

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ATIKSULARININ
MEMBRAN TEKNOLOJİLERİ İLE ARITILMASI VE
GERİ KAZANILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. Akın BÜYÜKDERE**

**Anabilim Dalı: Çevre Mühendisliği
Programı: Çevre Bilimleri ve Mühendisliği**

Tez Danışmanı: Prof.Dr. Seval SÖZEN

ŞUBAT 2008

**TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ATIKSULARININ
MEMBRAN TEKNOLOJİLERİ İLE ARITILMASI VE**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Akın BÜYÜKDERE

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24 Aralık 2007
Tezin Savunulduğu Tarih : 28 Ocak 2008**

Tez Danışmanı: Prof.Dr. Seval SÖZEN
Diğer Jüri Üyeleri: Prof.Dr. Fatoş Germirli BABUNA (İ.T.Ü.)
Prof.Dr. Bülent KESKİNLER (G.Y.T.E.)

ŞUBAT 2008

Önsöz

İlk olarak bana sadece bir öğretim görevlisi yada bir tez danışmanı olarak değil de her zaman ailemden biri gibi davranan ve benden karşılıksız maddi ve manevi desteğini esirgemeyen, mesleki yolumu çizmemde bana en büyük yardımı eden sevgili hocam Sayın Prof. Dr. Seval SÖZEN’e sonsuz teşekkür ederim.

Hayatta doğruyu ve yanlış her zaman kendi başıma öğrenmemi sağlayan ve bu yolda bana her zaman destek olan annem Emine BÜYÜKDERE’ye, babam Ali BÜYÜKDERE’ye, ağabeyim Aşkın BÜYÜKDERE’ye ve bununla beraber öğrencilik hayatımda her zaman elimden tutan BÜYÜKDERE ailesine, SÖYLEMEZ ailesine ve BİÇER ailesine en samimi duygularıyla teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasının hayata geçmesinde başta Prof. Dr. Derin ORHON, Prof. Dr. Cumali KINACI, Prof. Dr. Fatoş Germirli BABUNA ve Doç. Dr. Erdem GÖRGÜN olmak üzere bütün İTÜ Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı öğretim görevlilerine, pratik uygulamalarda bana her türlü yardımı ve desteği gösteren başta Nail Kordal KÖSEOĞLU’na, Mustafa ODABAŞ’a, Levent MORGİL’e, Umut Ahmet TECER’e ve tüm Arıtım Mühendislik çalışanlarına en içten teşekkürlerimi sunarım.

Beni hiçbir zaman geri çevirmeyen, bana her zaman yardım elini karşılıksız uzatan ve ileride de uzatacağına emin olduğum Yüksek Mühendis Aslı Seyhan ÇİĞGIN’a ve birlikte çalışmaktan çok büyük haz aldığım Yüksek Mühendis Senem Teksoy BAŞARAN’a bu çalışmaya ve bana olan katkılarından dolayı teşekkürü borç bilirim.

Bu çalışmanın yapıldığı tesiste bana birçok konuda yardımcı olan Devrim ÖZAYDIN’a, Barış AKIN’a, Serhat AÇMAZ’a ve Adnan ŞENTÜRK’e teşekkür ederim.

Ayrıca buraya adını yazamadığım ve üzerimde emeği olan bütün dostlarıma sonsuz teşekkür ederim. Bu çalışmayı Hasan BÜYÜKDERE’ye ve İlhan SÖYLEMEZ’e ithaf ediyorum.

Aralık, 2007

Akın BÜYÜKDERE

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KISALTMALAR	vi
TABLO LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
ÖZET	x
SUMMARY	xiii
1. GİRİŞ	1
2. TEKSTİL ENDÜSTRİSİNE GENEL BAKIŞ	4
2.1. Giriş	4
2.2. Üretim Prosesleri	5
2.2.1. Kuru Prosesler	5
2.2.2. Yaş Prosesler	5
2.3. Tekstil Endüstrisinde Sınıflandırma	7
2.3.1. Pamuklu Tekstil	7
2.3.2. Yünlü Tekstil	
2.3.3. Sentetik Tekstil	8
2.4. Türkiye’de Tekstil Endüstrisi	9
2.5. Tekstil Endüstrisi’ne Başlıca Kirletici Parametreler	9
2.5.1. Tekstil Endüstrisinde Altkategorizasyon	10
2.6. Türkiye’de ve AB’de Tekstil Endüstrisi ile İlgili Çevre Mevzuatı	13
2.6.1. Türkiye’de Tekstil Endüstrisi ile İlgili Çevre Mevzuatı	13
2.6.2. AB’de Tekstil Endüstrisi ile İlgili Çevre Mevzuatı	13
2.6.3. Türkiye’nin AB Çevre Mevzuatları ile Uyum	16
2.6.4. Tekstil Endüstrisi için Mevcut En İyi Teknikler ve IPPC Direktifi	17
2.7. Tekstil Endüstrisi Atıksuları Arıtım Yöntemleri	18
2.8. Tekstil Endüstrisinde Arıtım ve Geri Kazanım Teknolojileri	19

2.8.1. Tesis İçi Kontrol	19
3. TEKSTİL ENDÜSTRİSİNDE MEMBRAN TEKNOLOJİLERİ İLE SUYUN ARITIMI VE GERİ KAZANIMI	24
3.1. Giriş	24
3.2. Membranların Çalışma Prensibi	25
3.2.1. Membran Kinetiğı	26
3.2.2. Membranda Tıkanma	28
3.3. Membranlarda Sınıflandırma ve Kullanılan Malzemeler	30
3.3.1. Membranlarda Geometriye Göre Sınıflandırma	30
3.3.2. Membranlarda Morfolojiye Göre Sınıflandırma	37
3.3.3. Membranlarda Kimyasal Yapıya Göre Sınıflandırma	39
3.4. Su ve Atıksu Arıtımında Membran Teknolojileri	40
3.4.1. Mikrofiltrasyon	41
3.4.2. Ultrafiltrasyon	42
3.4.3. Nanofiltrasyon	43
3.4.4. Ters Osmoz	44
3.4.5. Membran Teknolojilerinin İşletme Parametreleri Açısından Değerlendirilmesi	46
3.5. Membran Teknolojilerinin Su ve Atıksu Arıtımında Uygulama Alanları	47
3.5.1. Membran Teknolojilerinin Atıksu Arıtımında Kullanılması	48
3.5.2. Membran Proseslerin Deniz Suyu Arıtımında Kullanılması	49
3.5.3. Membran Proseslerin Yeraltı ve Yüzeysel Sularının Arıtımında Kullanımı	50
3.6. Tekstil Endüstrisindeki Membran Teknolojileri Uygulamaları	52
3.6.1. Tekstil Endüstrisinde Kullanılan Membran Çeşitleri	53
4. UYGULAMA: ENDÜSTRİYEL İPLİK ÜRETİM TESİSİ ATIKSULARININ MEMBRAN TEKNOLOJİSİ İLE GERİ KAZANIMINA YÖNELİK ARITILMASI	57
4.1. Çalışmanın Yöntemi	57
4.2. Tesis Bilgileri	57
4.2.1. Tesiste Üretilen Ürünler	58

4.3. Proses Bilgileri	59
4.3.1. Tuz Hazırlama İşlemi	60
4.3.2. Polimerizasyon İşlemi	61
4.3.3. Çekme ve Sarma İşlemi	62
4.4. Proses Profili	63
4.4.1. Tuz Sahası	64
4.4.2. CP Sahası	65
4.4.3. Çekme ve Sarma Sahası	66
4.5. Kirlenme Profili	67
4.6. Mevcut Atıksu Arıtma Tesisi	68
4.7. Geri Kazanım Hedefinin Belirlenmesi	72
4.8. En Uygun Membran Teknolojisi	73
5. DENEYSEL YÖNTEM	77
6. DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ	79
6.1. Deney Seti 1 (Permeat Akısı: 40 l/m ² *sa ve İşletme Basıncı: 4,4 bar)	79
6.2. Deney Seti 2 (Permeat Akısı: 100 l/m ² *sa ve İşletme Basıncı: 4,4 bar)	84
6.3. Deney Seti 3 (Permeat Akısı: 100 l/m ² *sa ve İşletme Basıncı: 4,0 bar)	88
6.4. Deney Seti 4 (Permeat Akısı: 60 l/m ² *sa ve İşletme Basıncı: 3,0 bar)	92
7. SONUÇLAR	98
KAYNAKLAR	101
EKLER	105
ÖZGEÇMİŞ	110

KISALTMALAR

AKM	: Askıda Katı Madde [M. L ⁻³]
AOX	: Absorbe Edilebilen Organik Halojen (Adsorbable Organic Halogen)
BAT	: Mevcut En İyi Teknikler (Best Available Techniques)
BOİ	: Biyolojik Oksijen İhtiyacı [M. L ⁻³]
BREF	: Mevcut En İyi Teknikler için Referans Dokümanı (Best Available Techniques Reference Document)
CP	: Kimyasal İşlem (Chemical Process)
DBP	: Dezenfeksiyon Sonrası Ürün (Disinfection By-Product)
DMT	: Dimetiterepalat
HMD	: Hekzametilendiamin
IPPC	: Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrolü Direktifi (Integrated Pollution Prevent and Control Directive)
KOİ	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı [M. L ⁻³]
LAE	: Linear Alkil Etoksilat
MF	: Mikrofiltrasyon
MFI	: Geliştirilmiş Tıkanma İndeksi (Modified Fouling Index)
MWCO	: En Son Tutulan Molekül Ağırlığı (Molecular weight cut-off) [M]
NaHSO₃	: Sodyummetabisülfid
NaOH	: Sodyumhidroksit (Kostik Asit)
NF	: Nanofiltrasyon
PVA	: Polivinil alkol
PVC	: Polivinil Klorit (Polyvinyl Chloride)
RO	: Ters Osmoz (Reverse Osmosis)
PVDF	: Polivinilidin Diflorit (Polyvinylidene Difluoride)
SDI	: Çamur Yoğunluk İndeksi (Silt Density Index)
TÇM	: Toplam Çözünmüş Madde [M. L ⁻³]
TFC	: İnce Film Kompozit (Thin Film Composite)
THM	: Trihalometan (Trihalomethane)
UF	: Ultrafiltrasyon

TABLO LİSTESİ

Sayfa No:

Tablo 2.1. Türkiye’de Genel Olarak Elde Edilen Atıksu Karakteristik Değerleri [1]	13
Tablo 2.2. Tekstil Endüstrisi Atıksularına Uygulanan Çeşitli Arıtma Yöntemleri ve Arıtma Verimleri [13]	19
Tablo 2.3. Kullanılan Ağartıcılara Göre AOX düzeyleri	22
Tablo 3.1. Membran Proseslerin Sürücü Kuvvetlerine Göre Sınıflandırılması	25
Tablo 3.2. Atıksuda Membran Tıkanmasının Sebepleri [20]	29
Tablo 3.3. Membran Proseslere Göre SDI Limit Değerleri [20]	30
Tablo 3.4. Geometrisine Göre Sınıflandırılan Membran Modüllerinin Karşılaştırılması	37
Tablo 3.5. Organik Membran Üretiminde Kullanılan Malzemelerin Karşılaştırılması	39
Tablo 3.6. İnorganik Membran Üretiminde Kullanılan Malzemelerin Karşılaştırılması	40
Tablo 3.7. Organik ve İnorganik Yapılı Membranların Karşılaştırılması	40
Tablo 3.8. Membran Proseslerin İşletme Parametrelerine Göre Sınıflandırılması [20]	46
Tablo 3.9. Membranların Üretim Şekillerine ve İşletme Parametrelerine Göre Karşılaştırılması [20]	47
Tablo 3.10. Membranların Üretim Şekillerine ve Uygulama Alanlarına Göre Karşılaştırılması [20]	47
Tablo 4.1. Proseslerde Su Kullanımı, Atıksu Oluşumu ve Kirlilik Miktarları	68
Tablo 4.2. Biyolojik Arıtma Tesisi Giriş Debisi ve Kirlilik Değerleri	69
Tablo 4.3. Arıtma Tesisi Çıkış Suyu Kalitesinin İlgili Yönetmelik ile Karşılaştırılması	71
Tablo 4.4. Hedeflenen Soğutma Kulesi Su Kalitesi ile Ters Osmoz Tesisi Çıkış Suyu Kalitesinin Karşılaştırılması	73
Tablo 4.5. Hedeflenen Soğutma Kulesi Su Kalitesi ile Arıtma Tesisi Çıkış Suyu Kalitesinin Karşılaştırılması	74
Tablo 5.1. UF Pilot Sistemi Deney Programı	78
Tablo 6.1. Deney Seti 1’e ($J=40 \text{ l/m}^2 \cdot \text{sa}$, $P= 4,4 \text{ Bar}$) Ait İşletme Değerleri	80
Tablo 6.2. Deney Seti 1’e ($J=40 \text{ l/m}^2 \cdot \text{sa}$, $P= 4,4 \text{ Bar}$) Ait Analiz Sonuçları	81
Tablo 6.3. Deney Seti 2’ye ($J=100 \text{ l/m}^2 \cdot \text{sa}$, $P= 4,4 \text{ Bar}$) Ait İşletme Değerleri	84
Tablo 6.4. Deney Seti 2’ye ($J=100 \text{ l/m}^2 \cdot \text{sa}$, $P= 4,4 \text{ Bar}$) Ait Analiz Sonuçları	85
Tablo 6.5. Deney Seti 3’e ($J=100 \text{ l/m}^2 \cdot \text{sa}$, $P= 4,0 \text{ Bar}$) Ait İşletme Değerleri	88
Tablo 6.6. Deney Seti 3’e ($J=100 \text{ l/m}^2 \cdot \text{sa}$, $P= 4,0 \text{ Bar}$) Ait Analiz Sonuçları	89
Tablo 6.7. Deney Seti 4’e ($J=60 \text{ l/m}^2 \cdot \text{sa}$, $P= 3,0 \text{ Bar}$) Ait İşletme Değerleri	92
Tablo 6.8. Deney Seti 4’e ($J=60 \text{ l/m}^2 \cdot \text{sa}$, $P= 3,0 \text{ Bar}$) Ait Analiz Sonuçları	93
Tablo 6.9. Farklı İşletme Koşullarındaki Giriş ve Çıkış Suyu Kalitesinin Karşılaştırılması	96
Tablo 6.10. Farklı İşletme Koşullarındaki Giderme Verimlerinin Karşılaştırılması	97

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No:

Şekil 3.1. Membran Prosesi Çalışma Prensibi	26
Şekil 3.2. Plaka ve Çerçeve Membranların Çalışma Prensibi	30
Şekil 3.3. Plaka ve Çerçeve Membranları	31
Şekil 3.4. Plaka ve Çerçeve Membranların Ayırma Prensibi	31
Şekil 3.5. Boşluklu Elyaf Membranlar	32
Şekil 3.6. Boşluklu Elyaf Membranların Çalışma Prensibi	33
Şekil 3.7. Tübüler Membranlar	34
Şekil 3.8. Tübüler Membranın Dikey Kesiti	34
Şekil 3.9. Tübüler Membranların Ayırma Prensibi	35
Şekil 3.10. Spiral Sarımlı Membranların Ayırma Prensibi	36
Şekil 3.11. Spiral Sarımlı Membranın Kesiti	36
Şekil 3.12. Çoklu Spiral Sarımlı Membranların Çalışma Prensibi	37
Şekil 3.13. Simetrik Membranların Yapısı	38
Şekil 3.14. Asimetrik Membranların Yapısı	38
Şekil 3.15. Kompozit Membranların Yapısı	39
Şekil 3.16. Mikrofiltrasyon Membranları	41
Şekil 3.17. Ultrafiltrasyon Membranları	43
Şekil 3.18. Nanofiltrasyon Membranları	44
Şekil 3.19. Ters Osmoz Membranı	45
Şekil 3.20. Farklı Çaplardaki Ters Osmoz Membranı	46
Şekil 3.21. Membranların Tutma ve Ayırma Aralıkları	48
Şekil 3.22. Atıksu Arıtımında Membran Teknolojilerinin Örnek Uygulaması	49
Şekil 3.23. Deniz Suyu Arıtımında Membran Teknolojilerinin Örnek Uygulaması	50
Şekil 3.24. Yeraltı Suyu Arıtımında Membran Teknolojilerinin Örnek Uygulaması	51
Şekil 3.25. Yüzeysel Suların Arıtımında Membran Teknolojilerinin Örnek Uygulaması	51
Şekil 4.1. Konveyör Bantları	58
Şekil 4.2. Kord Bezi	58
Şekil 4.3. 6.6 Naylon İplik	59
Şekil 4.4. 6.6 Naylon İplik Üretim Şeması	60
Şekil 4.5. Tuz Hazırlama İşlemi Akım Şeması	61
Şekil 4.6. Polimerizasyon İşlemi Akım Şeması	62
Şekil 4.7. Çekme ve Sarma İşlemi Akım Şeması	63
Şekil 4.8. Tuz Sahası Proses Profili	65
Şekil 4.9. CP Sahası Proses Profili	66
Şekil 4.10. Çekme ve Sarma Sahası Proses Profili	67
Şekil 4.11. Biyolojik Arıtma Tesisi Akım Şeması	70
Şekil 4.12. UF Pilot Tesisi	75

Şekil 4.13. UF Pilot Tesisi Akım Şeması	76
Şekil 5.1. UF Pilot Tesisi Akım Şeması	77
Şekil 6.1. Deney Seti 1’de ($J=40 \text{ l/m}^2\text{*sa}$, $P= 4,4 \text{ Bar}$) Elde Edilen KOİ Giderme Verimleri	82
Şekil 6.2. Deney Seti 1’de ($J=40 \text{ l/m}^2\text{*sa}$, $P= 4,4 \text{ Bar}$) Elde Edilen Bulanıklık Giderme Verimi	82
Şekil 6.3. Deney Seti 1’de ($J=40 \text{ l/m}^2\text{*sa}$, $P= 4,4 \text{ Bar}$) Elde Edilen Renk Giderme Verimi	83
Şekil 6.4. Deney Seti 1’de ($J=40 \text{ l/m}^2\text{*sa}$, $P= 4,4 \text{ Bar}$) Elde Edilen KOİ, Bulanıklık ve Renk Giderme Verimi	83
Şekil 6.5. Deney Seti 2’de ($J=100 \text{ l/m}^2\text{*sa}$, $P= 4,4 \text{ Bar}$) Elde Edilen KOİ Giderme Verimi	86
Şekil 6.6. Deney Seti 2’de ($J=100 \text{ l/m}^2\text{*sa}$, $P= 4,4 \text{ Bar}$) Elde Edilen Bulanıklık Giderme Verimi	86
Şekil 6.7. Deney Seti 2’de ($J=100 \text{ l/m}^2\text{*sa}$, $P= 4,4 \text{ Bar}$) Elde Edilen Renk Giderme Verimi	87
Şekil 6.8. Deney Seti 2’de ($J=100 \text{ l/m}^2\text{*sa}$, $P= 4,4 \text{ Bar}$) Elde Edilen KOİ, Renk ve Bulanıklık Giderme Verimi	87
Şekil 6.9. Deney Seti 3’de ($J=100 \text{ l/m}^2\text{*sa}$, $P= 4,0 \text{ Bar}$) Elde Edilen KOİ Giderme Verimi	90
Şekil 6.10. Deney Seti 3’de ($J=100 \text{ l/m}^2\text{*sa}$, $P= 4,0 \text{ Bar}$) Elde Edilen Bulanıklık Giderme Verimi	90
Şekil 6.11. Deney Seti 3’de ($J=100 \text{ l/m}^2\text{*sa}$, $P= 4,0 \text{ Bar}$) Elde Edilen Renk Giderme Verimi	91
Şekil 6.12. Deney Seti 3’de ($J=100 \text{ l/m}^2\text{*sa}$, $P= 4,0 \text{ Bar}$) KOİ, Renk ve Bulanıklık Giderme Verimi	91
Şekil 6.13. Deney Seti 4’de ($J=60 \text{ l/m}^2\text{*sa}$, $P= 3,0 \text{ Bar}$) Elde Edilen KOİ Giderme Verimi	94
Şekil 6.14. Deney Seti 4’de ($J=60 \text{ l/m}^2\text{*sa}$, $P= 3,0 \text{ Bar}$) Elde Edilen Bulanıklık Giderme Verimi	94
Şekil 6.15. Deney Seti 4’de ($J=60 \text{ l/m}^2\text{*sa}$, $P= 3,0 \text{ Bar}$) Elde Edilen Renk Giderme Verimi	95
Şekil 6.16. Deney Seti 4’de ($J=60 \text{ l/m}^2\text{*sa}$, $P= 3,0 \text{ Bar}$) Elde Edilen KOİ, Renk ve Bulanıklık Giderme Verimi	95

TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ATIKSULARININ MEMBRAN TEKNOLOJİLERİ İLE ARITILMASI VE GERİ KAZANILMASI

ÖZET

Su her zaman en önemli doğal kaynakların başında gelmektedir. Günümüzde nüfusa bağlı olarak sürekli artan su ihtiyacı, ülkelerin sanayileşmesi ile birlikte endüstriyel bazlı su kullanımının artması ve son yıllarda ortaya çıkan küresel ısınma sorunu, yüzeysel ve yeraltı su kaynaklarının global ölçekte hızla tükenmesine sebep olmaktadır. Özellikle gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler, büyük çaplı endüstriyel akım içerisinde çok miktarda su tüketmekte ve bu bağlamda oluşan atıksuların arıtılması, su kaynakların beslenmesi ve yenilenmesi için yeterli olmamaktadır. Bu yüzden bu atıksuların, evsel kullanım ve endüstriyel prosesler gibi değişik amaçlı veya daha farklı uygulamalarda geri kazanılması için zaman içinde yeni alternatif yöntemler ve teknolojiler geliştirilmektedir. Atıksuların arıtılıp geri kazanılması ile; hem su kaynaklarının tüketimi hem de deşarj edilen arıtılmış atıksuların miktarı azaltılmakta ve bu suların çevresel etkileri en aza indirilebilmektedir.

Ülkemizdeki en büyük endüstri dallarından biri olan tekstil endüstrisi, çok su tüketilen, kullanılan hammadde ve kimyasal maddelerin, gerçekleştirilen işlemlerin, her işlem için uygulanan teknolojilerin çeşitliliği nedeni ile farklılık gösteren ve üretilen ürüne bağlı atık kaynağı olarak son derece değişken yapıya sahip bir endüstridir. Tekstil endüstrisinde son dönemde üretim, gelişmiş ülkelerden gelişmekte olanlara kaydırılmaktadır. Bu bağlamda Türkiye dünya piyasasında tekstil endüstrisi açısından önemli bir konuma gelmiştir. Ülkemizde önemli bir yere sahip olan bu endüstri kolunun çevresel etkileri dikkate alınmalı ve endüstri kaynaklı atıksuların arıtım ve geri kazanım alternatifleri incelenmelidir.

Bu çalışmanın amacı; tekstil endüstrisinde oluşan endüstriyel kaynaklı atıksuların üretim prosesleri ile tesis içi kontrol yöntemleri ve uygulanacak arıtma teknolojileri yönünden tekstil endüstrisi için tanımlanmış Mevcut En İyi Teknikler ile arıtılıp

proses içinde ve/veya tesis içinde geri kazanılabilirliğinin araştırılmasıdır. Bu çerçevede, bir endüstriyel iplik üretim tesisinde oluşan atıksuların membran teknolojileri kullanılarak arıtılması ve bu suyun tesis içinde geri kazanım alternatifleri incelenmiştir.

Bu çalışma kapsamında; öncelikle tesis içinde iplik üretimi amacıyla kullanılan su ve proses sonucu oluşan atıksu kaynaklarının belirlenmesi ve tesisin proses profilinin çıkarılması, daha sonra bu bilgiler ışığında tesise ait atıksu yükünün belirlenmesi diğer bir deyişle tesisin kirlenme profilinin oluşturulması, tesiste geri kazanımı hedeflenen suyun kalitesi seçilerek membran sisteminin tesis içinde en uygun hangi atıksu kaynağına yerleştirileceğinin belirlenmesi ve geri kazanılacak suyun kalite kriterleri doğrultusunda bu kaliteye ulaşılabilen en uygun membran teknolojisi sisteminin seçilip sistemden elde edilecek sonuçlar ışığında sistemin veriminin ve farklı geri kazanım alternatiflerinin değerlendirilmesi ve bunların tartışılması amaçlanmıştır.

Elde edilen sonuçlar; seçilen ultrafiltrasyon sistemi ile arıtılmış biyolojik arıtma tesisi çıkış suyunun soğutma kulesinde geri kazanılabileceğini göstermiştir. Ultrafiltrasyon pilot sistemi, askıda koloidal maddeler ve buna bağlı bulanıklık, renk ve KOİ parametrelerini yüksek giderme verimi ile gidermiş fakat iletkenlik, TÇM, klorür, alkalinite ve toplam sertlik değerlerinde bir verim elde edilememiştir. Yine de ultrafiltrasyon sistemi çıkış suyundaki parametre değerleri, soğutma kulesi suyu kalite değerlerinden daha düşük seviyede olduğu için, ultrafiltrasyon çıkış suyunun soğutma kulesinde kullanılabilecek kalitede olduğu gözlemlenmiştir. Sirkülasyon debisinin yüksek olması, pompa yatağının ısınmasına ve bu ısının atıksu sıcaklığını arttırmasına sebep olmuştur. Çıkış suyu sıcaklığı soğutma kulesi su kalitesi değerlerinden yüksek olduğundan, ultrafiltrasyondan elde edilen suyun ön bir su soğutma kulesinden geçirilerek istenilen sıcaklıklara getirilmesi, daha sonra soğutma kulesine besleme suyu olarak verilmesi düşünülmektedir.

Arıtılıp geri kazanılan suyun ikinci bir kullanım alanı da; üretim tesisi içinde bulunan ve iplik üretimine demineralize su sağlayan ters osmoz ünitesi için besleme suyu olarak kullanılmasıdır. Fakat biyolojik arıtma tesisinde oluşabilecek dalgalanmalar çıkış suyunu ve dolayısıyla geri kazanılan suyun kalitesini etkileyeceğinden, bu suyun ters osmoz ünitesine besleme suyu olarak verilmesi, üretimde kalitenin

bozulması ve ters osmoz sistemindeki membranların tıkanması gibi ciddi sorunları beraberinde getirebilir. Buradan yola çıkılarak bu geri kazanım alternatifi 2. planda düşünölmelidir.

RECLAMATION AND REUSE OF TEXTILE ENDUSTRY WASTEWATER USING MEMBRAN TECHNOLOGIES

SUMMARY

Water is always the most important natural source of all. Nowadays, the accelerating need of water due to the increasing population, usage of water in industrialized countries and global warming is causing all water sources to be exhausted rapidly. Access amount of water is being used for industrial purposes in especially developing and developed countries and treatment of wastewater isn't enough for renovation of the natural water sources. As a result, new alternative methods and technologies have been developed to enable to use the wastewater both in domestic and for industrial purposes. By reusing the treated wastewater, not only the consumption of natural water sources has been prevented, but also the amount of discharged treated wastewater and its effects to the environment has been decreased.

Textile industry is one of the biggest industries of Turkey and it consumes access amount of water. As there are several methods and technologies used in this sector due to the different raw materials and various chemicals, the wastewaters obtained vary related to the products produced. Recently, textile endustry has been moved to the developing countries rather than developed ones and as a result, Turkey has gained an important place among other countries. It must be a priority to reduce the environmental side effects of this industry and to analyse the alternative reuse methods of treated wastewater.

The aim of this research is to study the feasibility of reclamation and reuse of textile industry wastewater in production processes or in the facility by using methods of the Best Available Techniques described for textile industry according to production and the in-plant control. Within this perspective, the reclamation and reuse alternatives of an industrial yarn wastewater by using membrane technologies has been studied.

On this scope, the wastewater sources in the selected factory during the yarn production and other processes have been pointed and the process profile and then in the lights of these, pollution profile of the facility has been made. Then, the quality of the reclaimed water that is being aimed to be reused has been determined and according to that the appropriate wastewater source has been selected for the placement of the most suitable membrane system. The efficiency of this system has also been tested and the results have been evaluated. With the lights of the datas gained, alternative reuse methods have been discussed.

The datas showed that with the selected ultrafiltration system, the effluent of the biological wastewater treatment plant can be reused as makeup water in the cooling tower. The dissolved solids and the related turbidity, color and COD parameters were removed with a high efficiency with ultrafiltration pilot system. However no efficiency was achieved for conductivity, TDS, chloride, alkalinity and total hardness. As, permeate has a better quality than the water of the cooling tower, it has been observed that permeate is at a quality that can be used in the cooling tower. Due to high circulation flowrate, a rapid increase in wastewater temperature was observed. Because of the permeate temperature is much higher than the cooling tower make-up water temperature, it is suggested that permeate can pass through a primary cooling tower to adjust the temperature and then be used as make-up water.

Another reuse alternative of the reclaimed wastewater is using permeate as feed water to reverse osmosis unit which produce demineralized water for yarn production in the facility. However, the possible alterations in the biological wastewater treatment plant affects permeate quality and as a result the quality of the reused water. If this water is reused as feed water in the reverse osmosis unit, it may cause serious problems such as a deterioration on the product quality and membrane fouling of the reverse osmosis unit. Therefore, this reuse alternative should be considered as the second priority.

1. GİRİŞ

Günümüzde gittikçe artan endüstrileşme akımı ve bunun getirdiği iş olanakları fazla olan bölgelere yapılan göçler, düzensiz nüfus artışına ve doğal kaynakların bilinçsizce tüketimi ile birlikte özellikle su kaynaklarının global ölçekte hızla tükenmesine sebep olmaktadır. Bu problem özellikle ülkemizin de bulunduğu ve doğal kaynakların zengin olduğu coğrafyada son yıllarda daha da önem kazanmakta ve artık sahip olunan su kaynakları, ülkeler arası stratejik ilişkilerin ve pazarlıkların yürütülmesindeki faktörlerin başında gelmektedir. Artan talebe karşılık olarak su kaynakları hızla azalmakta ve bu bağlamda oluşan atıksuların arıtılması yeterli olmamaktadır. Bu nedenle oluşan atıksuların evsel kullanım ve endüstriyel prosesler gibi değişik amaçlı ve çok sayıdaki uygulamalarda geri kazanılması için zaman içinde yeni alternatif yöntemler ve teknolojiler geliştirilmektedir. Atıksuların geri kazanımı ve yeniden kullanımı ile hem su kaynaklarının tüketimi azaltılmakta hem de deşarj edilen arıtılmış atıksuların çevresel etkileri en aza indirilebilmektedir.

Gelişmiş ülkelerde endüstriyel kirlenme kontrolüne iki aşamalı bir yaklaşım çerçevesinde bakılmaktadır. Bu aşamalardan birincisi su kullanımının azaltılması, oluşan atıksuların tekrar kullanımı, kullanılan kimyasal maddelerin çevre ile uyumlu kimyasallarla değiştirilmesi, madde geri kazanımı gibi uygulamaları içeren tesis içi kontrol adımı, ikinci adım ise tesis içi kontrol uygulaması sonucu oluşacak atıkların çeşitli teknolojilerin kullanılması ile arıtılarak alıcı ortamlara verilmeleridir. Genellikle tesis içi kontrol aşaması gözardı edilerek, oluşan atıkların doğrudan arıtılarak uzaklaştırılması benimsenmiştir. Ancak bu tip bir yaklaşım ile atık yükünün kaynaktan azaltılması ve buna bağlı olarak kurulacak arıtma sistemlerinin ilk yatırım ve işletme maliyetlerinin düşürülmesi, bazı maddelerin geri kazanılması ve tekrar kullanılması mümkün olamamaktadır.

Tekstil endüstrisi kullanılan hammadde ve kimyasal maddelerin, gerçekleştirilen işlemlerin, her işlem için uygulanan teknolojilerin çeşitliliği nedeni ile farklılık gösteren ve üretilen ürüne bağlı olarak atık kaynağı son derece değişken yapıya sahip

bir endüstridir. Ülkemizdeki tekstil endüstrisinin yapısı bu sanayi dalı için Avrupa Birliği Komisyonu tarafından hazırlanan 1996 yılında yürürlüğe giren Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrolü Direktifi (IPPC) kapsamında üretim prosesleri ile tesis içi kontrol yöntemleri ve uygulanacak arıtma teknolojileri yönünden tanımlanmış Mevcut En İyi Teknikler (BAT) açısından irdelenmektedir. Tekstil sanayi ülkemizdeki endüstri dallarının en önemlilerinden biri olduğu için, bu endüstride üretim ve atık karakterizasyonu ve dolayısı ile arıtma yöntemleri arasındaki ilişkileri doğru kurabilmek çevre kirlenmesi kontrolüne önemli katkılar sağlayacaktır. Tekstil endüstrisinin karmaşık yapısı kendini, bu endüstriden kaynaklanan atıklarla ilgili sürekli bilimsel çalışma ihtiyacı halinde göstermektedir. Diğer taraftan; arıtma yönteminin seçimi ve sistemin tasarım parametrelerinin belirlenmesi hem arıtma performansı, hem de arıtma tesisinin ilk yatırım ve işletme maliyetleri açısından önem taşımaktadır.

Tekstil endüstrisinde endüstriyel kirlenme kontrolü, iki aşamalı bir yaklaşım izlenerek gerçekleştirilmelidir. İlk adım tesis içi kontrolün uygulanmasını, bunu izleyen ikinci adım ise oluşacak atık miktar ve karakterine göre tasarlanacak bir arıtma tesisinin işletilmesini kapsamaktadır. Dolayısıyla bir prodesten çıkan suyun farklı bir prodeste kullanılması, gereksiz su tüketimlerinin ortadan kaldırılması, ters akımlı yıkama veya durulama uygulamaları, kullanılan kimyasal maddelerin değiştirilmesi, boya banyolarının yeniden kullanımı, membran teknolojilerinin uygulanması, ozonlama, oksidasyon vs. gibi çeşitli kısmi arıtma uygulamaları sonucu gerçekleştirilebilecek geri kazanım ve yeniden kullanım alternatiflerini içeren tesis içi kontrol öncelikle uygulandıktan sonra oluşan atıksu arıtılarak uzaklaştırılmalıdır. Ancak bu tip uygulamalar, oluşan düşük debili ancak yüksek konsantrasyonlu kirlenici içeren atıksuların arıtılmasında karşılaşılabilecek güçlükler açısından göz önüne alınmalı ve mutlaka ön araştırmalar yapıldıktan sonra uygulamaya geçirilmelidir.

Bu çalışmanın amacı; tekstil endüstrisinde oluşan endüstriyel kaynaklı atıksuların Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrolü Direktifi (IPPC) kapsamında üretim prosesleri ile tesis içi kontrol yöntemleri ve uygulanacak arıtma teknolojileri yönünden tekstil endüstrisi için tanımlanmış Mevcut En İyi Teknikler ile arıtılıp proses içinde ve/veya tesis içinde geri kazanılabilirliğinin araştırılmasıdır. Bu çerçevede, bir endüstriyel iplik üretim tesisinde oluşan atıksuların membran teknolojileri kullanılarak arıtılması ve bu suyun tesis içinde geri kazanım alternatifleri incelenmiştir.

Bu çalışma kapsamında; öncelikle tesis içinde iplik üretiminde kullanılan su ve proses sonucu oluşan atıksu kaynaklarının belirlenmesi ve bunların üretilen birim ürün bazında ifade edilerek tesisin proses profilinin çıkarılması ve bu bilgiler ışığında tesise ait atıksu yükünün belirlenmesi ile tesisin kirlenme profilinin oluşturulması, tesiste geri kazanımı hedeflenen suyun kalitesi seçilerek membran sisteminin tesis içinde uygulanabileceği en uygun atıksu kaynağının belirlenmesi ve geri kazanılacak suyun kalite kriterleri doğrultusunda bu kaliteye ulaşılacak en uygun membran teknolojisi sisteminin seçilip sistemden elde edilecek sonuçlar ışığında sistemin veriminin ve farklı geri kazanım alternatiflerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

2. TEKSTİL ENDÜSTRİSİNE GENEL BAKIŞ

2.1 Giriş

Tekstil endüstrisi çeşitli hammadelerin kullanılması ile tekstil ürünleri imal edilen tesisleri kapsayan endüstri dalı olarak nitelendirilmektedir. Doğal elyafların temizlenmesi ve iplik haline getirilmesi tekstil endüstrisi kapsamında yer alırken çırçırılama, kimyasal elyafların üretimi ve giyim sanayi tekstil endüstrisi kategorisinin dışında kalmaktadır. Tekstil endüstrisinde uygulanan işlemlerdoğal, sentetik ve yapay ipliklerin hazırlanması; dokuma, örme veya başka yöntemler aracılığıyla dokunmuş kumaş, örgü kumaş, halı gibi tekstil ürünleri elde edilmesi; iplik, elyaf, örgü kumaş ve dokunmuş kumaşa boya, baskı, apre gibi terbiye proseslerini içermektedir [1,2].

Tekstil endüstrisi, çok sayıda ve birbirinden oldukça farklı ürünlerin üretimini içermektedir. Kullanılan temel hammaddeler olan yün, pamuk, yapay, sentetik elyaf ve bunların karışımlarıyla başlayan üretim farklılıkları dokuma, örme, keçeleştirme ve benzeri işlemler aracılığıyla yarı ürünlerin oluşturulması sonucunda genişlemekte ve son işlemler olarak nitelendirilen mercerizasyon, ağartma, boyama ve apre gibi işlemler sırasında en fazla çeşitliliğe ulaşmaktadır. Ürünlerdeki ve üretim yöntemlerindeki bu çeşitlilik, tekstil endüstrisi atıksularında da kendisini göstermektedir. Tekstil endüstrisi; kullanılan ham ve kimyasal maddelerin, yürütülen işlemlerin, her işlem için uygulanan teknolojilerin çeşitliliği ile farklı su kullanımlarına bağlı olarak değişken yapıya sahip bir endüstri dalıdır [3-7].

Tekstil endüstrisinin temel hammaddesi elyaftır. Elyaflar kesik halde veya sonsuz uzunlukta filamalar şeklinde bulunurlar. Elyaflar, doğal, yapay ve sentetik elyaflar olmak üzere üç grupta toplanır. Doğal elyaflar hayvansal veya bitkisel kökenlidir. Hayvansal ve bitkisel kökenli elyaflar da kendi içinde değişik şekilde isimlendirilebilmektedir. Hayvansal kökenli elyaflar yün, ipek ve protein elyaflar; bitkisel kökenli elyaflar ise pamuk, jüt ve keten elyaflar şeklinde ayrılabilir. Bitkisel kökenli elyaflar selülozik elyaflar olarak da adlandırılabilirler. Sentetik elyaf; selülozik olmayan organik maddelerden sentetik olarak üretilen elyaf

olarak tanımlanabilir. Polyester, naylon ve poliakrilik sentetik elyaflara örnek olarak verilebilir. Doğal selülozun kimyasal prosesler ile işlenmesi sonucunda yapay elyaflar elde edilmektedir. Asetat rayon ve viskoz rayon yapay elyaflara örnek olarak verilebilir [2].

2.2 Üretim Prosesleri

Doğal ve üretilmiş elyaflar kullanılarak kumaş ve diğer tekstil ürünlerinin imal edilmesi tekstil endüstrisinin alt kategorilerinden biridir. Tekstil endüstrisi; doğal ve fabrikasyon ipliklerinin hazırlanması, dokuma, örme veya başka yöntemlerle kumaş, triko, halı gibi terbiye işlemlerinin uygulanması faaliyetlerini içermektedir. Tekstil endüstrisinde üretimde uygulanan prosesler elyafa bağlı olmaksızın birbirine tanım olarak benzerlik göstermektedir. Yıkama, boyama, baskı temel proseslerdir. Ancak elyafın çeşidine göre tekstil endüstrisinde kullanılan kimyasal maddeler değiştiği için farklı üretim prosesleri gözlenmektedir. Bu nedenle proses ve işlemlerin incelenmesi yapılırken kullanılan elyafa göre ele alınıp incelenmesi şarttır.

Tekstil endüstrisindeki prosesler kuru ve yaş prosesler olarak iki ayrı ana başlık altında toplanabilmektedir [2].

2.2.1 Kuru Prosesler

Su kullanımı gerektirmediğinden kirlenme açısından önem taşımamaktadır. İplik üretimi; elyaftan iplik çekme, eğirme, çekerek büzme, daha sonraki işlemler için hazırlık adımı olarak bobinlere aktarma ve bükmeyi kapsamaktadır. İnce ve uzun ürünlerin üretimi; örgü ve büküm kademelerinden gelmektedir. Açık enli ürünlerin üretimi; dokuma, tafting, keçeleştirme ve sağlamlaştırma, örgü ve floklaştırma adımları sayesinde gerçekleştirilmektedir [2].

2.2.2 Yaş Prosesler

Büyük ölçüde boyama ve apre işlemlerini içermektedir. Kuru proseslerden sonra uygulanmaktadır [2].

Pişirme: Doğal ve sentetik malzemelerde bulunan istenmeyen maddelerin giderilmesi için uygulanır. İşlem sonunda malzemenin görünümü iyileşmektedir. Çırçırılama sırasında pamuk liflerinin içerisine giren yaprak, yağ, parafin gibi yabancı maddeleri uzaklaştırmak için de kullanılmaktadır. Pamuğun yetişmesinde kullanılan kimyasal

maddelerinde bu işlem sonucunda atıksulara geçmesi nedeniyle ön terbiye atıksuları toksik özellik göstermektedir. İşlem sırasında; deterjan veya sabun içeren sıcak alkali çözeltiler kostik soda ve soda külü gibi kullanılabilir [2].

Haşılama: Pamuk elyaflarının üzerlerinin; nişasta, modifiye nişasta, polivinil asetat, karboksimetil selüloz ve sakız gibi maddeler kullanarak kaplanması sonucunda elyaflarına dokuma sırasında sağlamlık kazandırılması işlemidir. Bu işlemde oluşan atıklar haşılama kazanlarından, tamburlardan, hasıl karıştırıcıdan, haşılama alanından ve kalan haşılama çözeltilerinin deşarj edilmesi ile meydana gelmektedir. Oluşan atıksu miktarının az olmasına karşın kirletici yükü yüksektir [2].

Haşıl Sökme: Haşılama işleminden sonra kumaşa boyama, ağartma işlemlerinin yapılabilmesi için uygulanmaktadır. Haşılama sırasında kullanılan maddelerin büyük kısmı suda çözünmediği için, hasıl sökme işlemleri enzimler, yüzey aktif maddeler, asitler, alkiler kullanılarak yapılır. Haşılama için kullanılan maddelere göre atıksu karakteri değişim göstermektedir. İşlem sonucu oluşan atıksu yüksek Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ) ve katı madde içeriğine sahiptir [2].

Kasarlama: Pamuk ve diğer elyafların parlaklıklarının artırılması için uygulanmaktadır. Bu işlem sonucunda yeşilimsi olan doğal renklerin giderilmesi de sağlanmaktadır. Yünlü kumaşlar için sadece açık tonlarda boyanacak kumaş ve trikotajlara uygulanabilmektedir. Hidrojen peroksit, sodyum hipoklorit veya sodyum klorür, yardımcı olarak da sülfirik asit, hipoklorik asit, kostik soda, sodyum bisülfid gibi kimyasal maddeler kullanılmaktadır. Yüzey aktif maddeler de kasarlama işleminde yardımcı olarak kullanılmaktadır [2].

Merserizasyon: Kumaşın veya elyafların kuvvetli bir bazik çözelti ile ıslatılmasıdır. Selüloz bazlı elyaf, pamuk, viskon gibi malzemelere parlaklık kazandırmak için yapılmaktadır. Uygulama işlem sırasında veya sonrasında olabilmektedir. Oluşan atıksu bazik karakterdedir. Genellikle bu suların geri kazanılarak tekrar kullanılmaları söz konusudur [2].

Apré – İkmal: Kumaşa su geçirmezlik, buruşmazlık, ateşe dayanıklılık, metal kaplama, saydamlık, çekmezlik gibi özelliklerin kazandırılması için uygulanan son işlemidir [2].

Karbonizasyon: Kömürleştirme olarak da bilinen bu işlem kirli yün liflerinde bulunan bitkisel artıkların, yıkama ve diğer işlemler sırasında giderilmeyen

kısımlarının uzaklaştırılması için uygulanmaktadır. İşlem sırasında malzeme inorganik asitlerle veya ısıtılınca asidik özellik gösteren tuzlarla yüksek sıcaklıklarda işlem görmektedir [2].

Dinkleme: Yün liflerinin keçeleşme özelliğinden yararlanarak kumaşa istenilen görünümün ve formunun verilmesidir. Yağlı kumaş ve yıkanmış dinkleme olarak ikiye ayrılmaktadır [2].

Boyama: Elyafa, ipliğe ve kumaşa renk kazandırmak amacıyla yapılmaktadır. Boyama sürekli boyama, yarı sürekli boyama veya kesikli sürekli boyama olarak değişik sürelerde uygulanmaktadır. Reaktif boya, indigo boya, kükürtlü boya gibi boya çeşitleri kullanılmaktadır. Kullanılan boya çeşidi, işlem sonucunda oluşan atıksu karakterini etkilemektedir [2].

2.3 Tekstil Endüstrisinde Sınıflandırma

Tekstil endüstrisinde yer alan proses ve işlemler işlenen elyaf cinsine bağlı olarak bazı farklılıklar göstermektedir. Tekstil endüstrisi kullanılan elyafın cinsine göre incelendiğinde pamuklu, yünlü ve sentetik olmak üzere başlıca üç ana gruba ayrılmaktadır. Pamuk ve sentetik elyaflarda, başlangıçta yıkamayı gerektirecek bir kirlilik bulunmamaktadır. Buna karşılık çok kirli olması nedeniyle, yün elyafın iplik haline getirilebilmesi için önceden bir yıkama işlemine tabii tutulması gerekmektedir. Yünlü dokuma endüstrisini kirleticilik bakımından diğer tekstil gruplarından ayıran en önemli fark bu yıkama işlemidir.

Tekstil endüstrisinde pamuklu, yünlü ve sentetik elyaflar şeklinde yapılmış sınıflandırmaya göre üretim aşamaları aşağıda özetlenmiştir [2].

2.3.1 Pamuklu Tekstil

Pamuk elyafı, iplik yapımı, dokumaya hazırlık ve ürünlerinin terbiyesi olarak üç aşamada işlenir. İplik yapımı, açma temizleme, tarama, çekme, eğirme, bobinleme gibi işlemleri kapsar. Bunlar çoğunlukla mekanik kuru işlemlerdir. Dokuma hazırlık işlemleri, bobin ve çile hazırlanması, çözgüler, tahar, haşıllama ve dokuma işlemlerini kapsar, bu işlemler de kuru işlemlerdir. Terbiye işlemlerinde önemli miktarda su kullanımı vardır. Başlıca terbiye işlemleri haşıl sökme, yıkama, pişirme, merserizasyon, kasar, boyama ve apre işlemleridir. Haşıl sökme dokuma sırasında

aşınma ve gerilmeyi önlemek için uygulanan nişastanın asit veya enzimlerle giderilmesi işlemidir. Pişirme işlemi ise, bir baz ile pamuklu ürünün kaynatılması ve temizlenmesi işlemidir. Boyamada reaktif naftol, direkt, kükürtlü indigo gibi çeşitli boya türleri kullanılır [2].

2.3.2 Yünlü Tekstil

Bilinen çeşitli hayvansal lifler arasında en eski ve en bilinendir. Koyun postundan elde edilir ve yüksek oranda çimen, nebati hav, yapağı yağı ve hayvanın büyümesinde lifleri koruyan yün yağı ihtiva eder. Birçok durumda yün % 30 lif, % 70 yabancı madde içerir. Yabancı maddelerin yaklaşık % 45'ini yağ oluşturmaktadır.

Pamuklu tekstil ile aynı aşamalarda gerçekleştirilen yünlü tekstil işlemlerinde ilk ve en önemli fark yünün (yaprak, yapağı) yıkanmasıdır. Çok kirli yağlı atıksu oluşturan bu işlem ayrı bir alt kategori oluşturur. Terbiye işlemleri arasında karbonizasyon, dinkleme, yıkama, boyama ve apre işlemleri yapılır. Boyama işlemleri sırasında başlıca asit, metalize ve mordant boyalar kullanılır, sonra sıcak su veya kimyasal maddeler ile fiksaj yapılır. Apre işlemleri keçeleşmezlik işlemi ve pamuklu kumaşlara uygulanan diğer işlemleri kapsamaktadır [2].

2.3.3 Sentetik Tekstil

Sentetik elyaflar iki şekilde işlenir. Sürekli iplik şeklindeki elyaflar % 100 sentetik ürünlerin, tel şeklinde olan elyaflar ise sentetik elyaf karışımlarının veya sentetik ve doğal elyaf karışımlarının üretiminde kullanılır. Sentetik polimerlerden elde edilen kimyasal elyafların en önemlileri, polietilen, polipropilen, poliklorür, poliamit ve poliesterdir.

Selülozik ve organik polimerlerin elyafları pamuk ve yünlülere karıştırılarak veya ayrı olarak iplik hazırlama, haşıl sökme, boyama ve apre işlemlerinden geçer. Boyamada asit, bazik dispers, naftol gibi boyalar kullanılır.

İpek, iplik üretiminde ipek çekimi, liflerin terbiyesi, yıkama, ağartma, boyama işlemleri bulunur. Halı üretimi latak ile taban kaplaması işlemini içerir. Keçeleştirilmiş ve dokusuz yüzeyli kumaş üretimi de keçeleştirme, yıkama, boyama vb. işlemleri kapsar [2].

2.4 Türkiye’de Tekstil Endüstrisi

Tekstil sektörü halen ülkemizin en önemli sektörlerinden birisidir. Ekonomik değişimlere bağlı olarak ihracat artarken, artış içindeki en büyük paylardan birini de bu sektör alabilmiştir. Türkiye’de tekstil endüstrisinin geçmişi Cumhuriyetin ilk yıllarına kadar ulaşmaktadır. Daha çok iç tüketime yönelik üretim yapan tekstil sektörü giderek, pamuk ihracatının yanında, pamuk ipliği ihracatını arttırarak katma değeri yükseltmiş ve 1970’li yılların sonunda Türkiye, Avrupa Birliği ülkelerinin pamuk ipliği sağlayıcısı haline gelmiştir. 1980 yılında 131 milyon dolar olan tekstil ve hazır giyim ihracatı, bugün 10 milyar dolar düzeyine çıkarak en çok ihracat yapan sektör olma konumunu sürdürmektedir. Halen toplam ihracat içindeki payı % 30’lar dolayındadır. Kotalar, anti damping yasaları, patent yasaları, gümrük birliğine uyum gibi düzenlemelere rağmen sektör, ihracattaki önemli konumunu sürdürebilecektir. Türkiye, iplik ve dokuma sektörlerinde dünya ölçeğinde en büyük kapasiteye sahip ilk on ülke içerisinde yer almaktadır.

Bugün tekstil ve hazır giyim sektörünün Türk imalat sanayii içindeki payı %20 dolayındadır ve yaklaşık 2 milyon kişiyi istihdam etmektedir. Türkiye’nin diğer ülkeler ile rekabet edebilmesi için, kalitenin ve teknolojinin yüksek tutulması gerekmektedir. Türkiye üretim teknolojileri açısından Avrupa ve dünya standartlarını yakalamış olup, gerek hammadde kaynakları, gerek insan gücü, gerekse teknolojiyi kullanabilmesi açısından, dünya tekstil ve hazır giyim piyasasında bugün bulunduğu konumdan daha ileri bir konuma ulaşabilme potansiyeline sahiptir [8].

2.5 Tekstil Endüstrisi’ne Başlıca Kirletici Parametreler

Tekstil endüstrisi atıksularının kontrolü amacıyla en uygun arıtma teknolojilerine bağlı olarak deşarj kalite limitlerine temel oluşturacak parametrelerin belirlenmesi aşamasında, tekstil endüstrisinin birbirinden oldukça farklı üretim yapan; bu nedenle de atıksu karakteristikleri çok farklı bir endüstri dalı olduğu göz önüne alınmaktadır [1]. Tekstil endüstrisi atıksularını üretim türüne bağlı olarak karakterize edilmesinde kullanılan başlıca kirletici parametreleri KOİ, AKM, yağ ve gres, renk, toplam krom, fenoller, toplam sülfür, yüzey aktif maddeler, pH ve sıcaklık gibi parametrelerdir. Bu parametrelerin sayısı ve önemlerinin, tesisten tesise ve belirli bir tesiste zamana bağlı olarak değiştiği gözardı edilmemelidir [9].

Tekstil endüstrisi atıksularının içerdiği organik ve inorganik kimyasal maddeler arıtılmadan verildikleri ortamda birçok problemlere yol açarlar. Organik maddelerden biri olan boyalar kimyasal ve biyolojik değişmeler sırasında bulunduğu suyun oksijenini azaltırlar. Ortofosfatların alıcı ortama karışması ötrofikasyonu hızlandırır. Alglerin aşırı büyümesi, su yüzeyini tamamen kaplayarak ışık-fotosentez olayının gerçekleşmesini engellemektedir. Fenolik maddeler ise alıcı ortamda tad ve koku, yıkamalardan kaynaklanan süspansiyon katılar ise bulanıklık meydana getirirler. Yıkama suyu atıksularının yüksek konsantrasyonlarda alkali oluşu nedeniyle alıcı ortamdaki çözünmüş oksijen çok çabuk kullanılır. Alıcı ortamın fiziksel özellikleri, renk ve kokusu değişir.

Mikrokirleticiler, belirli koşullar altında özellikle insan ve su yaşamına yaptığı zehirli ve istenmeyen etkileri ile bir su kaynağının kalite ve değerlerini düşüren ve insan aktivitesi ile çevreye giren bir maddedir. Atıksularda genellikle düşük konsantrasyonlarda bulundukları için bu ismi almışlardır. Bu maddelerin çok az miktarda dahi çevrede zehirlilik, birikicilik gibi önemli ve ekolojik dengeyi değiştirir yönde etkileri bulunabilmektedir.

Tüm endüstriyel atıklarda olduğu gibi tekstil endüstrisinden kaynaklanan atıklar da uygun bir yönetim çerçevesinde kontrol ve denetim altına alınmalıdır. Bu uygulama çerçevesinde yöntem olarak uygun görülen en iyi yaklaşım üretim proseslerinin ve atıksuların sınıflandırılması ve bunların en uygun şekilde kategorizasyona tabi tutulmasıdır [2].

2.5.1 Tekstil Endüstrisinde Altkategorizasyon

Üretim süreçleri sonunda oluşan atıksu kaynaklarını belirlemede kullanılan en önemli yöntemlerden biri de altkategorizasyondur. Altkategorizasyonun amacı, aynı kategori içinde olduğu halde üretim farklılıkları olan veya aynı ürünün imalinde farklı proses ve işlemlerin kullanıldığı tesislerin atık sularında meydana gelecek farklılıkların ortaya konmasıdır.

Altkategorizasyon yapılırken, sadece atık su kalitesi benzerliği gruplama için yeterli değildir. Gruplama yapılırken pek çok faktör göz önünde bulundurulmalıdır. Tekstil endüstrisinde altkategorizasyon için göz önüne alınabilecek başlıca faktörler; imalatı kullanılan prosesler, hammaddeler, ürün cinsleri, su kullanımı, atık su özellikleri olarak sıralanabilir.

Tekstil endüstrisinin alt kategorizasyonu yapılırken kullanılan klasik metod, işlenen elyafın cinsine (yün, pamuk ve sentetik) göre üretim tesislerinin gruplandırılmasıdır. Benzer tekstil ürünlerinin üretiminde kullanılan münferit üretim prosesleri ve her bir proseste ortaya çıkan atıklar inceleneceği zaman bu gruplandırma yaklaşımı yararlı olabilir. Ancak, aynı endüstri grubunda birçok farklı ürün üretilmesi sonucu çıkan atıkların büyük farklılık göstermesi, bu şekilde bir kategorizasyon kullanımını zorlaştırmaktadır [10].

Diğer bir yaklaşım şekli ise altkategorizasyonun imalat proseslerine, kullanılan hammaddelere, son ürünlere, su kullanımına ve atık karakteristiklerindeki benzerliklere dayanılarak yapılmasıdır. Buna göre tekstil endüstrisinde temel alt kategoriler 10 gruba ayrılır:

Yapağı Yıkama: Ham yün ve diğer hayvan kılı elyaflarından tabi safsızlıkların yıkanarak giderilmesi işlemidir. Yün yıkama ile ham yünde bulunan tabi yün gresi, ter, dışkı, kir ve bitkisel maddeler uzaklaştırılır. Yün elyafa uygulanan ilk ıslak işlem olan yıkama prosesinde, deterjan yıkama ve solvent yıkama olmak üzere iki yöntem söz konusudur. Proses, yıkama çözeltisinin ters akımla aktığı dört adet açık tankta yürütülür. Bu tanklardan ilk ikisi deterjan ve sabun içerirken, son ikisi elyafı çalkalamada kullanılır [2].

Yün Son İşlemleri: Bu alt kategori yün elyafı, diğer hayvansal kıl ve yün elyafı-hayvansal kıl karışımı kumaşlara toplam üretimin %5'i oranında ağartma, yıkama, boyama, ateşe dayanıklı hale getirme, güve yemelik vb. işlemlerden birisinin uygulanmasını kapsar. Karbonizlemenin yer aldığı yün elyaf veya iplik, diğer hayvansal kıllar ve yün elyaf-hayvansal kıl karışımı için yapılan terbiye de (son işlem) bu alt kategori kapsamındadır. Yün bitirme işlemleri, kullanılan kimyasal maddelerin, çeşit ve miktarının fazla olması ve atık yüklerinin yüksek olması nedeniyle diğer son işlem kategorilerinden ayrılır [2].

Dokunmuş Kumaş Son İşlemleri: Bu alt kategoride, büyük bir kısmı dokuma olan kumaşların en az %5'ine haşıl giderme, yıkama, ağartma, merserizeleme, boyama, baskı ve bitirme kimyasallarının uygulanması gibi son işlemlerden birisi tatbik edilir. Bu proseslerin yanı sıra, iplik boyama ve elenim son işlemlerini de içeren entegre tesisler bu kategorinin içindedir. Bileşimi öncelikle yün olan dokunmuş

kumaşlar bu kategoriye girmezler ve yün son işlemleri alt kategorisinde sınıflandırılırlar [2].

Örgü Kumaş Son İşlemleri: Bu kategori öncelikle pamuk ve/veya sentetik elyaftan yapılmış ve büyük bir kısmı örgü olan kumaşların son işlemlerini içerir. Üretilen kumaşın en az %5'ine uygulanır. Bu son işlem prosesleri sırasıyla yıkama, ağartma, boyama, baskı ve antistatik maddeleri, yağları ve bitirme kimyasalları uygulama işlemlerinden oluşur. Örgü kumaş bitirme işlemlerinde haşıl giderme yoktur ve merserizelemeye de pek sık rastlanmaz [2].

Açık Elyaf ve İplik Son İşlemleri: Pamuklu veya sentetik iplik ve elyaf üretimlerinin en az %5'i oranında yıkama, ağartma, merserize boyama ve apre işlemlerinden birisinin uygulanmasını kapsar [2].

Halı Son İşlemleri: Halı son işlemleri kategorisi, öncelikle tekstil kökenli taban kaplama ürünlerinin son işlemlerini kapsar. Üretilen halının en az %5'ine tatbik edilen yıkama, ağartma, boyama, baskı ve bitirme kimyasallarını uygulama gibi prosesler başlıca halı son işlemleridir [2].

Dokusuz Yüzeyli Kumaş Son İşlemleri: Bu kategori, kumaş dışı yün, pamuk ve sentetik tekstil ürünlerinin üretiminin, mekanik ve termal yoldan ve/veya yapıştırarak bağlama yöntemiyle gerçekleştirildiği tesisleri kapsar [2].

Keçeleştirilmiş Kumaş Üretimi: Bu kategori, öncelikle doldurma ve keçelendirme işlemleri ile dokuma dışı tekstil ürünlerini üreten tesisleri kapsar. Keçe üretiminde yün, rayon ve yün, rayon, polyester harmanı kullanılır. Keçelendirme kimyasal yolla veya mekanik olarak gerçekleştirilir [2].

Az Su Kullanan İşlemler: Düşük su kullanımlı proseslere, bitirme işlemi uygulanmamış iplik, kaplama dokumalar, halı rafting ve kort lastiği üretiminde rastlanır. Bu proseslerde, su öncelikle temizlik amacıyla kullanılır ve üretimlerin proses suyu ihtiyacı azdır [2].

Koza İşleme ve Doğal İpek Üretimi: Bu altkategoride, pişirme (koza kaynatma), ipek çekimi işlemleri ile ipek ipliği üretimi yapılmaktadır. Kozalardan lif uçlarının

bulunarak çekilebilmesi için kozaların sıcak su ve buharla işlem görmesine pişirme veya koza kaynatma denir [2].

2.6 Türkiye’de ve AB’de Tekstil Endüstrisi ile İlgili Çevre Mevzuatı

2.6.1 Türkiye’de Tekstil Endüstrisi ile İlgili Çevre Mevzuatı

Ülkemiz ekonomisine katkısı çok büyük olan tekstil endüstrisinin çevresel etkileri dikkate alınmalı ve gerekli önlemler hayata geçirilmelidir. Bu kapsamda ülkemizde tekstil atıksularının alıcı ortama deşarjı için getirilen kısıtlamalar Çevre ve Orman Bakanlığınca 31/12/2004 tarih ve 25687 sayılı Resmi Gazetede yayınlanan Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği’nde belirtilmiştir.

Ayrıca ülkemizde imalat proseslerine, kullanılan hammaddelere, son ürünlere, su kullanımına ve atık karakteristiklerindeki benzerliklere dayanılarak yapılan alt kategorizasyonlara ait kirlilik karakteristik değerleri Tablo 2.1.’te verilmiştir.

Tablo 2.1. Türkiye’de Genel Olarak Elde Edilen Atıksu Karakteristik Değerleri [1]

Parametre(mg/L)	KOI	AKM	Yağ ve Gres	Cr	Fenol	Sülfür
Proses						
Yün Yıkama	9000	4000	3000	-	-	-
Keçeleştirilmiş Kumaş Üretimi	1200	200	-	-	-	1
Örgü Kumaş Son İşlemleri	1000	300	53	0,5	0,24	0,2
Stok ve İplik Son İşlemleri	1200	40	100	5,0	-	2,0
Dokunmuş Kumaş Son İşlemleri	1200	300	14	0,04	0,04	3,0
Halı Son İşlemleri	2000	100	30	0,005	0,001	0,002
Dokusuz Kumaş Son İşlemleri	3850	80	-	-	-	-
Jean Yıkama İşlemi*	1000	300	-	-	-	-

*Esas olarak Dokunmuş Kumaş Son İşlemleri altkategorisinde yer almaktadır.

2.6.2 AB’de Tekstil Endüstrisi ile İlgili Çevre Mevzuatı

Avrupa Komisyonu 6-10 Mart 1989 tarihinde Arazi Kaynaklı Deniz Kirliliğinin Önlenmesi Kongresinde Mevcut En İyi Teknikler (Best Available Techniques-BAT) ile ilgili bir çevre politikası yayınlamıştır.

“Mevcut En İyi Teknikler” terimi anlam olarak proseslerin, tesislerin ya da işletme sistemlerinin çıkış standartlarına uygun hale getirilmesi için gereken düzenlemeleri

kapsamaktadır. Proseslere, tesise ve işletme sistemine göre uygun Mevcut En İyi Tekniklerin belirlenmesinde dikkate alınacak hususlar şunlardır:

- Az atık üreten teknolojilerin kullanılması,
- Tehlikeli maddelerin kullanımının azaltılması (mümkün olan hallerde tehlikesiz ya da daha az tehlikeli olanlarla ikame edilmesi),
- Mümkün olan yerlerde, üretilen ve kullanılan maddeler ve atıklar için yeniden kullanım ve geri dönüşüm uygulamalarının geliştirilmesi,
- Daha önce denenmiş ve başarısı kanıtlanmış benzer proses ve yöntemlerin uygulanması,
- Teknolojide ve bilimde meydana gelen ilerlemeler,
- Kirleticilerin özellikleri, etkileri ve miktarının belirlenmesi,
- Yeni ve mevcut tesislerin sahip olduğu zaman,
- Mevcut En İyi Tekniklerin uygulanması için gereken süre,
- Proseste kullanılan hammaddelerin özellikleri ve kullanım miktarları ve sağlanan enerji tasarrufu,
- Kirleticinin çevre üzerinde sahip olduğu etkilerin ve yarattığı risklerin önlenmesi ya da minimuma indirilmesi,
- Kazaların önlenmesi ve çevreye olabilecek etkilerinin en aza indirilmesi için alınacak tedbirler,
- Komisyon ya da uluslararası organizasyonlar tarafından yayınlanan dokümanlar.

Bu yöntemler ile Mevcut En İyi Tekniklerin zaman içinde kendini yenileyerek teknolojik gelişmelerin ışığında ve bilimin ilerlemesi süresince değişmesi sağlanmaktadır.

Avrupa Birliği, endüstriyel tesislere faaliyet izni verilmesi konusunda bir takım ortak hükümlere sahiptir. Bu hükümler, 1996 yılında yürürlüğe giren Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrolü Direktifi (IPPC)'nde yer almaktadır. Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrolü Direktifi'nin ana amacı, Avrupa Birliği genelinde çeşitli nokta kaynakların sebep olduğu kirliliğin azaltılmasıdır. Direktif kapsamındaki tesisler, ancak yetkili

otoriteden izin aldıktan sonra faaliyet gösterebilirler. Faaliyet izni verme sistemi, Direktifin 2. maddesinde tanımlanan Mevcut En İyi Teknikler (Best Available Techniques-BAT) yaklaşımını temel almaktadır. Mevcut En İyi Tekniklerin uygulanması bazı tesisler için oldukça maliyetli olabilmektedir. Avrupa Birliği üyesi ülkelerde, mevcut tüm tesislerin Mevcut En İyi Teknikleri uygulamaya çalışması birçok alanda sorunlara yol açacağından, bu mevcut tesisler için, Direktifin yayınlanmasını takiben 11 yıllık bir geçiş süreci öngörülmektedir.

Avrupa Komisyonu, Avrupa Birliği üye devletlerinden uzmanların, endüstri temsilcilerinin ve sivil toplum kuruluşlarının bilgi ve deneyimlerini paylaşımlarını sağlamak üzere "Avrupa Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrolü Bürosu (European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau)"nın yürüttüğü bir çalışma organize etmiştir. Direktifin listesinde yer alan endüstriler dikkate alınarak 30 sektör çalışma grubu oluşturulmuş, her bir sektör için yapılacak, ortalama iki yıl süren çalışma sonrasında Mevcut En İyi Teknikler için Referans Dokümanların (Best Available Techniques Reference Document-BREF) yayınlanması amaçlanmıştır. Şu ana kadar 15 endüstri kolu için hazırlanmış bulunan Mevcut En İyi Teknikler için Referans Dokümanı mevcuttur. Mevcut En İyi Teknikler için Referans Dokümanların hazırlanmasındaki amaç, izin vermeye yetkili otoritelere destek vermektir. Uygulanacak Mevcut En İyi Teknikler ile ilgili son kararı, bu yetkili otorite verecektir.

Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrolü Direktifi'nin getirmiş olduğu yükümlülükler, şu an için 15 üye ülke için geçerlidir. Avrupa Birliği'nin genişleme sürecine dâhil olan aday ülkeler de endüstrilere faaliyet izni verme prosedürlerini Direktif ile uyumlu hale getirmek için çalışmalar yapmaktadırlar. Bu ülkelerden birkaçı, Avrupa Birliği ile yapılan görüşmeler sırasında, Direktif hükümlerini karşılama konusunda ek süre talebinde bulunmuştur.

Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrolü Direktifi'nde belirtilen süreçlerde rol alan taraflar;

- 15 Avrupa Birliği üyesi ülkede, ulusal, bölgesel ve yerel bazda faaliyet izni vermeye yetkili otoriteler,
- Avrupa Komisyonu ve Direktif hükümlerinin, 15 üye ülkede uygulanmasını sağlamaktan sorumlu Çevre Müdürlükler,

- Mevcut En İyi Teknikler konusunda çalışan ve bilgi alışverişinde bulunan üye ülke uzmanları,
- Mevcut En İyi Teknikler konusunda çalışan endüstri temsilcileri,
- Mevcut En İyi Teknikler konusunda çalışan çevre örgütleri,
- Avrupa Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrolü Bürosu ve
- Kamuoyudur.

Direktif hem tanımlanmış kapasite büyüklüklerine sahip tüm endüstri tesislerini ele alması açısından, hem de bugüne kadar ülkemizde endüstriyel kirlenme kontrolünü hedef alan yürürlükteki yasal çerçeveye farklı bir yaklaşım getirmesi yönünden büyük önem taşımaktadır.

2.6.3 Türkiye'nin AB Çevre Mevzuatları ile Uyumu

Bu direktifin Türkiye'ye uyarlanmasında denetleyici üst kuruma ve sanayinin yapısına yönelik düzenlemelerin tamamlanması gerekmektedir. Denetleyici üst kuruma yönelik düzenlemeler hâlihazırda Çevre ve Orman Bakanlığı'nın öncelikli konularından birini oluşturmaktadır. Sanayiye yönelik düzenlemeler ise hem üretim prosesleri ve tesis içi kontrol yöntemleri açısından, hem de uygulanacak arıtma teknolojileri yönünden Mevcut En İyi Teknolojiler'in ortaya konulması doğrultusunda teknik bilgileri kapsamaktadır. Direktifin uygulanması için tanımlanan yapılanma takvimi gözönüne alındığında, sözkonusu endüstriyel tesislerde 2010 yılına kadar envanter çalışmalarından başlayan, en iyi teknolojilerin tanımlanması ve teknolojik ve idari altyapı oluşturulması, insan kaynakları konusunda kapasite artırımına ve uygulama kılavuzlarının hazırlanmasına kadar uzanan çok kapsamlı bir iş planının tamamlanması gerekmektedir.

Bu dökümanlar üretim teknolojileri ve arıtım yöntemleri üzerine hâlihazırda dünyada uygulanan ekonomik girdi sağlayabilecek en gelişmiş tekniklerin anlatıldığı ve bir anlamda teknolojinin takip edilebileceği, teknolojik yeniliklerin teşvik edildiği kaynaklardır. Bilgi paylaşımı ilkesi uyarınca gelecekte herhangi bir vatandaşın bir sanayi kuruluşuna ilişkin sözü edilen bilgilere erişme ve hatta bu endüstrinin izin alma işlemine müdahil olabilme hakkı bulunacaktır. Türkiye'nin Avrupa Birliği'ne üye olması durumunda, üye ülkelerden herhangi birinde yaşayan bir kişi de benzer yetkilere sahip olacaktır. Hem varolan hem de kurulma aşamasındaki endüstri

tesislerine sürdürülebilir gelişim çerçevesinde yasal düzenleme getiren Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrolü Direktifi (IPPC)'nin sağlıklı bir şekilde Türkiye koşullarına uyarlanması yeni ve bugüne kadar uygulanan mevzuattan çok farklı bir açılım ve yaklaşım gerektirdiğinden büyük önem taşımaktadır. Çevre ve Orman Bakanlığı mevzuata ilişkin gerekli düzenlemeleri gerçekleştirmek, denetimi yapacak kurumsal yapıyı oluşturmak ve güçlendirmek, tüm alıcı ortamlarda kaliteyi belirlemek, sanayi envanterini çıkartmak gibi konularda yoğun biçimde çalışmaktadır. Öte yandan Türkiye'deki sanayi yapısı gözönüne alınarak acil olarak üretim prosesleri ile tesis içi kontrol yöntemleri ve uygulanacak arıtma teknolojileri yönünden Mevcut En İyi Teknikler (BAT)'in saptanması yoluyla direktifin uygulamasında sorumlu tarafların bilgi birikiminin artırılması ve böylelikle teknik açıdan yol haritasının oluşturulması gerekmektedir. Bu noktada unutulmaması gereken unsur Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrolü Direktifi (IPPC)'nin öngördüğü teknolojilerin ülkemiz koşullarına uyarlanmasında sadece sanayicilerin bilgilendirilmesinin yeterli olmayacağı, aynı zamanda denetleyici kuruluşlarda görev yapacak elemanlara da üst düzeyde bilgi birikimi kazandırılması ve onların uzman konumuna getirilmesinin gerekliliğidir [11].

2.6.4 Tekstil Endüstrisi için Mevcut En İyi Teknikler ve IPPC Direktifi

Tekstil Endüstrisi için Mevcut En İyi Teknikler için Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrolü Referans Dökümanı; Avrupa Komisyonu tarafından 2003 yılında yayınlanmıştır. Bu raporda tekstil endüstrisindeki üretim prosesleri, tesis içi kontrol ve geri kazanım uygulamaları, enerji ve atıksu yönetim ve arıtım sistemleri, atık yönetimi ve bertarafı, deşarj miktarlarının azaltılması ayrıntılı bir şekilde anlatılmaktadır.

Bu rapor; dökümanda belirtilen ön işlemler gibi endüstriyel aktiviteleri yapan yada son işlemler diye adlandırılan tesislerden günlük tasarım kapasitesi 10 ton/gün'ü aşan tekstil ya da elyaf boyama fabrikaları kapsamaktadır. Ayrıca; bu BREF dökümanı tekstil endüstrisinde kullanılan yedek malzemeleri, kullanılacak ve seçilecek kimyasal ve boya maddelerini, tekstil makinelerini ve proseslerde kullanılan üretim tariflerini içermektedir. Bu bilgilere ek olarak proseslerdeki su tüketim miktarları, kimyasal madde kullanım miktarları ve birim üretim başına kirlilik yükleri de bu dökümanda bulunmaktadır. Herbir üretim prosesleri için Mevcut En İyi Teknikler ayrıntılı şekilde anlatılmakta ve üretim prosesleri şekillerle açıklanmaktadır.

Ayrıca prosesler sonucunda oluşan atıksuların geri kazanımı ve uygun arıtma yöntemleri ile arıtımı, atıkların yönetimini ve bertarafı Mevcut En İyi Teknikler ile geniş bir şekilde açıklanmakta, tekstil endüstrisi atık bertarafında karşılaşılan problemler ve önemli çevresel faktörler de bu dökümanda yer almaktadır. Bu sektörde karşılaşılan başlıca çevresel sorunlar atıksuların arıtımı ve arıtma tesis çamurlarının bertarafıdır. Bu sorunlarla ilgili Mevcut En İyi Teknikler anlatılmış fakat daha başarılı seviyelere ulaşmak daha fazla bilgi gerektirdiğinden Mevcut En İyi Tekniklere bağlı çıkış düzeyleri bu dökümanda sunulmamıştır. Tesis içi kontrol ile suyun ve bazı kimyasal maddelerin yeniden kullanımı ve geri kazanımı bu dökümanda özellikle üzerinde durulan konular arasındadır [12].

2.7 Tekstil Endüstrisi Atıksuları Arıtım Yöntemleri

Tekstil endüstrisine ait atıksuların kontrol altına alınması ve deşarj kalite limitlerine temel oluşturacak kirletici parametrelerin belirlenebilmesi için tekstil endüstrisi atıksularında bulunabilecek bütün kirletici parametreler teker teker incelenmelidir. Parametrelerin seçiminde göz önünde tutulması gerekli faktörler:

- Seçilen kirletici parametrenin atıksu için karakteristik olması,
- Kirletici parametrelerin kaynağı kontrol açısından belli olması,
- Kirletici parametrelerin çevreye etkileri belirlenmesi,
- Kirletici parametreler belirli yöntemlerle arıtılabilir olması,
- Seçilen kirletici parametreler belirli duyarlılıkla ölçülebilmesi,

Tekstil endüstrisi atıksularının kontrolü amacıyla en uygun arıtma teknolojisine bağlı olarak deşarj kalite limitlerini oluşturacak parametreler belirlenirken, bu endüstri dalının birbirinden oldukça farklı üretimler gerçekleştirildiği, bu sebeple de atıksu karakteristiklerinin çok farklı olduğu ve geniş aralıkta değiştiği dikkate alınmalıdır.

Tekstil endüstrisi atıksularının arıtılmasında fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma yöntemleri kullanılabilir. Bu yöntemler, genellikle tek tek değil; birbirlerinin ardı sıra uygulanmaktadır [9]. Tekstil endüstrisi atıksularının arıtımında kullanılabilecek başlıca arıtma teknolojileri arasında ızgaradan geçirme, krom indirgeme, çökeltme-yüzdürme, dengeleme, nötralizasyon, emülsiyon kırma, kimyasal çöktürme, biyolojik arıtma, aktif karbon adsorpsiyonu ve kimyasal

oksidasyon bulunmaktadır. Tekstil endüstrisi atıksularının arıtılmasında ileri arıtma teknikleri olarak renk ve çözünmüş madde giderimini sağlamak üzere ters osmoz, iyon değişimi gibi arıtma yöntemleri de uygulanmaktadır.

Tekstil endüstrisi atıksularının arıtımında uygulanmakta olan arıtma alternatifleri arasında en yaygın kullanım alanına sahip olanı, karbon gideriminin verimli ve ekonomik olarak gerçekleştirildiği aktif çamur biyolojik arıtma sistemleridir. Sözü edilen endüstriden kaynaklanan atıksulara uygulanan çeşitli arıtma yöntemleri arıtma verimleriyle birlikte Tablo 2.2.'de özetlenmektedir [13].

Tablo 2.2. Tekstil Endüstrisi Atıksularına Uygulanan Çeşitli Arıtma Yöntemleri ve Arıtma Verimleri [13]

PROSES	GİDERİM VERİMİ (%)				
	BOİ ₅	KOİ	AKM	Yağ ve Gres	Renk
BİRİNCİL ARITMA					
Izgara	0-5	-	5-20	-	-
Dengeleme	0-20	-	-	-	-
Nötralizasyon	-	-	-	-	-
Kimyasal Koagülasyon	40-70	40-70	30-90	90-97	0-70
İKİNCİL ARITMA					
Konvansiyonel Aktif Çamur ve Çökeltme	70-95	50-70	85-95	0-15	20
Uzun Havalandırmalı Aktif Çamur ve Çökeltme	70-94	50-70	85-95	0-15	
Havalandırmalı Lagün ve Çökeltme	60-90	45-60	85-95	0-10	
Havalandırmalı Lagün	50-80	35-60	50-80	0-10	
Dolgulu Kolon	40-70	20-40	-	-	
ÜÇÜNCÜL ARITMA					
Koagülasyon	40-70	40-70	30-90	90-97	0-70
Karbon Adsorpsiyonu	25-40	25-60	25-40	-	80-90
Klorlama	0-5	0-5	-	0-5	0-5
Ozonlama	-	30-40	50-70	-	70-80
İLERİ ARITMA					
Ters Osmoz	95-99	90-95	95-98	-	-

2.8 Tekstil Endüstrisinde Arıtım ve Geri Kazanım Teknolojileri

2.8.1 Tesis İçi Kontrol

Tekstil endüstrisinde uygulanacak tesis içi atıksu kontrolü, suyun tekrar kullanımı, su kullanımının azaltılması, kullanılan kimyasallarda değişiklik ve madde geri kazanımı olmak üzere 4 ana gruba ayrılabilir [13].

Suyun Tekrar Kullanımı: Tekstil endüstrisinde bazı durumlarda proses sularının birden fazla işlemden kullanılması ile arıtma sistemine girecek atıksu debisi

azaltılabilmektedir [14]. Aşağıda tekstil işletmelerinde suyun tekrar kullanılması için uygulanması öngörülen kontrol adımları sıralanmıştır [13].

- Değişik ıslak proseslerde ve çeşitli proses dışı amaçlar için kullanılan ortalama su hacimlerinin vardiya bazında tespiti,
- Su kullanan ana proseslerde istenilen ürün kalitesine ulaşmak için kullanılması gerekli su kalitelerinin belirlenmesi,
- 2. adımda belirtilen prosesler için çıkış suyu kalitesinin örnekleme ile ya da uygun kütle dengeleri kurularak hesaplanması,
- İlk üç adımda elde edilen bilgiler doğrultusunda, tekrar kullanım için uygulama alternatiflerin belirlenmesi,
- Tüm alternatiflerin kurulma, işletme ve onarım da dahil olmak üzere maliyetlerinin aşağıdaki noktalar dikkate alınarak belirlenmesi,
- Su kullanımındaki azalma ve dolayısıyla su maliyetlerinin azalması, buradan kazanılacak suyun daha üretken amaçlar için kullanılabilir olması,
- Atıksu hacminin ve arıtma maliyetlerinin azalması,
- Çıkış suyu hacminin azalması sonucu çıkış konsantrasyonlarında artış ve buna bağlı olarak ön arıtma masraflarının artması,
- Ek boru, su depoları, pompa gibi ekipmanların, atıksuyun ilave arıtımının ve işletme maliyetlerinin getirdiği ekonomik yüküdür.

Tekstil endüstrisinde suyun tekrar kullanımı için yapılabilecek en yaygın uygulamalar, kirlenmemiş soğutma suyunun, sıcak su gerektiren proseslerde kullanılması ve bir prosten çıkan suyun, farklı bir proste kullanılması olarak gruplanabilir [14]. Kondensatör, ısı eşanjörleri, yün kurutucuları, basınçlı boya makinaları, hava kompresörleri gibi çeşitli ekipmanlarda kullanılan temassız soğutma sularının, hiçbir işlemde geçirilmeden toplanılıp tekrar kullanılması da önemli oranda enerji tasarrufu sağlayacak ve gereksiz su tüketimini engelleyecektir. Öte yandan son durulama sularının, ilk durulama banyosu hazırlanırken yeniden kullanılması deşarj edilen atıksu debisinin büyük oranda azalmasına yol açacaktır.

Su Kullanımının Azaltılması: Literatürde bu endüstri için gereksiz su tüketimlerinin kısıtlanması sonucu su kullanımında %10-30 arasında azalma gerçekleştirilebileceği

kaydedilmektedir [14-16]. Proses banyolarının gerektiğinden daha fazla su ve banyo kimyasalları ile hazırlanmasından kaçınmak, vana vs. gibi aletlerin bozukluğunun farkedildiği anda değiştirilmesi, işlem sona erdiğinde soğutma suyu kullanımının hemen kesilmesi, gereksiz ürün yıkamalarının kısıtlanması için üretim yapılan alanın kirden, yağdan, pastan vs. arınmış olmasını sağlamak tekstil endüstrisinde su kullanımını sınırlandıran son derece basit ancak etkin önlemlerdir.

Proseslerde kullanılan su miktarının düşürülmesi için uygulanabilecek yöntemlerden bir tanesi ters akımlı yıkama veya durulamadır. Kolay ve ucuz olan bu yöntem, son yıkamadan kaynaklanan en az kirlenmiş atıksuyun, bir önceki yıkama adımında yeniden kullanılması ve sistemin bu şekilde sondan başa doğru düzenlenmesi esasına dayanır [15-16]. Yeniden kullanılan sudaki kirletici düzeyi suyun hangi aşamada deşarj edilmesi gerektiğini belirler. Ters akımlı yıkama veya durulama yönteminin sürekli boyama, haşıl sökme, ağartma gibi proseslerde uygulanabileceği kaydedilmektedir [13].

Boyama ekipmanları açısından su korunumu için alınabilecek önlemler kesikli ve sürekli işlemler olarak ikiye ayrılabilir [13].

Proseslere dayalı su kullanımının azaltılması konusunda göz ardı edilmemesi gereken nokta, bu uygulamalar sonucunda elde edilecek düşük debili, yüksek konsantrasyonda kirletici içeren atıksuların arıtımında karşılaşılabilecek güçlüklerdir. Dolayısıyla bu açıdan bir ön araştırmanın yapılarak sözkonusu tesis içi düzenlemenin fizibilitesine bakılmalıdır. Ayrıca su tüketiminin kısıtlanması sonucu ürün kalitesinde olumsuz yönde bir değişimin olmamasına dikkat edilmelidir.

Kullanılan Kimyasalların Değiştirilmesi: Pamuklu tekstil ürünlerinin işlenmesi sırasında ağartma adımında sıkça kullanılan hipoklorit önemli bir AOX (absorbe edilebilen organik halojen) kaynağıdır. Ortaya koydukları AOX miktarları açısından farklı ağartıcı maddelerin, karşılaştırılması Tablo 2.3.'te sunulmaktadır [17]. Diğer yandan hipoklorit ile gerçekleştirilen ağartma işlemleri 11 mg/l'te kadar yükselebilen düzeylerde kloroform oluşumuna da neden olabileceğinden, ağartma işlemlerinde hipoklorit yerine hidrojen peroksit kullanımı önerilmektedir. Böylelikle oluşacak atıksudaki AOX ve serbest klor içeriğini düşürülmüş olacaktır [17].

Tablo 2.3. Kullanılan Ağartıcılara Göre AOX düzeyleri

Hipoklorit ile ham pamuklu ağartma	30mg/lt
Hipoklorit ile haşılı sökülmüş pamuklu ağartma	80mg/lt
Sodyum Klorit	10mg/lt
Hidrojenperoksit	<0.5mg/lt

Küp boyaların oksidasyonunda dikromat kullanımı çıkış suyunda krom düzeyini arttırmaktadır. Bu nedenle oksidan olarak, dikromat yerine periyodat veya peroksit kullanılması uygun olacaktır [16].

Tekstil boyalarından, özellikle yeşil ve mavi renkte olanları metal içermektedir. Bu boyaların tekstil son işlemlerinde kullanımları sonucu oluşan atıksularda bulunan metal düzeylerini azaltabilmek için iki farklı yol izlenebilir. İlk yol metal içeren boyaların kullanımının azaltılmasıdır. Çoğu zaman metalli atıksular üreten direkt veya reaktif boyaları, metal içermeyen küp boyalarla değiştirmek mümkündür. Diğer yol ise, boyanın elden geldiğince elyaf üzerinde tutunmasını sağlayarak, atıksuya karışmasını engellemeye çalışmaktadır [16]. Reaktif boyamada kesikli prosesler yerine sürekli veya yarı sürekli proseslerin uygulanarak tuz kullanımından kaçınılabilir [17]. Haşıl sökme işleminde asetik asit yerine sülfürik asit kullanılması, haşıllamada ise nişasta yerine ise sentetik haşıllayıcılar kullanılması oluşacak atıksuyun organik madde içeriğinin azaltılmasına yardımcı olacaktır [14].

Merserizasyon işleminde kostik yerine sıvı amonyak kullanımı ile hem yüksek düzeyde bazik atıksu oluşumu engellenmekte hem de amonyak gazının geri kazanımı ve tekrar kullanımı sağlanmaktadır [15, 16, 18]. Biyolojik ayrışabilirliğinin % 100 düzeyinde olması nedeniyle linear alkil etoksilatların (LAE) yüzey aktif madde olarak kullanılması önerilmektedir [14, 15, 18].

Madde Geri Kazanımı: Madde geri kazanımı daha az kirletici deşarj edilmesi yönünden ve ekonomik açıdan yarar sağlar. Diğer yandan, boya banyolarının yeniden kullanımı, haşıl ve kostik geri kazanımı gibi uygulamalarla da enerji tasarrufu gerçekleştirilebilir.

Tekstil son işlemlerinde yoğun olarak gerçekleştirilen kesikli boyama operasyonlarında, boyama banyolarına su, boya, tampon çözeltiler (pH kontrolü için), tuz, ısıtıcı; köpük kırıcı deterjan vs. gibi maddeler eklenir. Boyama prosesi sırasında ise sadece boya (boya tipine bağlı olarak %60-99 düzeylerinde) ve az miktarda diğer katkı maddeleri elyaf üzerinde tutulur, geriye kalan tüm maddeler atıksuya geçerek deşarj edilir [17]. Bu çerçevede boya banyolarının yeniden

kullanımı ile daha az kirlenmiş atıksu üretilir ve ısıtılmış banyo tekrar kullanılacağından enerji tüketimi de kısıtlanmış olur.

Asit, bazik, direkt ve dispers boyalar boyama işlemi sırasında kimyasal reaksiyona girmedikleri için yapıları bozulmaz [15]. Dolayısıyla boya banyolarının yeniden kullanımı genellikle sözü edilen boyalar ile yapılan boyama işlemlerinde uygulanabilmektedir. Bu tesis içi kontrol yönteminde asit boya ile naylon ve yünlü boyama; bazik boya ile akrilik boyama; direkt boya ile pamuklu boyama; ve dispers boya ile sentetik polimer boyama en yaygın uygulanan sistemlerdir [15, 16].

Haşılama işleminde en çok kullanılan madde nişastadır. Haşılamayı izleyen adım olan haşıl sökme asit, enzim veya oksitleyiciler ile gerçekleştirildiğinde haşıllamada kullanılan nişasta ayrıştırıldığından geri kazanılamaz hale gelir [16]. Polivinilalkol, poli(met)akrilat gibi sentetik haşıllayıcıların sözkonusu olduğu durumlarda ise ultrafiltrasyon vb. metodlar yardımıyla geri kazanım sağlanabilir [17].

Tekstil endüstrisinde pamuklu karışımlarının merserizasyonunda kullanılan konsantre sodyum hidroksit çözeltisi membran teknolojileri ve buharlaştırma yöntemlerini uygulayarak, merserizasyon prosesi atıksularından kostik soda olarak %98 oranında geri kazanılabilir. [13, 17]. Bu uygulama ile kimyasal madde harcamalarının %80'e varan düzeylerde azaltılabileceği kaydedilmiştir [19].

Diğer Geri Kazanım Uygulamaları: Tesis içi kontrol uygulamalarının özel bir türü de pad-batch boyama işleminin kullanımıdır. Böylece, bir boyama işleminde tuz ve kimyasal madde kullanımının minimizasyonu sağlanarak maliyet düşürülür ve kirlenici yükün azaltılmış olur [13, 16, 17]. Pad-batch boyamada kumaş daha önceden hazırlanmış alkali-reaktif boya karışımıyla işlem görür. Kumaş üzerinde tutunmayan boya merdanelerle sıkılır ve atmosferden CO₂ gazı adsorbsiyonunu önlemek için yüzeyi ince plastik film tabakasıyla kaplanan ürün 2-12 saat bekletilir [13, 16, 17]. Pad-batch makinalarda dokunmuş ve örgü kumaşlara reaktif boya uygulanabilir. Reaktif boyalar küp veya sülfür boyalarda olduğu gibi oksidasyon veya redüksiyon maddesi gerektirmedikinden ve pad-batch boyamada köpük kırıcı gibi kimyasal maddeler kullanılmadığından sözkonusu boyama uygulamaları sonucunda KOİ yükünde %80, enerji ve su kullanımında ise %80-90 civarında azalma sağlanmaktadır [14, 19].

3. TEKSTİL ENDÜSTRİSİNDE MEMBRAN TEKNOLOJİLERİ İLE SUYUN ARITIMI VE GERİ KAZANIMI

3.1 Giriş

Son yıllarda kullanım alanı giderek artan ve özellikle endüstriyel atıksu arıtımı ve geri kazanımı konusunda yaygınlaşan membran teknolojisi, atıksu geri kazanımı ve arıtılmasında kullanılan ileri arıtma ve geri kazanım, yeniden kullanım alternatiflerinden biridir. Genel olarak membran; iki fazı veya ortamı birbirinden ayıran ve bir tarafından diğer tarafa maddelerin seçici bir şekilde taşınmasını sağlayan ince ve geçirgen bir tabaka olarak ifade edilir. Membranların sayesinde sağlanan seçici kütle transferi; konsantrasyon farkı, basınç farkı ve elektriksel potansiyel farkı gibi itici güçler yardımıyla gerçekleşmektedir.

Membran teknolojileri; nehir, göl, deniz ve kuyulardan içme ve kullanım sularının elde edilmesinden, çeşitli endüstriyel proseslere su teminine, atıksuların deşarj kriterlerine uygun arıtılmasından, proseslerde kullanılan kimyasal madde geri kazanımına kadar çok değişik alanlarda kullanılabilen son dönem arıtma yöntemlerinin başında gelmektedir. Membran prosesler sürekli geliştirilen bir teknolojiye sahip olması, modüler olarak kullanılabilmesi, taşınabilir olması, düşük miktarda alana ihtiyaç duyulması, çok yüksek konsantrasyonlarda bile çalışılabilmesi, sıcaklık değişimlerinden fazla etkilenmemeleri, yüksek kalitede çıkış suyu standartları sağlamaları, çevresel etkilerinin olmaması, ilk yatırım ve işletme maliyetinin düşük olması gibi avantajları ile dünyada yaygın olarak kullanılmaktadır.

Günümüzde membran prosesleri ile atıksuların geri kazanılması özellikle tekstil, metal, boya, gıda endüstrisi gibi çok miktarda su kullanılan endüstriler için büyük önem taşımaktadır. Benzer şekilde, kirletici yükleri çok yüksek olan bu proses atıksularının arıtılması da oldukça problemlidir. Tekstil endüstrisinde arıtma tesisine giden atıksuyun yükünün azaltılması bazı kimyasal maddelerin geri kazanılması nedeniyle ekonomik bir işletme çözümü de oluşturacaktır.

Aynı kapsamda metal işleme, petrol rafinerileri, boya, yüzey kaplama ve yapıştırıcı, yağ, sabun ve deterjan endüstrileri, benzin istasyonlarında taşıtların yıkanması ve sanayi tipi çamaşırhanelerden oluşan atıksular yüksek konsantrasyonda yağ ve gres kirliliğine sahiptir. Son yıllarda uygulanan membran teknolojileri ile atıksulardan yağ ve gres emülsiyonlarının ayrılması hem suların yeniden proseste kullanılabilir olmasına hem de sözkonusu kararlı maddelerin üretime tekrar dönerek madde kazanımına imkan sağlayabilmektedir.

3.2 Membranların Çalışma Prensibi

Membranlar, seçici bir şekilde ayırmanın ve taşınımın gerçekleştirildiği engeller olarak tanımlanabilir. Ayırma işlemi ise membranın hem kimyasal, hem de fiziksel doğasıyla belirlenmekte ve maruz kaldıkları sürücü kuvvetlerin etkisiyle oluşan faz ayrımı olarak açıklanmaktadır. Ayırma işlemini gözenekli membranlar boyut, şekil ve yük ayrımına göre, gözeneksiz membranlar ise sorpsiyon ve difüzyon modeline göre kontrol ederler. Uygulanan kuvvetin çeşidine göre uygulanan membran prosesler farklılık göstermektedir. Membranlara uygulanan sürücü kuvvetler; basınç farklılığı (ΔP), konsantrasyon farklılığı (ΔC), sıcaklık farklılığı (ΔT) ve elektriksel potansiyel farklılığı (ΔE) olarak sıralanabilir. Membran proseslerin sürücü kuvvetlerine göre sınıflandırılması Tablo 3.1.'te verilmiştir.

Tablo 3.1. Membran Proseslerin Sürücü Kuvvetlerine Göre Sınıflandırılması

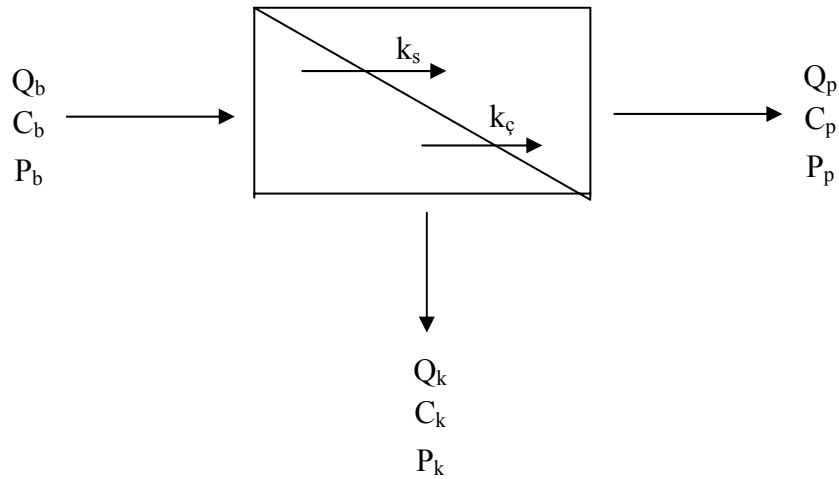
Membran Prosesler	Faz 1	Faz 2	Sürücü Kuvvet
Mikrofiltrasyon	S	S	ΔP
Ultrafiltrasyon	S	S	ΔP
Nanofiltrasyon	S	S	ΔP
Ters Osmoz	S	S	ΔP
Gaz ayırma	G	G	ΔP
Dializ	S	S	ΔC
Osmoz	S	S	ΔC
Pervaporasyon	S	G	ΔP
Elektrodializ	S	S	ΔE
Termo-osmoz	S	S	$\Delta T/\Delta P$
Membran distilasyonu	S	S	$\Delta T/\Delta P$

S: Sıvı G: Gaz

3.2.1 Membran Kinetiği

Besleme akımı pompa yardımı ile membrana doğru basınçlı bir şekilde itilir ve membran çıkışında 2 ayrı faz olarak ayrılır. Membrandan geçebilen kısma ürün yada permeat (temiz su), tutulan maddeleri içeren kısma ise konsentrat ya da retentat denir.

Membranda yatay (çapraz) ve dikey akım olmak üzere 2 türlü beslenir. Yatay akımda; besleme suyu membrana teğet şeklinde akar ve membrandan geçemeyen kısım tekrar besleme suyu ile karıştırılıp membrana geri verilir. Dikey akımda ise geri besleme olmaz, bütün besleme suyu bir seferde membrandan geçirilir. Buna direkt besleme de denilebilir [20]. Membranın çalışma prensibi Şekil 3.1.'de verilmiştir.



Şekil 3.1

Şekil 3.1. Membran Prosesi Çalışma Prensibi

Burada,

Q_b : Besleme debisini (m^3/sn)

C_b : Besleme konsantrasyonunu (mg/l)

P_b : Besleme basıncını (bar)

Q_p : Permeat debisini (m^3/sn)

C_p : Permeat konsantrasyonunu (mg/l)

P_p : Permeat basıncını (bar)

Q_k : Konsentrat debisini (m^3/sn)

C_k : Konsentrat konsantrasyonunu (mg/l)

P_k : Konsentrat basıncını (bar)

k_s : Suyun sürücü kuvvete bağlı kütle transfer katsayısını ($m/sn*bar$)

k_c : Çözülmüş maddenin kütle transfer katsayısını (m/sn)

göstermektedir.

Genel Kütle denklemi;

$$Q_b = Q_p + Q_k \quad (3.1)$$

$$Q_b \times C_b = Q_p \times C_p + Q_k \times C_k \quad (3.2)$$

olarak yazılabilir.

Membrandan geçen permeat miktarına akı denir ve akı; birim alandan birim zamanda geçen debi miktarı olarak tanımlanır. Buna bağlı olarak membranda akı; besleme suyunun kalitesine, ön arıtmanın derecesine, membranın karakterine ve sistem işletme parametrelerine bağlı olarak değişir. Sistemde elde edilen toplam permeat debisi;

$$Q_p = J_s \times A \quad (3.3)$$

olarak hesaplanabilir. Burada,

J_s : Membran su akısını (m^3/m^2*sn)

A : Membran yüzey alanını (m^2)

Gösterir.

Membranların en önemli işletme parametreleri akı ve işletme basıncıdır. Yatay akımda işletme basıncı, P_i (bar):

$$P_i = \left[\frac{(P_b + P_k)}{2} \right] - P_p \quad (3.4)$$

olarak hesaplanır.

Bu durumda,

Sistemdeki toplam basınç düşüşü;

$$P = P_b - P_p \quad (3.5)$$

olarak hesaplanır.

Bu durumda, dikey beslemede işletme basıncı;

$$P_i = P_b - P_p \quad (3.6)$$

şeklinde belirlenir.

Membranda giderme verimi;

$$R, \% = 1 - \left(\frac{C_p}{C_k} \right) \times 100 \quad (3.7)$$

Membranda geri kazanım oranı ise;

$$r, \% = \left(\frac{Q_p}{Q_b} \right) \times 100 \quad (3.8)$$

olarak belirlenir [20].

3.2.2 Membranda Tıkanma

Membranda karşılaşılan sorunların başında tıkanma gelir. Tıkanma, besleme akımı içinde olan ve membrandan geçemeyen maddelerin filtre yüzeyinde birikmesi olarak tanımlanabilir ve membran proseslerde göz önüne alınması gereken ön arıtma ihtiyacı, temizleme, işletme şartları, maliyet ve performansı etkileyen önemli bir tasarım ve işletme parametresidir. Membran yüzeyinde biriken kısma jel (kek) denir.

Membranda tıkanma genel olarak;

- Besleme akımı içindeki maddelerin zamanla membran yüzeyinde birikmesi,
- Besleme akımı içindeki maddelerin kimyasal özelliklerinden dolayı bileşik oluşturması ve çökmesi,
- Membran yüzeyinde biyolojik aktivasyon ve bakteriyel oluşumu,
- Besleme akımı içinde membran yüzeyi ile fiziksel ya da kimyasal tepkimeye girerek membrana zarar vermesi ile oluşur.

Atıksuda membran uygulamaları sırasında oluşan tıkanmaların nedenleri Tablo 3.2.'de özetlenmiştir.

Tablo 3.2. Atıksuda Membran Tıkanmasının Sebepleri [20]

Tıkanma Çeşidi	Sebepleri	Açıklamalar
Kek/Biyofilm Oluşumu	Metal oksitler, organik ve inorganik kolloidler, bakteri ve mikroorganizmalar, konsentrasyon polarizasyonu	Ön arıtma(ör. RO'dan önce MF) ile biyofilm oluşumu kontrol edilebilir.
Çökelme	Kalsiyumsülfat, Kalsiyumkarbonat, Kalsiyumflorür, Baryumsülfat, silikat	Asit ve antiskalant ile tuz içeriğini düşürülerek çökelme engellenebilir.
Membranın Zarar Görmesi	Asit, Baz, Yüksek-düşük pH değerleri, Serbest Klor, Bakteri, Serbest Oksijen	Ön arıtma(Kimyasal arıtma, pH dengeleme) ile membranın zarar görmesi engellenebilir.

Membran proseslerde tıkanma; giriş suyunun ön arıtmaya tabi tutulması, membranın geri yıkanması ve kimyasal madde ile temizlenmesi ile kontrol edilebilir.

NF ve RO membranlarda ön arıtmaya tabi tutularak tıkanma kontrolünde bazı tıkanma endeksleri geliştirilmiştir. Bu indeksler;

- Çamur yoğunluk indeksi (SDI)
- Geliştirilmiş tıkanma indeksi (MFI)
- Mini tıkanma faktörü indeksi (MPFI)

olarak tanımlanmaktadır.

Bu indeksler belirli bir membran testi sonucunda elde edilir. En çok kullanılan indeks SDI'dir. SDI ile ilgili limit değerler Tablo 3.3.'te verilmiştir. Buna göre besleme suyu 2 bar basınç ile iç çapı 47 mm olan 0,45 µm Milipore filtreden geçirilir ve belirli sürede toplanan permeat gözlenir [20].

Bu verilerden hareketle,

$$SDI = \frac{\left(100 \left[1 - \left(\frac{t_b}{t_s}\right)\right]\right)}{t} \quad (3.8)$$

olarak hesaplanır. Burada;

T_b = 500 ml başlangıç numunesinin toplanması için geçen zaman,

t_s = 500 ml sonuç numunesinin toplanması için geçen zaman,

t = toplam test süresi

olarak tanımlanır.

Tablo 3.3. Membran Proseslere Göre SDI Limit Değerleri [20]

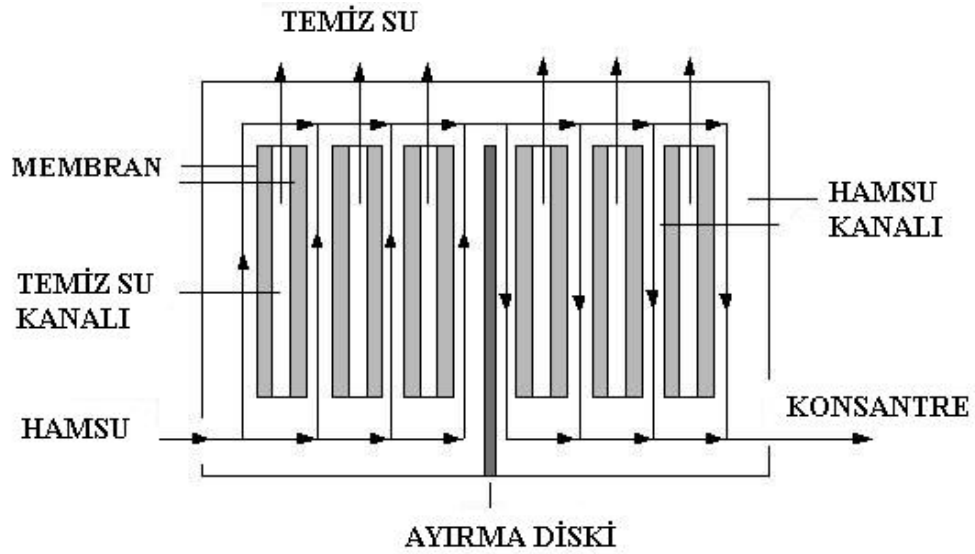
Membran Proses	SDI
Nanofiltrasyon	0-2
RO (boşluklu elyaf)	0-2
RO (spiral sarımlı)	0-3

3.3 Membranlarda Sınıflandırma ve Kullanılan Malzemeler

Membranlarda sınıflandırma genel olarak; membranın geometrisine, morfolojisine ve kimyasal yapısına göre yapılabilir.

3.3.1 Membranlarda Geometriye Göre Sınıflandırma

Plaka ve Çerçeve Membranlar: Bu membranlar ilk olarak 1966'da ABD'de büyük dairesel plakalar arasına yerleştirilerek üretilmeye başlanmıştır. Daha sonraları sahip olduğu fiziki özellikleri (boy,ağırlık vs.) işletilmesi ve değiştirilmesini güçleştirmiş; ve sonunda ABD'de üretimi ve kullanımları kaldırılarak üretimin ve kullanım sahasının Avrupa'ya; Danimarka ve Almanya'ya kayması sağlanmıştır. Plaka ve çerçeve membranlar asimetrik ve kompozit olmak üzere iki tiptir. Asimetrik membranlar yüksek akı kapasiteli çok ince ($<1 \mu\text{m}$) ve buna destek olarak daha kalın ($100 \mu\text{m}$ 'a kadar) birer film tabakasından oluşmaktadır. Bu tip membranların çalışma prensibi Şekil 3.2. Şekil 3.3. ve Şekil 3.4.'te verilmiştir.



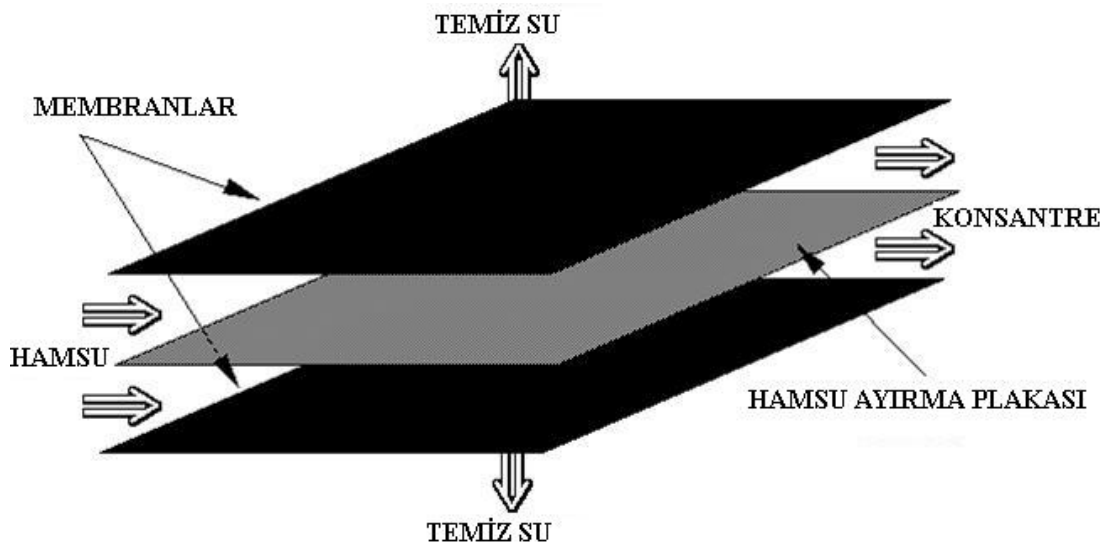
Şekil 3.2. Plaka ve Çerçeve Membranların Çalışma Prensibi

Şekil 3.3.'te verilen uygulamaya göre her bir plaka 0,5-1 mm kalınlığında ve kanal uzunluğu 6-60 cm arasında değişmektedir. Uzunlamasına modüllerde, akım bütün kanallara paralel olarak akmaktadır. ($\sim 2 \text{ m/s}$).



Şekil 3.3. Plaka ve Çerçeve Membranları

Plaka ve çerçeve modülleri küçük ölçekli uygulamalar için geliştirilmiş ancak alternatifleriyle karşılaştırıldığında maliyetli olması sebebiyle sınırlı kullanım alanlarına hitap etmektedir. Her bir plaka için gerekli olan contalardan meydana gelen sızıntılar ciddi bir problem olup, günümüzde sadece ve sınırlı sayıda RO ve UF sistemlerinde kullanılmaktadır [21-23].



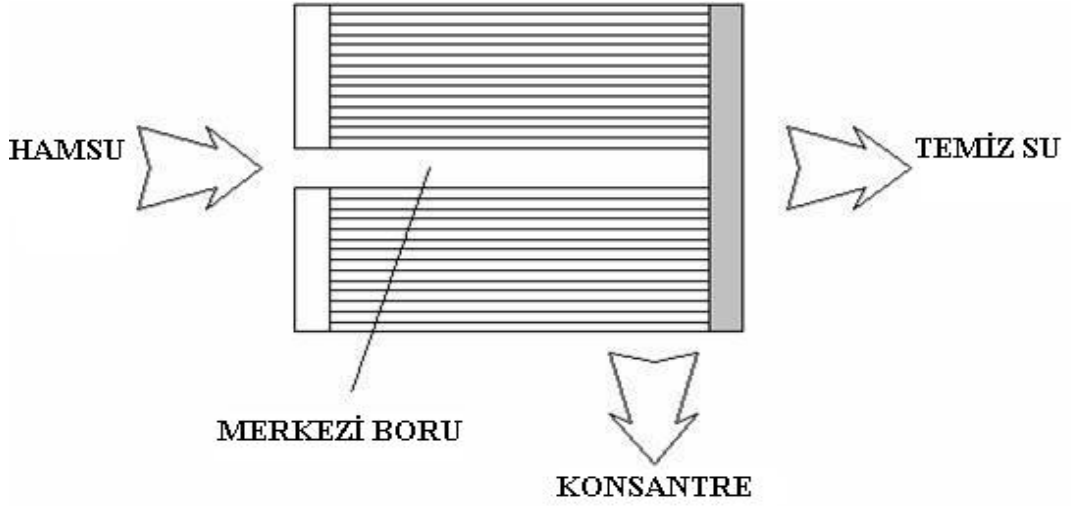
Şekil 3.4. Plaka ve Çerçeve Membranların Ayırma Prensibi

Boşluklu Elyaf Membranlar: İlk kullanımı 1960'ların sonlarına uzanmakta olan bu membranlar, uzun tüpler halinde üretilmektedirler. Besleme suyu dağıtım borusunu saran binlerce elyaf bir yığın oluşturmakta, bu yığılı tabaka basınçlı bir fiberglas, PVC ve paslanmaz çelikten yapılmış kaba yerleştirilerek üretilmektedir. Temiz su ise, içerideki bölmede toplanmaktadır. Boşluklu elyaf membranlar Şekil 3.5.'te gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Boşluklu Elyaf Membranlar

Ultrafiltrasyon için üretilen boşluklu elyaf membranlar, selüloz olmayan polimerik malzemeden üretilmektedir. Her bir delikli elyafın çapı 0,19-1,25 μm arasında değişmektedir. Kalınlığı ise 200 μm arasındadır. İşletme sıcaklığı 75-80°C ye kadar çıkabilir. Modül çapı 10-20 cm ve membran alanı 4,7-7,8 m^2 arasında değişir. Bu membranlar, tıkanmaya karşı hassas olduklarından, membrana verilecek suda büyük çaplı partiküllerin olmaması lazımdır. Bu sebepten, 50 - 100 μm çaplı partiküllerin tutulması için ön arıtmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Boşluklu elyaf membranların çalışma prensibi Şekil 3.6.'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Boşluklu Elyaf Membranların Çalışma Prensibi

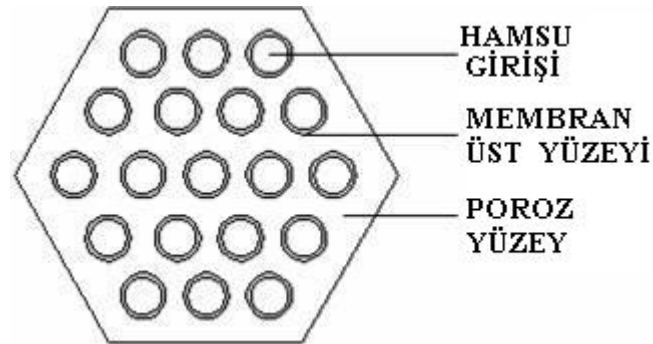
Tipik bir içi boş lifin iç çapı 50 μm , dış çapı ise 100-200 μm aralığındadır. Besleme sıvısı liflerin dışından gönderilmektedir. Bu çap aralığındaki liflerden hazırlanan modüller çoğunlukla ticari RO uygulamalarında, 200-500 μm aralığındaki çapa sahip liflerden oluşan içi boş lif modülleri ise UF uygulamalarında kullanılmaktadır. Ancak, lif çapı 200 μm 'den daha büyükse besleme liflerin içinden gönderilmektedir. Besleme akımının nispeten temiz olduğu durumlarda kullanılır. Deniz suyundan saf su eldesinde de bu tip modüller kullanılmaktadır. Bu modüllerdeki membran alanı 0,2-1 m^2 arasındadır [21-24].

Tübüler Membranlar: 1965'li yıllarda kullanılmaya başlayan tübüler membranlar, 4 - 40 mm çaplarında ve 0,6 - 6,4 m uzunluklarında, küçük tüplerin büyük sağlam tüpler veya borular içine yerleştirilmesi ile üretilmektedirler. Tüpler paslanmaz çelik ya da PVC modüller içerisine yerleştirilir. Akışkana basınç uygulanarak süzüntü akımı tüp dışına çıkarılmakta, Konsantre kısım ise ortadaki tüpten toplanmaktadır. Tüpün delikli yapısı, membrandan geçen suyun toplanmasını sağlamaktadır. Tübüler membran çeşitleri Şekil 3.7.'de gösterilmiştir.

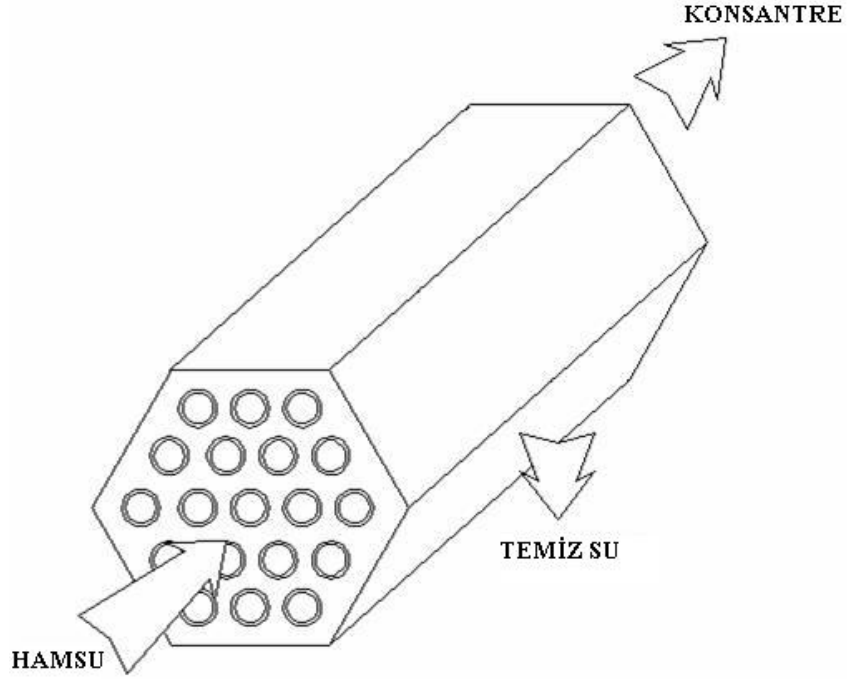


Şekil 3.7. Tübüler Membranlar

Tübüler membranların üretimlerinin pahalı olması, büyük alana ihtiyaç göstermeleri ve maliyetlerinin çok olmasından dolayı büyük hacimli içme suyu tesislerinde kullanımları sınırlı olmakta, bu tip membranlar daha çok atıksu arıtımında kullanılmaktadır. Askıda katı madde konsantrasyonu ve viskozitesi yüksek sıvılarda, membran tıkanmadan uzun süre kullanılabilir olan bu membranlar hem mekanik olarak temizlenebilmekte hem de türbülanslı akım oluşturularak, tıkanma minimuma indirilebilmektedir. Bu maksatla, filtrasyonda 2- 6 m\sn arasında değişen hızlar uygulanmaktadır. Tübüler membranın dikey kesiti Şekil 3.8.'de ve bu tip membranların çalışma prensibi Şekil 3.9.'da verilmiştir.



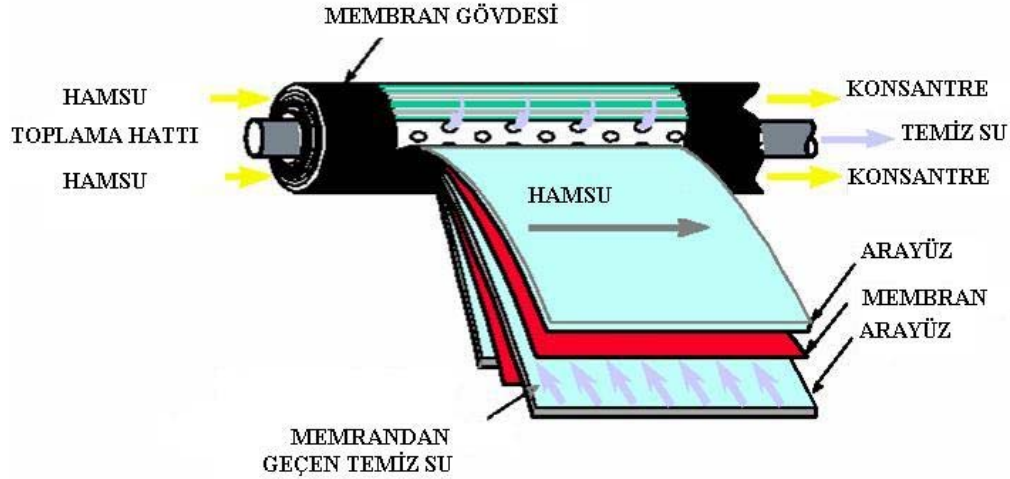
Şekil 3.8. Tübüler Membranın Dikey Kesiti



Şekil 3.9. Tübüler Membranların Ayırma Prensibi

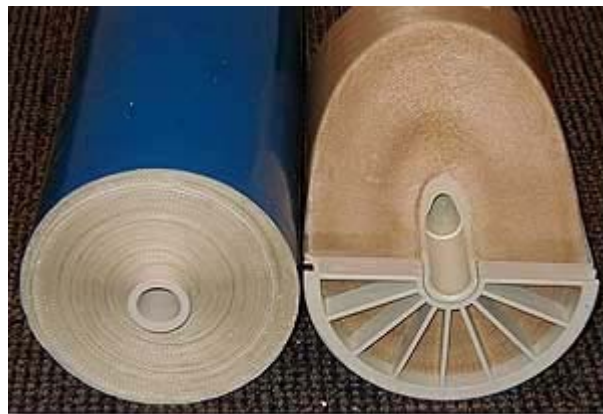
Potansiyel kirlilikleri uzaklaştırmak için besleme akımının ön arıtmaya tabi tutulmadığı veya modülün buharla sterilize edilmesi gerektiği bazı durumlarda tüp modüller kullanılmaktadır. Bu tip üniteler kolaylıkla temizlenebilir ve buharla sterilize edilebilir; bununla beraber içi boşluklu elyaf ve spiral sarımlı modülleriyle karşılaştırıldığında basınç kayıpları yüksek, verimlilik düşüktür. Tübüler membran modülleri genellikle UF uygulamalarıyla sınırlıdır [21-24].

Spiral Sarımlı Membranlar: Spiral sarımlı membranlar, plak ve çerçeve membranlarının daha geliştirilmiş modelidir. Bu tertip tarzı ile, plaka ve çerçeve membranların bir çok dezavantajı ortadan kaldırılmış ve kullanımı alanı yaygınlaşmıştır. 1966-67'li yıllarda üretilmeye başlayan bu membranlar, özellikle su üretiminde tübüler membranların yerini almıştır. Bu tip membranların çalışma prensibi Şekil 3.10.'da verilmiştir.



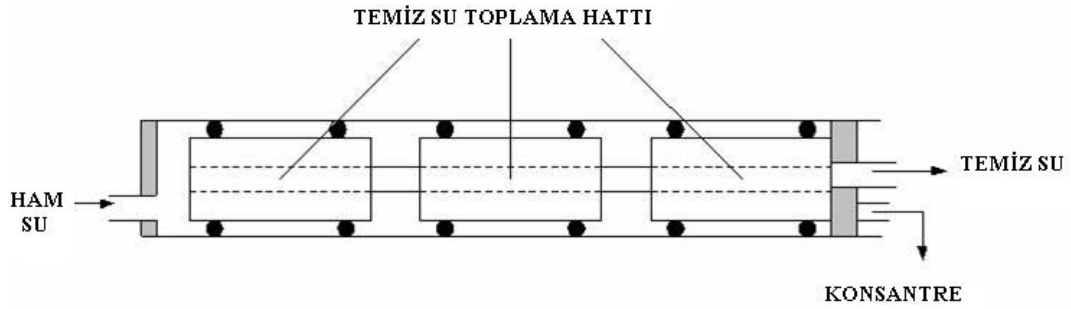
Şekil 3.10. Spiral Sarımlı Membranların Ayırma Prensibi

İki membran arasında gözenekli bir yapı vardır. Bunların hepsi beraber üretilen suyu toplayan bir tüp üzerine sarılmaktadır. Rulo halindeki membran ve delikli yapı, 5, 10, 20 cm'lik standart çap ve 15-150 cm uzunluğunda imal edilir. Membran alanı çapa bağlı olarak 15 m²'ye kadar çıkabilmektedir. Membranlar, membran kabı içine tek bir modül oluşturabilmek için, sayıları 1 ile 7 arasında değişen miktarda yerleştirilebilmektedir. Membran kabı fiberglas, PVC veya paslanmaz çelik olabilir. Bir membran kullanıldığında geri kazanım % 30 civarında iken, modül tasarımı ile bu oran % 75 mertebesine kadar artırılabilir. Bu membran alanının artmasından kaynaklanmaktadır. Bu tip membranlarda, selüloz asetat, poliamid ve kompozit poliamid yapılı malzemeler kullanılmaktadır. Bu tip membrana ait yatay kesit Şekil 3.11.'de verilmiştir.



Şekil 3.11. Spiral Sarımlı Membranın Kesiti

Spiral sarımlı membranların başlıca uygulaması RO'dur. Spiral sarımlı modüller, iç gözenekli permeat toplama tüpü etrafına düz tabaka membranlar, ara plakalar (spacer) ve gözenekli tabakaların sandviçlenmesiyle oluşturulmaktadır. Permeat, toplama tüpüne radyal olarak akarken, besleme ara plakalar tarafından oluşturulan kanallarda (sandviç boyunca) aksel olarak akmaktadır [21-24]. Çoklu spiral sarımlı membranların çalışma prensibi Şekil 3.12.'de görülmektedir.



Şekil 3.12. Çoklu Spiral Sarımlı Membranların Çalışma Prensibi

Yukarıda geometrilerine göre üretilen membran tiplerinin çeşitli parametrelere göre karşılaştırılması Tablo 3.4.'te verilmiştir.

Tablo 3.4. Geometrisine Göre Sınıflandırılan Membran Modüllerinin Karşılaştırılması

Parametre	Membran	Plaka ve Çerçeve	Spiral Sarımlı	Tübüler	Boşluklu Elyaf
Paketleme Oranı(m^2/m^3)		300-500	200-800	30-200	500-9000
Tıkanma Direnci		İyi	Orta	Çok iyi	Kötü
Temizleme Kolaylığı		İyi	Orta	Mükemmel	Kötü
Maliyet		Yüksek	Düşük	Yüksek	Düşük
Kullanım Alanları		RO, UF, MF	RO, UF, MF, NF	RO, UF	RO, UF

3.3.2 Membranlarda Morfolojiye Göre Sınıflandırma

Simetrik Membranlar: Simetrik membranlar çok küçük gözenekli olup membran kesiti içindeki geçirgenlikleri sabittir. Yapılarındaki yoğunluk nedeniyle geçirgenlikleri düşük olduğundan bu tür membranların ticari olarak kullanım alanı dardır. Simetrik membrana ait gösterim Şekil 3.13.'te verilmiştir.



Şekil 3.13. Simetrik Membranların Yapısı

Asimetrik Membranlar: Asimetrik terimi membran yapısının çapraz kesitinde önemli değişimler olduğunu göstermektedir. İntegral asimetrik veya kompozit asimetrik membran olmak üzere iki tür hazırlanabilir. İntegral asimetrik membran faz dönüşüm yöntemiyle hazırlanır [24]. Asimetrik membrana ait yapı Şekil 3.14.'te gösterilmiştir.

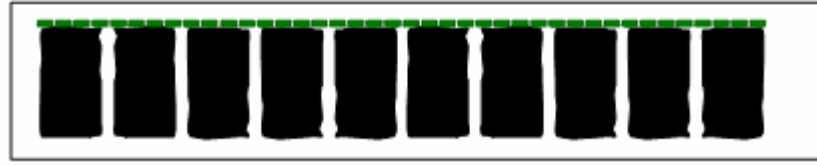


Şekil 3.14. Asimetrik Membranların Yapısı

Bir membranda taşınım hızı membran kalınlığıyla ters orantılıdır. Ekonomik nedenlerden dolayı yüksek taşınım hızı istendiği için membran mümkün olduğunca ince olmalıdır. Geleneksel film imalat teknolojisi yaklaşık 20 μm kalınlığa kadar mekanik açıdan güçlü ve hatasız film üretimi gerçekleştirebilmektedir. Çok daha ince bir film tabakası kullanabilmek için hazırlanan kompozit asimetrik membranlar çok daha fazla kalın gözenekli bir yapıyla desteklenmiş son derece ince bir yüzey tabakasından oluşmaktadır. Yüzey tabakası ve alt destek yapısı tek bir işlemle veya ayrı olarak gerçekleştirilebilmektedir. Şekil 3.15.'te kesit görünümü verilen kompozit bir membranda tabakalar genellikle farklı polimerlerden yapılır. Ayırma özellikleri ve permeasyon hızları yüzey tabakasında belirlenir. Alt tabaka mekanik destek işlevi görmektedir. Hemen hemen bütün ticari proseslerde bu tip membranlar kullanılmaktadır [25, 26].

Kompozit Membranlar: Kompozit membranlar yoğun membranlar olarak da tanımlanmaktadır. Bu tip membranlar boyunca taşınım sadece difüzyon değil aynı zamanda kimyasal türlerin membran içindeki çözünürlükleriyle de ilgilidir. Geçirgenliği belirleyen parametreler membranın kimyasal doğası, membranın tipi ve kalınlığına bağlıdır [24]. Yoğun membranlar, permeatların basınç, derişim veya

elektriksel potansiyel farkı gibi itici kuvvet altında difüzyonla taşındığı yoğun bir filminden oluşmaktadır. Kompozit membranlara ait yapı Şekil 3.15.'te verilmiştir.



Şekil 3.15. Kompozit Membranların Yapısı

Karışımı oluşturan bileşenlerin ayrılması membran içindeki difüzivite ve çözünürlükleriyle belirlenen göreceli geçiş hızlarıyla ilişkilidir. Bir çok gaz ayırma, pervaporasyon ve ters osmoz membranı yoğun membrandır [25, 27]. İnce film kompozit membranlar (TFC) ince selüloz asetat, poliamidden veya kararlılığı sağlayan başka aktif (genellikle 0,15-0,25 μm kalınlıkta) kompozit geçirgen tabakadan yapılmaktadır.

3.3.3 Membranlarda Kimyasal Yapıya Göre Sınıflandırma

Organik Membranlar: Organik membranlar yaygın olarak atıksu arıtımında kullanılmaktadır ve çeşitli aromatik poliamid, polisülfon, selüloz asetat ve polipropilen malzemeden üretilmektedir [23, 25-27]. Bu materyallere ait karşılaştırma Tablo 3.5.'te verilmiştir.

Tablo 3.5. Organik Membran Üretiminde Kullanılan Malzemelerin Karşılaştırılması

Malzeme	Uygulamalar	İletme sıcaklığı (°C)	pH
Selüloz asetat	RO, NF, UF, MF	50	3 – 7
Aromatik poliamid	RO, NF, UF, MF	0 – 80	3 – 11
Florokarbon	RO, NF, UF, MF	130 – 150	1 – 14
Poliimidler	RO, NF, UF	40	2 – 8
Polisülfon	UF, MF	80 – 100	1 – 13
Polivinilidin florit	NF, UF, MF	130 – 150	1 – 13

İnorganik Membranlar: İnorganik membranlar ise daha çok alumina, borosilikatcam ve seramik, pirolize zirkonya/paslanmaz çelik ve zirkonya/karbon alaşım yapılı membranlar olup, yüksek konsantrasyona sahip atıksularda ve madde geri kazanımında kullanılmaktadır. Bu materyallerin çeşitli faktörlere göre karşılaştırılması Tablo 3.6.'da verilmiştir.

Tablo 3.6. İnorganik Membran Üretiminde Kullanılan Malzemelerin Karşılaştırılması

Malzeme	Uygulamalar	Maksimum İşletme sıcaklığı (°C)	pH
Alümina	MF	> 900	0-13
Paslanmaz Çelik	MF	> 400	4-11
Zirkon	UF, MF	400	1-13
Gümüş	MF	370	1-13

Membran üretiminde kullanılan organik ve inorganik materyallerin çeşitli faktörlere göre karşılaştırılması Tablo 3.7.'de verilmiştir.

Tablo 3.7. Organik ve İnorganik Yapılı Membranların Karşılaştırılması

Parametre	Organik	İnorganik
Sıcaklığa Dayanım (°C)	0-150	0-900
pH Limitleri	1-12	1-13
Mikrobiyal Dayanım	Dayanıksız	Dayanıklı
Kimyasal Dayanım	Organik solventler içinde stabil değil	Kimyasal stabilitesi iyi
Mekanik Stabilité	Kırılgan değil	Sert ve kolay kırılır
Basınç Dayanımı	Yüksek basınca dayanımı az	Yüksek basınca dayanım iyi
Maliyet	Düşük	Pahalı
Membran Ömrü	Kısa	Uzun
Akı	Yüksek	Yüksek

Membran üretiminde kullanılan malzemeler genellikle kullanılacak prosesin türüne ve elde edilmek istenen suyun kalitesine göre farklılık göstermektedir. Su ve atıksu arıtımında kullanılan membranlar; 0,20-0,25 µm kalınlıkta ince bir film tabakasından ve bunu destekleyen 100 µm kalınlıkta daha geçirgen bir yapıdan oluşmaktadır. En yaygın olarak üretilen membranlar; spiral sarımlı, boşluklu elyaf ve tübüler membranlardır [25-27].

3.4 Su ve Atıksu Arıtımında Membran Teknolojileri

En genel olarak uygulanan membran prosesler; mikrofiltrasyon, ultrafiltrasyon, nanofiltrasyon, ters osmoz, elektrodializ, gaz ayırma, dializ, osmoz, pervoparasyon, termo-osmoz ve membran distilasyonudur. Bunlardan su ve atıksu arıtımında ve geri kazanımında en çok kullanılan membran prosesler ise mikrofiltrasyon, ultrafiltrasyon, nanofiltrasyon ve ters osmozdur.

3.4.1 Mikrofiltrasyon

Mikrofiltrasyon membran üretiminde ilk ve en eski geçmişe sahip proses sınıfını oluşturmaktadır. Konvansiyonel filtrasyon sistemlerine nazaran sudaki daha küçük boyuttaki partiküllerin tutulmasını sağlayan membran ünitesidir. 0,05 - 1,5 µm aralığındaki partikül maddeler ile bakteriler, büyük koloidal maddeler, kil ve silt sudan ayrılabilir. Mikrofiltrasyon, tübüler ya da boşluklu elyaf membran konfigürasyonları ile teşkil edilmektedir.

Mikrofiltrasyon proseslerinin içme suyu arıtımında çok farklı uygulama şekilleri bulunmaktadır. Bu uygulamalarda mikrofiltrasyon üniteleri ince ızgaralardan sonra ana arıtma prosesi olarak kullanılmalarının yanında ters osmoz veya nanofiltrasyondan önce ön arıtma ünitesi olarak da uygulanabilmektedir.

Mikrofiltrasyonda, akım membran yüzeyine paralel olarak uygulanır ve membrandan geçemeyen konsantre kısım, membran üzerinde birikir. Zamanla membran yüzeyinde direnç artar. Membran filtrasyonu, ekonomik olmayan bir konuma geldiği zaman, yani filtrasyon verimleri azaldığı zaman membran temizlenmeli veya yenilenmelidir. Membran yüzeyinde katı kek tabakasının oluşumu, yatay akış kullanılarak azaltılabilmektedir. Çeşitli geometredeki mikrofiltrasyon membranları Şekil 3.16.'da verilmiştir.



Şekil 3.16. Mikrofiltrasyon Membranları

Membran yüzeyinde kek tabakası oluşumunu önlemek için değişik hızlar uygulanmaktadır. Bir müddet sonra akıda azalma meydana gelmektedir. Prosedüre göre membranın belli bir süre temizlenmesi gerekmektedir. Membran seçimi mikrofiltrasyonda çok önemlidir. Genellikle, mikrofiltrasyon membranlarının akı değerleri belirli bir değerin altına düşünce temizlenmesi gerekmektedir. Temizleme işlemi kimyasal maddeler ile gerçekleştirilmektedir. Seçilen bu membran kullanılan bu kimyasal maddelere karşı dirençli olmalıdır. Mikrofiltrasyonda, işletme sırasında

konsantrasyon polarizasyonu ve tıkanmanın etkisini azaltmak için, vorteksli akımlar, titreşimler, elektriksel alanlar v.b. çeşitli metodlar kullanılmaktadır [20, 22-27].

3.4.2 Ultrafiltrasyon

Ultrafiltrasyon bir büyüklüğü geçirmeyen, basınçla yürüyen bir ayırma prosesidir. Tipik olarak Ultrafiltrasyon (UF) 10 ile 1000 Angstrom arasında değişiklik gösteren gözenek büyüklüğüne ve 300 ile 500.000 Dalton arası ağırlığındaki molekülleri tutabilirler. Genelde UF membran tarafından geçirilmeyen maddeler şekerleri, biomolekülleri, polimerleri ve kolloidal partikülleri ihtiva ederler. Çoğunlukla UF membranların performansı " En son tutulan molekül ağırlığı" (MWCO= Moleküler weight cutoff) ile tanımlanmaktadır. Bu ilişki için herhangi bir standart olmamakla beraber genelde üreticiler, ultrafiltrasyon gözenek büyüklüklerinin belirlenmesinde değişik kriterler kutlanmaktadır. Üreticiye bağlı olan bu değişimlerden dolayı, doğru membran tipinin belirlenebilmesi için, birden çok sayıda yapılacak testler ile en son tutulan molekül ağırlığının saptanması gereklidir. Örneğin protein MWCO değeri, membranın MWCO sınırından 2 ile 5 katı daha fazladır. Bu nedenle protein, ultrafiltrasyon membranları ile konsantre edilebilmektedir. MWCO değerindeki farklılık arttıkça, daha yüksek oranda protein elde edilmektedir.

UF ile ayırmada ayrılacak olan molekül büyüklüğü, ilk ayrılacak ürün büyüklüğüne uygun olmalıdır. Beslenen kimyasal maddelerin çeşitli faktörlerinin değişimi ile herhangi bir membranın MWCO'su değişebilmektedir. Bu faktörler moleküler özellik, moleküler konfigürasyon, operasyon şartları v.b. olabilir. Doğal büyük moleküller genellikle UF ile ayrılırlar. Aynı zamanda UF da, membran kirlenmesi ve konsantrasyon polarizasyonu problemleri daha önemlidir. UF prosesler belki dializ ve mikrofiltrasyondan sonra en geniş biçimde kullanılmaktadır. UF membran prosesleri genellikle gıda, meşrubat, tekstil ve süt endüstrisinde kullanılmaktadır. Çeşitli gözenek çapına ait ultrafiltrasyon membranları Şekil 3.17.'de verilmiştir.



Şekil 3.17. Ultrafiltrasyon Membranları

Ultrafiltrasyon membranları ile, mikrofiltrasyon membranları tarafında tutulan maddelere ilaveten boyutları 10^{-3} ile 10^{-1} μm arasında değişen virüsler, hümik asitler, yüksek moleküler ağırlıklı proteinler ve organik maddeler sudan ayrılabilir. UF membranları, plak ve çerçeve, spiral sarımlı ya da tübüler membran konfigürasyonları ile teşkil edilmektedir.

Ayrıca, UF ile yüksek molekül ağırlıklı solvent ve tuzlar da tutulmaktadır. Genellikle ultrafiltrasyon, makromolekül içeren çözeltiler, solventlerden kolloidal maddelerin ve erimiş makromoleküler maddelerin ayrılmasında uygulanmaktadır [20, 22-27].

3.4.3 Nanofiltrasyon

Nanofiltrasyon membranları, bilhassa +2 değerlikli iyonların ve sudaki bakiye klorun organik maddelerle birleşip oluşturduğu THM (trihalometan) bileşiklerinin sudan ayrılmasında kullanılmaktadır. Sahip oldukları membran aralık boyutları sayesinde nanofiltrasyon üniteleri özellikle sudan sertlik giderilmesinde uygulanmaktadır. Bunun yanında sudan pestisit ve herbisitlerin giderimi, ağır metallerin ayrılması ve renk gideriminde de nanofiltrasyon membranları kullanılmaktadır. Nanofiltrasyon membranları daha düşük basınç değerlerinde işletilebilmelerine rağmen iyon giderimini sağlayabilmeleri ile düşük yatırım maliyetleri açısından ters osmoz membranlarına üstünlük sağlanmaktadır. Çoğunlukla spiral sarımlı membran

konfigürasyonu ile teşkil edilmektedir. Spiral sarımlı nanofiltrasyon membranları Şekil 3.18.'de verilmiştir.



Şekil 3.18. Nanofiltrasyon Membranları

MWCO değeri 500 civarında olan maddeleri sudan ayırma özellikleri sayesinde bilhassa DBP (disinfection by product-dezenfeksiyon sonrası ürünlerin) moleküllerinin sulardan gidermesi ve doğal organik maddelerin tutulmasında nanofiltrasyon üniteleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Diğer yönden DBP moleküllerinin % 90 oranında sudan ayrılması ile aynı zamanda su dağıtım sistemlerinde daha az miktarda dezenfektan tüketilmesi de sağlanmaktadır. Ca^{+2} , Mg^{+2} ve SO_4^{-2} gibi 2 değerlikli iyonlar, genel olarak Na ve Cl gibi tek değerli iyonlara göre daha etkili uzaklaştırılır [28-31].

3.4.4 Ters Osmoz

Ters osmoz membranları osmotik basınç prensibinden hareketle geliştirilmiştir. Yaşayan hücre duvarları doğal yarı geçirgen membranlardır. Hücre zarı dışında bulunan yüksek miktarda su; zarın iki tarafındaki yoğunluğu ve basıncı eşitlemeye çalışır. Membranın yarı geçirgen doğal yapısı sayesinde suyun geçişi, çözünmüş minerallerin geçişine göre daha kolay olmaktadır. Az yoğun çözeltideki su hücre zarından süzülerek geçer ve konsantrasyon ve basınç dengesi sağlanana kadar membrandan çok yoğun çözelti fazına geçer. Bu basınca suyun osmotik basıncı denir. Basınç, osmotik basıncı büyük olan konsantre solüsyona uygulandığı zaman suyun geçişi tersine döner ve ters osmoz basıncı uygulanmış olur. Proseste membrana uygulanan basınç, faz değiştiren su miktarının yüksekliğine eşdeğerde osmotik basıncın ters yönde uygulanmasına eşit olmaktadır. Membranın suyu

geçirmedeki seçiciliği değişmemiştir. Sadece su akışının yönü değişmiştir. Böylece suyun çözünmüş minerallerden ayrıldığı membran teknolojisi ortaya çıkmıştır.

Ters osmoz membranlarının çalışma aralığı 0,1 ile 1 nm arasında olup, RO membranları ile, membran prosesleri içerisinde en ileri ve en yüksek giderme verimlerinde iyon ve katyonları, tüm çözünmüş maddeleri ve metal iyonlarını sudan giderilebilmektedir.

Ters osmoz membranları en küçük gözenek çapına sahip olduklarından, tıkanma olasılıkları daha yüksektir. Bu yüzden ters osmoz işlemi öncesi iyi bir ön arıtma yapılması gerekmektedir. Ters osmoz ile suda bulunan tüm çözünmüş maddelerin giderilmesi hedeflendiği için, RO ile arıtılacak sularda en önemli parametre şüphesiz iletkenlik ve TÇM değeridir. Bu değerler bize arıtılacak hamsu hakkında net bilgiler vermektedir.

RO ünitelerinde kullanılan yarı geçirgen membranlar asimetric yoğunlukta dizilmiş polimer tabakalarıdır. Bunlar çok yoğun ve ince bir film tabakasına sahiptir ve daha büyük gözenekli tabakalarla da desteklenmiştir. Tuz geçişini engellemek ve pratikte yeterli su akış oranını sağlamak için kullanılan madde selüloz asetat olmuştur ve halen de kullanılmaktadır. Polimerler yalnız kullanılırlar veya ince film kompozit membran adıyla polisülfon ile birlikte kullanılırlar. RO membranları üretimi daha çok spiral sarımlı ya da boşluklu elyaf membran konfigürasyonları ile teşkil edilmektedir [20-26]. İnce film kompozit ters osmoz membranı Şekil 3.19'da verilmiştir.



Şekil 3.19. Ters Osmoz Membranı

Yüksek kapasiteli RO sistemlerinde, membranlar sıralı olarak vessel adı verilen modüllere yerleştirilerek kullanılır. Genellikle her modül en az 1, en çok 6 membran içerir, sadece deniz suyu arıtımında kullanılan modüller 7 membrana kadar çıkabilmektedir. RO membran çapları 2,5" - 8" arasındadır. Farklı çaplarda üretilen ters osmoz membranları Şekil 3.20.'de verilmiştir.



Şekil 3.20. Farklı Çaplardaki Ters Osmoz Membranı

RO ile elde edilen su kalitesi, membran tipi, işletme basıncı, pH, hamsu karakteristiği ve sıcaklık gibi pek çok etkene bağlıdır. Bazı maddeler, örneğin demir ve borat pH'dan önemli oranda etkilenirler. Genelde yüksek pH'da verim artar. [20-26].

3.4.5 Membran Teknolojilerinin İşletme Parametreleri Açısından Değerlendirilmesi

Membran teknolojileri, kullanım alanları, arıtma kalitesi; kapasite, akı, uzaklaştırma yüzdesi ve geri kazanım oranı gibi farklı parametrelere göre seçilmektedir. Bunlarla ilgili dizayn bilgileri kullanılan membran teknolojisi, işletme basınçları ve buna bağlı harcanan enerji ile doğrudan alakalıdır. Membranların işletme parametrelerine göre karşılaştırılması Tablo 3.8.'de verilmiştir.

Tablo 3.8. Membran Proseslerin İşletme Parametrelerine Göre Sınıflandırılması [20]

Membran Teknolojisi	İşletme Basıncı (bar)	Enerji Tüketimi (kWsa/m ³)	Akı Değeri (l/m ² *gün)	Geri Kazanım Oranı (%)
Mikrofiltrasyon	1,0	0,4	405-1600	94-98
Ultrafiltrasyon	5,25	3,0	405-815	70-80
Nanofiltrasyon	8,75	5,3	200-815	80-85
Ters Osmoz	15,75	10,2	320-490	70-85

Membranların üretim şekillerine ve işletme şartlarına göre karşılaştırılması Tablo 3.9.'da verilmiştir.

Tablo 3.9. Membranların Üretim Şekillerine ve İşletme Parametrelerine Göre Karşılaştırılması [20]

Membran Teknolojisi	Çalışma Aralığı (µm)	İşletme Basıncı (bar)	Akı Değeri (l/m ² *g)	Membran Özellikleri	
				Tip	Geometri
Mikrofiltrasyon	0,08-2,0	0,5-1	405-1600	Polipropilen, akrilonitril, naylon ve politetrafloroetilen	Spiral Sarımlı, Boşluklu Elyaf, Plaka ve Çerçeve
Ultrafiltrasyon	0,005-0,2	0,7-7	405-815	Selüloz Asetat, Aromatik Poliyamid	Spiral Sarımlı, Boşluklu Elyaf, Plaka ve Çerçeve
Nanofiltrasyon	0,001-0,01	5-10	200-815	Selüloz Asetat, Aromatik Poliyamid	Spiral Sarımlı, Boşluklu Elyaf
Ters Osmoz	0,0001-0,001	8,5-70	320-490	Selüloz Asetat, Aromatik Poliyamid	Spiral Sarımlı, Boşluklu Elyaf

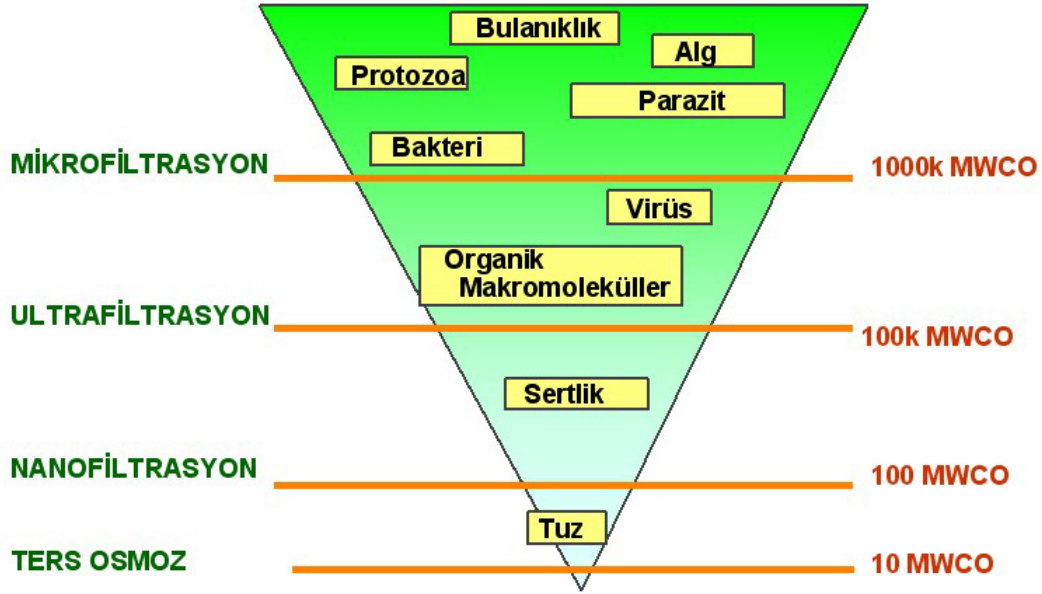
3.5 Membran Teknolojilerinin Su ve Atıksu Arıtımında Uygulama Alanları

Membran proseslerin endüstriyel atıksu arıtımı ve geri kazanımından, yer altı ve deniz suyundan içme suyu elde edilmesine, proses suyu hazırlamadan hammadde geri kazanımına kadar yaygın bir kullanım alanı mevcuttur. Su ve atıksu arıtımında kullanılan membranların üretim şekillerine ve uygulama alanlarına göre karşılaştırılması Tablo 3.10'da verilmiştir.

Tablo 3.10. Membranların Üretim Şekillerine ve Uygulama Alanlarına Göre Karşılaştırılması [20]

Membran Proses	Membran Tipi	Uygulanan basınç türü	Uygulamalar	Membran kalınlığı
Mikrofiltrasyon	Simetrik ve Asimetrik, mikroboşluklu	Hidrostatik basınç (< 2 bar)	Partikül ayırımı, Steril Filtrasyonu	10-150 µm
Ultrafiltrasyon	Asimetrik, mikroboşluklu	Hidrostatik basınç (1- 8 bar)	Makromoleküllerin ayırımı	0,1-1 µm
Nanofiltrasyon	Asimetrik	Hidrostatik basınç (10 -30 bar)	Küçük organik bileşiklerin ve seçilmiş tuzların ayırımı	0,1-1 µm
Ters Osmoz	Asimetrik, ince filmlili kompozit	Hidrostatik basınç (10-100 bar)	Küçük moleküler ağırlıklı çözülmüş maddelerin ayırımı	0,1-1 µm

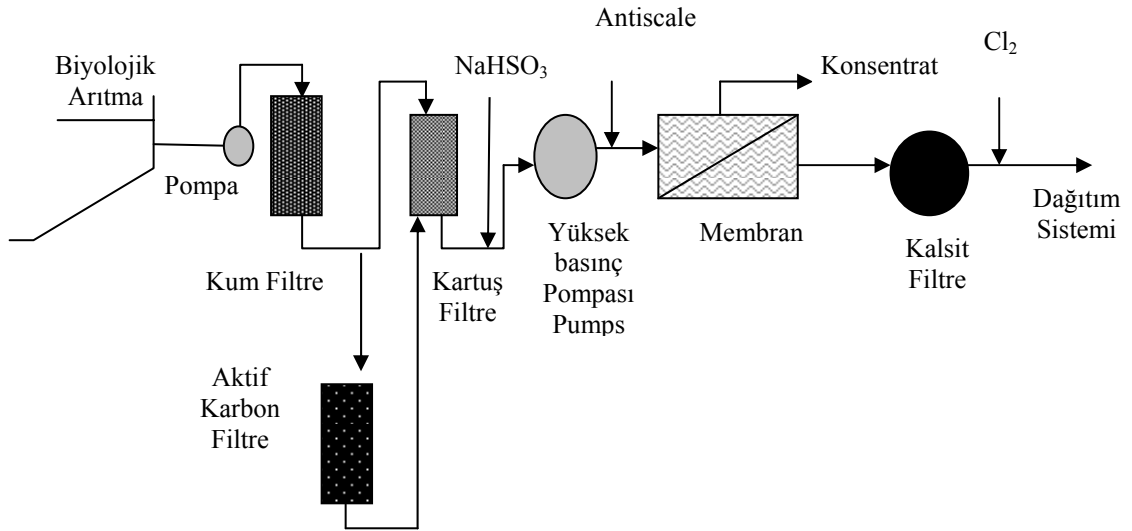
Günümüzde sağlık ve çıkış suyu kalitesi beklentilerinin artmasıyla ve düşük maliyetli membranların geliştirilmesiyle membran teknolojileri zamanla klasik arıtma yöntemlerinin yerini almakta ve kullanım alanı daha da yaygınlaşmaktadır. Şekil 3.21.'de membran teknolojilerin tutma ve ayırma aralıkları görülmektedir.



Şekil 3.21. Membranların Tutma ve Ayırma Aralıkları

3.5.1 Membran Teknolojilerinin Atıksu Arıtımında Kullanılması

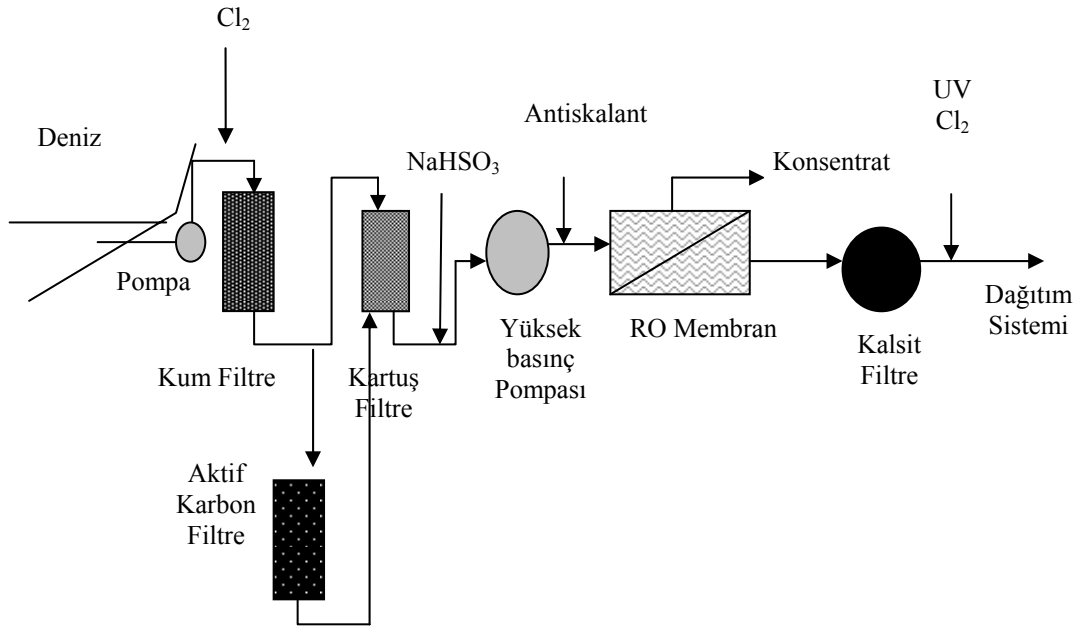
Arıtma tesisinden çıkan suların geri kazanılıp tekrar kullanılması veya alıcı ortam deşarj kriterlerine indirilebilmesi için tesis çıkışında membran uygulaması yapılabilmektedir. Çıkış suyundan olabilecek ve membranı tıkayabilecek askıda maddeleri ve partikülleri tutmak için önce bir kum filtre ve ardından organik maddeleri tutmak ve membranın yükünü azaltmak amacıyla aktif karbon filtre kullanılır. Su membrana girmeden önce kartuş filtreden geçirilerek filtrasyonu tamamlanır ve yüksek basınç pompası ile membrana basılır. İstenen çıkış suyu kalitesine ya da kullanım ihtiyacına göre çıkış suyu dolomit ya da kalsit filtreden geçirilir ve dezenfekte edilerek dağıtım sistemine verilir. Atıksu arıtımında membran teknolojilerinin kullanımına yönelik örnek bir akım şeması Şekil 3.22.'de verilmiştir.



Şekil 3.22. Atıksu Arıtımında Membran Teknolojilerinin Örnek Uygulaması

3.5.2 Membran Proseslerin Deniz Suyu Arıtımında Kullanılması

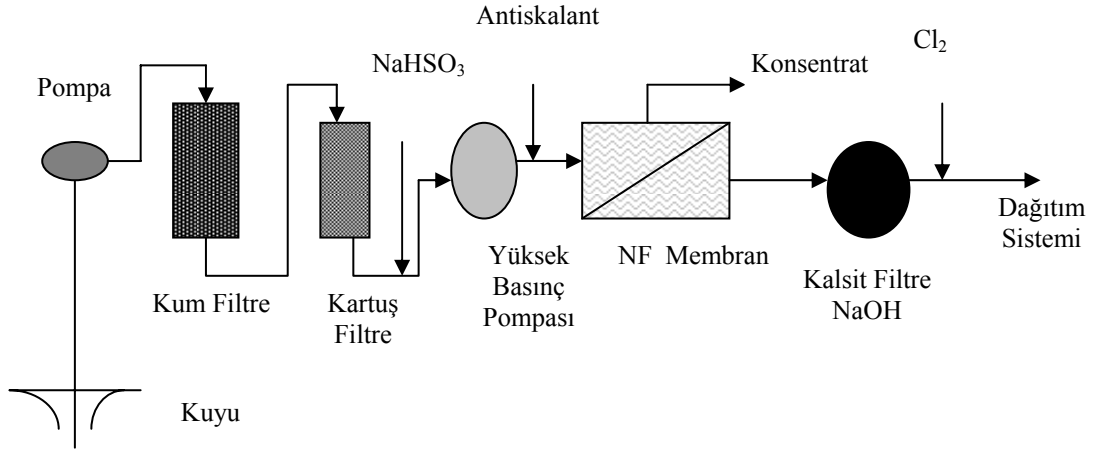
Deniz suyu; içerdiği yüksek tuzluluk ve çözünmüş madde miktarı nedeniyle deniz suyu için özel üretilen RO membranlar tarafından arıtılır. Denizden su temininde farklı metodlar kullanılır. Bunlardan biri; denizin içine bir su alma yapısı inşa edilerek su temini sağlanır. Başka bir yöntem ise deniz seviyesi yakınında bir sondaj kuyusu ile deniz suyu pompa ile çekilerek sisteme basılır. Deniz suyunun içerdiği tuz ve mineraller, partiküler madde, midye larvaları gibi membrana zarar verici maddelerin tutulması için öncelikle mekanik filtrasyon uygulanır. Kum filtre yardımıyla bu maddelerin membranı tıkamasına engel olacak ön arıtım sağlanır. Eğer deniz suyu, içerdiği yüksek bakteri konsantrasyonunu bertaraf etmek için klorlanacaksa sisteme verilmeden önce klorlanmalı ve klorun membran malzemesine olan yıkıcı etkisini minimuma indirmek için su aktif karbon filtreden geçirilir ya da sisteme Sodyumetabisülfid dozajlanır. Membran içinde çökelme ve tortuyu engellemek için ise antiskalant reaktifler verilir. Bunun dışında suyun asiditesini arttırıp çökelmeyi engellemek mümkündür. Bunun için ise hidrosülfürik ya da hidroklorik asit kullanılmaktadır. Su membrana girmeden önce kartuş filtreden geçirilerek filtrasyonu tamamlanır ve yüksek basınç pompası ile membrana basılır. İstenen çıkış suyu kalitesine ya da kullanım ihtiyacına göre çıkış suyu dolomit ya da kalsit filtreden geçirilir ve dezenfekte edilerek şebekeye verilir. Gerekli durumlarda kullanım amacına göre suyun pH'ını ayarlamak için NaOH kullanılabilir. Deniz suyu arıtımında membran teknolojilerinin uygulamasına örnek bir akım şeması Şekil 3.23.'de verilmiştir.



Şekil 3.23. Deniz Suyu Arıtımında Membran Teknolojilerinin Örnek Uygulaması

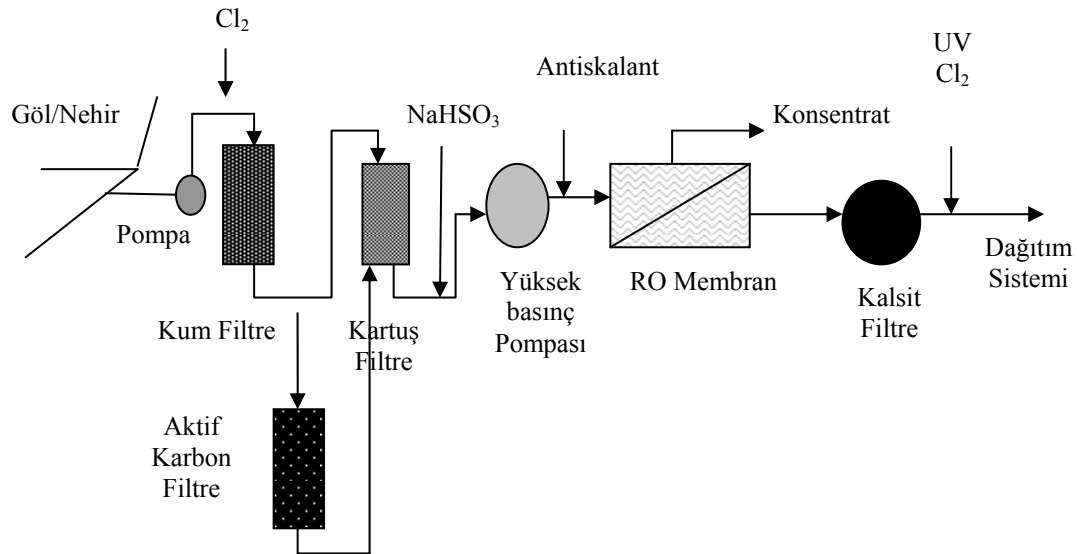
3.5.3 Membran Proseslerin Yeraltı ve Yüzeysel Sularının Arıtımında Kullanımı

Yeraltı suyu ve kuyu suları; içerdikleri yüksek alkalinite ve kireç nedeniyle sert sular olarak tanımlanırlar. Yeraltı suyu arıtımında genellikle NF ve RO membranları kullanılmaktadır. Kuyudan çekilen suyu yumuşatmak üzere daha çok NF membran tercih edilmektedir. Membranın verimini arttırmak için su, kum filtreden geçirilir ve yüksek basınç pompasına girmeden önce kartuş filtreden geçirilir. İstenen çıkış suyu kalitesine göre çıkış suyun kalsit filtre ile remineralizasyonu yapılır, dezenfekte edilir ve sisteme dağıtılır. Yeraltı suyu arıtımında membran teknolojilerinin uygulamasına yönelik örnek bir akım şeması Şekil 3.24.'de verilmiştir.



Şekil 3.24. Yeraltı Suyu Arıtımında Membran Teknolojilerinin Örnek Uygulaması

Göl, dere, nehir gibi yüzeysel suların membran teknolojileri ile arıtılmasında dikkat edilmesi gereken önemli hususların başında suyun içerdiği bakteri ve askıda katı miktarı gelmektedir. Bu durumda sisteme verilecek su koagülasyon, flokülasyon ya da çöktürme gibi bir ön arıtmaya tabi tutulmalı ondan sonra membran sistemine verilmelidir. Su sisteme verilmeden önce klorlanır ve bakiye klor aktif karbon filtre veya sodyummetabisülfid ile uzaklaştırılır. Yüzeysel suların arıtılmasında özellikle RO membranlar kullanılmaktadır. Yüzeysel suların arıtımında membran teknolojilerinin uygulamasına yönelik örnek bir akım şeması Şekil 3.25.'de verilmiştir.



Şekil 3.25. Yüzeysel Suların Arıtımında Membran Teknolojilerinin Örnek Uygulaması

3.6 Tekstil Endüstrisindeki Membran Teknolojileri Uygulamaları

Tekstil endüstrisinin üretim proseslerinde kullanılan su ve kimyasal madde miktarının fazla oluşu, ürün hammaddelerinin maliyetli olması ve gün geçtikçe artan çevre kirliliği sorunları, endüstrileri entegre çözümler üretmeye zorlamaktadırlar. Su ve hammadde maliyetlerinin azaltılması ve üretimin her türlü çevre boyutunun ele alınması için en yeni teknolojilerin uygulanması gerekmektedir. Tekstil atıksuları, kanunlar ile belirlenen deşarj kriterleri doğrultusunda aktif çamur tesislerinde arıtılabilir, fakat bu tür bir işlem sonrasında elde edilen su proseste yeniden kullanmak için yeterli kalitede olmayabilir. Bu sebepten dolayı, endüstriler fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma tesisleri gibi konvansiyonel arıtma sistemlerinden öteye geçip ileri arıtma alternatiflerini değerlendirmelidirler.

Düzenleyici kurumlar ve yetkililer; konvansiyonel olarak arıtılamayacak olan aşırı tuza bağlı toksisite, BOİ, ayrışamaz KOİ, ağır metaller, renk ve kullanılan kimyasal maddeler gibi parametreleri göz önüne alarak ileride oluşabilecek çevresel tehditleri yakından izlemekle yükümlüdürler. Son yıllarda uygulama alanları artan membran teknolojileri; tekstil endüstrisinde de kullanım alanını genişleterek endüstrilerin sorunlarına karşılık uygun çözümler üretmektedir. Membran filtrasyon prosesleri; sadece yüksek giderme verimi değil aynı zamanda da yüksek kalitede suyun ve diğer değerli yan ürünlerin geri kazanımına da olanak sağlamaktadır.

Daha önceleri sadece proses suyunun arıtılmasıyla suyun geri kazanımını sağlayan membran sistemleri, teknolojinin gelişimiyle birlikte tuz geri kazanımı, PVA (polivinil alkol) ve lateks geri kazanımı gibi çözümler de sunmaktadır. Tekstil işlemlerinde membran sistemlerinin tercih edilmesinin en büyük nedeni; mevcut alanın sınırlı olduğu noktasal kaynaklardaki arıtımın ilk yatırım ve işletme maliyetlerini minimize etmesi olarak ifade edilebilir. Bu sistemlerin endüstriye en doğru şekilde entegre edilebilmesi için noktasal kaynaktan çıkan su akımlarının belirlenmiş ve membran sisteminden geçirilecek suyun doğru analiz edilmiş olması gerekmektedir. Membran sistemleri seçilirken;

- Arıtılacak suyun kullanım ihtiyacına en uygun membran,
- İlk yatırım ile işletme maliyetlerini dengeleyecek olan membran konfigürasyonu
- Kurulacak membran sisteminin üretim prosesine entegrasyonu

gibi hususlar dikkate alınmalıdır.

Doğru seçilmiş ve yerleştirilmiş bir membran konfigürasyon sistemi tesise; su ve madde geri kazanımı ve yeniden kullanımı, kanala verilen yükün azaltılması gibi önemli katkılar sağlar.

3.6.1 Tekstil Endüstrisinde Kullanılan Membran Çeşitleri

Tekstil endüstrisinde en çok kullanılan membran sistemler UF ve NF membranlarıdır. RO'ya göre daha düşük basınçta çalışan bu sistemler, tekstil endüstrisi için yeterli arıtımı sağlamaktadırlar. MF ise direkt olarak kullanılmamakta, daha çok UF, NF ve RO öncesi ön arıtma olarak kullanılmaktadır. Membranlarda por çapı küçüldükçe, arıtım için verilmesi gereken işletme basıncı dolayısıyla da ilk yatırım ve işletme maliyetleri de artmaktadır. Bu nedenle, ihtiyaca uygun membranın seçilmesi önem taşımaktadır.

Tekstil endüstrisinde kullanılan membranlar natürel ve sentetik bazlı olmak üzere farklı materyallerden üretilmektedir. İnorganik (seramik) ya da organik (polimerik) olarak üretilen membranlardan polimerik (selüloz, asetat, polisülfon, poliamid, polivinilden florit) olanlar karakteristiği göz önüne alındığında tekstil atıksuları için daha elverişli olduğu görülmektedir. Bu alanda son teknoloji ürünü olarak anisotrop (asimetrik) membranlar göze çarpmaktadır. Anisotrop membranların üstünde bulunan ince film tabakası; askıda maddelerin membran gövdesine yapışmasını engelleyerek simetrik membranlara göre daha uzun dayanmasını ve akının düşmemesini sağlamaktadır. Son zamanlarda geliştirilen kompozit membranlar ise klasik asimetrik membranların üzerine küçük gözeneklere sahip ince film tabakası halinde döşenmiş halidir. Bu membranlar özellikle RO için geliştirilmiş olup, UF için de son zamanlarda kullanılmaktadır [32].

MF Membranları ile Arıtım ve Geri Kazanım: MF membranları biyolojik arıtma tesisi çıkışına doğrudan uygulandığında iyi bir çıkış suyu kalitesi vermese de NF için iyi bir ön arıtma ya da çok aşamalı bir MF sisteminde çıkış suyu kalitesini arttırmak için kullanılabilirdiği ve MF'nin tekstil atıksuyunu ön arıtmada daha realistik yöntem olduğu görülmüştür.

Direkt ultrafiltrasyon ile mikrofiltrasyon ön arıtımından sonra ultrafiltrasyon arasında karşılaştırma yapıldığında; çıkış suyu kalitesi açısından 2. yöntemin daha uygun olduğu anlaşılmıştır [33].

MF ile UF membranları karşılaştırıldığında, aynı atıksu numunesinde MF membranı %40 oranında renk ve bulanıklık giderdiği, ancak halen yüksek miktarda çözünmüş tuz bulundurduğu görülmüştür. UF membranları ise yüksek miktarda bulanıklık (%90) ve MF'den biraz daha fazla renk (%50) gidermiştir [33].

UF Membranları ile Arıtım ve Geri Kazanım: UF sistemleri; tekstil işlemlerinin birçok adımında kullanabilmektedir. Bazı üreticiler UF membranı fazla tuzu boyadan sökmek için de kullanılmaktadır. UF ile yağları tutarak %30-50 oranında yağ içeren ve ekonomik olarak kullanılabilir halde olan emülsiyon elde edilir. Yüksek konsantrasyonda yağ/su oranı yanmayı güçlendirerek yakıt olarak kullanılabilir [34]. Lateks; halı dokuma üretiminde bağlayıcı madde olarak kullanılan ve pahalı olan bir maddedir. Genelde lateks kalsiyum karbonat gibi bir madde ile karıştırılıp kullanılır. UF ile lateksin geri kazanımı yapılarak hem BOİ miktarı azaltılır hem de lateksin maliyetini düşürür [34].

UF ile PVA tutkal geri kazanımı birçok entegre dokuma fabrikasında uygulanan bir sistemdir. Elde edilen sıcak çıkış suyu apre banyosunda tekrar kullanılabilir. PVA elde edilmesi, arıtım maliyetleri, ısı tasarrufu ve suyun yeniden kullanılması ile maliyet dönüşümü sağlanabilir. Çoğu zaman geri kazanılan tutkal kullanılabilir durumdadır [34]. İndigo boyanın %80'i kumaşın üstünde kalır gerisi suya karışır bu formda suda çözünme ve UF ile tutulabilir. Süzülen kısım taze indigo ile karıştırılıp yeniden kullanılarak hidrosülfat ve kostik tüketimini azaltılabilir [34]. UF ayrıca besleme suyunu şartlandırma ve ön arıtması için de etkilidir. Kaliteli mallar kaliteli su ile üretileceği için birçok boya fabrikasında besleme suyunun temininde boşluklu elyaf UF membran kullanılmaktadır [34].

NF Membranları ile Arıtım ve Geri Kazanım: Ultrafiltrasyon ile yüksek molekül ağırlığı olan ve çözünmeyen boyaların (indigo, dispers) ve yardımcı kimyasalların (polivinil alkol) ve suyun geri kazanımı olmakta fakat düşük molekül ağırlıklı ve çözünen boyaların (asit, reaktif, basit) giderimi olmamaktadır [33]. NF; fiber reaktif boyaları ve katyonik boyaları tuzdan ayırmada ve tuz geri kazanılarak yeniden kullanılabilir. Maliyetten kar tuzun ve suyun geri kazanımından, ısı tasarrufundan ve eğer boya geri kazanılırsa boya maliyetinden ileri gelmektedir. Eğer tuz tek başına boya banyosunda geri kazanılırsa %50 yatırımı, %99 olan toksisiteyi %75 oranına indirmektedir [34].

NF su yumuşatmada kullanılan iyon değıştirici ve yeşil kum filtre için çok iyi bir alternatiftir. NF içme suyunda hem yumuşatma, renk giderme, bakteri ve virüsleri bertaraf etmede yaygın olarak kullanılmaktadır. NF'nin en önemli avantajları; az bakım gerektirme, düşük deşarj miktarı ve yenilenme masrafıdır [34]. Çıkış suyuna uygulanan NF ile iyi kalitede su ve düşük molekül ağırlığındaki organik bileşiklerin (200-1000 g/mol) ve divalent tuzların ayrımı sağlanmakta ve suya bir yumuşaklık kazandırılabilir. Fizikokimyasal arıtma ve NF kombinasyonu ile tekstil endüstrisi atıksuyu, iyi bir kalitede suya geri dönüştürülebilmektedir. Özellikle kadın çorabı ve iç çamaşırı üreten bir tesisin atıksularının jar testler yardımı ile uygun pH ve koagülant/flokülant konsantrasyonunun belirlenmesinden sonra atıksuların fizikokimyasal yöntemlerle arıtılan suyun kalitesini yükseltmek için NF sistemi ile arıtılmasında KOİ gideriminin neredeyse % 100 olduğu, iletkenliği ise % 85 oranında giderdiği görülmüştür. NF yüksek debide ve boyama işlemlerinde yeniden kullanılabilir kadar iyi bir permeat kalitede su çıkışı sağlamaktadır [35].

NF prosesi, tekstil atıksuyunu arıtmada diğerlerine göre daha geçerli ve tesise giren kullanma suyunu geri kazanmada daha etkili bir alternatif olarak düşünülebilir. Biyolojik olarak arıtılan yüksek tuz miktarına sahip (9 mg/l) tekstil atıksuyunun direkt NF ile arıtımında güzel sonuçlar alınmış ve arıtılmış sudan %90 oranında renk, bulanıklık ve TDS giderilmiş beraberinde KOİ'de düşüş görülmüştür [33].

RO Membranları ile Arıtım ve Geri Kazanım: Tekstil endüstrisinde boyama, apre gibi ürüne son halini verecek işlemlerde yüksek su kalitesi gerekli olduğundan, en küçük por çapına sahip olan RO membranların en iyi ayırmayı yapacağından, yüksek su kalitesi eldesinde kullanılması mümkün olmaktadır. Fakat, son zamanda yapılan çalışmalarda boya moleküllerinin küçük por çaplı membranların yüzeyinde birikerek membranları tıkadığı gözlemlenmiştir. Yüksek oranda renk giderimi NF ve RO sistemleri ile olmaktadır. Bu durumda; konsantrasyon polarizasyonu problemi ve membran yüzeyinde renk moleküllerinin birikmesi ile çıkış akısında düşme ile sonuçlanan bir sorun oluşmaktadır. Fizikokimyasal ayrıştırmanın boya konsantrasyonlarını, KOİ ve bulanıklığı gidermede etkili olduğu, bunun da membran tıkanıklığını azalttığı anlaşılmıştır. Fizikokimyasal arıtma, kimyasal koagülasyon ile sudaki çözünmüş, askıda, kolloidal ve çökemeyen maddeleri ağırlık ile çöktürmenin bir sonucu olarak gidererek sudaki bulanıklığı ve rengi gidermektedir [36].

Bu nedenle fizikokimyasal yöntemler ve membran teknolojileri kombinasyonu ile yapılan arıtımın, tekstil endüstrisinde yeniden kullanılabilir kalitede su üretimini arttıracak ve de membranın tıkanmasını azaltacak bir yöntem olduğu saptanmıştır. Fizikokimyasal arıtma işlemlerinden sonra pH değerini dengelemek için nötralizasyon işlemi uygulanabilmektedir. Bazı çalışmalarda fizikokimyasal arıtmadan sonra KOİ ve renk parametrelerinin oldukça düşük değerlere ulaştığı görülmüş fakat iletkenliğin nötralizasyon işleminden sonrakine göre daha yükseldiği anlaşılmıştır. Bunun sebebi ise, birçok koagülantın bileşiminde klorür barındırması ve bu klörürün suda çözünmesidir. Bu suların durulama ve yıkama işlemlerinde kullanabilmesi için ihmal edilebilir bir KOİ değerine ve iletkenliğin 1 mS/cm'den daha az bir değere ulaşılması gerekmektedir [36]. Bu yüzden RO membranları kullanılırken, sistemi besleyecek atıksuların karakterizasyonunun çıkarılması, fizikokimyasal arıtım ile çözünmüş organik karbon ve renk gideriminin sağlanması ve bunun için jar testle koagülasyon/flokülasyon işlemlerinde kullanılacak uygun dozajın belirlenmesi ve gerekiyorsa RO'dan önce daha kaba bir filtrasyon (MF ya da UF) yapılması gerekmektedir [35].

Boyama ve son işlemler tesisinden alınan atıksu aktif çamur oksidasyonundan sonra kum filtreden 800 l/sa hızı ile geçirilip membran sistemine sokulduğunda, 8 barda çalıştırılan RO sistemi, giriş suyunun %60'ı kadar bir permeat üretmiş ve bu suyun kalitesi proseslerde kullanılan sudan daha iyi bir kalitede su elde edildiği görülmüştür. Elde edilen permeat, en yüksek kalitede su gerektiren pamuklu boyama ve açık renkli boyama işleminde de olmak üzere tesisin her yerinde yeniden kullanılabilir. Daha önce kullanılan suya göre ($\approx 800 \mu\text{S/cm}$, belirli miktarda KOİ ve renk) daha kalite olan RO permeatının karakteristiği oldukça iyi olup (%95 tuz, KOİ ve renk giderimi) tekstil endüstrisi ıslak proseslerin herhangi bir yerinde sorunsuz şekilde yeniden kullanılabilir [32]. Bazı proseslerde ise boyalı atıksuyu boyadan ayırıp, direkt tuzlu su geri kazanımına dönük membran konfigürasyonları kullanılmaktadır. Boyama işleminde suya tuz atılmasının sebebi; boyanın kumaşa daha iyi fikse olmasına sağlamak içindir. Bu proseslere RO'dan önce birkaç aşamalı NF sistemleri uygulanmaktadır. Eğer suda hidrolize olmuş reaktif boya konsantrasyonu çok az ise (donuk renkler ve/veya yüksek tutunma oranı) NF tek adımda gerçekleştirilir. Bu durumda yeniden kullanılacak permeat, atıksu ile aynı tuzluluğa sahipse RO gerekli değildir.

4. UYGULAMA: ENDÜSTRİYEL İPLİK ÜRETİM TESİSİ ATIKSULARININ MEMBRAN TEKNOLOJİSİ İLE GERİ KAZANIMINA YÖNELİK ARITILMASI

4.1 Çalışmanın Yöntemi

Bu uygulama çalışmasında endüstriyel iplik üreten bir tesisten kaynaklanan atıksuların membran teknolojileri kullanılarak arıtılması ve tesis içinde geri kazanılması irdelenecektir. Bu çalışma kapsamında;

- Üretim bilgileri ışığında tesis içinde su kullanım ve atıksu oluşum kaynaklarının belirlenmesi ile tesisin proses profilinin çıkarılması,
 - Tesise ait kirlenme profilinin oluşturulması,
 - Geri kazanımı hedeflenen su kalitesine bağlı olarak tesis içinde membran sisteminin uygulanabileceği en uygun atıksu kaynağının belirlenmesi,
 - Geri kazanımı hedeflenen su kalitesi doğrultusunda bu kaliteye ulaşılacak en uygun membran teknolojisinin seçilmesi,
 - Sistemden elde edilecek çıkış suyu kalitesine bağlı olarak sistemin veriminin değerlendirilmesi ve bu sonuçlar doğrultusunda farklı geri kazanım alternatiflerinin tartışılması
- adımları gerçekleştirilecektir.

4.2 Tesis Bilgileri

30.000 m² kapalı alan üzerine kurulu olan tesiste, başta naylon ve polyester endüstriyel iplik üretiminin yanı sıra, başta araç lastiği olmak üzere, endüstriyel kauçuk takviye uygulamalarında kullanılan her türlü takviye bezi, tek kord ürünler ve ayrıca ağ ve halatlarda kullanılan sentetik kord esaslı ürünler üretilmektedir.

Tesis; naylon ve polyester endüstriyel iplik, kord bezi, endüstriyel bezler ve tek kord ürünlerinde 150.000 ton/yıl üretim kapasitesine sahiptir.

4.2.1 Tesiste Üretilen Ürünler

Endüstriyel Bezler: Konveyör bantları çeşitli tiplerdeki malzemelerin bir yerden başka bir yere sürekli ve verimli bir şekilde aktarılmasında kullanılmaktadır. Şekil 4.1.'de gösterilen konveyör bantları sentetik ve sürekli filamentli ipliklerden dokunmaktadır. İpliklerde kullanılan naylon ve polyester malzemeler banta yüksek mukavemet ve yorulma direnci kazandırmaktadır.



Şekil 4.1. Konveyör Bantları

Kord Bezi: Günümüz araçlarında kullanılan modern pnömatik lastik, güçlü ve hafif polimer elyafların kauçuk ile işlenmesi ile oluşan karmaşık ve kompozit bir üründür. Kauçuk ile kord bezinin bir arada oval bir şekil alarak lastiğin gövdesini oluşturması için özel yapıştırıcılar kullanılır. Lastiğin gövdesi lastiğe esnekliğini ve dayanıklılığını sağlayan kat adı verilen kauçuk ile kaplanmış kord bezinden oluşur. Naylon, Polyester, Aramid, ve Rayon kullanılarak üretilmiş olan endüstriyel iplikler kord bezi üretiminde kullanılan başlıca hammaddelerdir. Kordbezi üretimin ilk aşaması ham ipliklerin tek ya da daha çok katlı olarak bükülmesidir. İkinci aşama ise bükülmüş olan ipliklerin ince atkılar kullanılarak dokunmasıdır. Böylece üretilen kordbezi son aşamada sıcak-germe prosesi ile özel solüsyonlarla işlenerek lastik üretiminde kullanılacak yapışkanlığa ve fiziksel özelliklere kavuşturulur. Şekil 4.2.'de gösterilen Kord bezinin kullanım alanları; araç lastikleri, bisiklet lastikleri, hava körükleri, lastik üretiminde kullanılan Chafer bezleri, polipropilen liner bezleri, ve kalender servis bezleridir.



Şekil 4.2. Kord Bezi

İplik: Endüstriyel uygulamalar için yüksek kaliteli naylon ve polyester iplik üretilmektedir. Naylon iplik ürün gamında üretilen Naylon 6.6 ve Naylon 6 iplikler poliamid malzemelerdir. Şekil 4.3.'de gösterilen Naylon 6.6 iplik, adipik asit ve HMD'den (hekzametilen diamin), Naylon 6 ise kaprolaktam'dan üretilmektedir. Polyester iplikler ise DMT (dimetiterepalat) türevidir.

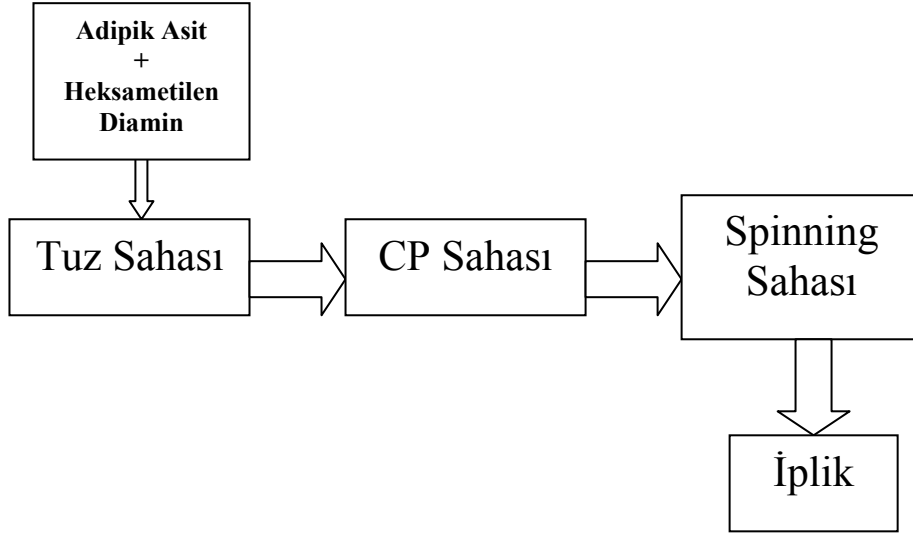


Şekil 4.3. 6.6 Naylon İplik

Endüstriyel ipliğin kullanım alanları kord bezi, endüstriyel bezler, halat, hortum, tek kord, V-Kayışı, hortum konveyör bantları ve emniyet kemerleridir.

4.3 Proses Bilgileri

Çalışma; tesiste bulunan 6.6 naylon endüstriyel iplik tesisinde yapılmıştır. Şekil 4.4.'de verilen iplik üretim şemasında; naylon ipliğin hammaddesi olan organik baz (hekzametilen diamin) ve organik asit (adipik asit) ; demineralize su içinde tepkimeye girerek tuz haline getirilir ve CP sahasına taşınarak reaktörler vasıtasıyla polimer oluşturulur. Polimer, polimerizasyon reaktör sistemiyle ya da polimer yongaların eritilmesi ile elde edilir. İplik üretiminde “melt spinning” proses teknolojisi ile kullanılmaktadır. Üretilen eriyik haldeki polimer; spinning sahasında düzelerden süzülür. Süzme işlemi ardından polimer finish yağı ile kaplanır. Sıcak ve soğuk çekme işlemlerine tabi tutulan polimerin fiziksel ve mekanik özellikleri endüstriyel uygulamalar için hazır hale getirilmiş olur.

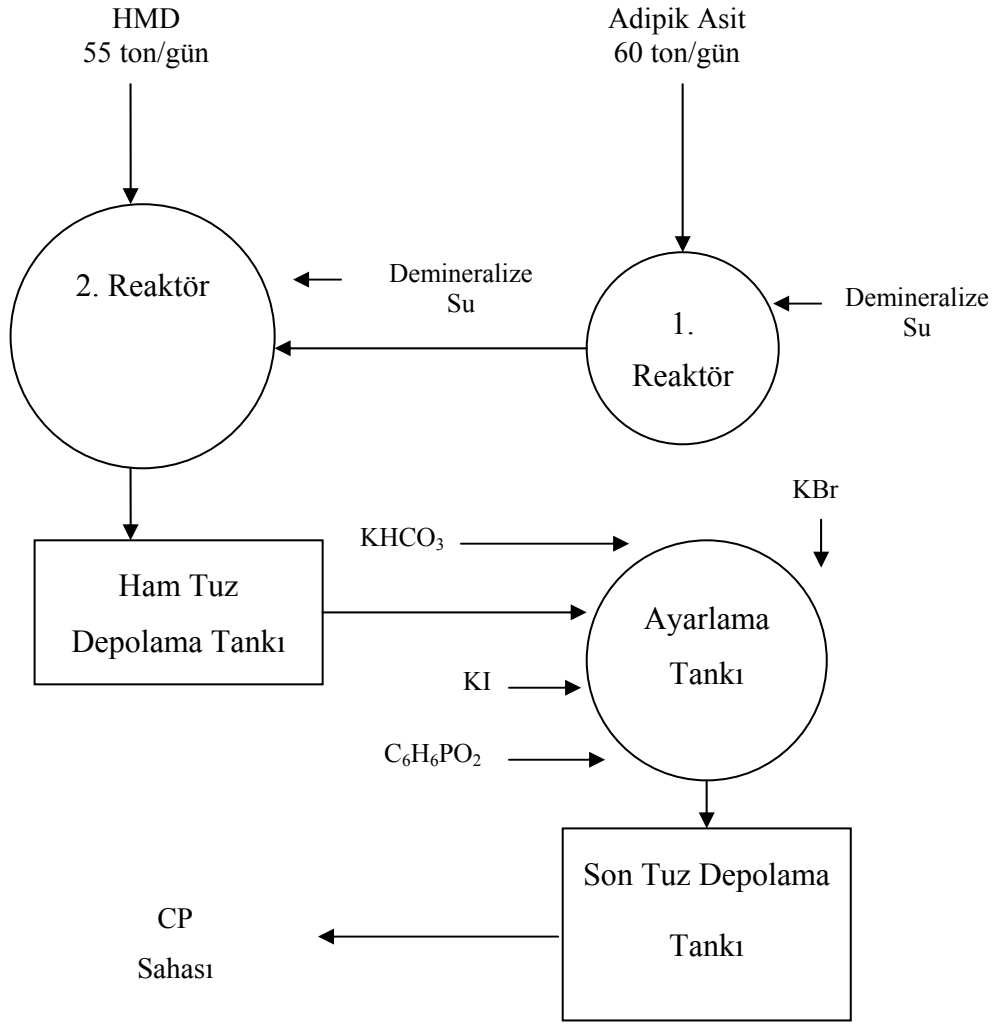


Şekil 4.4. 6.6 Naylon İplik Üretim Şeması

Üretim aşamasında 3 ana proses bulunmaktadır. Bunlar, hammaddenin karıştırıldığı ve kimyasal işlemlere hazırlandığı tuz hazırlama işlemi, hazırlanan hammaddenin ısıtma işlemleriyle polimerizasyonunun yapıldığı CP işlemi (Chemical processes) ve son ürünün elde edildiği elyaf çekme ve sarma işlemidir.

4.3.1 Tuz Hazırlama İşlemi

Şekil 4.5.'de gösterilen tuz hazırlama işleminde, endüstriyel ipliğin hammaddesi olan heksametilen diamin (HMD) ve adipik asit demineralize su ile seyreltilip, tuz hazırlama reaktörlerinde karıştırılır ve ham tuz depolama tankına aktarılır. Burada ipliğin viskozitesini arttırmak ve kimyasal yapıyı kararlı hale getirmek için gerekli kimyasal maddeler eklenerek polimerizasyon işlemi için kimyasal işlem (CP) sahasına gönderilmek üzere tuz depolama tankına alınır.

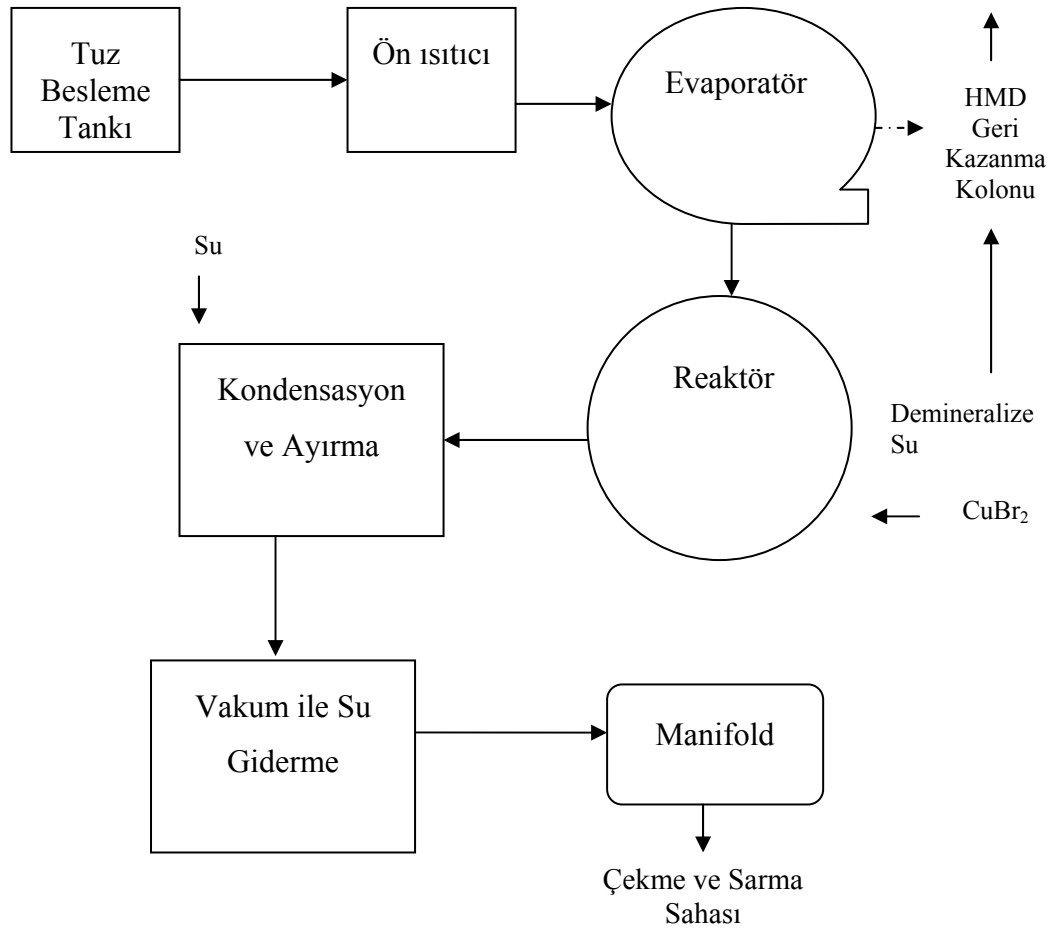


Şekil 4.5. Tuz Hazırlama İşlemi Akım Şeması

4.3.2 Polimerizasyon İşlemi

Tuz sahasında hazırlanmış malzeme, demin su ile taşınarak CP sahasına gelir. Ön ısıtıcı ile 110°C'ye ısıtılan tuzun konsantrasyonunu %55'den % 75'e çıkarmak için 140°C'de evaporasyon ile su buharlaştırılır. Su içindeki heksametilenin geri kazanılması için geri kazanma kolonlarından geçirilerek HMD soğuk su ile yoğunlaştırılır ve geri kazanılan hammadde tekrar HMD depo tankına gönderilir. Tuz daha sonra polimerizasyon işlemi için reaktöre gönderilir. Çok kademeli reaksiyon ile ipliğin polimer yapısı oluşturulur ve konsantrasyon %100'e çıkarılır. Burada; reaktör içi sıcaklık oldukça önemli olup; sıcaklığın 240°C'de sabit tutulması polimerin kalitesi açısından son derece belirleyici bir özelliktir. İpliğin termal stabilitesi için gerekli kimyasal maddeler gene reaktörde eklenmektedir. Ancak

kimyasal bağlar oluşurken ortaya çıkan suyun polimer konsantrasyonunu düşürmesi sebebiyle bu suyun alınması gerekmektedir. Reaktörlerden çıkan malzemenin kondensasyonu için vent condenserlar kullanılmakta ve oluşan buhar bacalardan dışarı atılmaktadır. En son olarak vakum buhar jetleri yardımıyla venturi prensibine göre polimerin nihai su giderme işlemi tamamlanır ve manifold vasıtası ile düzgün akış sağlanarak çekme ve sarım işlemi için sarım sahasına gönderilir. Polimerizasyon işlemi akım şeması Şekil 4.6.'da verilmiştir.

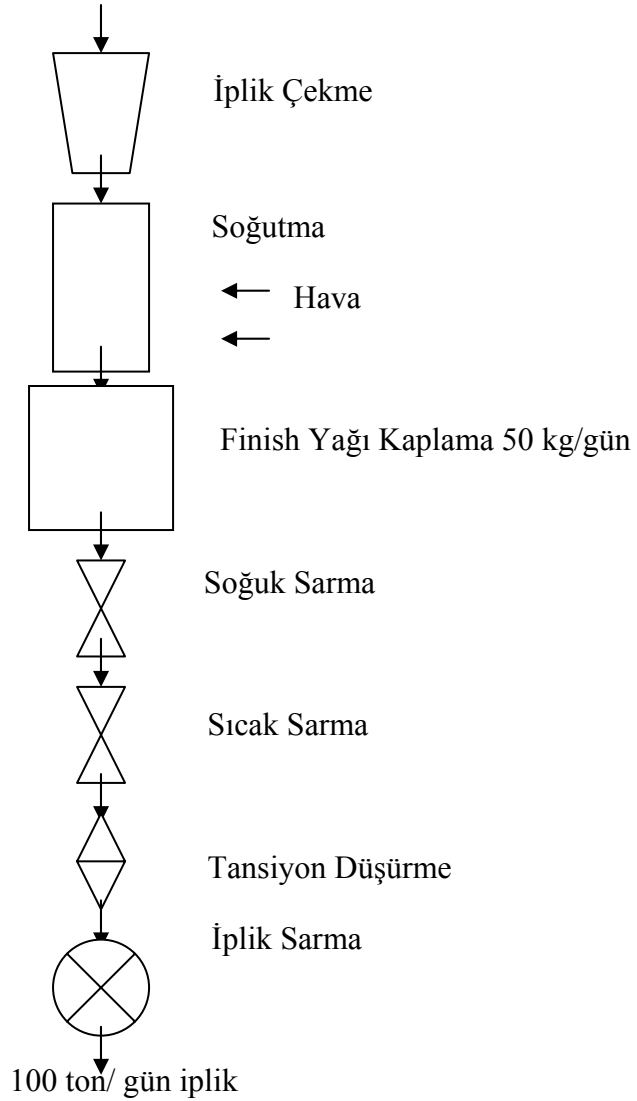


Şekil 4.6. Polimerizasyon İşlemi Akım Şeması

4.3.3 Çekme ve Sarma İşlemi

Polimerizasyondan gelen bal kıvamındaki ürün, meter pompalar yardımıyla ince gözeneklerden geçirilerek iplik olarak akar. Bu esnada sıcak olan ürünün yapısının bozulmasını önlemek amacıyla soğutma hemen yapılmaz, daha sonraki işlemde ürünü soğutmak için hava verilir. Çekilen ipliklerin üzerlerine sıcaklığa dayanımı

arttırıcı ve sürtünmeyi azaltıcı finish yağı sürülür. İplik son halini almak üzere önce soğuk sonra sıcak sarmadan geçirilir. İpliğin barındırdığı gerginliği almak üzere tansiyon düşürme bölümünde ipin kimyasal yapısından dolayı barındırdığı gerginliği alınır ve sarılarak depo alanına son ürün olarak alınır. Bu işleme ait şema şekil 4.7.'de verilmiştir.



şekil 4.7. Çekme ve Sarma İşlemi Akım şeması

4.4 Proses Profili

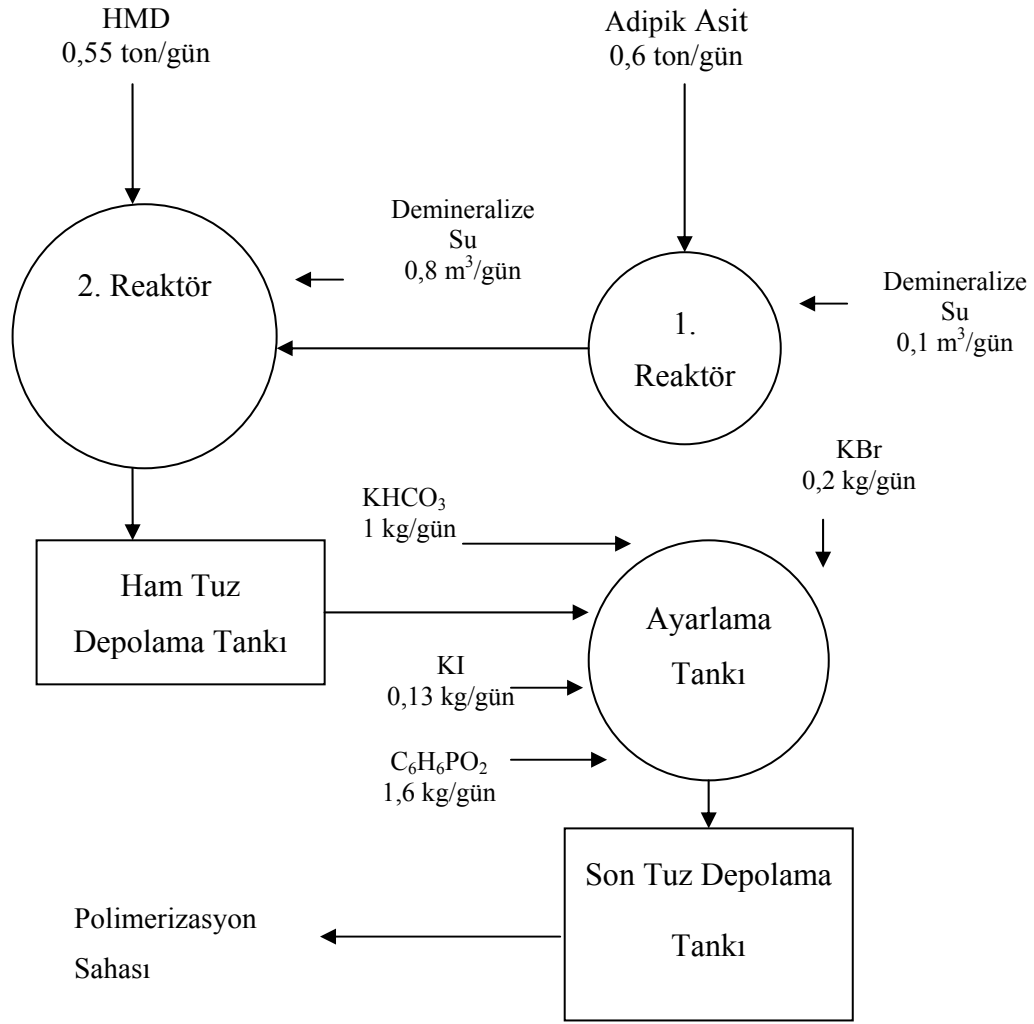
Bir endüstri tesisinde yer alan proseslerin her biri için, bu proseslerdeki su kullanımı ve atıksu oluşumunun zaman ve üretim bazında ifade edilmesi proses profili olarak tanımlanmaktadır. Proses profili ele alınan bir tesisin üretim atıksu ilişkisinin

belirlenmesi ve kirlenme açısından tanımlanmasında en önemli aşamayı oluşturmaktadır. Bir tesisin proses profilinin çıkarılabilmesi için ilk adım proseslerin ve bu proseslerle ilgili temel bilgilerin tanımlanması, prosesler arası bağlantılar, kullanılan hammadde ve yardımcı maddeler ile miktarları, proseslerde kullanılan su ve oluşan atıksu miktarları ile atıksuların oluşum kaynaklarının belirlenmesi gerekmektedir.

İplik tesisinde günde 100 ton endüstriyel iplik üretilmektedir. Proses profili, tesisteki 1 ton üretim başına kullanılan su ve ortaya çıkan atıksu miktarını simgelemektedir. Üretim aşamasında bulunan 3 ana prosten tuz hazırlama ve CP işlemi ıslak, çekme ve sarma işlemi ise kuru işlemdir. Atıksuyun çok önemli bir kısmı CP sahasından çıkmakta, geri kalan atıksu proses tanklarının yıkanmasından ileri gelmektedir.

4.4.1 Tuz Sahası

Sıvı hekzametilen seyretilmek amacıyla demineralize su ile karıştırılmaktadır. Adipik asit toz halde bulunduğundan, bu maddenin de homojenizasyonu için demineralize içinde çözünerek karıştırılması amacıyla reaktöre demineralize su ilave edilmektedir. Tuz sahasına ait proses profili Şekil 4.8.'de verilmiştir.

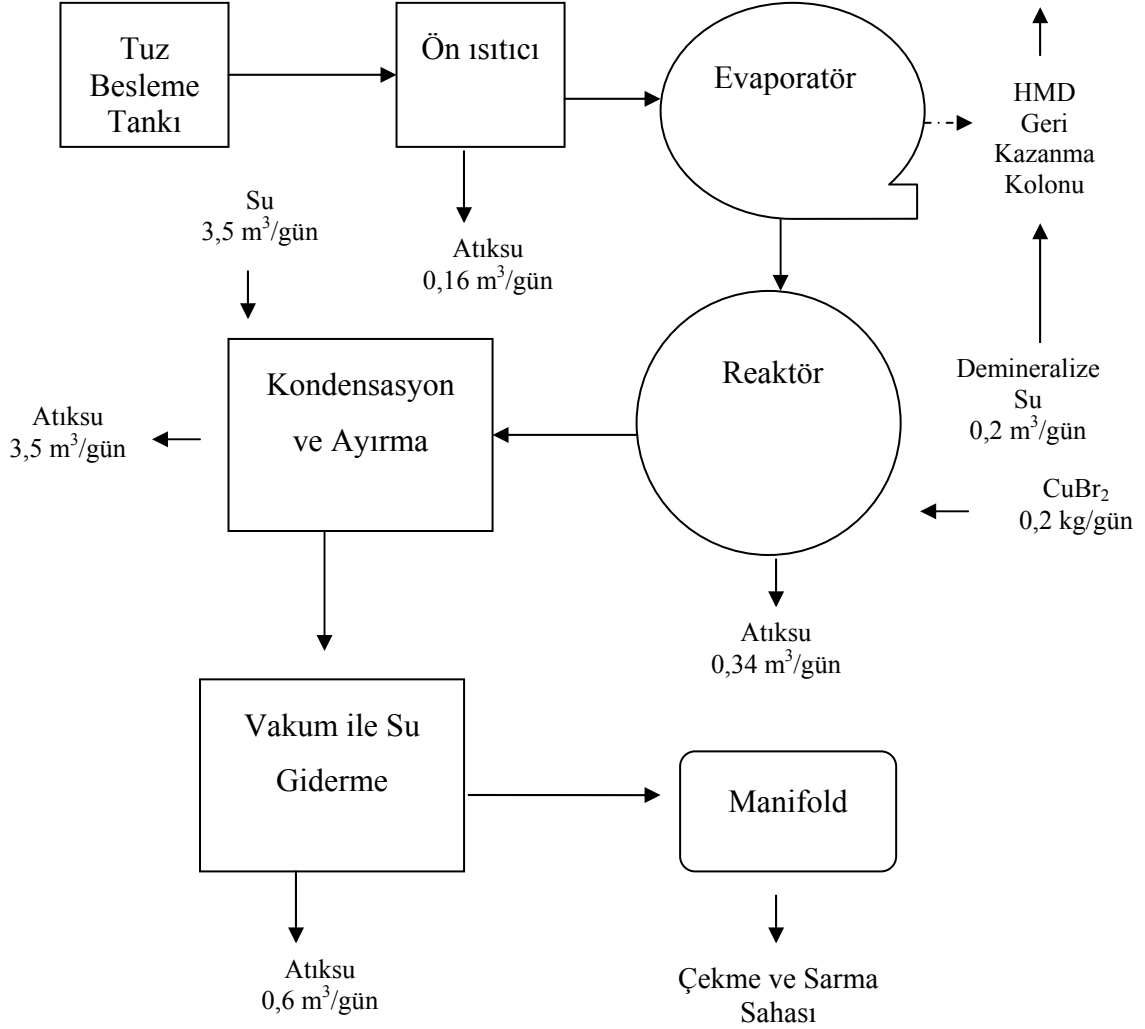


Şekil 4.8. Tuz Sahası Proses Profili

4.4.2 CP Sahası

Tesiste asıl atıksu oluşan bölüm CP sahasıdır. Demineralize su ile taşınan tuzun, sarma işlemine hazır hale gelebilmesi içindeki su muhteviyatını minimuma indirilmesi amacıyla reaktöre sokulur. İlk olarak ön ısıtıcı ile ısıtılan tuzun, evaporasyon ile su içeriği azaltılır. Su içindeki hekzametilenin geri kazanma amacıyla buhar geri kazanma kolonlarından geçirilerek HMD soğuk su ile yoğunlaştırılır ve geri kazanılan hammadde tekrar HMD depo tankına gönderilir. Reaktörlerden çıkan malzemenin kondensasyonu için kullanılan vent condenserların basınçlı buharı bacadan atılırken yüksek miktarda gürültü oluşturduğu için, buharın üzerine su püskürtülerek gürültünün giderilmesine çalışılır. En son adımda

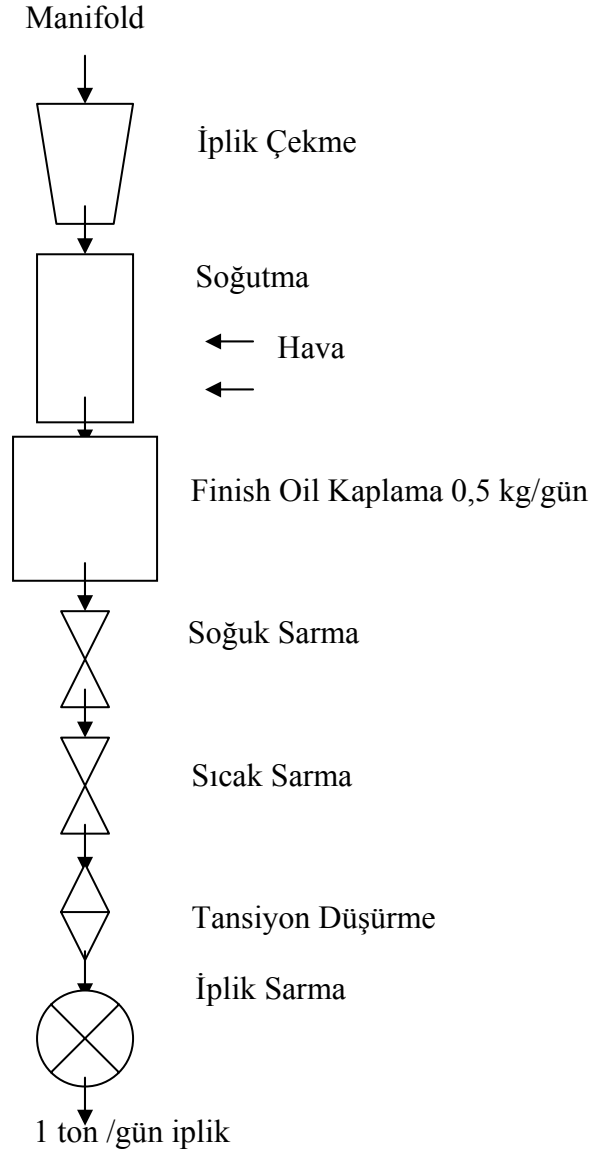
yoğunlaştırma olarak vakum ile polimerin içindeki nihai suyun alınması sağlanır. Bu bölüme ait proses profili Şekil 4.9.'da verilmiştir.



Şekil 4.9. CP Sahası Proses Profili

4.4.3 Çekme ve Sarma Sahası

Şekil 4.10.'da verilen işlemlerin tamamı kuru işlem olduğu için, burada herhangi bir su kullanımı ve dolayısıyla da atıksu oluşumu gözlenmemektedir.



Şekil 4.10. Çekme ve Sarma Sahası Proses Profili

4.5 Kirlenme Profili

Kirlenme profili, bir endüstri tesisinin atıksu miktar ve kirletici özelliklerinin proses ve altkategori bazında ortalama veya diğer anlamlı istatistik değerleridir. Bu çalışma, kirlenme kontrolü konusunda yapılacak bütün çalışmalara ve alınacak önlemlere esas teşkil etmektedir.

Tesiste oluşan atıksular kapalı sistemle tek bir kanal vasıtasıyla deşarj edildiğinden, prosesin farklı aşamalarından çıkan atıksular ayrı ayrı karakterize edilememiştir. Ancak tesiste reaktörlerin bakımı veya herhangi bir sorunu sebebiyle belirli

bölgelerden tesis yetkilileri tarafından numune alınabilmekte ve polimerin yapısını kontrol etmek amacıyla bu numunelerde organik madde konsantrasyonları ölçülmektedir. Bu nedenle günlük toplam ürün ve birim ürün başına tüketilen su, üretilen atıksu ve oluşan atıksuların sadece KOİ konsantrasyonları ve buna bağlı olarak birim ürün başına KOİ yükleri belirlenmiş ve Tablo 4.1.'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Proseslerde Su Kullanımı, Atıksu Oluşumu ve Kirlilik Miktarları

Proses	100 ton/gün ürün başına		1 ton/gün ürün başına		KOİ		
	Su (m ³)	Atıksu (m ³)	Su (m ³)	Atıksu (m ³)	mg/l	kg/ton ürün	kg/gün
Adipik Asit Hazırlama	10	-	0,1	-	-	-	-
HMD Seyreltme	80	-	0,8	-	-	-	-
Ön Isıtma	-	16	-	0,16	1500	0,24	24
Diamin Geri Kazanma	20	-	0,2	-	-	-	-
Polimerizasyon Tankı	-	34	-	0,34	4300	1,46	146
Kondensasyon ve Ayırma	350	350	3,5	3,5	2400	8,4	840
Vakum ile Su Giderme	-	60	-	0,6	1700	1,02	102
Toplam	460	460	4,6	4,6	2400	11,12	1112

Tabloda oluşturulan KOİ yükleri, tesis yetkililerinin belirli kontrol ve bakım dönemlerinde periyodik olarak alınan numunelerden elde edilen analiz değerlerinden yola çıkılarak hesaplanmıştır. Organik kirliliğin en büyük kaynağı polimerizasyon işlemi süresinde ortaya çıkan oligomerlerdir. Oligomer; polimerizasyon işlemi sırasında, kondensasyon işlemini tam tamamlamamış, molekül ağırlıkları düşük ürünlerdir. Büyüyen bu oligomerler toz halinde veya büyük parçacıklar halinde ürün üzerine çökebilmektedir. Oligomer suda çözünmediklerinden ürün üzerinden uzaklaştırılamazlar.

4.6 Mevcut Atıksu Arıtma Tesisi

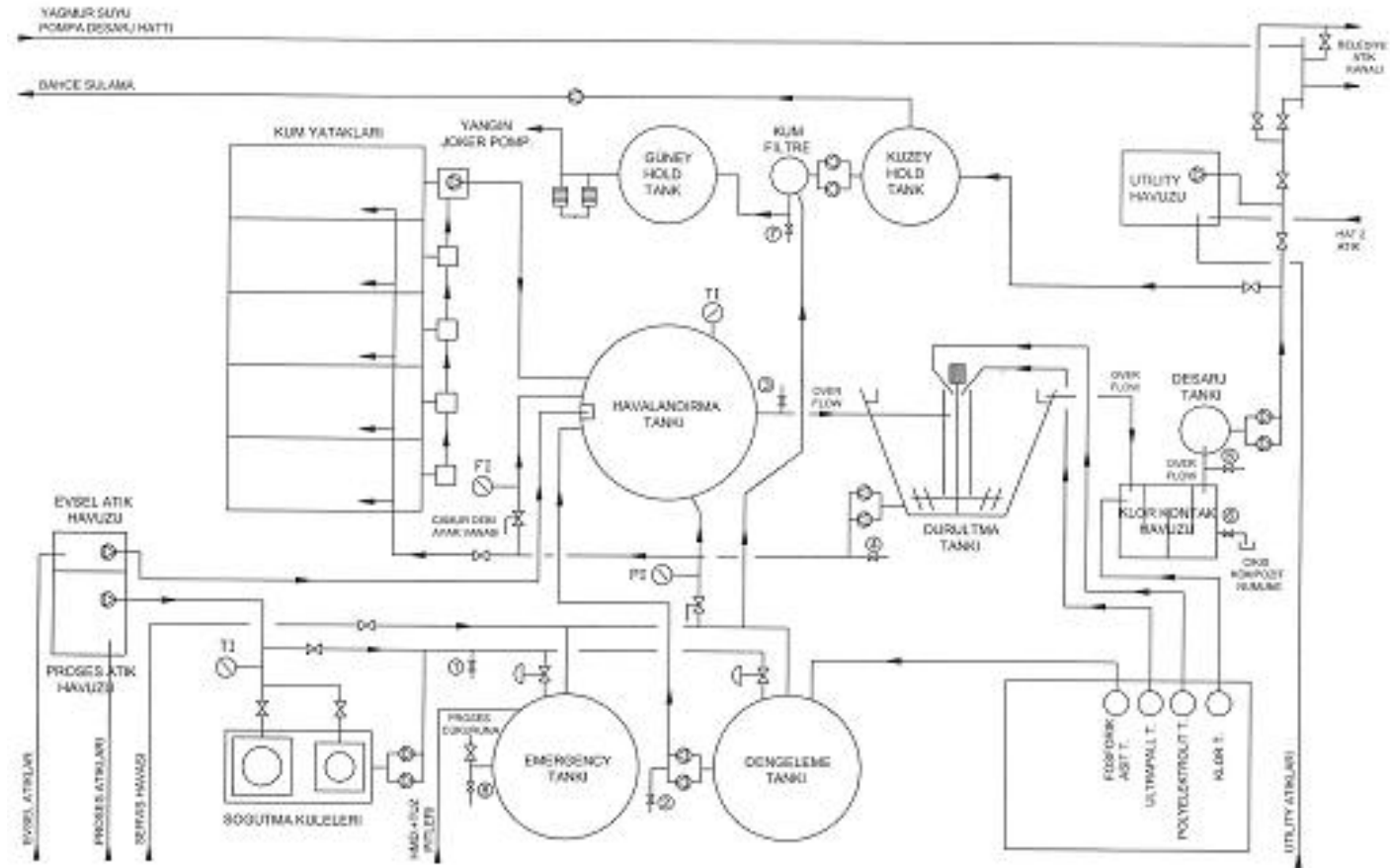
Tesiste oluşan atıksuların büyük bir kısmı proses kaynaklı olup, diğer atıksu kaynakları evsel ve tuz sahası yıkama sularından oluşmaktadır. Prosesten ve evsel kullanımdan oluşan atıksular arıtılmak üzere biyolojik arıtma tesisine gönderilir. Prosesten çıkan suların sıcaklıkları ve KOİ değerleri biyolojik arıtma için uygun olmadığından atıksular önce proses atıksuları havuzunda toplanır. Tablo 4.2.

üretimin çeşitli kademelerinde ve tesis içinde oluşan atıksu miktarları ve ortalama KOİ konsantrasyonlarını göstermektedir.

Tablo 4.2. Biyolojik Arıtma Tesisi Giriş Debisi ve Kirlilik Değerleri

Atıksu Kaynağı	Debi (m ³ /gün)	Ortalama KOİ değeri (mg/l)
Proses	460	2400
Eysel	60	800
Proses Yıkama	2	2200

Proses atıksuyu havuzundan sonra atıksular biyolojik arıtma için uygun sıcaklık olan 30 - 35°C'ye getirilmek üzere soğutma kulesinden geçirilir. Soğutma kulesinden çıkan sular önce acil tutma tankına (emergency tankı) daha sonra dengeleme tankına aktarılır. Acil tutma tankında, proses atıksuları ile proses içinde oluşan yıkama sularının tekrar bir homojenizasyonu sağlanır. Dengeleme tankında bakterilerin ihtiyacı olan fosforun sağlanması için fosforik asit dozajlanmaktadır. Bu tankta ön havalandırmaya tabi tutulan atıksular, daha sonra havalandırma tankına aktarılır. Eysel atıksular ise doğrudan havalandırma tankına verilmektedir. Havalandırma tankından sonra atıksular çökeltme tankına aktarılır. Çökeltme tankında, çökeltmenin hızlandırılması için flokülant ve koagülant dozlanır. Çökeltme tankında biriken çamur pompalar yardımıyla kum yataklarına gönderilir ve çamurun kurutulması sağlanır. Çökeltme tankından savaklanan sular dezenfeksiyon amacıyla klor temas havuzuna gönderilir ve klorlanarak deşarj tankına aktarılır. Deşarj tankından çıkan suyun bir kısmı tesiste demineralize su üretiminde kullanılan ters osmoz ünitesi deşarjı ile karıştırılarak belediye atıksu kanalına deşarj edilir, diğer bir kısmı ise 1. geri kazanım tankına alınır. Bu tanktan alınan belirli miktarda su kum filtreden geçirilerek yangın hattında ve proseste yıkama amaçlı kullanılmak üzere 2. geri kazanım tankına alınır. Kalan miktar bahçe sulama amaçlı kullanılmaktadır. Biyolojik Arıtma Tesisi Akım Şeması Şekil 4.11.'de görülmektedir.



Şekil 4.11. Biyolojik Arıtma Tesisi Akım Şeması

Tablo 4.3.'de verilen atıksu arıtma tesisinin çıkış suyu kalitesi değerlendirildiğinde, arıtmanın KOİ bazında ortalama % 85 (%80-95) giderim verimine sahip olduğu görülmektedir. Diğer parametreler açısından giderim verimi bazında, atıksu giriş kalitesi belirlenemediğinden değerlendirme yapılamamıştır.

Biyolojik atıksu arıtma tesisi çıkış değerleri; Tablo 4.3.'de verilen ve tesisin tabi olduğu İzmit Belediyesi Sular İdaresi (İSU) kanalizasyona deşarj yönetmeliği standartları ile karşılaştırıldığında; tesisin çıkış suyu kalitesinin yönetmeliğin koşullarını sağladığı görülmüştür.

Tablo 4.3. Arıtma Tesisi Çıkış Suyu Kalitesinin İlgili Yönetmelik ile Karşılaştırılması

Parametreler	Birim	Atıksu Arıtma Tesisi Çıkış Suyu Kalitesi	(İSU) Kanala Deşarj Standartları
pH	-	7,5-8	6-10
KOİ	mg/l	100-400	<800
AKM	mg/l	10-100	<350
Sıcaklık	°C	25-35	-
Bulanıklık	NTU	20-100	-
Renk	HZ	1-5	-
Klor	mg/l	0,05-0,1	-
Klorür	mg/l	100-150	-
Alkalinite	mg/l	50-150	-
Toplam Sertlik	mg/l CaCO ₃	150-200	-
Toplam Krom	mg/l	-	<5
Sülfür	mg/l	-	<2
Fenol	mg/l	-	<10
Yağ&Gres	mg/l	-	<50
Çinko	mg/l	-	<5

İplik üretim tesisi; gerek üretim prosesi ve kategorizasyonu, gerekse üretilen ürün (endüstriyel iplik) sebebiyle Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'nde iki farklı alt kategorizasyonda ele alınmaktadır. (Tablo 10.1: Sektör: Tekstil Sanayii (Açık Elyaf, İplik Üretimi ve Terbiye) ve Tablo 10.7 Sektör: Tekstil Sanayii (Sentetik Tekstil Terbiyesi ve Benzerleri)). Ancak arıtılan atıksuların alıcı ortam yerine belediyenin kanalizasyon şebekesine deşarj edilmesi nedeniyle tesis SKKY'de tanımlanan alıcı ortama deşarj standartlarına tabi değildir.

4.7 Geri Kazanım Hedefinin Belirlenmesi

Tesiste, üretime demineralize su sağlamak amacıyla tesis içindeki sondaj kuyularından beslenen ters osmoz ünitesi bulunmaktadır. Ters Osmoz ünitesi ile proseste kullanılmak üzere 1200 m³/gün demineralize su üretilmekte, bu suyun 450 m³/gün'lük kısmı su soğutma kulesine verilmektedir. Soğutma kulesi; tesiste kompresörlerin ve reaktör için üretilen buharın soğutulmasında kullanılmaktadır. Soğutma kulesi içinde bulunan eşanjörlerin tıkanmaması için eşanjörün serpantinleri içinde herhangi bir şekilde çökelme, tortu ya da organik büyüme olmamalıdır. Bu nedenle soğutma kulesindeki su kalitesinin belirli kriterleri sağlaması gerekmektedir. Soğutma kulesinde kullanılacak olan sudaki sertlik, organik kirlilik kadar önemli bir parametredir. Eşanjörlerden geçecek olan suyun sertlik değerinin yüksek olması, suyun ani ısınma ve soğuması sonucunda oluşacak kireçlenme, serpantin cidarlarında daralma ve eşanjör içinde basıncın artmasına sebep olabilmektedir. Soğutma kulesinde çok yüksek kalitede demineralize su kullanmak yerine, arıtılmış atıksuların soğutma suyu kalitesine getirilerek kullanılması; hem su kaynaklarının daha ekonomik şekilde kullanılmasını, hem de üretim suyu maliyeti ve deşarj edilecek suyun maliyetinin düşürülmesini sağlayacaktır.

Tablo 4.4., tesis yetkilileri tarafından tanımlanan soğutma suyu kalitesi ile birlikte üretimde kullanılmak üzere RO tesisi ile üretilen ve soğutma kulelerinde de kullanılan su kalitesini göstermektedir. Tablodan da görüldüğü üzere RO tesisi çıkışı soğutma suyu olarak tanımlanan su kalitesine oranla daha yüksek kaliteye sahiptir. Bu çerçevede RO tesisi çıkış akımının soğutma suyu olarak kullanılması yerine geri kazanım uygulaması yapılması öngörülmüştür.

Tesiste oluşan proses atıksularının kapalı sistemle atık havuzuna gelmesi nedeniyle, akım ayrımı yapılamamış, geri kazanılacak suyun atıksu arıtma tesisi nihai çıkışından temin edilmesi planlanmıştır. Bölgedeki yeraltı suyu sıkıntısı ve endüstrideki sürekli artan su ihtiyacı arıtılan suyun geri kazanımını daha da önemli hale getirmektedir.

Tablo 4.4. Hedeflenen Soğutma Kulesi Su Kalitesi ile Ters Osmoz Tesisi Çıkış Suyu Kalitesinin Karşılaştırılması

Parametre	Birim	Soğutma Suyu Kalitesi	RO Tesisi Çıkış Suyu Kalitesi
pH	-	8-9,5	7-8
Alkalinite	mg/l	<400	<1
Klor	mg/l	<0,1	-
Klorür	mg/l	<400	<1
Toplam Sertlik	mg/l CaCO ₃	<400	5
Megaphos	mg/l	7-10	-
KOİ	mg/l	<20	-
Bulanıklık	NTU	<2	-
Renk	HZ	<0,05	-
Sıcaklık	°C	<20	<20

Bu esaslardan hareketle; kurulacak pilot tesis ile biyolojik arıtma çıkış suyunun arıtılarak öncelikle soğutma kulelerinde besleme suyu olarak kullanılması suretiyle geri kazanılması amaçlanmıştır. Biyolojik arıtmadan çıkan sular kum filtreden geçirilerek membran pilot tesisine beslenecek, elde edilecek permeat düzenli bir şekilde gözlemlenecek ve sonuçları değerlendirilecektir. Elde edilecek veriler ışığında geri kazanılan suyun çeşitli noktalarda kullanım alternatifleri de değerlendirilecektir.

4.8 En Uygun Membran Teknolojisi

Kullanılacak en uygun membran teknolojisinin belirlenmesi amacıyla atıksu arıtma tesisi çıkış akımı ve soğutma suyu kalitesinin karşılaştırmalı değerlendirmesi yapılmıştır (Tablo 4.5.). Tablodan görüldüğü üzere, arıtma tesisi çıkış suyu kalitesi, soğutma suyu için öngörülen KOİ, bulanıklık, renk ve sıcaklık parametrelerine ait kalite seviyelerini karşılamamaktadır. Atıksu arıtma tesisi çıkış suyunun soğutma kulesinde geri kazanılabilmesi için çıkış suyunda bulunan bu parametrelerin hedeflenen su kalitesi seviyesine yükseltilmesi gerekmektedir. Bu çerçevede KOİ, bulanıklık ve renk parametrelerini hedeflenen geri kazanım kalitesi seviyesinde arıtacak en uygun membran teknolojisi olarak ultrafiltrasyon (UF) sistemi seçilmiştir.

Tablo 4.5. Hedeflenen Soğutma Kulesi Su Kalitesi ile Arıtma Tesisi Çıkış Suyu Kalitesinin Karşılaştırılması

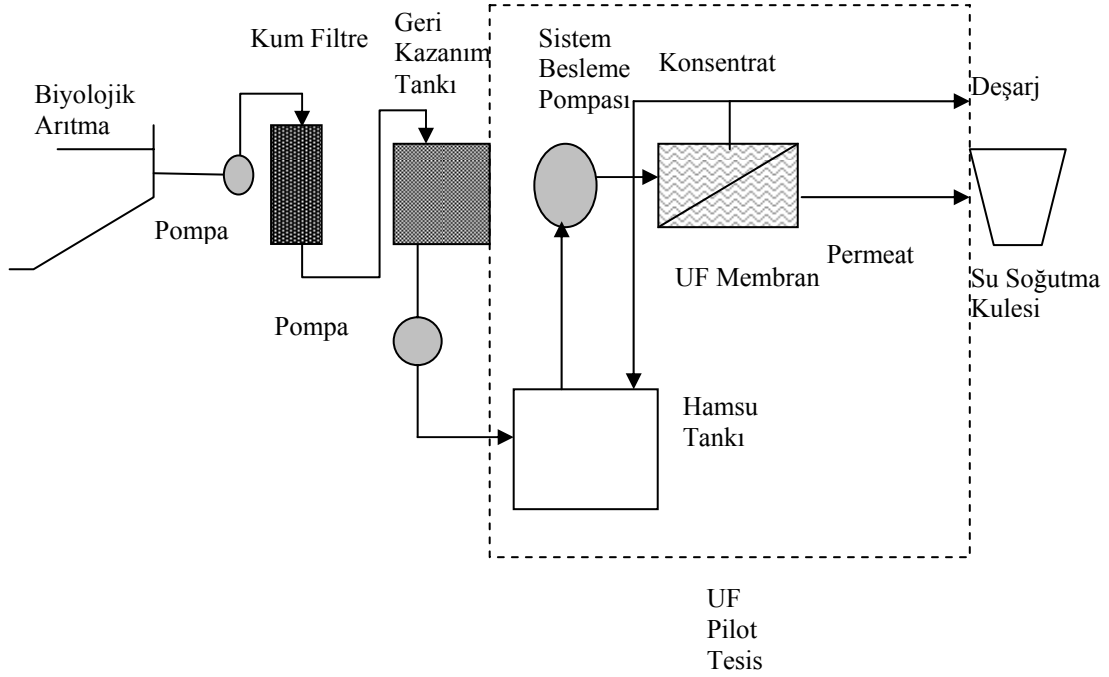
Parametreler	Birim	Atıksu Arıtma Tesisi Çıkış Suyu Kalitesi	Soğutma Suyu Kalitesi
pH	-	7,5-8	8-9,5
KOİ	mg/l	100-400	<20
Bulanıklık	NTU	20-100	<2
Renk	HZ	1-5	<0,05
Klor	mg/l	0,05-0,1	<0,1
Klorür	mg/l	100-150	<400
Alkalinite	mg/l	50-150	<400
Toplam Sertlik	mg/l CaCO ₃	150-200	<400
Sıcaklık	°C	25-35	<20

UF sistemi; kolloidal maddelere bağlı olan renk, bulanıklık, KOİ gibi parametreleri yüksek verimlerle giderebilmektedir. Boşluklu elyaf membranlara göre daha az tıkanma problemine sahip tübüler membrandan seçilen ultrafiltrasyon pilot sistemi, polimer yapılı, 90 mm çaplı, 3 m uzunluğunda PVC boru içerisinde teşkil edilmektedir. Membranın toplam alanı 5,1 m² olup, ultrafiltrasyon membranı her biri 5,2 mm çapında tüp modüllerden oluşmaktadır. Giriş besleme debisi 34 m³/sa ve akısı 40-100 l/m²*sa'dır. Gözenek çapı 30 nm olan ultrafiltrasyon membranı dış haznesi reaktif olmayan ve sıcaklık, solvent, asit ve bazlara karşı dayanımlı floropolimer yapılı PVDF (Polivinilidin diflorit)'den üretilmiştir. Membranın çalışma aralığı pH için 2-11, sıcaklık için ise 5-40°C'dir. UF pilot tesisi Şekil 4.12.'de verilmiştir.



Şekil 4.12. UF Pilot Tesisi

Biyolojik arıtmadan çıkan atıksu, kum filtreden geçirildikten sonra geri kazanım tankına alınmakta, buradan da pompa yardımıyla Şekil 4.13.'de akım şeması verilen pilot tesise, gelmektedir. Atıksu bir hatla önce küresel sonra elektrikli vanadan geçerek hamsu (sistem besleme) tankına ulaşmaktadır. Hamsu tankında bulunan yüksek ve alçak seviye şamandıraları sayesinde, sistem içinde oluşabilecek besleme pompasının kuru ortamda çalışması ve besleme tankının taşması gibi sorunlar önlenabilmektedir.



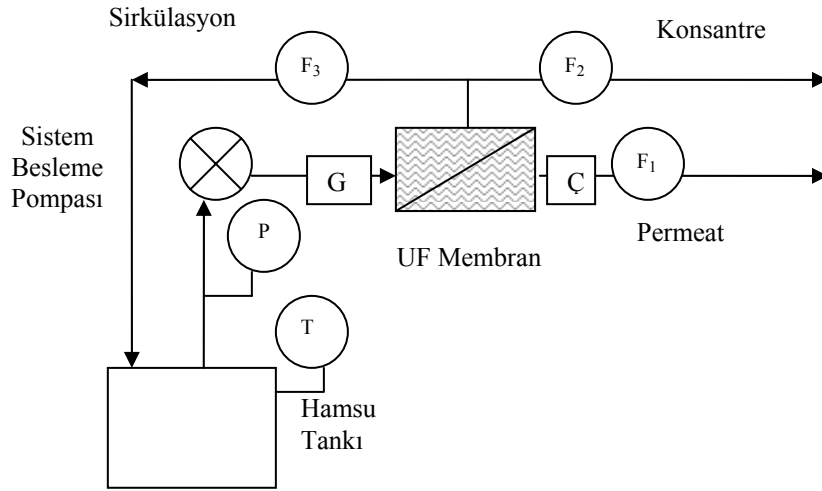
Şekil 4.13. UF Pilot Tesisi Akım Şeması

Yüksek seviye şamandırısı yukarıda ise, ham su tankının taşmaması için elektrikli vana kapalı duruma geçmektedir. Alçak seviye şamandırısı aşağı konumda ise, ham su tankında sistemi beslemek için yeterli su bulunmadığından sistem besleme pompasının kuru ortamda çalışarak arızalanmasını önlemek amacıyla pompa otomatik olarak kapanmaktadır. Sistemde herhangi bir sorundan dolayı tahliye söz konusu olduğunda ham su tahliye vanası kullanılarak pompa ile basılan su tahliye edilebilmektedir. Atıksu, besleme tankından bir pompa yardımıyla UF membranına basılmaktadır. Sistem işletme basıncı, sistem besleme pompası üzerindeki manometreden izlenebilmektedir.

Membrandan çıkan permeat, temiz su debimetresinden geçerek yeniden kullanılmak üzere soğutma kulesine verilmektedir. Konsentrat hattı ikiye ayrılmakta ve büyük bir kısmı sirkülasyon vanası ve pedal tipi debimetreden geçirilerek, projekte edilen akının membran üzerinden geçirilerek mümkün olduğunca az miktarda deşarj yapılması amacıyla, tekrar ham su tankına geri devrettirilirken, diğer kısım debimetreden geçerek dengeleme tankına iletilmektedir.

5. DENEYSEL YÖNTEM

UF Pilot Sistemi, geri kazanım tankından alınan atıksu numunelerine göre bilgisayar ortamında üretici firma tarafından projekte edilen işletme test değerlerine göre çalıştırılıp, çalışma süresi içinde atıksuya bağlı olan işletme değerlerindeki değişiklikler kaydedilmiştir. Projeksiyonda sistemde hedeflenen permeat miktarına bağlı olarak pompa çalışma basıncı ve membranın üzerinden geçmesi gereken minimum akı değeri ve sirkülasyon debisi saptanmıştır. UF pilot tesisin akım şeması Şekil 5.1.'de görülmektedir.



Şekil 5.1. UF Pilot Tesisi Akım Şeması

Akım şeması Şekil 5.1.'de verilen sistemin ilk aşamada minimum akı değeri 40 lt/m²*sa, işletme basıncı P, 4,4 bar ve geri kazanım oranı %90 ile işletilmesi öngörülmüştür.

Bu durumda permeat (temiz su) debisi, membran yüzey alanı 5,1 m² olduğuna göre,

$$F_1 = 40 \text{ lt/m}^2 \cdot \text{sa} * 5,1 \text{ m}^2 \approx 200 \text{ lt/sa}$$

olarak hesaplanmaktadır.

Buna bağlı olarak, diğer işletme parametreleri:

- Konsantre (atık su) debisi (F₂) : 20 lt/sa

- Konsantre sirkülasyon (geri devir) debisi (F_3) : 33 m³/sa
- Çalışma sıcaklığı (T) : 25-40°C
- Çalışma pH'ı : 6-9

olarak saptanmıştır.

Diğer deney setlerinde geri kazanım oranı % 90 esas alınmak suretiyle, akı ve basınç değiştirilerek işletme koşullarındaki farklılık ile çıkış suyu kalitesinin değişimi ve uygunluğu araştırılmıştır. Bu çerçevede uygulanan deney programı Tablo 5.1.'de verilmiştir.

Tablo 5.1. UF Pilot Sistemi Deney Programı

Deney Seti	Günler	Akı (lt/m ² *sa)	Basınç (bar)
1	1-21	40	4,4
2	22-28	100	4,4
3	29-35	100	4
4	36-42	60	3

Giriş (G) ve çıkış (Ç) akımlarından alınan numunelere; KOİ, klor, klorür, alkalinite, toplam sertlik, bulanıklık, pH, TÇM, sıcaklık, renk parametrelerinin analizleri yapılmıştır. Renk parametresinin analizleri 3 farklı dalga boyunda (360 nm, 490 nm ve 360-490 nm arası) yapılmıştır [38].

Soğutma kulesinde kireçlenmeyi ve buna bağlı olarak boru cidarlarının daralmasını engellemek üzere nihai adımda suya Megaphos maddesi ilave edilmekte ve bu maddenin konsantrasyonu kontrol edilmektedir. Bu işlem nihai adımda gerçekleştirildiği için çalışma kapsamında bu maddenin konsantrasyonu ölçülmemiştir.

KOİ ölçümleri ISO 6060 [39], diğer parametreler ise Standart Metodlar'a göre yapılmıştır [40]. Renk ve bulanıklık parametresi atomik spektrofotometre ile tayin edilmiştir. Analizler hergün saat 11.00'de sistem besleme pompasından sonra UF membran sistemine giriş ve çıkış noktalarından alınmıştır.

6. DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Endüstriyel iplik tesisinden kaynaklanan atıksuların tesiste mevcut olan biyolojik arıtma tesisinde arıtıldıktan sonra soğutma kulesinde yeniden kullanımına yönelik olarak geri kazanımı amacıyla kurulan ultrafiltrasyon tesisinde 4 farklı işletme koşulu altında (Deney Seti 1, 2, 3, 4) 42 gün boyunca tesis performansını belirlemek amacı ile, tesis girişi ve çıkışında KOİ, bulanıklık ve renk parametreleri ile pH ve sıcaklık izlenmiş ve değerlendirilmiştir. Bununla birlikte tesiste hergün 11.00 ve 15.00 saatlerinde P, T, F₁, F₂, F₃ olmak üzere işletme koşulları kontrol edilmiştir.

Tesis performansının bir göstergesi olarak beklenmemekle birlikte su kalitesinin özelliklerinin belirlenmesine yönelik olarak giriş ve çıkış akımlarında klor, klorür, alkalinite, toplam sertlik ve toplam çözünmüş madde de (TÇM) ölçülmüş ve bu sonuçlar sırasıyla Ek A.1, Ek B.1, Ek C.1, Ek D.1’de verilmiştir.

6.1 Deney Seti 1 (Permeat Akısı: 40 l/m²*sa ve İşletme Basıncı: 4,4 bar)

21 gün süresince minimum akı değeri 40 l/m²*sa ve işletme basıncı 4,4 bar ile işletilen ve %90 geri kazanım oranı hedeflenen UF tesisinin temiz su (permeat) debisinin 200 l/sa ve konsantre debisinin 20 l/sa olması öngörülmüştür. 21 günlük izleme (D1-D21) süresince tesisinin işletme koşullarına ait değerler Tablo 6.1’de verilmiştir. Bu gözlemler ışığında, öngörülen sirkülasyon debisinin, işletme basıncı ve permeat debisinin fazla değişmediği, atıksu sıcaklığının ve konsantre debisinin ise zaman içinde arttığı görülmüştür. Yüksek orandaki sirkülasyon debisi, atıksu sıcaklığının gün içinde yükselmesine neden olmuştur.

Tablo 6.1. Deney Seti 1'e (J=40 l/m²*sa, P= 4,4 Bar) Ait İşletme Değerleri

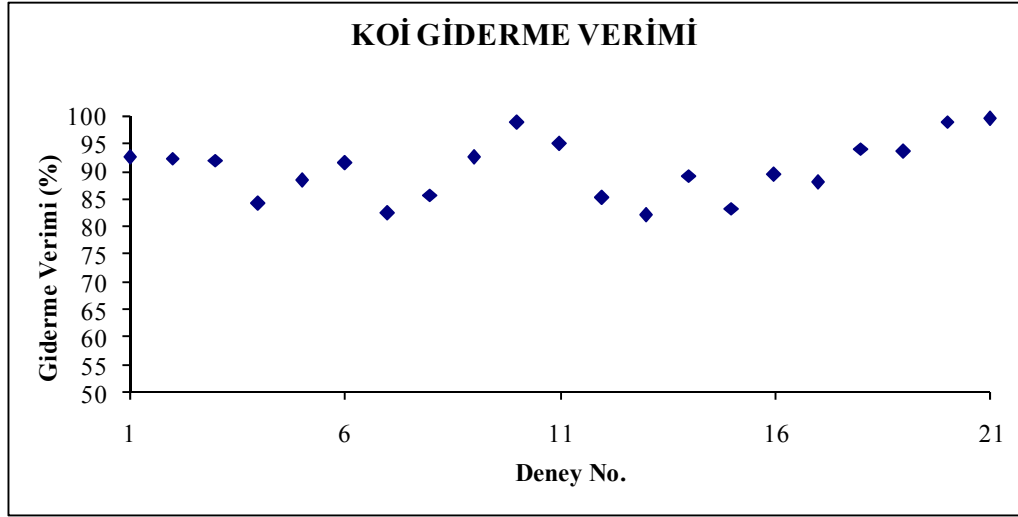
Parametre	İşletme Basıncı; P (bar)		Permeat Debisi; F ₁ (l/sa)		Konsantre Debisi; F ₂ (l/sa)		Sirkülasyon Debisi; F ₃ (m ³ /sa)		Atıksu Sıcaklığı; T (°C)	
Saat	11.00	15.00	11.00	15.00	11.00	15.00	11.00	15.00	11.00	15.00
Deney No										
D1	4,4	4,4	200	200	20	20	33,2	32,9	39,1	38,1
D2	4,4	4,4	200	210	20	25	31,7	30,6	28,1	35,3
D3	4,3	4,2	200	200	30	30	33,5	33,2	30,1	34,4
D4	4,3	4,2	200	210	40	45	33,2	33,6	28,2	34,2
D5	4,4	4,3	210	210	40	20	33,2	33,4	26,6	35,1
D6	4,3	4,3	210	200	25	20	33,6	33,3	30,9	35,6
D7	4,3	4,2	200	210	40	30	33,1	32,9	28,1	34,6
D8	4,2	4,3	210	210	25	35	33,0	33,5	29,1	36,8
D9	4,3	4,4	210	200	40	30	33,2	32,5	32,2	38,5
D10	4,3	4,3	200	200	25	20	33,3	33,6	26,4	35,2
D11	4,2	4,3	210	200	30	25	33,0	32,8	27,1	33,5
D12	4,3	4,3	200	200	35	30	33,1	33,4	26,8	35,5
D13	4,3	4,2	200	210	20	25	32,5	31,9	25,2	36,2
D14	4,2	4,2	210	210	30	40	32,8	33,1	28,1	36,1
D15	4,2	4,3	220	230	20	35	32,6	33,4	32,1	37,5
D16	4,3	4,3	220	230	20	30	33,0	32,7	26,6	38,1
D17	4,4	4,4	220	220	25	30	32,5	31,5	31,5	34,2
D18	4,3	4,2	220	220	25	35	34,1	34,2	25,4	36,5
D19	4,4	4,4	220	210	30	30	29,9	30,9	31,1	36,7
D20	4,3	4,2	220	220	30	30	29,7	32,5	25,9	36,5
D21	4,4	4,4	220	210	30	35	32,5	32,9	25,4	37,1

UF pilot sistemi giriş ve çıkış suyundan alınan numunelerden elde edilen analiz sonuçları Tablo 6.2.'de verilmiştir. Bu verilerden hareketle KOİ, bulanıklık ve renk parametrelerine ait giderme verimlerinin zaman içerisindeki değişimleri hesaplanmış ve sırasıyla Şekil 6.1., 6.2. ve 6.3. oluşturulmuştur. Şekil 6.4. ise ölçülen parametrelerin giderimlerinin birbirleri ile olan ilişkilerinin ortaya konması amacıyla hazırlanmıştır. Buna göre; KOİ, renk ve bulanıklık değerlerinde yüksek giderme verimleri sağlanmış, diğer parametrelerde ise herhangi bir verim elde edilememiştir. Elde edilen sonuçlar, çalışmanın sonuna doğru giriş değerlerinin arttığını fakat aynı oranda da giderme veriminin de yükseldiğini göstermiştir. Diğer parametrelere ait analiz değerleri Ek A.1'de verilmiştir.

Tablo 6.2. Deney Seti 1'e (J=40 l/m²*sa, P= 4,4 Bar) Ait Analiz Sonuçları

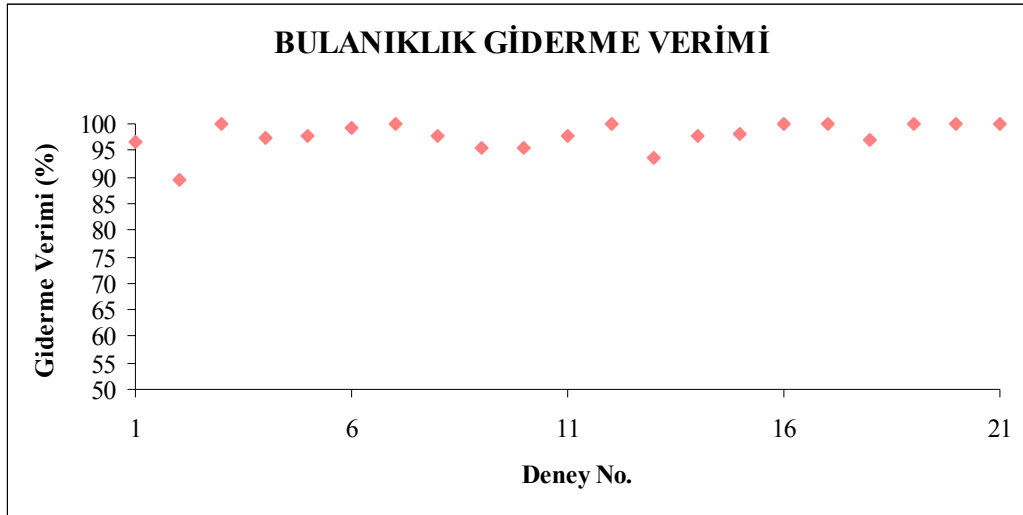
Parametre	KOİ (mg/l)		Bulanıklık (NTU)		Renk 360nm (HZ)		Renk 490nm (HZ)		Renk 360-490nm (HZ)		Sıcaklık (°C)		pH	
Numune Adı	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış
Deney No.														
D1	335	25	92,8	3,2	0,948	0,035	1,276	0,002	1,61	0,028	39,1	34,5	7,46	7,54
D2	130	10	15,2	1,6	0,339	0,012	0,223	0,005	0,292	0,013	28,1	38,4	7,59	7,48
D3	125	10	12,8	0	0,267	0	0,169	0	0,264	0	30,1	36,8	7,38	7,44
D4	95	15	30,4	0,8	0,694	0,035	0,471	0,005	0,678	0,033	28,2	37,4	7,3	7,72
D5	130	15	36,0	0,8	0,740	0,021	0,510	0	0,726	0,019	26,6	39,1	7,27	7,49
D6	235	20	102,4	0,8	1,800	0,031	1,350	0,002	1,747	0,030	30,9	37,4	7,46	7,52
D7	85	15	48,8	0	1,030	0,007	0,729	0	0,995	0,003	28,1	40,3	7,5	7,39
D8	140	20	68,8	1,6	1,288	0,005	0,920	0	1,267	0,003	29,1	39,2	7,65	7,57
D9	135	10	70,4	3,2	1,398	0,012	1,010	0	1,380	0,006	32,2	38,3	7,34	7,48
D10	165	<10	91,2	4,0	1,455	0	1,040	0	1,412	0	26,4	37,4	7,33	7,3
D11	200	10	99,2	2,4	1,670	0,028	1,253	0	1,644	0,022	27,1	36,2	7,29	7,4
D12	170	25	78,4	0	1,650	0,035	1,150	0,002	1,517	0,030	26,8	35,7	7,37	7,34
D13	140	25	64,0	4,0	1,515	0,040	1,131	0,012	1,497	0,039	25,2	34,4	7,5	7,4
D14	140	15	75,2	1,6	1,404	0,027	1,036	0	1,360	0,023	28,1	31,4	7,57	7,52
D15	180	30	82,4	1,6	1,544	0,041	1,161	0,014	1,530	0,044	32,1	32,2	7,28	7,56
D16	190	20	90,4	0	1,940	0,033	1,484	0,001	1,915	0,029	26,6	30,2	7,47	7,44
D17	210	25	92,0	0	1,720	0,033	1,297	0	1,684	0,032	31,5	28,4	7,48	7,42
D18	255	15	128,0	4,0	1,960	0,032	1,514	0	1,910	0,029	25,4	29,5	7,24	7,38
D19	310	20	152,0	0	2,370	0,042	1,948	0,006	2,350	0,041	31,1	32,3	7,4	7,32
D20	515	<10	166,8	0	1,812	0,035	1,394	0	1,752	0,025	25,9	35,4	7,47	7,36
D21	420	<10	156,8	0	2,329	0,046	1,903	0,010	2,777	0,043	25,4	34,2	7,46	7,62

Deney Seti 1'deki KOİ giderme verimi Şekil 6.1.'de verilmiştir. Giderme verimlerinin % 82-99 arasında olduğu gözlemlenmiş, sistemin ilk çalıştırılmasından itibaren gözlenen salınımların 17. günden itibaren daha dengeli bir hal aldığı tespit edilmiştir.



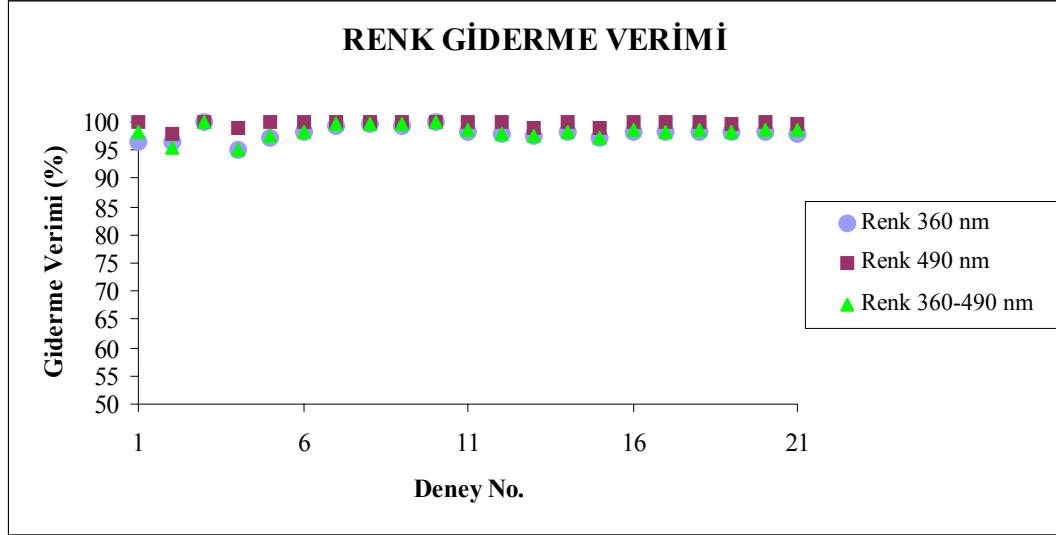
Şekil 6.1. Deney Seti 1'de ($J=40 \text{ l/m}^2\cdot\text{sa}$, $P= 4,4 \text{ Bar}$) Elde Edilen KOİ Giderme Verimleri

Deney Seti 1'deki bulanıklık giderme verimi Şekil 6.2'de verilmiştir. Buna göre bulanıklık giderme verimi % 89-100 gibi yüksek değerler elde edilmiş, giriş bulanıklık değerinin yüksek olduğu günlerde daha yüksek verim elde edildiği gözlemlenmiştir.



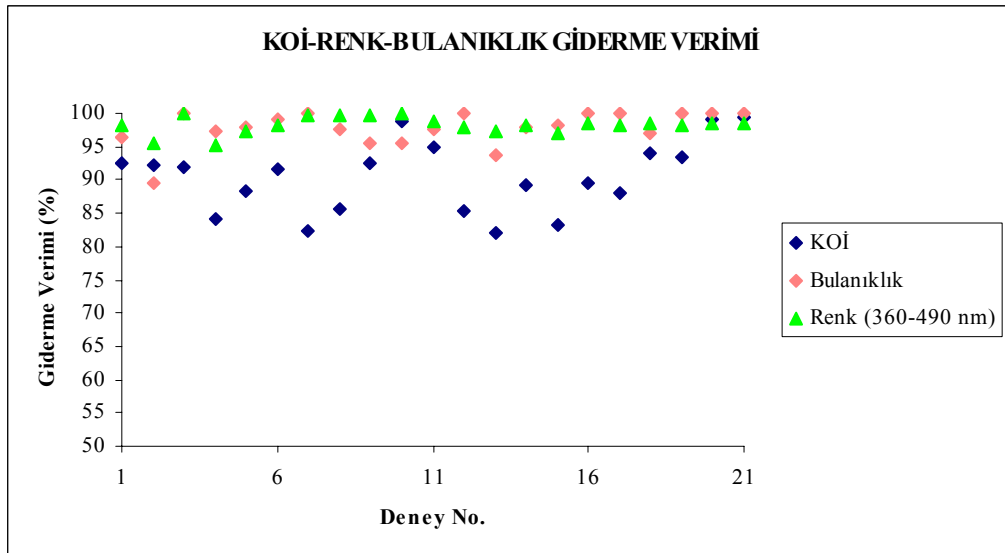
Şekil 6.2. Deney Seti 1'de ($J=40 \text{ l/m}^2\cdot\text{sa}$, $P= 4,4 \text{ Bar}$) Elde Edilen Bulanıklık Giderme Verimi

Deney Seti 1'deki renk giderme verimi Şekil 6.3.'de verilmiştir. Buna göre; 360 nm için % 95-100, 490 nm için % 98-100 ve 360-490 nm arası için % 95-100 renk giderme verimleri elde edilmiş, verimin en çok yeşil rengin hakim olduğu 490 nm dalga boyunda gözlemlenmiştir.



Şekil 6.3. Deney Seti 1'de ($J=40 \text{ l/m}^2\cdot\text{sa}$, $P= 4,4 \text{ Bar}$) Elde Edilen Renk Giderme Verimi

Şekil 6.4. ile verilen parametreler arası etkileşim dikkate alındığında bulanıklık ile renk gideriminin birbiri ile ilişkili olduğu ve hemen hemen aynı giderim verimi ile ortamdan uzaklaştırıldığı görülmektedir.



Şekil 6.4. Deney Seti 1'de ($J=40 \text{ l/m}^2\cdot\text{sa}$, $P= 4,4 \text{ Bar}$) Elde Edilen KOİ, Bulanıklık ve Renk Giderme Verimi

6.2 Deney Seti 2 (Permeat Akısı: 100 l/m²*sa ve İşletme Basıncı: 4,4 bar)

Deney Seti 2 ile işletme basıncı (4,4 bar) Deney Seti 1 ile aynı kalmak suretiyle, akı miktarı maksimum değer olan 100 l/ m²*sa değerine çıkarılarak su kalitesindeki değişimlerin ve membranın performansı takip edilmesi hedeflenmiştir. Bu deney setinde temiz su debisinin 500 l/sa ve konsantre debisinin ise 50 l/sa olması öngörülmüştür. 7 günlük (D22-D28) izleme süresince tesisinin işletme koşullarına ait değerler Tablo 6.3.'de verilmiştir. Bu gözlemler ışığında, öngörülen sirkülasyon debisinin, işletme basıncı ve permeat debisinin çok fazla değişmediği, atıksu sıcaklığının ve konsantre debisinin ise zaman içinde arttığı görülmüştür. Yüksek orandaki sirkülasyon debisi, atıksu sıcaklığını gün içinde yükseltmiştir.

Tablo 6.3. Deney Seti 2'ye (J=100 l/m²*sa, P= 4,4 Bar) Ait İşletme Değerleri

Parametre	İşletme Basıncı; P (bar)		Permeat Debisi; F ₁ (l/sa)		Konsantre Debisi; F ₂ (l/sa)		Sirkülasyon Debisi; F ₃ (m ³ /sa)		Atıksu Sıcaklığı; T (°C)	
Saat	11.00	15.00	11.00	15.00	11.00	15.00	11.00	15.00	11.00	15.00
Deney No.										
D22	4,3	4,3	500	500	50	50	30,4	32,8	29,3	34,2
D23	4,4	4,4	510	510	50	55	32,9	36,1	31,2	35,5
D24	4,4	4,4	520	510	50	55	36,1	35,4	26,7	36,2
D25	4,4	4,4	510	500	50	50	32,2	32,9	28,4	35,5
D26	4,4	4,4	510	520	55	55	33,1	33,2	27,6	34,6
D27	4,4	4,4	500	490	55	60	32,8	33,6	29,6	34,7
D28	4,2	4,3	510	510	60	55	33,1	33,4	26,5	34,2

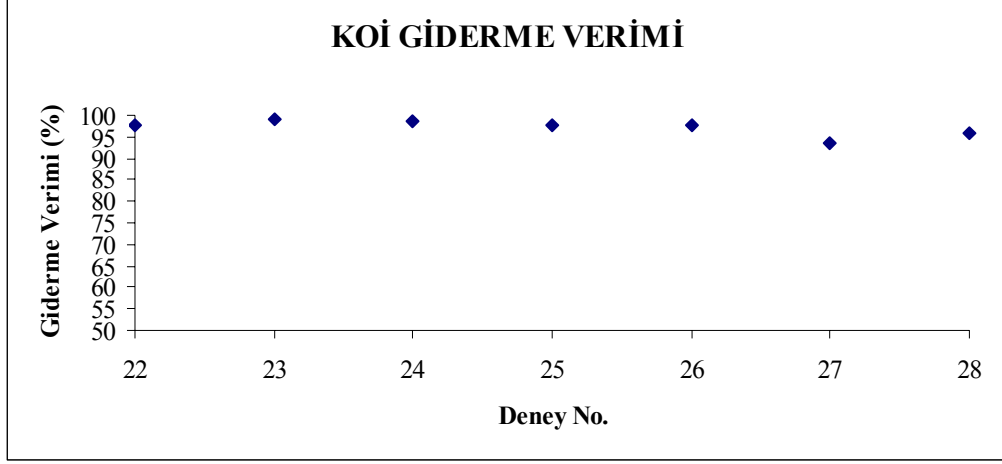
UF pilot sistemi giriş ve çıkış suyundan alınan numunelerden elde edilen analiz sonuçları Tablo 6.4.'de verilmiştir. Bu verilerden hareketle KOİ, bulanıklık ve renk parametrelerine ait giderme verimlerinin zaman içerisindeki değişimleri hesaplanmış ve sırasıyla Şekil 6.5., 6.6. ve 6.7. oluşturulmuştur. Şekil 6.8. ise ölçülen parametrelerin giderimlerinin birbirleri ile olan ilişkilerinin ortaya konması amacıyla hazırlanmıştır. Buna göre; KOİ, renk ve bulanıklık değerlerinde yüksek giderme verimleri sağlanmıştır. Yüksek giriş değerlerine karşılık akı değerinin artırılması giderme verimlerinin artmasına neden olmuştur.

Diğer parametrelere ait analiz değerleri Ek B.1'de verilmiştir. Bu parametrelerde ultrafiltrasyon uygulamasından beklendiği üzere herhangi bir giderim gözlenmemiştir.

Tablo 6.4. Deney Seti 2'ye (J=100 l/m²*sa, P= 4,4 Bar) Ait Analiz Sonuçları

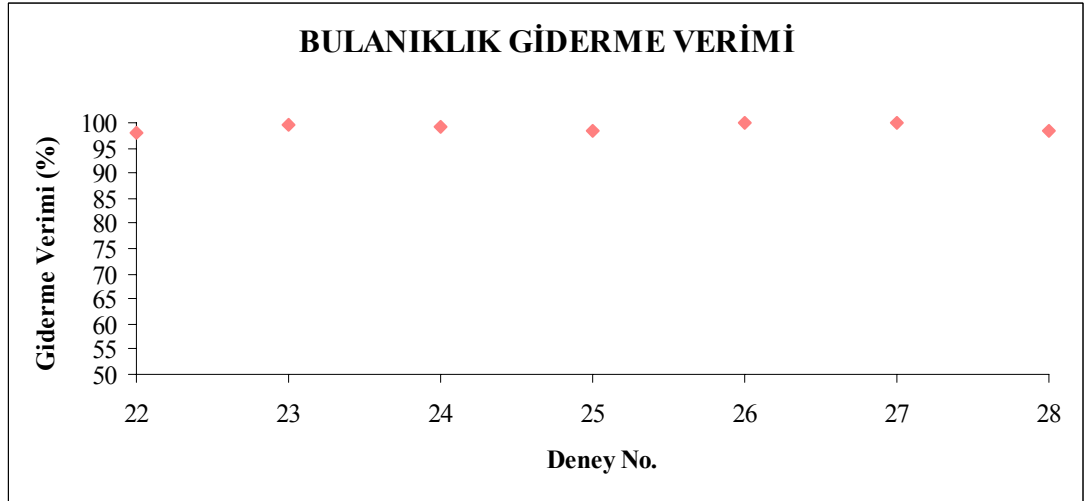
Parametre	KOİ (mg/l)		Bulanıklık (NTU)		Renk 360nm (HZ)		Renk 490nm (HZ)		Renk 360-490nm (HZ)		Sıcaklık (°C)		pH	
Numune Adı Deney No.	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış
D22	375	<10	176,8	3,2	2,321	0,030	1,836	0	2,213	0,021	32,2	32,3	7,4	7,37
D23	430	<10	178,4	0,8	2,390	0,039	1,925	0,006	2,310	0,038	31,2	31,1	7,37	7,34
D24	765	<10	195,2	1,6	2,385	0,035	1,935	0,007	2,341	0,034	35,2	35,3	7,47	7,47
D25	430	10	200,8	3,2	2,496	0,035	2,073	0,005	2,457	0,033	34,7	34,6	7,38	7,46
D26	410	10	190,4	0	2,477	0,035	2,040	0,004	1,114	0,029	30,1	30,2	7,49	7,5
D27	470	30	203,2	0	2,502	0,050	2,120	0,006	2,465	0,047	29,8	29,7	7,62	7,5
D28	620	25	217,6	3,2	2,496	0,040	2,136	0,010	2,392	0,040	32,1	32,2	7,32	7,46

Deney seti 2'deki KOİ giderme verimi Şekil 6.5.'de verilmiştir. Buna göre giderme verimi % 94-99 arasında gözlemlenmiş, sistemin giriş suyu KOİ değeri yükselmesine rağmen akının maksimum değere çıkarılması ile sistemden yüksek giderme verimi elde edildiği gözlemlenmiştir. Akı artmasının daha sabit bir giderme veriminin gözlenmesine yol açtığı tespit edilmiştir.



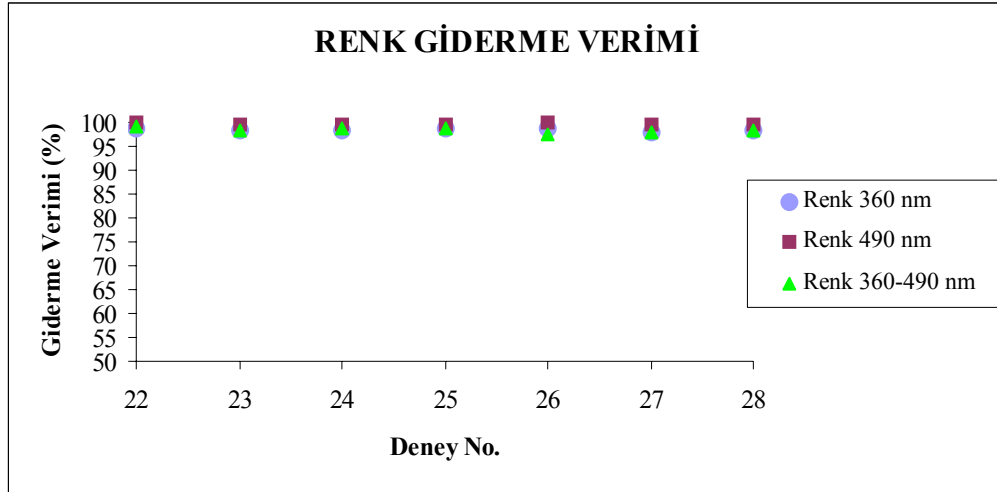
Şekil 6.5. Deney Seti 2'de ($J=100 \text{ l/m}^2\text{sa}$, $P= 4,4 \text{ Bar}$) Elde Edilen KOİ Giderme Verimi

Deney seti 2'deki bulanıklık giderme verimi Şekil 6.6.'da verilmiştir. Buna göre bulanıklık giderme verimi % 98-100 gibi çok yüksek değerler elde edilmiş, bulanıklık giriş değerinin yükselmesine rağmen, bulanıklık giderme veriminin de buna paralel olarak yükseldiği gözlemlenmiştir.



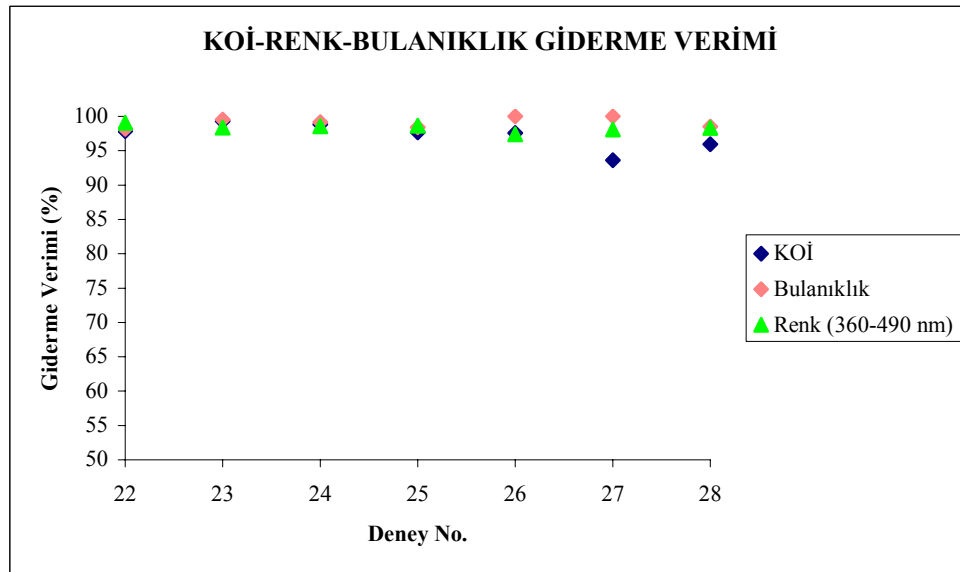
Şekil 6.6. Deney Seti 2'de ($J=100 \text{ l/m}^2\text{sa}$, $P= 4,4 \text{ Bar}$) Elde Edilen Bulanıklık Giderme Verimi

Deney seti 2'deki renk giderme verimi Şekil 6.7.'de verilmiştir. Buna göre; 360 nm için % 98, 490 nm için % 99-100 ve 360-490 nm arası için % 97-99 renk giderme verimleri elde edilmiş, en yüksek giderme veriminin bu deney setinde ve giderme veriminin en çok 490 nm dalga boyunda olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 6.7. Deney Seti 2'de ($J=100 \text{ l/m}^2\cdot\text{sa}$, $P= 4,4 \text{ Bar}$) Elde Edilen Renk Giderme Verimi

Yüksek oranda giderilen bu parametrelerin giderme verimleri Şekil 6.8.'de verilmiştir. Bu değerler kendi aralarında incelendiğinde; akı değerinin maksimum değere çıkarılması ile verimin daha da arttığı ve KOİ, bulanıklık ile renk gideriminin birbirine yakın değerlerde seyrettiği gözlemlenmiştir.



Şekil 6.8. Deney Seti 2'de ($J=100 \text{ l/m}^2\cdot\text{sa}$, $P= 4,4 \text{ Bar}$) Elde Edilen KOİ, Renk ve Bulanıklık Giderme Verimi

6.3 Deney Seti 3 (Permeat Akısı: 100 l/m²*sa ve İşletme Basıncı: 4,0 bar)

Deney seti 3, temiz su akısının aynı (100 l/m²*sa) kalmak suretiyle işletme basıncının 4,4 bardan 4 bar değerine düşürülmesi durumunda, aynı debinin düşük enerji ile çalışan sistemin su kalitesindeki değişimlerin ve membran performansının belirlenmesi hedeflenmiştir. 7 günlük (D29-D35) izleme süresince tesisinin işletme koşullarına ait değerler Tablo 6.5.'de verilmiştir. Gözlemler, öngörülen, işletme basıncı ve permeat debisinin çok fazla değişmediği fakat sirkülasyon debisi, atıksu sıcaklığı ve konsantre debisinin ise zaman içinde arttığı görülmüştür. Basıncın azalması ile birlikte orandaki sirkülasyon debisinin düştüğü gözlemlenmiş, atıksu sıcaklığının gün içinde yükseldiği saptanmıştır.

Tablo 6.5. Deney Seti 3'e (J=100 l/m²*sa, P= 4,0 Bar) Ait İşletme Değerleri

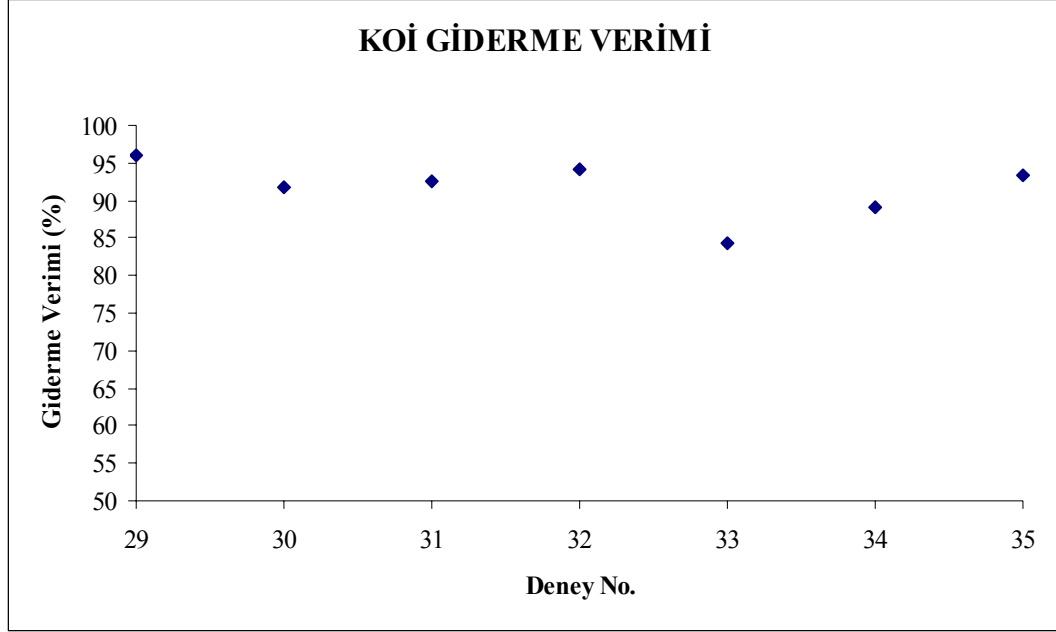
Parametre	İşletme Basıncı; P (bar)		Permeat Debisi; F ₁ (l/sa)		Konsantre Debisi; F ₂ (l/sa)		Sirkülasyon Debisi; F ₃ (m ³ /sa)		Atıksu Sıcaklığı; T (°C)	
Saat	11.00	15.00	11.00	15.00	11.00	15.00	11.00	15.00	11.00	15.00
Deney No.										
D29	4,0	4,0	500	500	55	50	30,4	32,2	26,4	36,5
D30	3,9	4,0	500	510	55	60	32,8	32,5	27,3	35,2
D31	3,9	4,0	510	510	55	50	32,6	33,1	26,5	30,1
D32	4,0	4,1	520	510	55	55	33,5	33,0	29,8	35,4
D33	4,1	4,1	510	500	50	55	32,4	32,5	26,2	33,2
D34	4,1	4,0	510	520	55	60	31,9	32,7	26,9	31,6
D35	4,0	4,1	500	490	55	55	30,7	31,2	28,9	32,4

UF pilot sistemi giriş ve çıkış suyundan alınan numunelerden elde edilen analiz sonuçları Tablo 6.6.'da verilmiştir. Bu verilerden hareketle KOİ, bulanıklık ve renk parametrelerine ait giderme verimlerinin zaman içerisindeki değişimleri hesaplanmış ve sırasıyla Şekil 6.9., 6.10. ve 6.11. oluşturulmuştur. Şekil 6.12. ise ölçülen parametrelerin giderimlerinin birbirleri ile olan ilişkilerinin ortaya konması amacıyla hazırlanmıştır. KOİ, renk ve bulanıklık değerlerinde yüksek değer giderme verimleri sağlanmış, diğer parametrelerde ise herhangi bir verim elde edilememiştir. Sonuçlar, yüksek giriş değerlerine karşılık işletme basıncının azalması ile giderme verimlerinde azalma olduğunu göstermiştir Diğer parametrelere ait analiz değerleri Ek C.1'de verilmiştir.

Tablo 6.6. Deney Seti 3'e (J=100 l/m²*sa, P= 4,0 Bar) Ait Analiz Sonuçları

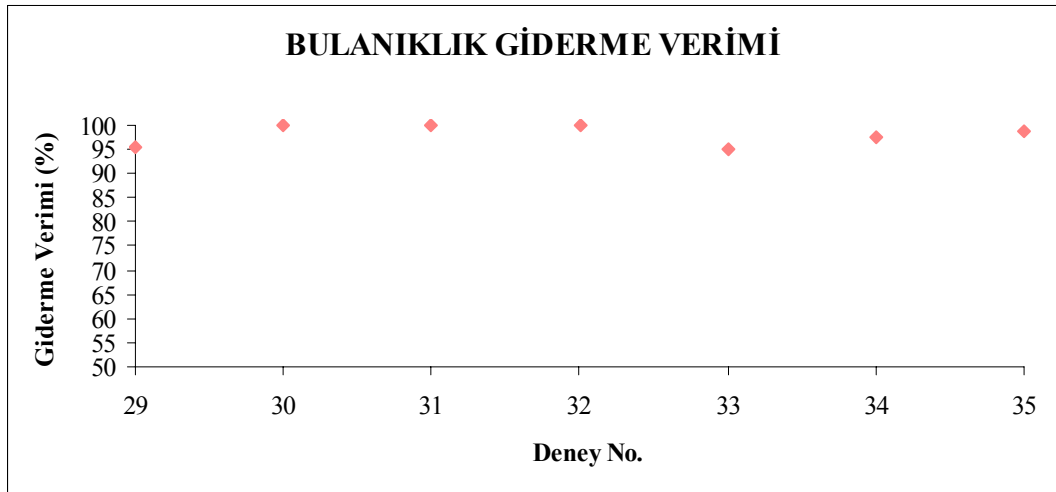
Parametre	KOİ (mg/l)		Bulanıklık (NTU)		Renk 360nm (HZ)		Renk 490nm (HZ)		Renk 360-490nm (HZ)		Sıcaklık (°C)		pH	
Numune Adı	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış
Deney No.														
D29	370	15	165,6	7,2	2,340	0,027	1,813	0	2,210	0,025	30,5	30,5	7,3	7,33
D30	430	35	184,8	0	2,488	0,046	2,083	0,005	2,455	0,034	32,6	32,6	7,55	7,77
D31	410	30	188	0	2,424	0,021	1,984	0	2,405	0,016	31,4	31,5	7,22	7,28
D32	430	25	173,6	0	2,414	0,033	1,965	0,003	2,361	0,032	32,5	32,6	7,33	7,19
D33	385	60	169,6	8,6	2,370	0,114	1,964	0,160	2,335	0,120	33,6	33,5	7,26	7,51
D34	365	40	149,6	4	2,135	0,085	1,678	0,026	2,120	0,085	32,5	32,4	7,35	7,38
D35	150	10	65,6	0,8	1,217	0,015	0,850	0	1,221	0,011	30,1	30,3	7,5	7,65

Deney seti 3'deki KOİ giderme verimi Şekil 6.9.'da verilmiştir. Buna göre KOİ giderme verimi % 84-95 arasında gözlemlenmiş, işletme basıncının azalması ile KOİ giderme veriminde azalma görülmüştür.



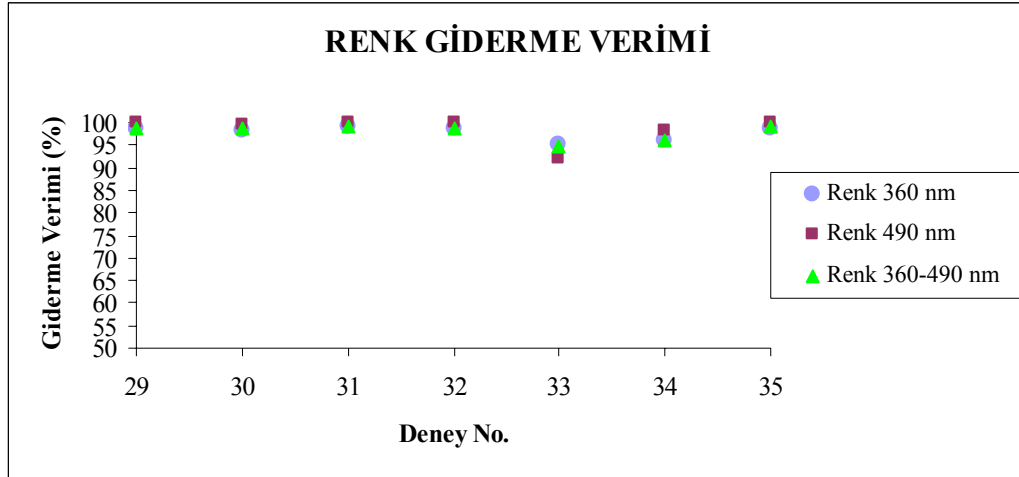
Şekil 6.9. Deney Seti 3'de ($J=100 \text{ l/m}^2\cdot\text{sa}$, $P= 4,0 \text{ Bar}$) Elde Edilen KOİ Giderme Verimi

Deney seti 3'deki bulanıklık giderme verimi Şekil 6.10.'da verilmiştir. Buna göre bulanıklık giderme verimi % 87-100 arasında elde edilmiş, bulanıklık değerinin işletme basıncı düşüşünden fazla etkilenmediği gözlemlenmiştir.



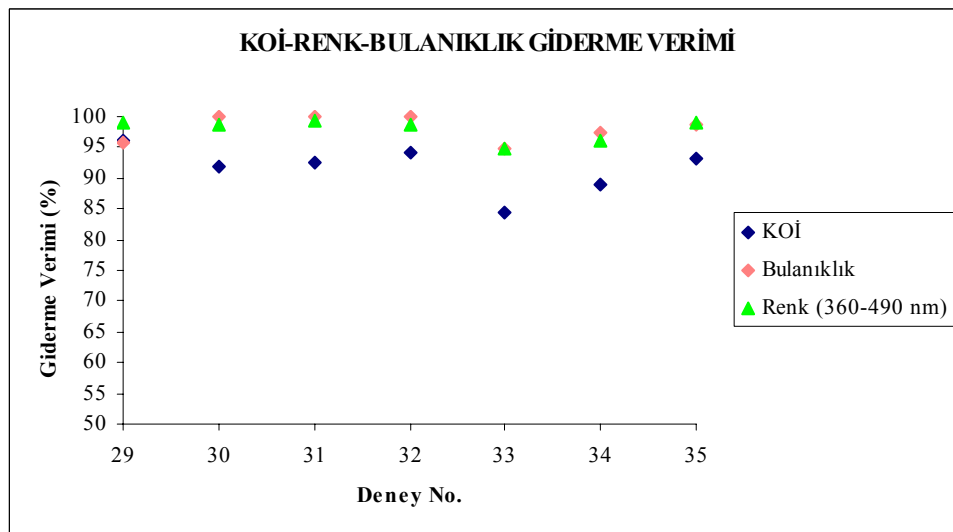
Şekil 6.10. Deney Seti 3'de ($J=100 \text{ l/m}^2\cdot\text{sa}$, $P= 4,0 \text{ Bar}$) Elde Edilen Bulanıklık Giderme Verimi

Deney seti 3'deki renk giderme verimi Şekil 6.11.'de verilmiştir. Buna göre; 360 nm için % 95-99, 490 nm için % 91-100 ve 360-490 nm arası için % 95-99 renk giderme verimleri elde edilmiş, giderme veriminin, işletme basıncının azalmasından etkilendiği gözlemlenmiştir.



Şekil 6.11. Deney Seti 3'de ($J=100 \text{ l/m}^2\cdot\text{sa}$, $P= 4,0 \text{ Bar}$) Elde Edilen Renk Giderme Verimi

KOİ, bulanıklık ve renk giderme verimleri Şekil 6.12.'de verilmiştir. Bu değerler kendi aralarında incelendiğinde; KOİ, bulanıklık ile renk gideriminin birbirine yakın değerlerde seyrettiği, her 3 parametrenin de işletme basıncının azalması ile verimlerinin azaldığı ve aynı giriş suyu karakterine aynı tepkiyi verdikleri gözlemlenmiştir.



Şekil 6.12. Deney Seti 3'de ($J=100 \text{ l/m}^2\cdot\text{sa}$, $P= 4,0 \text{ Bar}$) KOİ, Renk ve Bulanıklık Giderme Verimi

6.4 Deney Seti 4 (Permeat Akısı: 60 l/m²*sa ve İşletme Basıncı: 3,0 bar)

En son uygulanan deney setinde ise, temiz su akısı 60 l/m²*sa değeri olması öngörülmüş ve işletme basıncı değeri 3 bar değerine düşürülerek, düşük basınç ile elde edilen temiz suyun kalitesindeki değişimlerin ve membran performansının belirlenmesi hedeflenmiştir. 7 günlük (D36-D42) izleme süresince tesisinin işletme koşullarına ait değerler Tablo 6.7.'de verilmiştir. Gözlemler, öngörülen sirkülasyon debisi, işletme basıncı, konsantre ve permeat debisinin çok fazla değişmediği fakat, atıksu sıcaklığının sirkülasyon debisi sebebiyle gün içinde yükseldiği saptanmıştır.

Tablo 6.7 Deney Seti 4'e (J=60 l/m²*sa, P= 3,0 Bar) Ait İşletme Değerleri

Parametre	İşletme Basıncı; P (bar)		Permeat Debisi; F ₁ (l/sa)		Konsantre Debisi; F ₂ (l/sa)		Sirkülasyon Debisi; F ₃ (m ³ /sa)		Atıksu Sıcaklığı; T (°C)	
Saat	11.00	15.00	11.00	15.00	11.00	15.00	11.00	15.00	11.00	15.00
Deney No.										
D36	3,0	3,0	300	300	30	30	33,4	33,1	27,3	30,1
D37	3,0	3,1	310	310	35	30	32,2	33,3	28,5	31,5
D38	3,1	3,0	300	310	40	30	33,5	32,5	30,1	36,3
D39	3,2	3,1	300	290	35	35	33,2	32,5	28,9	34,2
D40	3,0	3,1	300	300	35	40	33,1	32,8	24,3	32,1
D41	3,1	3,1	300	310	30	35	34,6	33,3	27,4	30,5
D42	3,0	3,1	310	310	35	35	32,5	32,6	24,3	32,1

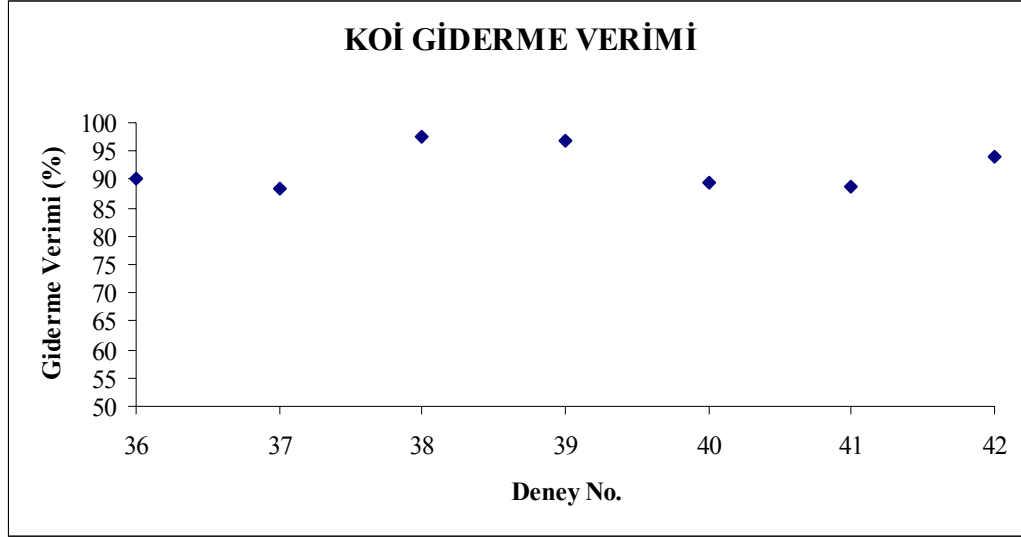
UF pilot sistemi giriş ve çıkış suyundan alınan numunelerden elde edilen analiz sonuçları Tablo 6.8'de verilmiştir. Bu verilerden hareketle KOİ, bulanıklık ve renk parametrelerine ait giderme verimlerinin zaman içerisindeki değişimleri hesaplanmış ve sırasıyla Şekil 6.13., 6.14. ve 6.15. oluşturulmuştur. Şekil 6.16. ise ölçülen parametrelerin giderimlerinin birbirleri ile olan ilişkilerinin ortaya konması amacıyla hazırlanmıştır. Buna göre; KOİ, renk ve bulanıklık değerlerinde yüksek giderme verimleri sağlanmış, diğer parametrelerde ise herhangi bir verim elde edilememiştir. Bu parametrelere ait analiz değerleri Ek D.1'de verilmiştir.

Sonuçlar, işletme basıncının ve akının azalması ile giderme verimlerinde artış olduğunu, sistemi daha düşük işletme basıncında ve ortalama akıda işletildiğinde daha yüksek verim elde edildiğini göstermiştir

Tablo 6.8. Deney Seti 4'e (J=60 l/m²*sa, P= 3,0 Bar) Ait Analiz Sonuçları

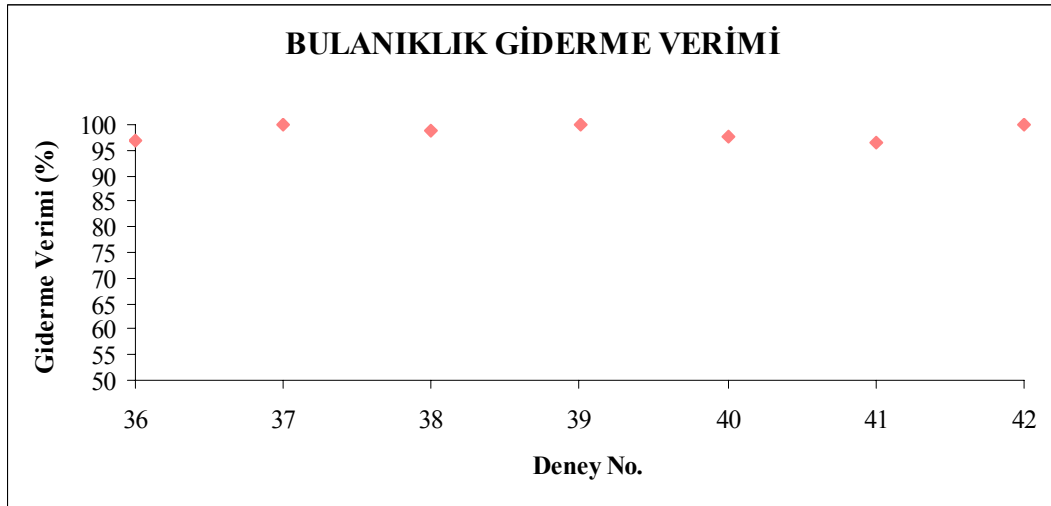
Parametre	KOİ (mg/l)		Bulanıklık (NTU)		Renk 360nm (HZ)		Renk 490nm (HZ)		Renk 360-490nm (HZ)		Sıcaklık (°C)		pH	
Numune Adı Deney No.	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış
D36	200	20	80	2,4	1,574	0,026	1,147	0,004	1,564	0,025	30,5	30,6	8,03	7,58
D37	215	25	91,2	0	1,705	0,029	1,260	0,001	1,695	0,029	31,2	31,3	7,6	7,54
D38	320	<10	144	1,6	2,148	0,031	1,682	0	2,153	0,028	32,5	32,4	7,98	7,59
D39	485	15	216,8	0	2,465	0,057	1,915	0,005	2,412	0,056	30,2	30,2	7,13	7,72
D40	240	25	110,4	2,4	1,844	0,029	1,4	0,002	1,83	0,027	28,7	28,8	7,56	7,5
D41	45	<10	23,2	0,8	0,555	0,047	0,36	0,003	0,545	0,047	29,6	29,5	7,4	7,76
D42	255	15	195,2	0	2,04	0,117	1,925	0,002	1,965	0,026	30,5	30,6	7,1	7,1

En son uygulanan deney setindeki KOİ giderme verimi Şekil 6.13.'da verilmiştir. Buna göre KOİ giderme verimi % 88-97 arasında gözlemlenmiş, sistem daha düşük basınçta ve akıda işletilmesine rağmen yüksek giderme verimi elde edildiği görülmüştür.



Şekil 6.13. Deney Seti 4’de ($J=60 \text{ l/m}^2\cdot\text{sa}$, $P= 3,0 \text{ Bar}$) Elde Edilen KOİ Giderme Verimi

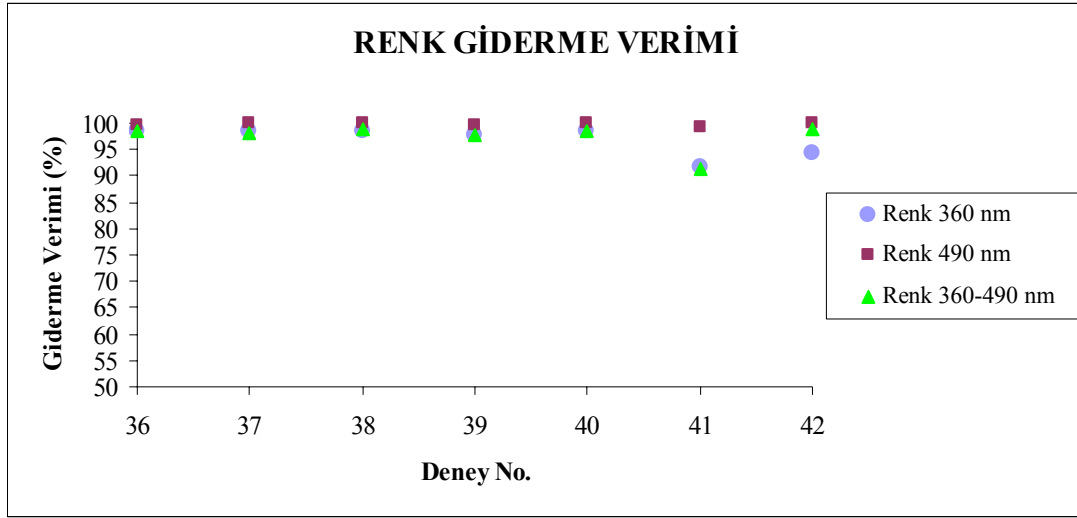
Deney seti 4’deki bulanıklık giderme verimi Şekil 6.14.’da verilmiştir. Buna göre bulanıklık giderme verimi % 97-100 arasında elde edilmiş, bulanıklık değerinin sistemin düşük işletme basıncından çok fazla etkilenmediği ve yüksek verim elde edildiği saptanmıştır.



Şekil 6.14 Deney Seti 4’de ($J=60 \text{ l/m}^2\cdot\text{sa}$, $P= 3,0 \text{ Bar}$) Elde Edilen Bulanıklık Giderme Verimi

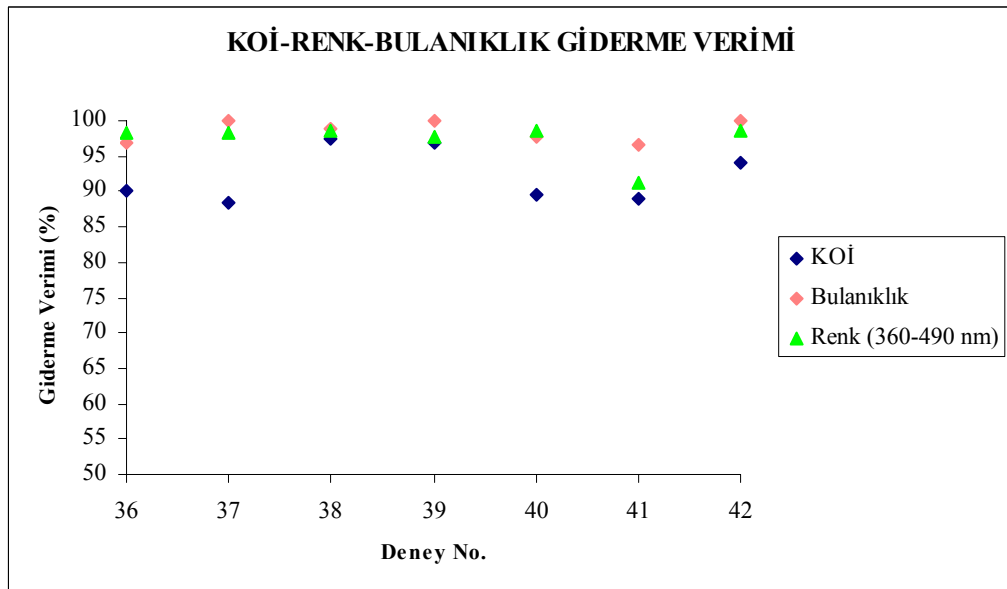
Deney seti 4’deki renk giderme verimi Şekil 6.15’de verilmiştir. Buna göre; 360 nm için % 91-97, 490 nm için % 99-100 ve 360-490 nm arası için % 91-99 renk giderme

verimleri elde edilmiş, 490 nm dalga boyunda %100'e yakın bir giderme verimi elde edildiği gözlemlenmiştir.



Şekil 6.15. Deney Seti 4'de ($J=60 \text{ l/m}^2\cdot\text{sa}$, $P= 3,0 \text{ Bar}$) Elde Edilen Renk Giderme Verimi

KOİ, bulanıklık ve renk giderme verimleri Şekil 6.16.'da verilmiştir. Bu değerler kendi aralarında incelendiğinde; KOİ, bulanıklık ile renk gideriminin bu işletme şartlarında birbirinden farklı verimlerde çalıştığı gözlemlenmiştir.



Şekil 6.16. Deney Seti 4'de ($J=60 \text{ l/m}^2\cdot\text{sa}$, $P= 3,0 \text{ Bar}$) Elde Edilen KOİ, Renk ve Bulanıklık Giderme Verimi

4 farklı deney seti için KOİ, bulanıklık ve renk parametrelerine bağlı giriş ve çıkış suyu ortalama değerleri Tablo 6.9.'da verilmiştir.

Tablo 6.9. Farklı İşletme Koşullarındaki Giriş ve Çıkış Suyu Kalitesinin Karşılaştırılması

Deney Seti	Günler	KOİ Ort. (min-max) (mg/l)		Bulanıklık Ort. (min-max) (NTU)		Renk 360nm Ort. (min-max) (HZ)		Renk 490nm Ort. (min-max) (HZ)		Renk 360-490nm Ort.(min-max) (HZ)	
		Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış
1	1-21	205 (85-515)	15 (<10-30)	83,5 (12,8-166,8)	1,4 (0-4)	1,42 (0,26-2,37)	0,02 (0-0,04)	1,09 (0,17-1,95)	0,003 (0-0,01)	1 (0,26-2,77)	0,02 (0-0,04)
2	22-28	500 (375-765)	15 (<10-30)	194,6 (176,8-217,6)	1,7 (0-3,2)	2,44 (2,32-2,5)	0,04 (0,03-0,05)	2,00 (1,83-2,14)	0,005 (0-0,01)	2,19 (1,11-2,47)	0,04 (0,02-0,05)
3	29-35	365 (150-430)	30 (10-60)	156,7 (65,6-188)	3,0 (0-8,6)	2,2 (1,22-2,45)	0,05 (0,01-0,11)	1,76 (0,85-2,08)	0,028 (0-0,16)	2,16 (1,22-2,45)	0,05 (0,01-0,12)
4	36-42	250 (45-485)	15 (<10-25)	123 (23,2-216,8)	1,0 (0-2,4)	1,76 (0,55-2,47)	0,05 (0,03-0,12)	1,38 (0,36-1,92)	0,002 (0-0,005)	1,74 (0,55-2,41)	0,04 (0,03-0,1)

4 farklı deney seti için KOİ, bulanıklık ve renk parametrelerine bağlı giderme verimleri Tablo 6.10.'de verilmiştir. Buna göre KOİ, bulanıklık ve renk parametrelerinde %90'nın üstünde bir verim sağlanmış, ultrafiltrasyon sistemi en yüksek giderme verimini deney seti 2'de, en düşük giderme verimini ise deney seti 1'de göstermiştir.

Tablo 6.10. Farklı İşletme Koşullarındaki Giderme Verimlerinin Karşılaştırılması

Deney Seti	Günler	KOİ (%)	Bulanıklık (%)	Renk 360 nm (%)	Renk 490 nm (%)	Renk 360-490nm (%)
1	1-21	90,4	97,8	98,1	99,7	98,3
2	22-28	97,3	99,1	98,5	99,7	98,3
3	29-35	91,6	98,1	97,8	98,6	97,9
4	36-42	92,2	98,6	96,7	99,7	97,4

Aynı basınçta ancak farklı akılarda çalışan sistemin giderme verimleri arasında karşılaştırma yapıldığında; daha yüksek akı ile çalışan sistemin KOİ ve bulanıklık giderme verimi daha yüksek olduğu ancak renk giderme veriminin değişmediği gözlemlenmiştir.

Aynı akıda ancak daha düşük basınçta çalışan sistemin verimi işletme basıncına bağlı olarak düşmüştür. Ortalama akıda ve düşük işletme basıncında çalışan sistemin, düşük akıda ancak yüksek işletme basıncında çalışan sistemden daha fazla giderme verimi elde ettiği gözlemlenmiştir. Bu da besleme pompasını daha düşük verimde çalıştırıp, daha fazla miktarda ve daha yüksek kalitede suyu daha az enerji harcayarak elde edilebileceğini göstermiştir.

Akı ve işletme basıncının aynı oranda artması ile gerekli filtrasyon hızının sağlandığı ve yüksek verim elde edildiği, düşük akılarda ise basınca bağlı olarak giderme veriminde salınım olduğu gözlemlenmiştir.

Ultrafiltrasyon sisteminde; membrandan geçmesi gereken su miktarını sağlamak için öngörülen sirkülasyon debisinin yüksek olması, pompa yatağının ve buna bağlı olarak atıksu sıcaklığının artmasına sebep olmuştur. Çıkış suyu sıcaklığı soğutma kulesinde kullanılacak su sıcaklığından yüksek olduğundan, ultrafiltrasyondan elde edilen suyun doğrudan kullanılması yerine bir ön su soğutma kulesinden geçirilerek uygun sıcaklığa getirilmesi gerekmektedir.

7. SONUÇLAR

Bir endüstriyel iplik üretim tesisinde; tuz hazırlama, polimerizasyon, çekme ve sarma işlemleri sonucu oluşan atıksuların geri kazanılarak soğutma kulesinde soğutma suyu olarak kullanılması hedeflenmiştir. Bu amaçla, atıksuların arıtıldığı biyolojik arıtma tesisi sonrasında ultrafiltrasyon sistemi kullanılmıştır. Bu doğrultuda, ultrafiltrasyon sistemi 4 farklı işletme koşulunda işletilmiş ve bu çalışma kapsamında gözlenen parametreler uyarınca elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Ultrafiltrasyon pilot sistemi ile kolloidal maddelerin ve organik maddelerin, bulanıklık ve renk parametrelerinin %90 üzerinde bir verim ile giderildiği görülmüştür.

1.deney setinde; 4,4 bar işletme basıncında ve 40 l/m²*sa akı ile işletilen sistemin KOİ giderme verimi %90; bulanıklık giderme verimi %98 ve renk giderme verimi %98 olarak gözlemlenmiştir.

2. deney setinde; 4,4 bar işletme basıncında ve 100 l/m²*sa akı ile işletilen sistemin KOİ giderme verimi %97; bulanıklık giderme verimi %99 ve renk giderme verimi %98 olarak gözlemlenmiştir.

3. deney setinde; 4,0 bar işletme basıncında ve 100 l/m²*sa akı ile işletilen sistemin KOİ giderme verimi %91; bulanıklık giderme verimi %98 ve renk giderme verimi %97 olarak gözlemlenmiştir.

4. deney setinde; 3,0 bar işletme basıncında ve 60 l/m²*sa akı ile işletilen sistemin KOİ giderme verimi %92; bulanıklık giderme verimi %98 ve renk giderme verimi %97 olarak gözlemlenmiştir.

Genel olarak incelenen her bir parametre için her deney setinde de oldukça yüksek verimler gözlenmesine rağmen, en yüksek giderme veriminin deney seti 2’de, en düşük giderme veriminin ise deney seti 1’de olduğu saptanmıştır.

Aynı basınçta ancak farklı akılarda çalışan sistemin giderme verimleri arasında karşılaştırma yapıldığında; daha yüksek akı ile çalışan sistemin KOİ ve bulanıklık giderme verimi daha yüksek olduğu ancak renk giderme veriminin değişmediği gözlemlenmiştir.

Aynı akıda ancak daha düşük basınçta çalışan sistemin verimi işletme basıncına paralel olarak düşmüştür.

Ortalama akıda ve düşük işletme basıncında çalışan sistemin, düşük akıda ancak yüksek işletme basıncında çalışan sistemden daha fazla giderme verimi elde ettiği gözlemlenmiştir. Bu da sistemin daha düşük işletme basıncında, daha fazla miktarda ve daha yüksek kalitede suyu daha az enerji harcayarak elde edilebileceğini göstermiştir.

Ultrafiltrasyon sisteminin gözenek çapları 1 ve 2 değerlikli iyonların gözenek boyutundan büyük olduğundan, iletkenlik, TÇM, klorür, alkalinite ve toplam sertlik değerlerinde bir verim elde edilememiştir. Bu parametrelerin giderilebilmesi hedeflendiği takdirde, ultrafiltrasyon sisteminden sonra ikinci kademe olarak nanofiltrasyon sistemi kullanılması önerilebilir.

Sistemin çalışması sırasında, sirkülasyon debisinin yüksek olması nedeniyle pompa yatağı ve buna bağlı olarak atıksu sıcaklığı artmıştır. Çıkış suyu sıcaklığı soğutma kulesinde kullanılacak su sıcaklığından yüksek olduğundan, ultrafiltrasyondan elde edilen suyun doğrudan kullanılması yerine bir ön su soğutma kulesinden geçirilmesi gerekmektedir.

Pilot sistemin işletme aşamasında ultrafiltrasyon membranının kirlenme ve tıkanma testlerinin yapılması büyük önem taşımaktadır. Ancak membran kirlenmesi ile ilgili verilerin oluşturulması bu çalışma kapsamında hedeflenmemiştir.

Tesis içinde ihtiyaç duyulabilecek farklı su kalitesi gereksinimlerine yönelik geri kazanım alternatiflerini de değerlendirmek üzere ultrafiltrasyon sistemi dışında farklı membran tipleri de denenmesi önerilebilir.

Ultrafiltrasyon pilot tesisi çıkış suyunun 2. bir geri kazanım alternatifi de; üretim tesisine demineralize su sağlayan ters osmoz ünitesine besleme suyu olarak verilmesidir. Literatürde ultrafiltrasyon kullanılarak ön arıtma yapılmış atıksuların ters osmoz ünitesine verildiği birçok uygulama mevcut olmakla beraber, ultrafiltrasyon ile organik maddenin tamamının giderilememesi ters osmoz membranı

içinde biyofilm oluşumuna ve dolayısıyla membranın tıkanmasına ve kullanım ömrünün kısalmasına neden olabilecektir. Bu nedenle bu endüstri dalındaki uygulamada organik madde miktarının ters osmoz sistemini etkilemeyecek düzeylerde giderimine dikkat edilmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] **Göknıl, H., Toröz, İ. ve Çimşit, Y.**, 1984. Endüstriyel Atıksuların Kontrol ve Kısıtlama Esasları Projesi – Tekstil Endüstrisi, İTÜ Çevre ve Şehircilik Uygulama Araştırma Merkezi, İstanbul.
- [2] **Tünay, O.**, 1996“Endüstriyel Kirlenme Kontrolü”, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- [3] **Germirli F.,Tünay, O.,Orhon, D.**, 1990. An overview of the textile industry in Turkey - pollution profiles and treatability characteristics, *Water Science and Technology*, **22 (9)**, 255-265.
- [4] **Lin, S. H. and Peng, C. F.**, 1994. Treatment of textile wastewater by electrochemical method, *Water Research*, **28 (2)**, 277-282.
- [5] **Freeman, H. M.**, 1995. *Pollution prevention in the textile industries*, in Industrial Pollution Prevention Handbook, pp. 829-847, McGraw-Hill, Inc.
- [6] **Eremektar, G., Germirli, F., Çeki, S., Tünay, O.**, 1997. Tekstil endüstrisi atıksularında inert KOİ - örnek uygulama, *Su Kirlenmesi Kontrolü*, **7 (2)**, 25-31.
- [7] **Lin, S. H. and Chen, M. L.**, 1997. Treatment of textile wastewater by chemical methods for reuse, *Water Research*, **31 (4)**, 868-876.
- [8] **Kınacı C., Germirli Babuna F., Görgün E., Sözen S. ve Büyükdere A.**, 2006. Avrupa Birliği entegre kirlilik önleme ve kontrol direktifinin (ippc) Türkiye’ye uyarlanması teknolojik açıdan yol haritası oluşturulması: tekstil endüstrisi, *DPT Proje Raporu*, İstanbul.
- [9] **Tünay, O.**, 1988. Tekstil endüstrisi atıksularının arıtılmasında kullanılan yöntem ve yaklaşımlar, *Tekstil ve Teknik*, **40**, 98-101.
- [10] **Germirli Babuna, F., Dulkadiroğlu, H., İnsel, H. G., Karahan, Ö. ve Orhon, D.**, 1998. Tekstil Endüstrisinde Tesis İçi Kontrol – Genel Bakış, *VI*.

Endüstriyel Kirlenme Kontrolü Sempozyumu, İTÜ, İstanbul, 3-5 Haziran, s. 232-246.

- [11] **Külahıoğlu, D.**, 2002 Avrupa Birliği entegre kirlilik önleme ve kontrolü direktifi ve Türkiye, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [12] **European Commission**, 2003. Integrated pollution prevention control(ippc) reference document on best available techniques for textile industry.
- [13] **UNEP IE**, 1994. The textile industry and the environment, *Technical Report*, **16**,
- [14] **Veldhuisen, D. R. van**, 1994. Technical and economic aspects of measures to reduce water pollution from the textile finishing industry, *Comission des Communautés Européennes, Direction Générale Environnement, Securite Nucleaire et protection Civile*, Paris, France.
- [15] **Smith, B.**, 1986. Identification and Reduction of Pollution Sources in Textile Wet Processing, North Caroline Department of Environment Health and Natural Resources, North Caroline.
- [16] **Smith, B.**, 1988. A Workbook for Pollution Prevention by Source Reduction in Textile Wet Processing, Department of Environment Health and Natural Resources, North Caroline.
- [17] **Elvers, B.**, 1995. Elvers' s Encyclopedia of Industrial Chemistry, **A26 (14)**, pp. 487
- [18] **Routte**, 1996. Emisyonların azaltılması ve hammaddelerin korunması için üretime entegre edilmiş tedbirler, *Tekstil endüstrisinde çevre koruma sempozyumu*, Ankara, 18 Kasım.
- [19] **EPA**, 1977. Federal Guidelines, State and Local Pretreatment Programs, *Appendix 8, Construction Grants Program Information*, **EPA-430/9-76-017c.**, USA.
- [20] **Tchobanoglous, G. and Stensel, H. D.**, 2003. Membrane Filtration Processes in *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse/ Metcalf&Eddy*, pp. 1104-1136, The McGraw-Hill Inc., New York.
- [21] **Schierach, M.**, 1988. Desalination By Reverse Omosis, Hydrotenic.

- [22] **Yalçın, F.**, 1998. Membran Proseslerle Endüstriyel Atıksularda Renk Giderimi, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [23] **Scott, K.**, 1995. Handbook of Industrial Membranes, Elsevier Advanced Technology Oxford, London.
- [24] **Pinto, C.G., Laespada, M.E.F., Pavon, J.L.P. and Cordero, B.M.**, 1999. Analytical Applications of Separation Techniques through Membranes, *Laboratory Automation and Information Management*, **34**, pp. 115-130.
- [25] **Cardew, P.T. and Le, M.S.**, 1998. Membrane Processes: A Technology Guide, Athenacum Press Ltd., England.
- [26] **Baker, R.W.**, 2004. Membrane Technology and Applications, John Wiley& Sons, Ltd., England.
- [27] **Fried, J.R.**, 2003. Polymer Science and Technology, Prentice-Hall PTR, pp. 485-525.
- [28] **Taylor, J.S., Thomson, B., Snyder, R., Less, J., and Mulford, L.**, 1986. Cost and performance evaluation of in-plant trihalometane control techniques, *EPA/600/52-85/138*.
- [29] **Taylor, J.S., Thomson, B., and Carswell, J.K.**, 1987. Applying membrane processes to groundwater sources for trihalomethane precursor control, *Journal of American Water Works Association*, **79**(8), 72-82.
- [30] **Taylor, J.S., Mulford, L., Barrett, W.M., Duranceau, S.J. and Smith, D.K.**, 1989a. Cost and performance of membrane processes for organic control on small systems, *EPA*.
- [31] **Taylor, J.S., Mulford, L., Duranceau, S.J., and Barrett, W.M.**, 1989b. Cost and performance of a membrane pilot plant, *Journal of American Water Works Association*, **81**(11), 52-60.
- [32] **Ciardelli G., Corsi L. and Marcucci M.**, 2000. Membrane separation for wastewater reuse in the textile industry, *Resources, Conservation and Recycling*, **31**, 189-197
- [33] **Fersi C., Gzara L. and Dhahbi M.**, 2005. Treatment of textile effluents by membrane technologies, *Desalination*, **185**, 399-409.

- [34] **Woerner, D. L. ,** 2002. Membrane technology in textile operations, *Koch Membran Systems*, Wilmington, MASS, USA.
- [35] **Bes-Pia A., Mendoza J.A., Alcaina-Miranda M.I., Iborra-Clar A. and Iborra-Clar M. I.,** 2002. Reuse of wastewater of the textile industry after its treatment with a combination of physico-chemical treatment and membrane technologies, *Desalination*, **149**, 169-174.
- [36] **Bes-Pia A., Iborra-Clar M. I., Iborra-Clar A., Mendoza-Roca J.A., Cuartas-Uribe B. and Alcaina-Miranda M.I.,** 2005. Nanofiltration of textile industry wastewater using a physicochemical process as a pre-treatment, *Desalination*, **178**, 343-349.
- [37] **Allegre C., Moulin P., Maisseu M., Charbit F.,** 2003. Treatment and valorization of the textile wastewater,
- [38] **Suksaroj C., Héran M., Allégre C. and Persin F.,** 2005. Treatment of textile plant effluents by nanofiltration and/or reverse osmosis for water reuse, *Desalination*, **178**, 333-341.
- [39] **ISO,** 1986. *Water Quality – Determination of the chemical oxygen demand* Ref. No. ISO 6060-1986.
- [40] **Clescerl L. S., Greenberg E. A. , Eaton A. D., A.,** 1999. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, American Public Health Association, New York.

EKLER

Ek A.1 Deney Seti 1'e ($J=40 \text{ l/m}^2\cdot\text{sa}$, $P= 4,4 \text{ Bar}$) Ait Analiz Sonuçları

Ek B.1 Deney Seti 2'ye ($J=100 \text{ l/m}^2\cdot\text{sa}$, $P= 4,4 \text{ Bar}$) Ait Analiz Sonuçları

Ek C.1 Deney Seti 3'e ($J=100 \text{ l/m}^2\cdot\text{sa}$, $P= 4,4 \text{ Bar}$) Ait Analiz Sonuçları

Ek D.1 Deney Seti 4'e ($J=100 \text{ l/m}^2\cdot\text{sa}$, $P= 4,4 \text{ Bar}$) Ait Analiz Sonuçları

Tablo A.1 Deney Seti 1'e (J=40 l/m²*sa, P= 4,4 Bar) Ait Analiz Sonuçları

Parametre	Klor (mg/l)		M. Alkalinite (mg/l)		Klorür (mg/l)		Toplam Sertlik (mg/l CaCO ₃)		İletkenlik (µS)		TÇM (mg/l)	
Numune Adı	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış
Deney No.												
D1	0,74	0,05	82,49	79,42	128	128	183,1	182,1	772	766	389	378
D2	0,16	0,07	97,41	93,68	120	88	189,6	188,5	802	802	401	400
D3	0,03	0,02	99,39	97,63	136	112	188,5	188,2	762	793	380	396
D4	0,05	0,02	101,8	100,56	136	120	194,5	189,6	808	809	403	405
D5	0,27	0,08	94,27	93,68	120	120	185,3	183,88	835	817	416	408
D6	0,82	0,04	119,35	114,4	144	120	198,5	194,75	814	822	408	413
D7	0,45	0,08	88,28	86,33	120	88	180,63	176,8	805	803	403	401
D8	0,52	0,04	101,3	89,4	120	112	177	176,6	806	804	403	402
D9	0,53	0,08	92,33	88,95	104	96	175,5	172,63	794	807	397	404
D10	0,64	0,01	99,54	88,95	96	96	188	172,5	817	812	409	405
D11	0,74	0,01	92,33	90,08	104	104	173,38	170,75	817	812	408	406
D12	0,7	0,08	103,37	101,59	136	112	165,25	162	799	721	399	361
D13	0,52	0,03	103,6	102,5	136	128	165,6	159,1	781	735	391	363
D14	0,5	0,04	110,35	101,56	120	120	184,5	181	797	792	398	396
D15	0,11	0,04	106,29	104,57	144	144	209,5	198,25	835	792	417	397
D16	0,14	0,06	116,43	112,6	120	120	203,6	200,5	844	842	422	421
D17	0,12	0,02	94,58	93,46	112	104	197	193,39	826	807	413	403
D18	0,02	0,02	96,08	94,6	128	128	185,4	185	811	803	406	401
D19	0,03	0,01	95,26	83,68	88	88	186,25	179,75	781	778	390	387
D20	0,02	0,02	98,6	90,08	96	96	185,2	174,5	739	752	370	376
D21	0,04	0,02	101,79	100,59	96	96	173,02	169,93	755	742	378	371

Tablo B.1 Deney Seti 2'ye ($J=100 \text{ l/m}^2\text{sa}$, $P= 4,4 \text{ Bar}$) Ait Analiz Sonuçları

Parametre	Klor (mg/l)		M. Alkalinite (mg/l)		Klorür (mg/l)		Toplam Sertlik (mg/l CaCO_3)		İletkenlik (μS)		TÇM (mg/l)	
Numune Adı	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış
Deney No.												
D22	0,04	0,05	117,1	108,1	104	104	173,03	166,72	737	735	369	368
D23	0,03	0,07	117,1	109,9	104	96	176	168,98	736	735	368	367
D24	0,05	0,03	149,08	145,93	112	88	209,67	202,29	788	786	394	394
D25	0,06	0,02	128,13	119,8	112	72	197,15	178,24	773	769	387	384
D26	0,02	0,02	132,19	126,34	104	104	192,78	184,93	764	761	382	380
D27	0,02	0,01	125	121,83	104	104	192,78	191,59	747	747	373	374
D28	0,04	0,04	133,54	118	112	112	202,78	191,23	754	683	377	341

Tablo C.1 Deney Seti 3'e (J=100 l/m²*sa, P= 4,4 Bar) Ait Analiz Sonuçları

Parametre	Klor (mg/l)		M. Alkalinite (mg/l)		Klorür (mg/l)		Toplam Sertlik (mg/l CaCO ₃)		İletkenlik (µS)		TÇM (mg/l)	
Numune Adı	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış
Deney No.												
D29	0,06	0,01	137,15	127,46	88	88	216,22	205,75	781	767	390	384
D30	0,04	0,05	137,15	124,76	104	112	210,75	190,3	779	754	389	377
D31	0,02	0,02	138,04	128,13	88	88	216,2	193,73	777	767	388	384
D32	0,02	0,03	137,37	118,68	104	80	200,51	194,33	762	740	381	371
D33	0,04	0,03	144,57	133,9	120	120	214,08	191,11	764	750	382	375
D34	0,02	0,01	149,3	135,1	104	104	197,2	196,1	764	761	381	380
D35	0,08	0,07	130,8	122,87	96	96	205,04	196	790	767	395	383

Tablo D.1 Deney Seti 4'e (J=100 l/m²*sa, P= 4,4 Bar) Ait Analiz Sonuçları

Parametre	Klor (mg/l)		M. Alkalinite (mg/l)		Klorür (mg/l)		Toplam Sertlik (mg/l CaCO ₃)		İletkenlik (µS)		TÇM (mg/l)	
Numune Adı	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış
Deney No.												
D36	0,08	0,06	136,02	125,44	96	96	202,42	189,92	795	779	397	389
D37	0,11	0,21	157,19	132,56	104	96	218,72	212,77	847	813	424	406
D38	0,01	0,01	101,9	91,21	120	96	187,9	177,43	820	792	410	396
D39	0,06	0,02	113,3	93,46	88	88	192	180,2	796	763	398	381
D40	0,25	0,19	140,3	127,91	96	96	212,5	197,1	902	895	450	447
D41	0,1	0,09	100,44	97,74	120	120	176,05	172,05	854	830	427	415
D42	0,2	0,1	104,5	100,2	127	126	168,05	164,05	762	744	371	362

ÖZGEÇMİŞ

Akın BÜYÜKDERE 1981 yılında İstanbul’da doğmuştur. İlköğrenimini Erenköy İlkokulu’nda tamamlamış, orta ve lise öğrenimini Cağaloğlu Anadolu Lisesi’nde bitirmiştir. Üniversite eğitimini Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü’nde 2004 senesinde tamamlamış ve aynı sene içinde İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Bilimleri ve Mühendisliği Bölümü’ne başlamıştır.