

- Uygun Membran Türlerinin Seçimi

UF Proses Etkinliği; UF proseste, 4 farklı membran için elde edilmiş süzüntü suyu akılarının besleme akımını konsantre etme oranına (volume reduction factor, (VRF)): deney başlangıcı besleme akımı hacminin membran konsantresine veya deney sonu besleme hacmine oranı) göre değişimleri ve deney sonu itibariyle kirletici giderme verimi grafikleri sırasıyla Şekil 4.1 ve 4.2' de gösterilmiştir. UF prosesin işletimi sırasında farklı membranlar için aynı VRF oranlarını sağlamak amacıyla deneysel işletim süreleri, UP005, UP020, UH050 ve UV150 membranları için sırasıyla 200, 105, 40 ve 40 dk'dır.




Şekil 4.1: UF Membranlarına Ait Süzüntü Akılar.

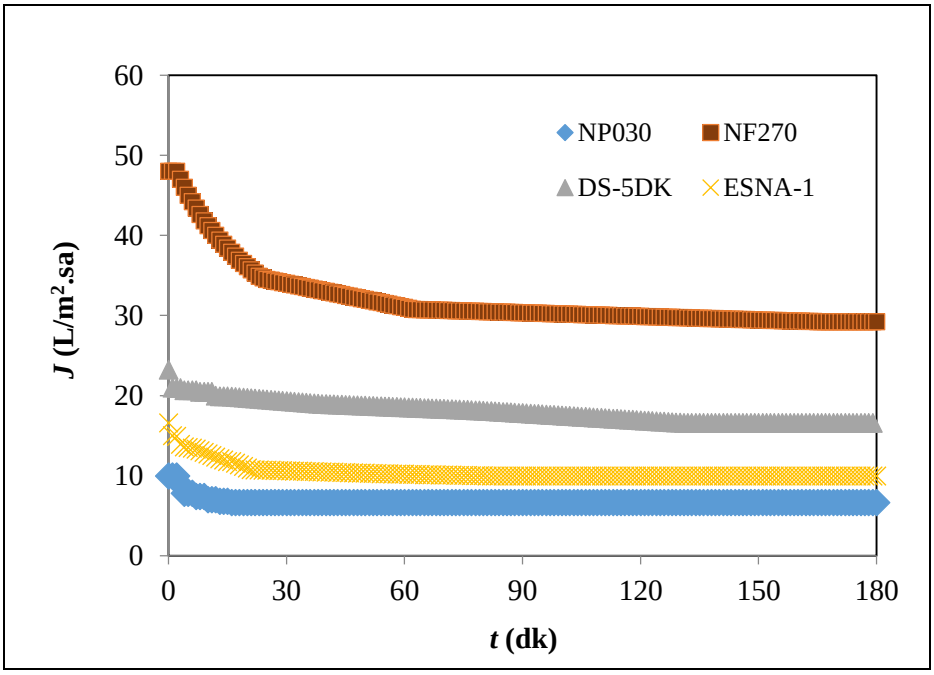



| | Ec | TÇK | TOK | KOİ | renk | klorür | sülfat |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| UP005 | 66.8 | 68.2 | 78.7 | 72.7 | 99.3 | 4.4 | 7.3 |
| UP020 | 51.2 | 52.4 | 83.2 | 81.2 | 99.8 | 1.1 | 7.3 |
| UH050 | 24.1 | 24.9 | 77.2 | 78.4 | 98.7 | 14.7 | 27.3 |
| UV150 | 25.6 | 26.4 | 77.8 | 78.1 | 98.9 | 5.1 | 6.7 |

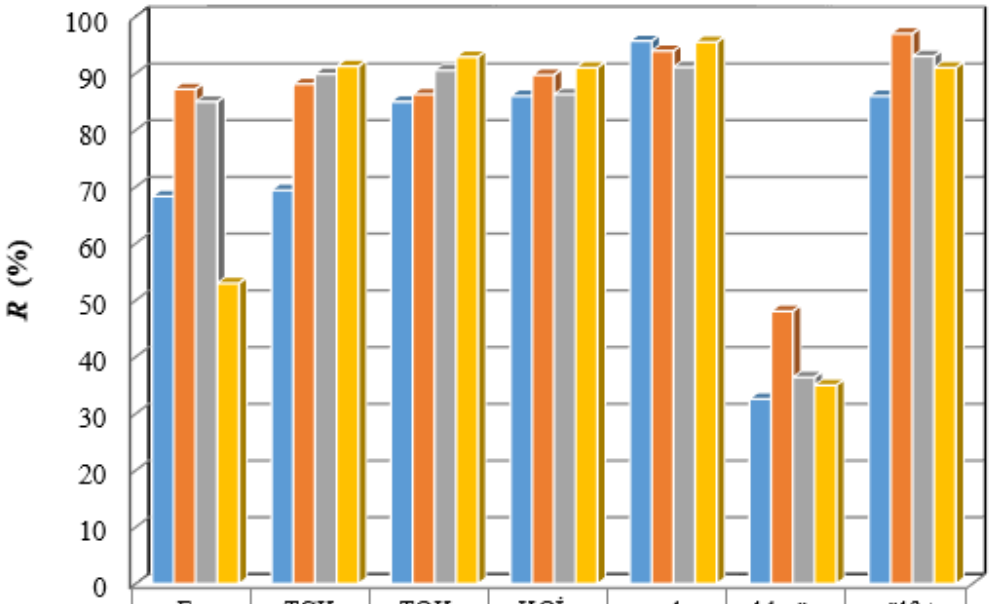
Şekil 4.2: UF Memranlarına Ait Kirletici Filtrasyon Performansları.

Şekil 4.2' ye göre, daha büyük gözenek büyüklüklerine sahip UH050 ve UV150 membranlarının sırasıyla 136 ve 132 L/m$^2$.sa değerleriyle, diğer iki membran türüne kıyasla çok daha yüksek süzüntü suyu akısı eldesine imkan sağladıkları görülmüştür. Her ne kadar bu iki membran malzeme için 3' ten daha büyük VRF değerlerinde su akılarındaki azalma bir miktar daha sürecek gibi görünse de, ham besleme atıksuyunun üç kat konsantre edildiği VRF 3 değeri itibariyle, çalışılan her bir membranda kararlı su akısı işletiminin genel olarak sağlanabildiği değerlendirilebilir. Şekil 4.2' ye göre, UH050 ve UV150 membranlarının TOK, KOİ ve renk parametreleri itibariyle atıksudan organik madde gideriminde, diğer membranlarla yarışır düzeylerde etkin olduğu gözlenmiştir. TÇK, klorür ve sülfat parametreleri itibariyle inorganik madde giderimi ise, diğer membranlara nazaran UH050 membranında daha iyi seviyelerde gerçekleşmiştir. Bu sonuçlar göstermiştir ki, UF proseste çalışılan membran türleri arasında en iyi performansa sahip olanı, aynı firmanın polietersülfon malzemeli yüksek pH ve sıcaklık aralığında işletilebilen UH050 ticari kodlu membranıdır.

NF Proses Etkinliği; NF proseste, 4 farklı membran için elde edilmiş süzüntü suyu akılarının zaman göre değişimleri ve deney sonu itibariyle kirletici giderme verimi grafikleri sırasıyla Şekil 4.3 ve 4.4' de verilmiştir. Membranlardaki rölatif düşük su akısı değerleri sebebiyle farklı membranlar için aynı VRF değerleri elde edilememiş olduğundan, süzüntü suyu akılarının grafik gösterimi VRF'ye karşı değil, zamana karşıdır. Prosesin işletimi sırasında farklı membranlar için 180 dk'lık işletim süresinin sağlandığı VRF değerleri, NP030, NF270, DS-5DK ve ESNA-1 membranları için sırasıyla 1.1, 2.4, 1.5 ve 1.3'tür.




Şekil 4.3: NF Membranlara Ait Süzüntü Suyu Akıları.




| | Ec | TÇK | TOK | KOİ | renk | klorür | sülfat |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| NP030 | 68.3 | 69.4 | 85.0 | 86.0 | 95.7 | 32.6 | 86.0 |
| NF270 | 87.2 | 88.1 | 86.3 | 89.7 | 93.9 | 48.1 | 97.0 |
| DS-5DK | 85.0 | 89.9 | 90.5 | 86.3 | 91.1 | 36.4 | 93.0 |
| ESNA-1 | 53.0 | 91.2 | 92.9 | 91.0 | 95.5 | 35.0 | 91.0 |

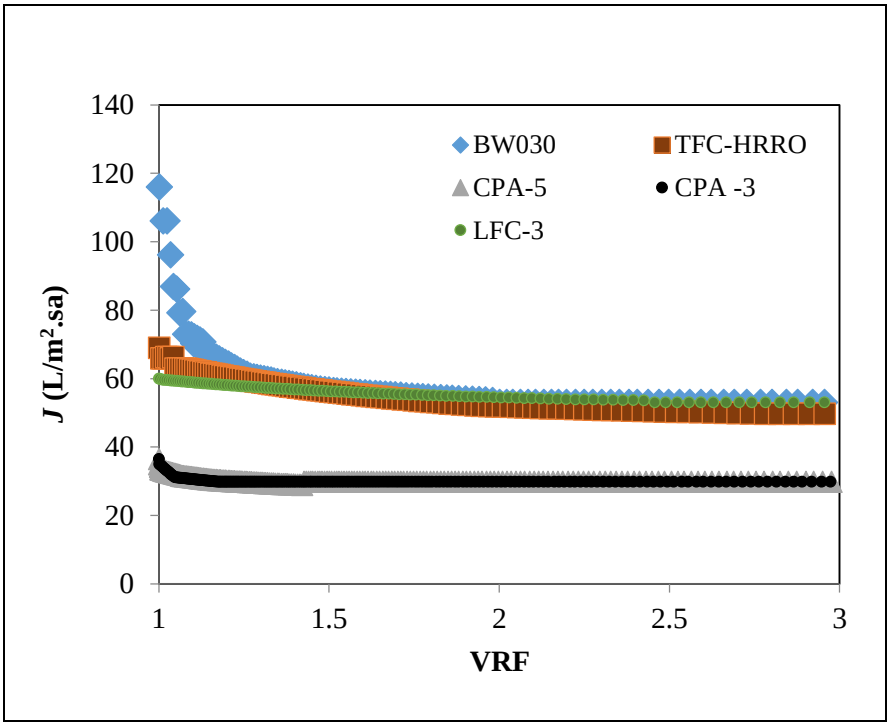
Şekil 4.4: NF Membranlara Ait Kirletici Filtrasyon Performansları.

UF proseste UH050 membranından geçirilmiş ham atıksuyun NF proseste NF membranlardan filtrasyonunda su akısı performansları NF270>DS-5DK>ESNA-1>NP030 sırasındadır. Kararlı hal akısı işletimlerine, NF270, DS-5DK, ESNA-1 ve NP030 için sırasıyla 150, 125, 25 ve 15 dk'lık operasyonlarda ulaşıldığı saptanmıştır. 29.2 L/m$^2$.sa süzüntü suyu akısı ile NF270 membranı, diğer üç membrana kıyasla daha iyi bir işletim etkinliğine haizdir. Nitekim bu membranın organik kirletici madde giderimindeki etkinliği ESNA-1 ve DS-5DK membranlarına göre %1.5-6.6 seviyelerinde daha düşük kalmış ise de, ortalama % 90'lar seviyesinde yüksek seviyede organik madde gideriminin sağlandığı görülmüştür. Buna karşın, inorganik kirletici gideriminde NF270'in, ESNA-1 ve DS-5DK membranlarından asgari %4.0 ile %11.7 arasında daha yüksek ayırma performansıyla işletime imkan sağladığı belirlenmiştir.

NF membranlar ile yürütülen filtrasyon deneyleri göstermiştir ki, tekstil yıkama atıksuyunun UF filtrasyonu sonrasında işletilecek bir NF proseste, NF270

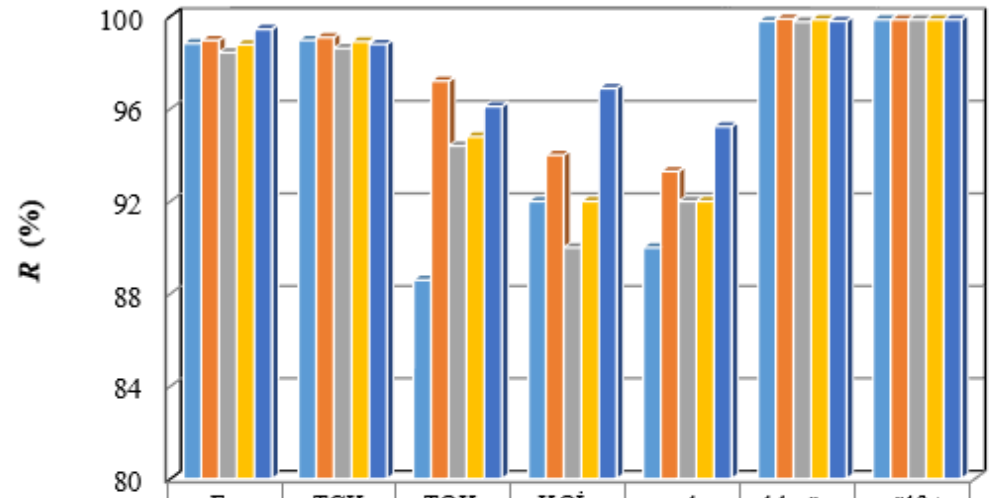
ticari kodlu aromatik bazlı ince film kompozit membranı, çalışılan NF membranları arasında en iyi filtrasyon performansına sahip olanıdır.

TO Proses Etkinliği; TO proseste, 5 farklı membran için elde edilmiş süzüntü suyu akılarının besleme akımını konsantre etme oranına (VRF) göre değişimleri ve deney sonu itibariyle kirletici giderme etkinliği grafikleri sırasıyla Şekil 4.5 ve 4.6' da sunulmuştur. TO prosesin işletimi sırasında farklı membranlar için 3 VRF değerine; BW30, LFC-3 ve TFC-HRRO membranlarda yaklaşık 120 dk, CPA-3'te 206 dk ve CPA-5'te 216 dk'lık işletim süreleri sonunda ulaşılmıştır.




Şekil 4.5: TO Membranlara Ait Süzüntü Suyu Akıları.

UF proseste UH050 membranından geçirilmiş ham atıksuyun NF270 membranından filtrasyonu sonrasında işletilen TO proseste, membranların su akısı performansları, BW30≅LFC-3≅TFC-HRRO>CPA-3≅CPA-5 şeklinde gerçekleşmiştir. En yüksek süzüntü suyu akısı, 53.1 L/m$^2$.sa değeri ile BW30 membranında gözlenmiştir. Bunun yanı sıra, TO membranlarda kararlı hal akısı işletimlerine, BW30, LFC-3 ve TFC-HRRO membranları için yaklaşık 2.7 VRF, CPA-3 ve 5 membranlarında ise yaklaşık 1.5 VRF değerinde ulaşıldığı saptanmıştır.




| | Ec | TÇK | TOK | KOİ | renk | klorür | sülfat |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| BW30 | 98.8 | 99.0 | 88.6 | 92.0 | 90.0 | 99.8 | 99.9 |
| TFC-HRRO | 99.0 | 99.1 | 97.2 | 94.0 | 93.3 | 99.9 | 99.9 |
| CPA-5 | 98.4 | 98.6 | 94.4 | 90.0 | 92.0 | 99.8 | 99.9 |
| CPA-3 | 98.8 | 98.9 | 94.8 | 92.0 | 92.0 | 99.9 | 99.9 |
| LFC-3 | 99.4 | 98.8 | 96.1 | 96.9 | 95.2 | 99.8 | 99.9 |

Şekil 4.6: TO Membranlara Ait Kirletici Filtrasyon Performansları.

TO prosesinde kirletici giderim etkinlikleri için verilmiş Şekil 4.6' daki sonuçlara göre, her ne kadar tüm membranların inorganik madde giderim verimleri çok yüksek değerlerde ve %98.4 üzeri değerlerde gerçekleşmiş ise de, yüksek VRF değerinde rölatif yüksek süzüntü suyu akısı ile işletilmiş BW30 membranında ortalama %90 organik madde giderim etkinliğiyle atıksu arıtımının yapılabildiği belirlenmiştir. BW30 membranına eşit VRF ve çok yakın değerde süzüntü suyu akısı (53,0 L/m$^2$.sa) ile %95.2' den büyük organik madde giderimi etkinliği altında işletilmiş kompozit poliamid esaslı LFC-3 membranının, prosesteki arıtma etkinliği açısından çalışılan TO membranları arasında en iyi performansa sahip membran olduğu tespit edilmiştir.

- UF/NF/TO Proses Performansları

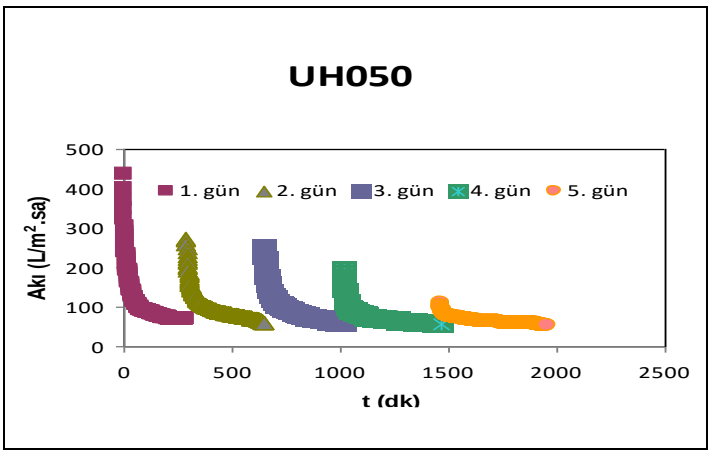
Etkinliği bilinen sistemlerin sürekli işletimi çalışmalarında tekstil atıksuyu için su geri kazanım etkinlikleri literatürden bilinen, UF/NFsıkı/TO membran sistemi kombinasyonu ile büyük basınçlı çapraz akış membran sisteminde yürütülen sürekli denemeler sonucunda oluşan membran konsantreleri çeşitli oranlarda karıştırılarak

küçük sistemde kesikli şartlarda İOP/batık hibrit UF reaktöründe daha önce belirlenen optimum işletme şartlarında oksidasyona tabi tutulmuştur.

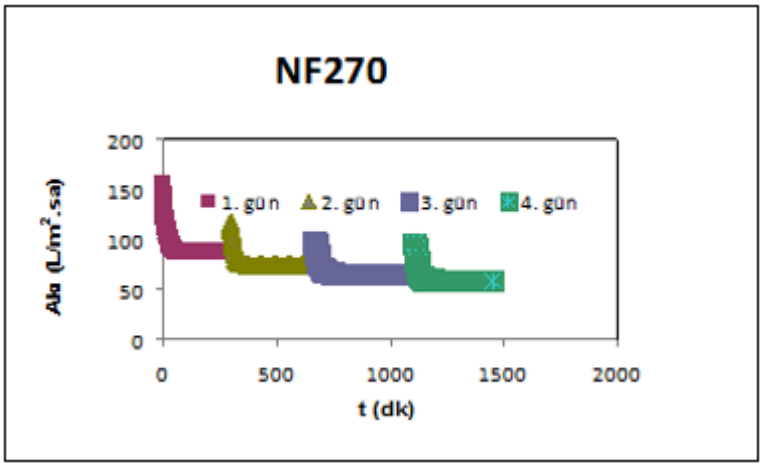
Etkinliği bilinen büyük basınçlı sistemde üç kademeli UH050/NF270/LFC-3' membran konfigürasyonu ile sürekli şartlarda ardışık olarak %75-80 konsantre etme oranlarında UF membran 5 gün, NFsıkı membran 4 gün, TO membran 2 gün işletilmiştir. Her üç membran için filtrasyon işlemleri sırasında değişen süzüntü akılarının zamana karşı değişimleri UF, NF sıkı ve TO membranları için Şekil 4.7, 4.8, 4.9' da verilmiştir.

UH050 membranı ile 5 gün süreyle filtre edilen ultrafiltrasyon süzüntü suyu, daha sonra 4 gün NF270 nanofiltrasyon membranından geçirilmiş ve en son olarak da NFsıkı süzüntü suyu 2 gün süreyle LFC-3 ters osmoz membranından geçirilmiştir. Her 3 membran ile arıtım sonucunda elde edilen konsantre ve çıkış sularının kalite analiz sonuçları sırasıyla Tablo 4.1, 4.2 ve 4.3' de verilmektedir.

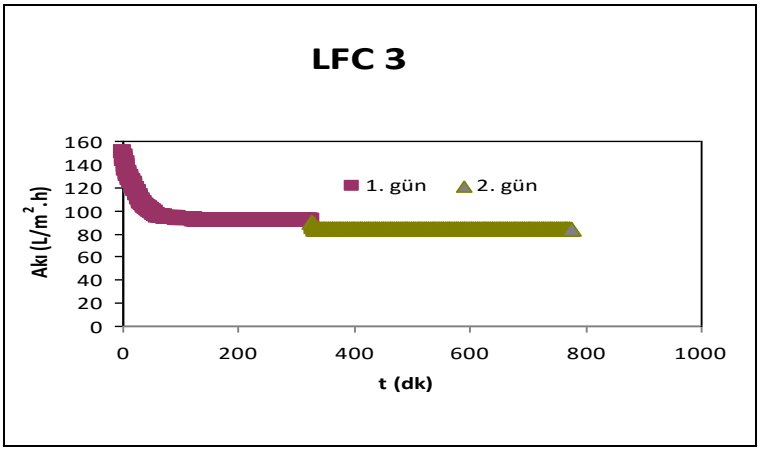
Etkinliği bilinen sürekli işletimli basınçlı sistemlerle yürütülen deneysel çalışmaların sonunda, ham tekstil atıksuyunun 3 kademeli membran filtrasyonu sonucunda, UH050 membranda 5. gün sonunda 50 L/m$^2$sa süzüntü akısında %90.87 KOİ, %92.53 TOK, NF270 membran ile 4. gün sonunda 60 L/m$^2$.sa' lik akıda %96.73 KOİ, %95.47 TOK giderimi elde edilirken, son olarak LFC-3 membranla 80 L/m$^2$.sa süzüntü akısında %98.79 KOİ giderimi ile KOİ değeri 4 mg/L' ye, %96.75 TOK giderimi ile TOK değeri 1.7 mg/L' ye kadar düşmüştür.




Şekil 4.7: Etkinliği Bilinen Büyük Basınçlı Sistemlerle Sürekli Şartlarda Filtrasyonunda UF Membranlarına Ait Süzüntü Akıları.




Şekil 4.8: Etkinliği Bilinen Büyük Basınçlı Sistemlerle Sürekli Şartlarda Filtrasyonunda $NF_{sıkı}$ Membranlarına Ait Süzüntü Akıları.




Şekil 4.9: Etkinliği Bilinen Büyük Basınçlı Sistemlerle Sürekli Şartlarda Filtrasyonunda TO Membranlarına Ait Süzüntü Akıları.

Tablo 4.1: Etkinliği Bilinen Büyük Basınçlı Sistemlerle UF Prosesi İle Sürekli Şartlarda Filtrasyonu Sonucunda Elde Edilen Su Kalitesi Analiz Sonuçları.

| Parametre | Ham Atık Su | 1. Gün Sonu UF Prosesi | | | 5. Gün Sonu UF Prosesi | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Konsantre | Süzüntü | Rejeksiyon (%) | Konsantre | Süzüntü | Rejeksiyon (%) |
| pH | 6.2 | 7.99 | 6.96 | - | 7.89 | 7.05 | |
| İletkenlik (µs/cm) | 706 | 1341 | 565 | 57.,87 | 1384 | 495 | 64.23 |
| TÇK (mg/L) | 345 | 666 | 274 | 58.86 | 688 | 240 | 65.12 |
| Çözünmüş Oksijen (mg/L) | 4.72 | 7.3 | 7.99 | -9.45 | 8.32 | 8.21 | 1.32 |
| KOİ (mg/L) | 1116 | 3280 | 268 | 91.83 | 2672 | 225 | 91.6 |
| TOK (mg/L) | 322 | 968.3 | 70.7 | 92.70 | 770.1 | 71.7 | 90.5 |
| AKM (mg/L) | 15 | 75 | 15 | 80.00 | 20 | 10 | 50.00 |
| AOX (mg/L) | 4.03 | 6.8 | 2.68 | 60.59 | 7.13 | 2.515 | 64.73 |
| Bulanıklık (NTU) | 3.94 | 27.2 | 2.91 | 89.30 | 21.6 | 1.11 | 94.86 |
| $NH_4^+$-N (mg/L) | 0.264 | 1.520 | 0.482 | 68.29 | 0.688 | 0.242 | 64.83 |
| Renk ($\lambda_{ort}$) (abs) | 0.059 | 0.402 | 0.002 | 99.52 | 0.325 | 0.005 | 98.34 |

Tablo 4.1: Devam.

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $NO_3^-$-N (mg/L) | 2.8 | 9.03 | 0.561 | 93.79 | 6.34 | 0.57 | 91.01 |
| $SO_4^{2-}$ (mg/L) | 434 | 453 | 415 | 8.39 | 479 | 467 | 2.51 |
| $Cl^-$ (mg/L) | 21.94 | 50 | 19.5 | 61.00 | 36.78 | 18.69 | 49.18 |
| Demir +2 (mg/L) | 0.377 | 1.762 | 0.125 | 92.91 | 0.012 | 0.001 | 91.67 |
| Demir +3 (mg/L) | 1.28 | 10.24 | 0.64 | 93.75 | 0.01 | 0 | 100.00 |
| Toplam Azot (mg/L) | 8.89 | 12 | 7.25 | 39.58 | 9.73 | 4.125 | 57.61 |
| Toplam Sertlik (mg/L) | 82 | 287 | 20.5 | 92.86 | 246 | 20.50 | 91.67 |
| Fenol (mg/L) | 8.64 | 44.7 | 1.46 | 96.73 | 38.7 | 1.065 | 97.25 |
| Toplam Alkalinite (mg/L) | 158 | 278.4 | 162 | 41.81 | 248.4 | 91.20 | 63.29 |
| Toksisite (EC50) (%) | 7.13 | - | | | | | |

Tablo 4.2: Etkinliği Bilinen Büyük Basınçlı Sistemlerle $NF_{sıkı}$ Prosesi İle Sürekli Şartlarda Filtrasyonu Sonucunda Elde Edilen Su Kalitesi Analizi Sonuçları.

| Parametre | UF Çıkış Suyu | 1. Gün Sonu $NF_{sıkı}$ Prosesi | | | 4. Gün Sonu $NF_{sıkı}$ Prosesi | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Konsantre | Süzüntü | Rejeksiyon(%) | Konsantre | Süzüntü | Rejeksiyon(%) |
| pH | 7.05 | 8.25 | 6.97 | - | 8.65 | 8.57 | - |
| İletkenlik (µs/cm) | 495 | 1981 | 102.4 | 94.83 | 1880 | 121.2 | 93.55 |
| TÇK (mg/L) | 240 | 997 | 48.5 | 95.14 | 945 | 57.3 | 93.94 |
| Çözünmüş Oksijen (mg/L) | 8.21 | 7.19 | 8.28 | -15.16 | 8.5 | 8.39 | 1.29 |
| KOİ (mg/L) | 244 | 712 | 24 | 96.63 | 808 | 26.4 | 96.73 |
| TOK (mg/L) | 57.6 | 249.5 | 10.0 | 95.95 | 218.4 | 9.9 | 95.47 |
| AKM (mg/L) | 10 | 9 | 0 | 100 | 13.3 | 0 | 100 |
| AOX (mg/L) | 2.52 | 4.74 | 2.37 | 50 | 2.8 | 0.60 | 78.54 |
| Bulanıklık (NTU) | 1.11 | 3.39 | 0.49 | 85.55 | 5.07 | 0.40 | 92.11 |
| $NH_4^+$-N (mg/L) | 0.242 | 0.62 | 0.16 | 74.19 | 1.30 | 0.17 | 86.92 |
| Renk ($\lambda_{ort}$) (abs) | 0.005 | 0.038 | 0.003 | 91.89 | 0.03 | 0 | 100 |

Tablo 4.2: Devam.

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $NO_3^-$-N (mg/L) | 0.57 | 0.65 | 0.41 | 36.92 | 0.89 | 0.46 | 48.31 |
| $SO_4^{2-}$ (mg/L) | 467 | 410 | 365 | 10.98 | 460 | 86 | 81.3 |
| $Cl^-$ (mg/L) | 18.69 | 14.79 | 2.99 | 79.78 | 81.67 | 32.8 | 59.84 |
| Demir +2 (mg/L) | 0.001 | 2.56 | 0.13 | 94.92 | 0.629 | 0.126 | 79.97 |
| Demir +3 (mg/L) | 0 | 0 | 0 | - | 0.64 | 0 | 100.00 |
| Toplam Azot (mg/L) | 4.125 | 2.41 | 1.11 | 53.94 | 5.8 | 2.07 | 64.31 |
| Toplam Sertlik (mg/L) | 20.50 | 20.5 | 2.46 | 88.00 | 90.2 | 0 | 100 |
| Fenol (mg/L) | 1.065 | 4.41 | 0.179 | 95.94 | 3.48 | 0.20 | 94.14 |
| Toplam Alkalinite (mg/L) | 91.20 | 543 | 54.7 | 89.93 | 582 | 55.5 | 90.46 |
| Toksisite (EC50) (%) | - | | | | | | |

Tablo 4.3: Etkinliği Bilinen Büyük Basınçlı Sistemlerle TO Prosesi İle Sürekli Şartlarda Filtrasyonu Sonucunda Elde Edilen Su Kalitesi Analiz Sonuçları.

| Parametre | $NF_{sıkı}$ Çıkış Suyu | 1. Gün Sonu TO Prosesi | | | 2. Gün Sonu TO Prosesi | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Konsantre | Süzüntü | Rejeksiyon(%) | Konsantre | Süzüntü | Rejeksiyon(%) |
| pH | 8.57 | 8.34 | 7.05 | - | 8.45 | 6.47 | - |
| İletkenlik (µs/cm) | 121.2 | 771 | 2.01 | 99.74 | 571 | 4.01 | 99.30 |
| TÇK (mg/L) | 57.3 | 377 | 0.875 | 99.77 | 278 | 1.833 | 99.34 |
| Çözünmüş Oksijen (mg/L) | 8.39 | 7.11 | 8.05 | -13.22 | 6.7 | 8.1 | -20.90 |
| KOİ (mg/L) | 26.4 | 150.4 | 11.2 | 92.55 | 330.4 | 4 | 98.79 |
| TOK (mg/L) | 9.9 | 45.4 | 2.1 | 95.39 | 52.8 | 1.7 | 96.75 |
| AKM (mg/L) | 0 | 0 | 0 | - | 0 | 0 | - |
| AOX (mg/L) | 0.60 | 2.71 | 0.112 | 95.87 | 0.737 | 0.373 | 49.39 |
| Bulanıklık (NTU) | 0.40 | 18 | 0.13 | 99.28 | 7.7 | 0.09 | 98.83 |
| $NH_4^+$-N (mg/L) | 0.17 | 0.40 | 0.136 | 65.83 | 0.297 | 0.152 | 48.82 |
| Renk ($\lambda_{ort}$) (abs) | 0 | 0.043 | 0.003 | 92.7 | 0.025 | 0 | 100 |

Tablo 4.3: Devam.

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $NO_3^-$-N (mg/L) | 0.46 | 0.918 | 0.205 | 77.67 | 0.938 | 0.132 | 85.93 |
| $SO_4^{2-}$ (mg/L) | 86 | 95.6 | 89 | 6.90 | 93.4 | 91.6 | 1.93 |
| $Cl^-$ (mg/L) | 32.8 | 41.58 | 0 | 100.00 | 41.58 | 0 | 100 |
| Demir +2 (mg/L) | 0.126 | 0 | 0 | - | 0 | 0 | - |
| Demir +3 (mg/L) | 0 | 0 | 0 | - | 0 | 0 | - |
| Toplam Azot (mg/L) | 2.07 | 2.98 | 0.95 | 68.02 | 2.52 | 0.945 | 62.50 |
| Toplam Sertlik (mg/L) | 0 | 12.3 | 0 | 100.00 | 8.2 | 0 | 100 |
| Fenol (mg/L) | 0.20 | 1.040 | 0.063 | 93.94 | 0.809 | 0.041 | 94.93 |
| Toplam Alkalinite (mg/L) | 55.5 | 361 | 2.5 | 99.31 | 232.7 | 7.2 | 96.91 |
| Toksisite (EC50) (%) | - | | | | | | |

- UF/NF/TO Sonrası İOP/UF Sistemiyle Arıtma

UH050/NF270/LFC-3' membran konfigürasyonu ile %80 oranında su geri kazanımı tamamlandıktan sonra elde edilen konsantre karışımları belirlenen optimum şartlarda ardışık işletme koşullarında sırasıyla Fenton, foto-Fenton (UVA) ve foto-Fenton (UVC) ile oksidasyona tabi tutulmuştur.

Her bir oksidasyon prosesi için basınçlı büyük sistemle elde edilen konsantre karışımlarının karakterizasyon değerleri ve konsantre karışımlarının tezgah-üstü küçük sistemde hibrit İOP/batık UF reaktörü ile ardışık olarak Fenton, foto-Fenton (UVA) ve foto-Fenton (UVC) işletimleri sonucunda elde edilen İOP/UF kalite parametrelerine ait süzüntü suları çıkış değerleri Tablo 4.4' de görülmektedir. Yenilikçi bütünleşik sistemde daha önceki çalışmalarda elde edilen Fenton prosesi için UH050, foto-Fenton prosesinde UVA-365 ışık türü için UV150 ve UVC-254 ışık türü için UH050 UF membranları kullanılmış ve her üç proses için UF membranlarının süzüntü akı değerleri Şekil 4.10' da verilmiştir.

Etkinliği bilinen sistemlerde, elde edilen membran konsantrelerinin yenilikçi İOP/batık UF membran ile arıtımında organik madde giderimleri ve süzüntü akı değerleri dikkate alındığında, ardışık işletimli foto-Fenton (UVC-254)/UH050 hibrit prosesinin 9.88 $H_2O_2$/TOK ve 7.27 $H_2O_2/Fe^{2+}$ oranlarında, 44.16 L/m$^2$ sa' lik süzüntü akısında %86.0 KOİ giderimi ile KOİ değeri 167 mg/L' ye ve %74.2 TOK giderimi ile TOK değeri 104 mg/L' ye kadar düşürülerek en iyi performans gösteren yenilikçi proses olmuştur.

Tekstil endüstrisi atıksularının etkinliği bilinen UF/NFsıkı/TO prosesi ile arıtımı sonucunda elde edilen karışık konsantrelerin tezgah-üstü İOP/batık UF hibrit prosesi ile arıtımında filtrasyon performansları ($E_i$, TÇK, TOK, KOİ, $Cl^-$, $SO_4^{2-}$ ve renk) Fenton, foto-Fenton (UVA-365) ve foto-Fenton (UVC-254) için Şekil 4.11' de özetlenmiştir.

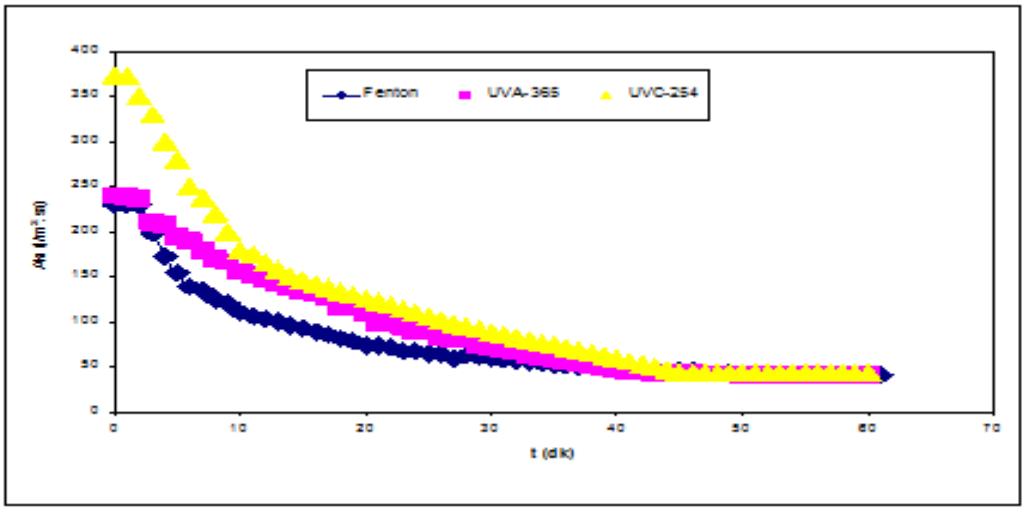
Ayrıca etkinliği bilinen sistemlerin hibrit reaktörde arıtımı sonucunda oluşan konsantrelerin analiz, sınıflama ve değerlendirme çalışmaları, konsantre atık yönetimi başlığı altında TÜBİTAK MAM Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü Laboratuvarları' nda analiz ettirilmiştir. Konsantrelerin bertarafıyla ilgili bilgiler Tablo 4.5' de verilmiştir.

Tablo 4.4: Membran Konsantre Karışımının İOP/Batık UF Hibrit Reaktöründe Fenton ve Foto-Fenton (UVA-365, UVC-254) Prosesleri İle Ardışık Arıtımı.

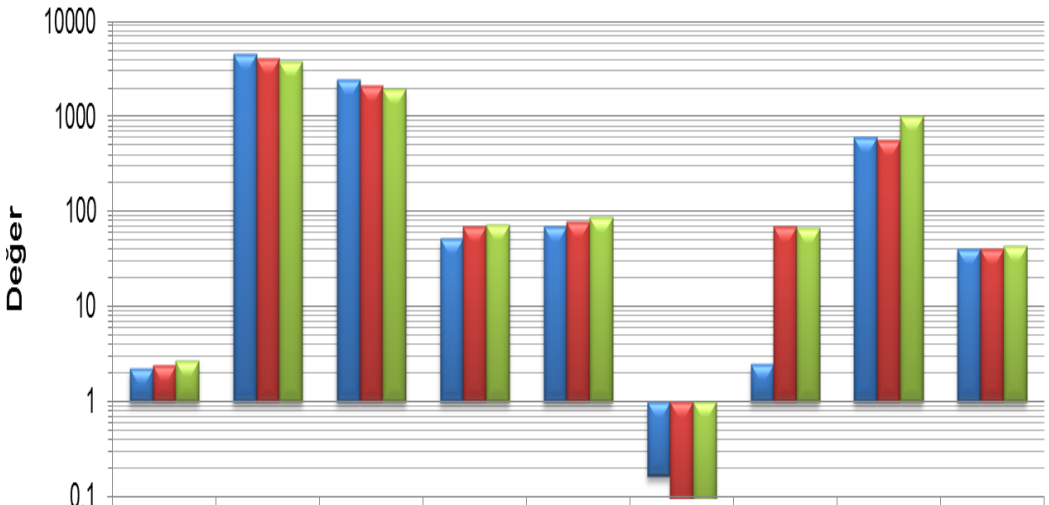
| Parametre | İOP (Fenton)/UF(UH050) | | | İOP (Foto-Fenton-UVA)/UF(UV150) | | | İOP (Foto-Fenton-UVC)/UF(UH050) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Konsantre | UF | Giderim | Konsantre | UF süzüntü | Giderim | Konsantre | UF süzüntü | Giderim |
| pH | 3.77 | 2.24 | - | 4.00 | 2.44 | - | 4.44 | 2.73 | - |
| Ei (µS/cm) | 2021 | 4650 | -130.1 | 1785 | 4040 | -126.3 | 1702 | 3800 | -123.3 |
| TÇK (mg/L) | 1019 | 2430 | -138.5 | 895 | 2097 | -134.3 | 853 | 1971 | -131.1 |
| TOK (mg/L) | 384 | 184 | 52.0 | 398 | 119 | 70.1 | 403 | 104 | 74.2 |
| KOI (mg/L) | 1176 | 353 | 70.0 | 1192 | 250 | 79.0 | 1192 | 167 | 86.0 |
| Renk ($\lambda_{ort}$) | 0.179 | 0.166 | 7.4 | 0.196 | 0.051 | 73.9 | 0.340 | 0.059 | 82.5 |
| $Cl^-$ (mg/L) | 56.7 | 2.5 | 95.6 | 53.0 | 70.7 | -33.4 | 56.0 | 67.5 | -20.5 |
| $SO_4^{2-}$ (mg/L) | 477 | 604 | -26.6 | 455 | 569 | -25.1 | 568 | 1023 | -80.1 |
| Çözünmüş | 9.17 | 5.41 | 41 | 8.37 | 7.83 | 6.45 | 8.86 | 8.42 | 4.97 |
| Bulanıklık | 7.89 | 0.96 | 87.8 | 9.43 | 2.17 | 76.99 | 7.69 | 3.44 | 55.27 |

Tablo 4.4: Devam.

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| AOX (mg/L) | 1.18 | 2.54 | -115.7 | 2.63 | 1.99 | 24.4 | 2.68 | 1.64 | 38.8 |
| Top-N (mg/L) | 0 | 0 | -- | 0 | 0 | - | 0 | 0 | - |
| Fenol (mg/L) | 13 | 3.81 | 70.7 | 12.4 | 5.95 | 52.02 | 12.8 | 10.2 | 20.3 |
| Toplam Sertlik (mg/L) | 140 | 140 | 0 | 140 | 100 | 28.57 | 140 | 80 | 42.9 |
| $NO_3^-$-N (mg/L) | 14.1 | 14.4 | -2.13 | 17 | 7.81 | 54.06 | 17 | 7.45 | 56.2 |
| AKM (mg/L) | 10 | 30 | -200 | 25 | 40 | -153.7 | 30 | 70 | -133.3 |
| $NH_4^+$-N (mg/L) | 1.79 | 1.09 | 39.11 | 1.64 | 1.24 | 9.82 | 1.47 | 1.65 | -12.2 |
| J (L/m$^2$ sa) | 41.11 | | | 41.11 | | | 44.16 | | |




Şekil 4.10: Tekstil Atıksularının Etkinliği Bilinen Sistemlerde Karışık Konsantrelerinin Tezgah-üstü İOP/ Batık UF Hibrit Prosesi ile Arıtımında UF Membranlara ait Süzüntü Akı Değerleri.




| | pH | Ei (µS/cm) | TÇK (mg/L) | TOK (%) | KOI (%) | Renk (A) | Cl- (mg/L) | SO4-2 (mg/L) | J (L/m2.sa) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| FENTON | 2.24 | 4650 | 2430 | 52.00 | 70.00 | 0.166 | 2.5 | 604 | 41.11 |
| UV-A | 2.44 | 4040 | 2097 | 70.10 | 79.00 | 0.051 | 70.7 | 569 | 41.11 |
| UV-C | 2.73 | 3800 | 1971 | 74.20 | 86.00 | 0.059 | 67.5 | 1023 | 44.16 |

Şekil 4.11: Tekstil Atıksularının Etkinliği Bilinen Sistemlerde UF/$NF_{sıkı}$/TO Prosesi İle Arıtımı Sonucunda Elde Edilen Karışık Konsantrelerin Tezgah-üstü İOP/ Batık UF Hibrit Prosesi İle Arıtımı Performansları.

Tablo 4.5: İOP/Batık UF Sistemi İle Arıtımı Sonucunda Elde Edilen Konsantre Bertaraf/Teknoloji Tablosu.

| Örnek No | Fenton Prosesi | Foto-Fenton Prosesi (UVA-365) | Foto-Fenton Prosesi (UVC-254) |
|---|---|---|---|
| Atık Türü/İsmi | Tekstil atıksuyu | Tekstil atıksuyu | Tekstil atıksuyu |
| AYY Analiz | Tehlikeli(Zararlı) Atık | Tehlikesiz Atık | Tehlikeli(Zararlı) Atık |
| Tehlikelilik Özelliği | H4-Tahriş Edici<br>H5-Zararlı | H4-Tahriş edici | H4-Tahriş Edici<br>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 |
| 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. |

Tablo 4.5: Devam.

| | | | |
|---|---|---|---|
| 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. | | |

- Endüstriyel Su Geri Kazanımı

UF, NF ve TO prosesler için belirlenmiş en iyi performanslı membranların kullanıldığı UH050/NF270/LFC-3 membranları sırasında işletilen UF/NF/TO birleşik membran sisteminde tekstil yıkama atıksuyunun filtrasyonuyla elde edilen arıtılmış çıkış suyunun kalitesi, her bir membran proses adımında elde edilen arıtma performansları ve proseste yeniden kullanım için hedeflenen çıkış suyu kalitesi değerleriyle birlikte Tablo 4.6'da verilmiştir. UF/NF/TO birleşik sistemi kullanılarak tekstil yıkama atıksularından, 6.47 pH'da, 4 μS/cm ve 1.833 mg TÇK/L ile çok düşük inorganik madde içeriğinde ve 1.7 mg TOK/L ve 4 mg KOİ/L ile proseste yeniden kullanım için arzu edilen kalitedir.

Tablo 4.6: UF/NF/TO Birleşik Membran Sistemiyle Tekstil Yıkama Atıksuyunun Filtrasyonunda Proses Performansları ve Çıkış Suyu Kalitesi Değerleri.

| Performans Parametresi | Membran Prosesler | | | UF/NF/TO | | [1]Hedeflenen Yeniden Kullanım |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | R (%) | | | Toplam R (%) | Arıtılmış Çıkış Suyu | |
| | UF | NF | TO | | | |
| J[2] | 132 | 29.2 | 53.1 | – | – | – |
| pH[2] | 7.05 | 8.57 | 6.47 | – | 6.47 | 6-8 |
| $E_C$ | 64.23 | 93.55 | 99.3 | 99.3 | 4.01 | <2500 μS/cm |
| TÇK | 65.12 | 93.94 | 99.34 | 99.34 | 1.833 | <1250 mg/L |
| TOK | 90.5 | 95.47 | 96.75 | 96.75 | 1.7 | – |
| KOİ | 91.6 | 96.73 | 98.79 | 98.79 | 4 | 25 mg/L |
| Renk | 98.34 | 100 | 98.61 | 100 | – | 0 |
| Klorür | 49.18 | 59.84 | 100 | 100 | 0 | – |

[1] (Bes-Pia ve diğ., 2010).

[2] J ve pH için sunulan değerler, yüzde giderme verimlerini değil, sırasıyla membran süzüntü akısı ($L/m^2.sa$) ve pH ölçüm değerlerini göstermektedir.

## 4.2. Önerilen İOP/UF+ NF ve/veya TO Sistemlerinde Arıtma

- İOP/UF Hibrit Sisteminde Arıtma

20 L kapasiteli İOP/batık UF hibrit reaktörü ile optimum şartlarda ardışık olarak gerçekleşen Fenton ve foto-Fenton deneylerinin öncesinde, proses bütününde, sürekli denemelerin yapılacağı büyük İOP/UF sisteminde kesikli olarak işletilen reaktördeki çalışma şartlarının aynısının oluşturulabilmesi için, küçük sistemdeki lamba, havalandırma hızı ve su çekim hızı değişkenleri baz alınarak, bu

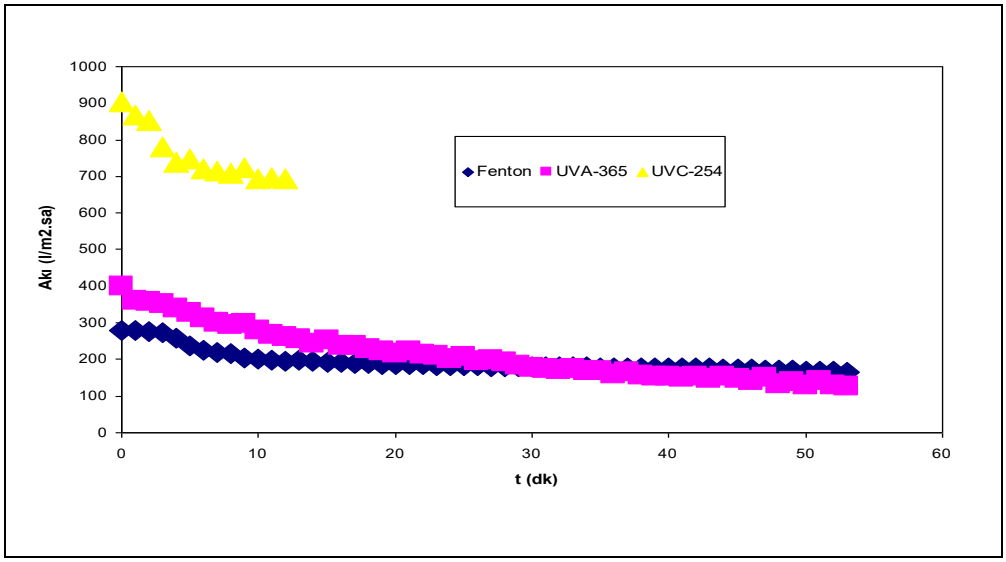
değişkenler büyük sisteme uyarlanmış ve ölçek benzeştirmesi yapılarak Tablo 4.7' de gösterilmiştir.

Tablo 4.7: Küçük Ölçekli Sistemlerde Belirlenen Optimum Şartların Büyük Ölçekli Sisteme Uyarlanması.

| Parametre | Açıklama | Fenton Prosesi | | Foto-Fenton Prosesi (UVA) | | Foto-Fenton Prosesi (UVC) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Küçük Ölçek | Büyük Ölçek | Küçük Ölçek | Büyük Ölçek | Küçük Ölçek | Büyük Ölçek |
| t | Zaman (dk) | 60.0 | 60.0 | 60.0 | 60.0 | 41.0 | 41.0 |
| T | Sıcaklık ($^0$C) | 26.5 | 26.5 | 40.0 | 40.0 | 40.0 | 40.0 |
| pH | pH | 3.73 | 3.73 | 4.0 | 4.0 | 4.44 | 4.44 |
| $H_2O_2$/TOK | $H_2O_2$/TOK oranı (g/g) | 6.00 | 6.00 | 7.75 | 7.75 | 9.88 | 9.88 |
| $H_2O_2/Fe^{2+}$ | $H_2O_2/Fe^{2+}$ oranı (g/g) | 15.0 | 15.0 | 10.75 | 10.75 | 7.27 | 7.27 |
| $\nu_H$ | İOP reaktörü havalandırma hızı (L/dk) | 1.8 | 5 | 1.00 | 2.8 | 2.89 | 2.89 |
| $I_Ş$ | Işık şiddeti (adet) | - | - | 3 lamba | 3 lamba | 3 lamba | 2 lamba |
| $I_T$ | Işık türü | - | - | UVA-365 | UVA-365 | UVC-254 | UVC-254 |
| - | Membran türü | UH050 | UH050 | UV150 | UV150 | UH050 | UH050 |

İOP/batık UF reaktöründe ardışık olarak işletilen sistemde Fenton ve foto-Fenton (UVA ve UVC) deneyleri için daha önce belirlenen optimum şartlarda belirlenen optimum işletme sürelerinde (sırasıyla 60, 60 ve 41 dk) demir ve hidrojen peroksit ilavesi ile oksidasyon işlemi gerçekleştirildikten sonra, UF membran yaklaşık

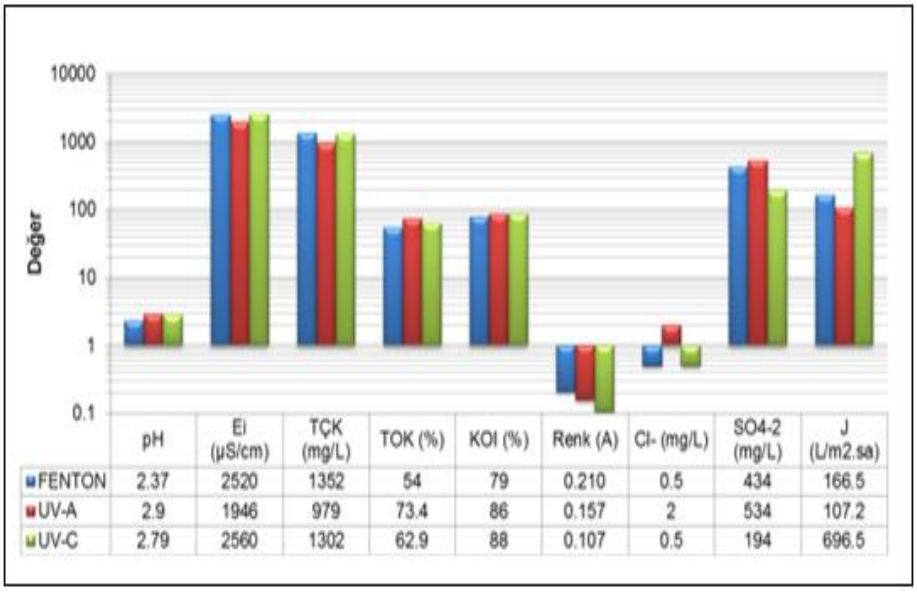
%20-25 konsantre etme oranlarında işletilmiştir. Küçük tezgah-üstü reaktörde olduğu gibi, büyük sistemde de Fenton prosesi için UH050, foto-Fenton prosesinde ise UVA-365 için UV150 ve UVC-254 için UH050 membranları kullanılmış ve proses sonu elde edilen süzüntü akı değerleri Şekil 4.12' de verilmiştir. Farklı zamanlarda temin edilen tekstil endüstrisi ham atıksuları ve yenilikçi reaktör ile arıtım sonucunda elde edilen UF çıkış suyu kalite sonuçları Tablo 4.8' de özetlenmiştir. Büyük sistem ile elde edilen süzüntülerin performans parametreleri Şekil 4.13' de özetlenmiş olup, en iyi performansın foto-Fenton UVC ile arıtımda 696.5 L/m$^2$ sa UF süzüntü akılarında %62.9 TOK ve %88.0 KOİ giderimi elde edilmiştir.




Şekil 4.12: Önerilen Sistemlerde İOP/Batık UF Büyük Hibrit Prosesi İle Arıtımında Fenton ve Foto-Fenton (UVA-365 ve UVC-254 ) Proseslerinde Kullanılan UH050, UV150 Ve UH050 Membranlarına Ait Süzüntü Akıları.

Tablo 4.8: İOP/Batık UF Büyük Hibrit Reaktöründe Fenton Ve Foto-Fenton (UVA-360, UVC-254) Prosesleri İle Ardışık Arıtımı Sonucunda Elde Edilen Analiz Sonuçları.

| Parametre | İOP (Fenton)/UF (UH050) | | | İOP (Foto-Fenton-UVA)/UF (UV150) | | | İOP (Foto-Fenton-UVC)/UF (UH050) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Ham Atıksu | UF süzüntü çıkışı | Giderim (%) | Ham Atıksu | UF süzüntü çıkışı | Giderim (%) | Ham Atıksu | UF süzüntü çıkışı | Giderim verimi (%) |
| pH | 3.73 | 2.37 | - | 4.0 | 2.90 | - | 4.44 | 2.79 | - |
| Ei (µS/cm) | 917 | 2520 | -174.8 | 897 | 1946 | -116.9 | 969 | 2560 | -164.2 |
| TÇK (mg/L) | 451 | 1352 | -199.8 | 440 | 979 | -122.5 | 476 | 1302 | -173.5 |
| TOK (mg/L) | 322 | 148.10 | 54.0 | 388.7 | 103 | 73.4 | 351 | 130 | 62.9 |
| KOI (mg/L) | 1744 | 366.2 | 79.0 | 1912 | 268 | 86.0 | 1336 | 160 | 88.0 |
| Renk ($\lambda_{ort}$) (abs) | 0.081 | 0.210 | -159.6 | 0.086 | 0.157 | -82.2 | 0.086 | 0.107 | -24.6 |
| $Cl^-$ (mg/L) | 24.59 | 0.5 | 98.0 | 35.99 | 2.0 | 94.5 | 20.7 | 0.5 | 97.6 |
| $SO_4^{2-}$ (mg/L) | 429 | 434 | -1.2 | 482 | 534 | -10.9 | 516 | 194 | 62.5 |
| J ($L/m^2$ sa) | 166.5 | | | 107.2 | | | 696.5 | | |




Şekil 4.13: İOP/Batık UF Büyük Hibrit Reaktöründe Fenton ve Foto-Fenton (UVA-365, UVC-254) Prosesleri İle Arıtımı Sonucunda Elde Edilen Arıtım Performansları.

- İOP/UF Sonrası NF gevşek, Nfsıkı, TO Proseslerinde Arıtma

Sürekli İOP/batık UF hibrit prosesinde Fenton sonrasında çıkış suları, NFgevşek, NFsıkı, NFgevşek/TO, TO olmak üzere 4 ayrı konfigürasyonda, 8' li Taguchi deneysel tasarım planlamasına tabi tutularak; deneysel sonuçların analizi, organik madde giderimi ve süzüntü akı değerleri dikkate alınarak belirlenmiştir. Sürekli İOP/batık UF hibrit reaktöründe ardışık şartlarda optimum işletme koşullarında uygulanan Fenton prosesi sonrasında elde edilen süzüntü suları ile filtrasyon deneyleri NFgevşek, NFsıkı, NFgevşek/TO, TO konfigürasyonları için ortak olarak yapılan deneysel tasarım çerçevesinde planlanmış ve yürütülmüştür. 8' li deneylerin proses performanslarının izlenmesi ise, pH, elektriksel iletkenlik ($E_i$), toplam çözünmüş katılar (TÇK), toplam organik karbon (TOK), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), renk, klorür, sülfat ve akı sonuç parametreleri üzerinden gerçekleştirilmiştir. Bu doğrultuda, membran tipi ($M_T$), çapraz akış hızı ($\nu$), sıcaklık ($T$), membran geçiş basıncı ($\Delta P$) olmak üzere 4 farklı değişkenin ve değişken seviyelerinin NF ve TO proseslerinin performansları üzerindeki etkileri incelenmiştir. Deneysel tasarımda giriş değişkenleri ve seviyelerine ilişkin bilgiler ile sonuçlar NFgevşek, NFsıkı, NFgevşek/TO, TO konfigürasyonları için sırasıyla Tablo 4.9, 4.10, 4.11, 4.12' de verilmiştir.

Tablo 4.9: İOP (Fenton Prosesi)/Batık UF Büyük Hibrit Reaktörü İle Arıtımı Sonrası $NF_{gevşek}$ Membranla Filtrasyonundaki Değişkenlerin Değerlerini İçeren Taguchi Deneysel Tasarımı ve Her Parametre İçin Sonuçlar.

| Deney No | Giriş Parametreleri | | | | Sonuç Parametreleri | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | A | B | C | D | Y1 | Y2 | Y3 | Y4 TOK | | Y5 KOI | | Y6 renk | Y7 | Y8 | Y9 |
| | $M_T$ | $\nu$ | $T$ | $\Delta P$ | pH | $E_i$ | TÇK | Çıkış Suyu | Giderim (%) | Çıkış Suyu | Giderim (%) | - | $Cl^-$ | $SO_4^{2-}$ | $J$ |
| 1 | NP010 | 300 | 25 | 8 | 2.83 | 1541 | 765 | 321 | -16.6 | 1336 | -27.5 | 0.043 | 7 | 170 | 46.42 |
| 2 | NP010 | 1000 | 40 | 12 | 2.51 | 2400 | 1222 | 420 | -27 | 1600 | -47 | 0.085 | 4.5 | 20.3 | 36.47 |
| 3 | NFG | 300 | 25 | 12 | 2.64 | 1617 | 810 | 130 | 51.9 | 168 | 60 | 0.011 | 12.5 | 457 | 53.05 |
| 4 | NFG | 1000 | 40 | 8 | 2.62 | 2072 | 1046 | 158 | 41.7 | 396 | 52 | 0.028 | 5 | 21 | 33.16 |
| 5 | MPF-36 | 300 | 40 | 8 | 2.59 | 1395 | 694 | 122 | 39 | 338 | 46 | 0.015 | 10 | 18.9 | 13.26 |
| 6 | MPF-36 | 1000 | 25 | 12 | 2.58 | 1538 | 767 | 116.93 | 45 | 348 | 48 | 0.028 | 7 | 154 | 16.58 |
| 7 | CK3001 | 300 | 40 | 12 | 3.44 | 245 | 117 | 334 | -22 | 1472 | -44.9 | 0.017 | 3 | 16.2 | 13.26 |
| 8 | CK3001 | 1000 | 25 | 8 | 2.88 | 454 | 224 | 583 | -25 | 1472 | -33.3 | 0.005 | 5.5 | 130 | 6.63 |

Tablo 4.10: İOP (Fenton Prosesi)/Batık UF Büyük Hibrit Reaktörü İle Arıtımı Sonrası NFsıkı Membranla Filtrasyonundaki Değişkenlerin Deneysel Değerlerini İçeren Taguchi Deneysel Tasarımı ve Her Parametre İçin Sonuçlar.

| Deney No | Giriş Parametreleri | | | | Sonuç Parametreleri | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | A | B | C | D | Y1 | Y2 | Y3 | Y4 | | Y5 | | Y6 | Y7 | Y8 | Y9 |
| | | | | | | | | TOK | | KOI | | renk | | | |
| | $M_T$ | $\nu$ | $T$ | $\Delta P$ | pH | $E_i$ | TÇK | Çıkış Suyu | Giderim (%) | Çıkış Suyu | Giderim (%) | - | $Cl^-$ | $SO_4^{2-}$ | $J$ |
| 1 | NP030 | 300 | 25 | 12 | 2.94 | 935 | 456 | 330 | -37.2 | 1144 | -45 | 0.038 | 6 | 35 | 13.26 |
| 2 | NP030 | 1000 | 40 | 20 | 2.68 | 1740 | 872 | 428 | -41.3 | 1152 | -49 | 0.066 | 5 | 20 | 13.26 |
| 3 | ESNA1 | 300 | 25 | 20 | 3.24 | 298 | 142 | 19 | 80 | 74 | 91 | 0.003 | <0.5 | 7.3 | 13.26 |
| 4 | ESNA1 | 1000 | 40 | 12 | 2.67 | 765 | 374 | 21 | 75 | 156 | 80 | 0.001 | <0.5 | 7.2 | 6.63 |
| 5 | NF270 | 300 | 40 | 12 | 2.69 | 1206 | 601 | 75 | 72 | 80 | 78 | 0.007 | 12.7 | 7.3 | 72.95 |
| 6 | NF270 | 1000 | 25 | 20 | 2.47 | 2035 | 1025 | 123 | 43.6 | 254 | 48 | 0.018 | 13 | 8.3 | 23.21 |
| 7 | DS-5DK | 300 | 40 | 20 | 2.81 | 818 | 398 | 65 | 80.9 | 206 | 79.9 | 0.002 | 10 | 7.7 | 66.31 |
| 8 | DS-5DK | 1000 | 25 | 12 | 2.61 | 1978 | 995 | 151 | 31.7 | 360 | 37.5 | 0.057 | 6 | 7.2 | 19.89 |

Tablo 4.11: İOP (Fenton Prosesi)/Batık UF Büyük Hibrit Reaktörü İle Arıtımı Sonrası NFgevşek/TO Filtrasyonunda TO Membranla Filltrasyonundaki Değişkenlerin Deneysel Değerlerini İçeren Taguchi Deneysel Tasarımı ve Her Parametre İçin Sonuçlar.

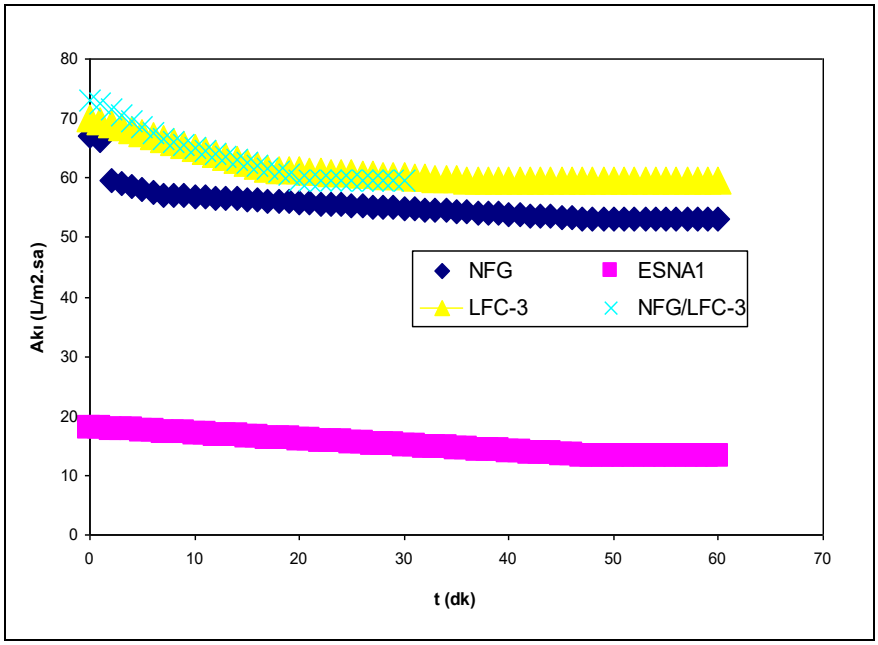
| Deney No | Giriş Parametreleri | | | | Sonuç Parametreleri | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | A | B | C | D | Y1 | Y2 | Y3 | Y4 | | Y5 | | Y6 | Y7 | Y8 | Y9 |
| | $M_T$ | $v$ | $T$ | $\Delta\Pi$ | pH | $E_i$ | TÇK | TOK | | KOI | | renk | $Cl^-$ | $SO_4^{2-}$ | $J$ |
| | | | | | | | | Çıkış Suyu | Giderim (%) | Çıkış Suyu | Giderim (%) | - | | | |
| 1 | TFC-HR | 300 | 25 | 20 | 3.09 | 797 | 386 | 69 | 17.9 | 164 | 20.4 | 0.016 | 2.2 | 10 | 139.26 |
| 2 | TFC-HR | 1000 | 40 | 40 | 3.82 | 148 | 70 | 30 | 70.1 | 76 | 75 | 0.011 | 2 | 4.9 | 66.31 |
| 3 | LFC-3 | 300 | 25 | 40 | 4 | 133 | 64 | 25 | 74.7 | 42 | 82.5 | 0 | 1.8 | 4.8 | 59.68 |
| 4 | LFC-3 | 1000 | 40 | 20 | 3.61 | 220 | 105 | 29 | 66 | 74 | 80.4 | 0.009 | 2.3 | 4.4 | 23.21 |
| 5 | CPA-3 | 300 | 40 | 20 | 3.6 | 209 | 99 | 29 | 64.4 | 56 | 68.9 | 0.009 | 2.2 | 4 | 33.16 |
| 6 | CPA-3 | 1000 | 25 | 40 | 3.12 | 748 | 365 | 60 | 20 | 146 | 24.5 | 0.003 | 3 | 9.4 | 36.47 |
| 7 | BW30 | 300 | 40 | 40 | 3.19 | 606 | 294 | 59 | 26 | 123 | 46.4 | 0 | 3.5 | 8.6 | 59.68 |
| 8 | BW30 | 1000 | 25 | 20 | 3.13 | 739 | 362 | 63 | 10.2 | 200 | 14.5 | 0.005 | 4 | 9.5 | 56.37 |

Tablo 4.12: İOP (Fenton prosesi)/Batık UF Büyük Hibrit Reaktörü İle Arıtımı Sonrası TO Membranla Filtrasyonundaki Değişkenlerin Deneysel Değerlerini İçeren Taguchi Deneysel Tasarımı ve Her Parametre İçin Sonuçlar.

| Deney No | Giriş Parametreleri | | | | Sonuç Parametreleri | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | A $M_T$ | B $\nu$ | C $T$ | D $\Delta\Pi$ | Y1 pH | Y2 $E_i$ | Y3 TÇK | Y4 TOK | | Y5 KOI | | Y6 renk | Y7 $Cl^-$ | Y8 $SO_4^{2-}$ | Y9 J |
| | | | | | | | | Çıkış Suyu | Giderim (%) | Çıkış Suyu | Giderim (%) | - | | | |
| 1 | TFC-HR | 300 | 25 | 20 | 3.01 | 967 | 476 | 81 | 63.2 | 168 | 67.7 | 0.033 | 6.2 | 4.2 | 23.21 |
| 2 | TFC-HR | 1000 | 40 | 40 | 3.26 | 443 | 213.3 | 51 | 75.1 | 72 | 83.9 | 0.006 | 0.5 | 4.4 | 13.26 |
| 3 | LFC-3 | 300 | 25 | 40 | 4.01 | 96 | 40.9 | 26 | 91.6 | 45 | 93.5 | 0 | 0.5 | 4.4 | 53.05 |
| 4 | LFC-3 | 1000 | 40 | 20 | 3.97 | 167 | 79.5 | 40 | 80.6 | 80 | 84.4 | 0.002 | 0.5 | 4.7 | 19.89 |
| 5 | CPA-3 | 300 | 40 | 20 | 3.7 | 193 | 92 | 49 | 75.6 | 78 | 80.1 | 0.003 | 0.5 | 4.1 | 13.36 |
| 6 | CPA-3 | 1000 | 25 | 40 | 3.46 | 335 | 161.8 | 47 | 74.7 | 86 | 80.5 | 0.002 | 0.5 | 4.3 | 13.26 |
| 7 | BW30 | 300 | 40 | 40 | 3.36 | 270 | 129.2 | 50 | 80.6 | 74 | 86.7 | 0 | 0.5 | 4 | 33.16 |
| 8 | BW30 | 1000 | 25 | 20 | 3.18 | 645 | 312 | 75 | 63.2 | 134 | 67.7 | 0.001 | 0.5 | 4 | 13.26 |

Tekstil endüstrisi için optimum işletme şartları olarak Tablo 1.3' de verilen değerler dikkate alındığında, önerilen şekliyle büyük yenilikçi İOP/batık UF hibrit reaktöründe tekstil endüstrisi atıksularının hibrit reaktörde Fenton prosesi ile arıtımında optimum sıcaklık 26.5 $^{0}$C olarak kabul edildiğinden, ilave bir sıcaklık artışına gerek olmaması ve için her 4 konfigürasyon için de 3 numaralı deney şartının uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Organik madde giderimi ve süzüntü akı değerlerinin yanısıra sıcaklıkta dikkate alındığında, sürekli İOP/batık UF hibrit reaktöründe 60 dakika ardışık olarak işletilen Fenton prosesi sonrasında elde edilen çıkış suları sırasıyla NFG, ESNA, NFG/LFC-3 ve LFC-3 membran konfigürasyonları ile filtre edilmiştir. NFgevşek, NFsıkı, NFgevşek/TO ve TO membranları için filtrasyon sırasında elde edilen süzüntü akı grafikleri Şekil 4.14' de verilmiştir.

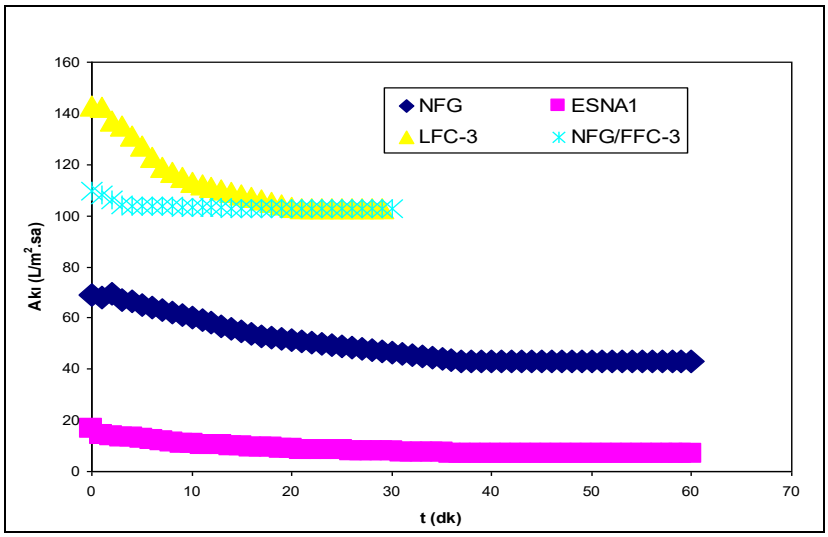



Şekil 4.14: Önerilen Sistemlerde İOP/Batık UF Büyük Hibrit Reaktöründe Fenton Prosesi Sonrasında Elde Edilen Süzüntü Akımlarında En Uygun Bulunan $NF_{gevşek}$, $NF_{sıkı}$, $NF_{gevşek}$/TO ve TO Memran Konfigürasyonlarının Akı Grafikleri.

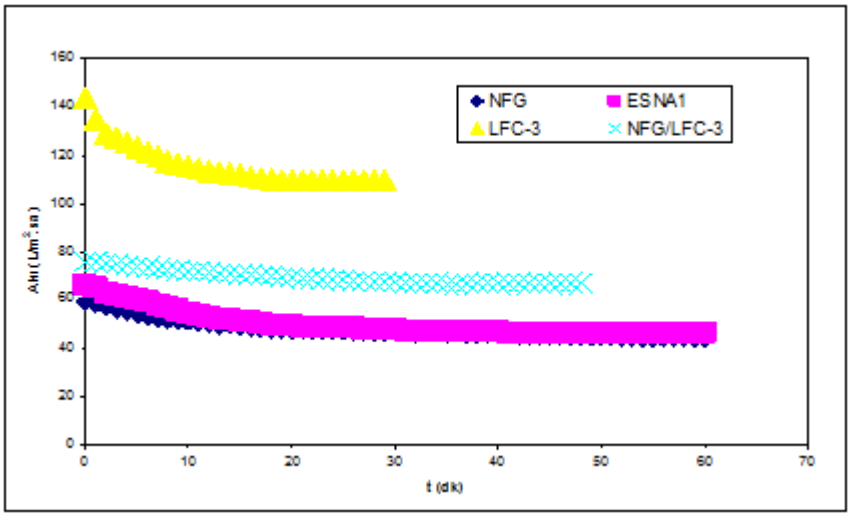
Çalışmanın devamında, tekstil endüstrisi atıksuları sırasıyla foto-Fenton (UVA)/batık UF ve foto-Fenton (UVC)/batık UF sistemleri ile arıtılarak, elde edilen süzüntü akımları Fenton prosesinde uygulanan 8' li Taguchi deneysel tasarım sonuçlarından hareketle seçilen en uygun membranlar dikkate alınarak NFG, ESNA, NFG/LFC-3 ve LFC-3 konfigürasyonları ile filtrasyona tabi tutulmuştur. foto-Fenton

(UVA-365 ve UVC-254) için hibrit reaktörde yürütülen deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen süzüntü akı grafikleri foto-Fenton (UVA) için Şekil 4.15' de, foto-Fenton (UVC) için ise Şekil 4.16' da verilirken, her iki proses için deney sonuçları ise Tablo 4.12 ve 4.13' deki gibidir.

Kesikli şartlarda tezgah-üstü İOP/ batık UF membranında belirlenen optimum şartlar dikkate alındığında, Fenton prosesi 60 dakikalık oksidasyon süresinde 26.5 $^{0}$C de işletilirken, foto-Fenton (UVA-365 ve UVC-254) prosesleri sırasıyla 60 ve 41 dakikada 40 $^{o}$C' de oksidasyona tabi tutulmuştur. Buradan hareketle önerilen sistemlerde sürekli şartlarda ardışık olarak işletilen İOP/ batık UF sistemi ile foto-Fenton proseslerinden elde edilen UF süzüntü suları, optimum sıcaklık dikkate alınarak 4 numaralı deney şartlarında NFG, ESNA, NFG/LFC-3 ve LFC-3 membran konfigürasyonları ile kesikli şartlarda Sterlitech sistemi ile filtrasyon deneyleri tamamlanmıştır.




Şekil 4.15: Önerilen Sistemlerde İOP/Batık UFBüyük Hibrit Reaktöründe Foto-Fenton (UVA-365) Prosesi Sonrasında Elde Edilen Süzüntü Akımlarında En Uygun Bulunan $NF_{gevşek}$, $NF_{sıkı}$, $NF_{gevşek}$/TO ve TO Memran Konfigürasyonlarının Akı Grafikleri.




Şekil 4.16: Önerilen Sistemlerde İOP/Batık UF Büyük Hibrit Reaktöründe Foto-Fenton (UVC-254) Prosesi Sonrasında Elde Edilen Süzüntü Akımlarında En Uygun Bulunan $NF_{gevşek}$, $NF_{sıkı}$, $NF_{gevşek}$/TO ve TO Memran Konfigürasyonlarının Akı Grafikleri.

Tablo 4.13: İOP (Foto-Fenton Prosesi, UVA-365)/Batık Büyük UF Hibrit Reaktörü İle Arıtımı Sonrası NFG, ESNA, NFG/LFC-3 ve LFC-3 Konfigürasyonları İle Filtrasyonundaki Değişkenlerin Deneysel Değerlerini İçeren Taguchi Deneysel Tasarımı ve Her Parametre İçin Sonuçlar.

| Proses | Giriş Parametreleri | | | | Sonuç Parametreleri | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | A | B | C | D | Y1 | Y2 | Y3 | Y4 TOK | | Y5 KOI | | Y6 renk | Y7 | Y8 | Y9 |
| | $M_T$ | $\nu$ | $T$ | $\Delta P$ | pH | $E_i$ | TÇK | Çıkış Suyu | Giderim verimi | Çıkış Suyu | Giderim verimi | - | $Cl^-$ | $SO_4^{2-}$ | $J$ |
| $NF_{sıkı}$ | ESNA 1 | 1000 | 40 | 20 | 3.64 | 257 | 116 | 25.9 | 83.0 | 89.6 | 86.7 | 0.002 | 27.64 | 4.63 | 6.63 |
| $NF_{gevşek}$ | NFG | 1000 | 40 | 12 | 2.95 | 1716 | 859 | 115 | 39.2 | 178 | 72.2 | 0.043 | 8.49 | 43.47 | 43.10 |
| $NF_{gevşek}$/TO | LFC-3 | 1000 | 40 | 40 | 4.73 | 66 | 32 | 11 | 89.6 | 51 | 92.0 | 0.001 | 8.48 | 4.57 | 102.79 |
| TO | LFC-3 | 1000 | 40 | 40 | 5.86 | 191 | 91 | 12 | 95.3 | 32 | 93.1 | 0.005 | 13.0 | 4.74 | 102.79 |

Tablo 4.14: İOP (Foto-Fenton Prosesi, UVC-254)Batık UF Büyük Hibrit Reaktörü İle Arıtımı Sonrası NFG, ESNA, NFG/LFC-3 ve LFC-3 Konfigürasyonları İle Filtrasyonundaki Değişkenlerin Deneysel Değerlerini İçeren Taguchi Deneysel Tasarımı ve Her Parametre İçin Sonuçlar.

| Proses | Giriş Parametreleri | | | | Sonuç Parametreleri | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | A | B | C | D | Y1 | Y2 | Y3 | Y4 TOK | | Y5 KOI | | Y6 renk | Y7 | Y8 | Y9 |
| | $M_T$ | $\nu$ | $T$ | $\Delta P$ | pH | $E_i$ | TÇK | Çıkış Suyu | Giderim verimi | Çıkış Suyu | Giderim verimi | - | $Cl^-$ | $SO_4^{2-}$ | $J$ |
| $NF_{sıkı}$ | ESNA1 | 1000 | 40 | 20 | 3.32 | 447 | 216 | 27 | 86 | 134 | 89 | 0.007 | 10.74 | 7.34 | 46.42 |
| $NF_{gevşek}$ | NFG | 1000 | 40 | 12 | 2.76 | 1563 | 777 | 68 | 49 | 204 | 58 | 0.008 | 31.49 | 7.83 | 44.11 |
| $NF_{gevşek}$/TO | LFC-3 | 1000 | 40 | 40 | 2.50 | 921 | 452 | 9 | 87 | 33 | 88 | 0.002 | 5.0 | 7.84 | 66.97 |
| TO | LFC-3 | 1000 | 40 | 40 | 2.62 | 371 | 178 | 18 | 88 | 70 | 89 | 0.014 | 8.24 | 25.98 | 109.42 |

Tablo 4.9-4.14 arasında verilen deney sonuçlarından, önerilen sistemlerin yenilikçi İOP/batık UF reaktörü ile optimum şartlarda Fenton, foto-Fenton (UVA-365) ve foto-Fenton (UVC-254) oksidasyonu sonrasında UF süzüntü sularının tezgah üstü Sterlitech membran sistemi ile $NF_{gevşek}$, $NF_{sıkı}$, $NF_{gevşek}$/TO, TO konfigürasyonlarında filtrasyonu, organik madde giderimi ve süzüntü akısı değerleri dikkate alınarak değerlendirildiğinde, 4 membran konfigürasyonu için de LFC-3 ters osmoz membranın en iyi olduğu görülmektedir.

Fenton prosesi sonrasında LFC-3 ters osmoz membranı ile yapılan 3 numaralı deney şartlarında 53.05 L/$m^2$ sa süzüntü akısında TOK ve KOİ' de sırasıyla %91.6 ve %93.5 giderim verimleri elde edilmiş olup, çıkış değerleri sırasıyla 26 mg/L ve 45 mg/L' dir. Foto-Fenton (UVA-365) prosesinde ise sıcaklıktan dolayı 40 $^0$C uygulanarak gerçekleştirilen filtrasyon sonucunda LFC-3 membran ile 102.79 L/$m^2$ sa süzüntü akısında TOK ve KOİ giderim verimleri sırasıyla %95.3 ve %97.7 iken çıkış değerleri sırasıyla 12 mg/L ve 14 mg/L olarak bulunmuştur. Son olarak, foto-Fenton (UVC-254) prosesinde ise LFC-3 filtrasyonunda TOK ve KOİ giderim verimleri sırasıyla %88 ve %89 olarak bulunmuş ve 109.42 L/$m^2$ sa süzüntü akısında çıkış TOK ve KOİ değeri sırasıyla 18 mg/L ve 70 mg/L olarak hesaplanmıştır. $NF_{gevşek}$/TO konfigürasyonu ele alındığında, TO prosesi ile yakın TOK ve KOİ giderim verimleri gözlenirken, çıkış TOK değeri 9 mg/L, KOİ değeri 33 mg/L olarak bulunmuş olmasına rağmen, daha düşük süzüntü akı değeri (66.97 L/$m^2$ sa) görüldüğü için TO ile yapılan deney şartı daha uygun bulunmuştur.

Tekstil endüstrilerinde arıtılmış suyun proseste yeniden kullanımı için verilen kabul edilebilir sınır değerler (pH: 6-8, iletkenlik <2.5 mS/cm, renk 0, bulanıklık 10 NTU, KOİ 25 mg/L, TÇK <1250 mg/L, sertlik 10 mg $CaCO_3^{-2}$/L) dikkate alındığında, önerilen sistemle İOP/batık UF prosesi sonrasındaki LFC-3 membranın en iyi TO membran konfigürasyonu olduğu, KOİ parametresi haricinde, tüm diğer parametreleri açısından elde edilen arıtılmış süzüntü suyunun iyi kalitede olduğu ve özellikle de geri kazanım/yeniden kullanım için kabul edilebilir seviyelerde değerler aldığı sonucuna varılmıştır. Buradan önerilen sistem ile atık minimizasyonu yapılmak suretiyle sistemin sürekli işletiminin sağlanabileceği görülmektedir [29].

- Endüstriyel Su Geri Kazanımı

Tekstil endüstrilerinde arıtılmış suyun proseste yeniden kullanımı için verilen kabul edilebilir sınır değerler [31] (pH: 6-8, iletkenlik <2.5 mS/cm, renk 0, bulanıklık 10 NTU, KOİ 25 mg/L, TÇK <1250 mg/L, sertlik 10 mg $CaCO_3^{-2}$L) dikkate alındığında, önerilen sistemle İOP/batık UF prosesi sonrasındaki LFC-3 membranın en iyi TO membran konfigürasyonu olduğu, KOİ parametresi haricinde, tüm diğer parametreleri açısından elde edilen arıtılmış süzüntü suyunun iyi kalitede olduğu ve özellikle de geri kazanım/yeniden kullanım için kabul edilebilir seviyelerde değerler aldığı sonucuna varılmıştır. Buradan önerilen sistem ile atık minimizasyonu yapılmak suretiyle sistemin sürekli işletiminin sağlanabileceği görülmektedir.

# 5. SONUÇLAR

İlk sistemde (UF/NF/TO+İOP/UF); tekstil yıkama atıksularını arıtma ve geri kazanım çalışmaları sonucunda, UF, NF ve TO membran proseslerinin sahada teknik kurulumlarında en iyi performansla işletilebilecek membran türleri; UF ve NF proseslerde 4'er ve TO proseste 5 olmak üzere toplam 13 ticari membran için araştırılmıştır. Gerçek atıksuyla yürütülen çalışmalarda, UF, NF ve TO prosesleri için uygun membran türlerinin, sırasıyla UH050, NF270 ve LFC-3 olduğu belirlenmiştir. Bu membranlarla işletilen UF/NF/TO birleşik membran sisteminde arıtılmış tekstil yıkama atıksuyundan; proseste yeniden kullanım suyu kalitesinden çok daha iyi inorganik içerikte (13 $\mu$S/cm elektriksel iletkenlik ve 6 mg TÇK/L) ve hedeflenenin biraz üzeri organik kalitede (14 mg TOK/L ve 34 mg KOİ/L) geri kazanım suyu üretilmiştir. Pratikte, yıkama ünitesine devrettirilecek arıtılmış geri kazanım suyuna, konsantre hacimleri toplamı kadar temiz yıkama suyu ilave edilerek; proses suyunun, başka bir işleme gerek olmaksızın hedeflenen organik kalitede olması sağlanacaktır.

Basınçlı sistemlerle yürütülen deneysel çalışmalarının sonunda, 3 kademeli membran filtrasyonu sonucunda, UH050 membranda 5. gün sonunda 50 L/m$^2$sa süzüntü akısında %90.87 KOİ, %92.53 TOK, NF270 membran ile 4. gün sonunda 60 L/m$^2$sa' lik akıda %96.73 KOİ, %95.47 TOK giderimi elde edilirken, son olarak LFC-3 membranla 80 L/m$^2$ sa süzüntü akısında %98.79 KOİ giderimi sağlanmıştır. Büyük sistemde UH050/NF270/LFC-3' membran konfigürasyonu ile %80 oranında su geri kazanımı tamamlandıktan sonra elde edilen konsantre karışımları, belirlenen optimum şartlarda ardışık işletme koşullarında sırasıyla Fenton, foto-Fenton (UVA) ve foto-Fenton (UVC) ile oksidasyona tabi tutulmuştur. Etkinliği bilinen sistemlerde, elde edilen membran konsantrelerinin yenilikçi İOP/batık UF membran ile arıtımında organik madde giderimleri ve süzüntü akı değerleri dikkate alındığında, ardışık işletimli foto-Fenton (UVC-254)/UH050 hibrit prosesinin 9.88 $H_2O_2$/TOK ve 7.27 $H_2O_2/Fe^{2+}$ oranlarında, 44.16 L/m$^2$ sa' lik süzüntü akısında %86.0 KOİ ve %74.2 TOK giderimi ile 167 mg/L KOİ ve 104 mg/L TOK çıkış değerlerinde en iyi performans gösteren yenilikçi proses olduğu sonucuna varılmıştır.

Tekstil endüstrisi atıksularının sürekli işletimli basınç sürücülü mebran sistemde UF/NFsıkı/TO membran konfigürasyonları ile arıtımı sonucunda oluşan süzüntülerin ve konsantrelerin kalite parametreleri ayrı ayrı incelendiğinde, NF konsantresinin UF girişine, TO konsantresininde NF girişine beslenilebileceği görülmüş olup böylece konsantre minimizasyonun sağlanabileceği düşünülmektedir.

Tekstil endüstrisi atıksularının UF/NFsıkı/TO membran konfigürasyonları ile arıtımı sonucunda oluşan konsantre akımlarının Fenton, foto-Fenton (UVA-365) ve (UVC-254) prosesleri ile oksidasyonu sonrası oluşan konsantrelerin tehlikelilik özellikleri, bertaraf/geri kazanım yöntemleri ve yeniden kullanım alternatifleri değerlendirildiğinde tekstil endüstrisi atıksularının foto-Fenton (UVA-365) ile arıtımı sonucunda oluşan konsantre haricinde diğer tüm konsantrelerin tehlikeli özelliğe sahip olduğu görülmektedir.

İkinci sistemde ise, büyük hibrit İOP/batık UF reaktöründe ardışık olarak işletilerek gerçekleştirilen Fenton ve foto-Fenton (UVA-365) ve foto-Fenton (UVC-254) deneyleri için daha önce belirlenen optimum şartlardaki işletme sürelerinde (sırasıyla 60, 60 ve 41 dk) demir ve hidrojen peroksit ilavesi ile oksidasyon işlemi gerçekleştirildikten sonra, UF membran yaklaşık %20-25 konsantre etme oranlarında işletilmiştir. Büyük sistem ile elde edilen süzüntülerin performans parametreleri dikkate alındığında, en iyi performansın ham tekstil atıksuyunun foto-Fenton UVC ile arıtımında 696.5 L/m$^2$ sa UF süzüntü akılarında %62.9 TOK ve %88.0 KOİ giderimi (TOK: 130 mg/L, KOİ: 160 mg/L) ile sağlandığı görülmektedir. Sürekli İOP/batık UF hibrit prosesinde Fenton sonrasında elde edilen çıkış suları, NFgevşek, NFsıkı, NFgevşek/TO, TO olmak üzere 4 ayrı konfigürasyonda, 8’ li Taguchi deneysel tasarım planlamasına tabi tutulmuştur. Fenton prosesi sonrasında LFC-3 ters osmoz membranı ile yapılan 3 numaralı deney şartlarında 53.05 L/m$^2$ sa süzüntü akısında TOK ve KOİ’ de sırasıyla %91.6 ve %93.5 giderim verimleri elde edilmiş olup, çıkış değerleri sırasıyla 26 mg/L ve 45 mg/L’ dir. Foto-Fenton (UVA-365) prosesinde ise sıcaklıktan dolayı gerçekleştirilen filtrasyon sonucunda LFC-3 membran ile 102.79 L/m$^2$ sa süzüntü akısında TOK ve KOİ giderim verimleri sırasıyla %95.3 ve %97.7 iken çıkış değerleri sırasıyla 12 mg/L ve 14 mg/L olarak bulunmuştur. Kesikli NFgevşek, NFsıkı ve TO deneyleri, sürekli kurulumu ve devreye alımı, UF, NFgevşek, NFsıkı ve

TO membran prosesleri ile etkinliği bilinen sistemlerin sürekli işletimlerinde kullanılacak olan uygun membran türlerinin belirlenmesi, etkinliği bilinen sistemlerin konsantre analizleri/sınıflamaları/değerlendirme çalışmalarının tamamı yerine getirilmiştir.

Tekstil endüstrilerinde arıtılmış suyun proseste yeniden kullanımı için kabul edilebilir sınır değerler [29]], (pH: 6-8, iletkenlik <2.5 mS/cm, renk, 0, bulanıklık 10 NTU, KOİ 25 mg/L, TÇK <1250 mg/L, sertlik 10 mg $CaCO_3^{-2}$/L) dikkate alındığında, önerilen sistemle en iyi arıtım konfigürasyonunun foto-Fenton (UVC-254)/batık UHO50 sistemi sonrasında LFC-3 membran ile filtrasyon olduğu sonucuna varılmıştır.

Son olarak, foto-Fenton (UVC-254) prosesinde ise LFC-3 filtrasyonunda TOK ve KOİ giderim verimleri sırasıyla %88 ve %89 olarak bulunmuş ve 109.42 L/$m^2$ sa süzüntü akısında çıkış TOK ve KOİ değeri sırasıyla 18 mg/L ve 70 mg/L olarak hesaplanmıştır.

Bu çalışmada, her ne kadar İOP/UF çıkışında düşük TOK ve KOİ değerleri elde edilse bile, membran prosesi ile %80 su geri kazanım oranlarında yüksek çıkış TOK ve KOİ değerlerine rastlanmıştır. Bu durum hibrit reaktörde organik giderim ile sonrasında önerilen membran sistem seçeneklerinde arzu edilen kalitede çıkış suyu üretilememesine neden olmakta ve istenen kalitede çıkış suyu elde edebilmek için Fenton ve foto-Fenton (UVA ve UVC) proseslerinin ayrı ayrı olarak değerlendirilmesi önem arz etmektedir.

Kesikli NFgevşek, NFsıkı ve TO deneyleri, sürekli kurulumu ve devreye alımı, UF, NFgevşek, NFsıkı ve TO membran prosesleri ile etkinliği bilinen sistemlerin sürekli işletimlerinde kullanılacak olan uygun membran türlerinin belirlenmesi, sistemlerin konsantre analizleri/sınıflamaları/değerlendirme çalışmalarının tamamı yerine getirilmiştir.

# 6. DEĞERLENDİRMELER VE ÖNERİLER

Sonuç olarak, her iki membran sisteminde de endüstriyel su geri kazanımı başarıyla gerçekleştirilmiştir.

İlk sistemde (UF/NF/TO ve İOP/ UF); UF/NF/TO sistemi membran konsantreleri kesikli İOP/ UF hibrit reaktörde arıtılarak konsantre atık minimizasyonu sağlanmıştır. İOP/UF reaktöründe kalan nihai konsantre, suyu alındıktan sonra yakma ve/veya düzenli depolama veya merkezi atıksu arıtma tesisinde nihai bertarafının sağlanabileceği değerlendirilmiştir.

İkinci sistemde (İOP/UF ve NF ve/veya TO); ilk sisteme göre daha düşük kalitede geri kazanım suyu eldesi sağlanmıştır. Bu sistemle ayrıca ilk sisteme göre daha düşük nihai konsantre atık eldesiyle, bir başka deyişle daha fazla hacimsel su geri kazanımıyla işletilebileceği tespit edilmiştir. Özellikle İOP/UF sonrası tek kademe TO uygulanan seçeneğin en ekonomik seçenek sağlayacağı kanaatine ulaşılmıştır.

Bu tez çalışmasında elde edilen sonuçlar göstermiştir ki; tekstil sanayinde su tarifi paylarının düşürülmesi açısından, performans etkinliği incelenmiş ve endüstriyel su geri kazanımındaki yüksek başarım performansları ortaya konmuştur. Hem etkinliği bilinen sistemlerin (UF/NF/TO +İOP/UF) hem de yenilikçi sistemlerin (İOP/UF+NF ve/veya TO) sahada uygulama halleri için maliyet analizlerinin yerine getirilerek, bu teknolojilerin sahada ekonomik olarak hangi başarım seviyelerinde uygulanabileceklerinn tespiti önemlidir. Bu bakımdan yenilikçi sistemlerin uzun süreli işletim performanslarının araştırılması önem arz etmektedir.

# KAYNAKLAR


[1] Vandevivere P.C., Bianchi R., Verstrate W., (1998), "Treatment and Reuse of Wastewater from the Textile Wet Processing Industry: Review of Emerging Technologies", Journal of Chemical Technology and Biotechnology, 72(4), 289-302.

[2] Tünay O., (1996), "Endüstriuel Kirlenme Kontrolü", 1. Baskı, İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları.

[3] Baburşah S., (2004), "Tesktil Endüstrisi Atıksularının Geri Kazanımı ve Yeniden Kullanılması", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

[4] Web 1, (2016), http://www.erimsever.com/MakMuh/MMO/AritmaKongre.pdf (Erişim Tarihi: 14/06/2016).

[5] Socha K., (1991), "Treatment of Textile Effluents", Textile Month İnternational, 12(1), 52-56.

[6] Karacakaya P., (2009), "Bazı Siyonabakterilerin Organik Kirletici Giderim Etkinliklerinini Arttırılması", Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi.

[7] Leung W.S., Watts R.J., Miller G.C., (1992), "Degredation of Perchloroethylene by Fenton's Reagent: Speciation on Pathway", Journal of Environmental Quality, 21(1), 377-381.

[8] Hao O.J., Kim H., Chang P.C., (2000), "Decolorization of Wastewater", Critical Review in Environmental Science and Technology, 30(4), 449-505.

[9] Pala A., Erden G., (2005), "Decolorization of a Bakers Yeast Industry Efflent by Fenton Oxidation", Journal of Hazardous Materials, 127(1), 141-148.

[10] Yalılı M., Kestioğlu K., (2008), "Endüstriyel Atıksuların Arıtımında İleri Oksidasyon Proseslerinin Uygulanabilirliğinin Araştırılması", Uludağ Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 13(1), 67-80.

[11] Kestioğlu K., Yalılı M., (2006), "Yüksek KOİ İçerikli Tekstil Atıksularının Kimyasal Çökeltim ve Adsoprsiyon Yöntemiyle Arıtılabilirliği", Journal of Hazardous Materials, 127(1), 141-148.

[12] Web 2, (2016), http://www.tekstildershanesi.com.tr/bilgi-deposu-/tekstil-atik-suyunda-kimyasal-yöntemle-renk-giderimi.html#sthash.YPEJ2mAS.dpuf. (Erişim Tarihi: 14/06/2016).

[13] Web 3, (2016), docplayer.biz.tr/10348007-Elektrokoagulasyon-prosesi-ile-endüstriyel-atiksu*aritimi-html. (Erişim Tarihi: 14/06/2016).

[14] Web 4, (2016), http://www.isites.info/pastconference/isites2014/papersA18-ISITES2014ID246.pdf, (Erişim Tarihi: 14/04/2016).

[15] Bayar S., (2012), "Elektrokoagülsayon Yöntemi Kullanılarak Direct Red 23 Boyar Maddesinin Gideriminin İncelenmesi", Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2(2), 21-28.

[16] Willmott N., Guthrie J., Nelson G., (1998), "The Biotechnology Approach to Colour Removal fromTextile Effluent", Jounal of the Society of Dyers and Colorists, 114(2), 38-41.

[17] Web 5, (2016), dergiler.ankara.edu.tr/dergiler/47/1155/13593.pdf, (Erişim Tarihi: 14/04/2016).

[18] Chang I.S., Bag S.O., Lee C.H., (2001), "Effects of Membrane Fouling an Solute Rejection during Membrane Filtration of Activated Sludge", Process Biochemistry Jounal Abbreviation, 36(8), 855-860.

[19] Bayar S., (2012), "Elektrokoagülsayon Yöntemi Kullanılarak Direct Red 23 Boyar Maddesinin Gideriminin İncelenmesi", Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2(2), 21-28.

[18] Chang I.S., Bag S.O., Lee C.H., (2001), "Effects of Membrane Fouling an Solute Rejection during Membrane Filtration of Activated Sludge", Process Biochemistry Jounal Abbreviation, 36(8),855-860.

[19] Moutaouakkil A., Zeroual Y., Dzayri F.Z., (2003), "Purification and Partial Characterization of Azoreductase from Enterobacter Agglomerans", Archieves of Biochemistry and Biophysis Journal, 413(1), 139-146.

[20] Robinson T.,Mcmullan G., Marchant R., Nigam P., (2001), "Remediation of Dyes in Textile Effluent: A Criticial Review on Current Treatment Technologies with a Proposed Alternative", Bioresource Technology Journal, 77(3), 247-256.

[21] Gaehr F., Hermanuntz F.,Oppermann W., (1994), "Ozonation An İmportant Technique to Comply with New German Laws for Textile Wastewater Treatment", Water Science and Technology Journal, 30(3), 255-263.

[22] Lambert S.D., Graham N.J.D., Sollars C.J., (1997), "Evaluation of Inorganic Adsorbents for he Removal of Problematic Textile Dyes and Pesticides", Water Science and Technology Journal, 36(2), 173-180.

[23] Mckay G., (1985), "Equilibrium Studies for The Adsorption of Dyestuff from adequeous Solutions by Law-Cost Materials", Water, Air and Soil Pollution Journal, 29(1), 273-283.

[24] Fane A.B., (1996), "Membranes for Water Production and Wastewater Reuse", Journal of Desalination, 106(1), 1-9.

[25] Freeman S.D.N., Morin O.J., (1995), “Recent Developments in Membrane Water Reuse Projects”, Journal of Desalination, 103(1), 19-30.

[26] Marjoleine P.J., (1998), “Evaluation of Current Wet Sludge Disintegration Techniques”, Journal of Chemical Technology and Biotechnlogy, 73(1), 83-30.

[27] Kocaer F.O., Alkan U., (2002), “Boyar madde İçeren Tekstil Atıksularının Arıtım Alternatifleri”, Uludağ Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 7(1), 47-55.

[28] Aksu Ş., (2016), “İleri Oksidasyon/Ultrafiltrasyon Hibrit Sistemi Kullanılarak Tekstil Atıksularından Organik Madde Giderimi”, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi.

[29] Bes-Pia A.,Iborra-Clar A., Garcia-Figueruelo C., Barredo-Damas S., Alcaina-Miranda M.I., Mendoza-Roca JA., Iborra Clar M.I., (2009), “Comparison of Three NF Membranes for the Reuse of Secondary Textile Effluents”, Journal of Desalination , 195(1), 141-152.

# ÖZGEÇMİŞ

1991 yılında İstanbul' da doğdu. Kazım İşmen Lisesi' nde lise eğitimini tamamladı. 2009 yılında İstanbul Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümünde lisans eğitimine başladı. 2013 yılında mezun oldu. 2015 yılında Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı.