

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**PAMUKLU TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ATIKSULARININ
MEMBRAN PROSESLERLE GERİ KAZANIMININ
ARAŞTIRILMASI**

Çevre Mühendisi Bergin Beril KAYACAN

**FBE Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Eyüp DEBİK

Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Ferruh ERTÜRK

Doç. Dr. İsmail KOYUNCU

İSTANBUL, 2010

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ	v
ÇİZELGE LİSTESİ	vii
ÖNSÖZ	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT	x
1. GİRİŞ	1
2. TEKSTİL ATIKSULARININ GENEL ÖZELLİKLERİ	3
2.1 Tekstil Endüstrisi Üretim Basamakları	3
2.1.1 Elyaf Üretimi	3
2.1.2 İplik Üretimi	4
2.1.3 Terbiye İşlemleri	4
2.2 Pamuklu Tekstil Endüstrisi Üretim Prosesleri ve İşlemleri	5
2.2.1 Haşılama	5
2.2.2 Yakma	6
2.2.3 Bazık İşlemler	6
2.2.4 Ağartma	6
2.2.5 Merserizasyon	7
2.2.6 Boyama	7
2.2.7 Bitirme İşlemleri	7
2.3 Tekstil Endüstrisinden Kaynaklanan Atıksuların Özellikleri	7
2.3.1 Pamuklu Tekstil Endüstrisi Atıksularının Özellikleri	8
2.4 Türkiye’de ve AB’de Tekstil Endüstrisi ile İlgili Çevre Mevzuatı	10
3. TEKSTİL ATIKSULARININ ARITIMI	13
3.1 Ardışık Kesikli Bioreaktörler	15
3.1.1 Proses Tanımlama	15
3.1.2 Ardışık Kesikli Reaktörlerin Kullanılma Sebepleri	18
3.1.3 Çeşitli Ardışık Kesikli Reaktör Uygulamaları	19
4. MEMBRAN PROSESLER	21
4.1 Membranların Çalışma Prensipleri	22
4.2 Basınç Kuvveti Altında Çalışan Membranlar	23
4.2.1 Mikrofiltrasyon	23
4.2.2 Ultrafiltrasyon	24
4.2.3 Nanofiltrasyon	25
4.2.4 Ters Ozmoz	26
4.3 Membran Performansı	27

4.3.1	Basınç	27
4.3.2	Sıcaklık	27
4.3.3	Debi	27
4.3.4	Konsantrasyon	28
4.3.5	Membran diziliş yoğunluğu.....	28
4.3.6	Akı	28
4.3.7	Geri kazanım faktörü	28
4.3.8	Tuzun geri alınması	28
4.3.9	Membran ömrü	28
4.3.10	pH	29
4.3.11	Ön arıtma	29
4.4	Membran Proseslerin Kullanım Alanları.....	29
4.5	Membran Proseslerle Yapılmış Önceki Çalışmalar.....	31
5.	DENEYSEL ÇALIŞMA.....	33
5.1	Materyal metod.....	33
5.1.1	Deneylerin Planlanması	33
5.1.2	Membran Sistemin Kurulumu ve İşletmeye Alınması	33
5.1.3	Çalışmada Kullanılan Atıksular.....	34
5.1.3.1	Pamuklu Tekstil Endüstrisi Atıksuyu	35
5.1.3.2	Aerobik Arıtma Tesisi Çıkış Suyu.....	37
5.1.4	İzlenen Parametreler	38
5.1.5	DeneySEL Çalışma Sistematiği	39
6.	BULGULAR ve DEĞERLENDİRME.....	40
6.1	Arıtılmamış Tekstil Atıksuyunun Membran Çalışması Sonuçları	40
6.1.1	Akı	40
6.1.2	Süzüntü Suyu Analiz Sonuçları	42
6.2	Aerobik Arıtma Çıkış Suyunun Membran Çalışması Sonuçları	45
6.2.1	Akı	45
6.2.2	Süzüntü Suyu Analiz Sonuçları	47
6.3	Arıtılmamış (Ham) Tekstil Atıksuyu ve Aerobik Arıtma Çıkış Suyu Membran Çalışmaları Verimlerinin Karşılaştırılması.....	49
7.	SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRME	53
	KAYNAKLAR.....	55
	ÖZGEÇMİŞ.....	59

SİMGE LİSTESİ

J_y	Ak1
μ	Akışkanın vizkozitesi
S_o	Besin maddesi
X_o	Mikroorganizma miktarı

KISALTMA LİSTESİ

AKM	Askıda Katı Madde
AKR	Ardışık Kesikli Reaktör
BAT	Mevcut En İyi Teknik
BREF	Mevcut En İyi Teknik Referans Dökümanı
BOİ	Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
BOİ ₅	5 Günlük Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
Ca ⁺²	Kalsiyum İyonu
Cl ⁻	Klorür İyonu
ED	Elektrodializ
EPS	Ekstraselüler Polimerik Madde
FTR	Doldurma Zamanı Oranı
H ₂ SO ₄	Sülfirik Asit
H ₂ O ₂	Hidrojen peroksit
IPPC	Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrolü Direktifi
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
K ⁺	Potasyum
KF	Koagülasyon/Flokülasyon
MF	Mikrofiltrasyon
Mg ⁺²	Magnezyum İyonu
MWCO	Moleküler Ağırlık Engelleme Sınırı
N	Azot
NaOH	Sodyum hidroksit
NF	Nanofiltrasyon
NH ₃ -N	Amonyak Azotu
RO	Ters Ozmoz
TAK	Toz Aktif Karbon
TDS	Toplam Çözünmüş Katı
THM	Trihalometan
TOK	Toplam Organik Karbon
TP	Toplam Fosfor
UF	Ultrafiltrasyon

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3.1 Genel AKR prosesinin birbirini takip eden işletim fazları.....	17
Şekil 4.1 Parçacık büyüklüğüne göre seçilen membran prosesleri	23
Şekil 5.1 Membran prosesi akım şeması	33
Şekil 5.2 Arıtma tesisi proses akım şeması	38
Şekil 6.1 Arıtılmamış tekstil atıksuyunun farklı membran basınçlarında süzüntü akısının zamana bağlı değişimi	41
Şekil 6.2 Arıtılmamış tekstil atıksuyunun farklı membran basınçları altında NF10 ve UF10+NF10 uygulaması sonucunda akı değişimleri	42
Şekil 6.3 Arıtılmamış tekstil atıksuyunun membran çalışmaları sonucunda elde edilen giderim verimleri	44
Şekil 6.4 Fabrikada mevcut aerobik arıtma tesisi çıkış suyunun farklı membran basınçlarında süzüntü akısının zamana bağlı değişimi.....	45
Şekil 6.5 Fabrikada mevcut aerobik arıtma tesisi ile arıtılmış tekstil atıksuyunun farklı membran basınçları altında NF10 ve UF10+NF10 uygulaması sonucunda akı değişimleri	46
Şekil 6.6 Fabrikada mevcut aerobik arıtma tesisi çıkış suyunun membran çalışmaları sonucunda elde edilen giderme verimleri.....	47

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1 Pamuklu tekstil endüstrisi proseslerinden kaynaklanan atıksu karakteristikleri	8
Çizelge 2.2 Tekstil atıksularında bulunan kimyasallar	9
Çizelge 3.1 Arıtım sistemlerindeki proseslerin kirletici giderim verimlerine etkileri	14
Çizelge 4.1 Farklı iyonları giderme verimleri	26
Çizelge 5.1 Kullanılan membranlara ait teknik bilgiler	34
Çizelge 5.2 Çalışmada atıksuyu kullanılan fabrikanın üretim ve atıksu miktarının alt prosesler bazında genel değerlendirilmesi	35
Çizelge 5.3 Çalışmada atıksuyu kullanılan tekstil endüstrisinin genel özellikleri	37
Çizelge 5.4 Çalışmada kullanılan pamuklu tekstil endüstrisi atıksuyunun genel özellikleri .	37
Çizelge 5.5 Fabrikada mevcut arıtma tesisi deşarj suyu karakteristikleri	38
Çizelge 5.6 Membran sistemle çalışma sistemiği	39
Çizelge 6.1 Tekstil atıksuyu için membran basıncının artmasıyla 60 dakikalık ölçüm sonucunda süzüntü akısındaki artış	40
Çizelge 6.2 Arıtılmamış tekstil atıksuyunun membran çalışması sonucunda elde edilen analiz sonuçları	43
Çizelge 6.3 Membran basıncının artmasıyla 60 dakikalık ölçüm sonucunda süzüntü akısının artışı	46
Çizelge 6.4 Çalışılan fabrikada mevcut aerobik arıtma tesisi çıkış suyunun membran çalışması sonucunda elde edilen süzüntü suyu analiz sonuçları	48
Çizelge 6.5 Arıtılmamış (ham) tekstil çıkış suyu ile aerobik arıtılmış tekstil atıksuyunun KOİ giderimi bakımından karşılaştırılması	49
Çizelge 6.6 Arıtılmamış (ham) tekstil çıkış suyu ile aerobik arıtılmış tekstil atıksuyunun renk giderimi bakımından karşılaştırılması	50
Çizelge 6.7 Arıtılmamış (ham) tekstil çıkış suyu ile aerobik arıtılmış tekstil atıksuyunun iletkenlik giderimi bakımından karşılaştırılması	50
Çizelge 6.8 Literatüre göre tekstil endüstrisinde tekrar kullanılabilir suyun karakteristikleri	51

ÖNSÖZ

Çalışmam sırasında bana her türlü desteği veren, bilgi ve birikimleriyle yol gösteren tez danışmanım, saygıdeğer hocam Yrd. Doç. Dr. Eyüp DEBİK'e,

Yüksek Lisans eğitimim boyunca tanıma fırsatı bulduğum ve değerli bilgilerinden faydalandığım, başta Prof. Dr. Ahmet DEMİR olmak üzere tüm Çevre Mühendisliği Bölümü hocalarıma,

Tezin yazımı konusunda yardımlarını esirgemeyen, birlikte çalışmaktan onur duyduğum, deneysel çalışma süresince gösterdikleri sabır ve yardımlarından dolayı değerli arkadaşlarım Çevre Yük. Müh. Gül KAYKIOĞLU ve Çevre Yük. Müh. Aslı ÇOBAN'a,

Manevi desteklerinden ötürü tüm yüksek lisans dönem arkadaşlarıma,

Bugünlere gelmemin başlıca sebebi olan, maddi manevi destekleri ve gösterdikleri anlayıştan dolayı sevgili aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez oluşturulurken akademik çalışmaların yapılabilmesi için gerekli mali destek, TÜBİTAK ÇAYDAG 107Y060 no'lu proje ve YTÜ-BAP 27-05-02-02 nolu proje tarafından sağlanmıştır.

Bergin Beril KAYACAN

ÖZET

Ülkemizde hammaddelerinden pamuk bitkisinin bolca yetişmesi ve jeopolitik konumu sebebiyle, tekstil endüstrisi ülkemizin dünya çapında iddialı olduğu bir endüstri dalı haline gelmiştir. Tekstil endüstrisindeki geniş ürün yelpazesinin bir yansıması olarak, gerek miktar gerek içerik yönünden birbirinden farklı atıksular oluşmaktadır. Oluşan bu tekstil atıksuları ülkemizde genellikle aerobik arıtım kullanılarak arıtılmakta ve KOİ giderimi bakımından yüksek verimler sağlanmaktadır. Ancak bu klasik yöntemlerle renk parametresi hiçbir şekilde giderilememektedir.

Bilindiği gibi atıksu arıtımında membran teknolojileri geniş 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.

Aerobik olarak arıtılmış ve ham atıksuların membran proseslerle geri kazanımının araştırıldığı bu çalışmada; tekstil çıkış (ham) atıksuları ve aerobik arıtılmış çıkış suları; farklı basınçlar altında ultrafiltrasyon (UF) (3 bar) ve nanofiltrasyon (NF) (4, 6, 8 ve 10 bar) membranlardan geçirilmiştir. Membran uygulamaları ardından en yüksek giderim yüzdeleri KOİ için; UF10+NF10 uygulamasında 10 bar basınç altında %97, renk için NF10 uygulamasında 8 bar basınç altında %97; iletkenlik için; UF10+NF10 uygulamasında 8 bar basınç altında %70 olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlar; konvansiyonel aerobik arıtma sistemleri ve membran kombinasyonu ile arıtılan tekstil atıksularının, endüstrinin koyu renkli boyama ya da boyama sonrası yıkama proseslerinde kullanılabileceğini ortaya koymuştur. Ancak, hiçbir arıtıma tabi tutulmamış tekstil endüstrisi atıksuyunun membran prosesler ile filtrasyonu sonucunda tekrar kullanım için uygun sonuçlar elde edilememiştir.

Membran teknolojilerinin konvansiyonel arıtma tesislerinden sonra ileri arıtma ve/veya geri kazanım imkânları ile kullanılabilirliğinin araştırıldığı bu çalışma aşağıdaki bölümlerden oluşmaktadır:

Birinci bölümde tezin amacı ve kapsamından kısaca bahsedildikten sonra ikinci bölümde; tekstil atıksularının genel özellikleri, üretim proses ve işlemlerinden bahsedilmiş; Avrupa Birliği'nin tekstil endüstrisi ile ilgili çevre mevzuatından dikkat çeken noktalar aktarılmıştır.

Üçüncü bölümde; önce tekstil atıksularının genel arıtım yöntemlerine değinilmiş ardından deneysel çalışmada fabrikanın mevcut aerobik arıtma tesisi olan ardışık kesikli reaktörün çıkış suları incelendiğinden ardışık kesikli reaktörler hakkında bilgi verilmiştir.

Dördüncü bölümde, membran prosesler; çalışma prensipleri, itici kuvvetlerinin çeşitleri, itici kuvveti basınç olan membran türleri (mikrofiltrasyon, ultrafiltrasyon, nanofiltrasyon ve ters ozmoz), membran performansı ve etki eden faktörler açıklanmıştır.

Beşinci bölümde; deneysel çalışmalarda kullanılan materyal metod, membran sistemlerinin kurulumu ve bileşenleri yanında; çalışmada kullanılan atıksuların özellikleri ve çalışma süresince izlenen parametreler irdelenmiştir.

Altıncı bölüm olan bulgular ve değerlendirme kısmında; deneysel çalışmanın ardından ölçülen akı, renk, KOİ vb. izlenen parametreler grafik ve tablolar yardımıyla değerlendirilmiştir. Ayrıca son bölümde; çalışma ile elde edilen sonuçlar kısaca değerlendirilerek uygulamaya yönelik bazı öneriler getirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Membran sistemler, tekstil atıksuyu, geri kazanım, ultrafiltrasyon, nanofiltrasyon

ABSTRACT

Textile industry is a worldwide assertive industry branch for Turkey, due to high amount of planted cotton and Turkey's geopolitical location. As a reflection of wide product types of textile industry; wastewater characteristics differs both quantitatively and qualitatively. In Turkey, aerobic treatment is used for treating these textile effluents in general and high COD removals are achieved. However; these classic methods can not accomplish to remove color in any way.

As is known, membrane technology is a new technology which is widely used in wastewater treatment. By using this process; a big economical advantage can be achieved for the specific industries with concentrated effluent discharge, as well as for other usage areas (recycle etc.) pollution load would decrease.

In this study, aerobically treated and raw wastewaters recovery with membrane technology has been evaluated; raw textile effluents and aerobically treated textile effluents are studied under different pressures with both ultrafiltration (UF) (3 bar) and nanofiltration (NF) (4, 6, 8 and 10 bar) membranes. After membrane application; the highest COD removal efficiency is 97% by UF10+NF10 application under 10 bar pressure. The highest color removal efficiency is 97% by NF10 application under 8 bar pressure. The highest conductivity removal efficiency is 70% by UF10+NF10 application under 8 bar pressure. From these results; it has been exposed that the wastewaters treated with conventional aerobic treatment systems and membrane combinations can be used in dark colored dye processes and/or washing process after dyeing. However, the results of membrane applications for raw textile effluents are not suitable for reuse in textile industry processes.

This study, which is about implementing membrane technologies after conventional treatment plants for advanced treatment and/or recovery opportunities, is consisting of following chapters below:

After a brief summary of thesis purpose and contents; in second chapter not only textile effluents' general characteristics, production processes and phases are mentioned but also highlights from E.U. environmental legislations for textile industry are given.

In third chapter; general treatment methods of textile effluents are described firstly. Afterwards sequencing batch reactor, which is the aerobic treatment plant system in the factory where the textile effluent samples are taken from, is defined.

In fourth chapter, membrane processes, work principles, driving force types, membrane types with driving force of pressure (microfiltration, ultrafiltration, nanofiltration, and reverse osmosis), membrane performance and the factors effecting membrane performance are described.

In fifth chapter, experimental study, membrane plant implementation and its contents, effluent characteristics and followed parameters through the experimental study are described.

In sixth chapter, findings and evaluation, parameters like flux, color, COD etc. are evaluated with the help of tables and figures after experimental study. Also in the last chapter; a brief evaluation of results and recommendations for applications are given.

Key words: Membrane systems, textile wastewater, recovery, ultrafiltration, nanofiltration

1. GİRİŞ

Ülkemizde tekstil endüstrisi hammaddelerinden pamuk bitkisinin bolca yetişmesi ve jeopolitik konumu sebebiyle birçok Avrupa ülkesine yakınlığı; yabancı ülkelerin tekstil ihtiyaçlarını ülkemizden temin etmesini sağlamıştır. Böylece tekstil endüstrisi ülkemizin dünya çapında iddialı olduğu bir endüstri dalı haline gelmiştir.

Tekstil endüstrisinin geniş ürün yelpazesinin bir yansıması olarak, farklı hammadde ve proseslerden kaynaklanan, gerek miktar gerekse içerik yönünden birbirinden farklı birçok atıksuyun oluşumunu da beraberinde getirmektedir. Endüstriyel atıksular, proseslerde sıkça kullanılan sentetik boyalar ve çeşitli kimyasallardan ötürü yüksek Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ), pH, sıcaklık ve toksik katı madde içeren ve toksik özelliklerinden dolayı önemli bir çevresel problem oluşturan atıksulardır. Bu tip atıksuların arıtımı, içeriğindeki kompleks yapıyı boyar organik maddeler ve yüzey aktif maddeler nedeniyle oldukça zordur. Bu yüzden boyar madde içeren atıksuların arıtımı membran prosesler gibi ileri arıtma teknikleri kullanılarak yapılmaktadır.

Endüstriyel üretim her geçen gün biraz daha arttığı için, oluşacak zararlı etkilerin en aza indirilmesi için yeni teknolojilere başvurulması gerekmektedir. Özellikle boya terbiye işlemlerinin yapıldığı fabrikalarda, elyaf tipine göre boya banyolarının farklılaşması özel karakterde bir atıksu oluşumuna sebep olmaktadır. 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.

Biyolojik olarak ayrışması zor parametrelerin ileri arıtım kullanılarak giderimi ile tekstil endüstrisi çıkış sularının yeniden kullanımıyla, dünyada azalan su kaynaklarının daha temkinli kullanımı sağlanmaktadır.

1.1 Tezin Amacı ve Kapsamı

Ülkemizde tekstil atıksuları genellikle aerobik arıtım yöntemleri kullanılarak arıtılmakta ve KOİ giderimi bakımından yüksek verimler sağlanmaktadır. Ancak bu klasik yöntemlerle renk parametresi hiçbir şekilde giderilememektedir.

Bu çalışmada biyolojik olarak giderilemeyen parametrelerden renk ile diğer parametrelerin membran proseslerle giderimi araştırılmıştır. Bunun için Tekirdağ'da faaliyet gösteren bir

pamuklu kumaş terbiye fabrikasından alınan arıtılmamış atıksuları ile fabrikanın mevcut aerobik arıtma tesisi çıkış sularının; UF ve NF membranlar ile yeniden kullanılabilirlikleri değerlendirilmiştir. Çalışma boyunca takip edilen parametreler; renk, KOİ, iletkenlik, sertlik, Ca^{+2} , Mg^{+2} , Cl^- , K^+ , alkalinite, tuzluluk, TDS olmuştur. Tekstil endüstrisinden gelen atıksuların biyolojik olarak arıtılmasıyla KOİ giderimi sağlanırken, renk giderimi elde edilememektedir. Renk ve iletkenlik parametrelerinin membran teknolojileri ile giderim verimleri oldukça yüksek olup atıksuyun yeniden kullanımı sağlanabilmektedir. Bu çalışmada da UF ve NF membranlar kullanılarak tekstil atıksularının yeniden kullanılabilirliği değerlendirilmiştir.

2. TEKSTİL ATIKSULARININ GENEL ÖZELLİKLERİ

Tekstil endüstrisi; birbiri ile ilişkili birçok hammaddenin kullanıldığı, büyük sayıda üretim yapan farklı endüstrilerin oluşturduğu bir sanayi dalıdır. Tekstil endüstrisi, elyaf hammaddesinden elyaf üretimi, elyaftan iplik elde edilmesi, iplikten kumaş yapılması, kumaşın konfeksiyona hazırlanması (kasar, boya, baskı, apre) aşamasındaki tüm işlemleri kapsamaktadır.

Tekstil fabrikaları üretim kolları olarak değişiklik gösterse de genel olarak; iplik, dokuma, boya, baskı, terbiye, konfeksiyon vb. bölümlerden oluşmaktadır.

Tekstil endüstrisi; suyun çok fazla tüketildiği endüstrilerden biridir. Tekstil endüstrisi atıksuları; yüksek konsantrasyonda renk verici madde, biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) ve askıda katı madde (AKM) gibi kirleticileri barındırmaktadırlar.

Tekstil endüstrisi atıksuları hem içerdikleri yüksek KOİ, hem de renk verici maddeler yönünden alıcı ortamda kirlilik oluşturmaktadırlar. Bazı tekstil endüstrisi atıksularında işletme türüne bağlı olarak çok yüksek değerde ve biyolojik olarak parçalanması zor organik kirleticiler bulunmaktadır. Tekstil endüstrisi atıksularında bulunan organik kirlilikler biyolojik olarak parçalanabildiği takdirde, kimyasal arıtmaya dayalı biyolojik arıtma uygulanarak deşarj kriterlerine ulaşmak mümkün olabilmektedir. Ancak tekstil atıksularında renk, klasik arıtma sistemleriyle giderilememektedir. Yürürlükteki yönetmelikte renk parametresine ait bir sınırlama olmadığından da deşarj sorunu devam etmektedir.

2.1 Tekstil Endüstrisi Üretim Basamakları

Tekstil endüstrisinin ürünleri çok çeşitlidir. Günümüzde tekstil ürünlerinin kullanımları geniş bir yelpazeye yayılmıştır. Tekstil endüstrisi; hazır giyim, ev tekstilleri ve teknik tekstiller için çok çeşitli ürünler meydana getirmesine rağmen, genelde dört ana bölümde incelenebilmektedir.

2.1.1 Elyaf Üretimi

Elyaf, bütün tekstil ürünlerinin hammaddesi ve en küçük yapı birimidir. Elyaf, tekstil ürünlerinin ilk basamağını oluşturan; eğilmeye ve bükülmeye uygun olan maddelerdir. Elyafın tekstilde kullanılabilmesi için; belli bir uzunluğu, inceliği, mukavemeti, elastikiyeti ve

birbirine tutunma kabiliyetini sağlaması gerekmektedir. Elyaf lar çeşitli işlem basamaklarından geçirildikten sonra iplik haline getirilmektedir.

Elde edilen iplik başta dokuma ve örme işlem olmak üzere çeşitli yöntemlerle yüzey haline getirilir. Tekstilde kullanılan elyaf lar; doğal ve yapay olmak üzere ikiye ayrılır (Demiral, 2008).

- Doğal Elyaf lar:
 - a. Bitkisel Elyaf lar (pamuk, keten, jüt)
 - b. Hayvansal Elyaf lar (yün, ipek)
- Yapay Elyaf lar:
 - a. Rejenere Elyaf lar (viskoz, Asetat)
 - b. Sentetik Elyaf lar (poliester, poliamid, akrilik, polipropilen)

2.1.2 İplik Üretimi

İplikler sadece kesikli veya kesiksiz (filament) elyaf ların kullanılmasıyla ya da bir diğer şekilde her ikisinin birleştirilmesi ile elde edilmektedirler. İplik eğirme; elyaf hammaddesinin bir seri işlem kademesinden geçirilmesi ile elde edilen, gerekli temizliğe, paralellığe 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 iplik çeşitleri; kesikli, filament
- b. Hammaddesine göre iplik çeşitleri; pamuk, keten, yün, ipek, viskon, rayon, sentetik kesikli, sentetik filament, karışım iplikler.
- c. Yapılarına göre iplik çeşitleri; fantezi, katlı, krep, özel yapılı iplikler.
- d. Kullanım yerine göre iplik çeşitleri; dokuma, örme, dikiş, dantel iplikleri vb. olarak ayrılmaktadırlar.

2.1.3 Terbiye İşlemleri

Genel anlamda; dokuma veya örmeden gelen kumaşın ya da iplik halindeki tekstil malzemesinin, görünüm ve kullanım özelliklerini değiştirmek ve 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. Kaşar (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.

2.2 Pamuklu Tekstil Endüstrisi Üretim Prosesleri ve İşlemleri

Pamuk eski ve önemli bir elyaf cinsidir. Pamuklu tekstil ürünlerine uygulanan ön terbiye işlemleri; yakma, liflerin haşıllanması, bazık işlemler, haşıl sökme işlemi, ağartma, yıkama işlemleri, mersevizasyon, boyama ve bitirme işlemleridir. Bu işlemler ve işlemler sırasında oluşan atıklar aşağıda verilmektedir.

2.2.1 Haşılama

Haşıllamada amaç; liflerin mekanik kuvvetlere karşı direncini arttırabilmek için birbirlerine daha iyi yapıştırmak, daha sağlam hale getirerek dokumada performansı yükseltmektir. Haşıllamada ipliklere tatbik edilen haşıl maddesiyle beraber küf gidericiler, mantar öldürücü ilaçlar gibi önceden koruyucu amaçla kullanılmış kimyasal ve diğer yabancı maddelerin giderilmesi yapılmaktadır.

Haşıl maddeleri; makromoleküllü, film oluşturabilen ve liflere belli bir yapışma, tutunma yeteneğinde, doğal veya yapay kökenli maddeler olarak tanımlanabilmektedir.

Haşıl maddesi olarak kullanılan polivinil alkol, deterjan/su çözeltisi ile giderilebilir. Bu işlem sonucunda, askıda katı madde, yağ ve gres içeren atıklar suya karışır. Oluşan bu atıklar,

mamul oluşumu sonucu meydana gelen katı artığın yarısını oluşturur. Atıksulardaki KOI'nin önemli bir bölümü de polivinil alkolden kaynaklanmaktadır.

2.2.2 Yakma

Yakma işleminde amaç, kumaşı oluşturan ipliklerden çıkan lif uçlarını (hav tüycüklerini) uzaklaştırmaktır.

2.2.3 Bazik İşlemler

Pamuk lifleri, yağ, mum, pektin, hemiselüloz gibi bazı yabancı maddeler içermektedir. Bu maddelerin bir kısmı hidrofobiktir ve dolayısıyla yaş terbiye işlemleri sırasında liflerin düzgün ıslanmasını güçleştirmektedir. Pamuklu liflerin içersindeki ve üzerindeki bütün bu yabancı maddelerin uzaklaştırılması, ham pamuklu mamulleri, baz çözeltileriyle muamele ederek sağlanmaktadır. Bu şekilde pamuk lifleri hidrofilikleştirilmekte ve ham bez kısmen beyazlaşmaktadır.

Bazik işlemler, pişirme ya da kaynatma şeklinde uygulanmaktadır. Kostik soda ile pişme sonucunda, kostik soda içeren atıklar oluşmakta; pişirme işleminde kullanılan yüzey aktif maddeler ve sodyum fosfat da atıksulara karışmaktadır.

Pişirme işlemi sıvı atıkları, kuvvetli alkali ($\text{pH} > 12$) özellikte ve koyu renkli atıklardır. Atıksuda önemli miktarda çözünmüş katı madde ve yağ bulunur, askıda katı madde içeriği ise daha düşüktür.

2.2.4 Ağartma

Pamuk kendisine sarımtırak-kahverengi bir renk veren doğal boyarmaddeleri içermektedir. Ağartmanın amacı bu boyarmaddeleri parçalayarak liflerin temiz beyaz bir görünüme sahip olmasını sağlamaktır. Ağartma sırasında, kumaşta bulunan yaprak, kapsül ve çekirdek kabuğu artıkları gibi artıklar da uzaklaştırılmış olur.

Hidrojen peroksit (H_2O_2), tekstil için en yaygın olarak kullanılan ağartma maddesidir ve tüm liflerin %85'inden fazlası hidrojen peroksit ile ağartılır. İşlem sonucunda oluşan kirlilik yükleri düşüktür. Atıksuda çözünmüş katı maddeler, inorganik katı maddeler (sodyum silikat, sodyum hidroksit ve sodyum fosfat) ve bazı organik maddeler (deterjanlar ve şelatlaştırma maddeleri gibi) bulunmaktadır.

2.2.5 Merсерizasyon

Merсерizasyon işleminin amacı; liflerin yüzeyindeki pürülülüklerin azaltılmasıyla liflerin ışığı yansıtabilirliğinin artırılması ve bunun sonucu olarak da iplik veya kumaşın daha parlak bir görünüşe sahip olmasıdır.

Merсерizasyon prosesinde derişik NaOH kullanılır. İşlem sırasında derişik NaOH liflerin arasına girerek lifleri şişirmekte ve daha açık bir yapı kazanmalarına yol açmaktadır. Bu proses sonucunda oluşan atıksular kuvvetli alkali ($\text{pH} > 12$) özellikte ve BOİ miktarı düşük atıksulardır.

2.2.6 Boyama

Boyama elyaf hammaddesine, iplik ve kumaşa renk verme işlemidir. Kumaş üzerindeki renkli şekiller genellikle baskıdır. Boyama işlemi sonucunda, boya atıklarını içeren renkli atıksular oluşur. Bu atıksularda, çözünmüş madde miktarı ve KOİ yüksektir. Pamuk lifleri; direkt, kükürt, reaktif, mordan, oksidasyon, bazik, pigment boyarmaddeleri ile boyanabilirler.

2.2.7 Bitirme İşlemleri

Bitirme işlemleri, tekstil ürünlerinin kullanılma amacına göre istenilen özelliği kazandırmak için yapılan işlemlerdir. Pamuklu liflere uygulanan bitirme işlemleri kimyasal ve mekanik bitirme işlemleri olarak çok çeşitlilik gösterir. Bunlar arasında; tutum apresi (sertlik, uyuşmazlık kazandıran vb.), su itici (hidrofobik) karakter kazandıran bitirme işlemleri, buruşmazlık bitirme işlemleri, çekmezlik bitirme işlemleri ve şardonlama sayılabilir. Su geçirmezlik, alev almazlık, buruşmazlık ve benzeri bitirme işlemlerinden gelen atıklar hacim olarak düşük miktarlardadır. Uygulanan kimyasal maddeler; ıslatma, işleme alma ve kurutma gibi sebeplerle düşük miktarlarda atık oluşturur.

2.3 Tekstil Endüstrisinden Kaynaklanan Atıksuların Özellikleri

Tekstil endüstrisinin geniş bir yelpazede üretim yapması sonucu bu endüstrinin atıksuları da farklı özelliklere sahiplerdir. Tekstil endüstrisi çok su tüketen bir endüstri dalıdır. Tüm bu sebeplere bağlı olarak da kirlilik yükü yüksek günlük ve mevsimsel olarak çok değişken atıksular oluşmaktadır. Tekstil endüstrisindeki kirleticiler; sıcaklık, organik, inorganik maddeler, ağır metal ve renk faktörlerini içermektedir.

Tekstil endüstrileri; boyama, bitirme, apreleme proseslerini ve birden fazla yıkama ve durulama döngüsünü içerdiklerinden; yüksek su ve kimyasal tüketimine ve yüksek KOİ içeren, renkli atıksulara sahiplerdir (Zylla vd., 2006).

Tekstil endüstrisinde temel kirletici parametreler, BOİ₅, KOİ, AKM, yağ ve gres, toplam krom, fenol, sülfür, sıcaklık, pH, kükürtlü bileşikler, toplam organik karbon ve bulanıklıktır. Bunların dışında özellikle, kullanılan boya ve diğer kimyasal maddelere bağlı olarak hem organik nitelikli hem de ağır metal olarak çok sayıda kirletici de atıksularda bulunmaktadır.

Pamuklu, yünlü ve sentetik üretim yapılan proseslerde, kimyasal madde ve bitim işlemlerinin farklı oluşu, atıksuların karakterinin de bir tekstil tesisinden diğerine çok değişmesine sebep olmaktadır.

2.3.1 Pamuklu Tekstil Endüstrisi Atıksularının Özellikleri

Pamuklu tekstil atıksuları alkali özellikte, işlenen boyanın hakim renginde ve debisi yüksek atıksulardır. Endüstriye ait atıksulardaki en önemli kirlilik problemleri; organik madde içeriğinin ve pH'ının yüksek oluşu, deterjan ve sabun içeriğinin olması, yağ ve gres, sülfür, katı maddeler ve alkalinite içermesi olarak sıralanabilir (Robinson vd., 2001).

Başlıca atıksu kaynakları; proses basamaklarından haşıllama ve haşıl sökme, yıkama, merseziyasyon, ağartma, boyama ve apre işlemleri sonrasında oluşmaktadır. Atıksulardaki kirliliğin birincil kaynağı liflerde mevcut olan doğal safsızlıklar, ikincisi ise proseslerde kullanılan kimyasal maddelerdir. Başlıca atıksu kaynakları bazında önemli kirlilikler Çizelge 2.1'de; tekstil atıksularında kullanılan kimyasallar da Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.1 Pamuklu tekstil endüstrisi proseslerinden kaynaklanan atıksu karakteristikleri (Selçuk, 1997)

İşlem	Önemli Kirlilikler
Haşıl sökme	Yüksek BOİ, yüksek toplam katı, nötr pH
Yıkama	Yüksek BOİ, yüksek alkali, yüksek toplam katı madde, yüksek sıcaklık
Ağartma	Yüksek BOİ, yüksek katı madde, alkali pH
Merseziyasyon	Düşük katı madde, alkali pH, düşük katılar
Boyama ve Baskı	Yüksek BOİ, yüksek katılar, nötr-alkali pH

Çizelge 2.2 Tekstil atıksularında bulunan kimyasallar (Demircanlı, 1995)

Tanımlama	Örnekler	Fonksiyon
Tuzlar	Sodyum klorür Sodyum sülfat Magnezyum sülfat	Boyanın elyafa geçirilmesi Elyafın zeta potansiyelini nötralize etmek Geciktirici
Asitler (mineral)	Hidroklorik asit Sülfürik asit Fosforik asit Borik asit	pH kontrolü Nötralizasyon Reçine artıklarının temizlenmesi Arta kalan boyaların temizlenmesi
Asitler (organik)	Formik asit Asetik asit Oksalik asit Sitrik asit	pH kontrolü Reçine küründe katalizör
Alkaliler	Kostik Soda külü Trisodyum fosfat Sodyum bikarbonat Amonyak Sodyum metasilikat Potasyum ortosilikat Sodyum pirofosfat Boraks Disodyum fosfat	pH kontrolü Peroksitle kasarda aktivatör Reaktif boyalarla boyanan elyaflar için aktivatör Nötralizasyon Mersevizasyon
Tampon çözeltiler	Monosodyum fosfat	pH kontrolü
Ayraçlar	Etildiamin tetraasetik asit	Kompleks sertlik sağlama Geciktirici Boyanın elyafa uygulanmasını düzenleme
Disperse olan ve yüzey aktif maddeler	Anyonik Katyonik Non-iyonik	Dispers boyalar Yumuşatıcılar Boyanın elyafa uygulanmasını düzenleme
Oksidanlar	Peroksit Sodyum klorit Sodyum hipoklorit Perkarbonat Perborat Peryodat Permanganat Dikromat	Kasar Arta kalan boyaların çıkarılması
İndirgeyici	Sodyum hidrosülfid Sodyum bisülfid Tiyosülfat Tiyoure dioksit	Vat ve sülfür boyalarının çözündürülmesi Arta kalan boyanın giderilmesi
Taşıyıcılar	Fenil fenoller Klorlu benzenler	Absorbsiyonu artırıcı
Ağır metaller	Bakır Krom Kobalt	Boyanın elyafa tutunmasını arttırmak
Bükücü yağlar Boyar maddeler	Çeşitli	Elyafı boyamak için bükme proseslerine ilave edilir

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

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

“Mevcut En İyi Teknikler” terimi anlam olarak proseslerin, tesislerin ya da işletme sistemlerinin çıkış standartlarına uygun hale getirilmesi için gereken düzenlemeleri kapsamaktadır. Proseslere, tesise ve işletme sistemine göre uygun Mevcut En İyi Tekniklerin belirlenmesinde dikkate alınacak noktalar şunlardır:

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

Bu yöntemler ile Mevcut En İyi Tekniklerin zaman içinde kendini yenileyerek teknolojik gelişmelerin ışığında ve bilimin ilerlemesi süresince değişmesi sağlanmaktadır. Avrupa Birliği, endüstriyel tesislere faaliyet izni verilmesi konusunda bir takım ortak hükümlere sahiptir. Bu hükümler, 1996 yılında yürürlüğe giren Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrolü Direktifi (IPPC)'nde yer almaktadır. Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrolü Direktifi'nin ana amacı, Avrupa Birliği genelinde çeşitli nokta kaynakların sebep olduğu kirliliğin azaltılmasıdır.

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

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

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

Direktif hem tanımlanmış kapasite büyüklüklerine sahip tüm endüstri tesislerini ele alması

açısından, hem de bugüne kadar ülkemizde endüstriyel kirlenme kontrolünü hedef alan yürürlükteki yasal çerçeveye farklı bir yaklaşım getirmesi yönünden büyük önem taşımaktadır (Büyükdere, 2008).

3. TEKSTİL ATIKSULARININ ARITIMI

Tekstil endüstrisi atıksuları farklı üretim şekillerinden kaynaklanan farklı karakterlerde atıksulara sahip olduklarından çeşitli arıtım teknikleri kullanılarak arıtılabilmektedir. En iyi arıtım yöntemi, tekstil atıksuyuna özel seçilmiş olan arıtım yöntemi olacaktır.

Tekstil atıksularının arıtımının genel olarak dört aşamadan oluştuğu söylenebilir. Bu aşamalar; ön arıtım; fiziksel-kimyasal arıtım; biyolojik arıtım ve gerekli hallerde ileri arıtım.

Ön arıtım ile tekstil atıksuyu arıtmaya hazır hale getirilir. Bu basamak askıda katı madde giderimini ve pH ayarlanmasını içermektedir. Ham tekstil atıksuyunun karakteristiğine göre bazı durumlarda kimyasal dozajlama ya da dezenfeksiyon; bazı durumlarda da sadece ızgaradan geçirme, kum tutucu veya filtrasyon yeterli gelebilmektedir. Bir sonraki arıtım basamağına geçecek olan atıksular debi salınımlarının dengelenmesi amacıyla dengeleme havuzuna alınırlar. Böylece arıtma prosesine girecek olan atıksuyun yaklaşık aynı özellikte olması sağlanır.

Kimyasal arıtım ise iki şekilde ele alınabilir. Birincisi alt proseslerden gelen, ayrılmış akımlara yönelik krom indirgeme, sülfür oksidasyonu gibi spesifik arıtım teknikleri; ikincisi ise toplanan atıksulara yönelik uygulanan, kimyasal çöktürme ve yüzdürme gibi organik ve zehirli kirleticilerin giderilmesine yönelik arıtım prosesleridir (Köseoğlu, 2004).

Kimyasal arıtım, atıksuya kimyasal madde ilavesiyle yumak oluşturma ve kirletici maddeleri de bünyesinde toplayan flokların çöktürme, filtrasyon ya da yüzdürme proseslerinden biri ya da birkaçının kullanılması ile sudan uzaklaştırılması ilkesine dayanmaktadır. Kimyasal arıtım, biyolojik arıtımı tamamlayıcı niteliktedir. Kimyasal arıtım; organik maddeleri, zehirli maddeleri ya da her ikisini de dengelemek, fazla zehirliliği ya da organikleri biyolojik arıtımın büyüklüğünün optimizasyonu için uzaklaştırmak, ayrışabilen ve ayrışamayan organikler ile süspanse haldeki katı maddeler türünden çıkış suyu kalitesini iyileştirmek ve renk giderimi için biyolojik arıtmadan önce ya da sonra uygulanabilmektedir.

Biyolojik arıtım BOİ giderimi için en uygun yöntemdir. Biyolojik arıtılabilirlik, genellikle tekstil atıksularının BOİ ve KOİ değerlerinin biyolojik ayrışma oranlarıyla değerlendirilmektedir. Askıda çoğalan aktif çamur biyolojik arıtım sistemleri, günümüzde en yaygın kullanıma sahip sistemlerdir. Aktif çamur sistemlerinin modellenmesi aşamasında, atıksuyun organik madde içeriği ve niteliğine göre karakterizasyonunun yapılması

gerekmektedir ki bu arıtım seçeneği tekstil atıksuyu karakteristiğinden dolayı yeterli olmamaktadır. Özellikle tekstil sanayinde kullanılan boyalar kimyasal yapılarından ötürü biyolojik arıtmıdan herhangi bir değişime uğramadan çıkmaktadır.

Yüzeyde çoğalma tipindeki biyolojik arıtma proseslerinden damlatmalı filtreler ile döner diskler de, tekstil atıksularının arıtımında yaygınlık kazanmakta olup bu sistemlerin alan ve enerji gereksinimleri aktif çamur sistemlerine göre daha azdır ki bu da önemli bir avantaj olarak görülmektedir.

Biyolojik arıtım için yeterli miktarda azot ve fosforun atıksuda ihtiva etmemesi durumunda, diamonyum fosfat ve üre gibi kimyasal maddelerin ilavesi gerekebilir (Köseoğlu, 2004).

Çoğu tekstil atıksuyu arıtımı sonrasında ileri arıtım yapmak gerekmektedir. Biyolojik olarak ayırsamayan inert KOİ ve renk giderimi için ileri arıtım uygulanmaktadır. Kimyasal çöktürme, aktif karbon adsorbiyonu, ozonlama ve membran prosesler ileri arıtım yöntemlerine dahil edilmektedirler.

Tüm arıtım basamaklarının farklı parametreleri giderim verimleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Deneysel çalışmada kullanılan atıksu, ardışık kesikli aerobik arıtım yapan bir pamuklu tekstil fabrikasından alındığı için ilerleyen bölümde sadece ardışık kesikli aerobik arıtım incelenecektir.

Çizelge 3.1 Arıtım sistemlerindeki proseslerin kirlletici giderim verimlerine etkileri (Köseoğlu, 2004)

Arıtma Prosesi	BOİ₅	KOİ	TAM	Yağ-Gres	Renk
Ön Arıtma					
Izgaradan Geçirme	0-5	-	5-20	-	-
Dengeleme	0-20	-	-	-	-
Nötralizasyon	-	-	-	-	-
Kimyasal Pıhtılaştırma	40-70	40-70	30-90	90-97	0-70
Flotasyon	30-50	20-70	50-60	90-98	-
Biyolojik Arıtma					
Konvansiyonel Aktif Çamur ve	70-95	50-70	85-95	0-15	-
Uzatmalı Havalandırma ve Çöktürme	70-94	50-70	85-95	0-15	-
Havalandırma Lagün ve Çöktürme	60-90	45-60	50-80	0-10	-
Aerobik Lagün	50-80	35-60	50-80	0-10	-

Çizelge 3.1'in devamı:

Damlatmalı Filtre	40-60	20-30	-	-	-
Üçüncü Kademe Arıtma					
Kimyasal Pıhtılaştırma	40-70	40-70	30-90	90-97	0-70
Karışık Ortamlı Filtrasyon	25-40	25-40	80	-	-
Karbon Adsorbsiyonu	25-40	25-60	25-40	-	80-90
Klorlama	0-5	0-5	-	0-5	0-5
Ozonlama	-	30-40	50-70	-	70-80
İleri Arıtma					
Sprey Sulama	90-95	80-90	95-98	-	-
Evaporasyon	98-99	95-98	95-99	-	-
Ters Ozmoz	95-99	90-95	95-58	-	-

Giderme verimleri kimyasal madde ve kullanılan dozaj ile değişir.

3.1 Ardışık Kesikli Biyoreaktörler

19. yüzyılın ilk yarısından itibaren kullanılmaya başlayan değişken hacimli askıda büyüyen aktif çamur sistemleri kesikli ya da başka bir deyişle doldur-boşalt şeklinde işleyen sistemlerdir. Ancak yüzyılın ortalarına doğru, sürekli sistemlerin gelişmesiyle bu doldur-boşalt sistemler terk edilmeye başlanmıştır. 1980'li yıllardan itibaren periyodik bir çıkış suyu ve deşarj içeren sistemler olarak geliştirilmeye başlanmış ve reaksiyon fazı olan (havalandırma ve/veya karıştırmalı bir periyottur, fakat atıksu girişi yoktur) periyodik bir deşarj ve girişi birleştiren AKR sistemlerin potansiyeli ön görülmüştür. Ancak 1980'lerin ortalarına değin periyodik proses teknolojisi aktif çamur sistemlerine nadiren uygulanmış; sadece askıda olmayan büyümeyle periyodik işletilmiş sistemler rağbet görmüştür. Günümüzde; kesikli işletilen aktif çamur prosesleri, sürekli çalışan konvansiyonel tesislere alternatif olarak geliştirilmişlerdir. Bu amaç doğrultusunda ardışık kesikli reaktörler bugün kullanılan halini almış olup farklı adaptasyonlar ile kullanımına devam edilmektedir.

3.1.1 Proses Tanımlama

Ardışık kesikli biyoreaktör (AKR) prosesi; her biri belirli bir periyot boyunca süren proses fazları serisiyle (doldurma, reaksiyon, çökeltme, boşaltma ve bekleme) tanımlanır.

Doldurma fazı; reaktör muhtevası sürekli olarak gelen atıksu ile karışır. Bu faz sırasında mikroorganizmaların büyüyerek bloklar haline gelmesini temin ederek çamurun

çökelebilmelerini hızlandırmak ve geliştirmek için havalandırma ve karıştırma uygulanmaz (Özerkan, 2001).

Reaksiyon fazı; doldurma fazının sonunda karıştırma ve havalandırma başlar. Nitrifikasyonun tamamlanması veya organik karbonun stabilizasyonu gibi arzu edilen reaksiyonları tamamlamak için deneyimlerden elde edilmiş yeterli bir periyot süresince reaksiyon sona erer. Çözünmüş oksijen konsantrasyonu veya indirgenme-yükseltgenme potansiyeli istenilen seviyeye ulaştığı zaman reaksiyon durdurulur.

Çökelme fazı; reaksiyon için gerekli havalandırma ve karıştırma durdurulur ve çökeltmenin başlamasına izin verilir. İdeal bir sakın çökelme herhangi bir akıntı veya düzensizliğe maruz kalmamalıdır. Genellikle değişik mevsimler arasında çökelme hızı çok az değişir, bu nedenle gerekli olan zamanın ayarlanması ile sabit bir periyot uygulanır.

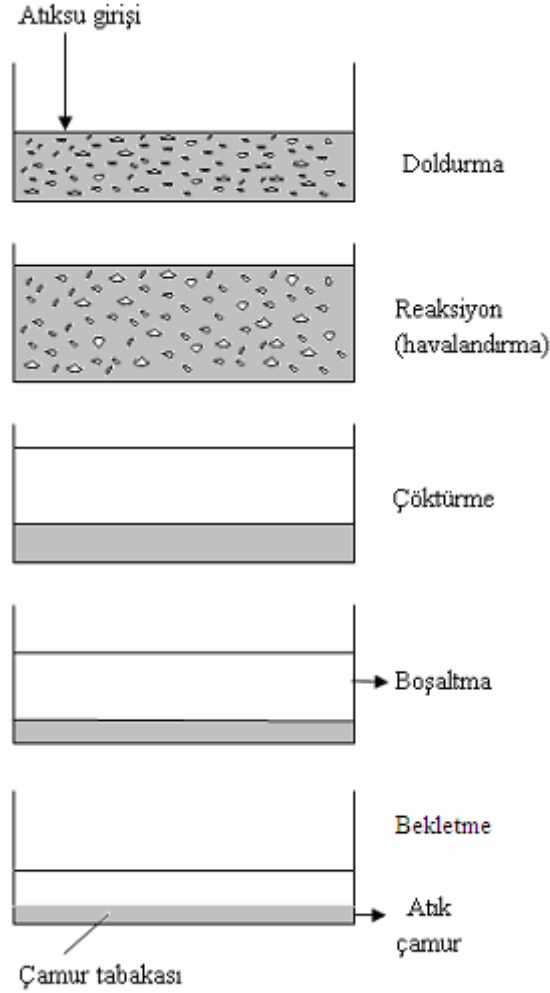
Boşaltma fazı; çökelme sona erdiği anda başlar. Eğer bir çamur seviye göstergesi kullanılıyorsa ve çamur kalınlığı istenilen seviyeye ulaştığında, boşaltma daha önce başlatılabilir.

Bekletme fazı; sistemin son basamağıdır. Bu basamakta çamurun uzaklaştırılması ve havalandırıcıların geri yıkanması gerçekleştirilebilir. AKR işletiminin fazları Şekil 3.1'de gösterilmiştir.

Üstteki tanımlamalara ek olarak, doldurma ve reaksiyon fazları çeşitli havalandırma ve karıştırma işletim stratejilerinin sonucu olarak sisteme enerji girişiyle oluşmuş birkaç alt faza sahip olabilir. Bunlar:

- Statik doldurma; sisteme enerji girişi yoktur, besi maddesi birikmesine izin verir.
- Karışık doldurma; basınçlı havalandırma yapılmadan karıştırma, minimal aerobik aktivite ya anoksik ya da anaerobik reaksiyonlara müsaade eder.
- Havalandırılmalı doldurma; basınçlı havalandırma yapılarak karıştırma, aerobik reaksiyonlara izin verir, sık sık eş zamanlı anoksik ve aerobik reaksiyonlara müsaade eder.
- Karıştırılmalı reaksiyon; basınçlı havalandırmasız karıştırma minimal aerobik aktivite anoksik ve belki anaerobik reaksiyonlara izin verir.

- Havalandırmalı reaksiyon; basınçlı havalandırmalı karıştırma aerobik reaksiyona izin verir.



Şekil 3.1 Genel AKR prosesinin birbirini takip eden işletim fazları (Debik, 2008)

AKR tesislerin genel özellikleri şunlardır:

- Bu tesisler ardışık olarak işletilmiş bir tankta veya daha fazla tankta katı-sıvı ayrımını ve atıksu kirleticilerinin biyolojik arıtımını sağlar.
- Doldurma fazı esnasında tanklardaki sıvı hacmi artar, boşaltma fazı esnasında tanklardaki sıvı hacmi azalır.
- Her devrim esnasında ardışık olarak havalandırma-karıştırma veya onların kapatılması ile metabolik aktiviteyi sağlar.

- Aynı tankta katı-sıvı ayırımına ya da besi maddesi birikmesine izin veren karıştırmasız/havalandırmassız işlemleri kullanırlar.
- Fazların ardışıklığını kontrol etmek için sensörler kullanılabilir.
- Periyodik olarak adım adım tekrarlanan birbirini takip eden ünite işletmeleri ve prosesleri kullanılır.
- Şok yük periyodunda yüksek performans sağlarlar.
- Deşarj edilmeden önce analiz etmek için arıtılmış atıksuyu tutabilirler.
- Yükteki çeşitlilikleri karşılamak için işletmeye yerleştirilmiş tank sayısı, her bir tankın hacmi ve enerji girişı ayarlanabilir.

Sürekli akım aktif çamur sistemlerinden AKR'yi ayıran özellikler:

1. Giriş ve çıkış akımları ayrılır.
2. Biyokütle ayırımı biyolojik reaktörde yapılır ve ayrı çöktürücü yoktur.
3. Periyodik olarak tekrarlanan bir zaman aralığında birbirini takip eden her bir reaktörde oluşan birim işletimler ve prosesler söz konusudur.
4. Arıtılmış suyun bir bölümü yeni atıksu devri için periyodik olarak her tanktan deşarj edilir.

Bu özelliklerinden dolayı AKR'ler; periyodik prosesler, tek-tank sistemleri, doldur-boşalt reaktörleri veya değişken hacimli reaktörler olarak da adlandırılabilir.

3.1.2 Ardışık Kesikli Reaktörlerin Kullanılma Sebepleri

Uygun işletme stratejileri tatbik edildiği zaman, başarılı bir biyolojik atıksu arıtımı için gerekli prosesler AKR ile kolaylıkla uygulanabilir. Geleneksel sürekli akım teknolojilerinin üzerine AKR teknolojilerinin kullanımı için önemli sebepler şunlardır:

- Doldurma esnasında uygun So/Xo (besinmaddesi/mikroorganizma miktarı) oranının kurulmasıyla seçilmiş basınçla bağlantılı bolluk-kıtlık arasındaki filamentli çamur patlamasını ve fazla hava şiddetini kontrol eder ve EPS (extracelcellular polymeric substances) reaksiyon esnasında endogeneous metabolik reaksiyonlara izin verir. Basit

bir havalandırma şiddeti ayarlamasıyla bir devir zamanı içinde nitrifikasyon ve denitrifikasyon gerçekleşir.

- Atıksu bileşimindeki hem kısa süreli günlük hem de uzun zamanlı mevsimsel çeşitliliği karşılamak için sistem yapısı ve işletme tarzı ayarlanabilir.
- Eğer müsaade edilirse yük dengeleme yapılarını çıkarır ve her bir AKR tankını bir dengeleme tankı olarak kullanır.
- Doldurma ve reaksiyon fazları esnasında eksik araçların eklenmesiyle fosfor giderimi yapar.
- Denitrifikasyon ya da ileri biyolojik fosfor giderimi esnasında nütrient giderimi için enerji temelli karbon kullanarak çamur üretimini ve kümülatif oksijen ihtiyacını azaltır.
- Havalandırma zamanının, çeşitli proses fazlarının süresinin gerçek ihtiyaca göre ayarlanmasıyla organik ve/veya hidrolik yükteki değişiklikler nedeniyle ortaya çıkmış şok yüklere müsaade eder.
- Çökme fazındaki türbülans ve küçük girdapları azaltmakla çıkış suyundaki askıdaki katı madde miktarını düşük tutar.
- Reaktörden gelen atık çamurun su içeriğini azaltmak için çökme fazı esnasında çamur yoğunlaştırmayı sağlar (Köseoğlu, 2004).

3.1.3 Çeşitli Ardışık Kesikli Reaktör Uygulamaları

Periyodik olarak işletilmiş sistemler için eğilim, bu sistemleri AKR olarak isimlendirerek tek bir kategoriye toplamaktır. Bütün değişken hacim aktif çamur prosesleri, kesikli reaktör proseslerinin temel prensiplerini gerektirir. Her biri kullandıkları belirli doldurma stratejileri veya reaksiyon ve dinlenme fazının bulunmasıyla karakterize edilmiş AKR'ler dört temel gruba ayrılır.

- a) Bir periyodik giriş, bir reaksiyon fazı ve bir dinlenme fazı içeren sistemler. İki veya daha fazla tank kullanılır. Tank maksimum su seviyesine ulaşana kadar doldurulur. Havalandırmalı ve karıştırmalı doldurma biyolojik nütrient giderimini sağlamak için kullanılır. Tanka atıksu eklemeyen çökeltme ve boşaltma meydana gelir. Bekletme bir

tutma veya dengeleme tankına denktir. Sistemin çeşitli akım durumlarıyla baş etmesini sağlar.

- b) Bir periyodik giriş ve reaksiyon fazı içeren sistemler, bekletme fazı yoktur. Atıksu bekletme tanklarına dağılmadan önce bir tutma tankına girer. İki veya daha fazla tank kullanılır. Hızlı doldurma veya ilaveli doldurmayı içeren çeşitli doldurma stratejilerinden biriyle tanklar sistemin işletilmesine izin verirler. Bu sebepten dinlenme fazı çeşitli akım şartlarında sistemi kontrol etmek için gerekli değildir. Benzer şekilde hızlı doldurma, statik doldurma veya selektöre sahip olmaya denktir. Her iki harekette, bolluk şartlarını sağlayan yüksek besi maddesi konsantrasyonuna neden olur.
- c) Kesintili girişli sistemler; selektör vardır ancak reaksiyon ve dinlenme fazı yoktur. Bu sistemde doldurma ya boşaltma esnasında ya da çökme ve boşaltma fazları esnasında kesiklidir. Bu sistemlerin hepsi ana reaktörden selektöre karışık sıvıyı geri döndüren bir geri dolaşım hattına sahiptir. Devirli Aktif Çamur Sistemleri çökme esnasında akışı tamponlamak için bir depoya sahiptir. Doldurma esnasında havalandırma sistemi kapalı olabilir veya doldurma fazının sonu açık olabilir. Havalandırma sisteminin açık veya kapalı tutulması gereken zamanlar arasındaki oran atık yük ve azot giderim ihtiyacına bağlıdır.
- d) Sürekli Akımlı Sistemler; bu AKR'ler, tek tank veya paralel olarak işletilmiş seri tanklar olarak işletilebilir. İlk olarak bir tanktaki su seviyesi belirlenmiş maksimum seviyeye ulaştığı zaman, havalandırıcılar ve karıştırıcılar kapatılır, aktif çamurun çökmesine izin verilir ve süpernatant reaktörden süzülür. Boşaltma esnasında arıtılmış suyun giren atıksu ile kirlenmesini önlemek için reaktör bir bölme ile iki kısma ayrılır. Tankların biri karşı kirlenmeyi sınırlar ve bir selektör gibi çalışır. Kesikli Devirli Havalandırma Sistemi gibi AKR'ler normal olarak tam havalandırmalı doldurma ile çalışırlar (Winderer vd. 2001).

4. MEMBRAN PROSESLER

Son yıllarda kullanım alanı giderek artan ve özellikle endüstriyel atıksu arıtımı ve geri kazanımı konusunda yaygınlaşan membran teknolojisi, atıksu geri kazanımı ve arıtılmasında kullanılan ileri arıtma, geri kazanım ve yeniden kullanım alternatiflerinden biridir.

Genel olarak membran; iki fazı veya ortamı birbirinden ayıran ve bir tarafından diğer tarafa maddelerin seçici bir şekilde taşınmasını sağlayan ince ve geçirgen bir tabaka olarak ifade edilir. Membranların sayesinde sağlanan seçici kütle transferi; konsantrasyon farkı, basınç farkı ve elektriksel potansiyel farkı gibi itici güçler yardımıyla gerçekleşmektedir.

Membran proseslerde filtrasyon ile; büyüklüklerine bağlı olarak bir veya daha çok partikül boyutundaki bileşikler, sıvılardan veya gazlardan ayrılmaktadır. Membran prosesler bu uygulamayı daha da genişleterek, çözünmüş maddelerin de sıvılardan ve gazlardan ayrılmasını mümkün hale getirmiştir.

Membran teknolojileri; nehir, göl, deniz ve kuyulardan içme ve kullanım sularının elde edilmesinden, çeşitli endüstriyel proseslere su teminine, atıksuların deşarj kriterlerine uygun arıtılmasından, proseslerde kullanılan kimyasal madde geri kazanımına kadar çok değişik alanlarda kullanılabilen, son dönem arıtma yöntemlerinin başında gelmektedir (Ünlü, 2008).

1970’li yıllardan sonra, su kaynaklarını korumak ve daha da arttırmak için, yeni teknolojiler araştırılmaya başlanmış ve birçok teknoloji geliştirilmiştir. Membran teknolojisi de bu sırada ortaya çıkmıştır. Membran teknolojisindeki gelişmeyi üç 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 prosesler sürekli geliştirilen bir teknolojiye sahip olması, modüler olarak kullanılabilmesi, taşınabilir olması, düşük miktarda alana ihtiyaç duyulması, çok yüksek konsantrasyonlarda bile çalışabilmesi, sıcaklık değişimlerinden fazla etkilenmemeleri, yüksek kalitede çıkış suyu standartları sağlamaları, çevresel etkilerinin olmaması, ilk yatırım ve işletme maliyetinin düşük olması gibi avantajları ile dünyada yaygın olarak kullanılmaktadır.

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

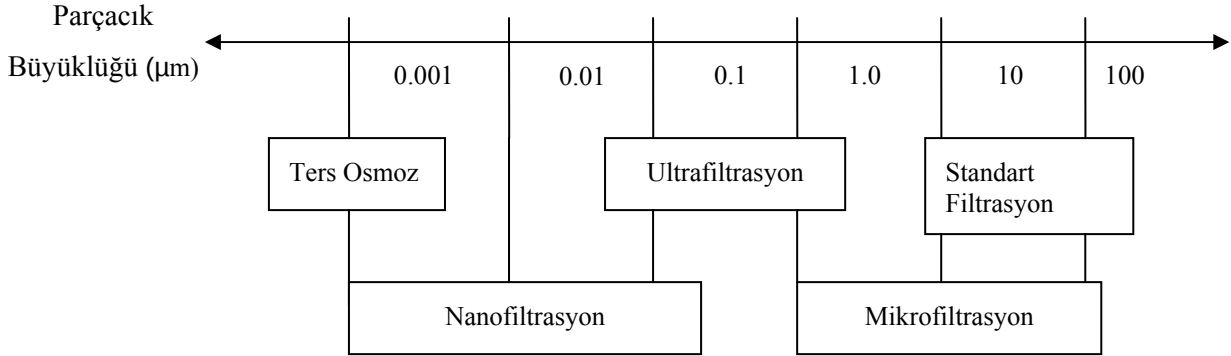
4.1 Membranların Çalışma Prensibi

Membranlar, seçici bir şekilde ayırmanın ve taşınımın gerçekleştirildiği engeller olarak tanımlanabilir. Ayırma işlemi ise membranın hem kimyasal, hem de fiziksel doğasıyla belirlenmekte ve maruz kaldıkları sürücü kuvvetlerin etkisiyle oluşan faz ayrımı olarak açıklanmaktadır.

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 (Büyükdere, 2008).

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 molekül kütlelerine göre olur.

Şekil 4.1’de parçacık büyüklüklerine göre kullanılan membran çeşitleri görülmektedir. Bu membranlar geçirdikleri maksimum molekül ağırlığına göre ayırt edilirler (Brick vd., 2006).



Şekil 4.1 Parçacık büyüklüğüne göre seçilen membran prosesleri (Koyuncu, 1997)

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. Örneğin, bakteriler 100 nm’den büyük oldukları için 100nm’den düşük gözenek çapına ait membranlarda tutulurlar.

4.2 Basınç Kuvveti Altında Çalışan Membranlar

4.2.1 Mikrofiltrasyon

Mikrofiltrasyon, basınç kuvveti altında çalışan ve en az verimliliğin gözlemlendiği membran türüdür. Mikrofiltrasyon ile çözelti içindeki mikron ve daha büyük boyutlardaki partiküller ayrılmaktadır. Mikrofiltrasyon membranlarda gözenek çapı, 0,05 ile 5 µm arasında değişmektedir.

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

Aritma sistemlerinde kullanılan kimyasal maddelerin oluşturduğu toksik etkilerden dolayı, son yıllarda kimyasal madde kullanımına sınırlandırma getirme eğilimi hız kazanmıştır.

Mikrofiltrasyon uygulamalarında arıtma sırasında herhangi bir kimyasal madde kullanımı söz konusu değildir.

MF membranların diğer bir uygulama alanı ise NF ve RO membranlar öncesinde ön arıtma elemanı olarak kullanılmasıdır. Son yıllarda, özellikle su geri kazanımı eğilimi bütün dünyada arttığı için, suların geri kazanılmasında MF membranlar, RO ve NF membranlardan evvel ön arıtma elemanı olarak kullanılmaktadır. (Amara vd., 2009)

4.2.2 Ultrafiltrasyon

Ultrafiltrasyon, yüksek molekül ağırlığına sahip çözünmüş maddeleri, mikroorganizmaları ve askıdaki maddeleri sıvıdan uzaklaştıran fiziksel bir ayırma prosesidir. Ultrafiltrasyon membran yapımında en çok kullanılan malzemeler; selüloz asetat, poliakrilonitril, polisülfün, polivinilidin florür, seramik malzemeler, alüminyum oksit, zirkonyum oksit olarak sayılabilir.

Ultrafiltrasyon, işletme açısından mikrofiltrasyon membranlara benzemektedir. Ultrafiltrasyon membranı delik çapı, 0.05-1 nm arasında değişmektedir. UF membran 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 membranlar, çözünmüş maddeleri ve küçük partikülleri ayırmak için kullanılmaktadır. Ayırmada temel etken moleküler büyüklük olmakla beraber, moleküler şekli ve yükü de rol oynamaktadır. UF membranlarda, maddelerin tutulma seviyeleri; moleküler ağırlık engelleme sınırı (MWCO) ile ifade edilmektedir. Her bir membran türü için bu değer belirlenmiştir.

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 vd., 2008).

Ultrafiltrasyon membranlar, içme suyunda ileri arıtma amaçlı da kullanılmaktadır. Klorlama ile insanlarda kanserojenik etki yapan THM' ler (trihalometan) oluşmaktadır. Bundan ötürü, THM oluşumuna sebep olan organik maddeler klorlamadan evvel giderilmelidir. UF membranlar bu amaçla kullanılırsa, THM oluşumu, % 20 – 50 arasında azalmaktadır. UF membranlar, bakteri ve virüs giderimi açısından da oldukça güvenlidir. İçme suyu tesislerinde kurulan tam ölçekli UF proseslerinde elde edilen sularda hiçbir mikroorganizmaya rastlanmamıştır. UF membranlar, RO membranlardan önce ön arıtma amaçlı olarak da kullanılmaktadır. Dolayısıyla RO membranlarının ömürleri artmaktadır. UF sistemlerinin, RO öncesinde ön arıtma amaçlı olarak kullanılmasının faydaları şu şekilde özetlenebilir:

- Sürekli ve kolay otomatik işletme imkanının olması
- RO membranlar için daha iyi kalitede su üretmesi
- Kimyasal madde ilavesi gerektirmemesi
- Fazla yer kaplamaması.

4.2.3 Nanofiltrasyon

Nanofiltrasyon membranlar, özellikle son yıllarda ortaya çıkmış ve kullanımları hızla artmıştır. Boşluk çapı açısından, ters ozmoz ile ultrafiltrasyon membranlar arasında bulunmaktadır. Son zamanlarda, ince filmli selüloz olmayan membranlardaki gelişmeler ile beraber kullanımı daha da yaygın hale gelmiştir. Nanofiltrasyon membranlar, ters ozmozdan daha düşük basınçlarda işletilmektedir. Ancak ters ozmoza göre daha düşük kalitede su vermektedir. Nanofiltrasyon membranlardaki giderim mekanizması, ters ozmoz gibi çözünme difüzyon modeline göre olmaktadır. Çapı, 0,001µm'den büyük olan moleküllerin gideriminde kullanılmaktadır. Çizelge 4.1'de NF ile RO membranlar kullanılarak, değişik iyonların giderilme verimlerinin karşılaştırılması verilmiştir.

Çizelge 4.1 Farklı iyonları giderme verimleri (Cadotte vd., 1998)

Çözünen Madde	RO Giderim Verimi	NF Giderim 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 iyonlar	> 99	> 90

4.2.4 Ters Ozmoz

Direkt ozmoz doğal bir proses olup iki farklı konsantrasyondaki çözeltinin iyonik denge sağlanıncaya kadar, saf suyun, aralarında bulunan yarı geçirgen zardan konsantrasyonu düşük çözeltiden konsantrasyonu yüksek çözeltiye 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. Ozmotik basınç, ozmoz işlemi sırasında düşük konsantrasyonlu çözeltiden yüksek konsantrasyonlu su geçişi ile hacimler arasında meydana gelen farklılık sonucu oluşan basınçtır. Ters ozmoz olayında, konsantre çözeltiye ozmotik basıncından daha yüksek bir basınç uygulama ile gerçekleştirilir.

Ters ozmoz 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 ozmoz (RO) düşük molekül ağırlıklı çözünmüş maddelerin, çözeltiden giderilmesi amacıyla kullanılmaktadır. RO membranlar bütün çözünmüş organik ve inorganik türleri ayırabilmektedir. Ters ozmoz prosesinin teorisi, solvent ve çözeltilerin membran üst tabakasında çözüldüğü ve difüze olduğu, çözünme-difüzyon modeline dayandırılmaktadır. Genellikle ters ozmoz membranlarda, 30 – 100 bar arasında değişen yüksek basınçların uygulanması gerekmektedir (Dhodapkar vd., 2007).

4.3 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. Giderim verimi membranın tuttuğu madde miktarının ölçüsüdür. Membranların performansını etkileyen faktörler aşağıda verilmiştir:

4.3.1 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 ozmozda 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.

4.3.2 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 vd., 2007).

4.3.3 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.

4.3.4 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.

4.3.5 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 m²/m³ olarak verilmektedir.

4.3.6 Akı

Akı, birim zamanda membranın birim alanından geçen, akım miktarıdır. Akı, m³/m².sn veya lt/m².saat gibi birimlerle ifade edilmektedir (Mulder, 1996). Membran filtrasyonunda, membrandan geçen akım, membrana uygulanan basınç ile orantılıdır. Akı, çalışma süresi ile ve 1–2 yıl işletmeden sonra azalır (Koyuncu, 1997).

4.3.7 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.

4.3.8 Tuzun geri alınması

Atıksudaki tuzun geri kazanılması, kullanılan membranın tipi, karakteri ve atıksudaki tuzun konsantrasyon dağılımına bağlıdır.

4.3.9 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.

4.3.10 pH

Selüloz asetat membranlar yüksek ve düşük pH' larda hidroliz olurlar. Optimum işletme pH aralığı 5,5 – 7,5 arasındır.

4.3.11 Ön arıtma

Membran sistemlerinin Toplam Çözünmüş Katı (TDS) 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 (Demiral, 2008).

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 seldrekte olsa bazı endüstrilerce büyük ölçekli olarak uygulama alanı bulmuştur.

4.4 Membran Proseslerin Kullanım 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 ozmoz membranlar çoğu iyonikler için % 90'ın üzerinde verim gösterir ve yüksek kalitede bir süzüntü eldesini sağlar. Boya banyoları çıkış sularındaki boyalar ve yardımcı kimyasallar tek bir basamakta giderilmiş olur. Ancak yüksek ozmotik basınç farklılığı ters ozmoz uygulamalarını sınırlandırmaktadır. Nanofiltrasyon membranlar 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, 1998). Yapılan çalışmalar, membran filtrasyonu ile çıkış suyunda düşük konsantrasyonda boyar madde içeren tekstil endüstrilerinde suyun tesise geri kazandırılmasının mümkün olduğunu göstermektedir (Rozzi vd. 1999). Fakat bu yöntem, suyun yeniden kullanımı açısından önemli bir parametre olan çözünmüş katı madde içeriğini düşürmez (Robinson vd. 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 (O'Neill vd., 2000).

Tekstil atıksularında membran prosesi sonrası tekrar kullanım için uygun su kalitesine ulaşabildiği ($KOİ < 30 \text{ mg/l}$, $BOİ < 10 \text{ mg/l}$, $TOK < 10 \text{ mg/l}$, 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 (Demircanlı, 1995).

4.5 Membran Proseslerle Yapılmış Önceki Çalışmalar

Tekstil atıksularına yönelik konvansiyonel arıtım yöntemleri genelde fizikokimyasal ya da biyolojiktir (Şahinkaya vd., 2008). Kimyasal arıtımla karşılaştırıldığında; biyolojik arıtım yöntemleri gerekli organik madde giderimini sağlamaları açısından daha güvenilirlerdir (Orhon vd., 2001). Ancak, konvansiyonel yöntemlerle her ne kadar yüksek $KOİ$ giderim verimlerine ulaşılsa da renk giderimi bakımından etkin yöntemler olamamışlardır (Chang vd., 2002).

Şahinkaya vd. (2008); bir aktif çamur prosesinin ardından nanofiltrasyon ile tekstil atıksularının arıtımını gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada, laboratuvar ölçekli bir aktif çamur reaktöründe gerçek tekstil atıksu numuları ile çalışılmış ve toplam $KOİ$ için $\%91 \pm 2$; çözünmüş $KOİ$ için $\%84 \pm 4$ gibi yüksek giderim verimlerine ulaşılmıştır. Renk giderim verimi $\%75 \pm 10$ civarında gerçekleşmiştir. Biyolojik arıtım oldukça etkin olmasına karşın tekstil endüstrisinde yeniden kullanım kriterlerini sağlamadığı için aerobik arıtım çıkış suları membran prosese verilmiştir. Önce mikrofiltrasyon ile kaba parçacıklar tutulmuş ardından nanofiltrasyon ile çalışılmıştır. Nanofiltasyonun ardından renk 10 Hz'nin altına inmiş; $KOİ$

giderimi %80-100 arasında elde edilmiştir. Böylece aktif çamurun ardından nanofiltrasyon uygulamasıyla tekstil atıksuları, yeniden kullanılabilirlik kriterlerini sağlar konuma gelmiştir.

Bes-Pia vd. (2003)'de baskı, boyama ve son işlem endüstrisi atıksularının tekrar kullanımı için NF ile fizikokimyasal arıtmanın kombinasyonunun uygunluğunu araştırmışlardır. Fizikokimyasal arıtma için iki koagülantın (Al^{+3} ve Fe^{+2} içeren) farklı kimyasal konsantrasyonları ve pH değerleri kullanılarak jar test denemeleri gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, fizikokimyasal olarak arıtılmış atıksu ile NF denemeleri, farklı işletme basınçları ve çapraz akış hızlarında çalışılmıştır. Süzüntü KOİ'sinin 100 mg/l'den düşük ve iletkenlik 1000 $\mu S/cm$ 'den düşük olduğunun gösterildiği çalışmada fizikokimyasal arıtma ve NF kombinasyonu ile endüstride tekrar kullanıma yetecek kalitede su eldesi sağlanabileceği ifade edilmiştir.

Choo vd. (2007), tekstil akımlarının tekrar kullanılabilmesi için koagülasyon ve UF sisteminde koagülasyon kimyasallarının değişik tiplerini (poliamin, alum, polialüminum klorit (PACl) ve demir tuzları) araştırmışlar ve bütün uygulamalarda UF sistemle %97 türbidite giderimi elde etmişlerdir. Tabakalaşma derecesinin kullanılan koagülantın tipine bağlı olduğu ve özellikle polimerik koagülantların tabakalaşmayı artırırken inorganik koagülantların tabakalaşmada azalmaya yardımcı olduğu ifade edilmiştir.

Amara vd. (2009); kot üretimi yapan bir fabrikadan aldıkları atıksuları aktif çamur reaktöründe arıtmışlar, ardından reaktörün çıkış sularını membran proseslere vermişlerdir. Ultrafiltrasyon membranlar, Tunus Standartları olan $KOI < 90$ mg/L'yi sağlamışlar ve yeniden kullanımları mümkündür. Ultrafiltrasyon membranlarda 9 bar basıncın üzerinde TDS giderimi %60'lara ulaşmış ve sertlik ise fabrika sınır değeri olan 100 mg $CaCO_3/L$ 'nin altına düşmüştür.

Harrelkas vd. (2009); tekstil atıksularının arıtımını farklı fizikokimyasal ve membran proseslerle kombine etmiş ve sonuçları yorumlamıştır. Farklı koagülant ve flokülant konsantrasyonları kullanarak koagülasyon/flokülasyon (KF) ile tekstil atıksularını arıtmadan önce ve sonra KOİ, bulanıklık ve absorbans parametreleri yönünden değerlendirilmiştir. Ancak KOİ giderimi ve boya bozunması açısından koagülasyon/flokülasyon prosesi etkisiz kalmıştır. Bunun için mikrofiltrasyon (MF), ultrafiltrasyon (UF) ve toz aktif karbon (TAK) kullanılarak ileri arıtma uygulanmıştır. KF/MF, KF/UF ve KF/TAK uygulamalarında sırasıyla KOİ giderimi %37, %42 ve %80; renk giderimi sırasıyla %65, %74 ve %50 olarak sonuçlandırılmıştır.

5. DENEYSEL ÇALIŞMA

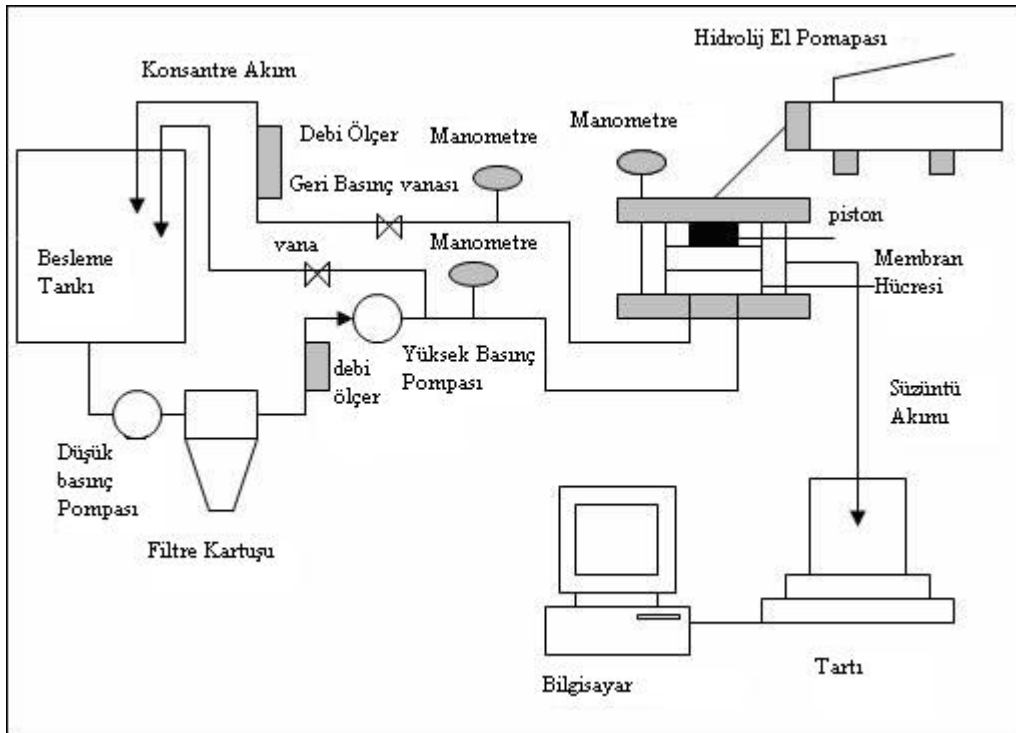
5.1 Materyal metod

5.1.1 Deneylerin Planlanması

Fabrikada mevcut aerobik arıtma tesisi çıkış sularının ve hiçbir ön arıtım uygulanmamış (ham) tekstil atıksuyunun geri kazanımları; Ultrafiltrasyon (UF) ve Nanofiltrasyon (NF) membranlar ile değerlendirmek üzere deneysel çalışmalar yapılmıştır.

5.1.2 Membran Sistemin Kurulumu ve İşletmeye Alınması

Çalışmalarda, laboratuvar ölçekli membran tesisinde OSMONICS marka membran hücresi kullanılmıştır. Paslanmaz çelikten imal edilmiş bu düzenek üç fazlı akım ile çalışan bir yüksek basınç pompasına sahiptir. Düzenek, yüksek basınç pompası, ince kartuş filtre, membranın yerleştirildiği membran hücresi, membran hücre muhafazası, membrana giriş ve çıkışlarında manometreler, yüksek basınç ayar vanası, soğutma sistemi, hidrolik el pompası ve besleme tankı ünitelerinden oluşmaktadır. Membran prosesine ait akım şeması Şekil 5.1’de verilmektedir.



Şekil 5.1 Membran prosesi akım şeması (107Y060 Proje Bitiş Raporu, 2009)

Membran hücresi, alttan basınç uygulanarak sıkıştırılmakta ve bu şekilde uygulanan besleme akımındaki basınca dayanıklı olması sağlanmaktadır. Membran hücre muhafazasındaki piston sistemine uygulanan basınç hidrolik el pompası ile gerçekleştirilmektedir. Tesis, besleme tankı içerisine ve membran konsantre hattı üzerine yerleştirilen soğutma tertibatına sahiptir. Soğutma tertibatı ile çalışılan suyun sıcaklığı oda sıcaklığında sabit tutulmaya çalışılmaktadır.

Membran tesisinde tanktaki besleme suyu ilk olarak pompa aracılığı ile kartuş filtreye gönderilmekte, kartuş filtreden geçen akım daha sonra membran hücresine girmektedir. Membran hücresinde akım konsantre akım ve süzüntü akımı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Konsantre akım besleme tankına geri devrettirilirken, süzüntü akımı akıyı belirlemek için ayrı bir beherde toplanmaktadır. Akı ölçümü bilgisayara bağlı bir tartı vasıtasıyla gerçekleştirilmektedir. Zamana bağlı olarak elde edilen süzüntü akımı bilgisayara bağlanmış bir terazide toplanmaktadır. Deneyler, UF membranlar için 3 bar, NF membranlar için ise 4, 6, 8 ve 10 bar basınçta uygulanmıştır.

Membran sistemde; toplam alanı yaklaşık 0.014 m² olan, ticari adı NP010 (NF10) nanofiltrasyon membranı ve ticari adı UC010 (UF 10) olan ultrafiltrasyon membranı kullanılmıştır. Membranlara ait teknik özellikler Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1 Kullanılan membranlara ait teknik bilgiler

Memb. tipi	Üretici Firma	Materyal	Membran Özelliği	MWCO, kDa	^a M.İ.B. bar	^b M.İ.S., C°	Çalışma Verim		
							Çözelti	Molekül ağırlığı (Da)	Giderme verimi (%)
NP 010 (NF10)	Macrodyn® Nadir	Polietersülfon	Hidrofilik	-	40	95	NaCl (%0.5)	58	5-15
							Na ₂ SO ₄ (%0.5)	142	25-55
							Laktoz (%4)	342	25-45
UC010 (UF10)	Macrodyn® Nadir	Selüloz	-	10	3	55	Dekstran T10(%1)	10.000	70-85
							Bovine Serum Alb. (%0.15)	67.000	>99

^aMaksimum işletme basıncı,

^bMaksimum işletme sıcaklığı.

5.1.3 Çalışmada Kullanılan Atıksular

Deneysel çalışmada dokunmuş kumaş terbiyesi yapan bir fabrikadan gelen ham atıksu ve fabrikada mevcut aerobik atıksu arıtma tesisi çıkış suları kullanılmıştır.

5.1.3.1 Pamuklu Tekstil Endüstrisi Atıksuyu

Çalışmada kullanılan atıksuyun geldiği fabrikada çoğunlukla reaktif boyalar olmak üzere, kükürtlü boyalar ve indigo boyalar ile pamuklu kumaş boyaması gerçekleştirilmektedir.

Çalışmada kullanılan atıksuyun geldiği fabrikanın üretim ve atıksu miktarlarının alt prosesler bazında genel değerlendirilmesi Çizelge 5.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.2 Çalışmada atıksuyu kullanılan fabrikanın üretim ve atıksu miktarının alt prosesler bazında genel değerlendirilmesi

Prosesler	Ortalama üretim	Genel üretim bazında prosesin üretimdeki yüzdesi	Atıksu oluşumu	Toplam atıksu bazında prosesin atıksu oluşumu içindeki yüzdesi	Kullanılan kimyasal maddeler
	m/gün	%	m ³ /gün	%	
ÖN TERBİYE (KASARLAMA) PROSESİ					
Yakma	40 000	23.6	0.01	0.001	-
Haşıl sökme			2.60	0.218	NaOH, haşıl sökücü, ısılatıcı
Yıkama tekneleri-1			28.40	2.383	-
Sıkma silindiri			0.20	0.017	-
Dipsat (ağartma)			240,39	20.167	NaOH, H ₂ O ₂ Beyazlatıcılar (ağartıcılar)
Yıkama tekneleri 2			28.40	2.383	-
ARA TOPLAM	40 000	23.6	300.00	25	
MERSERİZASYON PROSESİ					
Merserizasyon	40 000	23.6	158.8	13.317	NaOH
Soguk su ile durulama			3.00	0.252	-

Çizelge 5.2'nin devamı.

Asetik asitle asitleme			0.60	0.050	Asetik asit
Durulama			0.60	0.050	-
ARA TOPLAM	40 000	23.6	163.0	13.669	
REAKTİF BOYA İLE BOYAMA PROSESİ					
Boyama kazanı			30.6	2.566	Asetik asit, boya
Yıkama makinası	40 000	23.6	250.0	20.964	-
Apre-ikmal			0.6	0.050	Yumuşatıcılar
Sanfor makinası			15.0	1.258	-
ARA TOPLAM	40 000	23.6	296.2	24.839	
KÜKÜRTLÜ BOYA İLE BOYAMA PROSESİ					
Boya kazanı (buhar. kazanı)			30.6	2.566	Boya
Şok su teknesi (temaslı sog. suyu)	40 000	23.6	0.6	0.050	-
Yıkama makinası			250.0	20.964	Asetik asit
Apre-ikmal			0.6	0.050	yumşatıcılar
Sanfor makinası			15.0	1.258	-
ARA TOPLAM	40 000	23.6	296.8	24.889	
İNDİGO BOYAMA PROSESİ					
Yıkama 1	9600	5.6	64.0	5.367	-
Yıkama 2			64.0	5.367	-
ARA TOPLAM	9 600	5.6	128.0	10.734	-
EVSEL ATIKSU					
Kişi			8.5	0.713	85 kişi (100 L/N.gün)
GENEL TOPLAM	169 600	100	1.192,5	100	

Fikse malzemesi olarak sodyum klorür (NaCl) ve üre kullanılmaktadır. Bu fabrikada oluşan atıksular; fabrika bünyesindeki bir ardışık kesikli aerobik arıtma tesisi ile arıtılmaktadır. Çalışmada kullanılan tekstil fabrikasına ait genel özellikler Çizelge 5.3’de verilmiştir.

Çizelge 5.3 Çalışmada atıksuyu kullanılan tekstil endüstrisinin genel özellikleri

Elyaf tipi	Pamuk (%95), polyester (%5)
Boya tipi	Reaktif, indigo, kükürt
Fiksasyon maddesi	NaCl , üre
Atıksu arıtma tipi	Ardışık kesikli aerobik reaktör (AKAR)
Arıtma tesisinin kapasitesi	3000 m ³ /gün

Çalışmada kullanılan pamuklu tekstil endüstrisi atıksuyunun çalışma süresince yapılan analizleri sonucu, elde edilen karakteristikler Çizelge 5.4’de verilmiştir.

Çizelge 5.4 Çalışmada kullanılan pamuklu tekstil endüstrisi atıksuyunun genel özellikleri

Atıksu	pH	KOI,mg/L	AKM,mg/L	NH ₃ -N, mg/L	TP,mg/L	Sülfat,mg/L	T.Cr,mg/L
Arıtılmamış Tekstil Atıksuyu	13±1 (n=6)	1950±400 (n=6)	200±65 (n=6)	14±2.3 (n=6)	1.6±1 (n=6)	250±50 (n=6)	<0.01 (n=6)

5.1.3.2 Aerobik Arıtma Tesisi Çıkış Suyu

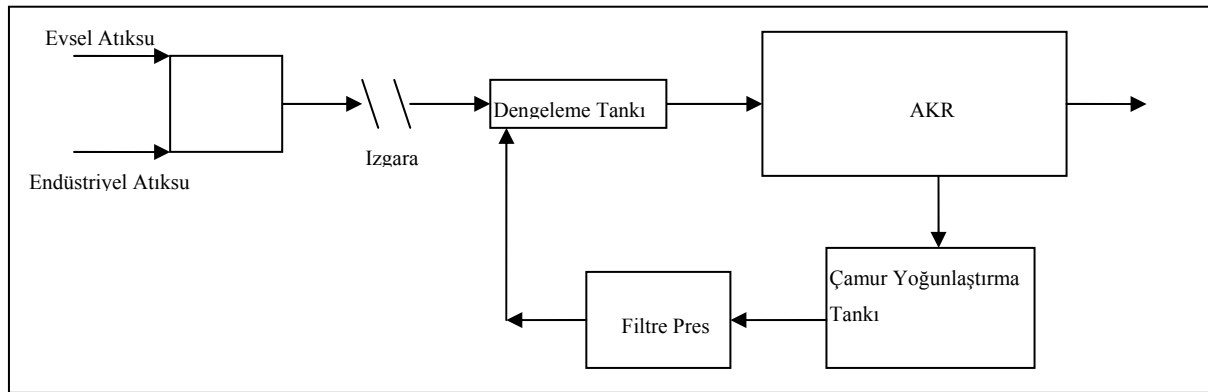
Dokunmuş kumaş terbiyesi yapan fabrikanın atıksuları ardışık kesikli reaktörlü bir atıksu arıtma tesisinde arıtılmaktadır. Boyama ve yıkama kazanlarından gelen endüstriyel atıksular ile lavabo ve yemekhanelerden gelen evsel atıksular altyapı sisteminde birleşerek atıksu arıtma tesisine gelmektedir.

Evsel ve endüstriyel olarak birleşen atıksular ızgaradan geçirildikten sonra biyolojik arıtım için ardışık kesikli reaktörlere alınmaktadır. Arıtma tesisinde 4 adet biyolojik ardışık kesikli reaktör bulunmaktadır. Biyolojik arıtma için gerekli oksijen 4 adet aeratör aracılığıyla suya verilirken, aynı zamanda havuzda tam karışım da sağlanmaktadır. Atıksuyun içindeki organik maddeler bir dizi biyokimyasal reaksiyon sonucu aktif çamur adı verilen mikroorganizmalar topluluğu tarafından biyolojik olarak parçalandıktan sonra çöktürme fazına geçirilmektedir. Çöktürme fazını takiben arıtılmış su, hava kontrollü vana aracılığıyla son noktaya deşarj

edilmektedir. Sistemde oluşan biyolojik çamur ise çamur pompaları aracılığıyla çamur susuzlaştırma ünitesine verilmektedir. Biyolojik çamur öncelikle çamur yoğunlaştırma ünitesinde mekanik yoğunlaştırıcı aracılığıyla yoğunlaştırma işlemine tabi tutulmaktadır. Daha sonra bir adet yüksek basınçlı piston pompası ile filtre prese verilip susuzlaştırılarak kek haline getirilip uzaklaştırılmaktadır. Filtrat suyu bir adet atıksu pompası ile biyolojik arıtmaya geri devrettirilmektedir. Presleme işleminde ayrıca polimer dozlaması yapılmaktadır. Fabrikaya ait arıtma tesisi deşarj suyu karakteristikleri Çizelge 5.5’de; tesis akım şeması da Şekil 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.5 Fabrikada mevcut arıtma tesisi deşarj suyu karakteristikleri

Atıksu	pH	KOİ, mg/L	AKM, mg/L	NH ₃ -N, mg/L	TP, mg/L	Sülfat, mg/L	T. Cr, mg/L
Aerobik Arıtılmış Tekstil Atıksuyu	7.1±0.3 (n=2)	450±200 (n=2)	70±10 (n=2)	47.6±5 (n=2)	0.41±0.1 (n=2)	370±20 (n=2)	<0.01 (n=2)



Şekil 5.2 Arıtma tesisi proses akım şeması

5.1.4 İzlenen Parametreler

Atıksu karakteristiklerini oluşturabilmek için fabrikadan her atıksu ve çıkış suyu alındığında KOİ, iletkenlik, TDS, renk, toplam sertlik, Cl⁻, Ca⁺², K⁺ ve Mg⁺² parametreleri ölçülmüştür. Yapılan analizlerde standart metotlar takip edilmiştir. Ayrıca atıksu karakteristiklerini oluşturabilmek için, endüstriden her numune alındığında; toplam krom, sülfür ve fenol ölçümleri de yapılmıştır.

Akı ölçümü, bilgisayara bağlı bir hassas terazi aracılığıyla yapılmıştır. Süzüntü akımı, terazide toplanmış ağırlık cinsinden okunmuştur. Birimi gr/dk cinsinden elde edilen bu veriler,

Akı (J_v) ($\text{lt/m}^2.\text{st}$) = ($\text{gr/dk} \cdot 0.001 \text{ lt/gr}(\text{su yoğunluğu}) \cdot 60 \text{ dk/st}$) / 0.014 m^2 (membran alanı) şeklinde hesaplanarak grafikler oluşturulmuştur.

5.1.5 Deneysel Çalışma Sistematiği

Deneysel çalışmanın birinci bölümünde pamuklu tekstil boyaması yapan fabrikadan temin edilen arıtılmamış (ham) tekstil atıksuyu ve fabrikada mevcut aerobik arıtma tesisiyle arıtılmış tekstil atıksularının karakteristikleri belirlenmiştir.

Ardından ikinci bölümde fabrika çıkış suları ve aerobik arıtılmış tekstil atıksuları UF ve NF membran sistemler ile çalışılarak geri kazanımları irdelenmiştir.

UF membran için basınç 3 bar, NF membran için ise basınç 4, 6, 8 ve 10 bar olacak şekilde çalışılmıştır. Membran çalışmaları sırasında debi 300 L/saat ve sıcaklık 25°C 'de sabit tutulmuştur. Kullanılan atıksuların pH değerleri H_2SO_4 kullanılarak yaklaşık 7 değerinde tutulmuştur. Membran filtrasyon çalışmaları sırasında takip edilmiş olan deneysel çalışma sistematiği Çizelge 5.6'da verilmiştir.

Çizelge 5.6 Membran sistemle çalışma sistematiği (Debi= 300 L/saat; ph=7)

Membran Tipi		
UF10	NF10	UF10+NF10
Basınç (bar)		
3	4-6-8-10	4-6-8-10
Arıtılmamış tekstil atıksuyu	Arıtılmamış tekstil atıksuyu	Arıtılmamış tekstil atıksuyu
Aerobik arıtılmış tekstil atıksuyu	Aerobik arıtılmış tekstil atıksuyu	Aerobik arıtılmış tekstil atıksuyu

6. BULGULAR ve DEĞERLENDİRME

Membranların performansları, farklı membran basınçlarında öncelikle süzüntü akısı, renk ve KOİ giderim verimi ile belirlenmiştir.

6.1 Arıtılmamış Tekstil Atıksuyunun Membran Çalışması Sonuçları

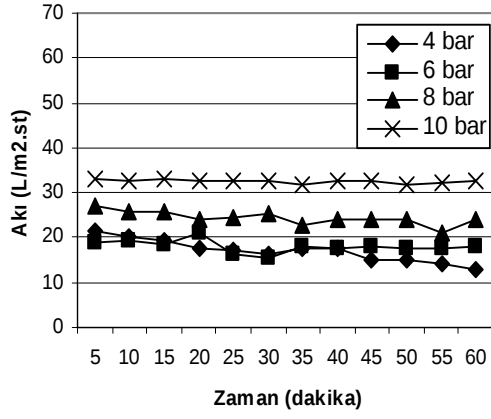
6.1.1 Akı

Fabrikadan alınan arıtılmamış (ham) çıkış suyunun kullanıldığı 60 dakikalık membran çalışmasında elde edilen süzüntü akılarına ait sonuçlar Şekil 6.1’de gösterilmiştir. Şekilden de görülebileceği gibi 60 dakika içerisinde akıda bir miktar azalma olmuştur. Membran basıncının artmasıyla, süzüntü akısındaki artış Çizelge 6.1’de gösterilmiştir.

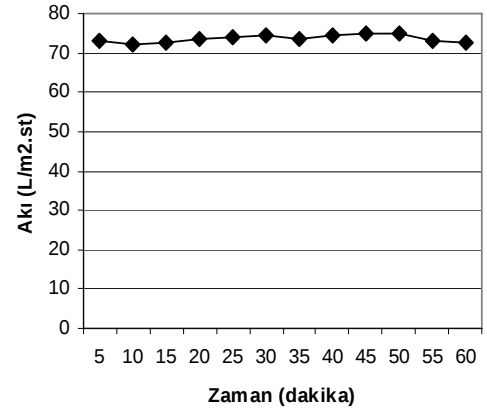
Pamuklu tekstil endüstrisine ait arıtılmamış atıksuya 10 bar basınç altında sadece NF10 uygulanması sonucunda 32.5 L/m².st; 3 bar basınç altında sadece UF10 uygulanması sonucunda 72.5 L/m².st ve 10 bar basınç altında önce UF10 uygulanması ardından NF10 uygulaması sonucunda da 48.3 L/m².st akı elde edilmiştir (Şekil 6.2).

Çizelge 6.1 Tekstil atıksuyu için membran basıncının artmasıyla 60 dakikalık ölçüm sonucunda süzüntü akısındaki artış

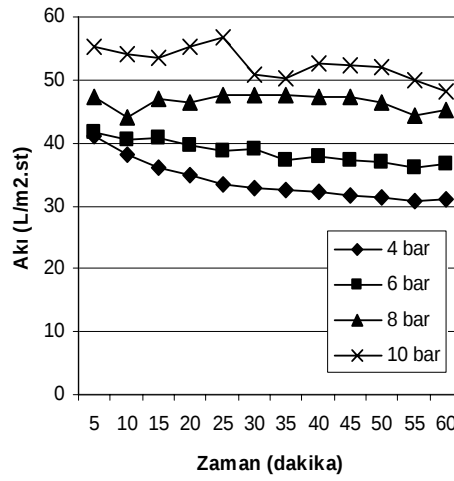
Membran	Basınç (bar)				
	3	4	6	8	10
	Arıtılmamış tekstil atıksuyu süzüntü akısı (L/m ² .st)				
UF10	72.5				
NF10		13.0	17.8	24	32.5
UF10+Nf10		31.1	36.6	45.2	48.3



a) NF10

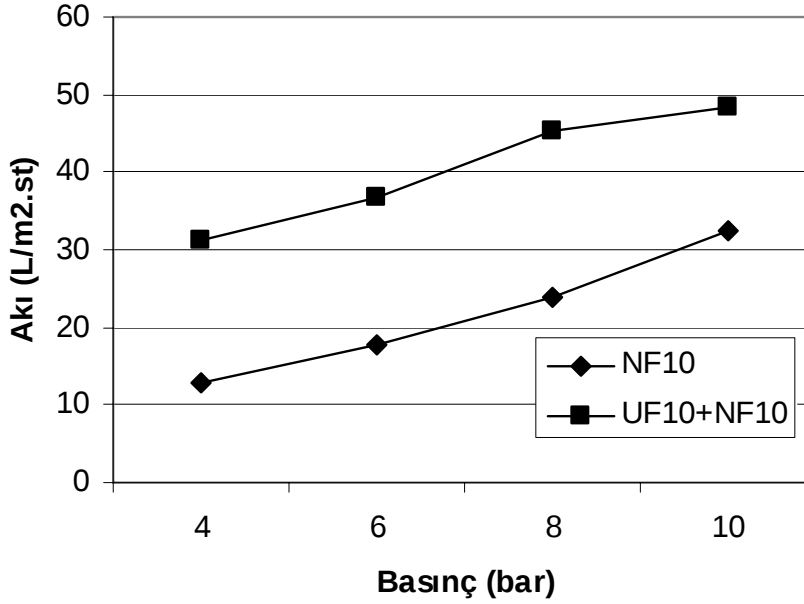


b) UF10



c) UF10+NF10

Şekil 6.1 Arıtılmamış tekstil atıksuyunun farklı membran basınçlarında süzöntü akısının zamana bağlı değişimi



Şekil 6.2 Arıtılmamış tekstil atıksuyunun farklı membran basınçları altında NF10 ve UF10+NF10 uygulaması sonucunda akı değişimleri

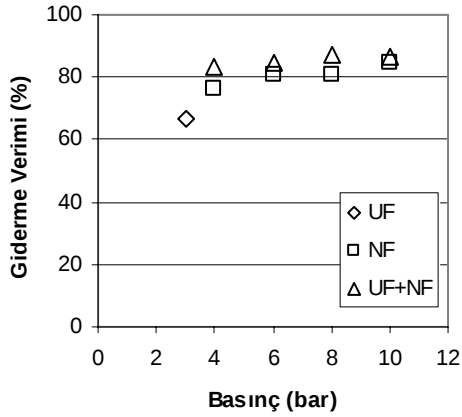
Belirtilen akı değerleri çalışılan atıksu için elde edilen en yüksek akı sonuçlarıdır. Sonuçlara göre, UF membranların ön arıtma olarak uygulanmasının akıyı olumlu yönde etkilediği ve NF için iyi bir ön arıtma olabileceği Şekil 6.2’den görülebilmektedir.

6.1.2 Süzüntü Suyu Analiz Sonuçları

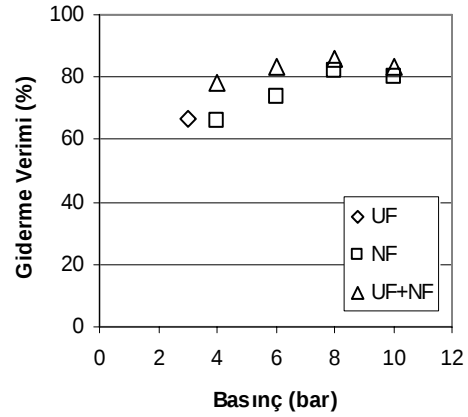
Pamuklu tekstil endüstrisinden temin edilen arıtılmamış (ham) atıksuyunun membran uygulaması sonunda elde edilen süzüntü suyu analiz sonuçları Çizelge 6.2’de gösterilmiştir. Membran çalışması için besleme suyu olarak kullanılan atıksuda KOİ değeri 1944 mg/L’dir. UF10 uygulaması ardından yaklaşık %67 oranında KOİ giderim verimi elde edilmiştir. NF10 uygulaması ardından, 10 bar basınç altında 300 mg/ KOİ değeri ile %85 giderim verimine ulaşılmıştır. UF10+NF10 uygulamasında da, 8 ve 10 bar basınç altında yaklaşık aynı KOİ değerlerine ulaşılarak %87 giderim verimi bulunmuştur. UF10 membranların ön arıtma olarak kullanılması durumunda KOİ gideriminde çok etkili olamadığı görülmüştür (Şekil 6.3).

Çizelge 6.2 Arıtılmamış tekstil atıksuyunun membran çalışması sonucunda elde edilen analiz sonuçları

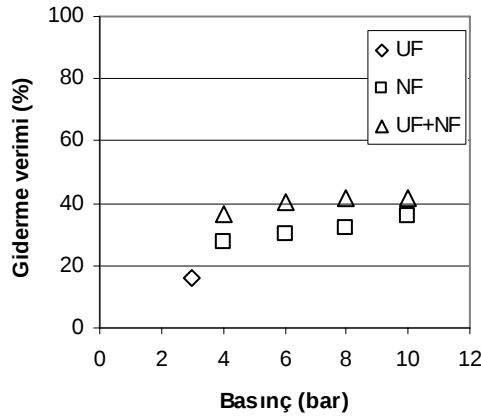
Parametre		Mem. Gir. Atık Num.	NF10				UF10	UF10 + NF10			
			Membran Basıncı								
			4 bar	6 bar	8 bar	10 bar	3 bar	4 bar	6 bar	8 bar	10 bar
Arıtılmamış Tekstil Atıksuyu	KOİ, mg/L	1944	460	370	350	300	650	320	300	250	260
	Renk, Hz	604	207	157	107	121	202	131	102	87	102
	İletkenlik, mS/cm	18.94	13.72	13.22	12.82	12.18	15.87	12.05	11.23	11.02	11.08
	Sertlik, mg/L	240	170	110	120	160	180	160	150	150	140
	Ca ⁺² , mg/L	110	70	60	70	70	90	80	70	70	80
	Mg ⁺² , mg/L	130	100	50	50	90	90	80	80	80	60
	Cl ⁻ , mg/L	150	150	125	125	125	175	125	125	125	125
	K ⁺ , mg/L	200	180	170	160	160	150	150	130	100	100
	Alkalinite, mg/L	700	1050	1150	900	1000	1250	1150	1000	1000	1000
	Tuzluluk, ppt	10.00	7.34	6.86	6.66	6.2	9.39	7.3	6.85	6.65	6.6
	TDS, g/L	11.90	9.84	9.46	9.21	9.01	11.38	8.94	8.61	8.38	8.30



a) KOİ



b) Renk



c) İletkenlik

Şekil 6.3 Arıtılmamış tekstil atıksuyunun membran çalışmaları sonucunda elde edilen giderim verimleri

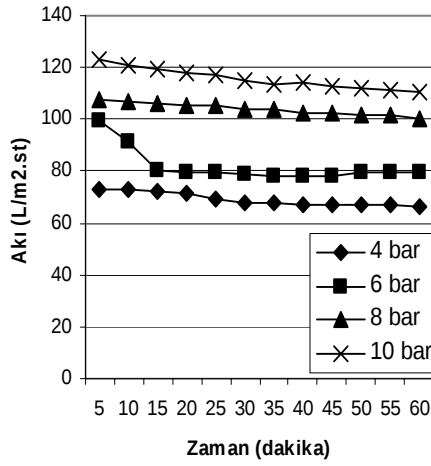
Renk parametresi; girişte 604 Hz iken, UF10 uygulaması sonucunda 202 Hz'e düşmüştür. NF10 uygulaması sonucunda, maksimum renk giderimi 8 bar basınç altında %82 oranında tespit edilmiştir. UF10+NF10 uygulamasında ise maksimum renk giderimi 8 bar basınç altında %86 olarak belirlenmiştir.

İletkenlik değeri, başlangıçta 18.94 mS/cm iken, NF10 uygulamasında 10 bar basınç altında %37, UF10 uygulamasında %16, UF10+NF10 uygulamasında 8 bar basınç altında, 11.02 mS/cm ile %42 giderim elde edilmiştir. UF membranı uygulaması iletkenlik değerinin gideriminde %5'lik ilave bir etkiye sebep olmuştur.

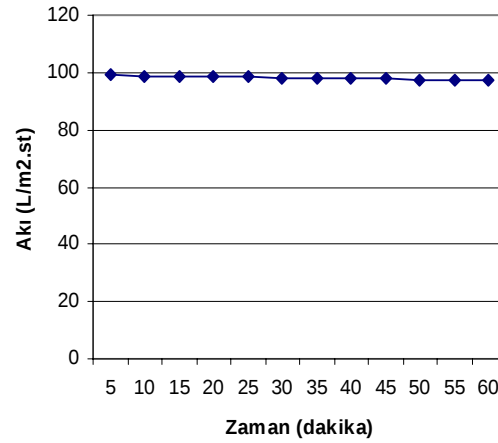
6.2 Aerobik Arıtma Çıkış Suyunun Membran Çalışması Sonuçları

6.2.1 Akı

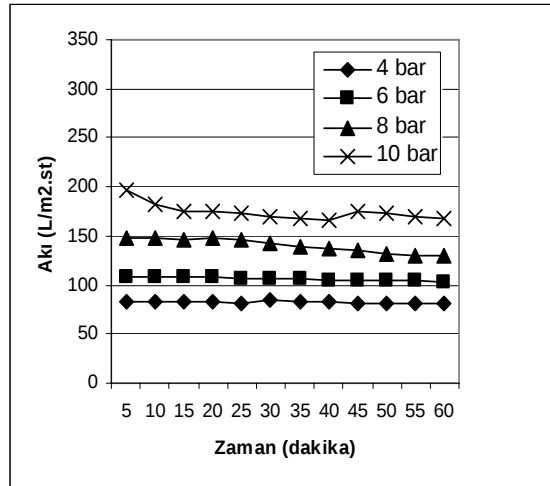
Çalışılan fabrikada mevcut aerobik arıtma tesisi çıkış suyunun besleme suyu olarak kullanıldığı 60 dakikalık membran çalışmasında elde edilen süzöntü akılarına ait sonuçlar Şekil 6.4'de gösterilmiştir.



a) NF10



b) UF10



c) UF10+NF10

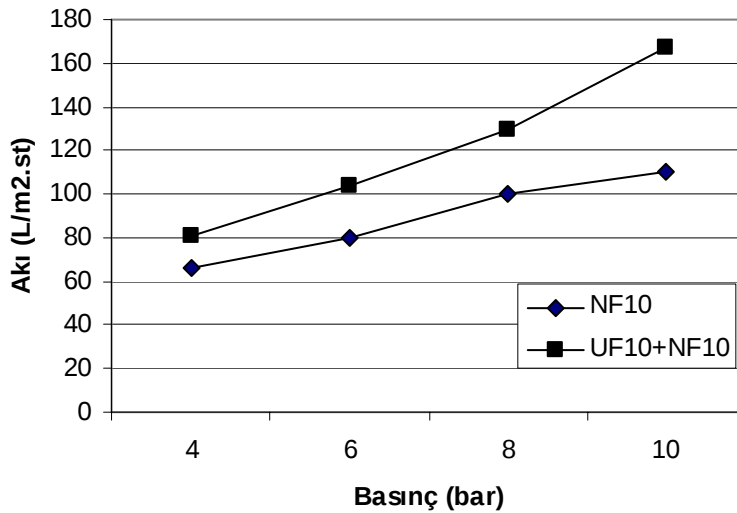
Şekil 6.4 Fabrikada mevcut aerobik arıtma tesisi çıkış suyunun farklı membran basınçlarında süzöntü akısının zamana bağlı değişimi

Şekilden de görüleceği gibi 60 dakika içerisinde akıda bir miktar azalma olmuştur. Membran basıncının artmasıyla süzöntü akısındaki artış Çizelge 6.3’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.3 Membran basıncının artmasıyla 60 dakikalık ölçüm sonucunda süzöntü akısının artışı

Membran	Basınç (bar)				
	3	4	6	8	10
	Aerobik arıtma tesisi süzöntü akısı (L/m ² .st)				
UF10	97,3				
NF10		66,1	79,6	100,4	110,6
UF10+NF10		81,1	103,6	129,9	166,9

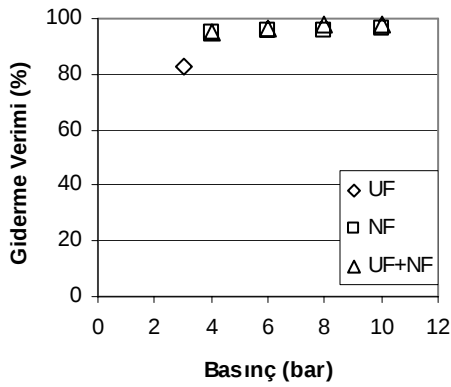
Fabrikada mevcut aerobik arıtma tesisi çıkış suyuna 10 bar basınç altında NF10 uygulanması sonucunda 110.6 L/m².st, 3 bar basınç altında UF10 uygulanması sonucunda 97.3 L/m².st ve 10 bar basınç altında UF10+NF10 uygulaması sonucunda da 166.9 L/m².st akı elde edilmiştir. Belirtilen akı değerleri çalışılan atıksu için elde edilen en yüksek akı sonuçlarıdır. Şekil 6.5’e göre; UF membranlarının ön arıtma olarak uygulanmasıyla, akının olumlu yönde etkilendiği ve UF membranların NF membranları için iyi bir ön arıtma olabileceği görülebilmektedir.



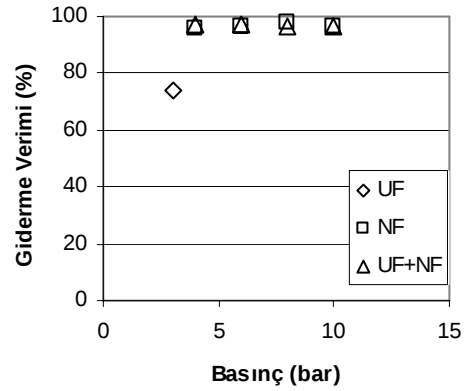
Şekil 6.5 Fabrikada mevcut aerobik arıtma tesisi ile arıtılmış tekstil atıksuyunun farklı membran basınçları altında NF10 ve UF10+NF10 uygulaması sonucunda akı değişimleri

6.2.2 Süzüntü Suyu Analiz Sonuçları

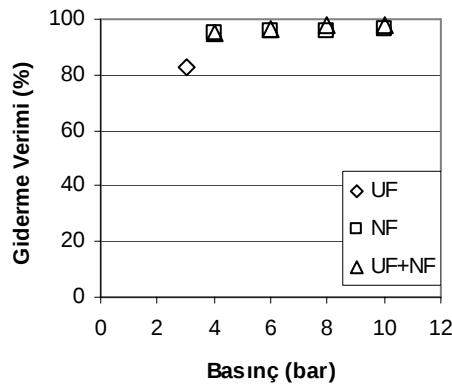
Fabrikada mevcut aerobik arıtma tesisi ile arıtılmış tekstil atıksuyunun membran uygulaması sonunda elde edilen analiz sonuçları Çizelge 6.4’de gösterilmiştir. Membran çalışması için besleme suyu olarak toplanan çıkış suyunda KOİ değeri 650 mg/L dir. UF10 uygulaması sonucunda yaklaşık %83 oranında KOİ giderim verimi elde edilmiştir (Şekil 6.6). NF10 ve UF10+NF10 uygulamaları sonucunda elde edilen KOİ değerleri arasında büyük farklılıklar bulunmamaktadır. 10 bar basınç altında, her iki uygulama sonucunda %96-97 giderme verimi elde edilmiştir.



a) KOİ



b) Renk



c) İletkenlik

Şekil 6.6 Fabrikada mevcut aerobik arıtma tesisi çıkış suyunun membran çalışmaları sonucunda elde edilen giderme verimleri

Renk parametresi girişte 822 Hz iken, UF10 uygulaması sonucunda 217 Hz’e düşmüştür.

NF10 ve UF10+NF10 uygulamaları arasında renk giderimi bakımından da büyük farklılıklar bulunmamakla beraber, en yüksek renk giderimi NF10 uygulamasında 8 bar basınç altında %98 olarak elde edilmiştir (20 Hz).

İletkenlik değeri, başlangıçta 9.5 mS/cm iken, NF10 uygulamasında 10 bar basınç altında %66, UF10 uygulamasında %8, UF10+NF10 uygulamasında 8 bar basınç altında, 2.87 mS/cm ile %70 giderim elde edilmiştir. UF membranı uygulaması iletkenlik değerinin gideriminde %4'lük bir etkiye sahip olmuştur.

Çizelge 6.4 Çalışılan fabrikada mevcut aerobik arıtma tesisi çıkış suyunun membran çalışması sonucunda elde edilen süzüntü suyu analiz sonuçları

Parametre		Mem. Gir. Atıksu Num.	NF10				UF10	UF10 + NF10			
			Membran Basıncı								
			4 bar	6 bar	8 bar	10 bar	3 bar	4 bar	6 bar	8 bar	10 bar
Aerobik Arıtılmış Tekstil Atıksuyu	KOİ, mg/L	650	34	26	29	25	110	35	22	16	15
	Renk, Hz	822	32	31	20	27	217	25	25	31	29
	İletkenlik, mS/cm	9.5	4.85	4.20	3.63	3.21	8.75	4.45	3.96	2.87	4.73
	Sertlik, mg/L	160	150	150	100	70	160	130	100	80	70
	Ca ⁺² , mg/L	60	60	60	50	50	60	60	60	40	30
	Mg ⁺² , mg/L	100	90	90	50	20	100	70	40	40	40
	Cl ⁻ , mg/L	1000	162.4	150	150	125	150	125	125	120	120
	K ⁺ , mg/L	150	100	100	100	90	140	80	80	80	70
	Alkalinite, mg/L	150	150	150	140	120	150	100	90	100	80
	Tuzluluk, ppt	5.55	3.13	2.99	2.58	2.35	5.36	3.02	2.78	2.73	2.60
	TDS, g/L	6.5	3.21	3.01	2.58	2.32	5.98	3.16	2.91	3.99	2.80

6.3 Arıtılmamış (Ham) Tekstil Atıksuyu ve Aerobik Arıtma Çıkış Suyu Membran Çalışmaları Verimlerinin Karşılaştırılması

Bu bölümde; arıtılmamış (ham) tekstil atıksuları ve aerobik arıtım çıkış sularının UF ve NF membran çalışmaları ardından KOİ, renk ve iletkenlik değişimleri bakımından karşılaştırmaları detaylı olarak yapılmış ve yeniden kullanım için uygunlukları incelenmiştir.

Çizelge 6.8’de literatüre göre tekstil endüstrisinde suyun yeniden kullanılabilirlik sınırları verilmiştir. Bu tabloya göre çalışılan suların tekstil endüstrisinin hangi prosesinde kullanılabileceği de açıkça anlaşılabilmektedir. Çizelge 6.5, Çizelge 6.6 ve Çizelge 6.7’e göre, membran çalışmalarının tamamında, yalnız UF uygulamaları sonunda elde edilen sonuçlar oldukça yüksektir. Bu nedenle, geri kazanım değerlendirmeleri NF ve UF+NF uygulamaları için yapılmıştır.

Çizelge 6.5 Arıtılmamış (ham) tekstil çıkış suyu ile aerobik arıtılmış tekstil atıksuyunun KOİ giderimi bakımından karşılaştırılması

KOİ, mg/L	Mem. Gir. Atıksu Num.	NF10				UF10	UF10 + NF10			
		Membran Basıncı								
		4 bar	6 bar	8 bar	10 bar	3 bar	4 bar	6 bar	8 bar	10 bar
Arıtılmamış Tekstil Atıksuyu	1944	460	370	350	300	650	320	300	250	260
Giderim Verimi (%)		76.3	80.9	81.9	84.5	66.5	85.5	84.5	87.1	86.6
Aerobik Arıtılmış Tekstil Atıksuyu	650	34	26	29	25	110	35	22	16	15
Giderim Verimi (%)		94.7	96	95.5	96.1	83	94.6	96.6	97.5	97.6

Aerobik olarak arıtılmış tekstil atıksuyunun membran çalışmalarında elde edilen KOİ değerleri NF ve UF+NF uygulamaları için sırasıyla, 35 mg/L ile 15 mg/L arasında olup, literatürde verilen tekrar kullanım kriterlerine uymaktadır. En düşük KOİ değeri (15mg/L) UF10+NF10 uygulamasında 10 bar basınç altında elde edilmiştir (%97 giderim). Renk değeri 32 Hz ile 20 Hz arasında bulunmuştur. En düşük renk değeri (20Hz); NF10 uygulamasında 8 bar basınç altında elde edilmiştir (%97 giderim). İletkenlik sonuçları ise, 3.13 mS/cm ile 2.87

mS/cm arasında ve tekrar kullanıma uygun kabul edilebilmektedir. En düşük iletkenlik değeri (2.87 mS/cm); UF10+NF10 uygulamasında 8 bar basınç altında elde edilmiştir (%70 giderim).

Çizelge 6.6 Arıtılmamış (ham) tekstil çıkış suyu ile aerobik arıtılmış tekstil atıksuyunun renk giderimi bakımından karşılaştırılması

Renk, Hz	Mem. Gir. Atıksu Num.	NF10				UF10	UF10 + NF10			
		Membran Basıncı								
		4 bar	6 bar	8 bar	10 bar	3 bar	4 bar	6 bar	8 bar	10 bar
Arıtılmamış Tekstil Atıksuyu	604	207	157	107	121	202	131	102	87	102
Giderim Verimi (%)		65.9	74	82	80	66	78.4	83	85.6	83
Aerobik Arıtılmış Tekstil Atıksuyu	822	32	31	20	27	217	25	25	31	29
Giderim Verimi (%)		96.1	96.2	97.5	96.7	73.6	96.9	96.9	96.2	96.4

Çizelge 6.7 Arıtılmamış (ham) tekstil çıkış suyu ile aerobik arıtılmış tekstil atıksuyunun iletkenlik giderimi bakımından karşılaştırılması

İletkenlik, mS/cm	Mem. Gir. Atıksu Num.	NF10				UF10	UF10 + NF10			
		Membran Basıncı								
		4 bar	6 bar	8 bar	10 bar	3 bar	4 bar	6 bar	8 bar	10 bar
Arıtılmamış Tekstil Atıksuyu	18.94	13.72	13.22	12.82	12.18	15.87	12.05	11.23	11.02	11.08
Giderim Verimi (%)		27.5	30.2	32.3	35.6	16.2	36.3	40.7	41.8	41.4
Aerobik Arıtılmış Tekstil Atıksuyu	9.5	4.85	4.20	3.63	3.21	8.75	4.45	3.96	2.87	4.73
Giderim Verimi (%)		48.9	55.7	61.7	66.2	7.8	53.1	58.3	69.7	50.2

Arıtılmamış tekstil atıksuyu ile yapılan membran denemeleri sonucunda ise, KOİ değeri 460mg/L ile 250 mg/L, renk 207 Hz ile 87 Hz ve iletkenlik ise 13.72 mS/cm ile 11.02 mS/cm arasında olup, geri kazanım için oldukça yüksek değerler elde edilmiştir.

Çizelge 6.8 Literatüre göre tekstil endüstrisinde tekrar kullanılabilir suyun karakteristikleri

Kaynak	Parametre			Tekrar Kullanım Kriteri
	KOİ, mg/L	İletkenlik, μ S/cm	Renk	
Li ve Zhao, 1999	0-160	800-2200	0-2 Lovibond	Reaktif ve asit boyama proseslerinde tekrar kullanım
Rozzi vd.,1999	30	1800	0.01 (426 nm)	Sentetik elyaf boyaması
Rozzi vd., 1999	<10	<40	Renksiz	Tekstil fabrikaları için tekrar kullanım
Goodman ve Porter, 1980 (Uzal,2007)	178-218	1650-2200	20-30 Pt-Co	%100 pamuklu kumaşın reaktif boyama prosesi için tekrar kullanım
Brik vd., 2006	<30	<1800	<1m ⁻¹ (426 nm)	Tekstil endüstrisinde tekrar kullanım için genel kriterler
Gozalvez-Zafrilla vd., 2008	<20	<500	-	Tekstil endüstrisinde tekrar kullanım suyu için spesifikasyonlar
Lu vd.,2009	<50	-	-	Boyama ve baskı prosesleri için tekrar kullanım
Comodo vd.,1993	40	2000	0.02 (426 nm)	Düşük kalitede yün boyama için tekrar kullanım
Ciardelli vd., 2001	34	35	0.002 (420 nm)	Tekstil fabrikalarının bütün prosesleri için uygun su kalite özellikleri
Marcucci vd., 2001	8-10	330-2350	-	Doğal ve sentetik iplik boyama ve açık renklilerin yıkanması için tekrar kullanım
Bes-Pia vd., 2005, 2003	100	1000	-	Ağartma prosesinde tekrar kullanım için yeterli kalite

Çizelge 6.8'e göre, tekstil atıksularının tekrar kullanımı için KOİ, renk ve iletkenlik parametreleri için sırasıyla 8-218 mg/L, 20-30 Hazen ve 35-2350 μ S/cm arasında olması tavsiye edilmektedir. Deneysel çalışmalarda incelenen ve en yüksek verimlerin elde edildiği

aerobik çıkış suları ile UF10+NF10 uygulamalarının ardından aynı parametreler için sırasıyla 15-35 mg/L, 25-31 Hazen ve 2870-4450 $\mu\text{S}/\text{cm}$ aralığında değerler elde edilmiştir. Literatürde tavsiye edilen Çizelge 6.8’de verilen kriterlere göre; aerobik arıtmadan sonra membran prosesinden geçirilen tekstil atıksularının işletme içerisinde hassas olmayan yıkama işlemlerinde tekrar kullanılabileceği söylenebilir.

7. SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRME

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. Membran teknolojilerinin konvansiyonel arıtma tesislerinden sonra ileri arıtma hatta geri kazanım imkanları ile kullanılabilirliğini arttırmak için yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Çalışmada UF ve NF membranlar, farklı basınçlar altında çalıştırılmış ve membran basıncının artmasına bağlı olarak süzüntü akısında artış gözlemlenmiştir.
- Membran denemelerinin her birinde 60 dakikalık çalışma süresi boyunca akı değerlerinde az miktarda da olsa azalma söz konusu olmuştur.
- Elde edilen sonuçların ışığında UF membranların ön arıtma olarak kullanıldığı UF+NF uygulamalarında akıda belirgin artışlar tespit edilmiştir. Bu durum, UF membranların NF için ön arıtma olarak kullanılmasının uygun olacağı sonucunu doğurmuştur.
- Fabrikada mevcut aerobik arıtma tesisi çıkış suyunun KOİ değeri, Su Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği'nde ilgili endüstri için verilen limitler aralığında kaldığı tespit edilmiştir.
- Arıtılmamış tekstil atıksuyunun membran çalışması sonucunda elde edilen süzüntü suyu çok yüksek miktarlarda KOİ, renk ve iletkenlik içerdiğinden tekrar kullanıma uygun bulunmamaktadır.
- Aerobik çıkış suları ile UF10+NF10 uygulamalarının ardından KOİ, renk ve iletkenlik parametreleri için sırasıyla 15-35 mg/L, 25-31 Hazen ve 2870-4450 $\mu\text{S}/\text{cm}$ aralığında değerler elde edilmiştir. Literatürde tavsiye edilen kriterlere göre; aerobik arıtmadan sonra membran prosesinden geçirilen tekstil atıksularının işletme içerisinde hassas olmayan yıkama işlemlerinde tekrar kullanılabileceği belirlenmiştir.
- Ülkemizde henüz renk parametresi yönetmeliklerde yer almamakla beraber, Avrupa Birliği'ne giriş sürecinde önümüzdeki yıllarda bu parametre ile ilgili kısıtlamaların getirilebileceği düşünülerek bu parametrenin artırılması için membran filtrasyon yöntemi bir alternatif olarak düşünülebilir.

- Çalışma sonuçlarına göre; koyu renkli boyama ve boyama sonrası yıkama prosesleri dışında daha hassas tekstil endüstrisi basamaklarında atıksuların yeniden kullanımı için, ultrafiltrasyon ardından ters ozmoz alternatifinin uygun olacağı düşünülmektedir.

Sonuç olarak; ham tekstil atıksuyunun hiçbir ön arıtma uygulanmadan membran sistemlere verilmesi hem ekonomik açıdan hem de uygulama zorluğu bakımından tavsiye edilmemektedir. Kullanılan membranlarda tıkanma, akıda azalma ve düşük kaliteli süzüntü suyu temini söz konusu olmaktadır. Bu sebeple, ön arıtma kullanılması tekstil atıksularının membranlarla geri kazanımında önemli bir adım olarak görülmektedir. Geri kazanımı düşünülen daha hassas prosesler için nanofiltasyon yanında ters ozmoz da bir alternatif olarak düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

Amara N. B., Kechaouc N., Palmerid, J., Deratanie, A., Sghaierf, A. (2009), "Comparison of tertiary treatment by nanofiltration and reverse osmosis for water reuse in denim textile industry", *Journal of Hazardous Materials* 170 111–117.

Apha, Awwa, Wpcf (2005), "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater", 20th Ed., Washington, D.C.

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

Bes-Pia A., Iborra-Clar M.I., Iborra-Clar A., Mendoza-Roca J.A., Cuarteres-Urbe B., Alcaina-Miranda M.I. (2005), "Nanofiltration of textile industry wastewater using a physicochemical process as a pre-treatment", *Desalination*, 178, 343-349.

Bes-Pia A., Mendoza-Roca J.A., Alcaina-Miranda M.I., Iborra-Clar A., Iborra-Clar M.I. (2003), "Combination of physico-chemical treatment and nanofiltration to reuse wastewater of a printing, dyeing and finishing textile industry", *Desalination*, 157, 73-80.

Büyükdere A. (2008), "Tekstil Endüstrisi Atıksularının Membran Teknolojileri ile Arıtılması", İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

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

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

Choo K.-H., Choi S.J., Hwang E.D. (2007), "Effect of coagulant types on textile wastewater reclamation in a combined coagulation/ultrafiltration system", 202, 262-270.

Ciardelli G., Corsi L., Marcucci M. (2000), "Membrane separation for wastewater reuse in the textile industry" *Resources Conservation and Recycling*, 31, 189-197.

Comodo N., Masotti N., Sacco C., Tedioli G. (1993), "Wastewater treatment with ozone for industrial and agricultural reuse (in Italian)", *ANDIS Biennial Conference*, Palermo (Italy), 21-23 Sept., 458-465.

Curt K. (2005), "Biyolojik Arıtma Ders Notları", Boğaziçi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi.

Çoban A. (2009) "Tekstil Atıksularının Anaerobik Arıtımı (renk ve KOİ giderimi)", YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Debik E., Kaykıoğlu G., Coban A., Kayacan B., Koyuncu I. (2009), “Reuse of Aerobically Pretreated Textile Effluents by Using Different UF and/or NF Membranes”, 5th IWA Specialised Membrane Technology Conference for Water and Wastewater Treatment (IWA-MTC2009, Sep 1 to 3, 2009, Poster).

Debik E., Kaykıoğlu G., Coban A., Kayacan B. (2009), “Sabit Granül Yataklı Anaerobik Reaktörle Tekstil Atıksularından Renk ve KOİ Giderimi”, TÜBİTAK ÇAYDAG 107Y060 No.lu Proje Sonuç Raporu.

Debik E., Kaykıoğlu G., Coban A., Kayacan B. (2009), “Sabit Granül Yataklı Anaerobik Reaktörle Tekstil Atıksularından Renk ve KOİ Giderimi”, YTÜ-BAP 107Y060 No.lu Proje Sonuç Raporu.

Debik, E., Manav, N., Coşkun, T. (2008) “Biyolojik Temel İşlemler Ders Notları”, Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul.

Demircanlı, Ü. (1995), “Renkli Tekstil Atıksularının Arıtılması Üzerine Bir Araştırma”, Ege Üni. Tekstil Müh. Bölümü, Doktora Tezi, İzmir.

Demiral N. (2008), “Pamuklu Tekstil Endüstrisi Atıksularının Membran Teknolojisi ile Geri Kazanımı”, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

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

Droste, R. L. (1997), “Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment”, John Wiley & Sons. Inc. p. 557, pp 574-578.

Gozálvez-Zafrilla M., Sanz-Escribano D., Lora-García J., León Hidalgo M.C. (2008), “Nanofiltration of secondary effluent for wastewater reuse in the textile industry”, Desalination, 222,272–279.

Harrelkasa F., Azizib A., Yaacoubib A., Benhammoua A., Ponse M.N. (2009), “Treatment of textile dye effluents using coagulation– flocculation coupled with membrane processes or adsorption on powdered activated carbon”, Desalination 235 330–339

Koyuncu İ. (1997) “Membran Teknolojisinin Çevre Mühendisliğinde Kullanım Potansiyeli ve Ters Ozmoz ile Amonyum İyonu Giderimi” İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans tezi, İstanbul.

Koyuncu İ. (2001) “Nanofiltrasyon Membranları ile Tuz Gideriminde Organik İyon Etkisi” İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora tezi, İstanbul.

Köseoğlu, G. (2004), “Tekstil Endüstrisi Atıksularındaki Renk Sorununun İleri Aktif Çamurlu Ardışık Kesikli Biyoreaktör ile Giderilmesi”, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya.

Li X.Z. and Zhao Y.G. (1999) "Advanced treatment of dyeing wastewater for reuse", *Water Science and Technology*, 39, 10-11, 249-255.

Linderer P.A., Irvine R.L., Goronszy M.C. (2001), "Sequencing Batch Reactor Technology", Scientific and Technical Report No 10, IWA Publishing.

Lu X., Liu L., Yang B., Chen J. (2009), "Reuse of printing and dyeing wastewater in processes assessed by pilot-scale test using combined biological process and sub-filter technology", *Journal of Cleaner Production*, 17, 111–114.

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

Marcucci M., Nosenzo G., Caponelli G., Ciabatti I., Carrieri D. ve Ciardelli G. (2001), "Treatment and reuse of textile effluents based on new ultrafiltration and other membrane Technologies", *Desalination*, 13, 75-82.

Metcalf&Eddy, "Wastewater Engineering Treatment & Reuse", International Fourth Edition.

Mulder M. (1996), "Basic Principles of membrane Technology", Second Edition, Kluwer Academic Publishers, Netherlands.

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

Orhon D., Babuna F.G., Insel G. (2001), "Characterization and modeling of denimprocessing wastewaters for activated sludge", *J. Chem. Technol. Biot.* 76 919–931.

Özerkan B. (2001), "Ardışık Kesikli Biyoreaktör ve Kinetiği", Sakarya Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Bitirme Ödevi.

Peter A. Winderer, Robert L. Irvine and Mervyn C. Goronzy. (2001), "Sequencing Batch Reactor Technology", Scientific and Technical Report No 10, IWA Publishing.

Rautenbach R., Linn T., Eilers L. (2000), "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.

Robinson, T. McMullan, G. Marchant, R. and Nigam, P. (2001), "Remediation of Dyes in Textile Effluent: A Critical Review on Current Treatment Technologies With a Proposed Alternative", *Bioresource Technology* 77, 247-255.

Rozzi, A., Antonelli, M. and Arcari, M. (1999), "Membrane Treatment of Secondary Textile Effluents for Direct Reuse", *Water Science and Technology* 40(4-5), 409-416.

Rozzi A., Malpei F., Bonomo L. And Bianchi R. (1999). "Textile wastewater reuse in Northern Italy (Como)", *Wat. Sci. Tech.*, 39(5), 121-128.

Selçuk, H. (1997), “Tekstil Atıksularında Kimyasal Yöntemlerle Renk Giderilmesi”, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi .

Şahinkaya, E., Uzal, N., Yetiş, Ü., Dilek, F. (2008), “Biological treatment and nanofiltration of denim textile wastewater for reuse”, *Journal of Hazardous Materials*, 153 1142-1148.

İstanbul. Uzal N., Yılmaz L., Yetiş U. (2006) “Microfiltration: a pretreatment alternative for indigo dyeing textile wastewater”, *Desalination*, 199, 515-517. U.S. EPA (2004).

Ünlü M. (2008), “Indigo Dyeing Wastewater Treatment by the Membrane Based Filtration Process”, The Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University.

U.S. EPA (2004), “Guidelines for Water Reuse”, U.S. Environmental Protection Agency, EPA/625/R-04/108, Washington DC.

W.S. Chang, S.W. Hong, J. Park (2002), “Effect of zeolite media for the treatment of textile wastewater in a biological aerated filter”, *Process Biochem.* 37 693–698.

Zylla, J. Sojka-Ledakowicz, E. Stelmach, S. Ledakowicz (2006), “Coupling of membrane filtration with biological methods for textile wastewater treatment”, *Desalination* 198 316–325.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 01.01.1986

Doğum yeri İstanbul

Lise 2000-2003 Özel Kalamış Lisesi

Lisans 2003-2007 Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
Çevre Mühendisliği

Yüksek Lisans 2007- 2010 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Bölümü

Çalıştığı kurum(lar)

2009-Devam Tugal Çevre Teknolojileri Ltd. Şti.