

**KOCELİ ÜNİVERSİTESİ \* FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**PAMUKLU TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ATIKSULARININ  
MEMBRAN TEKNOLOJİSİ İLE GERİ KAZANIMI**

**YÜKSEK LİSANS**

**Çevre Müh. Nur DEMİRAL**

**Anabilim Dalı: Çevre Mühendisliği**

**Danışman: Yard. Doç. Dr. Ayla ARSLAN**

**KOCAELİ, 2008**

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ \* FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**PAMUKLU TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ATIKSULARININ  
MEMBRAN TEKLONOJİSİ İLE GERİ KAZANIMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**Çevre Müh. Nur DEMİRAL**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 23 Eylül 2008**

**Tezin Savunulduğu Tarih: 15 Ekim 2008**

**Tez Danışmanı**

**Yrd.Doç.Dr. Ayla ARSLAN**

(.....)

**Üye**

**Yrd.Doç.Dr. Sevil Veli**

(.....)

**Üye**

**Doç.Dr. İsmail KOYUNCU**

(.....)

**KOCAELİ, 2008**

## **ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR**

Tekstil endüstrisinden kaynaklanan atıksularda fazla miktarda boyar madde ve yardımcı kimyasallar kullanılmakta ve sonuçta yüksek konsantrasyonda çözünmüş madde içeren atıksuların klasik arıtma yöntemleri ile arıtılması neredeyse imkânsızdır. İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümüne ait İleri Teknoloji Araştırma Laboratuvarında gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda tekstil endüstrisi atıksularının çeşitli membranlar yardımıyla arıtılması incelenmiştir. Ters Osmoz ve Nanofiltrasyon membranlarının tekstil atıksularının arıtımında başarı ile kullanılabileceği gözlenmiştir.

Öncelikle Yüksek Lisans'a başladığımdan beri membran teknolojileri konusunda çalışmaya yönelten, bana karşı her türlü yardımını esirgemeyen değerli danışman hocam Yard. Doç. Dr. Ayla ARSLAN' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, deneysel çalışma imkanı sunan ve çalışmalarımın her aşamasında bilgi ve yardımlarıyla beni yönlendiren İTÜ hocalarından değerli hocam, Doç. Dr. İsmail KOYUNCU' ya şükranlarımı arz ederim. İTÜ araştırma görevlilerinden Esra ERDİM, Elif SOYER ve değerli arkadaşım Selin TAŞIYICI' ya en içten duygularıyla teşekkür ederim.

Hayatım boyunca sonsuz desteklerini esirgemeyen ve beni bu günlere getiren sevgili annem Filiz DEMİRAL ve babam Oktay DEMİRAL' a teşekkürlerimi sunarım.

Nur DEMİRAL  
Eylül 2008

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ.....	vi
KISALTMALAR.....	vii
ÖZET.....	viii
İNGİLİZCE ÖZET.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Çalışmanın Anlam ve Önemi.....	1
2. MEMBRAN PROSESLER.....	3
2.1. Membran Proseslere Genel Bakış.....	3
2.2. Basınç Uygulamalı Membranlar.....	6
2.3. Membranların Verimlilikleri.....	7
2.3.1. Akı.....	7
2.3.2. Giderme verimi.....	8
2.4. Basınç Kuvveti Altında Çalışan Membranlar.....	8
2.4.1. Mikrofiltrasyon.....	8
2.4.2. Ultrafiltrasyon.....	9
2.4.3. Nanofiltrasyon.....	11
2.4.4. Ters Osmoz.....	11
2.5. Membran Performansı.....	13
2.6. Membran Prosesi Uygulama Alanları.....	15
3. TEKSTİL ENDÜSTRİSİ.....	18
3.1. Tekstil Endüstrisinde Proses ve İşlemler.....	21
3.2. Tekstil Sektöründe Kullanılan Boyar Maddeler.....	22
3.3. Tekstil Endüstrisinden Kaynaklanan Atıksuların Özellikleri.....	23
3.4. Tekstil Atıksularının Arıtımı.....	24
3.5. Tekstil Atıksularının Arıtılmasında Kullanılan Kimyasal Yöntemler.....	29
3.5.1. Oksidasyon.....	30
3.5.2. H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> -Fe(II) Tuzları (Fenton ayırıcı).....	30
3.5.3. Ozon.....	30
3.5.4. Fotokimyasal Yöntem.....	32
3.5.5. Sodyum Hipoklorit (NaOCl).....	32
3.5.6. Elektrokimyasal Yöntem.....	33
3.5.7. Kimyasal Floklaştırma ve Çöktürme Yöntemi.....	34
3.5.8. Cucurbituril ile Arıtım.....	34
3.6. Fiziksel Yöntemler.....	35
3.6.1. Adsorpsiyon.....	35
3.6.2. Membran Filtrasyonu.....	36
3.6.3. İyon Değişimi.....	36
3.7. Biyolojik Yöntemler.....	37
3.7.1. Aerobik Yöntem.....	37

3.7.2. Anaerobik ve Aerobik Yöntemler.....	38
1. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	42
4.1. Çalışmanın Amaç ve İçeriği.....	42
4.2. Çalışılan Prosesin Tanımı.....	43
4.3. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Membranlara Ait Teknik Özellikler.....	53
4.4. Deneylerde kullanılan atıksular ve gözlemlenen parametreler.....	54
4.5. Akı Değerinin Hesaplanması.....	55
4.6. Deneysel Çalışmaların Aşamaları.....	56
4.6.1. Arıtma Tesisi Çıkış Suyu.....	57
4.6.2. Kasar (% 20) ve Yıkama Suyu (% 80) Karışımı.....	61
4.6.3. Kasar Suyu.....	63
4.6.4. Yıkama Sonrası Suyu.....	65
4.6.5. Boya Sonrası (% 33) ve Yıkama Suyu (% 66) Karışımı.....	69
4.6.6. Boya Sonrası.....	73
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	75
KAYNAKLAR.....	78
ÖZGEÇMİŞ.....	81

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Membran prosesleri ve por büyüklükleri.....	5
Şekil 2.2. Temel bir ters osmoz prosesi.....	12
Şekil 4.1. Deneysel çalışmaların yapıldığı atıksu numuneleri.....	42
Şekil 4.2. Akım Şeması.....	44
Şekil 4.3. Deney düzeneğinin görüntüsü.....	46
Şekil 4.4. Kasar suyunun bulunduğu besleme tankının görüntüsü.....	47
Şekil 4.5. Membran hücresinin görünümü.....	48
Şekil 4.6. Membran Hücresi.....	48
Şekil 4.7. Membran hücresinin kapalı görüntüsü.....	49
Şekil 4.8. Membran hücresi ve sıkıştırma kabı.....	49
Şekil 4.9. Yüksek basınç Pompası.....	50
Şekil 4.10. Kontrol Paneli.....	50
Şekil 4.11. Pilot Tesis.....	51
Şekil 4.12. Kirlenmiş bir Ultrafiltrasyon görüntüsü.....	52
Şekil 4.13. Kirlenmiş Mikrofiltrasyonların görüntüsü.....	52
Şekil 4.14. pH metrenin görüntüsü.....	54
Şekil 4.15. Spektrofotometre.....	55
Şekil 4.16. Bilgisayara bağlı terazi ve süzüntü kabının görüntüsü.....	56
Şekil 4.17. Atıksu numuneleri.....	57
Şekil 4.18. Atıksu numunelerinin görüntüsü.....	57
Şekil 4.19. AT Çıkış suyunun görüntüsü.....	58
Şekil 4.20. NF den geçirilen AT çıkış suyunun basınç -akı grafiği.....	58
Şekil 4.21. NF ve UF-NF arasındaki Basınç - Renk giderme verimi.....	59
Şekil 4.22. RO ve UF-RO arasındaki Basınç - Renk giderme verimi.....	60
Şekil 4.23. NF ve UF-NF arasındaki Akı -Basınç ilişkisi.....	60
Şekil 4.24. RO ve UF-RO arasındaki Akı -Basınç ilişkisi.....	61
Şekil 4.25. NF ve UF-NF arasındaki Akı -Basınç ilişkisi.....	62
Şekil 4.26. RO ve UF-RO arasındaki Akı -Basınç ilişkisi.....	62
Şekil 4.27. Ham Kasar Suyunun Görüntüsü.....	63
Şekil 4.28. UF-RO ve UF-NF arasındaki Akı - Basınç ilişkisi.....	64
Şekil 4.29. UF-NF TOK-Basınç ilişkisi.....	64
Şekil 4.30. UF-RO TOK-Basınç ilişkisi.....	64
Şekil 4.31. Yıkama Suyu'nun görüntüsü.....	65
Şekil 4.32. Yıkama Sonrası suyunda kullanılan kirlenmiş UF görüntüsü.....	66
Şekil 4.33. Yıkama Sonrası suyunda kullanılan kirlenmiş RO görüntüsü.....	67
Şekil 4.34. NF ve UF-NF arasındaki Basınç - Akı ilişkisi.....	67
Şekil 4.35. RO ve UF-RO arasındaki Basınç - Akı ilişkisi.....	68
Şekil 4.36. NF - UF+NF arasındaki Basınç - TOK ilişkisi.....	68
Şekil 4.37. RO ve UF-RO arasındaki Basınç - TOK ilişkisi.....	68
Şekil 4.38. NF ve UF-NF arasındaki Basınç - Akı ilişkisi.....	70
Şekil 4.39. RO ve UF-RO arasındaki Basınç - Akı ilişkisi.....	70
Şekil 4.40. RO ve UF-RO arasındaki Basınç - TOK ilişkisi.....	70

Şekil 4.42. Boya Sonrası ve Yıkama suyu sonrasında kullanılan kirlenmiş bir RO görüntüsü.....	71
Şekil 4.43. Boya Sonrası ve Yıkama suyu sonrasında kullanılan kirlenmiş bir UF görüntüsü.....	72
Şekil 4.44. Boya Sonrası atıksuyunun görüntüsü.....	73
Şekil 4.45. Sabit basınçta 3 farklı NF den geçirilen atıksuda akının değişimi.....	73

## TABLULAR DİZİNİ

Tablo 2.1. Membran proseslerin özellikleri.....	6
Tablo 2.2. Membran Proseslerin Karşılaştırılması.....	7
Tablo 2.3. Farklı iyonları giderme verimleri.....	11
Tablo 3.1. Boyama atıksularının karakteristikleri.....	23
Tablo 3.2. Boyama prosesinde en sık kullanılan yardımcı kimyasallar.....	29
Tablo 4.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan NF membranlarına ait teknik bilgiler.....	53
Tablo 4.2. RO ve UF Membranlarına ait teknik bilgiler.....	53
Tablo 4.3. AT çıkış suyunun karakteristik özellikleri.....	59
Tablo 4.4. Kasar ve Yıkama Suyu karışımının karakteristik özellikleri.....	61
Tablo 4.5. Kasar Suyunun Karakteristik Özellikleri.....	63
Tablo 4.6. Yıkama Sonrası Suyu' nun karakteristik özellikleri.....	66
Tablo 4.7. Boya Sonrası ve Yıkama Suyu karışımının karakteristik özellikleri.....	69
Tablo 4.8. Boya Sonrası atıksuyun karakteristik özellikleri.....	73



## **KISALTMALAR**

ADMI	: Amerikan Boya İmalatçıları Enstitüsü Renk Birimi
BOİ	: Biyolojik Oksijen İhtiyacı
KOİ	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
TOK	: Toplam Organik Karbon
AKM	: Askıda Katı Madde
ÇKM	: Çözünmüş Katı Madde
TÇK	: Toplam Çözünmüş Katı
MWCO	: Moleküler Ağırlık Engelleme Sınırı
RO	: Ters Osmoz
NF	: Nanofiltrasyon
UF	: Ultrafiltrasyon
THM	: Trihalometan
MLSS	: Mixed Liquor Suspended Solids
MARS	: Membran Anaerobik Reaktör Sistemi

# PAMUKLU TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ATIKSULARININ MEMBRAN TEKNOLOJİSİ İLE GERİ KAZANIMI

Nur DEMİRAL

**Anahtar Kelimeler: Pamuklu Tekstil Atıksulan, UF, NF, RO**

Endüstriyel kaynaklı boyar madde içeren atıksuların arıtımı zordur ve ileri arıtma tekniği gerektirir. Günümüzde boyar maddelerin giderimi büyük oranda fiziksel ve kimyasal yöntemlerle gerçekleştirilmektedir. Ancak bu yöntemlerin maliyeti oldukça yüksektir ve ortaya çıkan büyük miktardaki konsantre çamurun bertarafı problemlere neden olmaktadır. Bu nedenle büyük hacimli atıksulardaki boyar maddelerin etkili ve ekonomik bir şekilde giderilebilmesi için membran prosesler gibi alternatif yöntemlere gereksinim vardır.

Tekstil endüstrisi boyahanelerinde, çok miktarda su, boyar madde ve yardımcı kimyasallar kullanılmakta ve sonuçta, yüksek konsantrasyonda çözünmüş madde içeren ve çok renkli atıksular, genellikle merkezi atıksu arıtma tesisine gönderilmektedir. Nanofiltrasyon (NF), Ters osmos (RO) ve Ultrafiltrasyon (UF) membranları, bu tür atıksular için uygun olup, tuzlar çok düşük giderme verimlerinde giderilirken, atıksuyun rengi tamamen giderilebilmekte, su ve tuz geri kazanımı mümkün olabilmektedir. Bu çalışmada, pamuklu tekstil endüstrisi atıksularının membran prosesler ile geri kazanımı incelenmiştir. Tekstil endüstrisi atıksularından TOK ve renk giderimi incelenmiştir. Atıksulardaki boyar madde konsantrasyonunun, akı, renk giderme ve TOK değerleri üzerinde önemli bir etkisi olduğu gözlenmiştir. Ayrıca tekstil endüstrisinden kaynaklanan atıksular ile yapılan çalışmalarda Nanofiltrasyon ve Ters Osmoz membranlarının boyahane atıksularının geri kazanılması üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Nanofiltrasyon membranlarının renk giderme veriminin % 95 oranında olduğu görülmüştür. UF ve RO membranları sistemde beraber kullanıldığında tekstil atıksularının başarı ile arıtılabileceği gözlenmiştir.

# **COTTON TEXTILE INDUSTRIES WASTE WATER RECOVERY WITH MEMBRANE TECHNOLOGY**

**Nur DEMIRAL**

**Key words: Cotton Textile Waste Water, UF, NF, RO**

The treatments of wastewater contained dyestuffs are difficult and it requires special advanced treatment technologies. Nowadays, removal of dyes is carried out generally by physical and chemical methods. These methods are often very costly and accumulation of concentrated sludge creates disposal problems. For this reason, there is a need for alternative treatment methods, such as biological treatment which is efficient and economical in removing dyes from large volumes of effluents.

Large quantities of water, dye and auxiliary chemicals are used in the textile dyehouses and at the end, wastewater which contains high concentrations of dissolved solids and strong color, will be sent to the main wastewater treatment plant. Nanofiltration (NF) membranes, reverse osmos (RO) and ultrafiltration (UF) are suitable for such wastewaters. Color will be highly rejected while the salts may be rejected lower and salt and water reuse can be possible. This part of the study, discusses textile wastewaters containing dyes treatment with membrane process. TOC and dye removal from wastewater of textile dying process was investigated. Dyestuff concentration impacts flow, removing color and TOC values importantly. An actual textile industry dye house effluent was also studied and the effects of nanofiltration and reverse osmoses membranes on the reuse of dye house wastewater have been evaluated. Worked of efficiency for nanofiltration membranes has seen in the ratio of 95%. Textile wastewater will be treated successfully with UF and RO membranes used together in the system.

# 1. GİRİŞ

## 1.1 Çalışmanın Anlam ve Önemi

Tekstil endüstrisi ülkemizde, endüstriyel faaliyetler arasında önemli bir yere sahiptir. Ülkemiz ekonomisine katkısı önemli bir mertebededir. Çok farklı üretim aşamalarını içeren tekstil endüstrisi sonuçta bu farklılığı oluşturan atıksulara da yansıtmakta ve gerek miktar gerekse bileşim yönünden çok değişken atıksular oluşmaktadır. En çok kullanılan endüstriler arasında yer alan tekstil endüstrisi atıksuları miktarları ve bileşimleri yönünden çok değişken olup kompleks bir yapıya sahiptirler. Sentetik boyalar, tekstil sanayinde oldukça çok kullanılmakta ve tekstil atıksuları yüksek Kimyasal Oksijen İhtiyacı, pH, sıcaklık ve toksik katı madde içeren endüstriyel kirli atıksuların başında gelmekte ve toksik özelliklerinden dolayı önemli bir çevresel problem oluşturmaktadır. Bu tip atıksuların arıtımı, içeriğindeki kompleks yapıları boyar organik maddeler ve surfaktantlar nedeniyle oldukça zordur. Bu yüzden boyar madde ihtiva eden atıksuların arıtımı membran prosesler gibi ileri arıtma teknikleri kullanılarak yapılmaktadır. Bu yöntemler arasında yer alan ters ozmos prosesi, maliyet açısından diğer yöntemlere göre daha pahalı bir proses olmasına rağmen, yüksek performansı ile yaygın bir kullanım alanına sahiptir.

Endüstriyel üretim her geçen gün biraz daha arttığı için, oluşacak zararlı etkilerin en aza indirilmesi için yeni teknolojilere başvurulması gerekmektedir. Özellikle boyahanelerde, elyaf tipine göre boya banyolarının farklılaşması özel karakterde bir atıksu oluşumuna sebep olmaktadır. Tekstil boyahanelerinde kullanılan boyaların bir miktarı elyaflar tarafından emilirken, özellikle pamuklu tekstil endüstrisinde kullanılan reaktif boyaların % 10 ile % 50'lik bir oranı atıksulara karışmaktadır. Biyolojik olarak da ayrışması zor olan bu boyar maddeli atıksular, deşarj edildiği ortamda yüksek oranda kirlilik oluşturmaktadır. Bu kirlilik kendini atıksuya verdiği renk ile göstermektedir.

Tekstil endüstrisinde boyaların yanında, çok fazla yardımcı kimyasal maddelerde kullanılmaktadır. Özellikle, boyanın elyafa daha iyi absorbe olmasını sağlamak için kullanılan tuz miktarı oldukça yüksek mertebededir ve maliyeti büyük ölçüde arttırmaktadır. Membran teknolojisi de çeşitli ihtiyaçları karşılamak için ortaya çıkmış ve tekstil boyahanelerinde kullanılan su, boyar madde ve tuzların tekrar geri kazanılmasında da kullanılmaya başlanmıştır.

Özellikle düşük basınç altında çalışan nanofiltrasyon membranları, tekstil boyahane atıksularının arıtılıp yeniden kullanılmasında ve tuzların geri kazanılmasında büyük rol oynamaya başlamıştır. Membranlarda oluşan konsantre akımındaki boyar maddelerin tekrar geri kullanılabilmesi ve geri kazanılma imkanı olmayan konsantre akımının uzaklaştırılması için de çeşitli araştırmalar yapılmaktadır.

Son yıllarda, boyahane atıksularının arıtımında yaygın olarak kullanılmaya başlayan nanofiltrasyon membranlarında, boyar madde konsantrasyonunun NaCl giderme verimi üzerindeki etkisi bilinmekle birlikte, bu etkinin araştırılmasına yönelik ayrıntılı bir çalışma yapılmamıştır. Ayrıca, boya banyosuna ilave edilen diğer yardımcı kimyasallar olan NaOH, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, iyon tutucu gibi kimyasalların membranlar üzerindeki etkisinin araştırıldığı çalışma sayısı yok denecek kadar azdır. Bu noktadan hareketle, bu konunun ayrıntılı bir şekilde araştırılması gereği ortaya çıkmıştır.

Bu tez çalışmasının amacı, pamuklu tekstil endüstrisinden kaynaklanan atıksuların çeşitli membran prosesler ile arıtılabilirliğini incelemektir. Atıksularda bulunan boyar maddeler, tuzlar ve yardımcı kimyasalların giderme verimi üzerindeki etkisinin incelenmesidir. Zamanla membran yüzeyinde biriken, tuz ve boyar maddelerden ileri gelen konsantrasyon polarizasyonu da dikkate alarak membranların verimlilikleri incelenmiştir. Çalışmanın uygulamaya dönük bölümünde, İstanbul'da, reaktif boyaları kullanan bir pamuklu tekstil endüstrisi boyahane atıksuları ile deneysel çalışma yapılmıştır.

## 2. MEMBRAN PROSESLER

### 2.1 Membran Proseslere Genel Bakış

Son yıllarda geliştirilen çeşitli arıtma teknolojileri ile atıksuyun tekrar kullanımı ekonomik olarak mümkün olmaktadır. Özellikle suyun kıt olduğu yörelerde ve çok su kullanan endüstrilerde önemli altyapı yatırımları yapılmadan önce atıksuların ve kötü kalitedeki yüzey sularının tekrar kullanımı ekonomik bir alternatif olarak dikkate alınmalıdır. Membran prosesleri atıksuların tekrar kullanımını mümkün kılarak onların alternatif su kaynağı olarak değerlendirilmelerini gündeme getirmiştir.

Membran iki yığın faz arasında yer alan yarı geçirgen özellikteki ara fazdır. Bu bariyer, çok özel bir tarzda moleküllerin membran içindeki hareketlerini sınırlandırabilir. Yarı geçirgen yapı, bir ayırma işleminin gerçekleşmesini sağlamak için gereklidir. Membran, ya homojendir ya da fazların heterojen olarak toplanmasından meydana gelir. Membran faz aşağıdakilerden herhangi biri olabileceği gibi bunların bir kombinasyonu da olabilir. Bunlar;

- Gözeneksiz katı
- Gözeneklerinde bir akışkan taşıyan mikro veya makro gözenekli katı
- İkinci bir fazlı veya fazsız bir sıvı faz
- Jel

Membran Proseslerde Filtrasyon, büyüklüklerin bağlı olarak bir veya daha çok partikül boyutundaki bileşiklerin, sıvılardan veya gazlardan ayrılması işlemidir. Membran prosesler bu uygulamayı daha da genişleterek, çözülmüş maddelerin de sıvılardan ve gazlardan ayrılmasını mümkün hale getirmiştir.

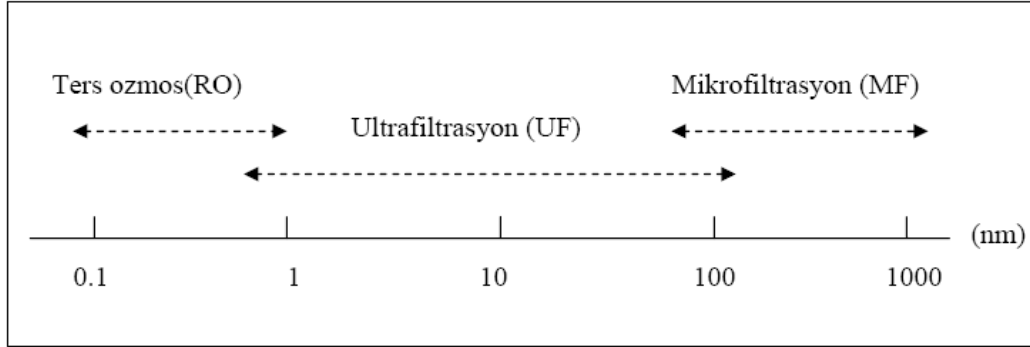
1970' li yıllardan sonra, su kaynaklarını korumak ve daha da arttırmak için, yeni teknolojiler araştırılmaya başlanmıştır ve birçok teknoloji geliştirilmiştir. Membran teknolojisi de bu sırada ortaya çıkmıştır. Membran teknolojisindeki gelişmeyi 3 farklı aşamada sınıflandırmak mümkündür. 1960'lı yıllar, bu sistemin ilk olarak ortaya çıktığı dönem, 1970'li yıllar, araştırmaların yoğunlaştığı dönem ve 1980–90'lı yıllardan itibaren özellikle membran proseslerin endüstriyel alanda yaygın olarak kullanılmaya başladığı dönemdir.

Membran proseslerin avantajları arasında başlıca, kesiksiz ve otomatik işletme sağlayan sürekli prosesler olmaları, sıcaklık değişiminden etkilenmemeleri, az enerji kullanımı, belirli bir boyut sınırlandırması olmaması, modüler olarak tasarımının yapılabilmesi, kirleticinin formu ve kimyası üzerinde etki yapmaması, kimyasal katkı ihtiyacının olmaması, fazla yer ihtiyacına gerek duyulmaması, çok yüksek konsantrasyonlarda uygulanabilmesi, gerektiğinde taşınabilir olması, herhangi bir inşaat gerektirmemesi ve maliyetinin gün geçtikçe daha da aşağılara çekilebilir olması sayılabilir (Brick M. ve diğ., 2006).

Membran proseslerde, üç faz vardır. Bunlar besleme, süzüntü ve konsantre akımlarıdır. Arıtma işlemi, I. Fazdaki bir bileşenin, membran tarafından belli bir oranda tutulması esasına dayanmaktadır. Membranda akım ise iki kısma ayrılmaktadır. Membrandan geçen akım süzüntü, geçemeyen akım ise konsantre akımı olarak adlandırılmaktadır. Membrandan süzüntü tarafına doğru bir geçişin olması için sürücü kuvvetin uygulanması gerekmektedir. Membran sürücü kuvvetlerine göre, basınç, konsantrasyon, elektriksel potansiyel ve sıcaklık farklığı olmak üzere dört ana grupta toplanmaktadır.

Tüm membranla ayırma teknolojilerinde membrandan geçme yönünde akış sağlamak üzere itici bir kuvvet ve bazı maddelerin geçişini engelleyen ayırma faktörü, temel iki prensiptir. Kütle transferi, konsantrasyon farkı, basınç farkı ve elektriksel potansiyel farkı gibi itici güçler yardımıyla gerçekleşmektedir. Membran proseslerinde en yaygın itici kuvvet basınçtır. Membran ayırma prosesleri mikrofiltrasyon (MF), ultrafiltrasyon (UF), nanofiltrasyon (NF), ters ozmos (RO), elektrodializ (ED), ve pervaporasyondur. Bu yöntemlerde ayırma, moleküllerin

boyutlarına ve moleköl kütlelerine göre olur. Şekil 1’de membranların por büyüklükleri görölmektedir. Bu membranlar geçirdikleri maksimum moleköl ağırlığına göre ayırt edilirler (Brick M. ve diğ., 2006).



Şekil 2.1. Membran prosesleri ve por büyüklükleri (Rautenbach ve diğ., 2000)

UF ve MF’ da itici kuvvet tamamen basınçtır. Pervaporasyon ve RO proseslerinde ise kısmen basınç kısmen de konsantrasyondur. Membran prosesleri arasındaki temel fark kullanılan gözenek boyutundaki farklılıklardır. Bakteriler 100 nm’den büyük oldukları için 100nm’den düşük membranlarda tutulurlar.

RO sisteminde temiz suyu kirli sıvıdan ayıran yarı geçirgen bir membran vardır. Kirli tarafa bir basınç uygulandığında kirli taraftaki su temiz tarafa diffüze olur. Proses sonunda, istenmeyen kimyasal maddeler yoğunlaşarak temiz sudan ayrılır. RO prosesi atıksudan inorganik tuzları ayırmada ve atıksudaki belli organik çözücülerin gideriminde kullanılır. En küçük gözenek boyutuna sahip olan ve bu yüzden çok yüksek basınca ihtiyaç duyan RO prosesinin en yaygın uygulama alanı deniz suyu veya tuzlu sudan içme suyu elde edilmesidir. UF ve MF proseslerinde membranların gözenek boyutları daha büyük olduğundan ayırma için daha düşük basınç gerekir. UF prosesinde 0,1–0,01 µm büyüklüğündeki partiküller tutulur. UF prosesi atıksudan makro moleköl ve kollooidlerin konsantre edilerek ayrılmasında kullanılır.

Atıksu belirli gözenek boyutundaki geçirgen zarın bir tarafında basınç altında bulunur. Gözenek boyutundan küçük tüm maddeler membrandan geçer, büyük



boyutlular kirli su tarafında kalır. UF prosesi, RO prosesi öncesi ön arıtım kademesi olarak da kullanılabilir.

## 2.2 Basınç Uygulamalı Membranlar

Membran proseslerin en çok kullanılanları basınç uygulamalı olanlarıdır. Bunlar boşluk büyüklüklerine bağlı olarak ters osmoz (RO), Nanofiltrasyon (NF), Ultrafiltrasyon (UF) ve Mikrofiltrasyon (MF)'dan oluşmaktadır.

Nanofiltrasyon membranları, boşluk büyüklüğü açısından ters osmoz ve ultrafiltrasyon membranları arasında kalmakta ve nanometre büyüklüğündeki iyonları tutabilmektedir.

Tablo 2.1: Membran proseslerin özellikleri (Rautenbach ve diğ., 2000)

Membran Proses	Membran Kalınlığı	Membran Tipi	Uygulanan Basınç Türü	Uygulamalar
Mikrofiltrasyon	10–150 µm	Simetrik ve Asimetrik mikro boşlukları	Hidrostatik basınç (< 2 bar)	Partikül ayrımı
Ultrafiltrasyon	0,1–1 µm	Asimetrik mikro boşlukları	Hidrostatik basınç (1–8 bar)	Makro moleküllerin ayrımı
Nanofiltrasyon	0,1–1 µm	Asimetrik	Hidrostatik basınç (10–30 bar)	Küçük organik bileşiklerin ve bazı tuzların ayrımı
Ters Osmoz	0,1–1 µm	Asimetrik, ince filmli kompozit	Hidrostatik basınç (10–100 bar)	Çözünmüş maddelerin ayrımı

Mekanik ayırma proseslerinden santrifüj ve klasik filtrasyon sadece 1–10 mm çapındaki danecikleri sıvıdan ayırır. Sıvıdaki danecik çaplarının daha küçük olması halinde ters osmos, ultrafiltrasyon ve mikrofiltrasyon olarak adlandırılan membran ayırma prosesleri kullanılmaktadır. Tablo 2.1'de bu proseslerin genel bir karşılaştırılması yapılmıştır. Ultrafiltrasyon membranların gözenek çapları 0,001–0,1 mikron arasındadır. Bu proseslerde kolloidler, virüsler ve daha çok makro moleküller ayrılır. Ters osmos ile sistemden uzaklaştırılan molekül ve iyonların çapları ise 0,001 mikrondan daha küçüktür (Rautenbach ve diğ., 2000). Membran ayırma prosesleri

son yıllarda oldukça geliştirilmiş ve bu proseslerin termal ayırma proseslerine göre daha az enerjiye ihtiyaç göstermeleri, proses suyunu geri devir ettirebilmesi ve sıvıdaki değerli maddeleri geri kazandırabilmesi özelliklerine sahip olmalarından dolayı daha yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Membran proseslerde filtre edilecek sıvı miktarı bu tip proseslerin işletilmesinde en önemli kriterlerden biridir. Bu sıvı miktarı ise ortamdaki mikroorganizma konsantrasyonunun, membran yüzeyine paralel geçiş hızının, sıcaklığın ve ortamdaki basıncın bir fonksiyonudur.

Tablo 2.2: Membran Proseslerin Karşılaştırılması (Ranganathan ve diğ., 2006)

<b>Ters Ozmos</b>	<b>Ultrafiltrasyon</b>	<b>Mikrofiltrasyon</b>
Yüksek Basınç (10–30 bar)	Düşük Basınç (2–6 bar)	Düşük Basınç (2–6 bar)
Fazla Enerji Tüketimi	Az Enerji Gerektirir	Az Enerji Gerektirir
Düşük Geri Kazanma (% 50–80)	Yüksek Geri Kazanma (% 95'e kadar)	Tıkanma Problemleri var
pH= 2–11	pH = 1–13	pH = 1–13
Maksimum 45 °C'ye kadar dayanıklı	Yüksek sıcaklıkta işletme 80 °C'ye kadar	Yüksek sıcaklıkta işletme
Oksidantlara karşı dayanıklılığı sınırlı	Oksidantlara karşı dayanıklı	Oksidantlara karşı dayanıklı

### 2.3 Membranların Verimlilikleri

Membranların verimlilikleri genel olarak, akı ve giderme verimi olarak adlandırılan iki terim ile ifade edilmektedir. İdeal bir membranda, yüksek akı veya geçirimsizlik ile yüksek seçicilik veya giderme verimleri önem kazanmaktadır.

#### 2.3.1 Akı

Akı, birim zamanda membranın birim alanından geçen, akım miktarıdır. Akı, m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>-sn veya lt/m<sup>2</sup>.saat gibi birimlerle ifade edilmektedir. Membran filtrasyonunda, membrandan geçen akım, membrana uygulanan basınç (ΔP) ile doğru orantılıdır. Membrandan geçen akımın miktarı, Darcy kanununa göre,

$$J = \frac{\Delta P}{\mu \cdot R_m} \quad (2.1)$$

ile tanımlanmaktadır. (Wiesner ve Aptel, 1996). Burada,

J: Akı,

$\Delta P$ : Membrandaki basınç farkı,

$\mu$  : Akışkanın viskozitesi,

$R_m$ : Membranın hidrolik direnci ile ifade edilmektedir.

### 2.3.2 Giderme verimi

Giderme verimi, membran tarafından, alıkoyulan kısmın ölçüsüdür. Membranın giderme verimi (R) ile ifade edilmektedir. R boyutsuz bir büyüklüktür. 0 ile 1 arasında değişmektedir. “0” bütün çözülmüş maddelerin membrandan geçtiğini, “1” ise membranın hiç bir madde geçişine izin vermediğini göstermektedir. (Wiesner ve Aptel, 1996)

## 2.4 Basınç Kuvveti Altında Çalışan Membranlar

### 2.4.1 Mikrofiltrasyon

Mikrofiltrasyon, basın kuvveti altında çalışan ve en az verimliliğin gözlemlendiği membrandır. Mikrofiltrasyon ile çözelti içindeki mikron ve daha büyük boyutlardaki partiküller ayrılmaktadır. Mikrofiltrasyon membranlarının delik çapı, 0,05 ile 5  $\mu\text{m}$  arasında değişmektedir.

Membran direnci düşük olduğu için, düşük basınç altında işletilmekte ve ortalama olarak 2 bar'a kadar olan basınçlarda çalıştırıldığı zaman optimum verim alınmaktadır. Mikrofiltrasyon da, akım membran yüzeyine paralel olarak uygulanmakta ve membrandan geçemeyen konsantre kısım, membran üzerinde birikmektedir. Zamanla membran yüzeyinde oluşan direnç artmaktadır. Membranda akı değerinde azalma gözlemlendiği zaman membran temizlenmeli ya da değiştirilmelidir.

Arıtma sistemlerinde kullanılan kimyasal maddelerin oluşturduğu toksik etkilerden dolayı, son yıllarda kimyasal madde kullanımına sınırlandırma getirme eğilimi hız kazanmıştır. MF uygulamalarında arıtma sırasında herhangi bir kimyasal madde kullanımı söz konusu değildir.

MF membranlarının diğer bir uygulama alanı ise NF ve RO membranları öncesinde ön arıtma elemanı olarak kullanılmasıdır. Son yıllarda, özellikle su geri kazanımı eğilimi bütün dünyada arttığı için, suların geri kazanılmasında MF membranları, RO ve NF membranları öncesinde ön arıtma elemanı olarak kullanılmaktadır. Yüzeysel suların NF membranları ile arıtılması için yapılan bir çalışmada, MF membranlarının, diğer ön arıtma yöntemlerine göre (kimyasal arıtma ve granüler aktif karbon) daha verimli olduğu görülmüştür.

#### **2.4.2 Ultrafiltrasyon**

Ultrafiltrasyon, yüksek moleköl ağırlığına sahip çözünmüş maddeleri, mikroorganizmaları ve askıdaki maddeleri sıvıdan uzaklaştıran fiziksel bir ayırma prosesidir. Ultrafiltrasyon sisteminde en çok kullanılan malzemeler aşağıda verilmiştir.

- Selüloz Asetat
- Poliakrilonitril
- Polisülfün
- Polivinilidin Florür
- Seramik Malzemeler
- Alüminyum Oksit
- Zirkonyum Oksit

Uygulamada ince uzun tüpler şeklinde teşkil edilen Ultrafiltrasyon membranlar kullanılmaktadır. Bu membranlarda yüksek akı, gerekli yatay hızın sağlanması (çökelme olmaması için), sistemin yıkanılabilirliği, kolay işletilmesi ve az enerji tüketimi özelliklerinin sağlanması tercih edilir.

Ultrafiltrasyon, işletme açısından Mikrofiltrasyon benzemektedir. Ultrafiltrasyon membranı delik çapı, 0,05 – 1 nm arasında değişmektedir. UF membranları üst tabaka kalınlığı, 50 – 250 µ arasında değişen ve yüksek geçirgenlik ve seçiciliği olan bir alt tabaka ile desteklenmiştir. Esas filtrasyon olayı üst tabakada meydana gelmektedir. Alt tabaka sadece üst tabakaya mesnet oluşturmaktadır. UF

membranları, çözünmüş maddeleri ve küçük partikülleri ayırmak için kullanılmaktadır. Ayırmada temel etken moleküler büyüklük olmakla beraber, moleküler şekli ve yükü de rol oynamaktadır. UF membranlarında, maddelerin tutulma seviyeleri moleküler ağırlık engelleme sınırı (MWCO) ile ifade edilmektedir. Her bir membran türü için bu değer belirlenmiştir. Ultrafiltrasyon membranları ile moleküler ağırlıkları, 1.000 – 1.000.000 arasında değişen maddeler tutulmaktadır.

Membran, basınç artırıldığı zaman akının da artacağı bir elek olarak düşünülmektedir. Basınç ve akı her zaman için doğru orantılıdır. Bununla beraber konsantrasyon polarizasyonunun etkisi akıyı sınırlandırmaktadır. Bunun nedeni, sınır tabakası içinde, membran üst yüzeyinde çözünen maddelerin birikmesidir. Bu durum, daha sonra membran yüzeyinin tıkanmasına neden olmaktadır. Ultrafiltrasyon başlıca, tekstil endüstrisinde yün yıkama sularının geri kazanılmasında, yağ içeren atıksuların arıtılmasında, elektro kaplama endüstrisinde, mezbaha atıksularının arıtılmasında, gıda endüstrisinde v.b. birçok endüstriyel atıksuların arıtılmasında kullanılmaktadır (Arnal, J.M. ve diğ., 2007).

Ultrafiltrasyon membranları, içme suyunda ileri arıtma amaçlı da kullanılmaktadır. Klorlama ile insanlarda kanserojenik etki yapan THM' ler oluşmaktadır. Dolayısıyla, THM oluşumuna sebep olan organik maddeler klorlama öncesinde tutulmalıdır. UF membranları bu amaçla kullanıldığı takdirde, THM oluşumu, % 20 – 50 arasında azalmaktadır. UF membranları, bakteri ve virüs giderimi açısından da oldukça güvenlidir. İçme suyu tesislerinde kurulan tam ölçekli UF proseslerinde elde edilen sularda hiçbir mikroorganizmaya rastlanmamıştır. UF membranları, RO membranları öncesinde ön arıtma amaçlı olarak da kullanılmaktadır. Dolayısıyla RO membranlarının ömürleri artmaktadır. UF sistemlerinin, RO öncesinde ön arıtma amaçlı olarak kullanılmasının faydaları şu şekilde özetlenebilir;

1. Sürekli ve kolay otomatik işletme imkanının olması
2. RO membranları için daha iyi kalitede su üretmesi
3. Kimyasal madde ilavesi gerektirmemesi
4. Fazla yer kaplamaması.

### 2.4.3 Nanofiltrasyon

Nanofiltrasyon membranları, özellikle son yıllarda ortaya çıkmış ve kullanımı hızla artmıştır. Boşluk çapı açısından, Ters Osmoz ile Ultrafiltrasyon membranları arasında bulunmaktadır. Son zamanlarda, ince filmlili selüloz olmayan membranlardaki gelişmeler ile beraber kullanımı daha da yaygın hale gelmiştir. Nanofiltrasyon membranları, ters osmozdan daha düşük basınçlarda işletilmektedir. Fakat ters osmoz'a göre düşük kalitede su vermektedir. Nanofiltrasyon membranlarındaki giderme mekanizması, ters osmoz gibi çözünme difüzyon modeline göre olmaktadır. Çapı, 0,001µm'den büyük olan moleküllerin gideriminde kullanılmaktadır. Tablo 2.3'de NF ile RO membranları kullanılarak, değişik iyonların giderime verimlerinin karşılaştırılması verilmiştir.

Tablo 2.3: Farklı iyonları giderme verimleri (Cadotte ve diğ., 1998)

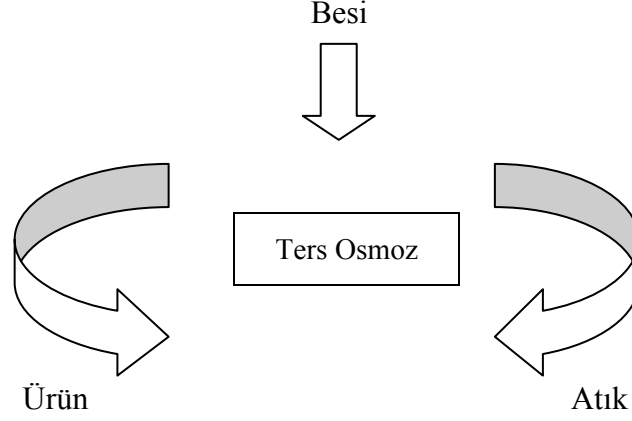
Çözünen Madde	RO Giderme Verimi	NF Giderme Verimi
Bakteri ve Virüsler	> 99	> 99
Mikro Boyutu 100'den Büyük Olan Maddeler	> 90	> 50
Mikro Boyutu 100'den Küçük Olan Maddeler	0 – 99	0 – 50
Tek Değerlikli İyonlar	> 98	< 50
Çift Değerlikli İyonlar	> 99	> 90

### 2.4.4 Ters osmoz

Direkt osmoz doğal bir proses olup iki farklı konsantrasyondaki çözeltinin iyonik denge sağlanıncaya kadar, saf suyun, aralarında bulunan yarı geçirgen zardan konsantrasyonu düşük çözülden konsantrasyonu yüksek çözüleğe geçmesi olayıdır.

Bir membranın yarı geçirgenliği, onun bir çözeltinin bileşenlerine karşı göstermiş olduğu seçimli geçirgenlik kapasitesidir. Sonuç olarak membrandan geçen sıvı ile, membrandan geçemeyen sıvı bileşimleri birbirinden farklıdır. Osmotik basınç, osmoz işlemi sırasında düşük konsantrasyonlu çözülden yüksek konsantrasyonlu su geçişi ile hacimler arasında meydana gelen farklılık sonucu oluşan basınçtır. Ters osmoz olayında, konsantrasyonlu çözüleğe osmotik basıncından daha yüksek bir basınç

uygulama ile gerçekleştirilir. Şekil 2.2' de temel bir ters osmoz prosesinin nasıl işlediği görülmektedir.



Şekil 2.2: Temel bir ters osmoz prosesi

Bu konfigürasyonda dönüşüm oranının % 20 – 25'den daha fazla olması oldukça zordur. Gerçekte membrandan anında geçirebilecek suyun miktarı ile ilgili birtakım sınıflandırmalar vardır.

Dönüşüm oranı: (Ürün akış oranı x 100) / Besi Akış Oranı

Dönüşüm oranı her zaman için % olarak ifade edilir.

Ters Osmoz prosesi, tekstil endüstrisinde renk giderimi, mezbaha atıksularının arıtımı, gıda endüstrisinde geri kazanım, kağıt endüstrisinde renk giderimi, madencilik, ilaç üretimi gibi birçok endüstriden yaygın olarak tercih edilmektedir. Ayrıca birçok endüstride ters osmoz (RO) düşük molekül ağırlıklı çözünmüş maddelerin, çözeltilerden giderilmesi amacıyla kullanılmaktadır. RO membranları bütün çözünmüş organik ve inorganik türleri ayırabilmektedir. Ters osmoz olayının teorisi, solvent ve çözeltilerin membran üst tabakasında çözüldüğü ve difüze olduğu, çözünme-difüzyon modeline dayandırılmaktadır. Genellikle ters osmoz membranlarında, 30 – 100 bar arasında değişen yüksek basınçların uygulanması gerekmektedir (Dhodapkar, R. ve diğ., 2007).

Membrandan geçen akım, az veya çok miktarda çözünmüş maddeleri taşır. Bu çözünmüş maddelerin akısı, membrandan geçen çözünmüş maddelerin konsantrasyon farklılıkları ile doğru orantılıdır. Membrandan geçen çözünmüş madde akısı,

$$J_s = K_s \times \Delta C_s \quad (2.2)$$

İfadesi verilmektedir. Burada;

$\Delta C_s$  = Konsantrasyon farkını

$K_s$  = Çözünmüş madde geçirimlilik katsayısını tanımlamaktadır.

## 2.5 Membran Performansı

Membran performansı akı ve giderme verimi ifadeleri ile belirtilir. Membran performansı, standart şartlarda membranın özelliklerine ve besleme suyu kalitesine göre değişmektedir. Ayrıca basınç, konsantrasyon farklılığı, sıcaklık ve yatay hızın da membran performansı üzerine etkisi oldukça fazladır. Giderme verimi membranın tuttuğu madde miktarının ölçüsüdür. Membranların performansını etkileyen faktörler aşağıda verilmiştir:

1. Basınç: Akı, uygulanan basınç ile membrandaki ozmotik basınç farkı ile artar. Uygulanan basınç ne kadar fazla ise akı da o kadar fazladır. Ancak membrana uygulanabilecek basınç limitlidir. Buna ek olarak ters osmozda basıncının artması, akıyı artırmaktadır. Her zaman için, basınç ile akı arasında doğru orantılı bir ilişki vardır. Aynı zamanda, artan basınç ile süzüntü suyunun konsantrasyonu azalmaktadır. Genellikle 68 atm olarak alınır. Uygulamada 27 – 41 atm olarak alınabilir.

2. Sıcaklık: Sıcaklık, hem su akımını hem de ozmotik basıncı etkilemektedir. Geçirgenlik katsayısı, sıcaklık ile artmaktadır. Sıcaklıktaki her bir 1°C'lik artış ile membranın akı değeri, % 3–5 civarında artmaktadır. Optimum çalışma sıcaklığı çeşitli soğutma sistemleri yardımıyla belirli aralıklarda tutulmaya çalışılmalıdır.



Akı besleme atıksuyu sıcaklığı ile artar. Standart sıcaklık 21°C olarak verilmektedir, ancak 29°C'ye kadar sıcaklıklar tolere edilmektedir. 29°C'nin üstündeki 38°C'ye kadar olan sıcaklıklar membranın bozulmasını hızlandırmakta olup uzun süre işletmeye dayanamaz (Dhodapkar, R. ve diğ., 2007).

3. Debi: Debi, özellikle kütle transfer kontrollü bölgede, membran performansı açısından önemli rol oynamaktadır. Membran yüzeyinde oluşturulan karışım, yüzeyde oluşan kek tabakasının hidrolik direncini ve konsantrasyon polarizasyonu tabakasının kalınlığını azaltmaktadır.

4. Konsantrasyon: Membrana giriş suyu konsantrasyon değerinin, membran performansı üzerinde büyük etkisi olmaktadır. Giriş konsantrasyonu arttıkça, ozmotik basınçta meydana gelen artışa bağlı olarak membrana uygulanan net basınç azalmakta, bunun sonucu olarak da, giderme verimi düşmektedir. Uygulanan basınç artırılarak bu oranın dengelenmesi sağlanabilir.

5. Membran diziliş yoğunluğu: Birim hacme yerleştirilebilecek membran alanı olarak tanımlanır. Bu faktör ne kadar büyükse sistemden çıkan toplam akı da o kadar büyük olur. Tipik membran yoğunluğu 160–1640 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> olarak verilmektedir

6. Akı: Borulu sistemler için akı  $6 \times 10^{-3} - 10,2 \times 10^{-3}$  m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/gün, plakalı sistemler için ise  $6,1 \times 10^{-1} - 10,2 \times 10^{-1}$  m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/gün'dür. Akı çalıştırma süresi ile ve 1–2 yıl işletmeden sonra azalır.

7. Geri kazanım faktörü: Sistemin kapasitesini gösterir, uygulamada ulaşılan maksimum değer % 80'dir. Daha yüksek geri kazanım faktörüne proses suyunda daha fazla tuz konsantrasyonu olduğunda ulaşılır. Yüksek konsantrasyonlarda membranın yüzeyinde çökme fazla olur, dolayısıyla işletme veriminin düşmesine neden olmaktadır.

8. Tuzun geri alınması: Atıksudaki tuzun geri kazanılması, kullanılan membranın tipi, karakteri ve atıksudaki tuzun konsantrasyon dağılımına bağlıdır.

9. Membran ömrü: Atıksudaki fenol, bakteri, mantar gibi maddelerin varlığı, yüksek sıcaklık ve yüksek veya düşük pH değerleri membran ömrünü etkiler. Membranlar en fazla iki yıl kullanılırlar.

10. pH: Selüloz asetat membranlar yüksek ve düşük pH' larda hidroliz olurlar. Optimum işletme pH aralığı 4,5 – 5,5'tur.

11. Ön arıtma: Membran sistemlerinin Toplam Çözünmüş Katı (TÇK) miktarı 10.000 mg/l'nin üstündeki besleme akımlarına doğrudan uygulanması uygun değildir. Bunun dışında kalsiyum karbonat, kalsiyum sülfat, demir oksit ve hidroksitleri, mangan ve silikon, baryum ve stronsiyum sülfat, çinko sülfür ve kalsiyum fosfat gibi tabakalaşma yapan maddelerin ön arıtma ile kontrol altına alınmaları gerekir. Bu maddeler pH ayarlaması kimyasal arıtım, çöktürme, inhibisyon ve filtrasyon gibi yöntemlerle kontrol altına alınabilirler. Organik kalıntılar ve bakteri filtrasyon, karbonla ön arıtım ve klorlama ile kontrol edilebilir. Yağ ve gres ise membranın yüzeyini saracağından ve tıkanmaya neden olacağından membran prosesi öncesi giderilmelidir.

Çevre koruma yasalarının getirdiği sınırlamaların giderek daralmasıyla birlikte ağır metallerin ve organik maddelerin ayrılması atıksu üreticileri için de çok daha önemli bir hale gelmiştir. İşte bu noktada gün geçtikçe yenilenen ve ileri arıtım sistemleri olarak ele alınan membran proseslerin kullanımı önem kazanmaktadır. Günümüzde katı membranların kullanımı yaygınlaşmaya başlamış bunun yanı sıra sıvı membranların kullanımı pilot ölçekli çalışmaların ardından seyrekte olsa bazı endüstrilerce büyük ölçekli olarak uygulama alanı bulmuştur.

## **2.6 Membran Prosesi Uygulama Alanları**

Membran proseslerinin belli başlı kullanım alanları aşağıda özetlenmiştir:

- Yeraltı suyunun tuzlu su geçişini önlemek üzere tekrar yüklenmesi (bu amaçla kullanılacak arıtılmış suyun içilebilir su kalitesine getirilmesi gerekmektedir),

- Dolaylı içilebilir su olarak, (içilebilir su kalitesine getirilmiş suyun rezervuarlara alınması, burada bir süre bekletilmesi ve tekrar arıtım için şebekeye geri verilmesi),
- Doğrudan içilebilir su olarak,
- Sulama suyu olarak, (arıtılmış sudaki mineral seviyesine göre MF sonrası RO da gerekebilir),
- Endüstrinin tekrar kullanımı, (Boiler'a besleme, soğutma suyu olarak veya uygun diğer proseslerde).

Membran prosesler ile evsel ve endüstriyel atıksular ile yüzeysel suların arıtılarak yeniden kullanımı mümkündür. Ancak gıda, içki ve sağlıkla ilgili endüstrilerde membran prosesi çıkışı içilebilir su kalitesine getirilse dahi yeniden kullanılamaz.

Membran filtrasyonu yöntemi ile boyanın sürekli olarak arıtılması, konsantre edilmesi ve en önemlisi atıksudan ayrılması mümkün olmaktadır. Diğer yöntemlere göre en önemli üstünlüğü sistemin sıcaklığa, beklenmedik bir kimyasala, çevreye ve mikrobiyal aktiviteye karşı dirençli olmasıdır. Ters osmoz membranları çoğu iyonikler için % 90'nın üzerinde verim gösterir ve yüksek kalitede bir permeat eldesini sağlar. Boya banyoları çıkış sularındaki boyalar ve yardımcı kimyasallar tek bir basamakta giderilmiş olur. Ancak yüksek ozmotik basınç farklılığı ters osmoz uygulamalarını sınırlandırmaktadır. Nanofiltrasyon membranları negatif yüzeysel yüklerinden dolayı iyon seçicidirler. Yani, çok valanslı anyonlar tek valanslı anyonlara göre daha sıkı tutulurlar. Membranların bu karakteristiğine bağlı olarak boyalı atıksularda bulunan bir kısım yardımcı kimyasal membrandan geçebilmektedir (Machenbach, I., 1998). Yapılan çalışmalar, membran filtrasyonu ile, çıkış suyunda düşük konsantrasyonda boyar madde içeren tekstil endüstrilerinde suyun tesise geri kazandırılmasının mümkün olduğunu göstermektedir (Rozzi ve diğ. 1999). Fakat bu yöntem, suyun yeniden kullanımı açısından önemli bir parametre olan çözünmüş katı madde içeriğini düşürmez (Robinson ve diğ. 2001).

Membran teknolojileri çeşitli atıksuların arıtımında kullanılır. Örneğin: Yarı geçirgen malzeme üretimi, bazı metal ve oksit üretimi gibi proseslerde çok fazla saf su kullanılır. Dolayısıyla süreç sonunda çözünmüş ve askıda katı içeriği yüksek bir atıksu oluşur. Bu tür atıksuların arıtımında MF veya MF +RO prosesleri ile etkin katı giderimi sağlandığı belirtilmektedir.

Organik ve inorganik kirliliği yüksek düzenli çöp depo alanı sızıntı sularının arıtımında; metal üretiminden kaynaklanan ve çözünür yağ içeren atık suların arıtımında; metal işleme yıkama sularında çözücü-su ve yağ-su karışımlarının arıtımında da membran prosesleri kullanılır. Tekstil endüstrisindeki ıslak prosesler boya, deterjan ve askıda katı yönünde çok yüksek kalitede ve miktarda su gerektirir. Atıksu arıtma tesisi çıkışının deşarj standartlarını sağlaması için konvansiyonel fiziko-kimyasal ve biyolojik arıtma tesisleri kullanılır. Arıtılmış su çıkışını üretim prosesine geri döndürebilmek için ise konvansiyonel arıtma tesislerine ilave olarak daha ileri arıtım gerekmektedir. Aktif çamur çıkışının UF ve RO proseslerinden geçirildikten sonra tekstil endüstrisinin tüm ıslak proseslerinde kullanılabileceği çeşitli çalışmalarda gözlenmiştir (Oneill ve diğ., 2000).

Tekstil atıksularında membran prosesi sonrası tekrar kullanım için uygun su kalitesine ulaşabildiği (KOİ < 30 mg/l, BOİ < 10mg/l, TOK < 10mg/l, Bulanıklık = 1 NTU, AKM = 2 mg/l) gösterilmiştir. Kâğıt endüstrisi atıksularının anaerobik ve/veya aerobik arıtım çıkışının iki kademeli UF-RO sisteminden geçirilerek % 60'ının proseste tekrar kullanımının mümkün olduğu belirtilmektedir.

### 3. TEKSTİL ENDÜSTRİSİ

Tekstil endüstrisi; hazır giyim, ev tekstilleri ve teknik tekstiller için çok çeşitli ürünler meydana getirmesine rağmen, genelde dört ana bölüme ayrılarak incelenebilir. Bu dört ana bölüm şunlardır:

1. Elyaf Üretimi; Doğal, yarı sentetik, tam sentetik,
2. İplik Üretimi; Pamuk iplikçiği, yün iplikçiği, sentetik iplik,
3. Kumaş Üretimi; Dokuma, örme,
4. Kumaşların Terbiye İşlemleri; Kasar, boya, baskı, apre vb.

Entegre bir tekstil fabrikasında üretim kolları olarak değişiklik gösterse de genel olarak; iplik, dokuma, boya, baskı, terbiye, konfeksiyon gibi bölümleri bulunmaktadır.

Tekstil endüstrisinin ürünleri çok çeşitlidir. Günümüz dünyasında tekstil ürünlerinin kullanımları çok geniş bir alana yayılmıştır. Tekstil ürünleri denilince; öncelikle aklımıza iplik, kumaş, hazır giyim, ev tekstilleri ve bazı teknik tekstiller gelmektedir. Ancak tekstil ürünleri tıp alanından inşaat sektörüne, güvenlik malzemelerinden spor tesislerine, otomobil sanayinden uçak sanayine, tarımdan baraj ve tünel yapımına, elektrik sanayinden ambalaja ve denizciliğe kadar çok çeşitli sanayi kollarında çeşitli şekillerde kullanılmaktadır. Son yıllardaki gelişmelerle endüstriyel teknik tekstil ürünleri ve ev tekstili, halı, kilim de tekstil sektörü ilgi alanına girmektedir. Ülkemizde tekstil, konfeksiyon sektörü son yıllarda Türkiye GSMH'nın % 18'sini, toplam işgücünün % 15'den fazlasını sağlamaktadır. Hazır giyim sektörü 2,8 milyonun üzerinde çalışanı ile toplam istihdama % 21'lik katkı ve yaklaşık 10 milyon kişiye geçim olanağı sağlamaktadır. Türk tekstil sanayi bu gün dünyada 13. sırada, hazır giyim sektörü ise 6. tedarikçi durumundadır. Türk tekstil sanayi konfeksiyonda Avrupa Birliğinin (AB) Çin'den sonra 2. büyük tedarikçisi konumundadır. Sektördeki ihracat gelirlerinin % 75'i hazır giyim, % 25'de tekstilden

elde edilmektedir. Dünya pamuk üretimi ve Türkiye 7. sırada yer almaktadır. Tekstil ve hazır giyim ihracatının değer bazında yaklaşık % 85'i pamuklu sistem ürünleridir.

Tekstil endüstrisi; birbiri ile ilişkili birçok hammadde kullanarak, büyük sayıda üretim yapan farklı endüstrilerin oluşturduğu bir sanayi dalıdır. Önceleri mensucat olarak isimlendirilen tekstil endüstrisi, elyaf hammaddesinden elyaf üretimi, elyaftan iplik elde edilmesi, iplikten kumaş yapılması, kumaşın konfeksiyona hazırlanması (kasar, boya, baskı, apre) aşamasındaki tüm işlemleri kapsar. Özet olarak tekstili; elyaf, iplik, dokuma, örme, boya, apre (terbiye), nakış ve non-woven (dokusuz yüzey eldesi) olarak sınıflandırmak mümkündür.

Tekstil endüstrisi, doğal ve sentetik elyafları kullanarak kumaş ve diğer tekstil ürünlerini üreten tesisleri kapsamakta ve birbirinden çok farklı üretim kademelerinden oluşmaktadır. Kullanılan hammaddeler olan yün, pamuk, sentetik elyaf ve bunların karışımları ile başlayan üretim çeşitliliği, dokuma, örme, keçeleştirme ve benzeri işlemler gibi yarı ürünlerin oluşturulması ile genişlemekte ve son işlemler veya terbiyeleme olarak adlandırılan, ağartma, boyama ve apreleme gibi işlemler ile en fazla çeşitliliğe ulaşmaktadır.

En çok su kullanan endüstriler arasında olan tekstil endüstrileri atıksuları yüksek konsantrasyonda boyar madde, biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) ve askıda katı madde (AKM) gibi maddeler içermektedirler (Ranganathan ve diğ., 2006).

Tekstil atıksuları hem içerdikleri yüksek KOİ, hem de renk verici maddeler yönünden ekosistemde büyük kirlilik oluşturmaktadırlar. Bazı tekstil atıksularında işletme türüne bağlı olarak çok yüksek değerde ve biyolojik olarak parçalanması zor organik kirlilikler bulunmaktadır. Tekstil atıksularında bulunan organik kirlilikler biyolojik olarak parçalanabildiği takdirde, kimyasal arıtmaya dayalı biyolojik arıtma uygulanarak deşarj kriterlerine ulaşmak mümkün olabilmektedir. Ancak renk sorunu klasik arıtma sistemleriyle giderilemediğinden ve mevcut yönetmelikte deşarj kriteri olmadığından devam etmektedir.

1. Elyaf Üretimi: Elyaf, bütün tekstil ürünlerinin hammaddesi ve en küçük yapı birimidir. Elyaf, tekstil ürünlerinin ilk kademesini oluşturan eğilmeye ve bükülmeye uygun olan maddelerdir. Elyafın tekstilde kullanılabilmesi için; belli bir uzunluğu, inceliği, mukavemeti, elastikiyeti ve birbirine tutunma kabiliyeti olması gerekir. Elyaf, çeşitli işlem kademelerinden geçirildikten sonra iplik haline getirilir. Elde edilen iplik başta dokuma ve örme işlem olmak üzere çeşitli yöntemlerle yüzey haline getirilir. Tekstilde kullanılan elyaf, doğal ve insan yapısı (yapay) olmak üzere ikiye ayrılır.

Doğal Elyaf:

- a. Bitkisel Elyaf (pamuk, keten, jüt)
- b. Hayvansal Elyaf (yün, ipek)

Yapay Elyaf:

- a. Rejenere Elyaf (viskoz, Asetat)
- b. Sentetik Elyaf (poliester, poliamid, akrilik, polipropilen)

2. İplik Üretimi: İplikler sadece kesikli veya kesiksiz (filament) elyafın kullanılmasıyla ya da bir diğer şekilde her ikisinin birleştirilmesi ile elde edilirler. İplik eğirme; elyaf hammaddesinin bir seri işlem kademesinden geçirilmesi ile elde edilen, gerekli temizliğe, paralelliğe ve inceliğe sahip ön ipliğin herhangi bir eğirme sistemi ile iplik haline getirilmesidir. İplik Çeşitleri; düz, pürtüklü, mat ve parlak gibi türlerde olabilirlerse de esas sınıflama şu şekildedir.

- a. Elyaf Yapısına göre İplik Çeşitleri; Kesikli, filament
- b. Hammaddesine göre İplik Çeşitleri; Pamuk, keten, yün, ipek, viskon, rayon, sentetik kesikli, sentetik filament, karışım iplikler.
- c. Yapılarına göre İplik Çeşitleri; Fantezi, katlı, krep, özel yapı iplikler.
- d. Kullanım Yeri göre İplik Çeşitleri; Dokuma, örme, dikiş, dantel iplikleri vb. olarak ayrılır.

3. Terbiye İşlemleri: Genel anlamda; dokuma veya örmeden gelen kumaşın ya da iplik halindeki tekstil materyalinin, görünüm ve kullanım özelliklerini değiştirmek,

geliştirmek için yapılan işlemlerin tümüne terbiye denir. Terbiye işlemleri kimya teknolojisi ile yakından ilgilidir. Ancak şardonlama, kalandırlama gibi, mekanik etkilerle çeşitli efektlerin kazandırıldığı birçok terbiye işlemi de mevcuttur. Genel olarak terbiye işlemleri;

- a. Kasar (ön terbiye): Ön yıkama, haşıl sökme, ağartma, hidrofilleştirme, bazık işlem, krablama, karbonize, merserize.
- b. Boyama: Elyaf çekme çözeltisinde boyama, elyaf halinde boyama, tops boyama, iplik halinde boyama, kumaş boyama, hazır giysi boyama.
- c. Baskı: Direkt baskı, ronjan baskı, rezerve baskı, özel baskı.
- d. Apre (bitim işlemi): Kimyasal ya da yaş terbiye, mekanik yada kuru terbiye şeklinde çeşitlilik gösterir. Türkiye tekstil terbiye sektörü pamuklu, yünlü ve sentetik olmakla beraber genelde pamuk ağırlıklıdır. Türkiye’de terbiye işletme sayısı yaklaşık 400 civarındadır. Bunların % 47’si entegre işletmelerden, % 53’ü fason terbiye işletmelerinden oluşmaktadır.

Ülkemiz tekstil terbiye sektörünün % 70’i Marmara Bölgesindedir. Pamuk sektöründe pamuk ve karışım terbiyesi yapan işletmelerin oranı yaklaşık % 80’dir. Yün sektöründe ise, en çok yün ve sentetik karışımlarının terbiyesi gözlenmektedir.

### **3.1 Tekstil Endüstrisinde Proses ve İşlemler**

Tekstil endüstrisi hammaddesi olan elyaflar, doğal ve fabrikasyon elyaflar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Doğal elyaflar arasında, pamuk, keten, kenevir, yün, ipek ve kıl; fabrikasyon elyaflar arasında ise, reyon, kazein, selüloz, ester, naylon, polyester, akrilik ve vinil bulunmaktadır. Bunlar arasında en çok kullanılan elyaflar, pamuk, yün, reyon, naylon ve polyesterdir. Tekstil endüstrisinde yer alan proses ve işlemler, işenen elyafa bağlı olarak bazı farklılıklar göstermektedir. Kullanılan elyaf cinsine göre değerlendirildiğinde, pamuklu, yünlü ve sentetik olmak üzere başlıca üç ana grupta toplanmaktadır. Pamuk ve sentetik elyaflarda, başlangıçta yıkamayı gerektirecek bir kirlilik bulunmamaktadır. Buna karşın, yünlü elyaflar çok kirli olduklarından dolayı, başlangıçta bir yıkama işlemine tabi tutulmaktadırlar.



### **3.2 Tekstil Sektöründe Kullanılan Boyar Maddeler**

Tekstil sektöründe pek çok değişik türde boyar madde kullanılmaktadır. Bunların en çok kullanılanları ve boyadıkları elyaf türleri genel olarak şunlardır:

1. Direkt boyar maddeler: Selülozik elyaf boyamada kullanılır.
2. Küpe boyar maddeler
3. Kükürt boyar maddeler: Selülozik elyaf boyamada kullanılır.
4. Azoik boyar maddeler
5. Reaktif boyar maddeler: Pamuklu kumaş boyamada kullanılır.
6. Ham halde kullanılan boyar maddeler
7. Oksidasyon boyar maddeler: Selülozik elyaf boyamada kullanılır.
8. Asit boyar maddeler
9. Bazik boyar maddeler: En çok akrilik elyafın boyamasında kullanılır.
10. Mordan boyar maddeler
11. Krom boyar maddeler: Yün ve poliamid elyaf boyamada kullanılır.
12. Metal-Kompleks boyar maddeler: Yün ve poliamid elyaf boyamada kullanılır.
13. Dağılan boyar maddeler: Asetat ve sentetik elyafın boyanmasında kullanılır.
14. Pigment boyar maddeler: Tüm tekstil materyallerinin boyanmasında kullanılır.

Alıcı ortamda renk parametresinin, doğrudan değil dolaylı etkileri meydana gelmektedir. Boyama işlemleri daha çok asidik veya bazik ortamlarda gerçekleştirildiğinden, ortaya çıkan atıksuların da genellikle pH 1 nötr olmamakta ve ortaya karmaşık karakterlerde su çıkmaktadır. Renk, estetik açıdan istenmeyen bir parametre olmasının yanında, güneş ışığını geçirmemesinden dolayı, fotosentezi yavaşlatıp çözünmüş oksijen değerini düşürmekte ve ekolojik dengenin bozulmasına sebep olmaktadır.

### **3.3 Tekstil Endüstrisinden Kaynaklanan Atıksuların Özellikleri**

Tekstil endüstrisi üretimindeki çeşitlilik, oluşan atıksularda da kendini göstermektedir. Tekstil endüstrisi, çok miktarda su kullanan bir endüstridir. Bunun

sonucunda, kirlilik yükü çok yüksek, günlük ve mevsimsel olarak çok değişen atıksular oluşmaktadır.

Tekstil endüstrisi atıksuları içeriğindeki boyar madde sebebiyle diğer birçok endüstriye göre oldukça renkli atıksulardır. Tablo 3.1’de farklı boyaların kullanıldığı ve farklı elyafların boyandığı boyahane atıksularının karakterizasyonuna ilişkin bazı değerler görülmektedir.

Tablo 3.1. Boyama atıksularının karakteristikleri (Correia ve diğ., 1994).

Boya Türü	Elyaf Çeşidi	Renk (ADMI)	BOİ (mg/l)	TOK (mg/l)	AKM (mg/l)	ÇKM (mg/l)	pH
Asit	Poliamid	4000	240	315	14	2028	5,1
1:2 Metal Kompleks	Poliamid	370	570	400	5	3945	6,8
Bazik	Akrilik	5600	210	255	13	1469	4,5
Direkt	Viskoz	12500	15	140	26	2669	6,6
Reaktif, k-Kesikli	Pamuklu	3890	0	150	32	12500	11,2
Reaktif, Sürekli	Pamuklu	1390	102	230	9	691	9,1
Vat	Pamuklu	1910	294	265	41	3945	11,8
Dispers, yüksek sıcaklıkta	Polyester	1245	198	360	76	1700	10,2

Tekstil endüstrisinde kullanılan boyar maddeler, boyanacak olan kumaşın cinsine bağlı olarak değişik özellikler göstermektedir. Boya banyolarında boyanın yanında yardımcı kimyasallar da kullanılmaktadır. Bu kimyasallar boyanın kumaşa daha iyi tutunabilmesi için kullanılan tuzlar, iyon tutucular ve tamponlama görevini üstlenen çeşitli kimyasallardır. Kullanılan çeşitli kimyasal maddelerin renk parametresine doğrudan bir katkıları olmamasına rağmen, atıksularda kirliliği arttıran bir unsur olarak daha sonraları büyük problemler yaratabilmektedir. Atıksulardaki rengin, başlıca kaynağı kullanılan boyalardır.

Tekstil sektöründen kaynaklanan sıvı atıklarının genel karakteristiklerinde;

- BOİ, KOİ, AKM, Yağ, Gres, NH<sub>4</sub>-N, Sülfat, NO<sub>3</sub>-N,
- Hidrolize olmuş sodyum asetat silikat larpartin sülfat türevleri,
- Hidroliz olmuş vinil sülfat türevleri, fosfat türevleri, polimerler, üre,

- d. Seyrelmiş halde, hidroliz olmuş boyama prosesi atıkları,
- e. Hidroliz olmuş yağ asitleri, türevleri ve etoksilatlar,
- f. Hidroliz olmuş organik ve inorganik bileşikler,
- g. Çözünmüş oksijen, haşıl maddeleri ve inorganik iyonlar ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ),
- h. Hidroliz olmuş antarkinon türevlerini içeren kimyasal karakterli maddelerdir.

Tekstil atıksuları, kompleks yapılarının yanı sıra yüksek hacimleri ile de problem yaratmaktadır. Su tüketimi açısından ilk sıralarda yer alan bu endüstri, dünyanın giderek azalan su kaynaklarının korunması amacıyla son yıllarda yer alan atıksu geri kazanımı çalışmalarına en fazla konu olan endüstrilerden birisidir. Tekstil endüstrisi ile ilgili diğer bir sorun da, pek çok alt dalı olması nedeniyle oldukça değişken yapı ve hacimlerde atıksu üretilmesidir. Bu durumda arıtma yöntemleri seçiminde herhangi bir genellemeyi oldukça zorlaştırmakta, dolayısıyla her üretim tesisinin ayrı bir örnek olarak ele alınmasını zorunlu kılmaktadır.

### **3.4 Tekstil Atıksularının Arıtımı**

Tekstil atıksuları yüksek hacimli ve bileşimi büyük değişimler gösterebilen atıksular olarak tanımlanmaktadır. Biyolojik olarak parçalanamayan boyar maddeler ve toksik bileşikler içermesi olasılığının yüksek olması, alıcı sular açısından risk oluşturma potansiyelini de beraberinde getirmektedir. Bu nedenle tekstil endüstrilerinden kaynaklanan atıksuların uygun ve etkili yöntemlerle giderilmesi büyük önem taşımaktadır. Boyar madde içeren tekstil endüstrisi atıksularına uygulanan mevcut renk giderme metotları rengin çamurda yoğunlaştırılması veya renkli moleküllerin kısmen ya da tamamen parçalanmasını içermektedir. Boya giderimi için fiziksel ve kimyasal metotların kullanılması özellikle atıksu hacmi küçük olduğunda etkili olmaktadır. Bu durum membran filtrasyonu veya cucurbituril gibi yöntemler için de geçerlidir.

Kimyasal çöktürme yönteminde kullanılan kimyasalların maliyeti ve oluşan çamur problemi şüphesiz yöntemin en büyük dezavantajlarıdır. Oksidasyon yöntemlerinin uygulanmasını sınırlayan faktör ise toksik yan ürünlerin oluşma potansiyelidir.

Fiziksel yöntemler içinde yaygın şekilde kullanılan adsorpsiyon yönteminde aktif karbon kullanımı arıtım verimliliği açısından etkili olurken malzemenin pahalı oluşu ve rejenerasyon ihtiyacı dezavantaj oluşturmaktadır. Daha ucuz adsorbentlerin kullanımı rejenerasyon ihtiyacını ortadan kaldırırken bertaraf edilmesi gereken atık problemi doğmaktadır. Diğer bir fiziksel metot olan membran filtrelerde, ayırmadan sonra kalan konsantre atığın bertaraf problemlerine neden olması, sermaye giderlerinin yüksek olması, membranın tıkanma olasılığı gibi dezavantajlar söz konusudur. İyon değiştiriciler için en büyük dezavantaj ise kuşkusuz yöntemin maliyetidir. Nispeten ucuz sistemler olan konvansiyonel aktif çamur sistemleri yalnız başına etkili bir renk giderimi sağlayamadığı için genellikle kimyasal ya da fiziksel yöntemlerle veya anaerobik yöntemle birlikte kullanılmaktadır. Bazı özel aerobik türlerin kullanılmasıyla etkin bir renk giderimi sağlanabilmesine rağmen klasik aktif çamur sistemlerinde renk giderimi genel olarak biokütleyle olan adsorpsiyonla sağlanmaktadır.

Sistemde meydana gelen düşük renk giderimi, sistem çıkış suyunun alıcı su kaynakları için gerek estetik gerekse ekolojik açıdan bir risk oluşturmasına neden olmaktadır. Bu nedenle son yıllarda yapılan çalışmalar boyar madde içeren tekstil atıksularının arıtımında anaerobik ön arıtımın kullanılabilirliği üzerinde odaklaşmaktadır. Anaerobik arıtmayla boyar maddeye rengini veren kromofor grupları parçalanabilmektedir. Kombine bir anaerobik aerobik prosesle hem etkili bir renk giderimi sağlanabilmekte hem de yüksek bir KOİ giderim verimine ulaşabilmektedir. Bu nedenle boyar maddelerin aerobik ve anaerobik giderim mekanizmalarının daha iyi anlaşılmasına ve arıtmadan sorumlu türlerin tespitine yönelik çalışmalar hız kazanmaktadır. Farklı tipteki boyar madde ve yardımcı kimyasallardan oluşan karışımların, farklı karbon kaynaklarının ve farklı reaktör konfigürasyonlarının denendiği laboratuvar çalışmalarıyla prosesin verimliliği araştırılmalıdır.

Tekstil endüstrileri, yaş dokuma prosesleri için çok büyük miktarlarda su ve kimyasal tüketmektedirler. Gerek boyamada gerekse diğer işlemlerde kullanılan bu organik ve inorganik formdaki bileşiklerin çeşitliliğine bağlı olarak, ortaya çıkan atıksuların özellikleri de farklı olmaktadır. Özellikle son terbiye ve boyama-yıkama

işlemleri sırasında kullanılan su miktarları ve ilave edilen katkı maddeleri ile oluşan atıksuların arıtılmasında problemler ortaya çıkmaktadır. Tekstil endüstrisi atıksularının arıtılmasında KOİ ve renk giderimi başlıca amaç olmakta ve bu amaçla kimyasal ve biyolojik arıtma kombinasyonları kullanılmaktadır. Atıksulardan KOİ giderimi amacıyla biyolojik aktif çamur sistemleri kullanılırken, renk giderimi için adsorpsiyon, filtrasyon ve kimyasal prosesler tercih edilmektedir.

Alıcı sulara verilen renkli atıksular su ortamındaki ışık geçirgenliğini azaltır ve fotosentetik aktiviteyi olumsuz yönde etkiler. Ayrıca boyar maddelerin bazı sucul organizmalarda birikmesi toksik ve kanserojenik ürünlerin meydana gelme riskini de beraberinde getirmektedir. Bu bağlamda boyar madde içeren tekstil endüstrisi atıksularının renk giderim prosesleri ekolojik açıdan önem kazanmaktadır. Ancak kompleks kimyasal yapılarına ve sentetik kökenlerine bağlı olarak, boyar maddelerin giderilmesi oldukça zor bir işlemdir. Boyalı atıksuların karakterizasyonu, boyaların kimyasal yapısındaki farklılıklardan ve boyama prosesinin değişim göstermesinden dolayı oldukça zordur.

Türkiye'nin renk sorununu ileri arıtma yöntemleriyle giderip, Avrupa birliğinin kullandığı deşarj kriterlerine ulaşması gerekmektedir. Tekstil atıksularının arıtımı için fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma metotları uygulanmış ancak yaygın olarak kullanılan biyolojik arıtma proseslerinin çoğu, boya, KOİ ve bulanıklık gideriminde etkili olmalarına rağmen, renk gidermede etkisiz kalmışlardır.

Marcucci ve arkadaşları, (2001) yaptıkları bir çalışmada sentetik tekstil atıksuyunun toz aktif karbon ile araştırmışlar, önce aktif çamur prosesi ile arıttıkları atıksuya 15 g/L toz aktif karbon dozlamasıyla % 88-98 oranında KOİ giderme verimi elde etmişlerdir.

Chemia ve ark. (2005) pamuklu tekstil endüstrisi atıksularından KOİ giderimi için stabilizasyon havuzu, aerobik tank ve aerobik biyolojik arıtmayı laboratuvar ortamında uygulayarak sırasıyla % 80, % 90 ve % 62 oranlarında KOİ giderme verimi elde etmişler, arıtma çıkışından alınan atıksuda aktif karbon kullanarak

adsorpsiyon yöntemini uyguladıklarında ortalama olarak % 81 oranında KOİ giderme verimi sağlamışlardır.

Barredo ve arkadaşları (2006) tekstil atıksularındaki KOİ ve BOİ' yi gidermek için beş farklı oksidant kullanarak (hidrojen peroksit, sodyum hipoklorit, kalsiyum hipoklorit, potasyum dikromat, kalsiyumdikromat) oksidasyon yöntemini uygulamışlar ve kalsiyum hipoklorit ile KOİ'yi % 69 oranında gidermişlerdir (100°C sıcaklık, 24 saat süre).

Son yıllarda yapılan çalışmalarda, biyolojik aktif çamur sistemlerinde KOİ ve renk giderimi amacıyla ortama farklı katkı maddeleri ilavesi yapılmış ve giderim verimleri araştırılmıştır. Bu çalışmalarda adsorbent özelliği taşıyan bentonit, aktif kil, toz aktif karbon gibi maddeler tercih edilmektedir (Marcucci ve diğ., 2001).

Tekstil atıksularının arıtımında kullanılan konvansiyonel yöntemler arasında; biyolojik arıtma, fiziksel-kimyasal prosesler, adsorpsiyon ve kimyasal oksidasyon yer almaktadır. En yaygın olarak kullanılan biyolojik arıtmada genellikle boyaların aromatik yapıları ve toksisiteleri nedeniyle etkin bir renk giderimi sağlanamamaktadır (Chemia ve diğ., 2005).

Fiziksel ve kimyasal proseslerde yüksek kimyasal dozu ve çamur üretiminde artış; adsorpsiyonda sınırlı kapasite ve kimyasal oksidasyonda ise toksik ara ürünlerin meydana çıkması gibi sorunlar bu yöntemlerin başlıca dezavantajlarıdır. Günümüzde mevcut yöntemlerin etkin bir arıtma sağlayamaması ve deşarj standartlarının yönetmeliklere uygun hale getirilmesi nedeniyle ozonlama, fotokataliz ve membran prosesleri gibi ileri arıtma yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bazı durumlarda ise birden fazla yöntemin birlikte kullanılması gerekmektedir. Tek başına veya birlikte kullanılan konvansiyonel yöntemler temel olarak deşarj standartlarını sağlamaya yönelik olarak uygulanmaktadır. Membran prosesleri ise, buna ek olarak, atıksuda bulunan değerli maddelerin ve suyun geri kazanımı söz konusu olduğunda üstün ayırma performansları ile oldukça gelecek vaat etmektedir. Barredo ve arkadaşlarının (2006) yürüttüğü bir çalışmada, membran prosesler ile süzüntü suyunun % 97 – 99 oranında geri kazanıldığı ve boyaların % 99 – 100 oranında tutulduğu gözlenmiştir.

Çalışma sistemlerine göre, Tekstil endüstrisinde başlıca atıksu kaynakları, yıkama, ağartma, boyama ve son işlemlerden kaynaklanmaktadır. Atıksular BOİ, KOİ, AKM, azot, fosfor, renk, ağır metaller gibi parametrelerle ifade edilmektedir. Proses sırasında ön arıtma olarak anaerobik arıtmanın kullanılması, renk ve TOK giderme verimlerini artırmaktadır. Laboratuvar ölçekli reaktöründe, % 90 TOK ve % 96 renk giderme verimleri elde edilmiştir. Tekstil atıksularının metan fazı oluşumunu inhibe ettiğini ve bunu önlemek için granüler aktif karbon ilavesinin, renk giderme verimini daha da artırdığı belirtilmiştir. Amerika’da yapılan bir çalışmada, boyalı atıksular evsel atıksu arıtma çamurları ile birleştirilerek anaerobik olarak arıtılmış ve çok iyi derecede renk giderme verimi elde edilmiştir (Barredo ve diğ., 2006).

Kimyasal arıtma, aktif çamur sistemlerinden önce veya sonra uygulanmaktadır. Aktif çamur sistemlerinden sonra kullanılması durumunda çok iyi bir renk giderimi elde edilmektedir. Reaktif boyalar üzerinde, FeCl<sub>3</sub>’ün etkisini araştırılmış ve pH, 6,5 civarında büyük oranda bir renk giderimi sağlanmıştır. İngiltere’de, katyonik polimerler kullanılarak, reaktif boyar madde içeren atıksuların arıtımı yapılmış ve nehre deşarj edilebilecek kalitede su elde edilmiştir. İtalya’da, At Livescia arıtma tesisinde atıksular (evsel ve tekstil atıksuyu karışımı), biyolojik arıtmadan sonra, kimyasal arıtma ile arıtılmış ve katyonik polimerler kullanılarak, % 40 oranında renk giderimi sağlanmıştır (Guohua ve diğ., 1996).

Boyalı atıksuların karakterizasyonu, boyaların kimyasal yapısındaki farklılıklardan ve boyama prosesinin değişim göstermesinden dolayı oldukça zordur. Boyar maddeler genellikle iki ana bileşenden oluşan küçük moleküllerdir. Suyu rengini veren kromofor ve boyayı ipliğe bağlayan fonksiyonel gruptur. Literatürde kimyasal yapısına göre veya uygulandığı ipliğin tipine göre sınıflandırılmış yüzlerce çeşit boya mevcuttur. Boyanın iplik üzerine adsorbe olması tekstil ipliğine ve boyanın tipine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Adsorbsiyonun derecesi zaman, sıcaklık, pH ve yardımcı kimyasallar gibi çeşitli faktörlerin de etkisi altındadır. Boyama prosesinde sıkça kullanılan yardımcı kimyasallar Tablo 3.2’de listelenmiştir aynı zamanda boyama prosesi çıkış sularında boyar maddeler haricinde çok sayıda farklı bileşiklerin de bulunacağını göstermektedir. Tek bir boyama işlemi için farklı kimyasal sınıftaki boyar maddelerin birlikte kullanılabilir olması çıkış suyu

bileşimini daha da karmaşık hale getirmektedir. Boyama prosesi çıkış sularındaki kimyasal yük, prosesin kimyasının yanı sıra boyama işleminin kesikli ya da sürekli olmasına bağlı olarak da farklılıklar göstermektedir.

Tablo 3.2. Boyama prosesinde en sık kullanılan yardımcı kimyasallar (Guohua ve diğ., 1996)

<b>Kimyasal Madde</b>	<b>Bileşim</b>	<b>Fonksiyon</b>
Tuzlar	Sodyum Klorür Sodyum Sülfat	Elyafın zeta potansiyelini nötralize edici
Asitler	Asetik Asit Sülfürik Asit	pH kontrolü
Bazlar	Sodyum Hidroksit Sodyum Karbonat	pH kontrolü
Tamponlar	Fosfat	pH kontrolü
Kompleks yapılar	EDTA	Kompleks yapma, yavaşlatıcı
Düzenleştirici ve yüzey aktif maddeler	Anyonik, Katyonik ve Noniyonik	Boyalari dağıtma, boya uygulamasını düzene sokma
Okside edici maddeler	Hidrojen Peroksit Sodyum Nitrit	Boyalari çözünemez yapma
İndirgeyici maddeler	Sodyum Hidrosülfid Sodyum Sülfid	Boyalari çözünebilir yapma, reaksiyona girmemiş boyalari uzaklaştırılması
Taşıyıcılar	Klorlu Benzenler	Adsorbsiyonun artırılması

Parlak renkli olan ve suda çözünebilir reaktif ve asit boyar maddeler konvansiyonel arıtma sistemlerinden etkilenmeden çıktıkları için çevresel açıdan en sorunlu boyalar olarak kabul edilirler. Bu boyalari belediye arıtma sistemlerindeki aerobik gideriminin yetersiz kaldığı bilinmektedir.

### 3.5 Tekstil Atıksularının Arıtılmasında Kullanılan Kimyasal Yöntemler

Tekstil atıksularının kimyasal yöntemlerle arıtılması uzun yıllardan beri en çok rağbet gören yöntem olmuştur. Bunun en büyük nedeni şüphesiz atıksu kalitesinde meydana gelen değişikliklerin kullanılan kimyasalda veya uygulanan dozda yapılan değişikliklerle kolayca tolere edilebilir olmasıdır (Socha, 1991). Tekstil endüstrisi atıksularının arıtımında en yaygın olarak kullanılan kimyasal yöntemler oksidasyon yöntemleri, kimyasal çöktürme ve flokülasyon yöntemi ve Cucurbituril ile arıtımdır.



### 3.5.1 Oksidasyon

Oksidasyon kimyasal yöntemler içinde en yaygın olarak kullanılan renk giderme yöntemidir. Bunun en büyük nedeni uygulanmasının basit oluşudur. Kimyasal oksidasyon sonucu boya molekülündeki aromatik halka kırılarak atıksudaki boyar madde giderilir.

### 3.5.2 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Fe(II) tuzları (fenton ayırıcı)

Fenton ayırıcı (Fe(II) tuzlarıyla aktive edilmiş hidrojen peroksit) biyolojik arıtmayı inhibe edici ya da toksik atıksuların oksidasyonu için çok uygundur. Fenton ayırıcı ile yapılan arıtım ön oksidasyon ve koagülasyon olmak üzere iki adımda gerçekleşir. Yapılan bir çalışmada fenton ayırıcıyla yapılan ön oksidasyon prosesinde renk giderim hızının KOİ giderim hızına göre daha yüksek olduğu ve renk ile KOİ gideriminin büyük bir kısmının ön oksidasyon basamağında gerçekleştiği belirlenmiştir (Kang & Chang, 1997).

Atıksuların fenton ayırıcı ile arıtılmasında renk yok edildiği gibi adsorbe olabilir organohalidler de giderilebilmektedir. Ayrıca, metal-kompleks türündeki boyalardan kaynaklanan ağır metaller, demir oksitlerle birlikte nötralizasyon basamağında çöktürülebilmektedir. Fenton ayırıcı ile arıtma bu açıdan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> kullanılan yöntemlere göre daha avantajlı konumdadır (Sewekow, 1993). KOİ, renk ve toksisite giderimi gibi avantajları yanında prosesin bazı dezavantajları da mevcuttur: Proses flokleşme işlemini de içerdiği için atıksudaki kirleticiler çamura transfer olurlar ve çamur problemi ortaya çıkar (Robinson ve diğ., 2001).

### 3.5.3 Ozon

Ozon uygulamaları 70'li yılların başında başlamıştır. Ozonlama ile dikkate değer boyutlarda renk giderimi sağlanabilmektedir. Ozonlama sonucu elde edilen renk giderimi boyanın cinsine göre farklılık göstermektedir. Strickland ve Perkins (1995) tarafından yapılan çalışmada 30 dakikalık bir zaman süresince ozonlanan azoik, dispers/sülfür ve reaktif boya içeren atıksularda başarılı bir renk giderimi

sağlanırken, Vat boyar maddesi içeren atıksu için aynı başarıyı gösterememiş ve renk giderimi % 50 ile sınırlı kalmıştır. Boya banyosu çıkış sularının ozonlandıktan sonra tekrar kullanılabilmesi tesis için kimyasal madde ve su tasarrufu sağlamakta, atıksu arıtma tesisinin yükü azalmaktadır (Perkins ve diğ., 1995). Yüksek kararsızlığına bağlı olarak oldukça iyi bir yükseltgen olan ozon aynı zamanda tekstil yaş proseslerinden kaynaklanan atıksularda bulunan yüzey aktif maddeler ve taşıyıcılar gibi diğer kirleticilerin giderilmesine de yardımcı olmaktadır. Ozonla oksidasyon, klorlu hidrokarbonların, fenollerin, pestisitlerin ve aromatik hidrokarbonların parçalanmasında da oldukça etkilidir. Boya içeren atıksulara uygulanan dozaj, toplam renge bağlıdır ve giderilecek KOİ bir kalıntı ya da çamur oluşumuna veya toksik ara ürünlerin oluşumuna neden olmaz. Boya içeren atıksuların ozonlanmasında hız sınırlayıcı basamak ozonun gaz fazından atıksuya olan kütle transferidir. Azo boyar madde içeren atıksuların ozonlama yöntemiyle arıtıldığı bir çalışmada ozon transfer hızının, başlangıç boya konsantrasyonuna, uygulanan ozon dozlaması ve sıcaklığa bağlı olarak arttığı belirtilmiştir. Çalışmanın sonucunda ozonlamanın kimyasal oksijen ihtiyacını % 27 ile % 87 oranında düşürebildiği ve atıksuyun biyolojik parçalanabilirliğini 11 ila 66 kez arttırabildiği vurgulanmıştır (Wu ve Wang, 2001). Diğer önemli bir avantaj ise ozonun gaz durumunda uygulanabilir olması ve dolayısıyla diğer bazı yöntemlerin aksine atık çamur oluşmamasıdır. Boyalardaki kromofor grupları genellikle konjuge çift bağlı organik bileşiklerdir. Bu bağlar kırılarak daha küçük moleküller oluşturabilir ve renkte azalmaya neden olabilirler. Bu küçük moleküller atıksuyun kanserojenik ya da toksik özelliklerini arttırabilmektedir. Bu durumun önlenmesinde ozonlama ilave bir arıtım metodu olarak da uygulanabilmektedir. Yarı ömrünün kısa oluşu (tipik olarak 20 dakika) ozonlamanın en büyük dezavantajıdır. Alkali şartlarda ozonun bozunması hız kazandığı için atıksuyun pH'ı dikkatle izlenmelidir. Ozonlama yönteminin diğer bir dezavantajı kısa yarı ömrüne bağlı olarak ozonlamanın sürekli olması gerekliliği ve yüksek maliyettir (Robinson ve diğ., 2001).

#### **3.5.4 Fotokimyasal yöntem**

Bu yöntem boya moleküllerini, hidrojen peroksit varlığında UV radyasyonu ile CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O'ya dönüştürür. Parçalanma yüksek konsantrasyonlardaki hidroksil

radikallerinin oluşmasıyla meydana gelir. Yani, UV ışığı hidrojen peroksiti aktive ederek iki hidroksil radikaline parçalanmasını sağlar.



Böylece organik maddenin kimyasal oksidasyonu gerçekleşir. Fotokimyasal yöntemlerde UV radyasyonu genellikle civa ark lambalarıyla sağlanmaktadır. Unkroth ve diğ., (1997) tarafından yapılan bir çalışmada civa lambalarının kullanılmasına alternatif olarak lazer destekli fotokimyasal arıtım önerilmiştir. Ancak yapılan çalışma sonucunda yöntemin enerji verimliliği açısından iyi sonuçlar vermediği görülmüş, yeni ve daha etkili bir radyasyon kaynağının geliştirilmesi gerekliliği vurgulanmıştır. Boyar maddenin giderim hızı, UV radyasyonunun şiddetine, pH'a, boyar maddenin yapısına ve boya banyosunun kompozisyonuna bağlıdır (Robinson ve diğ., 2001). Genellikle, pH 7 olduğunda, UV radyasyon şiddeti yüksek olduğunda, farklı boya sınıfları için farklı değerler alan optimum miktarda hidrojen peroksit uygulandığında ve boya banyosu yükseltgenme potansiyeli peroksitten büyük olan oksitleyici maddeler içermediğinde etkili bir renk giderimi söz konusudur (Slokar ve Marechal, 1998). Boya içeren atıksuların fotokimyasal yöntemlerle arıtılmasının en önemli avantajı atık çamur oluşmaması ve kötü kokulara neden olan organiklerin önemli derecede azaltılmasıdır.

### **3.5.5 Sodyum hipoklorit (NaOCl)**

Renkli atıksuların kimyasal oksidasyonu klorlu bileşiklerle de mümkündür. Bu metodda,  $\text{Cl}^+$  ile boya molekülünün amino grubuna etki eder ve azo bağının kırılmasını sağlar. Klor konsantrasyonundaki artışla birlikte renk giderimi de artar. Sodyum hipoklorit ile renk giderimi asit ve direkt boyalar için tatmin edici sonuçlar vermektedir. Reaktif boyaların arıtımı için ise daha uzun zamana ihtiyaç vardır. Metalkompleks boya çözeltileri arıttıktan sonra kısmen renkli kalırken dispers boya çözeltilerinde NaOCl ile renk giderimi gerçekleşmez (Slokar ve Marechal, 1998). Son yıllarda alıcı ortamlardaki olumsuz etkilerinden dolayı boyar madde giderimi için klor kullanımı azalmıştır.

### 3.5.6 Elektrokimyasal yöntem

Bu yöntem 1990'ların ortalarında geliştirilen yeni bir yöntemdir. Elektrokimyasal bir reaksiyonda yük, elektrot ile iletken sıvı içindeki reaktif türler arasındaki arayüzeyde transfer olur. Elektrokimyasal bir reaktör bir anot, bir katot, bir iletken elektrolit ve güç kaynağından oluşmaktadır. Katotta yük reaksiyona giren türlere geçerek oksidasyon durumunda azalmaya neden olur. Anotta ise yük reaktif türlerden elektroda geçerek oksidasyon durumunu artırır. Oksidasyon durumundaki değişimler türlerin kimyasal özelliklerinin ve formlarının değişmesine yol açar. Boya gideriminde etkili bir şekilde kullanılabilirliği açısından yöntem bazı önemli avantajlara sahiptir. Kimyasal madde tüketimi çok azdır veya yoktur ve çamur oluşumu söz konusu değildir. Oldukça etkili ve ekonomik bir boya giderimi sağlar, renk gideriminde ve dirençli kirleticilerin parçalanmasında yüksek verim gösterir. Organik bileşiklerin elektrokimyasal yöntemlerle arıtımında söz konusu bileşikler anot üzerinde su ve karbondioksit okside olmaktadır. Önceleri anot olarak grafit sıklıkla kullanılmakta idi ancak son yıllarda yapılan çalışmalar elektro-oksitasyon için ince tabaka halinde soy metallerle (Platin, rutenyum vs.) kaplanmış titanyum elektrotlarının kullanımı üzerinde yoğunlaşmıştır. Tekstil boyarmaddesi içeren atıksularının elektrokimyasal olarak arıtıldığı bir çalışmada titanyum/platin anodu kullanılmış ve 18 dakikalık bir aktif arıtım süresinden sonra KOİ, BOİ ve renkteki azalmanın % 80'leri aştığı belirlenmiştir (Vlyssides ve diğ. 2000). Pelegrini ve diğ. (1999) tarafından yapılan diğer bir çalışmada fotokimyasal yöntemin ardından uygulanan elektrokimyasal yöntemin verimi belirgin olarak arttırdığı belirlenmiştir. Bu kombine prosesin kullanılmasıyla 120 dakikalık bir reaksiyon süresinde C.I. Reaktif Blue 19 boyar maddesinin rengi tamamen giderilmiş ve % 50 oranında mineralizasyon sağlanmıştır. Yöntemin en büyük dezavantajı tehlikeli bileşiklerin oluşma olasılığıdır. Naumczyk ve diğ. (1996) tarafından yapılan çalışmada tekstil atıksularının elektrokimyasal arıtımı sürecinde oluşan kloroorganik bileşik miktarlarının oldukça yüksek olduğu tespit edilmiştir. Yüksek akım hızlarının renk gideriminde doğrudan bir azalmaya neden olması diğer bir dezavantajdır. Kullanılan elektrik maliyeti diğer yöntemlerdeki kimyasal madde giderleriyle kıyaslanabilir niteliktedir.

### 3.5.7 Kimyasal flokleştirme ve çöktürme yöntemi

Bu yöntemde flokleştirme ve çökelme kimyasal maddeler yardımıyla sağlanır. Atıksuya katılan kimyasal maddeler yardımıyla meydana gelen flokleştirme ile çözülmüş maddeler ve kolloidler giderilirler. En çok kullanılan kimyasallar arasında,  $Al_2(SO_4)_3$ ,  $FeCl_3$ ,  $FeSO_4$  ve kireç sayılabilir. Tünay ve diğ. (1996) tarafından yapılan çalışmada asit boya içeren bir atıksuda kimyasal çöktürme, kimyasal oksidasyon ve adsorpsiyon yöntemleri denenmiş ve yöntemler renk giderim verimlilikleri açısından incelenmiştir. Kimyasal çöktürme deneylerinde makul kimyasal dozlarıyla orta dereceden yüksek dereceye kadar renk giderimi sağlandığı ve kullanılan kimyasallar içinde alumun nispeten daha etkili olduğu görülmüştür. Kimyasal çöktürme yönteminde inşaat masraflarından ziyade işletme masrafları önem taşımaktadır. Özellikle flokleştirme maddeleri ve meydana gelen çamurun bertaraf edilmesi, giderlerin önemli bir kısmını teşkil etmektedir.

### 3.5.8 Cucurbituril ile arıtım

Cucurbituril glikoluril ve formaldehitten oluşan bir polimerdir. Şeklinin, Cucurbitaceae bitki sınıfının bir üyesi olan balkabağına benzemesinden dolayı bu şekilde isimlendirilmiştir. İsimdeki uril, bu bileşiğin üre monomerini de içerdiğini ifade etmektedir. Yapılan çalışmalar bileşiğin çeşitli tipteki tekstil boyları için oldukça iyi bir sorpsiyon kapasitesine sahip olduğunu göstermiştir. Cucurbiturilin aromatik bileşiklerle kompleks oluşturduğu bilinmektedir ve reaktif boyların adsorpsiyonu için bu mekanizmanın geçerli olabileceği düşünülmektedir. Diğer bir yaklaşım ise giderim mekanizmasının hidrofobik etkileşimlere veya çözünemez cucurbituril-boya-kasyon agregatlarının oluşumuna dayandığı doğrultusundadır (Robinson ve diğ. 2001). Endüstriyel açıdan uygulanabilir bir proses için sabit yataklı sorpsiyon filtrelerine ihtiyaç vardır. Böylece adsorbanın fiziksel kuvvetlerle yıkanması ve cucurbiturilin kasyonların varlığıyla bozunması engellenebilir. Son yıllarda yapılan çalışmalar kimyasal mekanizmaların anlaşılması üzerinde yoğunlaşmakta ve proses üzerine pH' ın, sıcaklığın ve hidrolizin etkileri araştırılmaktadır (Karcher ve diğ. 1999). Çoğu kimyasal yöntem gibi bu yöntemde de en büyük dezavantajı ise maliyettir.

## **3.6 Fiziksel Yöntemler**

### **3.6.1 Adsorpsiyon**

Adsorpsiyon teknikleri konvansiyonel metotlar için fazla kararlı olan kirleticilerin giderimindeki verimlilikten dolayı son yıllarda ilgi görmektedir. Adsorpsiyon ekonomik açıdan makul bir yöntemdir ve yüksek kalitede ürün oluşumu sağlar. Adsorpsiyon prosesi, boya/sorbent etkileşimi, adsorbanın yüzey alanı, tanecik büyüklüğü, sıcaklık, pH ve temas süresi gibi pek çok fiziko-kimyasal faktörün etkisi altındadır. Adsorpsiyonla renk gideriminde en çok kullanılan yöntem aktif karbon yöntemidir. Aktif karbonla renk giderimi özellikle katyonik, mordant ve asit boyalar için etkiliyken, dispers, direkt, vat, pigment ve reaktif boyalar için daha az bir renk giderimi söz konusudur. Metodun performansı kullanılan karbonun tipine ve atıksuyun karakteristiğine bağlıdır. Rejenerasyon ve tekrar kullanım performansta azalmaya neden olurken bu dezavantaj aşırı miktarda aktif karbon kullanılmasıyla giderilebilir. Ancak aktif karbon pahalı bir malzemedir.

Adsorban olarak kullanılabilen diğer bir malzeme bataklık kömürüdür. Bataklık kömürü, boya içeren atıksulardaki polar organik bileşikleri ve geçiş metallerini adsorplayabilmektedir. Adsorban olarak bataklık kömürünün kullanımı özellikle bol bulunduğu İrlanda ve İngiltere gibi ülkelerde söz konusudur. Bataklık kömürü aktif karbona göre daha ucuzdur ancak aktif karbonun toz haldeki yapısından kaynaklanan geniş yüzey alanı daha yüksek bir adsorpsiyon kapasitesini ifade etmektedir. Ağaç kırıntıları, uçucu kül+kömür karışımı, silika jeller, doğal killer, mısır koçanı gibi malzemeler de, boya gideriminde Adsorban olarak kullanılabilir. Bunların ucuz ve elde edilebilir oluşu boyar madde giderimindeki kullanımını ekonomik açıdan cazip kılmaktadır (Robinson ve diğ. 2001).

### **3.6.2 Membran filtrasyonu**

Bu yöntemle boyanın sürekli olarak arıtılması, konsantre edilmesi ve en önemlisi atıksudan ayrılması mümkün olmaktadır. Diğer yöntemlere göre en önemli üstünlüğü sistemin sıcaklığa, beklenmedik bir kimyasal çevreye ve mikrobiyal aktiviteye karşı

dirençli olmasıdır. Ters osmoz membranları çoğu iyonik türler için %90'nın üzerinde verim gösterir ve yüksek kalitede bir permeat elde edilmesini sağlar. Boya banyoları çıkış sularındaki boyalar ve yardımcı kimyasallar tek bir basamakta giderilmiş olur. Fakat yüksek ozmotik basınç farklılığı ters osmoz uygulamalarını sınırlandırmaktadır. Nanofiltrasyon membranları negatif yüzeysel yüklerinden dolayı iyon seçicidirler. Yani, çok valanslı anyonlar tek valanslı anyonlara göre daha sıkı tutulurlar. Membranların bu karakteristiğine bağlı olarak boyalı atıksularda bulunan bir kısım yardımcı kimyasal membrandan geçebilmektedir (Machenbach, I., 1998). Yapılan çalışmalar, membran filtrasyonu ile çıkış suyunda düşük konsantrasyonda boyar madde içeren tekstil endüstrilerinde suyun tesise geri kazandırılmasının mümkün olduğunu göstermektedir (Rozzi ve diğ. 1999). Ancak yöntem, suyun yeniden kullanımı açısından önemli bir parametre olan çözünmüş katı madde içeriğini düşürmez. Membran teknolojileri, ayırmadan sonra kalan konsantre atığın bertaraf problemlerine neden olması, sermaye giderlerinin yüksek olması, membranın tıkanma olasılığı ve yenilenme gerekliliği gibi dezavantajlara da sahiptir.

### **3.6.3 İyon değişimi**

Boya içeren atıksuların arıtılmasında iyon değiştiricilerin kullanılması henüz yeterince yaygın değildir. Bunun ana nedeni, iyon değiştiricilerle arıtılarak olumlu sonuç alınan boya sınıfının kısıtlı olduğu düşüncesidir. İyon değişiminde, atıksu, mevcut değişim bölgeleri doygunluğa erişene kadar iyon değiştirici reçineler üzerinden geçer. Bu şekilde, boyar madde içeren atıksulardaki hem katyonik hem de anyonik boyalar uzaklaştırılabilmektedir. İyon değişiminin avantajları, rejenerasyonla Adsorban kaybının bulunmaması, çözücünün kullanıldıktan sonra iyileştirilebilmesi ve çözünebilir boyaların etkin şekilde giderilebilmesidir. En büyük dezavantaj ise kuşkusuz yöntemin maliyetidir. Organik çözücüler oldukça pahalıdır. Ayrıca iyon değişimi metodu dispers boyalar için pek etkili değildir. (Robinson ve diğ., 2001).

### **3.7 Biyolojik yöntemler**

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

#### **3.7.1 Aerobik yöntem**

Tekstil endüstrisi atıksuları, pH değişimlerine duyarlılığı yüksek olan konvansiyonel biyolojik arıtma tesislerinde önemli zorluklara sebep olmaktadır. Endüstriyel atıksuların arıtılmasında yaygın olarak kullanılan konvansiyonel aktif çamur sistemleri için tekstil endüstrisindeki birçok boya bileşiği ya biyolojik olarak çok zor indirgenebilmekte ya da inert kalmaktadır. Suda iyi çözünen bazik, direkt ve bazı azo boya atıklarının olması durumunda mikroorganizmalar bu tür bileşikler biyolojik olarak indirgeyememekle birlikte boyanın bir kısmını adsorbe ederek atıksuyun rengini almakta ve renk giderimi sağlanabilmektedir. Azo boyar maddeler gibi sentetik boyaların aerobik şartlar altında mikrobiyal parçalanmaya karşı dirençli olmasının nedeni boya malzemelerinin, kimyasal ve ışık kaynaklı oksidatif etkiler sonucu renklerinin solmamasını sağlayacak şekilde sentezlenmeleridir. Boyar maddelerin aerobik biyodegradasyonunu zorlaştıran diğer bir faktör ise moleküler ağırlıklarının yüksek olması nedeniyle biyolojik hücre zarından geçişlerinin zor olmasıdır (Willmott ve diğ. 1998). Azo, diazo ve reaktif boyar madde içeren bir tekstil atıksuyu renginin mikrobiyal proseslerle giderilmesinin araştırıldığı bir çalışmada aerobik kolonlardan izole edilmiş saf bakteri kültürlerinin renk giderimini gerçekleştirmediği belirlenmiştir. (Nigam ve diğ.1996) Oneill ve diğerlerinin



yapmış oldukları çalışmalarla, atıksudaki azo boyar maddeler gibi reaktif boyaların ortalama %10'unun aerobik biyokütleyle adsorbe olduğunu, geri kalanının ise aktif çamur tesisinden herhangi bir değişime uğramadan geçtiğini belirtmişler ve azo boyar madde içeren tekstil atıksularının renginin giderilmesinde aerobik arıtmanın yetersizliğini vurgulamışlardır.

Ancak bazı boyar maddelerin aerobik olarak parçalanabileceği doğrultusunda çalışmalar da mevcuttur. Odunsu bitkilerde bulunan, yapısal polimer lignini parçalayabilen ve ksenobiyotik maddelerin parçalanması amaçlı çalışmalarda en yaygın olarak kullanılan beyaz çürükçül küf *Phanerochaete chrysosporium*'un, lignin peroksidaz, manganeze bağlı peroksidaz gibi enzimleri kullanarak boyar maddeleri parçalayabildiği bilinmektedir. (Palma ve diğ., 1999). Bunun dışında beyaz küflerin, ligninolitik enzimlerin düşük pH değerlerinde (pH = 4,5–5) aktif olması ve atıksularda bulunma ihtimali düşük olan tiamin ile veratril alkol maddelerine ihtiyaç duyulması gibi dezavantajları vardır. (Kapdan ve Kargı, 2000)

### 3.7.2 Anaerobik ve aerobik yöntemler

Anaerobik arıtımın ilk basamağında asidojenik bakteriler karbonhidratlar, yağlar veya proteinler gibi organikleri düşük moleküler ağırlıklı ara ürünlere dönüştürürler. Bu fermantasyon ürünleri daha sonra asetojenik bakteri tarafından kullanılır ve asetat, karbon dioksit ve moleküler hidrojen açığa çıkar. Son olarak metanojenik bakteriler asetat ve karbondioksiti metana indirgerler. Metan ve karbondioksit içeren biyogaz, anaerobik parçalanma testlerinde parçalanmanın seviyesini belirleme amacıyla kullanılabilir. Boyar maddelerle yapılan anaerobik parçalanma çalışmaları, özellikle aerobik ortamda parçalanamayan suda çözünebilir reaktif azo boyar maddeler üzerinde yoğunlaşmıştır. Çift bağlı azot halkasına bağlı bu boyaların aerobik proseslerle arıtılabilirliğinin mümkün olmaması anaerobik arıtmanın ön arıtma olarak kullanılmasını gerektirmektedir. Anaerobik olarak renk gideriminin gerçekleşebilmesi için ilave karbon kaynağına ihtiyaç vardır. İlave karbon metan ve karbondioksit dönüştürülmekte ve elektronlar açığa çıkmaktadır. Bu elektronlar elektron taşıma zincirinden son elektron alıcısına yani azo-reaktif boyaya taşınmakta ve boyayla reaksiyona girerek azo bağına indirgemektedir. Böylece anaerobik

parçalanma sonucunda azo boyar maddelerdeki renkten sorumlu azo bağı kırılmakta ve renk giderimi sağlanmaktadır. Bu olay oksijen tarafından inhibe edilmektedir. Bu nedenle boya atıklarını renksizleştirmek için ilk adım azo köprüsünün indirgenerek parçalandığı anaerobik koşullar altında arıtım olmalıdır (Robinson ve diğ., 2001). Yapılan bir çalışmada ilave karbon kaynağı olarak kullanılan optimum miktardaki tapioca nişastasının prosesin renk giderme kapasitesini arttırdığı vurgulanmıştır (Chinwetkitvanich ve diğ., 2000). Sponza ve diğ. (2000) tarafından yapılan bir çalışmada Reaktif Black 5 ve Synozol Red boyalarının anaerobik arıtma ile renksizleştirebildikleri, kullanılan mikroorganizma kültürüne ve boya derişimine bağı olarak %23 ile %78 arasında değışen KOİ giderme verimlerinin elde edilebileceğı belirlenmiştir. Rengin tamamının giderilmesi azo boyar maddelerin renk veren N=N yapısının anaerobik kültür tarafından parçalanması ile mümkün olmuştur. KOİ'nin tamamen giderilememesi, meydana gelen ara ürünlerin anaerobik kültür tarafından parçalanamamasındandır.

Boyar maddeler normalde sitotoksik, mutajenik veya kanserojenik değılken, anaerobik parçalanma sonucu oluşan aminler bu özellikleri gösterebilmektedir. Bu nedenle anaerobik sistemler aerobik arıtmadan önce yer alan bir ön arıtım yöntemi olarak önerilmektedirler. Çünkü aromatik aminler, aromatik bileşimin halkasının açılması ve hidrosilasyonla aerobik ortamda mineralize olabilmektedirler. Böylece boyar madde içeren atıksuların kombine anaerobik-aerobik proseslerle arıtılması sonucu ilk basamakta etkili bir renk giderimi sağlanmakta ve anaerobik ortamda dirençli olan aromatik aminler aerobik basamakta giderilebilmektedir (Oneill ve diğ., 2000).

Endüstriyel atıksuların arıtımında kullanılan anaerobik (havasız) arıtma sistemlerinde yüksek miktarda biokütlenin tutulması iyi bir arıtma verimi sağladığı gibi aynı zamanda üretilen gaz miktarında artmaya ve daha iyi kalitede çıkış suyu elde edilmesine imkân sağlamaktadır. Bu sistemlerin işletilmesinde karşılaşılan en önemli problemlerden birisi sistemden biokütlenin ayrılması veya çökeltilmesidir. Bu probleme çözüm getirmek amacıyla bu sistemlerde çökeltme tankı yerine, karşı akım ultrafiltrasyon ünitesi kullanılarak membran anaerobik reaktör sistemi geliştirilmiştir (MARS)(Robinson ve diğ., 2001).

Su kirlenmesini önlemek için evlerden ve endüstrilerden gelen atıksuların alıcı ortamlara verilmeden önce arıtılmaları gerekmektedir. Atıksulardaki kirleticiler genellikle çözünmüş ve askıdaki organik maddelerdir. Anaerobik arıtma gibi biyolojik prosesler genellikle bu tip atıkların stabilizasyonunda kullanılır. Anaerobik arıtma, organik maddenin, oksijenin olmadığı bir ortamda CO<sub>2</sub> ve CH<sub>4</sub>'a (metan) dönüştürüldüğü bir bakteriyel fermantasyon işlemidir. Metan miktarı hem ticari bir değere sahip olmasından hem de organik madde giderilmesini göstermesi açısından son derece önemli bir parametredir. Organik maddenin % 95'inin CH<sub>4</sub>+CO<sub>2</sub>'e, % 5'inin biokütleyle dönüştürülmesi sistemde daha az çamur oluşumuna neden olmaktadır.

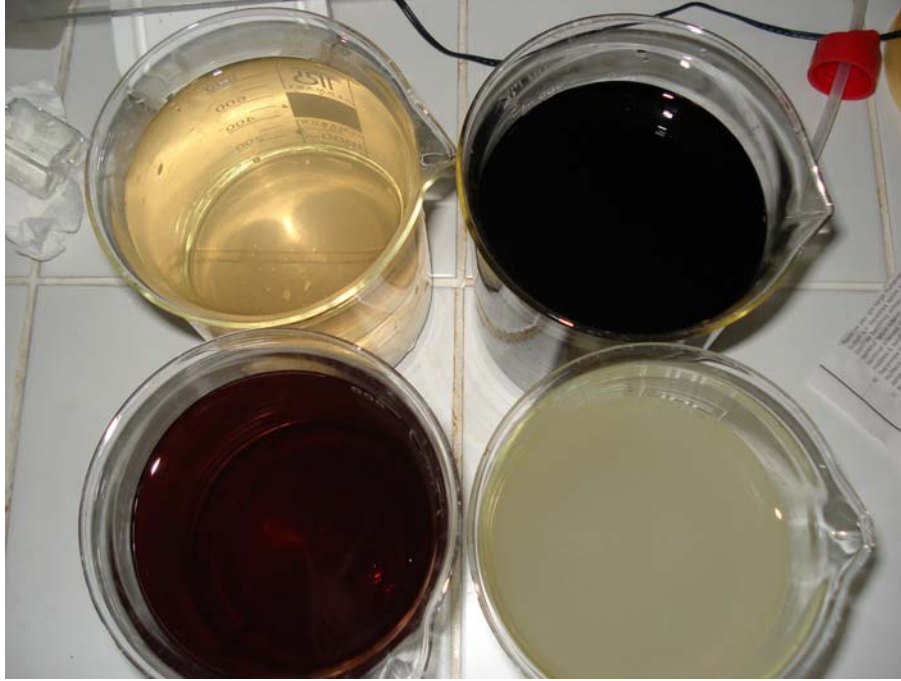
Aerobik proseslerde önemli işletme problemlerinden biri olan fazla çamura bu şekilde çözüm getirilmektedir. İngiltere'de yapılan araştırmalarda evlerden ve endüstrilerden gelen atıksuların % 60'ının anaerobik prosesler ile arıtıldığı ve bu yüzden hızlı bir artış eğiliminde olduğu görülmüştür. Oysa dünya geneline baktığımızda bu sistemler henüz yaygın olarak kullanılmama alanı bulamamıştır. Buna neden olarak aerobik proseslerin teknolojilerinin çok iyi bilinmesi ve anaerobik proseslerin çok karmaşık bir biyolojik yapıya sahip olmaları gösterilmiştir. 1970'li yıllarda başlayan enerji krizleriyle birlikte daha az enerji kullanan sistemler üzerinde yoğun araştırmalar başlatılmış ve hem bu probleme çözüm getirmek amacıyla hem de aerobik proseslerde karşılaşılan işletme problemlerine sahip olmamasından dolayı anaerobik proseslere ilgi yeniden artmıştır. Çünkü çözünebilir organik maddeler aerobik proseslerde katı organik maddelere (biyokütle) dönüştürülmekte ve bunların uzaklaştırılması da ayrıca sorun olmaktadır. Bir başka deyişle problem bir formdan bir başka forma dönüştürülmektedir. Ayrıca oksijen transfer hızının düşük olmasından dolayı aerobik proseslerde uygulanan yüklemelerde kısıtlamalar meydana gelmektedir. Özetle, anaerobik proseslerin havalandırmaya ihtiyaç duymamaları az çamur üretimi, az nütrient (besin maddesi) gerektirmesi ve metan gazının ticari bir değere sahip olmasından dolayı son yıllarda yoğun çalışmalar başlatılmış ve kullanım alanları hızla artmıştır. Bilindiği üzere, anaerobik atıksu arıtma sistemlerinde uygulanabilecek organik yüklemeler ortamdaki biokütle miktarının bir fonksiyonudur. Fakat, yeterli miktarda biokütlenin sistemde

tutulmasında problemlerle karşılaşıldığı görülmüştür. Sistemde biokütle kaybının olması sistemin verimini etkileyebileceği gibi aynı zamanda yüksek miktarda katı madde muhtevassından dolayı çıkış suyu kalitesinin bozulmasına neden olacaktır (katı madde konsantrasyonu (MLSS), 10000 mg/l). Sonuç olarak hem biokütle kaybını önlemek hem de daha iyi kalitede çıkış suyu elde etmek amacıyla crossflow (dik akışlı) ultrafiltrasyon tekniği kullanılarak yeni bir membran anaerobik reaktör sistemi geliştirilmiştir.

## 4. DENEYSEL ÇALIŞMA

### 4.1 Çalışmanın Amaç ve İçeriği

Çalışmanın uygulamaya yönelik kısmında İstanbul'da bulunan DİVO tekstil fabrikasından alınan atıksu örneklerinin membran prosesler yardımıyla arıtılabilirliği incelenmiştir. Deneysel çalışmalarda, fabrikanın üretimi sırasında, kasar, boya sonrası, yıkama sonrası suları ve fabrikada bulunan atıksu arıtma tesisi çıkış suyundan olmak üzere 4 farklı yerden alınan atıksu örnekleri kullanılmıştır.



Şekil 4.1 Deneysel çalışmaların yapıldığı atıksu numuneleri

Deneysel çalışmalarda 4 ayrı ham atıksu örnekleri ve bunlardan hazırlanan 2 ayrı atıksu karışımı (kasar + yıkama suyu ve boya sonrası + yıkama suyu) olmak üzere toplam 6 atıksu örneği ile çalışılmıştır. Hazırlanan 6 farklı atıksu karışımı,  $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de UF, NF ve RO membranlarından geçirilmiştir. Membran sistemleri farklı basınçlar altında işletilerek optimum basınç değerleri belirlenmiştir. Sistem performansı TOK,

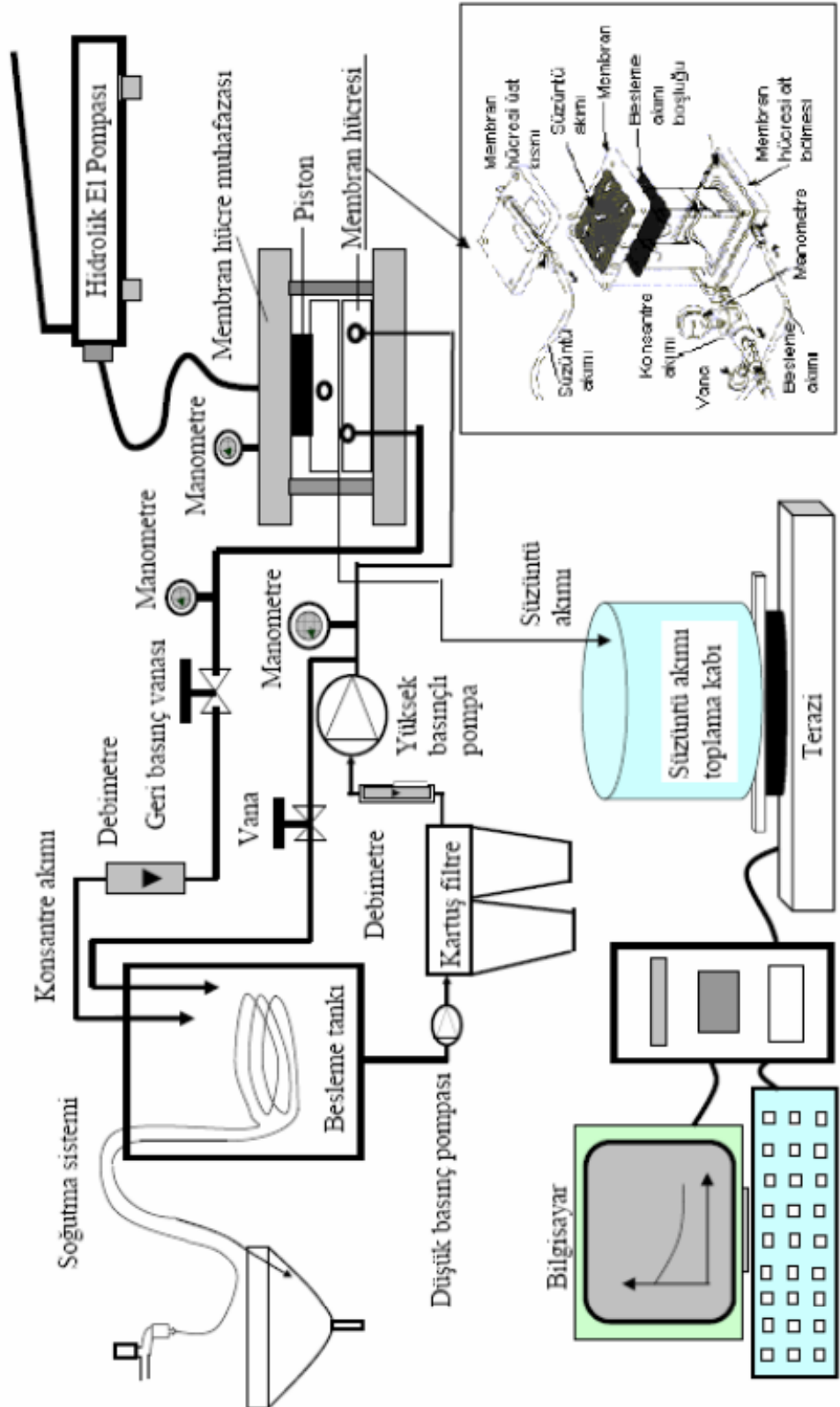
pH, iletkenlik, renk parametreleri analiz edilerek değerlendirilmiştir. Ayrıca boya sonrası atıksu numuneleri ile 3 farklı Nanofiltrasyon membranlarının (NF200, DS5, HPA250) yüksek basınç altındaki uzun süreli davranışları izlenmiştir. Her bir atıksu numunesi için 5 aşamadan oluşan çalışmalar yapılmıştır:

1. Aşama: Ham atıksu örneklerinin 3–6–9–12 bar basınçlar altında Nanofiltrasyon membranlarından geçirilmesi.
2. Aşama: Ham atıksu örneklerinin 10–15–20–25 bar basınçlar altında RO membranlarından geçirilmesi.
3. Aşama: Ham atıksu örnekleri 5 bar sabit basınç altında UF den geçirilerek 15 L su örneği biriktirilmiştir.
4. Aşama: 3. aşamada biriktirilen UF membranından geçirilmiş atıksuyun 3–6–9–12 bar basınçlar altında yeniden NF membranından geçirilmesi.
5. Aşama: 3. aşamada biriktirilen UF membranından geçirilmiş atıksuyun 10–15–20–25 bar basınçlar altında yeniden RO membranından geçirilmesi.

Tüm aşamalarda akı değerleri ve atıksu karakterizasyonundaki değişimler gözlenmiştir. Kullanılan membranların verimlilikleri karşılaştırılmıştır.

#### **4.2 Çalışılan Prosesin Tanımı**

Deneyleerde kullanılan Membran Prosesi, Membran üreticisi OSMONICS firmasından İTÜ İleri Teknoloji Araştırma Laboratuvarı tarafından temin edilmiştir. Membran tesisi, laboratuvar ortamında farklı özelliklerdeki membranların performansı ve verimlerinin test edilmesi amacı ile kurulan pilot bir tesistir. Akım şeması şekil 4.2 ve deney düzeneği şekil 4.3’de verilmiştir.



Şekil 4.2: Akım Şeması (Koyuncu, 2001)

Deney çalışmalarında kullanılan pilot tesis paslanmaz çelikten imal edilmiştir. Proseste;

- Yüksek basınç pompası
- Mikrofiltrasyon olarak adlandırdığımız ince kartuş filtreler
- Hidrofor
- Membranın yerleştirilip farklı basınçlarda çalışmasını sağlayan Membran hücresi, Membran hücresinin yerleştirildiği hücre kabı
- Membran hücresinin girişinde ve çıkışında olmak üzere 2 adet manometre
- Basınç ayar vanası
- Hidrolik manüel çalıştırılan pompa
- 60 litrelik besleme tankı
- Besleme tankının sıcaklığının sabit olmasını sağlayan soğutma sistemi bulunmaktadır.

Soğutma sistemi tankın içerisine yerleştirilen borulardan çeşme suyu geçirilerek çalışılan numunelerin belirli sıcaklıklarda kalmasını sağlamaktadır.

Membran hücresinin genişliği, 21,6 cm, uzunluğu 16,5 cm ve yüksekliği 5,3 cm'dir. Membran hücre muhafazasının genişliği, 27,6 cm, uzunluğu 22,9 cm ve yüksekliği 20,3 cm'dir. Membran hücresi üstten basınç uygulanarak sıkıştırılmakta ve bu şekilde, uygulanan besleme akımındaki basınca dayanıklı olması sağlanmaktadır. Membran hücre muhafazasında bulunan pistonu uygulanan bu basınç, besleme akımı basıncından büyük olması gerekmektedir. Membran hücre muhafazası piston sistemine uygulanan basınç, hidrolik el pompası ile gerçekleştirilmiştir. Hidrolik el pompası, KOPARAN KP1 modeldir. Depo hacmi, 1,5 lt, depo çapı 60 mm, boyu 550 mm, toplam hacmi 2,6 cm<sup>3</sup> ve bu pompa ile uygulanabilen maksimum basınç yaklaşık 600 mbar'dır. Yüksek basınç pompası ile 70 bar'a kadar olan basınçlar, temin edilebilmektedir. Yüksek basınç pompası, CAT Pumps'dan temin edilmiştir. Proses, polietilen malzemeden yapılan besleme tankı içerisine yerleştirilen bir soğutma tesisatına sahiptir. Soğutma sisteminin çalışma şekli borulu ısı eşanjörüne benzemektedir. Besleme tankı içerisine yerleştirilen spiral şeklindeki ince boruların içerisinden çeşme suyu geçirilerek atıksu sıcaklığının sabit tutulması sağlanmıştır. Bu borular ısı transfer etmek amacıyla yapılmıştır. Akışkanların birbiri ile temas



etmeden sıcaklığın istenen derecede korunması amacı ön plandadır. Aynı zamanda tank içerisindeki sıcaklık 30 ar dakika aralıklarla ölçüm yapılarak gözlenmiştir ve sıcaklıktaki oynamanın 1 dereceyi geçmemesi sağlanmıştır.



Şekil 4.3: Deneş düzeneğinin görüntüsü

Deneş düzeneğı manüel olarak kontrol edilebilecek şekilde tasarlanmıştır. Her çalışmada, basınç ayar vanası, proses çalıştırılmadan önce tamamen açık durumda bırakılarak, basıncın sıfır olması sağlanmıştır. Sistem çalıştırıldıktan sonra vana yavaşça kapatılarak, membrana uygulanan basınç istenilen değere gelinceye kadar arttırılmıştır. Deneşlere başlamadan önce sistemin kararlı hale gelebilmesi için ayarlanan basınçta birkaç dakika çalışması sağlanmıştır. Buna ek olarak sistem kararlı hale gelinceye kadar hazneye alınan borudaki artılmış atıksuyun tamamen boşaltılması da sağlanmıştır.

İlk olarak atıksu numunesi 60 litrelik besleme tankına doldurulmuştur. Daha sonra tanktaki besleme suyu hidrofor aracılığı ile mikrofiltrasyona gönderilmiştir. Şekil 4.4'de içerisinde Kasar suyu'nun bulunduğu besleme tankı görülmektedir.



Şekil 4.4: Kasar suyunun bulunduğu besleme tankının görüntüsü

Mikrofiltrasyondan geçen atıksu, yüksek basınç pompasında basınçlandırıldıktan sonra membran hücreğine gönderilmektedir. Membran hücreğine gelen atıksu, konsantre akımı ve süzüntü akımı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Membrandan süzülen konsantre akım besleme tankına geri gönderilmektedir, süzülen kısım ise akıyı belirlemek için ayrı bir beherde toplanmaktadır. Daha sonra, atıksu numuneleri sırasıyla NF, RO, (UF+NF) ve (UF+RO) membranlarından geçirilmiştir. Her bir membran için, 4 farklı basınçta, 1 saat süreyle deneyler yürütülmüştür ve atıksu karakterizasyonundaki değişimler gözlenmiştir. Şekil 4,5’de resmi görünen sisteme, kullanılacak olan membran, 12,5 x 17,5 cm boyutlarında kesilerek, ön yüzeyi aşağıda kalacak şekilde yerleştirilmiştir. Şekil 4.6 ve 4.7’de membranların yerleştirildiği hücrenin açık ve kapalı hali görülmektedir. Şekil 4.6’ da görülen siyah hortumdan beslenen atıksu basınç yardımıyla membran geçtikten sonra hücrenin üst kısmına bağlı olan hortum yardımıyla terazinin üzerindeki numune alma kabında toplanmaktadır. Membran hücresi Şekil 4.8’ de görülen sıkıştırma kabında yüksek basınç pompası yardımıyla basınçlandırılmaktadır.



Şekil 4.5: Membran hücresinin görünümü



Şekil 4.6: Membran Hücresi



Şekil 4.7: Membran hücresinin kapalı görüntüsü



Şekil 4.8: Membran hücresi ve sıkıştırma kabı

Deney sırasında kullanılan bütün RO membranları, atıksu uygulaması yapılmadan önce, membranların gözeneklerinin açılması ve membranın kararlı bir hale gelip

optimum çalışabilmesi için 15 dk. alkolde bekletilmiştir. Daha sonra Şekil 4.9'da görülen kriko ile 30 barlık basınç oluşturacak şekilde basınç oluşturulmuştur.



Şekil 4.9: Yüksek basınç Pompası



Şekil 4.10: Kontrol Paneli

Debimetre kullanılan her atıksu çalışmalarında 400 mbar'lık basınç altında çalışacak şekilde ayarlanmıştır. Ayrıca bir sonraki atıksu ile çalışmaya geçmeden önce tanktaki su boşaltılıp, mikrofiltrasyon değiştirilmiştir. Ardından besleme tankının içerisine çeşme suyu doldurularak, sistemin tamamen temizlenmesi için birkaç dakika çeşme suyu ile çalıştırılmıştır, daha sonra musluk suyu ile iyice yıkanıp bir sonraki atıksuyun kullanılabilmesi için hazır hale getirilmiştir.



Şekil 4.11: Pilot Tesis

Şekil 4.11'de görünen atıksu besleme tankının içerisindeki çelik malzemeden yapılmış hortumdan geçen su yardımıyla bir taraftan besleme tankındaki sıvının karışıp homojen hale gelebilmesi sağlamaktadır. Sistem çalışmaya başladıktan sonra, besleme tankının altında bulunan siyah hortumdan çıkan atıksu ilk önce mikrofiltrasyondan geçer, daha sonra membranın bulunduğu bölüme gelir, membrandan örneğin NF'den geçerken ilk önce 3 barlık basınçta bir saat geçirilen atıksu tartının üzerinde bulunan beherin içerisinde biriktirilir. Daha sonra 6 bar, 9 bar ve 12 barlık basınçlarda sistem çalıştırılır. Basınç arttıkça tartım kabında biriken su miktarı, süzülme oranı artmaktadır ve suda renk değişimi gözlenmektedir.



Şekil 4.12: Kirlenmiş bir Ultrafiltrasyon görüntüsü

Şekil 4.12’de görülen, boya sonrası olarak adlandırılan atıksu Ultrafiltrasyondan geçtikten sonra UF’nin görüntüsüdür.



Şekil 4.13: Kirlenmiş Mikrofiltrasyonların görüntüsü

### 4.3 Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Membranlara Ait Teknik Özellikler

Deneysel çalışmalarda 12,5 x 17,5 cm<sup>2</sup> olan NF 200, DS 5 ve HPA 250 türü Nanofiltrasyon membranları kullanılmıştır. OSMONICS firmasından temin edilmiş olan bu membran türlerine ait teknik bilgiler Tablo 4.1’de verilmiştir. RO ve UF membranlarına ait teknik bilgiler Tablo 4.2 de verilmiştir.

Tablo 4.1: Deneysel çalışmalarda kullanılan NF membranlarına ait teknik bilgiler

<b>Membran Türü</b>	<b>NF 200</b>	<b>DS5</b>	<b>HPA 250</b>
Polimer Türü	Polyamide ince film kompozit	Polysulfone-polyamide karışımı	Hydropolized Polyamide
Alanı, m <sup>2</sup>	0,0155 m <sup>2</sup>	0,0155 m <sup>2</sup>	0,0155 m <sup>2</sup>
Akı/basınç	-	-	-
Maksimum Basınç (bar)	18 bar	18 bar	18 bar
İşletme basıncı (bar)	18	18	18
Maksimum sıcaklık (°C)	27	27	27
pH	2–11	2–11	2–11

Tablo 4.2: RO ve UF Membranlarına ait teknik bilgiler

<b>Membran Türü</b>	<b>AG RO Membranı</b>	<b>MW NF Membranı</b>
Polimer Türü	İnce film kompozit	Ultrafilik
Alanı, m <sup>2</sup>	0,0155 m <sup>2</sup>	0,0155 m <sup>2</sup>
Akı/basınç	-	-
Maksimum Basınç (bar)	25 bar	5 bar
İşletme basıncı (bar)	10–15–20–25 bar	3–5 bar
Maksimum sıcaklık (°C)	28	30
Üretici Firma	OSMONICS	OSMONICS

Deneysel çalışma sırasında kullanılan bütün membranlar, kullanılmadan önce distile su ile yıkanmıştır. RO membranlarının gözeneklerinin açılarak, membranın daha kararlı hale gelebilmesi için 15 dk. etil alkolde bekletilmiştir. Daha sonra distile su ile yıkanarak kullanılabilir hale getirilmiştir.



#### 4.4 Deneyleerde kullanılan atıksular ve gözlemlenen parametreler

Deneysel çalışmalar sırasında düzenli olarak her atıksu numunesi için, özellikle akı, pH, renk, iletkenlik, sıcaklık, TOK parametreleri incelenmiştir. Bu parametreler ham suda ve süzüntü akımında gözlenerek membranların verimlilik durumları izlenmiştir.

İletkenlik: İletkenlik ölçümleri Siemens Marka iletkenlik ve sıcaklık ölçer ile yapılmıştır.

pH: pH ölçümleri, ORION marka 720 model pH metre ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.14: pH metrenin görüntüsü

Akı: Akı ölçümü için daha önceden ayarlanmış olan tartı kullanılmıştır. Bilgisayara bağlı tartı aracılığı ile zamana bağlı olarak elde edilen süzüntü akımı, terazide toplanmış ve ağırlık cinsinden hesaplanmıştır.

Renk: Absorbans cinsinden dalga boyunda, Hach Marka, Şekil 4.15’de görülen DR 2800 spektrofotometrede ölçülmüştür.



Şekil 4.15: Spektrofotometre

TOK: Shimadzu marka, V-CH model, Toplam Organik Karbon ölçüm cihazında ölçülmüştür.

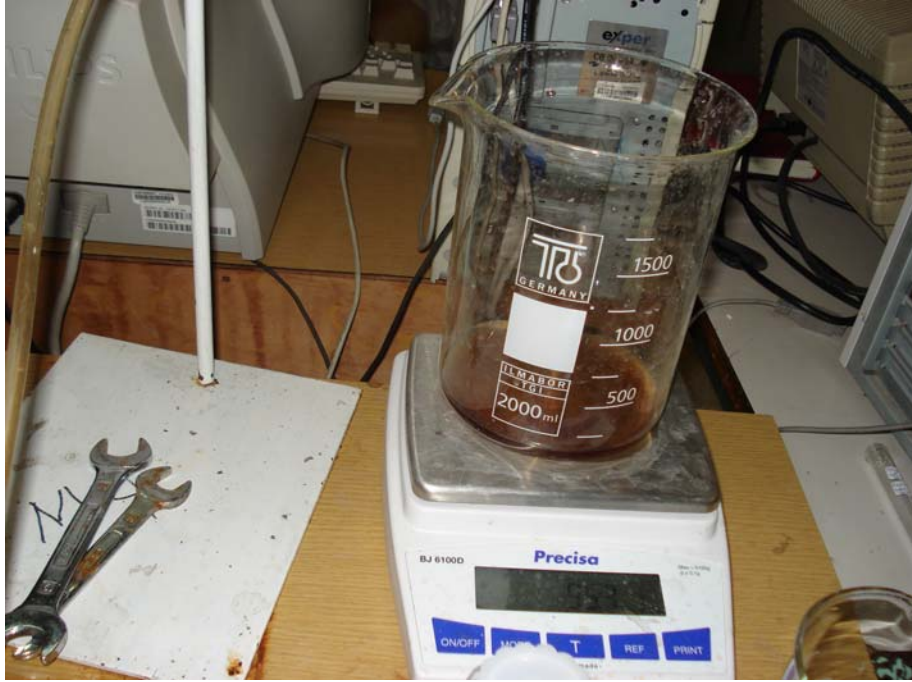
Arıtma tesisi çıkış suyu hariç, diğer numunelerin hepsinin renk ölçümünün yapılabilmesi için belirli oranda seyreltmeler yapılmıştır. Seyreltme esnasında çift distile su kullanılmıştır. TOK değerlerinin ölçülmesi içinde birçok numune çift distile su ile seyreltikten sonra ölçümleri yapılmıştır.

#### **4.5 Akı Değerinin Hesaplanması**

Deneysel çalışmalarda süzüntü suyu akımını belirlemek için PRECISA 6100 marka 0,1 gr hassasiyetli dijital terazi kullanılmıştır. Membranda süzülen su terazi üzerine yerleştirilmiş bir kapta Şekil 4.16'da görüldüğü gibi biriktirilmiştir.

Süzüntü kabında biriken atıksu miktarı ağırlık (mg) cinsinden okunmuştur. Terazi bilgisayara bağlıdır ve otomatik olarak her dakikada bir ölçüm değerleri bilgisayara gönderilmektedir. Bilgisayarda toplanan veriler gr cinsinden okunmaktadır. Düzenlenen program aracılığı ile membran alanını 0,0155 m<sup>2</sup> hesaplayarak, lt/m<sup>2</sup>.saat cinsinden akı değeri hesaplanmıştır. Suyun yoğunluğu 1000 kg/m<sup>3</sup> olarak alınmıştır.

$$\text{Akı (Lt/m}^2\text{-saat)} = 0,001 \text{ lt/gr} \times 3600 \text{ sn/saat} / 0,0155 \text{ m}^2 \quad (4.1)$$



Şekil 4.16: Bilgisayara bağlı terazi ve süzüntü kabının görüntüsü

Yukarıdaki Şekilde görüldüğü gibi akı  $\text{Lt/m}^2\text{-saat}$  cinsinden otomatik olarak hesaplanmıştır. Bilgisayara aktarılan ml cinsinden değerler her dakikada bir otomatik olarak ölçüldüğü için birim zamanda süzülen su miktarı  $\text{ml/dk}$  cinsinden hesaplanmış,  $\text{lt/saat}$ 'e dönüştürülmüş ve membran alanı olan  $0,0155 \text{ m}^2$ 'ye bölünerek her dakika için ayrı ayrı akı değerleri gözlenmiştir. Sonuçlar Excel ile grafiğe dökülmüştür. Zamana göre akı değeri değerlendirilmiş buna ek olarak uygulanan farklı basınçtaki akı değişimi karşılaştırılmış membranların optimum çalışma durumları gözlenmiştir. Akının zamana göre bağımsız olduğu durumda kararlı hal oluştuğu kabulü yapılmıştır.

#### 4.6 Deneysel Çalışmaların Aşamaları

Deneysel çalışmalar 6 farklı su örneği oluşturularak değişik basınç, pH, konsantrasyon aralıklarında sabit debi ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.17: Atıksu numuneleri



Şekil 4.18: Atıksu numunelerinin görüntüsü

#### 4.6.1 Arıtma tesisi çıkış suyu

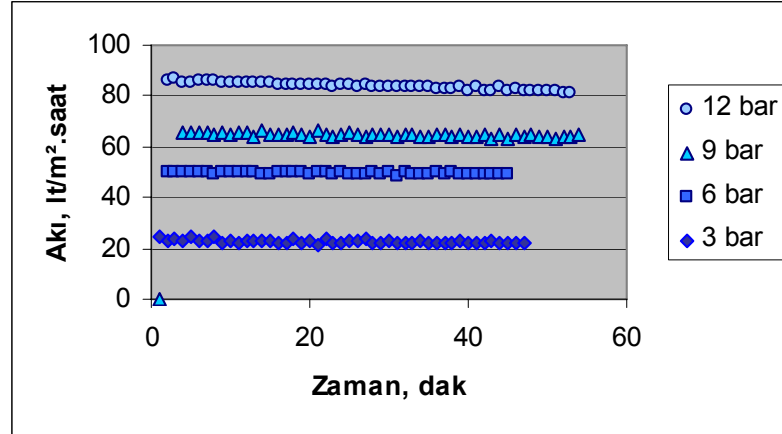
Deneysel çalışmaların birinci aşamasında Atıksu Tesisi çıkından alınan Şekil 4.19'da görülen örnek atıksu numunesinin karakteristik değerlerindeki değişimler incelenmiştir.



Şekil 4.19: AT Çıkış suyunun görüntüsü

AT çıkış suyu birinci gün 10–15–20–25 barlık basınçlarda RO membranından geçirilmiştir. İkinci gün NF membranından geçirilmiş, Daha sonra UF den geçirilerek 8–10 litre biriktirilen süzöntü suyu yeniden RO ve NF membranlarından geçirilmiştir.

Burada amaç, çıkan suyu yıkama suyu ya da boyama suyu olarak kullanabilmektir. AT çıkış suyunda renk düşük, KOİ: 1000–2000 mg/lt civarındadır. Aynı zamanda suda çok fazla tuz (Na, Cl) bulunmaktadır.



Şekil 4.20: NF den geçirilen AT çıkış suyunun basınç –akı grafiği

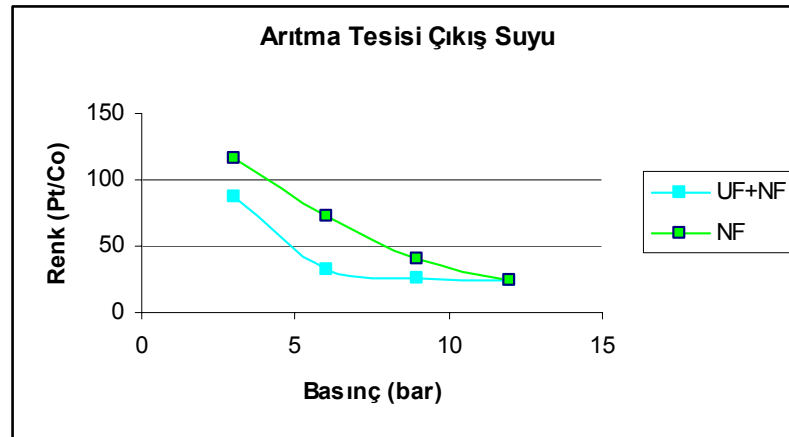
Şekil 4.20’de elde edilen süzöntü suyu akısının basınç ile değişimi görülmektedir. Bu grafiğe göre basınç arttıkça akı da artış gözlenmiştir. Ayrıca basınç arttıkça akı değerinde başlangıçta artış olmuş, fakat daha sonra bu artış oranı azalmıştır. Buna ek olarak basınç arttıkça membran yüzeyini kaplayan boyar maddeler membran

üzerinde bir tabaka oluşturmaktadır. Bu tabaka membranın giderme verimini olumsuz yönde etkilemektedir.

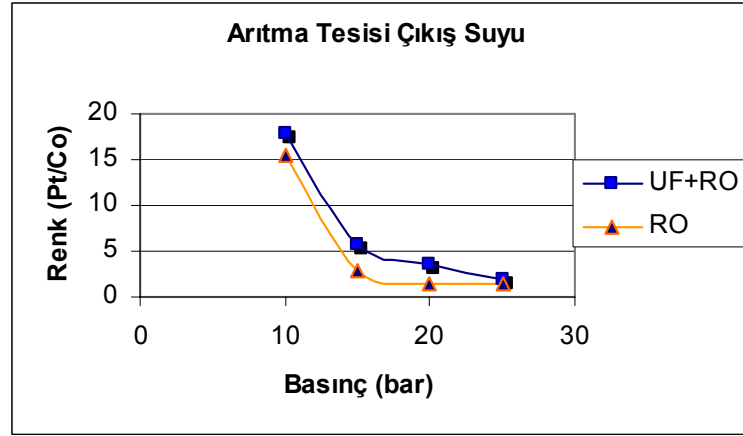
Tablo 4.3’de Arıtma tesisi çıkış suyunun karakteristik özellikleri belirtilmektedir. Arıtma tesisi çıkış suyu membran proseslerden geçirildikten sonra, arıtma öncesi ve sonrasındaki suyun değişen özellikleri incelenmiştir.

Tablo 4.3: AT çıkış suyunun karakteristik özellikleri

Çalışma 1 AT Çıkış Suyu	İletkenlik( $\mu\text{S/cm}$ )	pH	Renk (Pt/Co)	TOK(mg/l)
<b>Ham Su</b>	8990	8,3	239,60	76,7
<b>RO</b>				
10 bar	948	7,5	17,84	10,6
15 bar	585	7,1	5,60	3,2
20 bar	396	6,8	3,52	2,3
25 bar	316	6,8	1,74	2,0
<b>NF</b>				
3 bar	8970	7,3	116,5	41,2
6 bar	8560	7,8	72,12	40,4
9 bar	8430	7,8	40,72	36,8
12 bar	8310	7,8	23,74	28,2
<b>UF+RO</b>				
10 bar	550	7,8	15,53	9,1
15 bar	510	7,3	2,94	3,8
20 bar	337	7,0	1,37	2,7
25 bar	242	6,9	1,20	1,7
<b>UF +NF</b>				
3 bar	8480	7,4	87,16	42,4
6 bar	8160	7,7	32,72	40,7
9 bar	7930	7,7	25,67	39,6
12 bar	7880	7,8	24,65	30,5

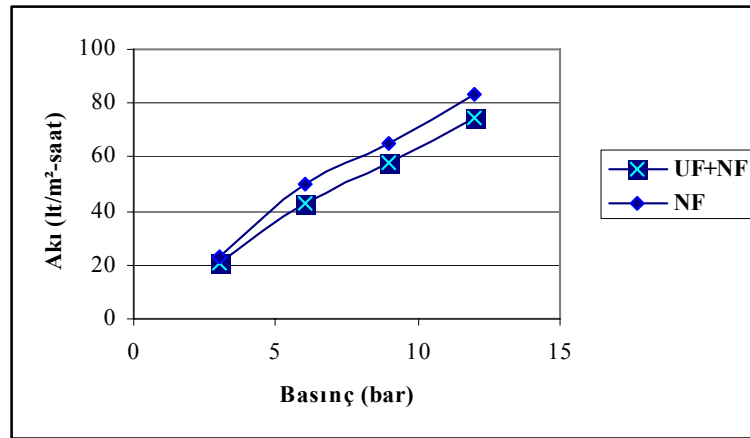


Şekil 4.21: NF ve UF-NF arasındaki Basınç – Renk giderme verimi



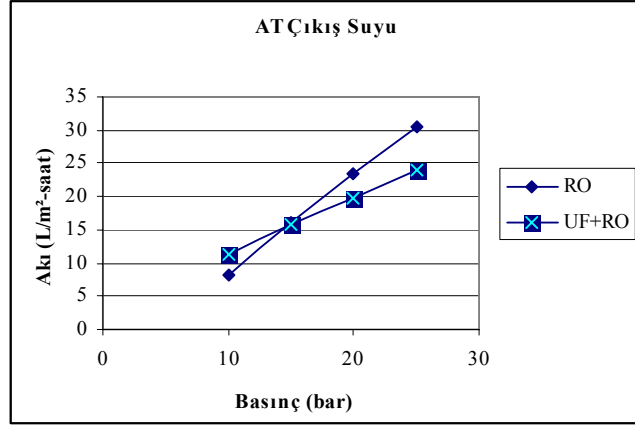
Şekil 4.22: RO ve UF-RO arasındaki Basınç – Renk giderme verimi

Şekil 4.21 ve 4.22'de AT çıkış suyunun membranlardan geçirildikten sonra Renk giderimi ile basınç arasındaki ilişki görülmektedir. Her iki şekilde de görüldüğü gibi basınç arttıkça renk giderme verimi de artmıştır. Grafiklerden ve Tablo 4.3'den de anlaşılacağı gibi renk giderme verimi % 98 mertebelerinde çok yüksek olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.23: NF ve UF - NF arasındaki Akı – Basınç ilişkisi

Şekil 4.23' de Arıtma Tesisi çıkış suyunun NF ve UF+NF arasındaki Akı-Basınç ilişkisi görülmektedir. Şekil 4.24' de RO ve UF+RO arasındaki akı-basınç ilişkisi görülmektedir. NF' den geçirilen suda 10 barlık basınç altında akı değeri 65 lt/m²-saat olarak ölçülürken, 10 barlık basınç altında RO dan geçirilen atıksuda akı değerinin 12 lt/m²-saat olduğu gözlenmiştir. Her iki grafikte de akının doğrusal olarak arttığı görülmektedir.



Şekil 4.24: RO ve UF - RO arasındaki Akı – Basınç ilişkisi

#### 4.6.2 Kasar (% 20) ve yıkama suyu (% 80) karışımı

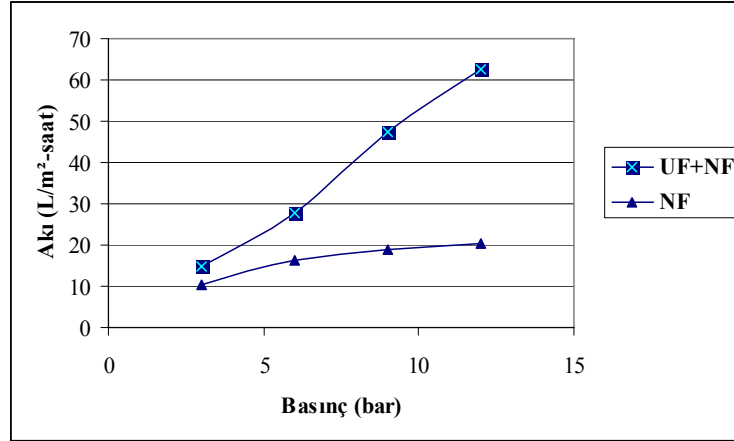
Deneysel çalışmaların ikinci aşamasında, Kasar suyu Yıkama suyu ile 1/5 oranında karıştırılarak oluşan yeni su örneği kullanılmıştır. Kasar suyunu içerisinde floklar olduğu için direkt olarak RO'dan geçirmek mümkün olmamıştır. Dolayısıyla seyreltmek amacıyla Yıkama Suyu ile karıştırılmıştır.

Tablo 4.4: Kasar ve Yıkama Suyu karışımın karakteristik özellikleri

Kasar+Yıkama Sonrası Suyu	İletkenlik( $\mu\text{S/cm}$ )	pH	Renk (Pt/Co)	TOK (mg/l)
<b>Ham Su</b>	15890	8,9	669,20	1168
<b>RO</b>				
10bar	6210	9,8	27,79	68,2
15 bar	6200	9,7	5,56	10,0
20 bar	4800	9,7	2,51	5,6
25 bar	4400	9,7	2,36	2,6
<b>NF</b>				
3 bar	2890	10,7	38,95	87,3
6 bar	2460	10,8	31,07	68,0
9 bar	2240	10,9	27,81	42,5
12 bar	2140	10,8	21,21	34,6
<b>UF+RO</b>				
10 bar	3450	8,1	20,44	19,5
15 bar	2700	8,0	10,13	3,4
20 bar	2140	7,8	4,33	2,5
25 bar	2080	7,5	2,27	1,7
<b>UF+NF</b>				
3 bar	1358	8,9	45,65	47,3
6 bar	1093	8,8	24,58	40,0
9 bar	985	8,7	23,29	39,2
12 bar	980	8,6	23,81	36,3

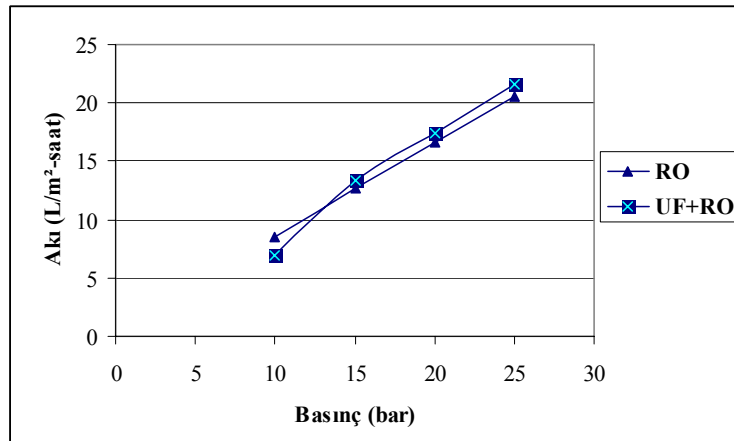


Bu işlemlerin yapılmasındaki amaç, boyama ve yıkamada kullanılabilir kullanılma suyu üretebilmektir. Özellikle boyamada kullanılacak suyun arındırılmış olmasına dikkat edilmelidir. Bu karışımda tuz miktarı düşüktür.



Şekil 4.25: NF ve UF-NF arasındaki Akı –Basınç ilişkisi

NF'den geçirilen Kasar ve Yıkama suyu karışımının 12 bar basınç altındaki akı değeri 21,6 lt/m<sup>2</sup>-saat olarak görülmektedir. Fakat aynı atıksu örneği UF ve ardından NF'den geçirildiği zaman 12 barlık basınç altında akı değeri 63,2 lt/m<sup>2</sup>-saat olarak ölçülmüştür. Ayrıca basınç arttıkça renk gideriminde de artış olmuştur.



Şekil 4.26: RO ve UF-RO arasındaki Akı –Basınç ilişkisi

Şekil 4.26'de Kasar ve Yıkama suyu karışımının RO ve UF+RO membranlarından geçirilmesi sonucu oluşan akı değerlerinin basınca göre değişimi görülmektedir. Akının basınç arttıkça lineer olarak arttığı görülmektedir.

### 4.6.3 Kasar suyu

Ham Kasar Süzülmediği için 15 dk. santrifüjden sonra 1 gece bekletildi. Daha sonra süzülerek ham atıksuyun özelliklerine bakılmıştır.

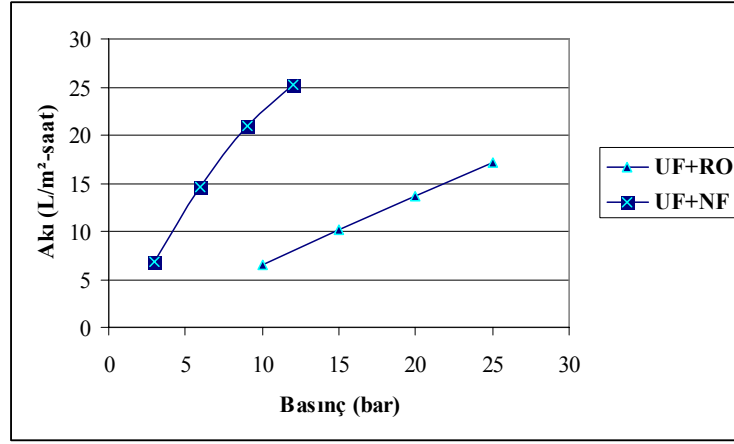


Şekil 4.27: Ham Kasar Suyunun Görüntüsü

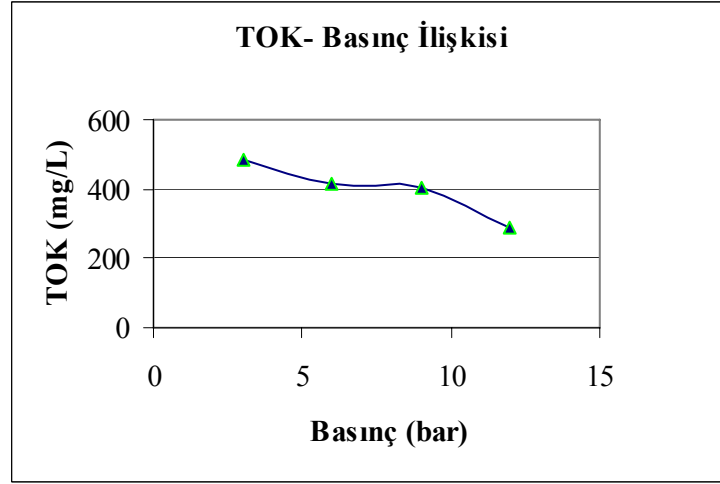
Tablo 4.5: Kasar Suyunun Karakteristik Özellikleri

UF den geçirilmiş KASAR	İletkenlik( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	pH	Renk (Pt/Co)	TOK (mg/l)
Ham Su	3150	10,6	745,04	1988
<b>UF+RO</b>				
10 bar	836	9,8	48,18	178,6
15 bar	360	9,7	18,94	50,9
20 bar	207	9,9	4,63	28,5
25 bar	143	10,0	1,81	11,8
<b>UF+NF</b>				
3 bar	2860	9,9	44,33	486,7
6 bar	2820	10,0	33,13	414,6
9 bar	2310	10,0	24,37	401,8
12 bar	1838	10,0	16,17	289,5

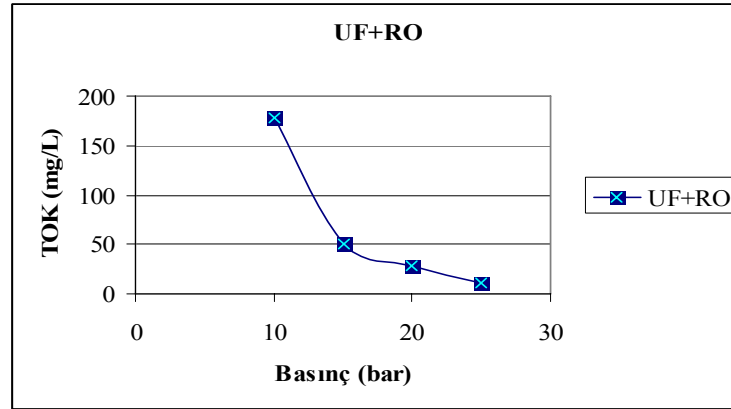
Şekil 4.28'de Ultrafiltrasyon dan geçirildikten sonra NF ve RO membranlarından geçişi yapılan kasar suyunun basınç akı ilişkisi görülmektedir. 15 lt/m<sup>2</sup>-saat'lik akı değeri RO membranında 22,5 barlık bir basınçta sağlanırken, NF membranında 6,2 bar'lık basınçta görülmektedir. Fakat Tablo 4.5'de görüldüğü gibi RO membranından geçirilen kasar suyunun TOK değerleri ve renk gideriminin daha verimli olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.28: UF-RO ve UF-NF arasındaki Akı – Basınç ilişkisi



Şekil 4.29: UF-NF TOK-Basınç ilişkisi



Şekil 4.30: UF-RO TOK-Basınç ilişkisi

Şekil 4.29 ve 4.30'da UF+NF ve UF+RO membranlarından geçirilen kasar suyundaki toplam organik karbon değerlerinin basınca göre değişimi görülmektedir. Her iki membranda da basınç arttıkça TOK değeri azalmıştır. UF+NF membranından geçirilen numunede 3 bardan 6 bara çıkartılan basınçta TOK değerindeki artış deneysel hata olarak düşünülebilir. Şekil 4.28'de ilk saatte giderilen toplam organik karbon miktarının 128 mg/L olduğu görülmüştür. 4 saat çalışan deneysel çalışma sonucunda UF+RO membranından toplamda giderilen organik karbon miktarı % 94 civarında olmaktadır.

#### 4.6.4 Yıkama sonrası suyu

Yıkama Sonrası Suyu olarak kullanılan atıksuda boyadan çıkan yün yıkanmaktadır. Yıkama suyu içerisinde kumaş parçacıkları gibi membranın zamanla tıkanmasına yol açabilecek partiküller bulunabilir.

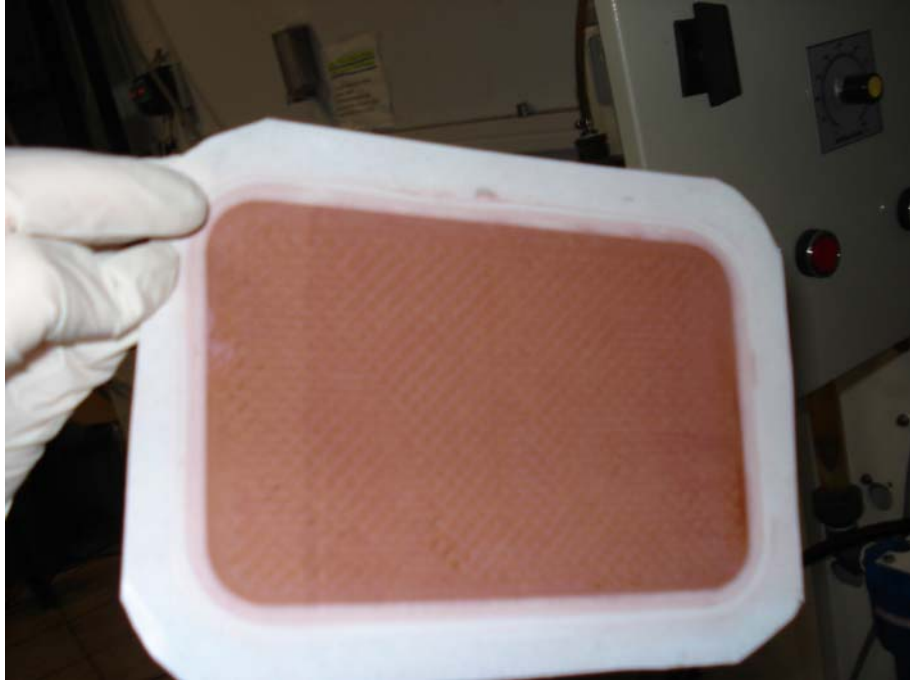


Şekil 4.31: Yıkama Suyu'nun görüntüsü

Çalışmalarda yıkama sonrası suyu, boya sonrası ve kasar suyu ile yapılan deneysel aşamalarda seyreltme amaçlı kullanılmıştır. Seyreltme amaçlı kullanıldığı atıksuların deneysel çalışmalarında kolaylık sağlamıştır. Yıkama sonrası suyu diğer atıksu örneklerine göre daha az katı partikül içermektedir.

Tablo 4.6: Yıkama Sonrası Suyu'nun karakteristik özellikleri

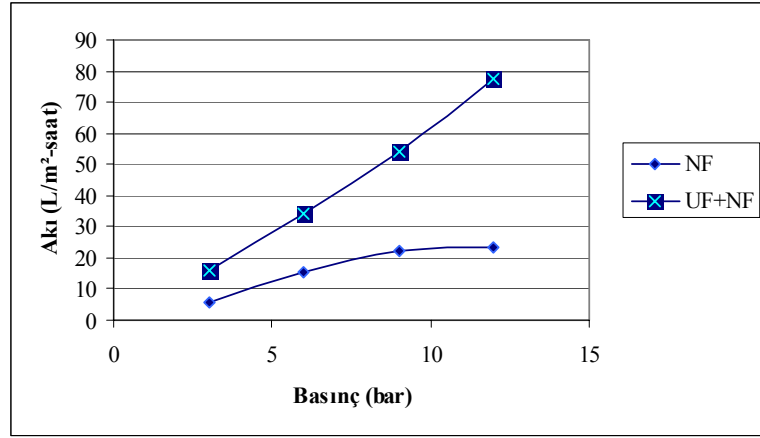
Yıkama Sonrası Suyu	İletkenlik( $\mu\text{S/cm}$ )	pH	Renk (Pt/Co)	TOK (mg/l)
<b>Ham Su</b>	12650	6,5	20,38	402,8
<b>RO</b>				
10bar	4630	6,5	5,86	5,1
15 bar	4320	5,8	3,17	1,2
20 bar	4330	5,8	2,76	0,7
25 bar	2580	5,7	2,59	0,5
<b>NF</b>				
3 bar	761	6,2	42,20	5,5
6 bar	919	6,4	66,24	4,7
9 bar	829	6,4	69,72	4,1
12 bar	490	6,5	30,34	2,0
<b>UF+RO</b>				
10 bar	4320	8,1	41,24	3,0
15 bar	3970	7,2	< 0,1	0,8
20 bar	2100	5,9	< 0,1	0,4
25 bar	2170	7,0	< 0,1	0,1
<b>UF+NF</b>				
3 bar	727	8,1	9,15	4,9
6 bar	689	8,0	6,69	4,5
9 bar	597	8,0	5,87	3,2
12 bar	480	8,0	3,97	1,9



Şekil 4.32: Yıkama Sonrası suyuunda kullanılan kirlenmiş UF görüntüsü

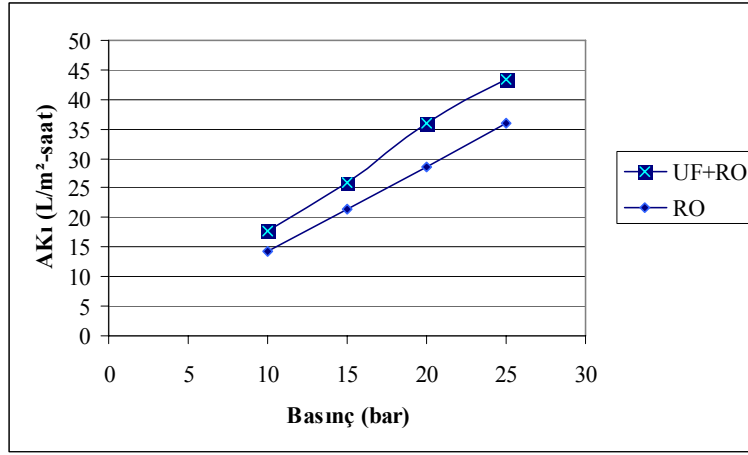


Şekil 4.33: Yıkama Sonrası suyu kullanılarak kullanılan kirlenmiş RO görüntüsü

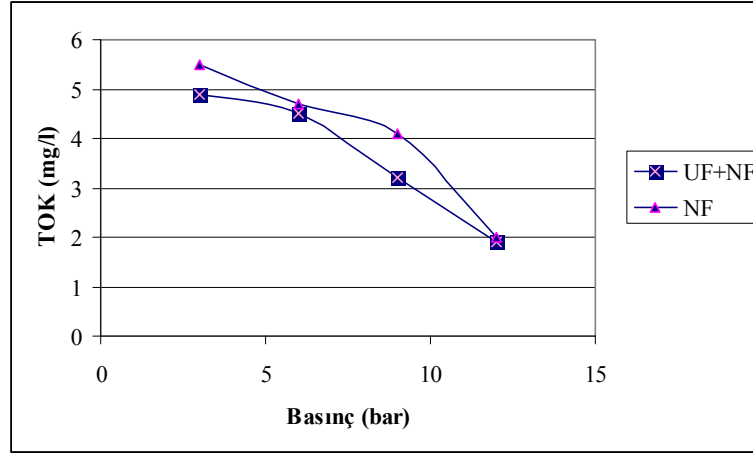


Şekil 4.34: NF ve UF-NF arasındaki Basınç – Akı ilişkisi

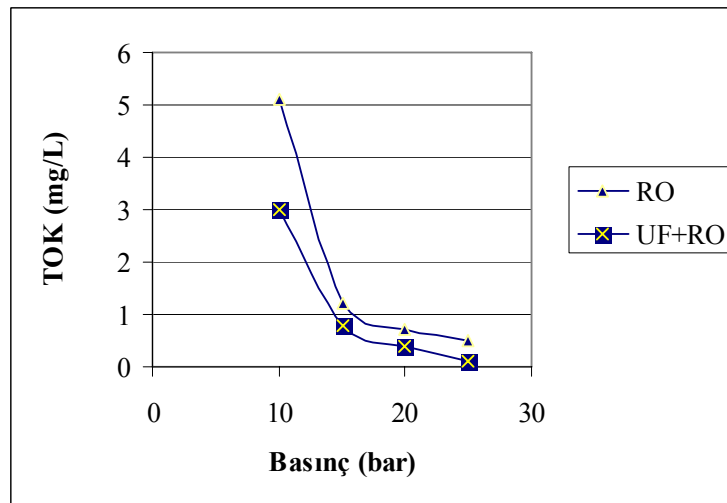
Süzüntü suyu akısının basınç artışı ile değişimi de göz önünde bulundurulmuştur. Süzüntü suyu akısı basınçla doğru orantılı olarak artmıştır. 12 bar basınçta NF'den geçirilen suda akı değeri 25 lt/m<sup>2</sup>-saat iken aynı atıksu UF+NF'den 12 bar basınçta geçirildiğinde akı değeri 79 lt/m<sup>2</sup>-saat değerine çıkmıştır.



Şekil 4.35: RO ve UF-RO arasındaki Basınç – Akı ilişkisi



Şekil 4.36: NF – UF+NF arasındaki Basınç – TOK ilişkisi



Şekil 4.37: RO ve UF-RO arasındaki Basınç – TOK ilişkisi

#### 4.6.5 Boya sonrası (% 33) ve yıkama suyu (% 66) karışımı

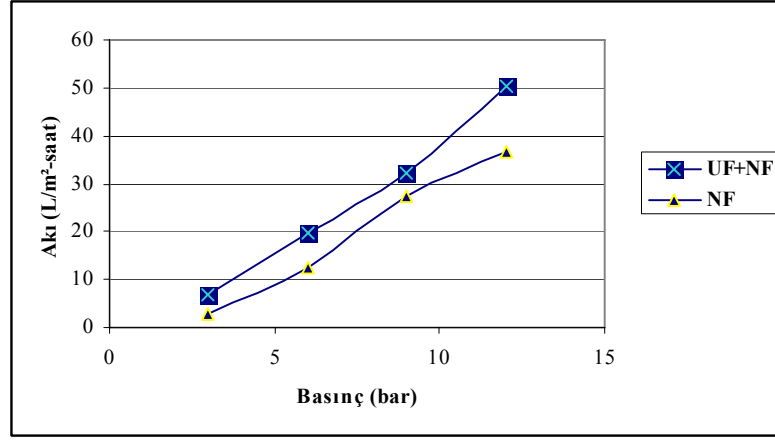
Boyama Sonrası olarak adlandırılan atıksu Boya banyosu fazlasında çıkan atıksu örneğidir. Boya banyosu sonrasında çıkan atıksuda boya ve tuz çok fazladır.

Boya miktarı fazlalığından dolayı RO'yu tıkayabilecek partiküller çok olduğu için yıkama suyu ile seyreltilerek deneysel çalışmalar yapılmıştır. Tablo 4.7'de boya banyosu suyu % 33'ünü ve yıkama sonrası suyu % 66'nı oluşturacak şekilde hazırlanan atıksu örneğinin karakteristik özellikleri görülmektedir.

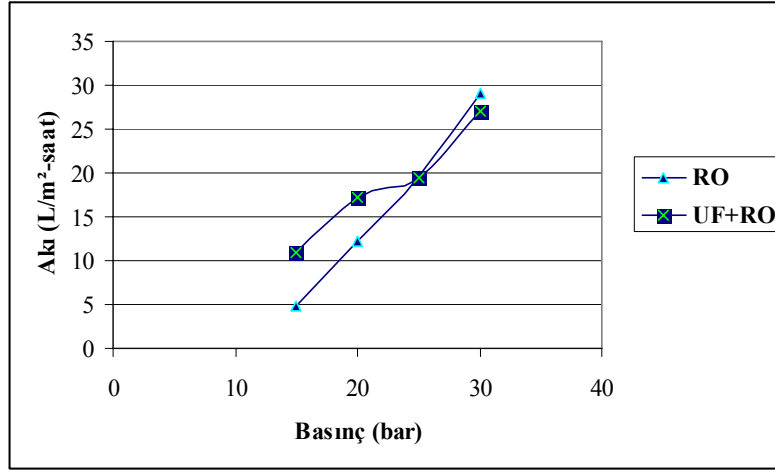
Tablo 4.7: Boya Sonrası ve Yıkama Suyu karışımının karakteristik özellikleri

<b>Boya Sonrası + Yıkama Sonrası</b>	<b>İletkenlik(<math>\mu</math>S/cm)</b>	<b>pH</b>	<b>Renk (Pt/Co)</b>	<b>TOK (mg/l)</b>
<b>Ham Su</b>	18320	10,8	2088	1706
<b>RO</b>				
15 bar	4600	10,6	430,32	47,3
20 bar	1548	10,6	410,71	5,8
25 bar	1043	10,4	262,54	4,5
30 bar	669	10,4	243,20	2,0
<b>NF</b>				
6 bar	9080	10,5	308,36	158,1
9 bar	6410	10,5	270,63	26,3
12 bar	4490	10,4	249,24	17,4
15 bar	3270	10,4	212,42	15,7
<b>UF+RO</b>				
15 bar	2690	10,6	35,93	8,9
20 bar	1996	10,6	33,95	6,
25 bar	1277	10,5	19,42	2,5
30 bar	793	10,5	12,15	1,5
<b>UF+NF</b>				
6 bar	6920	10,6	99,25	123,6
9 bar	6060	10,5	62,50	25,4
12 bar	4080	10,4	50,42	11,4
15 bar	3110	10,4	35,74	8,9

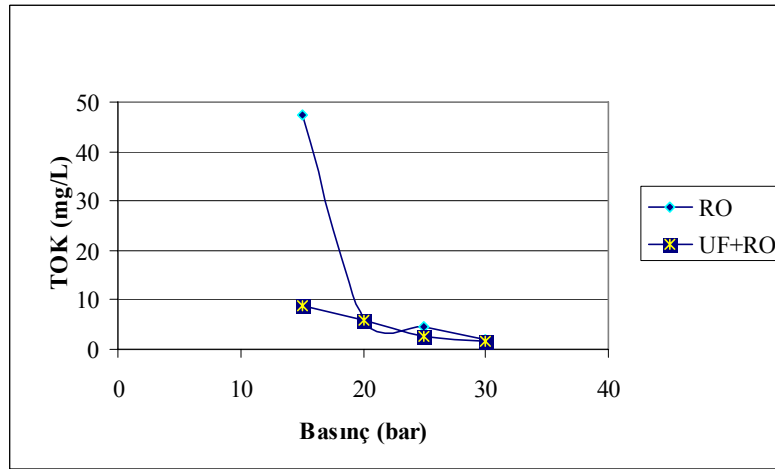




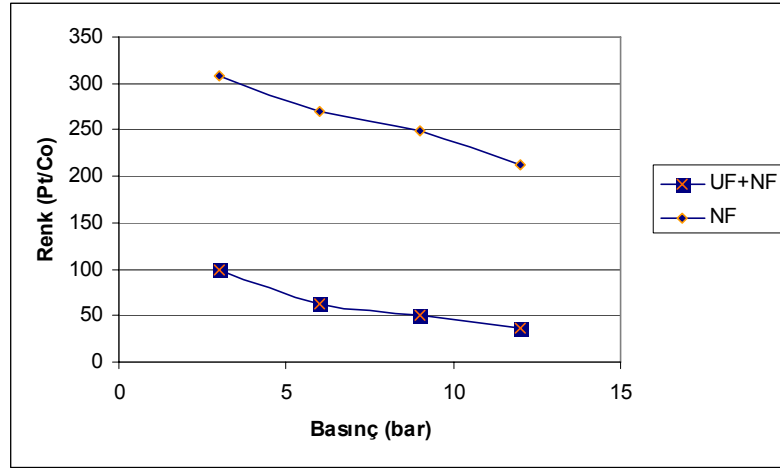
Şekil 4.38: NF ve UF-NF arasındaki Akı - Basınç ilişkisi



Şekil 4.39: RO ve UF-RO arasındaki Basınç – Akı ilişkisi



Şekil 4.40: RO ve UF-RO arasındaki Basınç – TOK ilişkisi



Şekil 4.41: NF ve UF-NF arasındaki Basınç – Renk giderimi ilişkisi

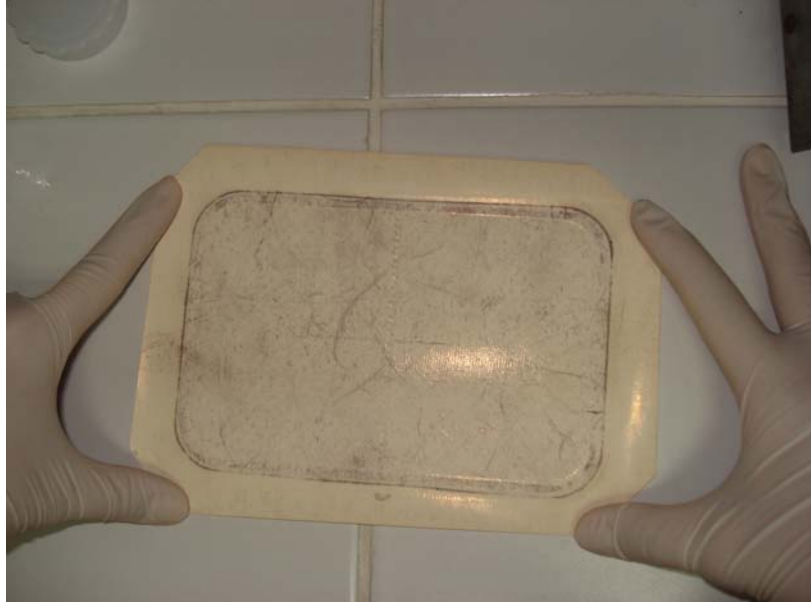
Şekil 4.41’de görüldüğü gibi renk giderme verimi % 90 mertebelerindedir. Burada yüksek boya konsantrasyonu olan Atıksudaki renk giderimi, daha düşük boya konsantrasyonlu diğer atıksu örneklerine göre daha fazla olmaktadır. Boya konsantrasyonu arttıkça membran yüzeyinde oluşan tabaka da da artış olmuştur ve bu katman, membran önünde boya geçişini engelleyen ek bir tabaka olarak görev yapmaktadır. Böylece yüksek boya konsantrasyonu içeren atıksularda renk giderimi, düşük boya konsantrasyonu içeren atıksulara göre daha yüksek olmaktadır.



Şekil 4.42: Boya Sonrası ve Yıkama suyu sonrasında kullanılan kirlenmiş bir RO görüntüsü



Şekil 4.43: Boya Sonrası ve Yıkama suyu sonrasında kullanılan kirlenmiş bir UF görüntüsü



Şekil 4.44: Boya Sonrası ve Yıkama Sonrasında kullanılan kirlenmiş bir NF görüntüsü

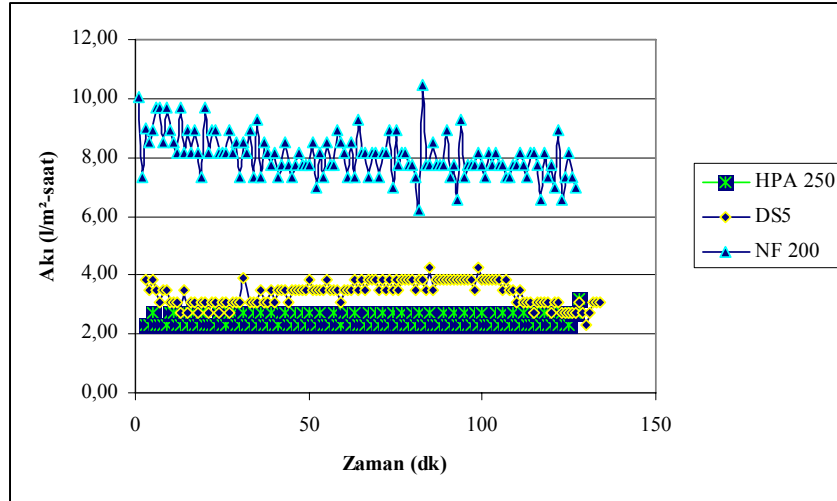
#### 4.6.6 Boya sonrası



Şekil 4.45: Boya Sonrası atıksuyunun görüntüsü

Tablo 4.8: Boya Sonrası atıksuyun karakteristik özellikleri

NF	İletkenlik( $\mu\text{S/cm}$ )	pH	Renk (Pt/Co)	TOK (mg/l)
NF 200	28300	10,8	4480	1690
DS 5	20500	10,7	2720	1447
HPA 250	19200	10,6	3840	2086



Şekil 4.46: Sabit basınçta 3 farklı NF den geçirilen atıksuda akının değişimi

Akıdaki değişimi gözlemlemek için sistem 3 farklı NF membranından 18 barlık sabit basınçta 2 saat sistem çalıştırılmıştır. Boya sonrası atıksuyunda pH değeri diğer sulara göre daha fazla ölçülmüştür. pH değerinin 10'dan büyük olduğu atıksu

örneğinde Şekil 4.46'de görüldüğü gibi akı değerleri oldukça düşük çıkmıştır. 18 barlık basınçta akı değerinin zamana bağlı olarak değişmediği, sabit kaldığı görülmektedir. Bunun sebebinin yüksek pH değerlerinde, boyar maddelerin hidrofobik özelliklerinin artmasından kaynaklandığı düşünülebilir. Atıksuyun içerisindeki boyar maddelerin ve tuzların membran yüzeyine absorbe olması daha kolay olmaktadır.

## SONUÇ VE ÖNERİLER

Tekstil endüstrisinden kaynaklanan arıtma tesisi çıkış suyu, yıkama sonrası suyu, kasar, boya sonrası olarak adlandırılan 4 farklı atıksu örneği alınmış ve farklı oranlarda karıştırılarak 6 atıksu numunesi ile çalışılmıştır. Bu atıksu örnekleri farklı şekillerde karıştırılarak ve ham atıksu örneği olarak değerlendirilip çeşitli membranlar ile çalışılmıştır. RO, UF, NF membranları ve Mikrofiltrasyon görevi gören kartuş filtreler ile tekstil atıksularının arıtılma aşamaları çıkış suyunun karakteristik özelliklerine göre değerlendirilmiştir.

Membran prosesler atıksu arıtımında geniş bir uygulama alanı bulmuş yeni bir teknolojidir. Bu proseslerin kullanılmasıyla özellikle konsantre atık deşarj eden endüstriler için büyük ekonomi sağlanabileceği gibi diğer kullanım alanlarında (geri kazanım vs.) kirlilik yükü de büyük oranda düşecektir. Bu teknolojinin endüstriyel atıksuların arıtımında kullanılan sistemlere uygulanmasıyla sağlayacağı yararlar aşağıda özetlenmiştir:

\* Her bir atıksu örneğinde, süzüntü suyu akısının basınç artışı ile değişimi incelenmiştir. Her çalışmada sistem aynı yatay hız da çalıştırılmıştır. Ayrıca basınç arttıkça tuz giderme veriminin de özellikle yüksek basınçlı durumlarda daha fazla olduğu düşünülmektedir. Buna ek olarak, süzüntü suyu akısının basınçla doğru orantılı olduğu görülmüştür. Akıdaki bu artış, boya konsantrasyonu arttıkça azalmıştır.

\* Daha yoğun renk içeren atıksularda, boyar madde konsantrasyonu arttıkça, akı değerindeki azalma daha belirgin hale gelmiştir. Bu atıksularda, basınç artışı ile akının bağıntısı incelendiğinde, yüksek boya konsantrasyonlarında akı değerinin belli bir basınçtan sonra, basınçtan bağımsız hale geldiği gözlemlenmektedir.

\* Boyar madde konsantrasyonunun, akı, renk giderme ve TOK değerli üzerinde önemli bir etkisi olduğu gözlenmiştir.

\* Özellikle Kasar suyunun kullanıldığı çalışmada, basınç arttıkça membran yüzeyini kaplayan boyar madde ve floklar membran üzerinde jel gibi bir tabaka oluşturmuştur. Bu tabaka etkisiyle renk ve TOK değerlerinde azalma görülmüştür. Kasar sularının prosten geçirilmesi sonucunda akı değerinin diğer sulara göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bunun sebebinin, proses sırasında sulara kumaş artıkları ve suda bulunan flokların neden olabileceği sonucuna varılmıştır.

\* TOK giderme verimi artan boyar madde konsantrasyonu ile azalmıştır. Boyar madde konsantrasyonu arttıkça giderim verimlerinde azalma olduğu görülmüştür. Genel olarak, basınç arttıkça renk giderme veriminin arttığı gözlenmiştir.

\* Yüksek pH değerlerinin olduğu atıksularda, düşük pH değerlerinin olduğu atıksulara nazaran elde edilen akı değerleri daha düşüktür. Bunun sebebi, yüksek pH ve tuz konsantrasyonu fazla olan sulara, boyar maddelerin membran yüzeyine daha kolay absorbe olmasıdır. Genellikle pH 6–8 civarında daha iyi renk giderme verimi elde edilmiştir.

\* Toplamda 54 çeşit atıksu numunesinde Nanofiltrasyon membranları kullanılmış ve aynı basınçlarda uygulanan akıda önemli bir farklılık görülmemiştir. Nanofiltrasyon membranının tıkanmasının az miktarda olduğu tespit edilmiştir. Renk giderme veriminin neredeyse % 95 gibi çok yüksek değerlere ulaştığı görülmektedir.

\* Mikrofiltrasyonun RO ve NF' den önce olacak şekilde ön arıtmayı sağladığı düşünülebilir. Özellikle suları geri kazanmak için de diğer membranlardan önce gelecek şekilde proseslerde bulunmasında fayda vardır.

\* RO öncesi UF membranlarının kullanılması ile tekstil atıksularının başarı ile arıtılabileceği gözlenmiştir.

\* Nanofiltrasyon membranlarının boya sonrası olarak adlandırılan boyahane sularının arıtımında gerekli verimi sağlayacağı gözlenmiştir.

\* Laboratuvar ölçekli yapılmış olan bu çalışmanın, uygulamaya tam olarak aktarılabilmesi için, tekstil endüstrisinde pilot ölçekli çalışmalar yapılmalı ve RO, NF membranlarının daha uzun süreli, optimum verimde çalıştırılması durumundaki davranışları incelenmelidir.

\* Prosesin çeşitli kısımlarında, uygun membranlar kullanılarak maliyet bir miktar da olsa azaltılabilir. Pilot çalışmalar zenginleştirilip suyun karakteristik değerlerinin daha verimli olması sağlanabilir.

\* Netice itibariyle, membran teknolojileri atıksu arıtımında gelecek için büyük bir potansiyel arz etmektedir. Bu nedenle Türkiye'de henüz tanınmayan teknolojilerin kullanım alanlarının ve ülkemize sağlayacağı ekonomik ve teknolojik faydalarının tespiti için gerekli çalışmaların başlatılması zorunlu görülmektedir.



## KAYNAKLAR

Arnal, J.M., León, J. Lora, Gozávez, J.M., Santafé, A., Sanz, D., Tena, J., “Ultrafiltration as a Pre-Treatment of Other Membrane Technologies in the Reuse of Textile Wastewaters”, *Desalination* 221, 405-412, (2008).

Barredo-Damas, S., Alcaina-Miranda, M.I, Iborra-Clar, M.I., Bes-Pia A., Mendoza-Roca, J.A., Iborra-Clar, A.. “Study of the UF process as Pretreatment of NF Membranes for Textile Wastewater Reuse”, *Desalination* 200, 745-747, (2006).

Brick, M., Schoeberl, B., Chamam, R., Braun, Fuchs W., “Advanced Treatment of Textile Wastewater Towards Reuse Using a Membrane Bioreactor”, *Process Biochemistry* 41, 1751-1757, (2006).

Cadotte, J., Forester, R., Kim, M., Petersen A., “Nanofiltration Membranes Broaden the use of Membrane Separation Technology”, *Desalination* 48, 77-88, (1998).

Chinwetkitvanich, S., Tuntoolvest, M. and Panswad, T., “Anaerobic Decolorisation of Reactive Dye bath”, ”, *Environmental Technology*, 860-872, (2000).

Correia, V.M., Stephenson, T. and Judd, S.J., “Characterisation of Textile Wastewaters-a Review”, *Environmental Technology*, 917-929, (1994).

Dhodapkar, R., Girish, R., Tapas, N., Sukumar D., “Exploitation Results of Seven RO Plants for Recovery and Reuse of Treated Effluents in Textile Industries”, *Desalination* 217, 291-300, (2007).

Fersi, C., Gzara, L., Dhahbi, M., ”Treatment of Textile Effluents by Membrane Technologies”, *Desalination* 185, 399-409, (2005).

Guohua C., Xijun C., Po-Lock Y., Yongli M., “Treatment of Textile Desizing Wastewater by Pilot Scale Nanofiltration Membrane Separation”, *Journal of Membrane Science* 127, 93-99, (1997).

Kang, S.F. and Chang, H.M., “Coagulation of Textile Secondary Effluents With Fenton’s Reagent”, *Water Science and Technology* 36, 215–222, (1997).

Kapdan, İ.A. ve Kargı, F. “Atıksulardan Tekstil Boyar Maddesinin Coriolus Versicolor ile Dolgulu Kolon Reaktörde Giderimi”, *İ.T.Ü. 7. Endüstriyel Kirlenme Kontrolü Sempozyumu*, İstanbul, 1–7, (2000).

Karcher, S. Kornmüller, A. and Jekel, M., “Removal of Reactive Dyes by Sorption/Complexation With Cucurbituril”, *Water Science and Technology* 40(4–5), 425–433, (1999).

Koyuncu, İ., “Nanofiltrasyon Membranları ile Tuz Gideriminde Organik İyon Etkisi”, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 100-110, (2001).

Machenbach, I., “Membrane Technology for Dyehouse Effluent Treatment”, *Membrane Technology*, 96, 7- 11, (1998).

Marcucci, M., Ciardelli, G., Matteucci, A., Rainieri, L., Russo, M., “Experimental Campaigns on Textile Wastewater for Reuse by Means of Different Membrane Process”, *Desalination* 149, 137-143, (2002).

Marcucci, M., Nosenzo, G., Capannelli, G., Ciabatti, I., Corrieri, D., Ciardelli, G., “Treatment and Reuse of Textile Effluents Based on New Ultrafiltration and Other Membrane Technologies” *Desalination and Environment* 138, 75-82, (2001).

Naumczyk, J. Szyprkiewicz, L. and Zilio-Grandi, F., “Electrochemical Treatment of Textile Wastewaters”, *Water Science and Technology*, 34(11), 17–24, (1996).

Nigam, P., Banat, İ. M., Singh, D. and Marchant, R., “Microbial Process for the Decolorization of Textile Effluent Containing Azo, Diazo and Reactive Dyes”, *Process Biochemistry*, 31(5), 435-442, (2000).

Oneill, C., Lopez, A., Esteves, S., Hawkes, F. R., Hawkes, D.L. and Wilcox, S., “Azo Dye Degredation in an Anaerobic-Aerobic Treatment System Operating on Simulated Textile Effluent”, *Applied Microbiology and Biotechnology* 53, 249-254, (2000).

Palma, C. Moreira, M.T. Mielgo, I. Feijoo, G. and Lema, J. M., “Use of Fungal Bioreactor As a Pretreatment or Post Treatment Step For Continuous Decolorisation of Dyes”, *Water Science and Technology*, 40(8), 131–136, (1999).

Pelegri, R., Zamora, P.P., Andrade, A.R., Reyes, J. and Duran, N. “Electrochemically Assisted Photocatalytic Degredation of Reactive Dyes”, *Applied Catalysis B: Environmental*, 22, 83-90, (1999).

Perkins, W.S., Walsh, W.K., Reed I.E. and Namboodri, C.G., “A Demonstration of Reuse of Spent Dyebath Water Following Color Removal with Ozone”, *Textile Chemist and Colorist*, 31-37, (1995).

Ranganathan K, Karunakaran K., Sharma D.C., “Recycling of Wastewater of Textile Dyeing Industries Using Advanced Treatment Technology and Cost Analysis – Case Studies”, *Resources, Conservation and Recycling* 50, 306-319, (2006).

Rautenbach R., Linn T., Eilers L., “Treatment of Severely Contaminated Wastewater by a Combination of RO, High-Pressure RO and NF-Potential and Limits of Process”, *Journal of Membrane Science* 174, 231-241, (2000).

- Robinson, T. McMullan, G. Marchant, R. and Nigam, P., “Remediation of Dyes in Textile Effluent: A Critical Review on Current Treatment Technologies With a Proposed Alternative”, *Bioresource Technology* 77, 247-255, (2001).
- Rozzi, A., Antonelli, M. and Arcari, M., “Membrane Treatment of Secondary Textile Effluents for Direct Reuse”, *Water Science and Technology* 40(4-5), 409-416, (1999).
- Sewekow, U., “Treatment of Reactive Dye Effluents With Hydrogen Peroxide/Iron(II) Sulphate”, *Melliand Textilberichte* 74, 153–156, (1993).
- Slokar, Y. M. and Marechal, A.M.L., “Methods of Decoloration of Textile Wastewaters”, *Dyes and Pigments* 37(4), 335–356, (1998).
- Socha, K., Treatment of Textile Effluents, *Textile Month* 12, 52-56, (1991).
- Sponza, D., Işık, M. ve Atalay, H., “Reaktif Black 5 ve Synozol Red Azo Boyalarının Anaerobik Arıtılabilirliği”, *İ.T.Ü. 7. Endüstriyel Kirlenme Kontrolü Sempozyumu*, İstanbul, 19-34, (2000).
- Strickland, A.F. and Perkins, W.S., “Decolorization of Continuous Dyeing Wastewater by Ozonation”, *Textile Chemist and Colorist* 27, 11–15, (1995).
- Tang, C., Chen, V., “Nanofiltration of Textile Wastewater for Reuse”, *Desalination* 143, 11-20, (2002).
- Tünay, O., Kabdaslı, I., Eremektar, G. ve Orhon, D., “Color Removal From Textile Wastewaters”, *Water Science and Technology*, 34(11), 9-16, (1996).
- Unkroth, A., Wagner, V. and Sauerbrey, R., “Laser-Assisted Photochemical Wastewater Treatment”, *Water Science and Technology*, 35(4), 181–188, (1996).
- Vlyssides, A.G. Papaioannou, D. Loizidou, M. Karlis, P.K. and Zorpas, A.A. “Testing an Electrochemical Method for Treatment of Textile Dye Wastewater” *Waste Management*, 20, 569–574, (2000).
- Wiesner, M.R. and Aptel, P., “Mass Transport and Permeate Flux and Fouling in Pressure-Driven Process in Water Treatment”, *Chapter 4, Eds. Mallevielle, J., McGraw-Hill.* (1996).
- Willmott, N., Guthrie, J. and Nelson, G., “The Biotechnology Approach to Colour Removal from Textile Effluent”, *Journal of the Society of Dyers and Colorists* 114, 38-41, (1998).
- Wu, J. and Wang, “Ozonation of Aqueous Azo Dye In a Semi-Batch Reactor”, *Water Research*, 35(4), 1093–1099, (2001).

## **ÖZGEÇMİŞ**

1981 yılında Mersin’de doğdu. İlköğretimi Seka İlköğretim okulunda, orta ve lise öğrenimini Kocaeli Anadolu Lisesi’nde tamamladı. 1999 yılında Anadolu Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümünü kazandı. Lisans eğitimini 2004 yılında tamamlayarak, 2005 yılında Kocaeli Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümünde yüksek lisans eğitimine başladı ve halen aynı bölümde eğitime devam etmektedir. 2006 Nisan ayından itibaren MASS Arıtma Sistemleri’nde Proje Mühendisi olarak görev yapmaktadır.