

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ATIKSULARININ
GERİKAZANIMI VE YENİDEN KULLANILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Çevre Müh. Selma BABURŞAH**

Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

Programı : ÇEVRE BİLİMLERİ ve MÜHENDİSLİĞİ

OCAK 2004

**TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ATIKSULARININ
GERİKAZANIMI VE YENİDEN KULLANILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Çevre Müh. Selma BABURŞAH
(501001914)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 22 Aralık 2003
Tezin Savunulduğu Tarih : 12 Ocak 2004

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Cumali KINACI
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Fatoş GERMİRLİ BABUNA
Prof.Dr. Bülent KESKİNLER (Gebze Yük. Tek.)

OCAK 2004

ÖNSÖZ

İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Çevre Mühendisliği bölümünde hazırlanan bu lisansüstü tezi çalışmasında “Tekstil Endüstrisi Atıksularının Gerikazanımı ve Yeniden Kullanılması” konusu ele alınmıştır.

İTÜ Çevre Mühendisliği yüksek lisans öğrenimim boyunca ve bu çalışmada yardımlarını ve desteğini esirgemeyen, her zaman desteğini gördüğüm saygıdeğer hocam Prof. Dr. Cumali KINACI’ya, yaptığı olumlu eleştiriler ve yönlendirmelerinden dolayı çok değerli hocam Prof. Dr. Olcay TÜNAY’a, yardımlarından dolayı Sayın Dr. İsmail KOYUNCU’ya, Araş. Gör. Sayın Elif SOYER’e, membran teknolojileri ile ilgili bilgiye ulaşmamda katkıları bulunan arkadaşım ve meslektaşım Nihal SEVİNDİK’e teşekkür ederim.

Öğrenim hayatım boyunca bana emek vermiş hocalarıma da bu vesile ile teşekkür ederken; maddi ve manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyip her konuda bana destek olan sevgili aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ocak, 2004

Selma BABURŞAH

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖNSÖZ	ii
İÇİNDEKİLER	iii
KISALTMALAR	vi
TABLO LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
SEMBOL LİSTESİ	x
ÖZET	xi
SUMMARY	xii
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Anlam ve Önemi	1
1.2 Çalışmanın Amaç ve Kapsamı	4
2. ATIKSULARIN ENDÜSTRİLERDE YENİDEN KULLANIM YÖNTEMLERİ	5
2.1 Giriş	5
2.2 Soğutma Suyu Olarak Kullanılması	6
2.2.1 Soğutma Kuleleri	6
2.2.2 Soğutma Havuzları	7
2.3 Proses Suyu Olarak Kullanılması	7
2.4 Buhar Kazanlarında Besi Suyu Olarak Kullanılması	8
2.5 Bahçe Sulama Suyu Olarak Kullanılması	9
3. TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ATIKSULARININ GERİKAZANIMI İÇİN UYGULANABİLECEK ARITIM TEKNOLOJİLERİ	10
3.1 Ön Arıtma Yöntemleri	10
3.1.1 Tekstil Atıksularının Ayrılması ve Dengelenmesi	10
3.1.2 Tekstil Atıksularının Nötralizasyonu	10
3.2 Kimyasal Arıtma Yöntemleri	10
3.3 Biyolojik Arıtma Yöntemleri	11
3.3.1 Aerobik Aktif Çamur Sistemi	11
3.3.2 Ardışık Anaerobik – Aerobik Aktif Çamur Sistemi	12
3.4 İleri Arıtma Teknolojileri	12
3.4.1 Fenton Reaksiyonu	13
3.4.2 Elektroliz	14
3.4.3 Fotokataliz	14

3.4.4 Ozonlama	14
3.4.5 Adsorbsiyon	15
3.4.6 Adsorbsiyon ve Ozonun Birlikte Kullanılması	16
3.4.7 Membran Prosesler	18
4. MEMBRAN PROSESLER	21
4.1 Filtrasyon	23
4.1.1 Filtrasyon Çeşitleri	23
4.1.1.1 İşletme Prensipleri	24
4.2 Membran Konfigürasyonu	26
4.2.1 Düzlem ve Çerçeve Membranlar	26
4.2.2 Spiral Membranlar	26
4.2.3 Silindir Membranlar	29
4.2.4 İçi Boş Elyaf Membranlar	30
4.3 Membran Prosesler	31
4.3.1 Membran Özellikleri	31
4.3.2 Mikro Filtrasyon	33
4.3.3 Ultra Filtrasyon	33
4.3.4 Nano Filtrasyon	36
4.3.5 Reverse Osmosis (Ters Ozmoz)	37
4.3.5.1 Genel Bilgiler	37
4.3.5.2 Ters Ozmoz Membranının Performansını ve Kullanım Ömrünü Etkileyen Faktörler	42
4.3.5.3 Ters Ozmoz Sisteminin Avantajları	44
4.3.5.4 Atıksuların Ters Ozmoz Sistemleri İle Geri Kazanılması	45
4.3.5.5 Tekstil Endüstrisi Atıksularının Arıtımında Membran Teknolojisi Uygulaması	45
5. DÜNYADA ATIKSULARIN GERİKAZANIM VE YENİDEN KULLANIM ÇALIŞMALARI VE UYGULAMALARINDAN ÖRNEKLER	47
5.1 Evsel Atıksu Gerikazanımı ve Yeniden Kullanımı Örnekleri	47
5.2 Endüstriyel Atıksu Gerikazanımı ve Yeniden Kullanımı Örnekleri	50

6. TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ATIKSULARININ YENİDEN KULLANIM OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI	59
6.1 Tekstil Endüstrisi Tanımı	59
6.2 Tekstil Endüstrisinde Proses Profili ve Altkategorizasyonu Yaklaşımı	60
6.2.1 Proses Profili	60
6.2.2 Tekstil Endüstrisi Altkategorizasyonu Yaklaşımı	63
6.2.2.1 Tekstil Endüstrisinde Alt Kategorizasyona Göre Atık Oluşturan Prosesler	63
6.3 Tekstil Endüstrisi Atıksu Özellikleri	64
6.3.1 Tekstil Atıksularının Deşarj Standartları	72
6.4 Tekstil Endüstrisi Atıksularının Çevresel Etkileri	74
6.5 Tekstil Endüstrisinde Atık Minimizasyonu ve Gerikazanım	74
7. ÖRNEK BİR TEKSTİL FABRİKASI İÇİN ATIKSUYUN YENİDEN KULLANIM OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI	77
7.1 Tesis Hakkında Genel Bilgi	77
7.1.1. Üretim Proses Bilgileri	82
7.2 Tesisin Proses Suyu İhtiyacı ve Özellikleri	90
7.3 Atıksu Arıtma Tesisi ve Atıksu Bilgileri	93
7.3.1 Atıksu Arıtma Tesisi	93
7.3.2 Atıksu Bilgileri	96
7.4 Gerikazanım ve Yeniden Kullanım İçin Önerilen Arıtma Tesisi	97
8. GERİKAZANIM MALİYET ANALİZİ	105
8.1 İlk Yatırım Maliyeti	106
8.1.1 Direkt İlk Yatırım Maliyeti	106
8.1.2 İndirekt İlk Yatırım Maliyeti	107
8.2 İşletme Maliyeti	107
8.3 Toplam Su Üretim Maliyeti	109
9. SONUÇLAR	112
KAYNAKLAR	114
ÖZGEÇMİŞ	117

KISALTMALAR

AKM : Askıda Katı Madde
BOİ : Biyolojik Oksijen İhtiyacı
KOİ : Kimyasal Oksijen İhtiyacı
TÇM : Toplam Çözünmüş Katı Maddeler
TOK : Toplam Organik Karbon
TON : Toplam Organik Azot
TKM : Toplam Katı Madde
TAM : Toplam Askıda Madde
MF : Mikrofiltrasyon
UF : Ultrafiltrasyon
NF : Nanofiltrasyon
RO : Ters Ozmoz
GAK : Granüler Aktif Karbon
UV : Ultra Viyole
TAM : Toplam Askıda Madde
MWCO: Moleküler Ağırlık Tutma
IYM : İlk Yatırım Maliyeti

TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 2.1	Endüstriyel Suyun Yeniden Kullanım Kalite Parametreleri ve Potansiyel Arıtım Prosesleri 8
Tablo 2.2	Endüstrilerde Su Temini İçin Atıksu Arıtım Teknolojileri... 8
Tablo 2.3	Buhar Kazanı Besi Suyu Özellikleri 9
Tablo 3.1	Tekstil Atıklarının Arıtılması için Çeşitli Teknolojilerin Değerlendirilmesi 19
Tablo 3.2	Arıtma Sistemlerindeki Proseslerin Kirletici Giderme Verimleri.. 20
Tablo 4.1	Membran Proseslerin Karşılaştırılması 30
Tablo 4.2	Tıkanma Türüne Göre Membranlarda Kullanılan Kimyasallar ... 31
Tablo 4.3	UF Membran Malzemeleri Ve Özellikleri 32
Tablo 4.4	UF Uygulama Bilgileri 34
Tablo 4.5	UF Tipik Proses Koşulları 34
Tablo 4.6	NF ile RO membranların Tutma Kapasitesi Kıyaslaması 37
Tablo 4.7	Ters Ozmoz Sistemlerinin Tipik İyon Giderimi 42
Tablo 4.8	Ters Ozmoz Sistemi Dizayn Limitasyonları 43
Tablo 4.9	Atıksuların Geri Kazanılmasında Ters Ozmoz Sistemleri..... 45
Tablo 5.1	Sözleşmeye Esas ve İşletmede Elde Edilen Parametre Değerleri 48
Tablo 5.2	Flag Fen'in Çıkışında Elde edilen Nihai Değerler 49
Tablo 5.3	Son Membran Prosesi Olarak NF kullanıldığında pH, KOI, İletkenlik ve Toplam Sertlik Değerleri 51
Tablo 5.4	Son Membran Prosesi Olarak RO Kullanıldığında Tekstil Atıksularının Tekrar Kullanımı İle İlgili Bazı Parametre Değerleri 52
Tablo 5.5	İlk Pilot Tesis Çalışmasında Numune Alma Noktalarındaki Fiziko-Kimyasal Analiz Değerleri 56
Tablo 5.6	Çeşitli Numune Alma Noktalarında Parametre Değerleri 57
Tablo 6.1	Alt kategorilere Göre Atıksu Oluşturan Prosesler 64
Tablo 6.2	Çıkış Suyu Parametre Yükleri 65
Tablo 6.3	Tekstil Endüstrisinde Uygulanan Proseslerde Kullanılan Kimyasallar ve Atıksu Özellikleri 66
Tablo 6.4	Türkiye'ye İlişkin Tekstil Endüstrisi Atıksuyu Karakterizasyonu 67
Tablo 6.5	Renk giderimine göre boya sınıflandırması 68
Tablo 6.6	Boyarmadde Sınıflandırılması 69
Tablo 6.7	Sektör: Tekstil Sanayii (Örgü, Kumaş Terbiyesi ve Benzerleri) ... 73
Tablo 6.8	İSKİ Atıksuların Kanala Deşarj Standartları 73
Tablo 6.9	Tekstil Endüstrisinde Farkı Yaklaşımlar ile Yeniden Kullanım Standartları 76
Tablo 7.1	İmalatta Kullanılan Hammaddeler (HM) ve Katkı Maddeleri (KM) 81
Tablo 7.2	Ürünler ve Ara Ürünler 81
Tablo 7.3	Alınan Kuyu Suyu Özellikleri 91
Tablo 7.4	Yumuşatmadan Çıkan ve Proseste Kullanılan Suyun Analizi..... 92

	Sayfa No
Tablo 7.5 İSKİ Arıtma Tesisi Çıkışından Aldığı Su Analizi ve Kanala Deşarj Limitleri	96
Tablo 7.6 Atıksu Arıtma Tesisi Öncesi ve Sonrası Atıksu Karakteri	96
Tablo 7.7 Arıtma Tesisi Çıkışından Alınan Atıksu Analizi	103
Tablo 7.8 Atıksuyun Kum filtresi Ve UF'dan Geçtikten Sonra Tahmin Edilen Parametre Değerleri	103
Tablo 7.9 RO Çıkış Suyu Parametre Değerleri	104
Tablo 8.1 Ekipman Maliyet Kalemleri	106
Tablo 8.2 Piyasadan Temin Edilen Maliyet Hesaplarında Kullanılan Birim Fiyatlar	108
Tablo 8.3 1000 m ³ /gün Kapasiteli Gerikazanım Tesisi Maliyet Değerlendirmesi	109
Tablo 8.4 1000 m ³ /gün Kapasiteli Kuyu Suyu Yumuşatma Sistemi ve Atıksu Uzaklaştırma Maliyet Değerlendirmesi ...	110

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 3.1 : GAK'nun katalitik oksidasyonu	17
Şekil 4.1 : Filtrasyon Sistemleri Şematik Gösterimi	23
Şekil 4.3 : Düzlem ve Çerçeve membran	27
Şekil 4.4 : Spiral Membran	27
Şekil 4.2 : Membran Proseslerin Danecik Çaplarına Göre Kullanım Alanları	28
Şekil 4.5 : Silindir Membranlar	29
Şekil 4.6 : Ultrafiltrasyon Prosesi Diyagramı	35
Şekil 4.7 : Ters Ozmoz Sistemi Çalışma Prensibi	38
Şekil 4.8 : Ozmotik Basınç Şeması	38
Şekil 5.1 : Flag Fen Kanalizasyon Suyu Arıtma Tesisı	49
Şekil 5.2 : Kum filtresi+ UF ve RO'nun Toplam Kirletici Giderim Verimleri	53
Şekil 5.3 : (A) Mevcut (B) Önerilen Su Arıtma ve Gerikazanma Tesisı	54
Şekil 5.4 : Kum filtresi, MF veNF Kirletici Giderim Oranları	57
Şekil 5.5 : Önartım, Ozonlama ve UF'un Bazı Kirletici Parametreleri Giderim Oranları	58
Şekil 7.1 : Tesisin Üretim İşlemleri Akım Şeması	80
Şekil 7.2 : Optik Kasar Proses Akım Şeması	84
Şekil 7.3 : Şeker Kasar Proses Akım Şeması	85
Şekil 7.4 : Overflow (Sıcak Sistem Kapalı Tüp Boyama)	89
Şekil 7.5 : Atıksu Arıtma Tesisı Plan ve Kesiti	94
Şekil 7.6 : Atıksu Arıtma Tesisı Akım Şeması	95
Şekil 7.7 : Gerikazanım Tesisı Proses Diyagramı	99
Şekil 7.8 : İncelenen Firmanın Mevcut Arıtma Tesisı ve Önerilen Gerikazanım Proses Akım Şeması	100
Şekil 7.9 : Fabrikanın mevcut arıtma tesisı ve önerilen atıksu gerikazanım ve yeniden kullanım tesisı akım şeması.....	101
Şekil 7.10 : Yumuşatma sistemi yerine RO konulması halinde firma için önerilen alternatif atıksu gerikazanım ve yeniden kullanım tesisı akım şeması	102
Şekil 8.1 : Membran Sistemlerde Maliyet Kategorileri	105
Şekil 8.2 : Gerikazanım Tesisı Maliyet Analizi	111

SEMBOL LİSTESİ

- A** : Gerekli toplam membran alanı
J : Ortalama membran akısı
Q : Debi

TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ATIKSULARININ GERİKAZANIMI VE YENİDEN KULLANILMASI

ÖZET

Türkiye ekonomisinde önemli yere sahip tekstil endüstrisi için, atıksuların gerikazanımı ve yeniden kullanılması oldukça önemlidir. Tekstil endüstrisi su ihtiyacının yüksek olması ve yüksek konsantrasyonlu, toksik yapıdaki atıksularından dolayı birçok çevresel problemlere sebep olmaktadır.

Tekstil endüstrisi atıksuları, belirlenen deşarj standartlarını karşılamak üzere fizikokimyasal ve daha yaygın olarak kullanılan biyolojik arıtma tesislerinde arıtılırlar. Bunun yanında, suyun proste yeniden kullanılabilmesi için ileri arıtım teknolojilerine ihtiyaç vardır. Membran prosesler, tekstil atıksularının ve değerli kimyasalların gerikazanımı ve yeniden kullanımını sağlayan, az alan ve enerji ihtiyacı olan güvenilir ileri arıtma teknolojileridir.

Bu çalışmanın amacı, tekstil endüstrisi atıksularının membran proseslerle arıtılarak gerikazanımı ve proste yeniden kullanım olanaklarının ve ekonomik olarak uygulanabilirliğinin araştırılmasıdır. Bu amaçla, örnek bir tekstil fabrikası incelenerek fabrikanın üretim prosesleri, proses suyu özellikleri, atıksu karakterizasyonu, arıtma tesisi ve çıkış suyu özellikleri belirlenmiştir. Daha sonra UF ve RO'dan oluşan membran proseslerin kullanıldığı bir gerikazanım tesisi dizayn edilmiş ve piyasadan elde edilen bilgilere göre gerikazanım tesisinin maliyeti hesaplanmıştır. Fabrikanın proses suyu temin etme ve atıksuyu uzaklaştırma maliyeti ile gerikazanım tesisi su üretim maliyeti kıyaslanmıştır.

Önerilen geri kazanım tesisi, fizikokimyasal ve biyolojik atıksu arıtma tesisinden geçen $1000 \text{ m}^3/\text{gün}$ hacimli toplam atıksu için tasarlanmış olup, Kum filtresi, UF ve RO'dan meydana gelmektedir. Bu tesisin piyasadan elde edilen maliyet bilgilerine göre ilk yatırım ve işletme maliyetleri de gözönüne alınarak birim su üretim maliyeti $0,43 \text{ EURO}/\text{m}^3$ olarak bulunmuştur. Bunun yanında fabrikanın su elde etme ve atıksu uzaklaştırma birim maliyeti de $0,55 \text{ EURO}/\text{m}^3$ olarak hesaplanmıştır. Fayda/maliyet oranı 1,28 gibi 1'den büyük bir değer olarak bulunmuştur. Bütün bu değerlendirmeler geri kazanım sisteminin ekonomik açıdan cazip olduğunu göstermektedir.

Yapılan bu çalışmanın olumlu sonuçları düşünüldüğünde ve endüstriyel ölçekli tesislere uygulandığında gerek temizsu kullanımını büyük ölçüde azaltması gerekse atılan atıksu miktarını neredeyse yarıya indirmesi açısından teknik ve ekonomik olarak uygun olduğu görülmektedir.

RECOVERY AND REUSE OF TEXTILE INDUSTRY EFFLUENTS

SUMMARY

Wastewater recycling and reuse is particularly attractive for textile industries, which is one of the most important fields of the Turkish economy. The textile industry is a large user of water and its contaminant and toxic effluent discharges create many problems in terms of water quality protection.

In order to meet legislative requirements, textile wastewaters are usually treated in a physico-chemical and most commonly in an activated sludge plant. Instead, in order to have water that can be recycled in production cycles, water needs further treatments that advanced treatments. Membrane processes are the most promising advanced treatment methods for textile wastewater, dye and other important chemicals recovery and reuse.

The aim of this study, to investigate that recovery and reuse of textile industry wastewater in other processes by membrane processes and analysis the economical implementation. By this way, production processes, process water and wastewater characterization, wastewater treatment plant and effluent values of a sample textile factory were identified. Then, a recycling plant includes that UF and RO membrane processes was designed and calculate the cost of recycling plant according to consumption results. Between the cost of process water supply, wastewater discharge and recycling water production were matched.

Recycling plants suggested consist of sand filtration, UF and RO was designed for physico-chemical and biological wastewater treatment effluents that total wastewater (1000 m³/day volume). Considering the first investment and operating cost of the factory, the price of unit water production was found that 0,43 EURO/m³. Thus, the unit cost of water supply and wastewater discharge was calculated that 0,55 EURO/ m³. Profit / Cost value was found extremely like that 1,28. All of these values shows that recycling plant implementation is very attractive economically.

Considering the positive results of this study, the implementation of the technique on the industrial scale is considered technically and economically feasible, and it could reduce the freshwater drain and the wastewater discharge by half.

1. GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Anlam ve Önemi

Endüstri, modern toplumda ekonominin merkezidir ve zaruri bir büyüme motorudur. Gelişmekte olan ülkeler için, gelişme tabanlarını genişletip artan ihtiyaçları karşılamak şarttır. Bütün uluslar değişen ihtiyaçları karşılayabilmek için verimli bir endüstri tabanına ihtiyaç duyar ve onu elde etmeyi haklı olarak beklerler.

Endüstri doğal kaynak tabanından malzeme çekerken çevreye hem ürün hem de kirlilik verir. Endüstriyel faaliyetlerin olumsuz çevre etkileri başlangıçta hava, su ve toprak kirliliğinin yöresel sorunları olarak görülmüştür.

Endüstriyel faaliyet olduğu sürece kirlilikler ortaya çıkacaktır. Endüstriyel üretim kaçınılmaz olduğuna göre oluşacak zararlı etkilerin en aza indirilmesi için teknolojinin ve endüstri ürünlerinin çevreye daha uyumlu hale getirilmesi, üretim proseslerinin ıslahı, atık olarak çıkan birçok maddenin ve atıksuların geri kazanılması ve yeniden kullanılması, atıkların arıtma teknolojileriyle arıtıldıktan sonra çevreye verilmesi gibi önlemlere başvurulması gerekmektedir.

Çevre değerlerinin korunması ve kalkınmanın dengeli bir şekilde sürdürülebilmesi “sürdürülebilir kalkınma” kavramı ile ifade edilmektedir. Sürdürülebilir kalkınma, bugünün ihtiyaçlarını gelecek kuşakların da kendi ihtiyaçlarını karşılayabilme olanağından ödün vermeksizin karşılamaktır.

Endüstriyel kirlenmenin kontrolünde, yer seçiminin uygun yapılması, uygun teknoloji seçimi, işletmenin proses kaynaklı kirletici oluşumunu en az düzeyde tutacak şekilde ayarlanması, eski tesislerde verim arttırıcı ve kirlenmeyi minimize edici düzenlemelerin yapılması, çevreye zararlı hammaddelerin yerine daha az zararlı veya zararsız olanların kullanılması, atıksulardaki kimyasal maddelerin ve suyun geri kazanılarak değerlendirilmesi veya üretimde yeniden kullanılması daima arıtma tercihindenden önce gelmelidir.

Bu sayılanlar, kirlenmeyi azaltma teknolojileri olarak tanınırlar. Son yıllarda endüstriyel kirlenme kontrolünde kirlenmeyi azaltma, gerikazanım ve tekrar kullanım teknolojilerine yöneliş hızlandığı görülmektedir.

Endüstride ve tarımda artan su talebi 2025 yılında dünya nüfusunun yaklaşık 1/3'ünü şiddetli su kıtlığına maruz bırakacak ana unsur olmaktadır. Bununla birlikte pek çok kişi, gerikazanım tekniklerinin kullanımı aracılığıyla ve diğer kaynaklardan elde edilen gerikazanım sularını kullanarak endüstrinin taze temizsu kaynağı tüketiminin %40-90 arasında azaltılabileceğine inanmaktadır.

Türkiye, su potansiyeli açısından dünyadaki zengin ülkeler arasında yer almamakla beraber fakir de sayılamaz. Tekstil endüstrisi kirlilik yükü yüksek bir endüstri dalı olmakla birlikte ülkemiz bir tekstil ülkesidir ve bu endüstrinin halen Türkiye sanayiindeki payı %20'nin üzerindedir.

Ülkemizde de üretim proseslerinin ıslahı, suyun gerikazanımı ve tekrar kullanımına yönelik teknoloji değişikliği ile kirleticilerin kaynağında azaltılmasının kirlenme kontrolünü hem kolaylaştıracığı hem de maliyetini büyük ölçüde düşüreceği söylenebilir.

Türkiye' deki endüstri kuruluşları, kendi atıksu özelliklerine ve arıtma ihtiyaçlarına uygun arıtma teknolojisini seçmede müşavirlik hizmeti veren özel kuruluşlardan ve üniversitelerden gerekli desteği bulabilmektedirler. Halihazırda, atıksu arıtma teknolojileri oldukça gelişmiştir. Bir endüstri atıksuyunun standartlarla belirlenen düzeylere kadar arıtılabilmesi için fiziksel, kimyasal ve biyolojik prosesler veya bunların kombinezonlarına dayalı çok sayıda alternatif teknoloji bulmak mümkündür. Fakat ileri arıtım teknolojileri ve gerikazanım çalışmaları az sayıda olmakla birlikte uygulamaları henüz yaygınlaşmamıştır.

Türkiye'de Endüstriyel Kirlenme konusunda 1974 yılına kadar bir yasal düzenleme bulunmamaktadır. 1974 yılında 1380 sayılı Su Ürünleri Kanunu çerçevesinde endüstriler için deşarj standartları getirilmiştir. 1983 tarihli Çevre Kanununda endüstriyel kirlenme kontrolü, genel kirlenme kontrolü çerçevesinde belirli esaslara bağlanmıştır. Bunların dışında belediyelerce önarıtma standartları yürürlüğe konulmuştur. Bunların ilki İSKİ Atıksuların Kanala Deşarj Yönetmeliği'dir. Bu yönetmeliği İzmit ve Adana'da yürürlüğe giren önarıtma standartları izlemiştir.

Bu yasal zorunluluklarla birlikte yeryüzünde mevcut su kaynaklarının sınırlı olmasına paralel olarak endüstri için gerekli suyun teminindeki zorluklar ve/veya su maliyetinin yüksekliği, bir çok sanayiciyi atıksularını ileri derecede arıtarak tekrar kullanmaya yöneltmektedir.

Temizsu kaynaklarının tüketilmemesi, su maliyetinin yüksekliği ve teminindeki zorluklar ve atıksuların çevreye verdiği olumsuz etkilerin ortadan kaldırılmasının yanında kullanılan membran teknolojisinin de az enerjiye ihtiyaç göstermeside gerikazanım ve yeniden kullanımı cazip kılmaktadır.

Tekstil endüstrisi proses atıksuları içerdikleri boya maddeleri ve boya yardımcıları kimyasal maddelerinin kompleks yapısından dolayı genellikle toksik yapıda olup biyolojik olarak ayrışmaya karşı dirençli olduklarından konvansiyonel arıtma yöntemleri ile giderilememektedirler. Önemli çevresel problemlere neden olan tekstil atıksuları izin verilen deşarj standartlarını karşılamak üzere aktif çamur sistemlerinde arıtılırlar fakat arıtılan atıksular proseste tekrar kullanmak için uygun değildir. Suyun tekrar proseste kullanılması için ileri arıtma teknikleri ile arıtılmasına ihtiyaç olmaktadır.

Tekstil atıksuyu deşarj kriterlerinin sağlanabilmesi için gereklilik arzeden ileri arıtma yöntemleri ile hem atıksularının tamamen arıtımı yapılabilmekte hem de atıksu yeniden kullanıma uygun hale getirilmektedir .

Membran prosesler, atıksuyun arıtılarak tekrar proseste kullanılmasının yanısıra kullanılan kimyasal maddelerin gerikazanımı ve yeniden kullanımını sağlayan az alan ve enerji gereksinimine sahip, uygulanması kolay ve işletme maliyeti oldukça düşük olan ileri arıtım teknolojileridir.

1.2 Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Bu çalışmada tekstil atıksularının ileri arıtma yöntemleri ile arıtılarak proseste tekrar kullanmak üzere gerikazanımı ve ekonomik analizinin yapılması amaçlanmıştır. Teknolojideki gelişmelerle birlikte son yıllarda yaygın olarak kullanılan ve az enerjiye ihtiyaç duyan, diğer ileri arıtım tekniklerine göre de daha güvenilir ve ekonomik olarak da fizibl olan membran prosesler kullanılacaktır.

Tekstil endüstrisinin yüksek su ihtiyacı gözönünde bulundurularak, su ihtiyacının prosesler sonucu ortaya çıkan atıksuların ileri arıtım teknikleri ile arıtılarak karşılanması ve böylece sürekli bir gerikazanımın sağlanması; atıksu uzaklaştırma ve proses suyu elde etme için gerekli maliyetide ortadan kaldıracaktır.

Bu çalışmada konuyla ilgili olarak gerekli literatür çalışması yapıldıktan sonra endüstriyel atıksuların yeniden kullanım yöntemleri ve genel anlamda tekstil endüstrisi tanımlanmıştır. Daha sonra tekstil endüstrisi atıksularının arıtma teknolojileri araştırılmış özellikle membran proseslerin teorisi ve çevre mühendisliği açısından tekstil endüstrisindeki kullanımı araştırılarak dünyada yapılan gerikazanım uygulamalarından örnekler verilmiştir.

Boyama ve baskı yapan bir tekstil endüstrisi ele alınarak endüstrinin prosesleri, proseslerden çıkan atıksuyun karakterizasyon ve miktarı, proses suyu özellikleri incelenmiştir.

Fizikokimyasal ve biyolojik atıksu arıtma tesisinden çıkan atıksuyun proseslerde tekrar kullanılabilmesi için bir atıksu gerikazanım tesisi önerilmiş ve maliyet analizi yapılmıştır. Yapılan maliyet analizinde, atıksu gerikazanım tesisi maliyeti ile atıksuların kanala deşarj ve proses için gerekli su maliyeti kıyaslanmıştır.

İncelenen tesis için önerilen gerikazanım tesisi kum filtresi, UF (Ultrafiltrasyon), RO (Reverse Ozmoz) proseslerinden meydana gelmektedir. Yapılan çalışmada gerikazanım tesisinden çıkan suyun özellikleri ve tekrar proseste kullanılabilirliği araştırılacaktır.

2. ATIKSULARIN ENDÜSTRİLERDE YENİDEN KULLANIM YÖNTEMLERİ

2.1 Giriş

Su ihtiyacı ve deşarj standartlarındaki sınırlamalar birçok endüstriyi ihtiyaçları olan suyu gerikazanarak tekrar kullanıma yöneltmektedir.

Endüstriyel suların tekrar kullanımına etki eden başlıca faktörler suyun bulunabilirliği, endüstrinin deşarj standardı, su kalitesi ve miktarı, ekonomisi ve uygulanabilirliğidir. Endüstriler verimli üretim için gerekli kalite ve miktarda su kullanmak durumundadır.

Endüstriler için suyun gerikazanımı ve tekrar kullanımında dört ana sebep etkilidir;

- Suyun temini
- Atıksuların arıtımı ile yüzeysel veya yeraltı sularının kirlenmesinin önlenmesi
- Suyun gerikazanımı dolayısıyla su maliyetinin azaltılması
- Korozyonun azaltılması: doğal organik maddelerin suda bulunması borularda, buhar kazanlarında ve soğutma kulelerinde korozyona neden olmaktadır.

Endüstrilerde, tesis içinde yeniden kullanım şekilleri şöyle sıralanabilir (Marcucci ve diğ., 2001);

- Soğutma suyu gibi kirlenmemiş suların arıtılmadan diğer proseslerde kullanılması
- Bir prodesten çıkan atıksuyun arıtılarak başka prodeste kullanılması
- Yüksek kaliteli su kullanılan bir prodesten çıkan suyun daha düşük kaliteli su gerektiren bir prodeste kullanılması
- Proses atıksularının arıtılarak boya vs. kimyasal maddelerin tekrar kullanılması
- Toplam proses atıksularının arıtılarak tekrar diğer proseslerde kullanılması

Endüstrilerde suyun yeniden kullanım yöntemlerini 4 ana başlık altında toplamak mümkündür.

2.2 Soğutma Suyu Olarak Kullanılması

2.2.1 Soğutma Kuleleri

Soğutma kuleleri buharlaşan suyun yüksek sıcaklığından faydalanmak için dizayn edilmiştir. Örneğin buharlaşan bir damla su yaklaşık 10°F sıcaklığında 100 damla suyun düşmesine neden olur. Soğutma kulelerinde kuru hava aşağıdan verilerek kulenin tepesinden püskürtülen sıcak su ile temas eder ve suyun bir kısmını buharlaştırır. Soğutulan su damlaçıkları toplanarak geridevredilir.

Aslında soğutma kulelerinde kullanılan sular için yeniden kullanım öncesinde kireç ilavesi yapılmaktadır. Bu sudaki fosfatı azalttığı gibi sertlik ve silikalarıda azaltabilmektedir. Alkalinitenin kontrol altında tutulması gereklidir çünkü alkalinite kalsiyum karbonat sertliğine ve dolayısıyla çökelmelere, sıcaklık değişimlerine ve kulenin yapısına zarar verebilmektedir.

Soğutma kulelerinde su kalite problemlerinin yol açtığı sorunlar genel olarak şöyle sıralanabilir;

- Kazan çeperlerine yapışma, birikme (Ca, Mg, Silika): Kireç ilavesi karbonat sertliğini azaltır. Asit, alum ilavesi ve sodyum iyon değişimi yapılmalıdır.
- Metal korozyonu (TÇM çözeltilerin elektrik iletkenliğini artırır. Ayrıca Mn, Fe ve Al gibi metaller yüksek oksidasyon potansiyeli nedeniyle korozyona neden olur): Korozyon önleyici kimyasallar kullanılmalıdır.
- Biyolojik büyüme (N,P): Biyosid ilavesi yapılmalıdır.
- Isı transeri performansının düşmesi (biyolojik büyüme, askıda katılar, silt, korozyon ürünleri): Kimyasal çöktürme ve filtrasyon prosesleri uygulanmalıdır.

2.2.2 Soğutma Havuzları

Soğutma havuzları kapalı geridevir soğutma sistemi olarak kullanılabilir. Havuz dizaynında kritik parametre sıcak suyun soğutulması için gereken yüzey alanıdır.

Soğutma havuzlarının avantajları şunlardır;

- düşük ilk yatırım maliyeti
- yüksek depolama kapasitesi
- uzun periyotlarda suyun yenilenmemesine karşın çalışabilir olmasıdır.

Dezavantajları ise şöyle sıralanabilir;

- yeraltı suyu kirliliği içermesi
- geniş alan gereksinimi
- alg ve yosun içermesidir.

2.3 Proses Suyu Olarak Kullanılması

Endüstrilerde kullanılan proses suyunun kalitesi endüstriye göre değişim göstermektedir. Aynı endüstri içinde bile proses suyu kalitesinde yine prosesten prosese farklılık gösterir. Bu nedenle endüstrilerde kullanılan proses suyu özelliklerini genellemek mümkün olmamaktadır.

Endüstrilerde kullanılan suyun özelliği çeşitlilik gösterse bile proses suyu kalitesi için genel şartları tanımlamak mümkündür. Öncelikle atıksuyun ikinci kademe arıtım ve dezenfeksiyonu yapılmalıdır. Bu su bazı endüstriler için uygun kaliteye sahip olabilir fakat yinede yeniden kullanım için bazı kalite parametrelerde gerekli olabilir. Tablo 2.1’de bazı kalite parametreleri ve bunların arıtım teknikleri verilmiştir. Tablo 2.2’de çeşitli endüstriler için genelleştirilmiş atıksuların arıtım teknikleri verilmiştir.

Tekstil endüstrisinde kullanılacak suyun düşük bulanıklık, renk, Fe ve Mn değerlerinde olması gerekir. Sertlik, nitrit ve nitrat boyama prosesinde problemlere neden olmaktadır.

Tablo 2.1 Endüstriyel Suyun Yeniden Kullanım Kalite Parametreleri ve Potansiyel Arıtım Prosesleri

Parametre	Problemler	Arıtım yöntemleri
Kalıcı organikler	Bakteri çoğalması Buhar Kazanında köpük oluşumu	Nitifikasyon Karbon Adsorbsiyonu İyon değişimi
Amonyak	Serbest klor kalıntısı Bakır alaşımında korozyona sebep olması Mikrobiyal büyüme	Nitirifikasyon İyon değişimi
Fosfor	Mikrobiyal büyüme Kazan çeperine yapışma	Kimyasal çöktürme İyon değişimi Biyolojik fosfor giderimi
Askıda Katılar	Birikme Kazan çeperine yapışma	Filtrasyon
Ca, Mg, Fe ve Si	Kazan çeperine yapışma	Kimyasal çöktürme İyon değişimi

Tablo 2.2 Endüstrilerde Su Temini İçin Atıksu Arıtım Teknolojileri

Suyun kullanım amacı	Arıtım yöntemleri		
Endüstriyel su kullanımı	Nitrifikasyon	Kimyasal Çöktürme	Filtrasyon
Soğutma kuleleri	Genellikle	Evet	Evet
Direkt temas soğutma	Nadiren	Hayır	Bazen
Proses suyu	Evet	Evet	Evet
Buhar Kazanı besleme suyu	Evet	Evet	Evet
Yıkama suyu	Bazen	Nadiren	Evet
Sulama suyu	Hayır	Hayır	Genellikle

2.4 Buhar Kazanı Besi Suyu Olarak Kullanılması

Buhar kazanları besleme suyu soğutma kulelerindeki su kalite değerlerine yaklaşık fakat daha sıkı standartlara sahiptir. Buhar kazanı besleme suyu olarak kullanılması düşünülen sudaki sertliğin giderilmesi gerekmektedir. Ca ve Mg tuzları kazanın çeperlerinde birikmeler yolaçar. Suyun kazan besi suyu olarak kullanılmadan önce kimyasal çöktürme ve iyon değişimi proseslerinden geçirilmesi gerekmektedir. Kazan besi suyu için silikatlar ve alkalinite önemli parametrelerdir. Yüksek alkalinite köpürme ve sıcaklık değişimine yol açabilmektedir.

Besi suyundaki bikarbonat alkalinitesi korozyona neden olur. Ayrıca sudaki organikler köpürmeye neden olurlar ki buda karbon adsorbsiyonu ve iyon değişimi ile kontrol edilebilmektedir. İstanbul bölgesi için genel olarak istenilen buhar kazanı besi suyu özellikleri şöyledir;

Tablo 2.3 Buhar Kazanı Besi Suyu Özellikleri

Parametre	Değer
Toplam Sertlik	0.1 Fr sertliğinden az
Yağ miktarı	2 mg/l'den az
Oksijen	0.05 mg/l'den az
Toplam demir	0.05 mg/l'den az
Toplam Karbondioksit	20 mg/l'ten az
Silika	Olabildiğince düşük
pH	7.0 - 9.5 arası

2.5 Bahçe Sulama Suyu Olarak Kullanılması

Günümüzde bu yöntem hemen hemen bütün endüstrilerde tercih edilmektedir. Endüstrilerden çıkan atıksu fizikokimyasal ve biyolojik arıtmadan sonra çok katmanlı kum filtrelerinden geçirilmek suretiyle bahçe sulamada kullanılabilir. Böylece atıksu kirletici olarak doğaya verilmezken sulama için gerekli su maliyetide ortadan kaldırılmış olacaktır.

3. TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ATIKSULARININ GERİKAZANIMI İÇİN UYGULANABİLECEK ARITIM TEKNOLOJİLERİ

3.1 Ön Arıtma Yöntemleri

3.1.1. Tekstil Atıksularının Ayrılması ve Dengelenmesi

Tekstil endüstrisi, oldukça fazla su tüketimi yapan endüstrilerden biri olmakla birlikte özellikle boyama ve son işlemler proseslerinden çıkan atıksular, günden güne hatta kesikli boyama işlemleri dolayısıyla gün içerisinde de farklı karakterde olabilmektedir. Özellikle pH, renk ve KOİ konsantrasyonlarında değişim dolayısı ile atıksuların, uygulanacak arıtma metotlarına göre farklı akımlar ve prosesler olarak ayrılması ve debide, pH değerinde, sıcaklık ve kirletici yüklerindeki bu salınımı engellemek için dengeleme tanklarında depolanması gerekmektedir. Ayrıca, karıştırma ve havalandırma işlemleri ile kötü kokunun giderimi ve diğer kirletici yüklerinin de azaltılması sağlanmış olmaktadır.

3.1.2 Tekstil Atıksularının Nötralizasyonu

Kimyasal ve biyolojik arıtma sistemleri belli bir pH toleransına sahip oldukları için, pH salınımı arıtma tesisinde olumsuz etki yapmaktadır. Sonuçta pH ayarlaması yapmadan arıtma proseslerin devamı mümkün olmamaktadır. Suyun pH değerine göre asit veya baz ilavesi yapılmalıdır.

3.2 Kimyasal Arıtma Yöntemleri (Koagülasyon ve Flokülasyon)

Boyama tesislerinden çıkan renkli atıksu arıtımı için kimyasal koagülasyon, ön, son veya ana arıtma yöntemi olarak uygulanmaktadır. Kimyasal çöktürme ile askıda katı maddeleri, yağ ve gres, renk, krom ve organik maddeler arıtılabilmektedir. Tekstil

atıksularının kimyasal çöktürme prosesiyle arıtılması konvansiyonel, hızlı karıştırma, yumaklaştırma, çökeltme düzeninde gerçekleşmektedir. Başlıca kimyasal maddeler arasında $\text{Ca}(\text{OH})_2$, FeCl_3 , FeSO_4 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ve CaCl_2 yer almaktadır. Her koagülant için, maksimum çökelmenin gözlemlendiği pH değerinin yani optimum izoelektrik noktasının belirlenmesi gerekmektedir. Kimyasal çöktürme işleminin verimi büyük oranda çökeltme verimine bağlı olduğundan, yumaklaştırma yardımcısı olarak polielektrolit uygulaması yaygındır. Tekstil atıksularında uygulanan konvansiyonel arıtma yöntemleri içerisinde kimyasal çöktürme, atıksulardan rengin giderilmesi açısından ilk sıralarda yer almaktadır. Kimyasal çöktürme prosesi yoluyla dispers ve vat boyalar gibi çözünmüş olmayan boyaların neden olduğu renk kolaylıkla uzaklaştırılmaktadır. Reaktif boyalar ve bazı asidik boyaların flokülasyonu ancak % 20 arıtım verimi ile gerçekleştiği için yeterli renk giderimine ulaşılamamaktadır.

3.3 Biyolojik Arıtma Yöntemleri

Kimyasal koagülasyon ve biyolojik arıtma yöntemleri, ön arıtma proseslerini takiben, atıksu içerisinden toksik maddelerin eliminasyonu sağlandığı hallerde esas arıtma yöntemleridir (Vandevivere, ve diğ., 1998).

Biyolojik aktif çamur arıtma sistemleri, günümüzde en yaygın kullanım alanına sahip arıtma yöntemi olmakla beraber damlatmalı filtreler ile döner diskler de, tekstil atıksularının arıtımında yaygınlık kazanmaktadır; bu sistemlerin alan ve enerji gereksinimlerinin aktif çamur sistemine oranla daha düşük olması, önemli bir avantaj olarak nitelendirilmektedir. Biyolojik arıtım için yeterli azot ve fosforun atıksuda bulunmaması durumunda, diamonyum fosfat ve üre gibi ucuz kimyasal maddelerin ilavesiyle bu eksikliğin giderilmesi amaçlanmaktadır. Atıksu alkali karakterde ise, fosforik asit ilave edilebilmektedir.

3.3.1. Aerobik Aktif Çamur Sistemi

Tekstil atıksuyu ile evsel atıksu karıştırılarak arıtılsa bile konvansiyonel aktif çamur sistemlerinde etkili bir renk giderimine ulaşılamamaktadır. Ön çöktürme işlemi, çözünmeyen dispers ve vat boyaları iyi bir verimle arıtır iken, aktif çamur da adsorpsiyona dayalı olarak basık ve direkt boyaların orta halde arıtılmasını sağlamaktadır. Bununla beraber en yaygın kullanılan reaktif ve asit boyalar çok az

arıtılmaktadır. Diğer bir problem ise, Nocardia köpüklenmesi ve filamentli bakterilerden kaynaklanan kabarma olayıdır. Bu olayın kompleks yapısı tam olarak anlaşılamasa da yüksek konsantrasyonda nişasta ve yüzey maddeleri buna sebep olabilmektedir.

3.3.2. Ardışık Anaerobik – Aerobik Aktif Çamur Sistemi

Anaerobik ön arıtma, renk, organik halojenler, ve ağır metaller giderimine olumlu etki yapmaktadır. Yüksek renk konsantrasyonuna sahip atıksuların anaerobik arıtmayı takiben, aktif çamur sistemine beslenmesi ile % 90 KOİ ve % 96 renk giderimine ulaşılmıştır. Yağ ve deterjanlar gibi organikleri içeren kuvvetli yün yıkama atıksularında zayıf biyolojik ayrışabilir organikler de yüksek oranda giderilmektedir. Anaerobik / aerobik prosesleri takiben ileri arıtma yöntemleri, quartz yatak filtrasyonu ve UV strelizasyonu ile % 30-40 oranında yeniden kullanıma izin verilmektedir. Ayrıca köpük ve kabarma probleminin giderilmesi ile de daha iyi bir P giderimi ve düşük TAM konsantrasyonuna ulaşılmaktadır.

3.4 İleri Arıtma Yöntemleri

Tekstil endüstrisinde boya atıksularının arıtımında konvansiyonel biyolojik arıtma yöntemleri ile yeterli renk giderimine ulaşılamamakla birlikte, fizikokimyasal koagülasyon ve flokülasyon metotları da etkisiz kalmaktadır. Tekstil endüstrisinin üretiminde kullanılan boyaların, kimyasal özellikleri, molekül büyüklüğü ve yapılarının çeşitliliğinden dolayı biyolojik arıtma yöntemleri rengin giderilmesinde etkili olamamaktadır. Az sayıdaki uygulamanın dışında boyalar, aerobik koşullar altında biyolojik olarak ayrışmamaktadır, örneğin kuvvetli renge sahip atıksuların oluşumuna neden olan reaktif boyalar, reaksiyonlara katılmadan ve arıtma tesislerine giriş konsantrasyonları değişmeden biyolojik arıtma proseslerinden çıkmaktadır. Reaktif boyalar, diğer boya türlerine oranla suda çok daha fazla çözünmekte ve biyolojik ayrışabilirliklerinin az olması nedeniyle konvansiyonel aktif çamur tesislerinde çok zor arıtılabilmektedir. Bazik boyalar, neredeyse tamamıyla lif üzerinde tutulurken reaktif boyaların kullanımı halinde, boya konsantrasyonunun yaklaşık % 40'ı atıksuya taşınmaktadır. Bu durum, biyolojik arıtmayı ayrışmaksızın terk eden reaktif boyaların konsantrasyonunu arttırmaktadır (Gaehr ve diğ., 1994).

Sonuç olarak fizikokimyasal-biyolojik arıtma tesislerinde neredeyse hiç giderilemeyen tekstil boyalarının arıtımı için “İleri Arıtma Teknolojileri” geliştirilmiştir.

Aşağıda sıralanmış olan ileri arıtma teknolojileri ile atıksuyun tamamen renk içeriğinden ve kalıcı organiklerden arıtılabilirliği ve yeniden kullanım amaçlı uygulanabilirliği açıklanmaktadır.

3.4.1 Fenton Reaktanı

Son yıllarda farklı endüstriyel atıksuların arıtımında ve tekstil endüstrisinde dispers, asidik, basık, direkt ve reaktif boyaların etkili bir renk ve KOI giderimi için Fenton reaktanı kullanılmaktadır. Fenton prosesi ile Fe^{+2} iyonları Fe^{+3} iyonlarına okside olur iken, aynı anda H_2O_2 hidroksit iyonları ve hidroksil radikallerine ayrılır. Bu son ürünler, etkili bir organik madde oksidasyonu için kullanılmaktadırlar. Genellikle demirin çözünürlüğünü sağlamak amacı ile pH = 3-4 aralığında uygulanması tercih edilmektedir. Lin ve Peng (1995), tekstil atıksuyunun kimyasal çöktürme, Fenton ayırıcıları ve aktif çamurun ardışık olarak uygulanması ile çok iyi bir performansta arıtıldığını kanıtlamışlardır. Fenton reaktanı kullanımından sonra tam bir renk giderimi olur iken, aktif çamur sistemi ile de KOI son değerine ulaşılmaktadır. Ayrıca biyolojik arıtmayı takiben aktif karbon adsorbsiyonu ve Fenton proseslerinin kullanılması çözünmüş organik karbon ve KOI değerinde yüksek bir düşüşe sebep olmaktadır. Fenton prosesleri ile KOI, renk ve toksik maddelerin arıtımı gerçekleşmesine karşı kirleticilerin su içerisinden katı fazına atık taşınımı ile Fenton çamuru oluşmaktadır (Kuo, 1992). Çıkış suyu standartlarını sağlamak için kullanılan fiziksel kimyasal ve aktif çamur arıtımı, yeniden kullanım söz konusu olunca yetersiz kalmaktadır. Bu amaçla da boya moleküllerinin kromoforik gruplarını okside edebilme kapasitesine sahip Fenton prosesleri kullanılabilir (Collivinarelli ve Bertanza, 1996). Fenton reaktanı kullanımında yatırım ve işletme maliyetleri ile enerji tüketimi çok düşüktür fakat kimyasal tüketimi çok yüksektir.

3.4.2 Elektroliz

Bu yöntemde, Fe(OH)_2 oluşumu ile asit boyaların giderilmesi etkili bir şekilde gerçekleştirilmektedir. Bu proses çöktürülen demir üzerine sorpsiyon veya azo boyaların Fe(II) ortamında arilaminlere indirgenmesi ile olmaktadır. Laboratuvar ölçekli çalışmalarda % 80 renk giderimi sağlanmış ve pamuklu ve polyester boyama ile son işlemler atıksu çıkışlarına uygulanmıştır Koagülasyon, elektroliz ve aktif çamur sistemlerinin toplamı konvansiyonel yöntemlere göre daha ucuz ve daha etkili KOİ giderimine sahiptir (Bianchi ve Verstraete, 1998).

3.4.3 Fotokataliz

UV ışınları, H_2O_2 ve TiO_2 heterojen katalizörlerin birlikte kullanımı ile, boya çözeltilerinde renk giderimi üzerine çalışılmıştır. UV/ H_2O_2 prosesi çok yavaş, maliyetli ve tam ölçekli uygulamalarda UV/ TiO_2 prosesine göre daha az etkilidir. UV/ H_2O_2 prosesi dolayısıyla kısa reaksiyon sürelerinde etkili bir KOİ giderimine ulaşır iken çamur ve tuz oluşumu da olmamaktadır. UV geçirimsizliğinin belli boya çözeltilerinde limitleri olduğu için UV teknolojisinin en iyi kullanımının ozondan sonra son arıtım olduğu kanıtlanmıştır. Yalnızca rengin tamamen giderimi sağlanmaz iken, yaklaşık % 90 toplam organik karbon giderimine ulaşılmaktadır. Biyolojik arıtılmış tekstil endüstrisi çıkış suyuna uygulanan $\text{H}_2\text{O}_2/\text{TiO}_2/\text{Fe}^{3+}$ fotokatalitik oksidasyon prosesleri ile biyolojik arıtmaya ilave olarak % 97 KOİ giderimine ulaşılmaktadır (Balcıoğlu ve Arslan, 1997). UV/ H_2O_2 prosesi için yatırım maliyeti ve işletme maliyetleri yüksek olmakla birlikte kimyasal tüketimi çok düşük olsa da enerji tüketimi çok yüksektir .

3.4.4 Ozonlama

Ozonla kimyasal oksidasyon yöntemi ise, tekstil endüstrisi atıksularındaki rengin etkin bir şekilde giderimini sağlamaktadır (Porter ve diğ., 1972). Gaz formunda kullanıldığından atıksuyun hacmini arttırmama ve çamur meydana getirmeme, ozonun en önemli avantajları arasında yer almaktadır. Biyolojik olarak ayrışamayan, diğer bir deyimle refrakter maddelerle tepkimelere girmesi ozonun bir diğer önemli özelliğidir.

Bununla birlikte tekstil endüstrisi atıksularında ozonla kimyasal oksidasyon mekanizmasının uygulanması, KOİ gideriminden çok atıksulardan renk gidermeyi ve biyolojik ayrışabilirliği arttırmayı amaçlamaktadır. Reaktif boyaların ozonlanması, atıksuyun toplam organik karbon konsantrasyonunda belirgin bir düşüş yaratmamaktadır (Gaehr ve diğ., 1994). Özellikle asidik ve reaktif boyalarda, ozonla kimyasal oksidasyon aracılığıyla pH değerinden bağımsız olarak yüksek renk giderme verimlerine ulaşılmaktadır. Ozon, disperse boyalar ile suda çözünmeyen boyaların dışındaki boyaların renginin gideriminde çok etkindir. Kükürtlü, disperse, küp ve pigment boyalar ise reaktif boyalara oranla çok daha yavaş bir şekilde ozonla tepkimeye girmektedir. Ozon, çok kuvvetli tekstil atıksularının direkt arıtılması için yeterli olmadığı için, ozonun son arıtma işlemi olması yada kimyasal koagülasyonu takiben uygulanması önerilmektedir. Renk gideriminin yanı sıra ozonlama ile organik halojenler ve yüzey aktif maddelerinin de giderimi sağlanmaktadır. Tipik ozonlama ürünleri olan dikarboksilik asit ve aldehitler ile, düşük bir KOİ giderimi (% 0-20) ve BOİ konsantrasyonunda artış gözlenmektedir. Ozonlama işlemi, renk ve kalıcı organiklerin giderilmesi için son arıtma adımı olarak yaygın olarak kullanılmaktadır. Aldehit oluşumunu düşürmek için de flokülasyon ünitesi uygulanabilmektedir.

Ozon oksidasyon potansiyelinin yüksek olmasından dolayı diğer oksidanlara iyi bir alternatif olmakla beraber, uygun çevresel koşullar sağlandığı takdirde, çoğu bileşiği en yüksek oksidasyon kademesine çıkarabilmektedir. Fakat çok yavaş reaksiyon verebildiği veya reaksiyona giremediği organik maddeler de bulunmaktadır. Bu şartlar altında, kuvvetli bir oksidan olan hidroksil radikalinin oluşumuna yönelik UV/O₃, H₂O₂/O₃ ve H₂O₂/UV-C gibi ileri oksidasyon prosesleri geliştirilmiştir (Arslan ve diğ., 1999).

3.4.5 Adsorbsiyon

Biyolojik olarak ayrışamayan çözünmüş organik maddelerin giderimi için, adsorpsiyon kademesinden yararlanılmaktadır. En etkin adsorpsiyon maddesi, aktif karbondur. Aktif karbon adsorpsiyonu, renk gideriminde en verimli işlemlerden biridir. Aktif karbon ya bir son işlem olarak temel arıtma yöntemlerinden sonra bir yatak içerisinde uygulanmaktadır, ya da aktif çamur sisteminde havalandırma havuzuna ilave edilmektedir. Bir son işlem olarak uygulandığında, filtrasyondan

geçen sularda kalan artık organik maddeler ile renk giderimini sağlamaktadır; aktif çamur sistemine ilave edildiğinde ise, renk gideriminin yanında aktif çamurun organik madde giderme verimini de arttırmaktadır. Ancak bu maddenin pahalı oluşu, kullanımında geri kazanma yöntemlerine başvurulmasını gerektirmektedir.

Reaktif boyaların, inorganik adsorbanlar ile arıtılması ile ilgili referanslar bulunmaktadır. İnorganik adsorban olarak sentetik kil kullanılması halinde, aynı sıcaklık ve pH koşullarında aktif karbondan daha yüksek adsorpsiyon kapasitesine ulaşılmıştır (Lambert ve diğ., 1996). Biyolojik adsorbanlar olarak, mısır koçanı, pirinç kabuğu ve tahta gibi sorbentlerin kullanılmasının, asit boyalara göre bazik boya gideriminde daha etkili olduğu gözlenmiştir. Bazik boyalara olan bu çekimin sebebi, adsorbanın negatif yüzeyi ile boyanın pozitif yüklü iyonları arasındaki Coulombic etkileşimden kaynaklanmaktadır. Tekstil endüstrisinde, bazik boyaların kullanımı çok yaygın olmadığı için, biyolojik sorbanlar kullanarak renk giderimi sınırlı kalmaktadır. Tekstil boyama atıksularında bulunan reaktif boyaların giderimi için ise, en uygun adsorban olarak yüksek adsorpsiyon kapasitesine sahip olan aktif karbon adsorpsiyonudur. Sonuç olarak boya atıksularında etkili bir renk giderim yöntemi de Granüler Aktif Karbon adsorpsiyonudur (McKay ve diğ., 1985).

3.4.6 Adsorbsiyon ve Ozonun Birlikte Kullanılması

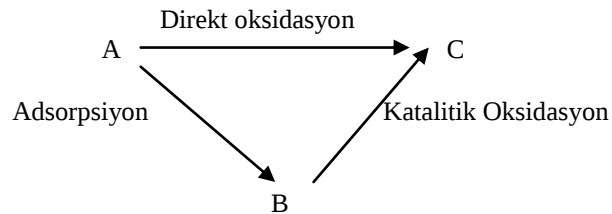
Ozonlama ve granüler aktif karbon adsorpsiyonu belirtildiği üzere etkili olmasına rağmen, bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Ozonlama prosesi, büyük yapılı boya moleküllerinin daha küçük organik moleküllere parçalanmasını sağladığından, etkili bir renk giderimi gerçekleşse de oluşan küçük moleküllu organik maddelerin varlığı KOİ gideriminde olumsuz etki yapmaktadır. Sonuçta arıtılmış olan atıksu, yasal deşarj standartlarını da sağlayamayabilmektedir. KOİ giderimi söz konusu olduğunda, GAK filtrasyonu, ozonlama prosesinden daha baskın bir metot olarak kullanılmaktadır. GAK kullanıldığı proseslerde çok kısa sürede doygunluğa ulaştığı için, rejenere edilmesi veya değiştirilmesi gerekmektedir. Kullanılmış olan granüler aktif karbonun iyileştirilmesi ve yeniden kullanılabilirliği avantaj olarak nitelendirilirken, rejenerasyon işlemleri için gerekli işletme maliyetleri GAK adsorpsiyonunu pahalı bir sistem haline dönüştürmektedir. Ayrıca, GAK adsorpsiyonu, kirleticilerin katı yüzeyinde birikimi esasına dayandığı için harcanan

yüksek miktarda adsorban ve rejenerasyon çözeltileri de zararlı atık olarak nitelendirilebilmektedir.

Ozonlama ve GAK adsorpsiyon metodlarının tek bir proseste toplanması iki sistemin dezavantajlarını gidermek için oldukça çekici bir alternatif olarak düşünülmektedir. Yapılan çalışmalar da, birleşik arıtım prosesinin tek başına ünitelerin sağlayamadığı verimi gerçekleştirdiğini kanıtlamıştır (Lin ve diğ., 2000).

Ozonun kirleticilerle reaksiyonları sonucu oluşan oksidasyon ürünleri ozon ile reaksiyona girmese de aktif karbon tarafından adsorplanabilir. Aynı zamanda ozonu bozundurarak radikal tipi reaksiyonların da önem kazanması, ozonun seçici bir oksidan olarak parçalayamadığı ara ürünleri parçalanmasını da sağlayabilir. İlaveten aktif karbon ve ozonlama prosesinin birlikte olması ile aktif karbonun yüzeyine adsorplanan kirleticileri ozonun parçalaması ile aktif karbonu rejenere etmesi beklenebilir. GAK'nun ozon ile şartlandırılması sonucunda yüzey özelliklerini geliştirmek ve GAK adsorpsiyonunun kapasitesinin ve yoğunluğunun değiştirilmesine çalışılmıştır.

Oksidasyon prosesleri sırasında su içerisinde çözünmüş halde bulunan kirleticiler oksijen iyonları ile doğrudan parçalanabilirler. Fakat ozon ve adsorpsiyonun birlikte kullanılması halinde, GAK hem adsorban hem de katalist görevi yapar. Aşağıdaki şekilde ozon ve GAK adsorpsiyonun birlikte kullanılması halinde kinetik mekanizması verilmektedir (Lin ve Lai, 2000).



Şekil 3.1 GAK'nun katalitik oksidasyonu

Şekil 3.1’de görüldüğü üzere A kirleticisi ozon ile direkt olarak oksidasyona girerek sıvı faz içerisinde son ürün C’ye dönüşmektedir (homojen reaksiyon). Ya da A kirleticisi adsorpsiyon ile B haline geçmektedir. GAK üzerinde adsorplanmış olan kirleticiler GAK yüzeyinde katalitik olarak son ürünlere okside olduktan sonra (heterojen reaksiyon) GAK yüzeyinden sıvı faza ayrılmaktadırlar (Lin ve diğ., 2000). Şekilde de görüldüğü gibi, katalitik ozonlama prosesi karmaşık bir yapıya sahip olduğundan prosesin modellenmesi için detaylı bir kinetik çalışma gerekmektedir.

Tablo 3.1’de tekstil atıksuyuna uygulanan farklı arıtma teknolojileri (genellikle ileri arıtma yöntemleri) uygulama alanları, avantaj ve dezavantajları (Bianchi ve diğ., 1998), Tablo 3.2’de ise proseslerin kirletici giderme verimleri verilmektedir (Kocaman ve diğ., 1998).

3.4.7 Membran Prosesler

Membran Prosesler 4. Bölüm’de ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

Tablo 3.1 Tekstil Atıklarının Arıtılması için Çeşitli Teknolojilerin Değerlendirilmesi (Bianchi ve diğ., 1998)

Proses	Uygulama Adımı	Uygulama Yeri	Performans	Dezavantajları
Fenton Oksidasyonu	Ön Arıtma	Güney Afrika'daki birçok tam ölçekli tesis	Tam renk giderimi, düşük maliyet ve işletme maliyeti	Asidik pH Çamur oluşumu
Elektroliz	Ön Arıtma	Pilot Ölçekli	Tam renk giderimi, ucuz	Köpüklenme
Filtrasyon	Ana veya son arıtma	Güney Afrika'da yaygın kullanım	Yüksek performans, su ve tuz geri kullanımı	Konsantre akımın ele alınması ve berterafı
Biyolojik Ayrışma Aktif Çamur	Ana arıtma	Geniş kullanım alanı	KOİ, N giderimi	Yüksek artan KOİ, N, renk ve deterjan
Sıralı Anaerobik Aerobik	Ana arıtma	Çok az raporlama	KOİ, renk ve toksiklerin daha iyi giderimi	Kalıcı KOİ ve renk
Koagülasyon, Flokülasyon	Ön, ana ve son arıtma	Geniş kullanım	Tam renk giderimi, suyun geri kullanımı	Her zaman etkili değil, çamur bertarafı
Ozonlama	Son Arıtma	Tam ölçekli	Tam renk giderimi, suyun geri kullanımı	Pahalı, aldehit oluşumu
Adsorpsiyon (karbon, kil, biyomass)	Ön ve son Arıtma	Laboratuvar veya tam ölçekli, adsorbent tipine bağlı olarak	Yeni adsorbentler etkili ve ucuz, su geri kullanımı	Yüksek berteraf veya rejenerasyon maliyeti
Fotokataliz	Son arıtma	Pilot ölçekli	Renk ve toksik giderimi	Sadece son arıtma amaçlı

Tablo 3.2 Arıtma sistemlerindeki proseslerin kirletici giderme verimleri (Kocaman ve diğ., 1998)

Arıtma Prosesi	BOI ₅	KOI	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	20-40	50-60	90-98	-
Biyolojik Arıtma					
Konvansiyonel aktif çamur ve çöktürme	70-95	50-70	85-95	0-15	-
Uzun havalandırmalı sistem ve çöktürme	70-94	50-70	85-95	0-15	-
Havalandırmalı lagün ve çöktürme	60-90	45-60	50-80	0-10	-
Aerobik Lagün	50-80	35-60	50-80	0-10	-
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	99	-	-
Ters Osmoz	95-99	90-95	95-98	-	-

4. MEMBRAN PROSESLER

Son yıllarda suyun gerikazanımı ve tekrar kullanılması ile ilgili çeşitli stratejiler geliştirilmiştir. Bu stratejiler sırasıyla;

- 1- Denizler, yüzeysel sular, yeraltısuları gibi kirlenmiş su kaynaklarının arıtılarak temizlenmesi ve iyileştirilmesi
- 2- Proses çıkış sularının arıtılarak gerikazanımı ve diğer bir proseste yeniden kullanımı
- 3- Ayırma tekniklerinin proseslere uyarlanarak atık veya enerjinin kullanımının azaltılması (Fane, ve diğ., 1996).

Membran teknolojisi, bu stratejilerden arıtım teknolojisi ve ayırma prosesinin bir parçası olarak uygulanmaya başlanmıştır (Fane ve diğ.,1996, Freeman, ve diğ ., 1995).

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

Boyahane atıklarının da yeniden kullanımı ters ozmos ile yapılırsa da bu sadece su için söz konusudur. Koagülasyon ve mikrofiltrasyon ise, membranın tıkanmasını engellemek için mutlaka gerekmektedir. Filtrasyon prosesleri, konsantre akımın uzaklaştırılması probleminden dolayı sınırlı bir uygulama alanına sahiptir.

Ozonlama ve membran nanofiltrasyonu ile yüksek renk konsantrasyonuna sahip boyalı atıksular arıtılmaktadır . Ayrıca mikrofiltrasyon, nanofiltrasyon ve ters ozmos membran proseslerinin ikincil arıtmadan çıkmış atıksulara uygulanması, maddi olarak ulaşılabilir özellikte olup yeniden kullanım standartlarını da sağlanmaktadır (Verstraete, 1998).

Membran, bazı bileşenlerin geçmesine izin verirken aynı zamanda diğerlerinin geçişine mani olan seçici bir engeldir. Membranlar bilhassa bir itici gücün etkisi altında çözücünün geçişine izin verirken aynı anda büyük moleküllü bileşikleri tutma özelliğine sahip olabilirler.

Membranların diğer sıradan filtrelerden farkı, partikülleri moleküler boyutlarına göre ayırma özelliğidir. Diğer ayırt edici özellik ise itici güçtür. Filtre için itici güç, filtre boyunca oluşan basınç farklılığı iken, membranlarda basınca ek olarak itici güç olarak konsantrasyon, elektriksel potansiyel ve sıcaklık gradyanları da etkilidir.

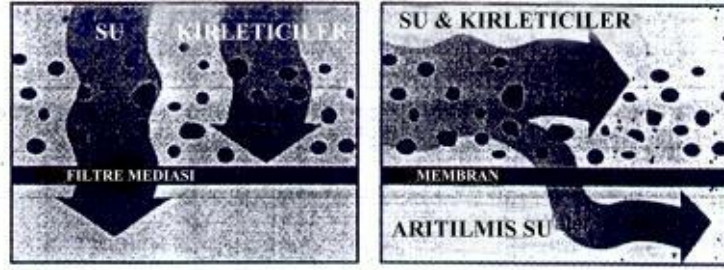
Şekil 4.2 su ve atıksu arıtımında kullanılan üç temel membran ayırma prosesinin gözenek boyutlarını göstermektedir. Bir membranın uzaklaştırma veya tutma karakteristikleri nominal gözenek boyutu veya moleküler ağırlık tutma (MWCO) bazında belirlenir. Mikrofiltrasyon (MF) membranlar gözenek boyutuna göre değerlendirilirler ve mikron (10^{-6} m) boyutundaki maddeleri sıvıdan uzaklaştırma özelliğine sahiptirler. Ultrafiltrasyon (UF) membranlar ise nanometre (10^{-9} m) veya daha büyük boyutlardaki maddeleri giderirler. Ters ozmoz (TO) veya “ hiperfiltrasyon “ membranlar sodyum, klorür, kalsiyum ve sülfat gibi iyon boyutundaki maddeleri küçük non-polar organik moleküller kadar iyi uzaklaştırma kabiliyetine sahiptir. Elektrodializ, pervaporasyon ve membran distilasyonu (membrane distillation) gibi diğer membran prosesler mikrofiltrasyon, ultrafiltrasyon ve ters ozmozdaki basınca karşılık itici güç olarak sırasıyla elektriksel potansiyel, konsantrasyon veya sıcaklık gradyanını kullanırlar.

Membran proseslerin daha iyi anlaşılabilmesi için filtrasyon mekanizmasının iyi anlaşılması gerekmektedir.

4.1 Filtrasyon

4.1.1 Filtrasyon Çeşitleri

Su arıtımında en yaygın olan filtrasyon çeşidi "klasik" filtrasyon olarak tanımlanabilen ve giren suyun tümünün içerdiği kirleticilerden arıtılarak daha kaliteli bir hale getirildiği bir filtre ortamından (media) geçtiği filtrasyon metodudur (Bkz. Şekil 4.1). Kaba ızgaralar, kum filtreleri, çok katmanlı (multi-media) filtreler, torba filtreler ve kartuş filtreler 0.1 mikrona (0.1 milimetrenin binde biri) kadar partikülleri giderecek şekilde yukarıda tanımlanan prensiple çalışan filtrelerle örnektir.



Şekil 4.1 Filtrasyon Sistemleri Şematik Gösterimi

Normal filtrasyonda (solda), suyun tümü bir filtre ortamından geçer. Çapraz akış filtrasyonda (sağda), giren suyun bir kısmı kirleticileri uzaklaştırmak için kullanılır.

Filtre mediası kirletici yükü ile tıkanıldığında, çok katmanlı filtrelerde olduğu gibi ters yıkama ile temizlenebilir veya kartuş filtrelerde söz konusu olduğu gibi atılarak yenisi ile değiştirilebilir. Filtrasyon ortamının temizlenmesinin ne şekilde olacağı maliyet ve atık uzaklaştırma hususları dikkate alınarak belirlenir.

0.1 mikrondan daha küçük boyuttaki partiküllerin giderilmesini sağlayabilen az sayıda metot olmasına rağmen, günümüzde en yaygın olan metot bir membran elemanı şeklinde paketlenmiş olan polimerik membrandır. Membranın birim metrekare alanında bulunan milyonlarca küçük gözenek suyun geçişine izin verirken istenmeyen maddeler membranın giriş tarafında tutulur.

Bu açıdan çapraz akış filtrasyonu "klasik" filtrasyona benzer niteliktedir ancak mekanik, kimyasal ve ekonomik faktörler nedeniyle membranların normal filtreler gibi çalışabilmesi mümkün değildir.

Polimerik membran aslında bir destek tabakası üzerine kaplanmış durumdadır. Membrandan geçen su akışını tersine çevirmek membranın destek tabakasından ayrılmasına veya membranın yapıştırılmış olan kenarlarının açılmasına neden olabilir.

İkinci olarak, katı maddelerin çökmesi nedeniyle kirleticilerin sürekli olarak membran yüzeyinde birikmesi su geçişini sınırlandırır ve kirleticilerin giderimini engeller. Son olarak, membranların sıkça değiştirilmesi kum veya kartuş filtrelere nazaran çok daha yüksek maliyetli olmalarından dolayı ekonomik ve pratik değildir.

Bunların çözümü, membranları çapraz akış durumunda çalıştırmaktır. Bu sayede, tutulan kirleticiler sürekli olarak membranın yüzeyinden uzaklaştırılarak, yeni gelen maddelerin giderilmesine ve saflaştırılan suyun serbestçe geçebilmesine olanak sağlayacak şekilde membran yüzeyi temizlenmiş olur. Membranın periyodik olarak temizlenmesi gerekli olmakla birlikte, çapraz akış filtrasyonun kendi kendini temizleyen doğası, membranın ömrünü onun ekonomik olarak uygulanabilir bir metot olmasına olanak sağlayacak kadar uzatır.

Çapraz akış uygulamaları genel olarak üç ayrı kategoriye ayrılır; ultrafiltrasyon (UF), nanofiltrasyon (NF) ve genel tanımıyla ters ozmoz. Bunlardan en yaygın olarak kullanılanı, suda çözünmüş iyonları yüksek oranda giderme kabiliyetine sahip olan ters ozmoz prosesidir.

4.1.1.1 İşletme Prensipleri

Çapraz akış prosesi, membran elemanları ve kılıfları, bağlantı borulaması, pompalar, ön filtreler, işletme için zorunlu olan kontrol ve enstrümanlardan oluşan bir makine tarafından gerçekleştirilir.

Membran maliyeti toplamının bir ters ozmoz veya UF cihazının maliyetinin %15-40 arasında değişen bir oranına tekabül etmesinden dolayı ve membranların periyodik olarak değiştirilmesi gerekli olduğundan, membran seçiminin dikkatli olarak yapılması zorunludur. Pek çok membran tipi mevcuttur ve her biri kendine has niteliklere sahiptir. Membran seçiminde kimyasal maddelere toleransı, mekanik uygunluk, yıkanabilirlik, kirleticileri giderme performansı, akış performansı ve maliyeti dikkate alınmalıdır.

Diğer mekanik cihazlarda olduğu gibi, çapraz akış filtrasyon cihazları da tasarım ve kullanılan malzeme birbirini tam olarak karşıladığında en verimli şekilde çalışabilir. Doğru membran seçildikten sonra, uygun çapraz akış değerleri, basınçları ve ürün suyu verimlerini temin eden bir dizayn yapılması gereklidir. İyi bir dizayn neticesinde istikrarlı bir performansa sahip, daha az sıklıkta membran temizlenmesi veya değiştirilmesini gerektiren, makul miktarlarda enerji tüketen ve asgari seviyede işletme takibine ihtiyaç gösteren bir cihaz ortaya çıkacaktır.

Bu hususların çoğunun gerçekleşmesi, aynı zamanda çapraz akış ünitesinin giriş suyunun bir ön arıtıma tabi tutulması ile mümkün olabilir. Membran arıtımı öncesine suyu uygun şekilde şartlandırarak ekipmana yapılacak yatırım, toplam maliyete oranla çok düşük kalmakla birlikte sağlayacağı yüksek fayda nedeniyle oldukça önemli bir yatırım olacaktır.

Girişte 5 mikrona kadar sudaki çözünemeyen maddeleri sudan ayırmaya yönelik olarak kartuş veya torba filtre kullanılması bir zorunluluktur. Aynı zamanda bulanıklığı giderecek ve demir, mangan gibi okside olmuş metalleri filtre edebilecek çok katmanlı filtrelerin kullanımı çoğu zaman faydalıdır, benzer şekilde tuzları çözünür halde tutmak için asit ve antiskalant veya biyolojik üreme sonucu oluşacak tıkanmayı (biofouling) engellemek için biyosid dozlanması amacıyla dozaj pompalarının kullanılması gereklidir. Giriş suyunun niteliğine bağlı olarak, çöktürme tankları veya aktif karbon filtreler gibi ön arıtma ünitelerinin kullanımı da söz konusu olabilir.

İyi bir ön arıtma ile, bir çapraz akış cihazındaki membran öngörülenden daha fazla bir işletme yükü getirmeyecektir. Bunun sonucu optimum performans ve en düşük birim maliyet olarak ortaya çıkacaktır.

Çapraz akış filtrasyonu, özellikle 0.1 mikrondan daha küçük boyuta sahip çözünmüş safsızlıkların gideriminde benzersiz bir filtrasyon ve saflaştırma kabiliyetine sahiptir. Çapraz akış prosesi sürekli olarak membran yüzeyini süpürerek tutulan safsızlıkların birikmesini engelleyerek membran filtrasyon proseslerini maliyet etkin kılmaktadır. Başarılı bir işletme, iyi membran seçimine, cihaz dizaynına ve ön arıtmaya dayalıdır.

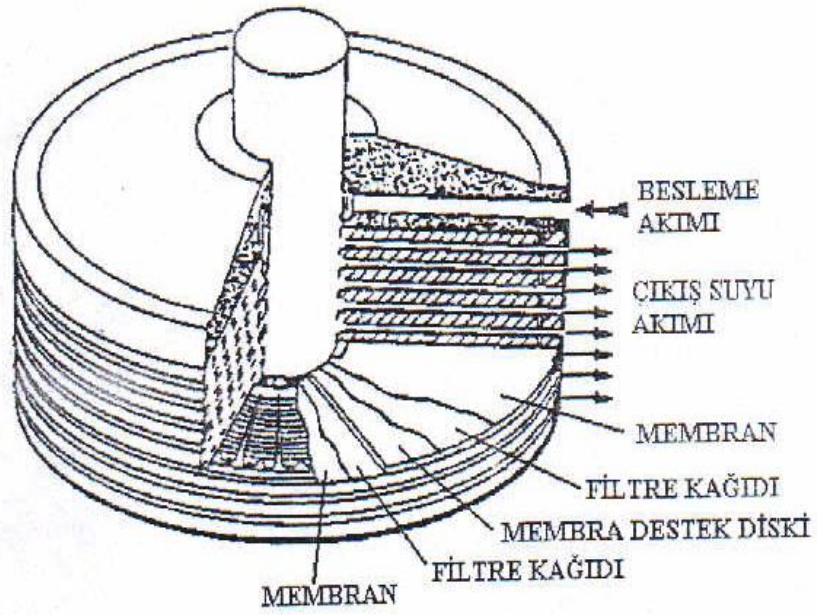
4.2 Membran Konfigürasyonu

4.2.1 Düzlem ve Çerçeve Membranlar

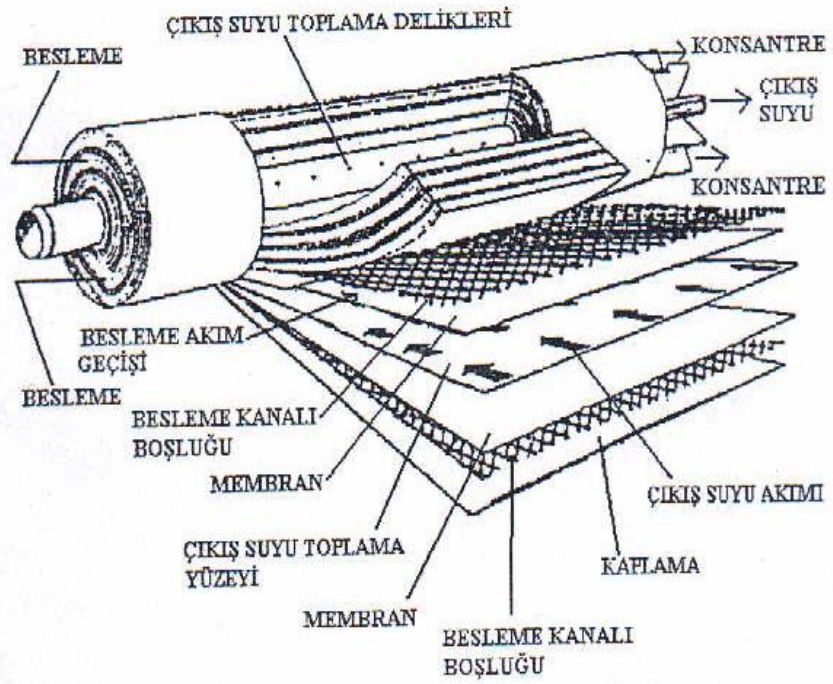
İlk üretilen ayırıcılar düz tabaka halindeki membran malzemenin mevcudiyetinden faydalanılarak üretilen düzlem ve çerçeve membranlarıdır. Kullanımı, içerdği yüksek maliyete karşı avantajlarının daha ağır bastığı zorlu proses uygulamalarıyla sınırlandırılmış olduğu halde bugün hala başarıyla kullanılmaktadır.(Şekil 4.3)

4.2.2 Spiral Membranlar

Bu tip membran elemanı düzlem ve çerçeve sistemlerin yüksek maliyetini gidermek için geliştirilmiştir ve boru şeklinde basınçlı bir kanal içine yerleştirilir. Bu sistem ayrıca enerji ve yer tasarrufu da sağlar. Montaj edilmiş halleri modül olarak bilinir. Bu membranlar 100mm, 150mm ve 200mm' lik iç çapa sahip kanallar şeklinde standart boyutlarda yapılırlar.(Şekil 4.4)



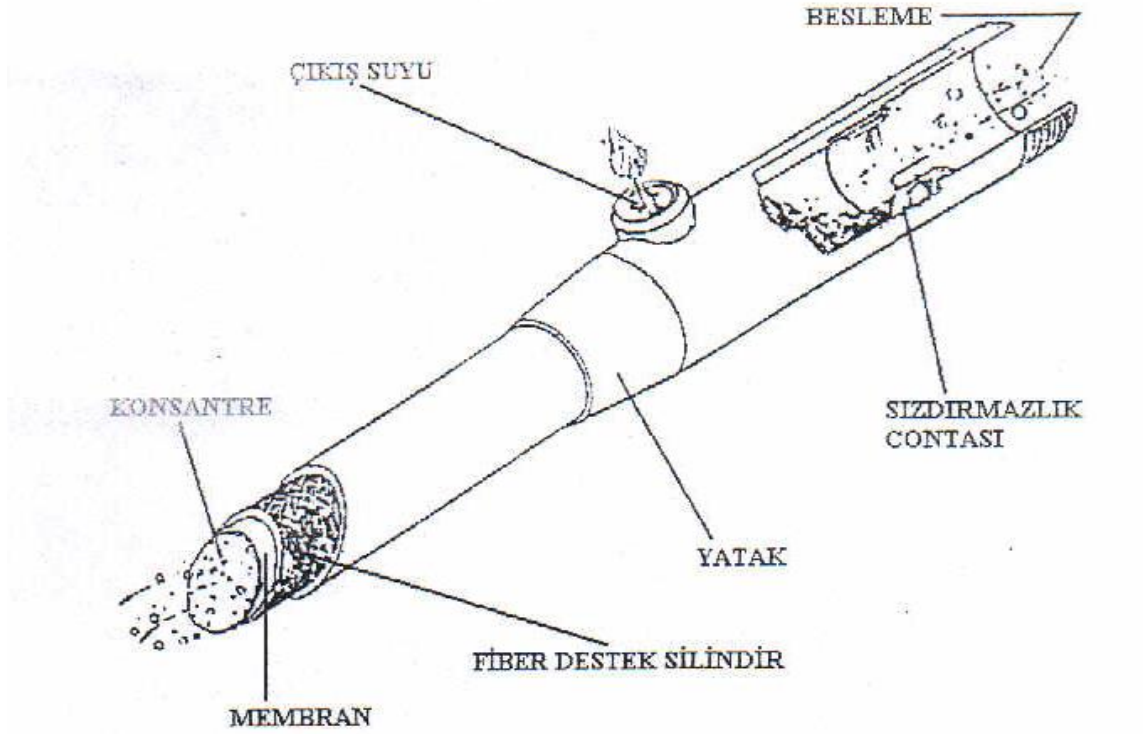
Şekil 4.3 Düzlem ve Çerçeve Membran



Şekil 4.4 Spiral Membran

4.2.3 Silindir Membranlar

Ultrafiltrasyonun ilk dönemlerinde geliştirilmiş sistemlerdir. Yüksek miktarda askıda katı madde tolerans kabiliyetinin önemli olduğu bir takım alanlarda uygulanma imkanı bulmuştur. Polimerik silindir membranlar dokunmamış kumaş ve cam katkılı plastik gibi gözenekli destek malzemesi üzerine tespit edilirler. Buna karşılık inorganik silindir bir desteğe ihtiyaç göstermezler.(Şekil 4.5)



Şekil 4.5 Silindir Membran

ULTRAFİLTRASYON	TERS OZMOZ	MİKROFİLTRASYON
Zorlu kollidal sularda işletilir.	Kolloidlerin en yaygın ön arıtımına ihtiyaç gösterir.	Yüksek yenileme masrafına sebep olacak şekilde kolloidlerce hızla tıkanır
Düşük basınçta işletme (2 – 6 bar)	Yüksek basınçta işletme (10 – 30 bar)	Düşük basınçta işletme (2 – 4 bar)
Az enerji gereksinimi	Yüksek enerji gereksinimi	Az enerji gereksinimi
Yüksek geri kazanma (% 95' e kadar)	Düşük geri kazanma (% 50 –80)	% 100 geri kazanma
Kimyasal tolerans PH 1 –13	Kimyasal tolerans pH 2-11	Kimyasal tolerans pH 1-13
Yüksek sıcaklıkta işletme 80°C	Maksimum 45 ⁰ C' de işletme	Yüksek sıcaklıkta işletme
Oksidantlara karşı dayanıklı	Oksidantlara karşı dayanıklılığı sınırlı	Oksidantlara karşı dayanıklı
Buharla sterilizasyon edilebilir membranlar mümkün	Buharla sterilizasyon mümkün değil	Buharla sterilizasyon edilebilir membranlar mümkün
Hijyenik modül dizaynı mümkün	Hijyenik modül dizaynı mümkün değil	Hijyenik modül dizaynı mümkün

4.2.4 İçi Boş Elyaf Membranlar

Bu membranlar birim hacimdeki filtrasyon alanını arttırmak amacıyla geliştirilmişlerdir. İçi boş elyafın iç yüzeyi aktif membran yüzeye sahip düz tabakaya benzer bir yapı gösterir (Şekil 4.6). Hem iç hem de dış yüzeyinde membran tabakası bulunan içi boş elyaf membranlar da mevcuttur. Bu membranların desteğe ihtiyaçları yoktur ve geri yıkamayla temizlenebilirler. Su ve atıksu arıtımında tercih edilen bir teknik olup baştan sona maliyetin düşük olması nedeniyle pek çok uygulama alanı bulmaktadır.

4.3 Membran Prosesler

4.3.1 Membran Özellikleri

1950' lerin sonunda Leob ve Sourirajen tarafından membran hazırlamada gerçekleştirilen hamle ultrafiltrasyonun uygulanabilir bir proses olmasının önünü açtı. Ters ozmozda selüloz asetatın hakim oluşuna karşılık ultrafiltrasyon membran olarak çok çeşitli sentetik polimerler kullanılmaktadır. Çoğu kuru tutulabilir, organik çözücüye karşı direnci yüksek ve sıcaklık ve pH'ya hassasiyeti düşük olan membranlardır. Polisülfon, selüloz asetat, poliamid veya polikarbonat gibi organik polimerlerden yapılan membranlar en yaygın kullanılanlardır ve tutma karakteristikleri ve modül dizaynında en yüksek esnekliği (uygulanabilirliği) sağlarlar. Aynı polimer çeşitli hazırlama yöntemleri uygulanarak farklı gözenek boyutuna sahip membranların yapımında kullanılabilir. Farklı membran yapıları yapıldıkları materyal ve moleküler ağırlık tutma değerleriyle birlikte Tablo 4.3'te verilmiştir. Moleküler ağırlık tutma, proses veriminin bir ölçüsü olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte şekil, boyut ve uygulanabilirlik (esneklik) de önemli parametrelerdir.

Membran yıkama işleminde kirliliğin kaynağına bağlı olarak farklı kimyasallar etkili olmaktadır (Tablo 4.2).

Tablo 4.2 Tıkanma Türüne Göre Membranlarda Kullanılan Kimyasallar

Kullanılan kimyasal	Temin şekli	Yıkama solüsyonu yüzdesi (ağırlıkça)	Tıkanma türü
Sitrik asit	% 98'lik toz formda	%2	Karbonat ve bikarbonattan ileri gelen kireç oluşumu Metaloksit tıkanması
Na-EDTA	%98'lik toz formda	%2	Silika oluşumu Biyofilm oluşumu
NaOH	%50'lik sıvı formda	%0.1	İnorganik kolloidal tıkanma (Silt)

Tablo 4.3 UF Membran Malzemeleri Ve Özellikleri

Membran Yapısı	Materyal	MWCO
İçi boş elyaf	Polisülfon	6 000
İçi boş elyaf	Polisülfon	10 000
İçi boş elyaf	Polisülfon	20 000
İçi boş elyaf	Polisülfon	100 000
İçi boş elyaf	Poliakrilonitril	13 000
İçi boş elyaf	Poliakrilonitril	80 000
İçi boş elyaf	Poliamid	10 000
İçi boş elyaf	Poliamid	50 000
İçi boş elyaf	Fluoropolimer	200 000
Spiral	Poliakrilonitril	10 000
Spiral	Poliakrilonitril	20 000
Spiral	Polisülfon	3 000 – 100 000
Spiral	Polimer Organik	-
Spiral	İnce Kompozit Film	1 000 – 15 000
Spiral	Polieter Sülfon	4 000 – 200 000
Spiral	Poliolefin	20 000
Spiral	Kompozit	20 000
Spiral	Fluoropolimer	10 000 – 200 000
Spiral	Polivinilidin Florür	10 000 – 200 000
Düzlem ve çerçeve	Polivinilidin Florür	4 000 – 200 000
Düzlem ve çerçeve	Polieter Sülfon	4 000 – 200 000
Düzlem ve çerçeve	Polisülfon	3 000 – 200 000
Düzlem ve çerçeve	Poliakrilonitril	4 000 – 200 000
Düzlem ve çerçeve	Selüloz Triasetat	20 000
Silindirik	Polisülfon	4 000 – 200 000
Silindirik	Poliolefin	20 000
Silindirik	Polieter Sülfon	4 000 – 200 000
Silindirik	Kompozit	20 000
Silindirik	Zirkonyum Oksit	10 000 – 80 000
Silindirik	Polivinilidin Florür	4 000 – 200 000
Silindirik	Poliakrilonitril	4 000 – 400 000

4.3.2 Mikrofiltrasyon

0.1-2 micron arası partiküllerin arıtılmasında kullanılır. Bu yöntemle askıda maddeler, büyük kolloidler arıtılırken çözünmüş maddeler arıtılmazlar. Uygulamada karşılaşılan en büyük sorun yüksek yenileme masrafına sebep olacak şekilde kolloidlerce hızla tıkanması ve dolayısıyla zamanla akıda meydana gelen azalmadır. Çözelti içerisinde bulunan kolloidler zamanla gözenek içinde ve membran yüzeyinde birikerek konsantrasyon polarizasyonuna ve tıkanmaya neden olmaktadır. MF, UF ve RO'ya göre daha düşük basınçta (2 – 4 bar) işletilmektedir. Geniş bir pH aralığında (1- 13) ve yüksek sıcaklıkta çalışmaya uygun olup oksidantlara karşı da dirençlidir (Hydranautics).

Tıkanma ve konsantrasyon polarizasyonunu önlemek için yapılacak çalışmanın başında membrandaki akış modunun incelenmesi ve uygun akış modunun belirlenmesi gerekir. Ayrıca membran modülü de periyodik aralıklarla temizlenmelidir.

4.3.3 Ultrafiltrasyon

Ultrafiltrasyon yüksek molekül ağırlığına sahip çözünmüş maddeleri, kolloidleri, mikroorganizmaları ve askıda katı maddeleri sıvılardan uzaklaştırma özelliğine sahip düşük basınçta çalışan bir membran ayırma prosesidir. 20-1000 Angstrom büyüklüğündeki partiküllerin arıtılmasını sağlar. Suda bulunan çözünmüş tuzlar bu yöntemle arıtılamaz. MF'e göre virüs ve patojenleri daha iyi giderme verimine sahiptir. Ultrafiltrasyon membranlar giardia, cryptosporidium ve diğer mikroorganizmaların gideriminde etkilidir. Yüzeysel suların ve atıksuların arıtımında kullanılabildiği gibi RO'dan önce bir ön arıtım ünitesi olarak kullanılabilir. İçme suyu uygulamalarında, yeraltı suyu ve su geri kazanımında ön arıtım ünitesi olarak görev yapar. Tuzluluk giderimi, atıksu ve endüstriyel amaçlı su arıtımında RO ve NF'un önünde ön arıtım olarak yer alır.

Başlıca uygulama alanları; içme suyu üretimi, RO ve NF için ön arıtım sistemi olarak, evsel atıksuların geri kazanımı ve endüstriyel atıksu geri kazanımı olarak sıralanabilmektedir (Hydranautics).

Avantajları:

- 0.1 mikrondan büyük kolloidlerin %100 giderimini sağlar.
- Ön arıtmada kullanılan kimyasal gereksinimini büyük ölçüde azaltır.
- RO'dan önce kullanıldığında RO'da meydana gelebilecek tıkanma gibi problemleri önler ve performansını arttırarak işletme maliyetini düşürür.
- Düşük basınçta besleme ve geri yıkama yapılır.
- Klor, peroksite karşı dayanıklı ve geniş pH aralığında etkili
- Bakteri ve virüs giderimi yüksek ve bulanıklığı < 0.06 NTU'ya indirir.

Giren su fiber içinden geçer filtre edilmiş su merkezde bulunan delikli borulardan toplanır. Geri yıkamada ise yıkama suyu merkezde bulunan borudan fibere doğru verilerek drenajdan atılır.

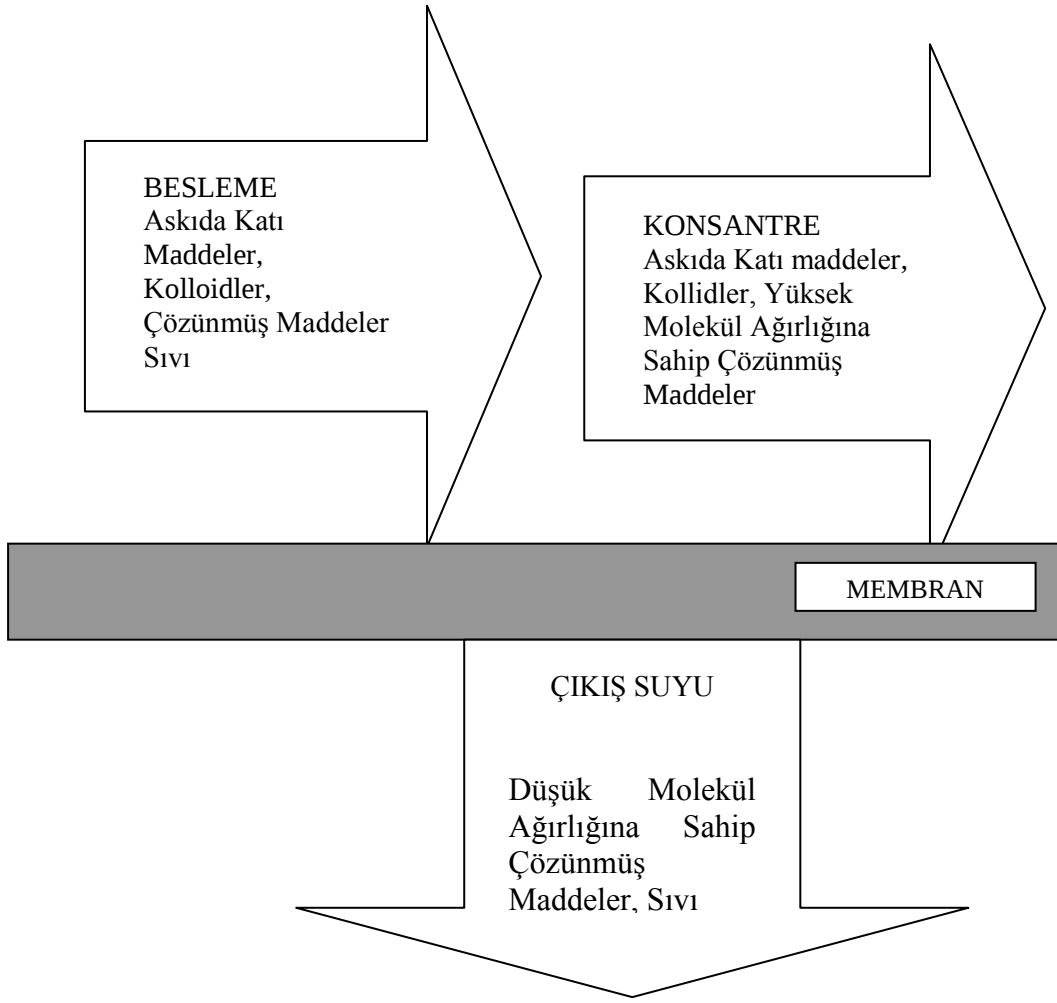
Tablo 4.4 UF Uygulama Bilgileri (Hyranautics)

	Birim	Değer
Tipik filtre akış hızı	$l/m^2/hr$	59-145
Debi aralığı	gpm	5-30
pH aralığı		2-13
Klor toleransı	ppm	100*
Hidrojen peroksit toleransı	ppm	200*
Basınç aralığı	psig (kPa):	4 –22 (27-152)
Maximum bulanıklık	NTU	15
Çalışma prensibi		Çapraz akışlı, geri yıkanabilir
Max. İşletme sıcaklığı	°F (°C)	104° (40°)
Max. besleme basıncı	Psig (bar)	73 (5)

*5 dakika veya daha az

Tablo 4.5 UF Tipik Proses Koşulları (Hyranautics)

İşletme basıncı	4 –22 psig (27-152 kPa)
Geri yıkama basıncı	35 psig (242 kPa)
Geri yıkama akış hızı	298-340 $l/m^2/hr$
Geri yıkama sıklığı	15- 60 dk'da bir
Geri yıkama süresi	30- 60 sn
Kiyasalla geri yıkama sıklığı	Max. 15-60 dk Min. günde 1-2 kez
Kiyasalla geri yıkama süresi	1 –10 dk
Dezenfeksiyon kimyasalları	NaOCl (Hipoklorit) H_2O_2 (Hidrojen peroksit)
Temizleme sıklığı	1- 2 ayda bir
Temizleme kimyasalları	NaOCl, NaOH, Sitrik asit



Şekil 4.6 Ultrafiltrasyon Prosesi Diyagramı

Ultrafiltrasyon klasik filtrasyondaki dik akımın tersine sıvının membran yüzeyinden ters akışla geçmesiyle çalışır. Bu ters akış membran yüzeyinde filtre keki oluşumuna mani olarak filtrasyon miktarının muhafazasına yardımcı olur. (Şekil 4.6)

Dizayn Esasları

Membran değiştirme maliyeti gibi membranlara yatırılan sermayeyi minimize etmek için olabildiğince yüksek akı elde edebilecek şekilde membranların işletilmesi tercih edilir. Başka bir deyişle herhangi bir ters akış filtrasyon prosesi dizaynındaki esas kriter, elde edilen çıkış suyu (akı) hacmine karşılık sisteme verilen minimum enerji miktarıdır. Tercih edilen özellikler:

- i. Yüksek akı
- ii. Geri yıkanabilirlik
- iii. Yüksek teğetsel hızları muhafaza ederken düşük basınç azalması sağlayan yüksek membran alanı / hacim oranı
- iv. Kolay kurulabilme ve minimum idareyle sürekli işletme
- v. Düşük işletme basıncı
- vi. Bakım kolaylığı ve basit membran değişimi
- vii. Düşük enerji tüketimi
- viii. Nispeten düşük maliyet

Bir membranın proses dizaynında esasen önemli olan atıksu akımını artırmak için gerekli olan toplam membran alanının bulunmasıdır. Bunun için membran akısı (J) veya çıkış suyu akım miktarı tanımlanmalıdır. Daha sonra membran alanı şu bağıntıyla hesaplanabilir:

$$A = Q / J$$

A = Gerekli toplam membran alanı

J = Ortalama membran akısı

Q = Giriş debisi

Değişik sistemler için ayrılan dizayn hesapları tüm membran uygulamaları için optimum olan bir ekipman ve dizayn olmadığını göstermiştir. Optimum proses dizaynının temelini oluşturmak için ilgilenilen spesifik ayırma ait akı ve proses verimi hakkında bilgi edinmek amacıyla pilot- tesis kurulması gereklidir.

4.3.4 Nanofiltrasyon

Fonksiyon dağılımı bakımından ultrafiltrasyon ile ters ozmos arasında bulunmaktadır. Daha yoğun ve ince olmasından dolayı daha az geçirgen olan membran tabakasının göstermiş olduğu dirençten dolayı, MF ve UF'dan daha büyük, fakat RO'dan daha düşük (10–20 bar) basınçta çalışmaktadır. Nanofiltrasyon membranları RO'dan farklı olarak daha büyük gözenek yapısına sahiptir. Bu membranlarda Na^+ , Cl^- gibi tek değerlikli iyonların tutulma oranı düşük iken, Ca^{+2} , CO_2^{-2} gibi çok değerlikli iyonların tutulma tutulma oranları oldukça yüksektir. Tablo 4.6'da NF ile RO membranlarının tutma kapasitesi karşılaştırılmıştır.

Tablo 4.6 NF ile RO Membranların Tutma Kapasitesi Kıyaslaması (Mulder,1996).

Çözünen madde	RO	NF
Tek değerlikli iyonlar (Na^{+1} , K^{+1} , Cl^{-1} , NO_3^{-1})	> %80	< %50
Çok değerlikli iyonlar (Ca^{+2} , Mg^{+2} , SO_4^{-2} , CO_3^{-2})	> %99	> %90
Bakteri ve virüsler	> %99	< %99
Mikro kirleticiler ($\text{Mw}^*>100$)	> %90	> %50
Mikro çözünenler ($\text{Mw}^*<100$)	0 - %99	0 - %50

Mw^* : Moleküler ağırlık

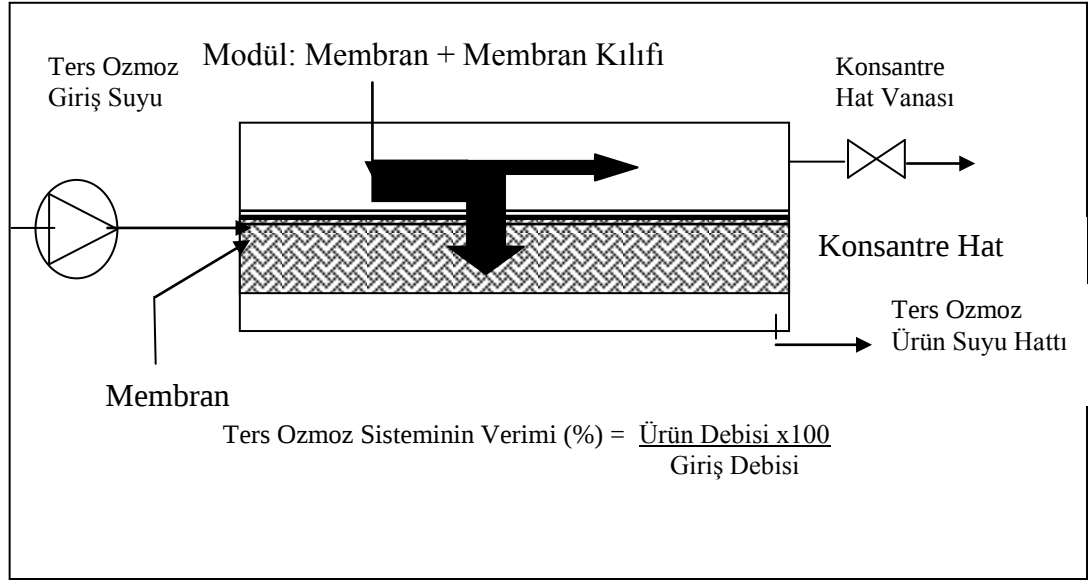
NF'un başlıca uygulama alanları:

- * Mikro kirletici giderimi
- * Atıksu arıtımı
- * Su yumuşatma
- * Tekstil endüstrisinde boya maddelerinin tutulması
- * Kuyu suyu arıtımı şeklindedir.

4.3.5 Ters Ozmoz

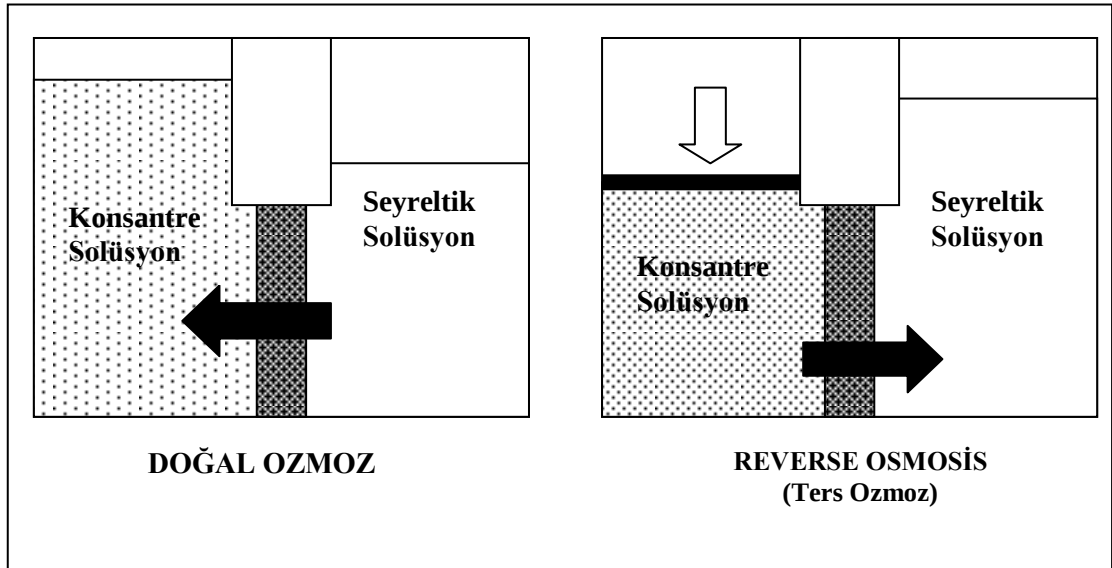
4.3.5.1 Genel Bilgiler

Ters ozmoz sistemlerinde ana ekipman olarak yarı geçirgen membran kullanılır. Suyun membranın diğer tarafına geçirilebilen kısmı büyük ölçüde saflaştırılırken diğer tarafındaki konsantre hale gelmiş safsızlıklar dışarı atılmaktadır. Ters ozmoz sistemlerinde genel olarak yatay filtrasyon prensibi kullanılır ve yatay akışın membran yüzeyinde sürekli bir temizleme etkisi vardır (Bkz Şekil 4.7). Sıvının bir kısmı basınç yardımı ile membranın ürün hattına geçerken diğer kısım membran yüzeyine paralel akışla atık hattına doğru hareket eder ve sıvıdan ayrıştırılan safsızlıkları (tuzlar, organikler v.s.) membrandan uzaklaştırır.



Şekil 4.7 Ters Ozmaz Sistemi Çalışma Prensibi

Ters ozmoz prosesinde sıvının membranın diğer tarafına geçirilebilmesi için bir itme gücüne ihtiyaç vardır. Gereken itme gücü ise pompa basıncı ile elde edilir. Basınç yükseldikçe itme gücü artar (Bkz Şekil 4.8). Membranın üzerinde kalan sıvının konsantrasyonu arttıkça da sıvının membranın diğer tarafına geçirilebilmesi için gereken itme gücü de artar.



Şekil 4.8 Ozmotik Basınç Şeması

Ters ozmoz sisteminin en önemli avantajı iyon mertebesinde filtrasyon yaparak sudaki sertlik ve/veya alkalinite gibi parametrelerin yanı sıra tüm diğer çözünmüş tuzların da büyük ölçüde giderilmesidir. İçerdiği yüksek tuzluluk nedeniyle kullanma ve içme suyu için uygun olmayan acı kuyu suyu ve/veya deniz suyundan, ters ozmoz yöntemiyle yüksek kaliteli su elde edilebilmektedir.

Ters ozmoz sistemlerinde, iyonların filtrasyonu yapıldığından membranlardan önce sudaki askıda katı maddelerin ve dolayısı ile bulanıklığın giderilmesi gerekmektedir. Ham suyun kimyasal ve fiziksel özelliklerinin bilinmesi ve analiz yaptırılması gereklidir. Doğru olarak dizayn edilen ve kaliteli ekipman kullanılan ters ozmoz sistemi ile diğer desalinasyon sistemlerine kıyasla daha pratik ve ekonomik işletme koşullarında sürekli ve yüksek kalitede su elde edilebilmektedir.

Aynı zamanda hiperfiltrasyon olarak da bilinen ters ozmoz, bilinen en hassas filtrasyondur. Bu proses bir çözeltideki partiküllerin çözünmüş iyonlar da dahil olmak üzere ayrılabilmesini mümkün kılmaktadır. Ters ozmoz, suyun tad, koku veya diğer özelliklerini iyileştirmek amacıyla suyu saflaştırmak, bünyesindeki tuzları ve diğer safsızlıkları gidermek için kullanılır. Aynı zamanda membrandan geçebilen glikol ve etanol gibi akışkanların bünyelerindeki iyon ve diğer kirleticileri ayırarak saflaştırılması amacıyla da kullanılabilir. Ters ozmozun en yaygın kullanım alanı su saflaştırmadır. Halen yürürlükte olan en zorlayıcı spesifikasyonlara uyan kalitede su üretimi için ters ozmoz kullanılmaktadır.

Ters ozmoz, saflaştırılacak olan akışkanın içinden geçmesine izin veren ancak kalan kirleticileri tutan yarı geçirgen nitelikte bir membran ile çalışır. Çoğu ters ozmoz teknolojileri membranın sürekli olarak kendi kendini temizlemesini mümkün kılan çapraz akış prensibinden faydalanır. Akışkanın bir kısmı membrandan geçerken kalan kısmı ileriye doğru devam ederek membran yüzeyinde tutulmuş olan maddeleri süpürür. Ters ozmoz prosesi akışkanı membrandan geçirmek için bir itici kuvvete ihtiyaç duyar ve en sık kullanılan itici güç bir pompanın basınç enerjisidir. Basınç arttıkça itici kuvvet de artar. Ayrılan akışkanın konsantrasyonu arttıkça, akışkanı konsantre etmek için gereken itici kuvvet de artar.

Ters ozmoz bakteri, tuzlar, şeker, proteinler, partiküller, boyar maddeler ve 150-250 dalton mertebesinde ve daha büyük molekül ağırlığına sahip diğer maddeleri

giderebilir. Ters ozmoz ile iyon giderme verimi partikül yüklerinin etkisi ile artar. Bunun anlamı, tuzlar gibi bir iyonik yüke sahip olan çözünmüş iyonların membran tarafından giderilmesi, organikler gibi yüksüz maddelerin giderilmesine göre daha yüksek verimle gerçekleşir. İyon boyutu ne kadar büyük ve iyonik yükü ne kadar yüksek ise ters ozmoz membranı tarafından giderilmesi o kadar verimlidir.

Ters ozmoz sistemi membranlar boyunca minimum akış hızlarını sağlayacak şekilde dizayn edilir. Bu husus membranın verimli olarak çalışması bakımından oldukça önemlidir. Bunun sebebi şu şekilde açıklanabilir; saf su basınç etkisiyle membrandan geçerken çözünmüş maddelerin büyük bir kısmını geride membran yüzeyinde bırakır. Geride kalan bu maddelerin membran yüzeyinde oluşturduğu “sınır tabaka” sistem boyunca ilerledikçe daha yüksek bir konsantrasyona sahip olur. Membran, “maruz kaldığı” çözünmüş maddeleri “sabit” bir oranda giderme kabiliyetine sahiptir. Örneğin, membran ile temas halinde olan suyun TÇM konsantrasyonu 500 ppm ise, o noktada membrandan geçen ürün suyunun konsantrasyonu yaklaşık 25 ppm civarında olacaktır (%5). Membranın farklı bir noktasında, membran ile temasta olan suyun TÇM konsantrasyonu 1000 ppm olabilir, bu durumda ise membrandan geçen ürün suyunun konsantrasyonu 50 ppm olacaktır (%5). Membran boyunca etkin bir akış hareketi sağlanarak bu “sınır tabaka”nın oluşumu sağlanmış olur. Akış değerinin uygun seviyede tutulmasının bir başka faydası da askıdaki maddelerin sistemden daha verimli bir şekilde uzaklaştırılabilmesidir.

Sisteme beslenen suyun konsantrasyonunun düşmesi halinde elde edilecek ürün suyu kalitesi de daha iyi olacaktır. Başka bir deyişle, sistem ne kadar az bir verimle işletilirse, o kadar iyi kaliteli ürün suyu temin edilir. Bazı uygulamalarda, daha kaliteli ürün suyunun ekonomik değeri atılan suyun maliyetine oranla daha düşük kalabilir. Bu durumda daha yüksek verimle biraz daha kötü kalitede su üretmek tercih edilebilir. Bunun bir örneği ters ozmoz ürün suyunun bir sonraki aşamada deiyonize edildiği uygulamalardır.

Geçmişteki uygulamalarda sistemi daha düşük verimle işletmenin, uzun vadede sistemin bakım ihtiyacının azalması ve membranların tıkanma riskinin minimize edilmesi nedeniyle daha faydalı olabildiği görülmüştür.

Bir ters ozmoz sisteminden çıkan ürün suyu hattı mutlaka atmosferik basınca sahip olup ürün suyu genellikle serbest yüzeyli bir rezerv tankında depolanır. Genellikle ürün suyu hattındaki akış kontrolü vana yardımıyla yapılamaz (vana öncesine bir basınç emniyet vanası monte edilmesi durumu hariç). Bu durum şu şekilde açıklanabilir; suyun membrandan geçmesini sağlayan güç sistemdeki yüksek basınçtır ve membranın her iki tarafında basıncın eşit olması durumunda sistemde bir su akışı olamaz. Eğer herhangi bir nedenle sistem çalışırken ürün suyu hattı kapanırsa, membranın ürün tarafındaki basınç pompa basıncına eşit olana dek yükselecektir. Ürün suyu hattı borulamasının yüksek basınca dayanabileceği varsayılsa bile, bu durumda membrandan herhangi bir su geçişi olmayacaktır. Gerçekte, ürün suyu hattındaki plastik boru ve hortumlar zaten bu derecede yüksek basınca dayanıklı değildir.

Ters ozmoz sistemi kapatıldığında, beslenen ham su membran etrafında bir “bekleme” konumunda olduğundan, ürün su tarafındaki çözünmüş madde konsantrasyonu ham sudaki ile aynı seviyeye yükselme eğilimindedir. Bunun sonucu olarak, sistemin tekrar devreye alınmasını müteakip alınan ilk ürün suyu numunesi normalden daha yüksek konsantrasyona sahip olacak ancak bu durum sistem bir süre çalıştıktan sonra normale dönecektir.

Ters ozmoz sisteminin ürettiği saf suyun kalitesi kabaca ham su kalitesinin sabit bir yüzdesidir. Örneğin, ham su TÇM değeri 1000 ppm ise saf su TÇM değeri yaklaşık 40-100 ppm civarında olacaktır (çözünmüş maddelerin %90 oranında giderilmesi). Ancak ham su TÇM 500 ppm seviyesinde olursa, saf su TÇM 25-50 ppm civarında olacaktır. Saf sudaki çözünmüş mineral konsantrasyonun ölçmek için genelde bir “iletkenlik ölçer” veya “TDS metre” kullanılır. Ters Ozmoz sisteminin iyon giderimi Tablo 4.7’de verilmektedir.

Tablo 4.7 Ters Ozmoz Sistemlerinin Tipik İyon Giderimi

İyon	Ham Su İyon Derişimi (mg/lt)	% Giderim
Sodyum	68.0	99.4
Kalsiyum	80.0	99.8
Magnezyum	21.0	99.8
Potasyum	4.1	99.4
Bikarbonat	132.0	99.3
Sülfat	163.0	99.8
Klorür	51.0	99.5
Silika	9.3	98.9
Toplam Çözünmüş Madde	528.0	99.6

4.3.5.2 Ters Ozmoz Membranının Performansını ve Kullanım Ömrünü Etkileyen Faktörler

Ters ozmoz membranının performansını etkileyen 5 ana faktör mevcuttur:

- Basınç
- Kimyasallar
- Bakteriler
- Sıcaklık
- Tıkanma

Basınç

Aşırı basınç membranı deforme eder veya büzüştürür. Büzüşme membranın geçirgenliğini, dolayısıyla ürün suyu miktarını azaltır.

Kimyasallar

Ham suda mevcut bazı kimyasallar membran üzerinde olumsuz etki yaratırlar. Genel olarak, bu durum ham su sıcaklığının yüksek ve pH değerinin 2.5'tan küçük veya 7'den büyük olması halinde söz konusudur. Optimum membran ömrü için pH değeri 5 ile 6 arasında olmalıdır.

Bakteriler

Membran yüzeyinde çoğalmalarına izin verilmesi halinde bakteriler membranın üst katmanına zarar vererek membranın sudaki tuzları giderme kabiliyetini yok ederler.

Sıcaklık

35°C üzerindeki sıcaklıklar membranın fiziksel yapısında bozulmalara neden olması, hidroliz ve büzüşme etkilerini hızlandırması nedeniyle olumsuz etkiye sahiptir. Membran verimi artan sıcaklık ile birlikte yükselir, düşük sıcaklıklarda membran verimi de düşer.

Tıkanma

Tıkanma, ters ozmoz sistemlerinde en sık görülen problemlerden biridir. Membran yüzeyi sülfat karbonat, silika vb. kimyasal tuzlarının kristalleşerek çökmesi sonucu oluşan bir tabaka ile kaplanır. Bu tuzlar membranın gözenek ve kanallarını tıkayarak üretim verimini düşürür.

Ters Ozmoz sistemi dizayn edilirken dikkat edilmesi gereken parametreler Tablo 4.8’de verilmektedir.

Tablo 4.8 Ters Ozmoz Sistemi Dizayn Limitasyonları

Parametre	Max. Değer
Su sıcaklığı	50 °C
Bulanıklık değeri	1 NTU
pH	6,5-7,5
Fe, Mn ve Al oksitleri	<0,05 mg/lt
Bakteriyolojik faaliyet	0
Klor, KMnO4 ve diğer oksidant maddeler	0
Organik içerik (TOC, KOI, BOI)	0
Hidrokarbon, yağ ve gres	0
Ba, Sr ve F	Eser
Ön filtrasyon sonrası SDI değeri	<3

Ters Ozmoz Sisteminin Kullanım Alanları

- Deniz suyu arıtımında.
- İçme suyu arıtımında.
- Proses suyu hazırlamada (özellikle tekstil boya sanayinde proses suyu hazırlamada, ilaç sanayinde ise sudaki baktari, virüs ve parojenleri uzaklaştırmada kullanılmaktadır).
- Buhar kazanı besisi suyu hazırlanmasında.

4.3.5.3 Ters Ozmoz Sisteminin Avantajları

Ters ozmoz sisteminden çıkan suların toplam çözünmüş madde miktarı azaltılır (sertlik), organik maddeler, mikroorganizmalar ve ağır metaller azaltılır, berrak su elde edilir. Maliyet ele alınırsa işletme giderleri ve iş gücü bakımından (tam otomatik çalışabilir) klasik sistemlere göre avantajlıdır. Maliyet özellikle mebranların uzun ömürlü olmalarına bağlıdır. Ayrıca baz ve asit gibi atıklarının olmaması ile tekrar arıtma giderlerinin önüne geçilir. Bu yönden de diğer klasik yöntemlere göre avantajlıdır. Ters ozmoz sistemlerinin sağladığı avantajlar sırasıyla şöyledir;

- Kesiksiz ve otomatik işletme sağlayan sürekli prosesler olmaları,
- Ne faz, ne de sıcaklık değişimlerinden etkilenen az enerji kullanımı,
- Belirli bir boyut sınırlandırılması olmaması, modüler olarak tasarımının yapılabilmesi,
- Kirleticilerin formu ve kimyası üzerinde etki yapmaması,
- Kimyasal katkı ihtiyacının olmaması,
- Düşük ilk yatırım maliyeti,
- Düşük işletme basıncı, dolayısıyla düşük enerji ve ekonomik işletme maliyetidir.

4.3.5.4 Atıksuların Ters Ozmoz Sistemleri İle Geri Kazanılması

Membran prosesler ayrıca atıksu arıtımında da kullanılmaktadır. Burada esas olan, atıksuyun geri kazanılıp, tekrar kullanılması ve atıksu içindeki değerli maddelerin tutulmasıdır. Kullanım alanları, tekstil endüstrisinde boyaların geri kazanımı, metal sanayiinde soğutma sularının arıtılıp içindeki değerli metallerin geri kazanımı, otomotiv sanayiinde yıkama sularının geri kazanımı v.b dallardır.

Türkiye’de bu konudaki çalışmalar henüz yaygın değildir. Çalışmalar pilot tesis bazındadır. 1994 yılında “Topkapı Boya” ve “Pisa Tekstil” de pilot tesis çalışmaları yapılmıştır. Bunlardan olumlu neticeler alınmıştır. Bunun üzerine Topkapı Boya fabrikasına, boya yıkama sularını geri kazanmak üzere 1000 m³/gün’lük bir tesis kurulmuştur. (Tablo 4.9)

Tablo 4.9 Atıksuların Geri Kazanılmasında Ters Ozmoz Sistemleri

Tesis adı	Kapasite (m ³ /gün)	Giriş TÇM mg/lt	Çıkış TÇM mg/lt	Basınç aralığı (atm)	Amaç
Topkapı Boya	1000	6000	300	25-30	Proses suyu

4.3.5.5 Tekstil Endüstrisi Atıksularının Arıtımında Membran Teknolojisi Uygulaması

Tekstil boyama fabrikası atıksuları genelde renkli, sıcaklık, kimyasal oksijen ihtiyacı ve toplam çözünmüş katı madde muhtevaları yüksek ve bazı zamanlarda da yüksek alkaliniteye sahiptir. Proseslerde kullanılan sistem farklılıkları nedeniyle atıksular hem miktar hem de kuvvet yönünden değişkendir. Ayrıca kullanılan kimyasallardan dolayı toksik bileşenlerde bu atıklar içinde bulunabilir.

Boya güneş ışığının suya nüfusunu engelleyebilmekte ve bu da fotosentezi azaltmaktadır. Boyaların çoğunluğu özellikle biyolojik ayrışmaya uğramayacak şekilde üretildiklerinden evsel biyolojik atıksu tasfiyesindeki mevcut proseslerde etkili olarak giderilememektedir. Tekstil atıksularından renk giderimi bu endüstrinin karşı karşıya olduğu en önemli problemlerden biridir.

Tekstil proseslerinden kaynaklanan boya atıkları ve diğer çıkış suları atıksu arıtma tesislerinin işletilmesinde sorunlar yaratabilmektedir. Bu sorunlar, köpürme , rengin giderilememesi, pH , sıcaklık ve ağır metallerde artışlarla hidrolik akım şartlarındaki değişimleri kapsamaktadır.

Membran prosesler, hem kumaş boyasını uzaklaştırma ve kimyasal maddelerin yeniden kullanımını sağlama hem de boya malzemesi ile yardımcı kimyasal maddeleri konsantre hale getirme ve temiz su elde etme potansiyeline sahiptir.

Meydana gelen konsantre çözelti ise ya ileri arıtmaya tabi tutulur ya da kanalizasyona boşaltılır. Güney Afrika'daki su sıkıntısı suyun yeniden kullanımını teşvik etmektedir.

5. DÜNYADA ATIKSULARIN GERİKAZANIM VE YENİDEN KULLANIMI ÇALIŞMALARI VE UYGULAMALARINDAN ÖRNEKLER

Dünyada endüstriyel ve evsel kullanımına bağlı olarak artan su ihtiyacı birçok ülkede suyun kısıtlı kullanımını beraberinde getirmektedir. Endüstriler ihtiyaçları olan suyun maliyetinin yükselmesi ve endüstriyel kirleticilerin uzaklaştırmasında daha sıkı kontroller ile karşı karşıya gelmektedir.

Tekstil sektörü en çok su tüketimi olan sektörlerin başında yer alır. Bu nedenle dünyada ve özellikle Avrupa’da yaygın olarak bulunan tekstil sektörü, su geri kazanımı ve atık minimizasyonu gerektiren bir sektör olarak görülmektedir.

Tekstil atıksuları terbiye, boyama, baskı ve son işlemlere bağlı olarak birçok kimyasal madde içermektedir. Tekstil atıksuları zamanla çeşitlilik gösterebilir ve proseslere bağlı olarak boyalar, deterjanlar, sülfat bileşikler, solventler, ağır metaller ve inorganik tuzları içerirler.

Tekstil atıksuları izin verilen deşarj standartlarını karşılamak üzere aktif çamur sistemlerinde arıtılırlar fakat arıtılan atıksular proseste tekrar kullanmak için uygun değildir. Suyun tekrar proseste kullanılması için ileri arıtma teknikleri ile arıtılmasına ihtiyaç olmaktadır.

Aşağıda dünyada atıksuların geri kazanımı ve tekrar kullanımı için yapılan çalışmalar ve uygulamalardan örnekler verilmektedir.

5.1 Evsel Atıksu Geri kazanım ve Yeniden Kullanım Çalışmaları ve Uygulamaları Örnekleri

Aşağıda AWG/Angilan Water Group tarafından İngiltere’de kurulan evsel atıksu geri kazanım ve endüstriyel amaçlara yönelik yüksek saflıkta su üretmek için yeniden kullanım projesi yer almaktadır. Proje; yalnızca evsel atıksuyu enerji santrali

için yüksek saflıkta proses suyuna dönüştürmekle kalmayıp aynı zamanda AWG'nin hızla büyüyen Peterborough kentindeki 6000'den fazla yeni tüketicinin ihtiyacı olan yeterli miktarda içme suyunun teminini de mümkün kıldığını göstermektedir.

Potansiyel müşterilerin izlenmesini takiben, kanalizasyon şebekesine yakın ve yüksek saflıkta proses suyuna gereksinim duyan enerji santrali belirlenmiş ve firma ile on yıllık su temini sözleşmesi yapılarak tesis Flag Fen'de inşaa edilmiştir.

Tablo 5.1'de Flag Fen kanalizasyon işlerinde deşarj edilen tipik su karakterini göstermektedir. Tesis, herbiri 1200 m³/gün suyun %60'ını üretebilecek iki hat olarak tasarlanmıştır. Bu tesislerden biri kapalı yada bakımdayken diğer hattın çalışır vaziyette olması sağlanmıştır. Arıtma tesisi tam otomatik olup, depolama tankındaki seviyeyi esas alan bir geri besleme sisteminde kapsamaktadır. Arıtma tesisi üç ana aşama olan ön filtrasyon, ultrafiltrasyon ve RO'dan meydana gelmektedir.

Tesise girmeden önce tüm sular 150 µ'dan büyük katıları bertaraf edecek şekilde ön filtrasyona tabi tutulmuştur.

Ön elekten geçirilmiş su UF ünitesinde arıtılmaktadır. Membranlar herbiri 17 UF modülü içeren iki hattan oluşmakta, PVDF'den imal edilmiş ve nominal gözenek çapı 0.1µm'dir. UF ünitesi 0.1 mikrondan daha küçük tüm partikül, virüs ve bakterileri bertaraf ederek suyu fiziksel olarak dezenfekte eder. Ünite, zaman esaslı otomatik temizlemeye tabidir. Şekil 5.1'de proses akım şeması verilmektedir.

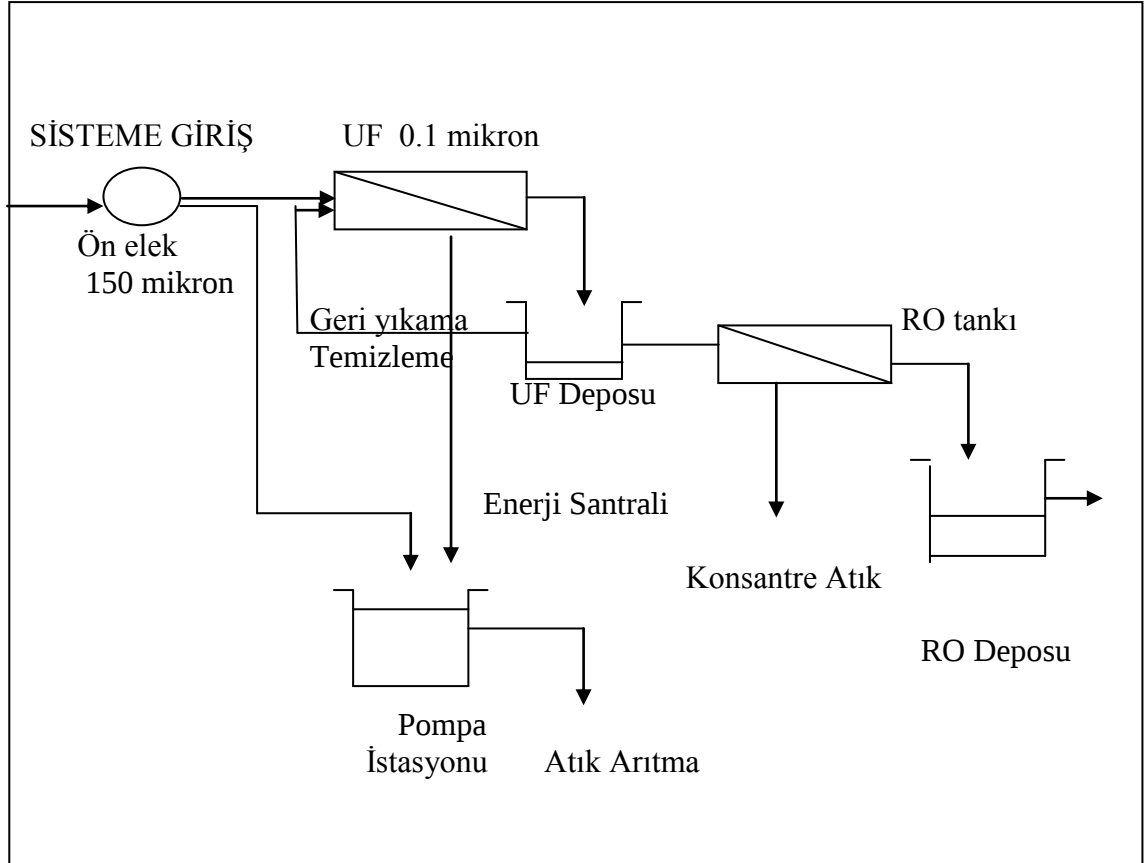
RO ünitesi, UF'den gelen tüm çözünmüş iyonların yaklaşık %80-90'ını sistemden uzaklaştırır. Tablo 5.2, sözleşmeye esas ve işletme sırasında elde edilen su kalitesinin mukayeselerini göstermektedir.

Tablo 5.1. Sözleşmeye Esas ve İşletmede Elde Edilen Parametre Değerleri

	Sözleşme değerleri			İşletme değerleri	
	max.	ortalama	minimum	ortalama	max.
İletkenlik(µS/cm)	70	60	17	32	38.8
Silis(mg/l)	1	0.5	0.2	0.24	0.4
TOK(mg/l)	2.5	<2	<0.2	0.23	0.3
Sodyum(mg/l)	20	15	0.5	7.4	10
Kalsiyum(mg/l)	5	2	<0.4	0.8	1

Tablo 5.2 Flag Fen'in Çıkışında Elde Edilen Nihai Değerler

	minimum	ortalama	maximum
BOI (mg/l O)	2	3.2	7.6
Amonyum (mg/l N)	0.03	0.36	2.3
TON (mg/l N)	9.3	17.5	23.8
AKM@ 105°C(mg/l)	2.4	8.3	17
Yağ-Gres (mg/l)	<5	6.3	16.6



Şekil 5.1 Flag Fen Kanalizasyon Suyu Arıtma Tesis

Projenin faydaları:

Enerji Santrali projenin başlamasından itibaren demineralize tesisindeki rejenerasyon sürelerinin 8 saatten 70 saate çıkması gibi mevcut demineralize tesisindeki önemli işletme tasarruflarında bulunmuştur. Böylece rejenerasyon prosesinden kaynaklanan atıksuların azalması; sülfirik asit, kostik, enerji, yıkama suyu tüketiminde tasarrufta bulunmasını sağlamıştır. Deminerizasyon tesisindeki verim artışı, ultra-saf su üretim kapasitesini yaklaşık %20 arttırmış ve normalde nehre deşarj edilmekte olan atıksu

ve kimyasalları azaltmıştır. Şirketin 1200 m³/gün içme suyunu tasarruf etmesini mümkün kılmıştır.

Söz konusu tesis Avrupa'daki bu tip su arıtma tesislerinin ilk örneğidir ve elde edilen başarı dünyanın pek çok yerinde yoğun ilgiye maruz kalmıştır. AWG bugünlerde İngiltere'nin doğusundaki 16.000 m³/gün, 10.000 m³/gün, 2.400 m³/gün kapasiteli üç yerleşim merkezi üzerinde proje çalışmaları yürütmektedir. Eğer sözkonusu projeler uygulamaya konulabilirse, tasarruf edilecek su miktarı 150.000 nüfuslu bir şehre yeterli su temini sağlayabilecektir. Alpheus firması birkaç endüstriyel tesisin atıksularının proses suyu olarak geri kazanımı için fizibilite çalışmalarını yürütmektedir. PURAC (AWG'nin tasarım ve yapımı ortağı) Linconshire yerleşim birimindeki iki enerji santralinde membran teknolojisi ile birleştirilmiş sistemi kullanan su arıtma tesisi inşaa etmiş olup, ayrıca Rusya'da küçük bir kasabanın evsel atıksu arıtma tesisi çıkışındaki suyun yeni inşaa edilen bir petrol rafinerisinde yüksek kalitede su temini projesi için ihaleye katılmaktadır. Flag Fen'de devam eden araştırma çalışmaları, kanalizasyon şebekesinden içme suyu üretimi maliyetlerindeki içecek şekilde, gerekli arıtma prosesini kuracaktır. Bu konseptte İngiltere'de gereksinme duyulacağına ihtimal verilmemesine rağmen, dünyanın diğer bölgelerinde atıksu geri kazanımından proses ve içme suyu elde edilmesi yeterli su temininde hayati öneme sahip olacaktır.

5.2 Endüstriyel Atıksu Geri kazanım ve Yeniden Kullanım Çalışmaları ve Uygulamaları Örnekleri

2001 yılında İtalya'da yapılan çalışmada bir iplik boyama fabrikası ele alınarak pilot tesis oluşturulmuştur. Fabrika atıksuları mevcut biyolojik aktif çamur tesisinden geçirildikten sonra endüstriyel ölçekli kum filtresine verilmektedir. Pilot tesis üç kademedan meydana gelmektedir: kum filtresi, UF ve NF/RO. Pilot tesis, son membran prosesi olarak NF veya RO seçilmek suretiyle iki alternatif olarak değerlendirilecektir. Biyolojik aktif çamur sistemi ve endüstriyel ölçekli kum filtesinden geçen 1200 l/saat debiye sahip atıksu 1.8 bar basınç altında pilot ölçekli kum filtresine gönderilmiştir.

Kum filtresinden gelen su ortalama 0.4 bar basınç altında UF modülüne gönderilmiştir. Flat membran modülü her 20 dakika ve 90 saniye’de maximum 0.4 bar basınç altında geri-yıkama yapmaktadır. UF çıkış debisi ortalama 1000 l/sa’dır. UF’dan çıkan su NF veya RO’ya gönderilecektir. NF modülü 9 bar basınçta, RO modülü 13 bar basınçta çalışmaktadır. Toplam suyun %35-40’ı konsantre su olarak atılır.

Çıkış numuneleri analizlerine göre her iki pilot tesis performansları kirletici giderim verimlerine göre karşılaştırılmıştır. Numune alma noktaları aşağıdaki gibi seçilmiştir:

- (1) kum filtresi girişi
- (2) UF çıkışı
- (3a) NF çıkışı
- (3b) RO çıkışı

Tablo 5.3 ve 5.4’de son membran prosesi olarak NF ve RO’nun kullanıldığı pilot tesis alternatifleri karşılaştırılmaktadır.

Tablo 5.3 Son Membran Prosesi Olarak NF Kullanıldığında pH, KOI, iletkenlik ve Toplam Sertlik Değerleri

Parametre	Numune alma noktaları		
	1	2	3a
pH	7.8	7.7	7.5
KOI, mg/l	142	47	<10
AKM,mg/l	12	<5	<5
İletkenlik, μ S/cm	3950	3665	2350
Toplam sertlik, °F	14	-	3.5
Ca ⁺² , mg/l	59	-	16
Mg ⁺² , mg/l	4	-	1

Tablo 5.4 Son membran prosesi olarak RO kullanıldığında tekstil atıksularının tekrar kullanımı ile ilgili bazı parametre değerleri

Parametre	Numune alma noktaları		
	1	2	3.b
pH	8.2	8.1	7.7 ^a
KOI, mg/l	147	70	8
AKM,mg/l	49	<5	<5
Bulanıklık,NTU	6.8	0.7	0.5
İletkenlik, μ S/cm	8320 ^b	8270	330
Toplam sertlik, °F	12	11	<1
Klorür,mg/l	1069	972	102
BIAS ^c , mg/l	2.1	1.8	1.0
MBAS ^d , mg/l	1.2	0.8	0.4
Renk ^e giderimi%	Ref	5	<95

^a Sodyum bikarbonat ilavesinden sonra

^b Tablo 5.3 ve Tablo 5.4 deki iletkenlik farkı deneyler esnasında fabrikanın üretim değişikliklerinden kaynaklanmaktadır.

^c Bizmut-iyodin gibi non-iyonik yüzey aktif maddeler

^d Metilen mavisi gibi aniyonik yüzey aktif maddeler

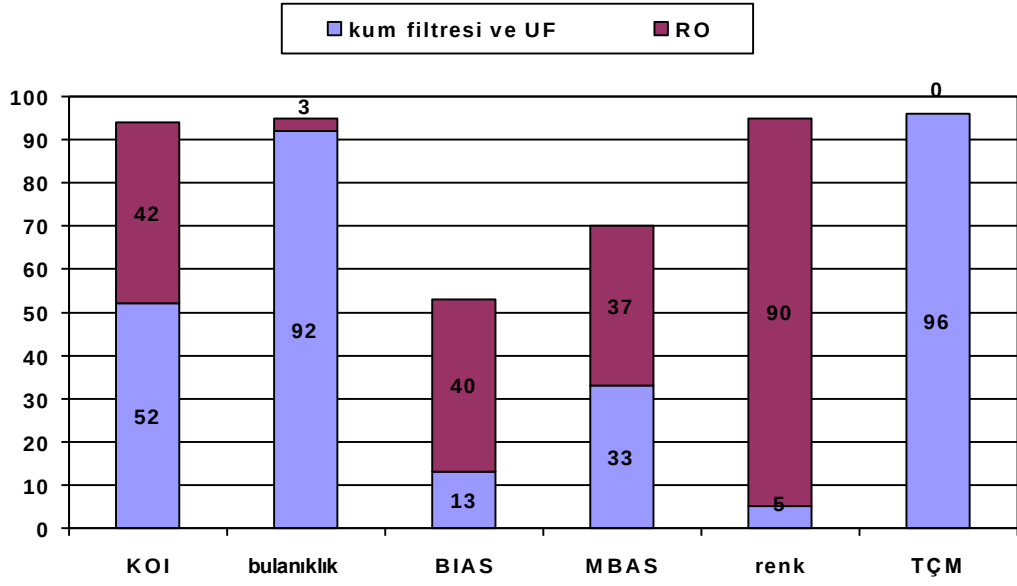
^e 400-800 nm aralığında mümkün olan bütün absorbans eğrilerinin integrali

NF'nun son membran prosesi olduğu durumda iletkenlik %40 ve toplam sertlik %75 oranında giderilmekte dolayısıyla pilot tesis çıkışındaki su tekrar kullanım için gerekli olan su kalitesini kriterlerini karşılayamamaktadır (örneğin açık renkli boyama prosesi). Kum filtresi UF ve NF'den çıkan arıtılmış su sadece yıkama ve koyu renk boyama proseslerinde kullanılabilir.

RO ile yapılan pilot tesisten oldukça iyi kalitede çıkış suyu elde edilmiştir. KOI kısmen kum filtresinde giderildikten sonra UF'da %52 oranında ve son olarak RO'da %42 oranında giderilmiştir. Kum filtresi ve UF %92 oranında bulanıklığı, %96 oranında ise TSS' i gidermiştir. Renk ise %90 oranında RO, %5 oranında ise kum filtresi ve UF tarafından giderilmektedir.

(a) Kum filtresi ve UF, (b) RO toplam giderim verimlerini temsil eder.

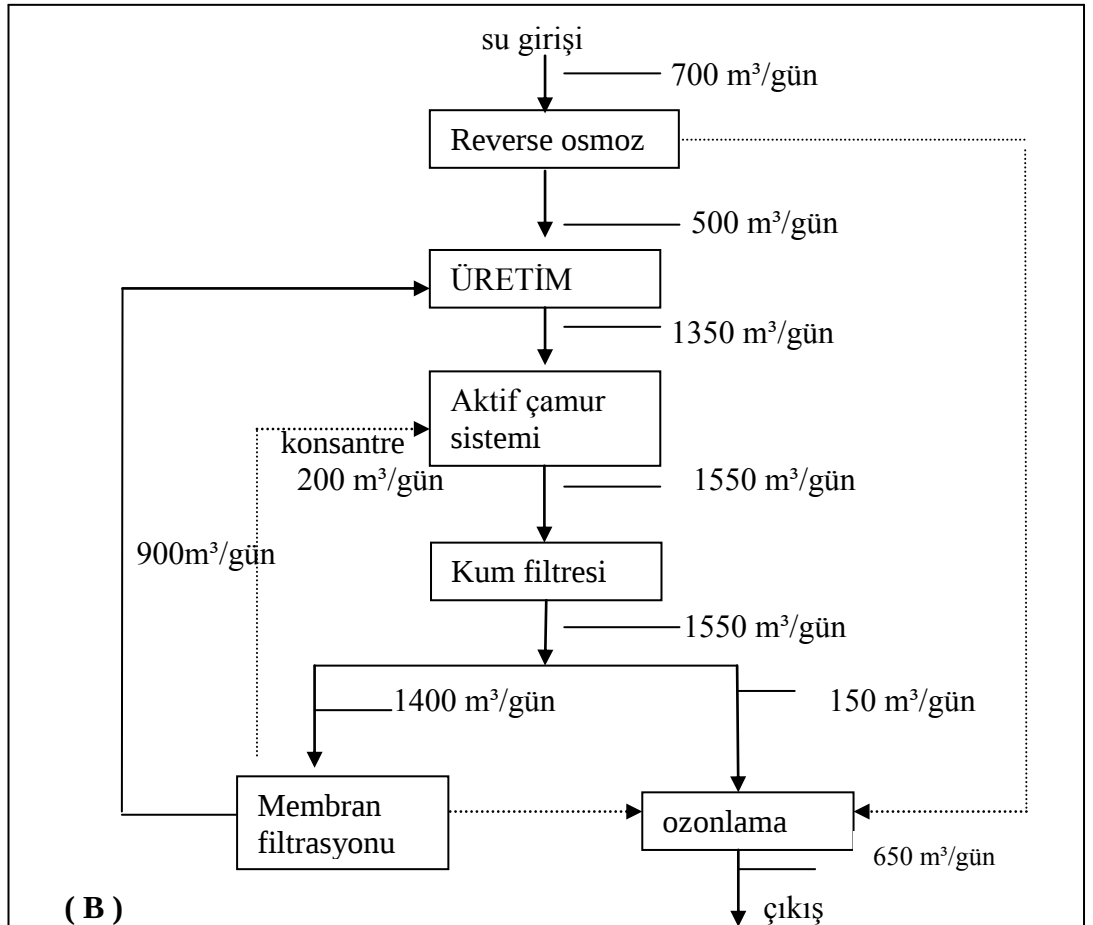
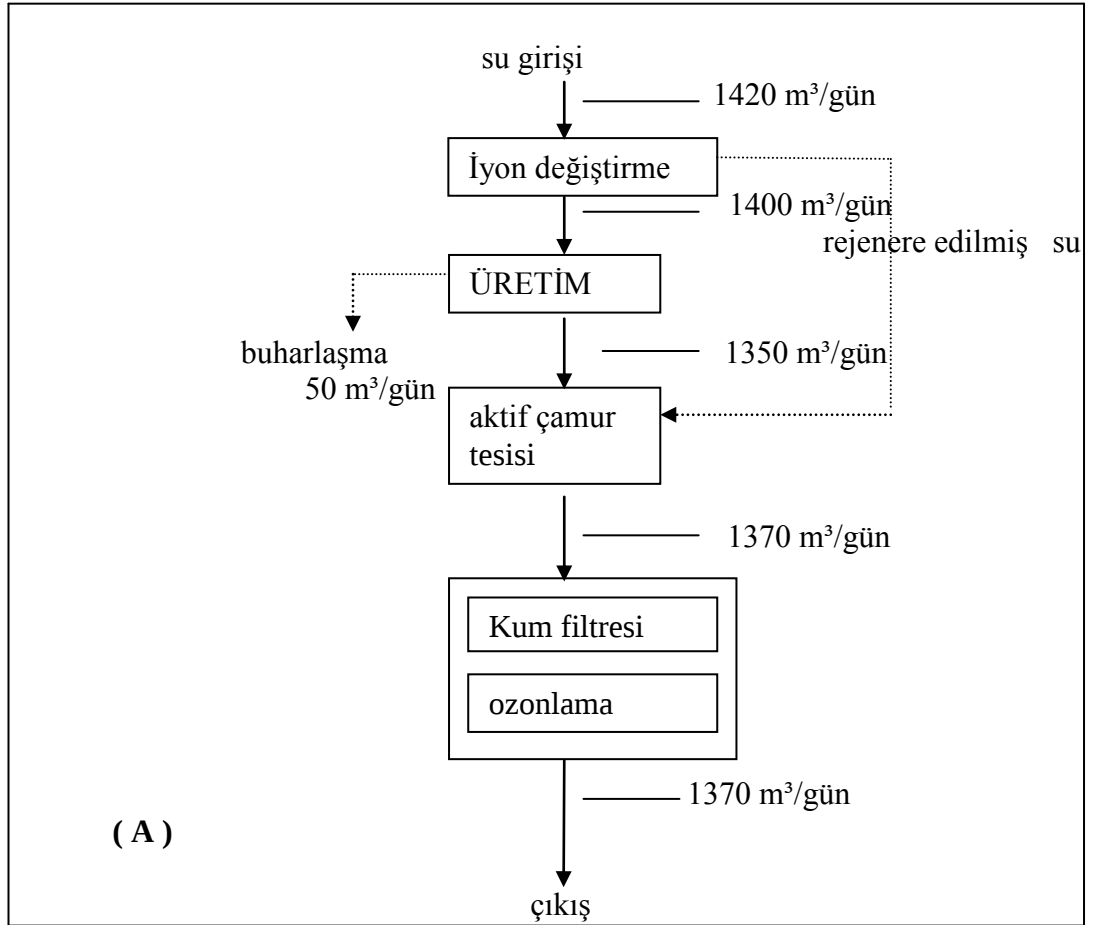
Şekil 5.2'de kum filtresi ile UF ve RO'nun toplam kirletici giderim verimleri karşılaştırılmıştır.



Şekil 5.2 Kum filtresi ile UF ve RO’nun Toplam Kirletici Giderim Verimleri

%100 RO çıkış suyu ile yapılan açık renkli boyama deneyleri başarılı sonuçlar vermiş, yumuşatılmış su ile kıyaslandığında ise RO çıkış suyu ile yapılan boyamada bir farklılık gözlenmemiştir.

Pilot ölçekli deneylerden elde edilen sonuçlar gösteriyor ki membran prosesler tekstil atıksularının ileri arıtımı için uygun bir yöntemdir. Seçilen iplik fabrikasında mevcut arıtma tesisi ve önerilen sistemin akım şeması Şekil 5.3’deki gibidir.



Şekil 5.3. (A) mevcut (B) önerilen su arıtma ve gerikazanma tesisi

Mevcut arıtma tesisinde iyon değıştirici reçine rejenere edilerek aktif çamur prosesine verilir. Bu nedenle ikinci kademe çıkış suyu, NF tarafından arıtilamayacak kadar çok tuzludur. İyon değıştirme prosesi yerine RO getirilirse bu problem ortadan kalkmaktadır. RO konsantre atıksuyu ozonlama sonunda atılırken aktif çamur prosesinde sertlikte düşme görölmektedir. Düşük sertlik nedeniyle ikinci kademe çıkış suyu gerikazanımı için NF kullanımı da mümkün olacaktır. Pilot tesis deney çalışmalarının olumlu sonuçları düşünöldüğünde, endüstriyel ölçekli tesislere uygulandığında gerek temizsu kullanımını büyük ölçüde azaltması gerekse atılan atıksu miktarını da neredeyse yarıya indirmesi açısından teknik ve ekonomik olarak fizibl olduğu görölmektedir.

2002 yılında İtalya’da yapılan bir çalışmada iki farklı pilot tesis kurulmuştur. Pilot tesislerin birinde kum filtresi, MF ve UF diğesinde ise fizikokimyasal önarıtımdan sonra ileri arıtım teknikleri kullanılmıştır. Pilot tesislerde iki farklı atıksu kullanılmıştır.

Seçilen tekstil fabrikasının su tüketimi 1.500 m³/gün ve bunu yeraltı sularından karşılamaktadır.

- İlk pilot tesiste biyolojik aktif çamur tesisinden gelen ikinci kademe atıksuları (400 l/saat) sırasıyla kum filtresi, MF ve NF’den geçirilecektir.
- İkinci pilot tesis çalışmasında ise karbonizasyon prosesinden gelen arıtılmamış atıksular (900 l/saat) sırasıyla;
 1. Fiziko-kimyasal arıtma: Koagölasyon, flokülasyon, pH ayarı, lamella seperatörü ve kum filtresi
 2. Ozonlama
 3. Son kum filtresi
 4. UF’dan geçirilecektir.

İki pilot tesis için kirletici giderim verimleri aşağıda verilmektedir;

Birinci pilot tesis çalışması:

İlk pilot tesis çalışmasındaki numune alma noktaları sırası ile şöyledir;

1. Kum filtresi girişi
2. Kum filtresi çıkışı
3. MF çıkışı
4. NF çıkışı

Tablo 5.5. İlk pilot tesis çalışmasında numune alma noktalarındaki fiziko-kimyasal analiz değerleri

	Numune alma noktaları			
Parametre	1	2	3	4
pH	6.7	6.2	6.4	6.1
KOI mg/l O ₂	66	62	42	12
AKM, mg/l	21	9	<5	<5
Bulanıklık, mg/l	4.1	2.4	0.9	0.5
İletkenlik, µS/cm	1150	-	-	582
Top sertlik, °F	9	9	8	2
Mg ⁺² , mg/l	6	5	4	2
Ca ⁺² , mg/l	29	26	26	5
Sülfat, mg/l	260	-	-	11
Cl ⁻¹ , mg/l	100	100	88	78
BIAS ^a , mg/l	1.1	-	1.1	0.4
MBAS ^b , mg/l	0.9	-	0.6	0.3
Renk ^c giderimi%	Ref.	0	13	94

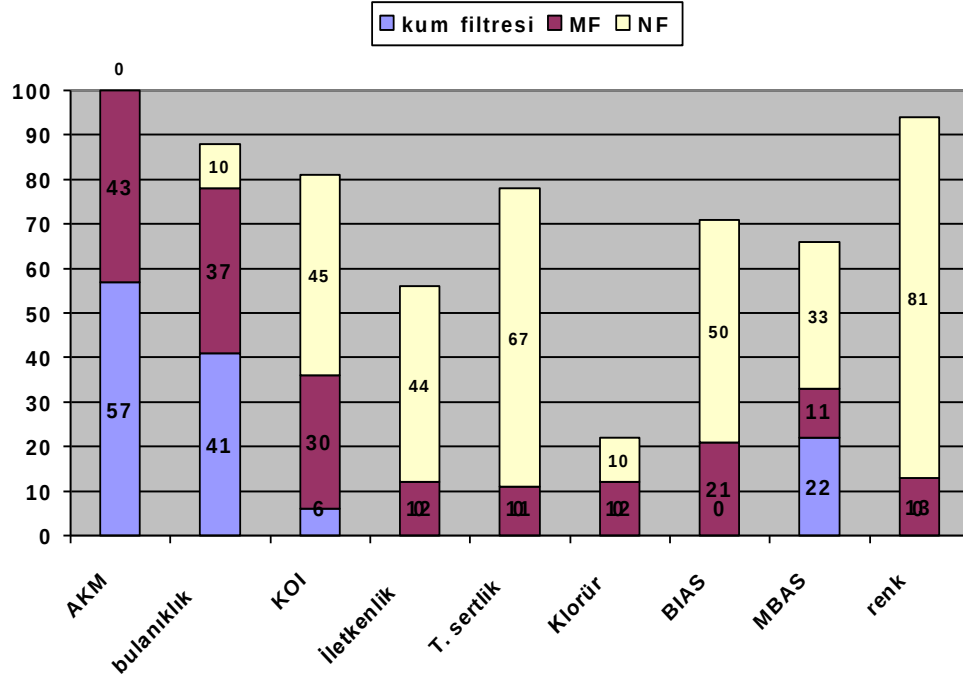
^a Bizmut-iyodin gibi non-iyonik yüzey aktif maddeler

^b Metilen mavisi gibi aniyonik yüzey aktif maddeler

^c 400-800 nm aralığında görünen tüm absorbands eğrilerinin integrali

^d 420 nm’de absorbands.

Kum filtresi ve MF %100 oranında askıda katıları ve % 78 oranında ise bulanıklığı gidermiştir. COD’nin bir kısmı kum filtresinde giderildikten sonra %30 oranında MF’da ve daha sonra tamamı NF’da giderilmiştir. Rengin büyük kısmı (%81) NF tarafından giderilmiştir. Şekil 5.4’de toplam kirletici giderim verim oranları verilmektedir.



Şekil 5.4. Kum filtresi, MF ve NF kırletici giderim oranları

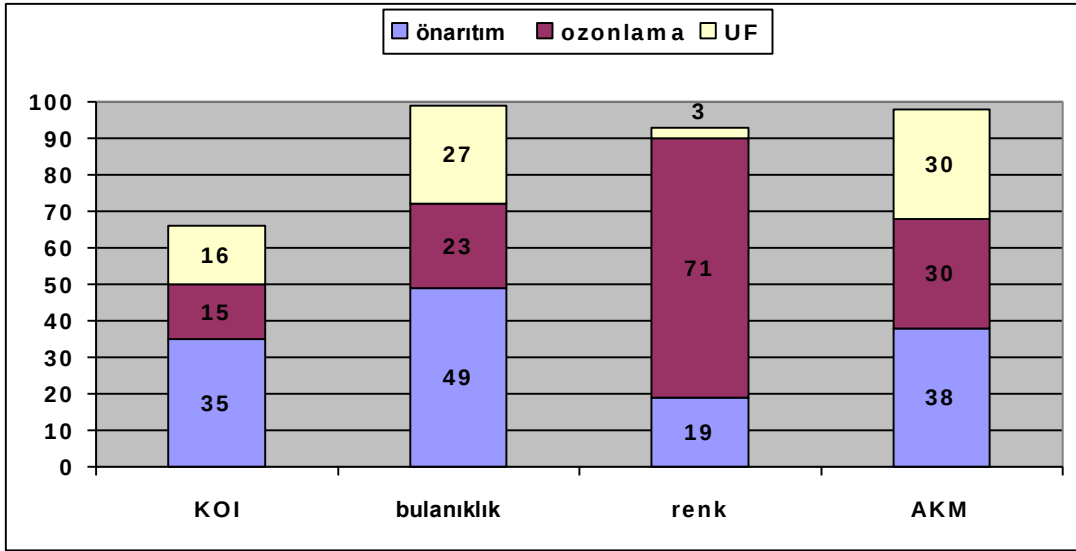
İkinci pilot tesisi çalışması:

İkinci pilot tesis çalışmasında numune alma noktaları;

- 1- Karbonizasyon sonrası arıtılmamış atıksu
- 2- Ozonlama girişi
- 3- UF girişi
- 4- UF çıkışı

Tablo 5.6. Çeşitli numune alma noktalarında parametre değerleri

Parametre	Numune alma noktaları			
	1	2	3	4
pH	6.9	8.9	7.8	7.3
KOI mg/l O ₂	1017	660	512	352
AKM, mg/l	173	121	56	<5
Bulanıklık, mg/l	123	63	34	0.8
İletkenlik, µS/cm	2702	2938	2956	2778
Top sertlik, °F	-	-	-	25
BIAS ^a , mg/l	30.5	33.1	20.0	19.2
MBAS ^b , mg/l	2.2	1.9	1.3	0.9
Renk ^d giderimi%	0.092	0.027	0.009	0.007



Şekil 5.5 Önartım, ozonlama ve UF'un bazı kirletici parametreleri giderim oranları

Şekil 4'de önartıma, ozonlama ve UF'nun kirletici giderme oranları verilmektedir.

- * Önartım ile bulanıklığın %49'u giderilmiştir.
- Özellikle ozonlama ile yüksek renk giderimi (%93) sağlanmıştır.
- UF membran prosesi ile %27 bulanıklık ve %30 askıda katılar giderilmiştir.
- Büyük ölçüde COD giderimi (%66) sağlanmıştır.

Bu çalışmada farklı atıksu karakterleri için farklı önartım teknikleri denenmiştir. Her iki pilot tesis çalışmasında da çıkış suyu tekstil endüstrisinde tekrar kullanılmak için uygun nitelikte olduğu gözlenmiştir. İki arıtım alternatifi için suyun birim fiyatı;

- Birinci çalışma için 0.34 € / m³,
- İkinci çalışma için 0.40 € / m³ olarak bulunmuştur ki bu değer günümüzde su ihtiyacını karşılama ve deşarj standartları gözönüne alındığında oldukça uygun olmaktadır (Marcucci ve diğ., 2002).

6. TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ATIKSULARININ YENİDEN KULLANIM OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI

6.1 Tekstil Endüstrisi Tanımı

Tekstil Endüstrisi Kategorisi pamuk, keten, kenevir, yün, ipek gibi doğal elyafları; reyon, kazein, asetat-selüloz ester, naylon, polyester, akrilik ve vinil gibi fabrikasyon elyafları kullanarak kumaş ve diğer tekstil ürünlerini üreten tesisleri kapsar.

Son yıllarda, boya üretimi ve boyama/apreleme son işlemlerinden kaynaklanan tekstil atıksularının önemli çevresel problemlere yol açtığı görülmektedir (Lin ve Chen, 1997). Atıksu deşarjlarında bu kirletici gruplarının arıtılmadan bulunması alıcı su ortamlarında ekolojik dengenin bozulmasına sebep olmaktadır. Tekstil boya konsantrasyonu 1 mg/l'den küçük olması halinde dahi gözle görülebilecek bir kirletici olarak su içerisine ışık geçişini engellemekte ve su yaşıntısındaki tür çeşitliliğini azaltmaktadır (Ahmad ve diğ., 2000).

Tekstil endüstrisi proses atıksuları içerdikleri boya maddeleri ve boya yardımcıları kimyasal maddelerinin kompleks yapısından dolayı genellikle toksik yapıda olup biyolojik olarak ayrışmaya karşı dirençli olduklarından konvansiyonel arıtma yöntemleri ile giderilememektedirler (Bianchi ve diğ., 1998). Ayrıca oluşan yüksek hacimde atıksuların askıda madde, renk, değişken pH ve sıcaklık, yüksek konsantrasyonda KOİ ve BOİ, asidite ve alkalinite bileşenlerini içermesi de çevresel problemlerin başında gelmektedir.

Konvansiyonel ve fiziko-kimyasal yöntemlerin, tekstil atıksuyu renk giderimi için yetersiz kalmasından dolayı, yeni teknoloji arayışlarına gidilmiştir.

6.2 Tekstil Endüstrisinde Proses Profili ve Alt Kategorizasyonu

6.2.1 Proses Profili

Tekstil Endüstrisinde yeralan proses ve işlemler kullanılan elyaf çeşidine göre bazı farklılıklar gösterebilir temelde birbirine benzerdir. Yapılan işlemleri iplik yapımı, dokuma hazırlık ve ürünlerin terbiyesi olarak kabaca üç aşamada toplarsak bu işlemlerin ilk ikisi kuru işlemler olduğundan bizim konumuzun dışında kalır. Terbiye işlemlerinde önemli miktarlarda su kullanımı olduğundan bu işlemlerin çıkış suları bizim araştırmamız içindedir. Başlıca terbiye işlemleri;

Haşılama

Pamuk ipliklerinden örülmüş kumaş elde edilirken örülme işlemi esnasında iplikleri kuvvetlendirmek, iplikleri arasında meydana gelebilecek sürtünmeleri ve hasarları önlemek amacı ile çözgü ipliklerine nişasta, polivinil alkol, polivinil asetat, karboksimetil selüloz gibi sentetik haşıl maddeleri ile yapılan işlemdir. Bu işlem sonucu oluşan atıksu düşük hacimde olmasına karşılık uygulanan haşıl yöntemine göre yüksek BOİ, KOİ, ve TKM içerebilir.

Örme

İpliklerden ürün elde etmek için yapılan işleme örme denmektedir. Bu genelde kuru bir işlemdir fakat atkı ipliklerinin çözgülerin arasına girmesi için dokuma tezgahında su jeti kullanılmaktadır. Bu üniteden çıkan su çözgü ipliklerine uygulanmış haşıl maddelerini içerdiğinden tekrar kullanılamaz. Bu sular haşıllamadan çıkan sular ile aynı karakterdedir.

Haşıl Sökme

Çözgü ipliklerinin mukavemetini arttırarak dokumada kopmaları önlemek üzere dokuma öncesi uygulanan haşıl maddelerini baskı ve boyamadan önce tekstil malzemesinden uzaklaştırmak için çözünürlük, hidroliz ve oksidasyon metodlarıyla yapılan işlemlerdir. Haşıl sökmenin atıksu karakteristiği kullanılan katkı maddelerine bağlıdır. Eğer haşıllama sentetik haşıl maddeleriyle yapılmış olursa BOİ'de %90 oranında azalma meydana gelir (Correia ve diğ., 1994).

Yıkama

Kumaş ve doğal-sentetik elyaf üzerindeki harman yağlarını, yabancı maddeleri gidermeye yönelik bir işlemdir. Bu işlemin yoğunluğu giderilmesi istenen maddelerin cinsine bağlıdır.

Pamuklu üretimde yıkama parafin, pektin, eğirme yağları ve diğer nan-selülozik bileşiklerin giderilmesi amacıyla deterjan veya sabun içeren sıcak alkali solüsyonlar ile yapılmaktadır. Buradan çıkan atıksular kimyasal olarak agresiftirler ve zehirli olabilirler. Haşıl sökmenin yanı sıra yıkama işlemlerinden çıkan atıksularda yüksek BOI değerlerine sahiptirler. Bundan dolayı pamuklu üretiminden oluşan atıksularda en yüksek BOI yükü yıkama ve haşıl sökme işlemlerinden kaynaklanmaktadır.

Tekstil endüstrisinde kirillik yükü en yüksek işlem ham yün yıkama işlemidir. Oluşan büyük hacimdeki atıksu ve bu atıksuda mevcut yüksek konsantrasyondaki kirleticiler bu bölümü başlı başına bir araştırma sahası haline getirmiştir. Ham yün yıkamada sabun, deterjan ve alkali kullanılmaktadır. Hayvancılıkta parazitlerle mücadele için kullanılan lindan, dieldrin gibi persistant organoklorinli bileşikler veya organofosfatlar gibi bileşikler yünü kaplayan doğal yağ tabakasında eririler ve böylelikle yün yıkama atıksularında göze çarpan miktarlarda bulunurlar. Yıkama atıksularında bulunan antiskalant ajanlar, pestisitler, parafin ve yağlar toksisiteye ve biyolojik ayrışmaya dayanıklılıklarına göre biyolojik arıtma ünitelerinde problemlere neden olabilmektedirler.

Ağartma

Beyaz veya açık renk tonlarında üretim yapılması durumunda pamuk ve elyaftaki sarımsı rengin giderilmesi amacıyla yapılan oksidasyon işlemidir (Corriea ve diğ., 1994). Ağartma hidrojen peroksit, sodyum hipoklorit veya sodyum klorit gibi ağartıcılar ve sülfirik asit, hidroklorik asit, kostik soda, sodyum bisülfid gibi kimyasallar vasıtasıyla gerçekleştirilir. Ağartmadan çıkan atıksuların katı muhtevası yüksek, BOI'si orta seviyededir. Klorit ve hidrojen peroksit arıtma ünitelerinin biyolojik kademelerinde toksiditeye neden olabilmektedirler.

Merserizasyon

Saf pamuğun konsantre kostik soda banyosundan geçirilmesine dayanır. Daha sonra nötralizasyon amacı ile asitli yıkama yapılır. Bu işlemin amacı ürüne parlaklık vermek ve daha yumuşak bir yapıya sahip kılmaktır. Merserizasyondan çıkan atıksular toplam katı ve BOI değerlerince düşüktür. Nötralizasyondan önce yüksek alkaliniteye sahiptir.

Karbonizasyon

Yün üzerindeki bitki artıklarını temizlemek amacıyla, %100 yüne uygulanan bir işlemdir. Bu işlemde geçirilecek madde önce seyreltik sülfürik asit solüsyonuna bastırılır daha sonra kurutulur ve pişirilir. Sert selülozik maddeler mekanik işlemler ile uzaklaştırılır. Daha sonra sodyum karbonat ile nötralize ettiğimiz yün elyaf durulama sularından geçirilir ve kurutulur. Karbonizasyon atıksuları bitkisel maddelerden dolayı küçük miktarlarda organik madde ihtiva etmektedir. Asitli maddelerden dolayı çözünmüş madde muhtevası yüksektir. Bu işlem ham yünün yıkanması ile birlikte yapıldığında yün yıkamanın kirlilik yükünü azaltmaktadır (Corriea ve diğ., 1994).

Boyama

Kumaş, elyaf vs. gibi maddelerin renkli hale getirilmesi işlemine boyama adı verilir. Boyar maddeler boyanacak cisimler ile devamlılık ve dayanıklılık arz eden bir şekilde birleşir ve boyanan cismin yüzeyini değiştirirler (Koyugölge, 1994).

Boyahane çıkış sularında bulunan kalıntı boyarmaddeler ile organik ve inorganik yardımcı kimyasalların yaptıkları bileşikler bu sulara renk ve diğer kirletici özellikleri verirler. Bu atıksuların karakteristiği boyamanın yanında elyafın cinsine ve uygulanan boyama teknolojisine de bağlıdır. Boyahane atıksuları genelde düşük TKM, yüksek iletkenlik, yüksek renk, yüksek KOI ve nispeten düşük BOI değerleri ile karakterize edilir. BOI, KOI, TOK gibi değerler biyolojik arıtma ile giderilebilir. Fakat birçok boya molekülü biyolojik ayrışmaya dayanıklı olduğundan bu metodla istenilen renk giderimi sağlanamaz. Bu atıksularda boya moleküllerinin metal kısımlarından kaynaklanan ağır metal kirliliğinede rastlanabilir. Asit boyalardan kaynaklanan krom, direkt boyalardan kaynaklanan bakır ve birçok kimyasal madde

de iz olarak bulunan civa buna örnek olarak verilebilir. Horning tarafından yapılan bir araştırmada 22 elyaf boya sisteminden alınan numunede kadmiyum, krom, bakır, civa ve çinko toksik metallerine rastlanmıştır (Corriea ve diğ., 1994).

6.2.2 Tekstil Endüstrisi Alt Kategorizasyonu Yaklaşımı

Alt kategorizasyon yaklaşımı, aynı kategori içinde olduğu halde üretim farklılıkları olan veya aynı ürünün imalinde farklı proses ve işlemlerin uygulandığı tesislerin atıksularında meydana gelecek farklılıkların ortaya konulmasını amaçlamaktadır. Atıksuların özellikleri belirlendiğinde, her altkategori için uygun arıtma teknolojisi tanımlanabilmekte ve bu tanımdan hareketle atıksu deşarj kalite kriterleri geliştirilebilmektedir.

Alt kategorizasyon yapılırken sadece atıksu kalitesi benzerliği, gruptama için yeterli olmamaktadır; gruptama sırasında pek çok faktör göz önüne alınmaktadır. Tekstil endüstrisinde alt kategorizasyon üretim teknolojisine, kullanılan hammaddelere, ürünlere, su kullanımına ve atıksu karakteristiklerindeki benzerliklere dayanılarak yapılmaktadır.

Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'ne göre tekstil endüstrisi, aşağıda sıralanan yedi alt kategoriye ayrılmaktadır (1988) :

1. Açık Elyaf, İplik Üretimi ve Terbiye
2. Dokunmuş Kumaş Terbiyesi ve Benzerleri
3. Pamuklu Tekstil ve Benzerleri
4. Yün Yıkama, Terbiye, Dokuma ve Benzerleri
5. Örgü Kumaş Terbiyesi ve Benzerleri
6. Halı Terbiyesi ve Benzerleri
7. Sentetik Tekstil Terbiyesi ve Benzerleri

6.2.2.1 Tekstil Endüstrisinde Alt Kategorizasyona Göre Atık Oluşturan Prosesler

Tekstil endüstrisindeki atıksu oluşturan işlemler, Tablo 6.1'de gösterildiği gibi alt kategorilere göre düzenlenebilmektedir (EPA, 1978).

Tablo 6.1 Alt Kategorilere Göre Atıksu Oluşturan Prosesler

Altkategoriler	Atıksu Oluşturan Prosesler
Yapağı Yıkama	Yıkama, durulama
Yün Son İşlemleri	Boyama, ağartma, yıkama, durulama, karbonizleme ve yıkama, dinkleme ve yıkama
Dokunmuş Kumaş Son İşlemleri	Haşıl sökme, pişirme-yıkama, merserizasyon-yıkama, ağartma-yıkama, boyama-yıkama, basma, apre-ikmal
Örgü Kumaş Son İşlemleri	Yıkama, pişirme-ağartma, boyama, basma, apre-ikmal
Açık Elyaf ve İplik Son İşlemleri	Boyama, ağartma, merserizasyon, yıkama
Halı Son İşlemleri	Boyama veya baskı, kurutma, lateks kaplama
Dokusuz Yüzeyli Kumaş Üretimi	Yapıştırma
Keçeleştirilmiş Kumaş Üretimi	Durulama
Az Su Kullanılan İşlemler	Haşılama
Koza İşleme ve Doğal İpek Üretimi	Pişirme, ipek çekimi, ağartma, boyama, yıkama, avivaj

Tekstil endüstrisinde atıksu miktarı ise büyük oranda ürüne, prosese ve işletme koşullarına bağlı olarak değişmesine rağmen birim yükler dikkate alındığında, az su kullanılan proseslerde atıksu miktarı genelde 10 m³/ton kumaş değerinin altında ,dokunmuş kumaş son işlemleri için 50-300 m³/ton kumaş aralığında yer almaktadır; yünlü kumaş son işlemleri bu aralığın alt sınırına yakın, örgü kumaş son işlemleri ise orta ve üst sınırına yakın değerler civarında atıksu üretmektedir (Tünay, 1996).

6.3 Tekstil Endüstrisi Atıksu Özellikleri

Tekstil endüstrisi birbirinden oldukça farklı üretim yapan prosesleri içerdiği için atıksu karakteristikleri çok farklı olmakta ve geniş sınırlar içerisinde değişmektedir (Horning, 1977). Tekstil endüstrisi genelinde atıksuları karakterize eden başlıca kirletici parametreler KOİ, AKM, yağ ve gres, renk, toplam krom, fenoller, toplam sülfür, yüzey aktif maddeler, pH ve sıcaklık olarak sıralanabilir. Tablo 6.3'te alt kategorizasyona ayrılmış olan tekstil endüstrilerinde kullanılan proseslere ait uygulanan kimyasallar ve atıksu parametreleri verilmektedir.

Kirlilik yükleri, imalatla gerçekleştirilen prosesler bilinirse tahmin edilebilir. Bu yükler Tablo 6.2'de gösterilmiştir.

Renk analizi ya ADMI (Amerikan Boya Üreticileri Enstitüsü) birimleri ya da Hazen birimleri kullanılarak ifade edilebilir. ADMI testi, tüm görülebilir spektrumu kapladığı için renk kuvveti yönünden sadece tek bir dalga boyun da performans gösteren Hazen testine göre daha temsil edici kabul edilmektedir.

Tablo 6.2 Çıkış Suyu Parametre Yükleri (Groves ve diğ., 1998)

PROSES	SU (lt/kg kumaş)	TÇM (g/kg kumaş)	Na (g/kg kumaş)	KOI(g/kg kumaş)	TOK(g/kg kumaş)	RENK (ADMI birimi)
Pamuk boyama+ İlk ve son arıtım	90.0	320	74	50	19	58000
Pamuk/ Sentetik orta renk tonunda + İlk ve son arıtım	150.0	330	83	53	22	52000
Pamuk/ Reyon (suni ipek) boyama; basma, tekne, direkt	70.0	106	83		80	50000
Pamuk/ Sentetik ıslak hazırlama sürekli temizleme	2.5	59	22	30	13	Düşük
Pamuk/ Sentetik ıslak hazırlama sürekli ağartma	2.5	12	<1	7	3	Düşük
Pamuk/ Sentetik ıslak hazırlama sürekli haşıl sökme	2.4	78	<1	74	34	Düşük

TÇM=Toplam Çözünmüş Madde ; KOİ=Kimyasal Oksijen İhtiyacı

TOK=Toplam Organik Karbon ; ADMI=Amerikan Boya Üreticileri Enstitüsü

Tablo 6.3 Tekstil Endüstrisinde Uygulanan Proseslerde Kullanılan Kimyasallar ve Atıksu Özellikleri (Arslan, 2000).

PROSES	Kullanılan Kimyasallar	Atıksu Karakteristikleri
Haşılama	Nişasta, selüloz, polivinil asetat, poliakrilat ve yapıştırıcı	Az atıksu hacmi, yüksek BOİ, KOİ ve TAM
Haşıl Sökme	Enzimler, asit ve alkali	Çok yüksek BOİ ve TKM (haşılamada nişasta kullanılmış ise)
Yıkama	Sıcak kostik soda, klor, peroksitler, silikat, sodyum bisülfid, deterjanlar	Kirletici yükünün % 35 ve çıkış BOİ konsantrasyonunun % 3 değeri
Ağartma	NaOCl, H ₂ O ₂ , H ₂ SO ₄ , HCl, kostik soda, sodyum bisülfid	Yüksek TKM, yüksek çözünmüş katılar ve orta dereceli BOİ
Merzerizasyon	Konsantre kostik soda ve asit yıkama	Düşük BOİ ve TKM Nötralizasyondan önce oldukça alkali
Boyama	Boyalar ve kullanılan yardımcı kimyasallar	Yüksek renk, TÇM, BOİ ve pH, düşük TAM, toksikler
Apreleme	Pentaklorofenoller, etilklorofosfatlar,.....	Düşük hacimde çeşitli bileşenler ve toksisite

Türkiye’de tekstil endüstrisi için yapılan çalışmalardan elde edilen atıksu karakterizasyonu da Tablo 6.4’te özetlenmektedir; bu tabloda jean yıkama işlemleri ayrı bir altkategori olarak dikkate alınmaktadır (Orhon ve diğ., 1990).

Tablo 6.4 Türkiye’ye İlişkin Tekstil Endüstrisi Atıksuyu Karakterizasyonu

Parametre → Altkategori ↓	Ortalama Konsantrasyon (mg/L)						
	KOI	BOİ ₅	AKM	Yağ ve Gres	T. Krom	Fenol	Sülfür
Yün Yıkama	9000	3000	4000	3000	-	-	-
Keçeleştirilmiş Kumaş Üretimi	1200	300	200	-	-	-	1.0
Örgü Kumaş Son İşlemleri	1000	350	300	53	0.5	0.24	0.2
Stok ve İplik Son İşlemleri	1200	500	40	100	5.0	-	2.0
Dokunmuş Kumaş Son İşlemleri	1200	650	300	14	0.04	0.04	3.0
Halı Son İşlemleri	2000	700	100	30	0.005	0.001	0.002
Dokusuz Yüzeyli Kumaş İşlemleri	3850	1230	80	-	-	-	-
Jean Yıkama İşlemi	1000	300	300	-	-	-	-

Tekstil atıksularında temsil edici klasik parametrelerin, BOİ, KOİ, AKM, N, P ve ağır metaller olduğu bilinmektedir. Atıksu arıtımında problem yaratan bileşenlerin, boyalar, ayrışmayan organikler, toksik maddeler, organik halojenler ve yüzey aktif maddelerin açıklaması aşağıda yapılmaktadır.

Renk

12 farklı kromojen grubunu içeren boya molekülleri arasında, en sık kullanılan ve tekstil boya maddelerinin % 60-70’ini oluşturan grup azo boyalardır. Boyaların ikinci tür sınıflandırılması ise, boyanın tekstile uygulanmasına göre değişerek, reaktif, asit, metal-kompleks, dispers, vat, mordant, direkt, küp, naftol, bazik ve sülfür boyalar olarak ayrılmaktadır.

Tekstil endüstrisi atıksuları, sahip oldukları renge bağlı olarak üç farklı sınıfta ele alınmaktadır. Zayıf renge sahip atıksular bazik, asidik ve metal kompleks boyaların kullanımı; orta renge sahip atıksular dispers, küp, naftol, direkt ve kükürtlü boyaların kullanımı; kuvvetli renge sahip atıksular ise reaktif boyaların kullanımı sonucunda meydana gelmektedir (Churhley, 1994).

Tekstil atıksularında renk giderimi çalışmaları genellikle 3 farklı nedenden dolayı reaktif boyalar üzerinde yapılmaktadır.

1. Reaktif boyalar artan market ihtiyacını göstermektedir. Özellikle pamuklu boyaması, dünyadaki toplam marketin % 20-30'unu temsil etmektedir.
2. Reaktif boyaların, yaklaşık olarak % 30'u alkali banyolarında hidrolize uğradığı için büyük kısmı atılmakta ve boyama atıksu çıkışlarında bu atık kısma rastlanmaktadır.
3. Sorpsiyon ve aerobik biyolojik ayrışmaya dayanan konvansiyonel arıtma ünitelerinde reaktif ve diğer çözünmüş anyonik boyaların giderim verimleri çok düşük olmaktadır.

Boyalar ayrışmaya karşı dirençli oldukları için, test edilen 100 azo boyadan sadece birkaç tanesi aktif çamur sistemi içerisinde aerobik olarak ayrışmaktadır. Aerobik koşullar altında, azo boyaların stabilitesi, molekül yapısının kompleksitesi ile orantılıdır. Anoksik koşullar altında, elektron taşıma zincirinde azo bağları elektron alıcısı olarak görev yaparak, aromatik aminlere kolayca yapışmaktadırlar. Azo bağının ayrılması ile oluşan yan ürünler ve ve aromatik aminler aerobik koşullar altında biyolojik olarak ayrışabilmektedirler. Renk gruplarına göre arıtım teknolojileri Tablo 6.5'de, boyar madde sınıflandırılması ve uygulama metodları ise Tablo 6.6'da verilmiştir.

Tablo 6.5 Renk giderimine göre boya sınıflandırması (Gaeta ve Fedeale, 1991)

Gruplandırma	Boya sınıfı	Yük / Solüsyon durumu	Teknoloji
Grup 1	Dispers Azoik Vat Sülfür	Negatif yüklü kolloidal	Koagülasyon Membran Oksidasyon
Grup A	Asit Reaktif Direkt Mordant Metal kompleks	Anyonik çözünür	Adsorbsiyon İyon değiştirme Membran Oksidasyon
Grup C	Temel	Katyonik çözünür	Adsorbsiyon İyon değiştirme Membran Oksidasyon

Tablo 6.6 Boyarmadde Sınıflandırılması

SINIF	ÖZELLİK	TİPİK İLİŞKİLİ ELYAF	ELYAFA TUTUNMA MEKANİZMASI	TİPİK UYGULAMA METODU
Asit	Anyonik, suda yüksek çözünürlük, zayıf nem mukavemeti	Naylon Yün	İyonik bağ	Elyaf pH'sı 3-5 olan asitli sulu bir ortama konur, elyaf pozitif yük alır, boyarmadde eklenir ve sıcaklık 50-110 °C'a kadar çıkarılır.
Metal karışımı (boyarmadde molekülüne krom, kobalt karıştırılır)	Anyonik, suda düşük çözünürlük, iyi nem mukavemeti	Naylon Yün	İyonik bağ	Asit boyar maddedeki gibi, pH 5-7
Direkt (doğrudan)	Anyonik, suda yüksek çözünürlük, zayıf nem mukavemeti	Pamuk Viskoz	İyonik bağ	Elyaf hafif alkali boya banyosuna yerleştirilir, boyarmadde elektroliti (NaCl, Na ₂ S O ₄) boyarmaddenin elyafa tespiti için eklenir ve sıcaklık 98°C'a çıkarılır.
Bazik veya katyon	Katyonik, suda yüksek çözünürlük	Akrilik	İyonik bağ	Elyaf asitli sulu pH'sı 4-6 olan boya banyosuna yerleştirilir, boyarmadde eklenir, boyarmaddenin elyafa yayılması için sıcaklık 100°C den 105°C'a çıkarılır.
Dispers	Kolloidal dispersiyon, suda çok düşük çözünürlük, iyi nem mukavemeti	Polyester , naylon, akrilik, selüloz asetat	Kolloidal emdirme, adsorpsiyon	Elyaf asitli sulu pH'sı 4-6 olan boya banyosuna yerleştirilir, boyarmadde eklenir, boyarmaddenin elyafa yerleşmesi için sıcaklık 130°C'a çıkarılır.

Tepkin	Anyonik, suda yüksek çözünürlük, iyi nem mukavemeti	Pamuk, Viskoz , Yün	Kovalent bağlar	Elyaf sulu boyarmadde çözeltilisine konur, boyarmaddeyi elyafa yerleştirmek için tuz eklenir, boyarmadde elyaf arasında reaksiyon oluşumu için alkali eklenir.
Kükürt	Elyaftaki reaksiyon sonrası kolloidal, suda çözünmez, neme dayanıklı	Pamuk, Viskoz	Boyarmadde elyafta çöktürülür.	Elyaf banyosuna konur, boyarmadde alkali sodyumkükürtte çözülür, boyarmadde elyafa elektrolitle tespit edilir, boyarmadde yerinde, hava veya peroksitle çöktürülür.
Tekne(küp)	Kükürt boyarmadde ile aynı	Pamuk, Viskoz	Boyarmadde elyaftaki yerinde çöktürülür.	Kükürt boyarmaddedeki gibi
Azoik	Kükürt boyarmadde ile aynı	Pamuk, Viskoz	Boyarmadde elyafta çöktürülür.	Elyaf boya banyosuna konur, elyafa bağlama tatbik edilir, boyarmadde kromoforu eklenir, çökeltme için kaynatılır.
Mordan veya krom	Anyonik, suda çözünür, iyi nem mukavemeti	Yün	Elyaf-krom- boyarmadde kompleksi	Elyaf asitlendirilmiş boya banyosuna konur, 98°C de sodyum dikromat ve boyarmadde eklenir.

Ayrıışmayan Organik Maddeler

Tekstil atıksularında mevcut kalıcı moleküller, genellikle az miktarlarda kullanılan, kimyasal sınıfların çeşitliliğine göre değişmektedir. Boya moleküllerinin yanı sıra, boya yardımcı maddeleri gibi, poliakrilat, fosfanat, EDTA, lignin, antistatik maddeler, dispers boyamada taşıyıcılar, pamuklu direkt boyamda sıkıştırıcılar, koruyucular ve büyük oranda son işlemler yardımcı maddeleri bu gruba girmektedir. Saf yün yıkama prosesi ile deterjan emilsiyonları, hayvan yağları, tuzlar ve pestisitler gibi kalıcı organikler açığa çıkmaktadır. Pamuklu yıkaması esnasında da pamuk yetiştirilmesi esnasında kullanılan pestisitler ve halı üretim fabrikalarında oldukça yavaş biyolojik olarak ayrılabilen lateks açığa çıkmaktadır.

Toksik Maddeler

Tekstil atıksuları, aktif çamur içerisindeki heterotrofik aktiviteyi tamamen olmamakla beraber az olacak şekilde inhibe etme eğilimindedirler. Laboratuvar ölçekli yapılan aktif çamur ve biofilm reaktörlerinde, çeşitli azo boyaların ilavesi ile KOİ gideriminde % 10-20 arasında azalma olmakta ve daha az biyofilm oluşumu gerçekleşmektedir. Heteroflardan farklı olarak kemoototrofik nitrifikasyon bakterileri, tekstil atıksuyu ile beslenen aktif çamuru inhibe etmektedir. Heteroflardan farklı olarak, kemoototrofik nitrifikasyon bakterileri de tekstil atıksuyu ile beslenen aktif çamur içerisinde inhibe olmaktadır.

Su yaşamı üzerinde tekstil atıksularının toksisitesini belirlemek üzere geniş ölçekli çalışmalar yapılmaktadır. % 50 öldürücülük etkisi olan konsantrasyon, boyama, ağartma ve karışık tekstil çıkışlarında test organizması olarak tatlı su balıkları kullanımı ile % 5-6 arasında değişmektedir. Baskı işlemlerinde kullanılan, organik solventlerin yasal olmayan deşarjı aktif çamur ve su yaşıntısı üzerinde toksik etki yapmaktadır.

Yüzey Aktif Maddeler

Tekstil endüstrisi ıslak proseslerin çoğu, haşıllama, eğirme, dikme, haşıl sökme, boyama, ağartma ve yıkama işlemleri olarak yüksek miktarda surfaktan tüketmektedir. Tekstil proseslerinde kullanılan alkilfenol etoksilat tekstil endüstrisinde çok geniş tüketimi olan bir non-iyonik sürfaktandır. Alkilfenol etoksilat

alkilfenole parçalanmakta ve çamura adsorblanma ve birikme eğilimi göstermektedir. Ayrıca alkilfenoller daha toksik yapıda olup, izin verilen maksimum konsantrasyon değerleri düşük ppb olarak belirtilmektedir.

Organik Halojenler ve Ağır Metaller

Sodyum hipoklorit hidrojen perokside göre pamuklu ve ketenin ağartma işlemlerinde tercih edilmektedir. Bunun sebebi ise, hipokloritin beyazlık olarak önde olması, düşük maliyeti ve hidrojen peroksidin parçalanması sonucunda oluşan radikallerin tekstil liflerine zarar vermesidir. Hipoklorit ağartma prosesi sonucunda 100 mg/lt gibi ciddi miktarlarda kanserojenik kloroform oluşmaktadır. Reaktif boyaların çoğu organik halojenlerdir. Kanserojenik yapılarında dolayı, çoğu ülkelerde deşarj limitleri 0,8 mg/L olarak değişmektedir.

Tekstil endüstrisi atıksuları için kesin ortalama değerler vermek mümkün değildir. Ancak atıksu karakteri, bazı yaklaşımlar ve karşılaştırmalar sayesinde belirli bir çerçeveye oturtulabilmektedir. Bazı parametreler açısından tekstil endüstrisinin kirletici potansiyeli, evsel atıksuya oranla daha düşük olabilmektedir; örneğin organik azot ve amonyum azotu, baskı işlemi gerçekleştirmeyen tekstil endüstrisi atıksularında oldukça az miktarda bulunmaktadır. pH değeri, daha çok bazik ortamda yer alıp bazen yedinin altına düşebilmektedir. Organik madde açısından kirlilik yükü, yaklaşık olarak evsel atıksu seviyesinde olup bazen çok daha yüksek değerlere de ulaşabilmektedir. İletkenlik, sodyum tuzları (sülfat, klorür, anyonik yüzey aktif maddeler) nedeniyle oldukça yüksektir. Polifosfatların kullanımı halinde, fosfat konsantrasyonları yüksek olabilmektedir; aksi takdirde evsel atıksulardan daha düşük değerlere rastlanmaktadır. Klorlu organik maddelerin miktarı, büyük ölçüde ürüne ve ilave katkı maddelerine bağlıdır; klorla ağartma yapılması durumunda ise, atıksudaki klorlu organik madde miktarı artmaktadır (Hermanutz ve diğ., 1994).

6.3.1 Tekstil Atıksularının Deşarj Standartları

Tekstil atıksularının alıcı su ortamlarına doğrudan deşarjı ile ilgili olarak Su Kirliliği Kontrolü yönetmeliği'nce getirilmiş olan standart değerler, alınan kompozit atıksu numunelerinde aşılmaması gereken sınır değerleri ifade etmektedir. Yapılan altkategorizasyon içinde örgü kumaş terbiyesi sınıfına giren endüstriler için

atıksuyun alıcı ortama ve kanala deşarj standartları Tablo 6.7 ve Tablo 6.8’de verilmiştir.

Tablo 6.7 Sektör: Tekstil Sanayii (Örgü, Kumaş Terbiyesi ve Benzerleri)

PARAMETRE	BİRİM	KOMPOZİT NUMUNE	
		2 SAATLİK	24 SAATLİK
Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ ₅)	mg/l	50	40
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)	mg/l	300	200
Amonyum Azotu (NH ₄ -N)	mg/l	5	
Serbest Klor	mg/l	0,3	
Yağ ve Gres	mg/l	10	
Toplam Krom	mg/l	2	1
Sülfür (S ⁻²)	mg/l	0,1	
Sülfat	mg/l	1	
Fenol	mg/l	1	0,5
Balık Biyodeneyi (ZSF)		4	3
pH		6-9	6-9

Tablo 6.8 İSKİ Atıksuların Kanala Deşarj Standartları (2 saatlik kompozit)

Parametre	İzin verilebilir değer (mg/l)
Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ)	800
Askıda katı madde (AKM)	350
Toplam Azot (TN)	40
Toplam Fosfor (TP)	10
Anyonik yüzey aktif madde (deterjan)	0
Toplam Krom	5
Sülfür (S ⁻²)	2
Çinko (Zn ⁺²)	10
Arsenik (As)	10
Kalay (Sn)	5
Kadmiyum (Cd)	2
Bakır (Cu)	5
Kurşun (Pb)	3
Nikel (Ni)	5
Civa (Hg)	0.2
Gümüş (Ag)	5
Toplam Siyanür (CN)	10
Sülfat	1700
Fenol	10
Yağ ve Gres	100
pH	6-7

6.4 Tekstil Endüstrisi Atıksularının Çevresel Etkileri

Tekstil endüstrisi atıksuları, konvansiyonel arıtma yöntemleri ile (biyolojik arıtma, koagülasyon, adsorpsiyon) arıtımı zor olan atıkları içermektedirler. Tekstil atıksuları, biyolojik olarak ayrışamayan ve toksik maddeleri de içeren, yüksek hacimde ve oldukça çeşitli bileşenler oluşmaktadır. Bu çeşitlilik, uygulanan endüstriyel proseslerin çeşitliliği, kullanılan çok sayıda kimyasal ve diğer maddelere bağlanmakta ve her atık türü ayrı bir arıtma problemi yaratmaktadır.

Boyalar, nişasta ve deterjanlar gibi organik maddeler, alıcı ortamın çözünmüş oksijenini tüketerek kimyasal ve biyolojik değişime uğrarlarken su yaşıntısını da sona erdirmektedirler. Bu organiklerin, septik koşulların ve koku probleminin oluşmasını engellemek, suyun evsel, endüstriyel, tarımsal ve yeniden kullanımı amaçlı kullanımına uygun olmayan duruma gelmemesi için uzaklaştırılması gerekmektedir.

İnorganik maddeler, içerdikleri yüksek oranda çözünmüş tuzlardan dolayı su kullanımına olumsuz etki yapmaktadırlar. Ayrıca, çözünmeyen tuzlar, çökerek tabanda depozit oluşturmakta, canlı yaşamına bir set çekmekte ve akımı engellemiş olmaktadır.

Çözünmüş inorganik tuzların yüksek konsantrasyonda bulunması, endüstriyel ve evsel kullanım için uygun olmayan koşullar oluşturur iken, korozif etkiye de sahiptirler. Krom, bakır, çinko gibi metaller su yaşıntısı üzerinde toksik etki yaptıkları için deşarj edilmeden önce uzaklaştırılmaları gerekmektedir. Boyalardan kaynaklanan renk değişken olup toksik olmamakla beraber özellikle içme ve zevk amaçlı kullanımlarda estetik olarak rahatsız edici olabilmektedir. Ayrıca boyamada kullanılan fenol gibi bazı kimyasallar, koku ve tat vermektedirler.

6.5 Tekstil Endüstrisinde Atık Minimizasyonu ve Gerikazanım

Tekstil endüstrisinde suyun kullanılması, korunması, arıtılması ve tekrar kullanımı için geri dönüşüm gereklilik ve zorunluluk haline gelmektedir. Son yıllardaki teknolojik gelişmeler ile, yeni liflerin kullanılması ve yeni proseslerin geliştirilmesi ile kirlilik yüklerinde de değişiklik olmaktadır. Konvansiyonel metotlar, biyolojik ve

kimyasal arıtma yöntemleri ile arıtılamayan suların, yeni araştırma ve gelişmeler ile arıtılması çalışılmaktadır. Tesiste kullanılan makinelerin daha az kirletici oluşturacak şekilde kullanılması da kirletici miktarını azaltmaktadır.

Kimyasal kullanımının azaltılması, proses sularının tesis içi değişimler ile azaltılması; proses kontrolünün artması, otomasyon sistemlerinin oluşturulması, haşılama, ağartma ve boyama proseslerinde daha az kimyasal kullanımı, düşük kirletici özelliğine sahip kimyasalların kullanımı, yıkama ve ağartma solüsyonlarının, kostik ve kromatin yeniden kullanılması, boya taşıyıcılarının ve solventlerin geri kazanımı, proseslerin modifiye edilmesi, kimyasal kaybı ve dağılmayı engellemek için iyi idare yöntemlerinin benimsenmesi ile mümkün olmaktadır. Her tesis en düşük maliyetle en iyi arıtımı gerçekleştirecek mevcut arıtma yöntemlerini kullanmak zorundadır.

Tekstil endüstrisi atıksuları gerek hacim olarak gerekse yapı olarak tüm endüstriler içerisinde en çok kirliliğe sebep olan endüstri olarak düşünüldüğü için, atıksu deşarjları ile ilgili olarak son yıllarda yeni ve daha sıkı sınırlamalar getirilmiştir. Getirilen yeni yasal sınırlamalar ile özellikle Avrupa pazarında çoğu tekstil endüstrisi ayakta kalma mücadelesi vermektedir. Bu kısıtlamalar tekstil atıksuları üretiminde, artımında ve yeniden kullanılabilirliğinde zorlayıcı değişimlere sebep olmaktadır. Tekstil atıksuyu deşarj kriterlerinin sağlanabilmesi için gereklilik arzeden ileri arıtma yöntemleri ile hem atıksularının tamamen arıtımı yapılabilmekte hem de atıksu yeniden kullanıma uygun hale getirilmektedir (Lin ve Chen, 1997). Bu atıksuların yeniden kullanımı için kirletici parametrelerin tekstil endüstrisi yeniden kullanım standartlarına uyacak şekilde uzaklaştırılması gerekmektedir. Tekstil endüstrisinde yeniden kullanım standartlarına ait farklı yaklaşımlar Tablo 6.9’de verilmektedir. Özellikle KOİ, BOİ, TOK, TAM, renk ve iletkenlik parametreleri tekrar kullanımda önem taşımaktadır.

Tablo 6.9 Tekstil Endüstrisinde Farkı Yaklaşımlar ile Yeniden Kullanım Standartları

Parametreler	Li ve Zao, 1999	Hoehn, 1998	Lin ve Chen, 1997	Int.Tech. Rep.1994
PH	6.5-8.0	6.5-7.5	-	-
KOI, mg/L	0-160	<50	5	<10
BOİ, mg/L	-	-	-	-
TOK, mg/L	-	-	-	-
TAM, mg/L	0-50	-	0	0
Yağ ve Gres, mg/L	-	-	-	-
Sülfat, mg/L	-	-	-	-
Toplam Sertlik, mg/L CaCO ₃	0-100	90	4.2	<10
Toplam Alkalinite, mg/L CaCO ₃	5-200	-	4	<50
Demir, mg/L	0-0.3	0.1	0.05	<0.1
TÇM, mg/L	100-1000	<500	10	<50
Klorür, mg/L	100-300	>150	-	-
İletkenlik, µOhm/cm	800-2200	-	10	<100
Renk, NTU	-	-	0.6	<1

7. ÖRNEK BİR TEKSTİL FABRİKASI İÇİN ATIKSUYUN YENİDEN KULLANIM OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI

7.1 Tesis Hakkında Genel Bilgi

İstanbul ili sınırları içinde kurulu bulunan örgü kumaş boyama ve baskısı yapan bir tekstil fabrikası incelenmiştir.

1995 yılında açılmış olan fabrika toplam 10.000 m²'lik alana kurulu olup, max üretim kapasitesi boyahane için 5.5 ton/gün, baskı için ise 15.000 m/gün'dür. Boyama ve baskıda kullanılan hammadde pamuklu, viskon, lycra, polyester örgü kumaşlarıdır.

Firmada, düz boya, emprime baskı , ram, pad batch (soğuk boyama), sallama, sanfor ve tüp kesme üniteleri yer almaktadır. Tesisin üretim akım şeması Şekil 7.1'de, prosesler ile ilgili açıklamalar ise aşağıda verilmektedir.

Giriş depo

Tesise fason olarak dışarıdan gelen ve boyama veya baskı işlemine tabi tutulacak ham veya işlenmiş örgü kumaşların teslim alındığı kabul yeridir.

Laboratuvar

Müşteriden gelen talep doğrultusunda, kumaşlardan numune alınarak kumaşların karışım cinsleri ve boyatılacak renk için reçete çalışmalarının yapıldığı birimdir.

Partileme

Boyanacak örgü kumaşların müşteri talebi doğrultusunda makinalara göre sınıflandırılarak ayrıldığı bölümdür.

Boyahane

Tesise gelen pamuklu, viskon, likra, polyester ve bunların karışımlarının yüksek sıcaklık ve basınçta çalışan boya makinalarına alınarak yıkama, kasarlama ve boyama işlemlerinin yapıldığı bölümdür.

Sıkma

Santrifüj vasıtası ile boyanmış veya yıkanmış kumaşların sıkılması işlemi gerçekleştirilir.

Kurutma

Sıkılmış veya boyanmış kumaşlar için 100°C -170°C arasındaki sıcaklıklarda havanın doğalgaz veya içinden buhar geçerek ısıyı dışarıdan gelen apartlardan oluşan buhar serpantinleri ile sirküle edilmesi sonucunda kurutma işlemi gerçekleştirilmiş olur.

Baskı

Müşteri isteğine göre çalışılan desenlerin kumaşa aktarılması yani kumaşın renklendirilmesi işlemidir.

Baskı makinesinde bulunan 11 adet dönen şablon ile şablonların içinden geçen boyalar ile desen kumaşa aktarılır. Bu işlem için pigment boyalar kullanılmaktadır.

Ram

Bu makinelerin çalışma sıcaklıkları her ürün için farklılık göstermekle birlikte ortalama pamuklu kumaşlar için 110°C-170°C, polyester kumaşlar için ise 200°C'dir. Farklı türdeki kumaşların çeşitli sıcaklıklarda fikse ve terbiye edildiği bu makinalara ram adı verilmektedir. Kumaşı içeride kaldığı süre; bu makinaların çalışma sıcaklıklarına ve kumaşın cinsine göre 10 m/dakika ile 40-45 m/dakika arasında değişmektedir.

Ram işlemi sırasında kumaşın eni ayarlanmakta ve kenarları kesilmektedir. Daha sonra kumaşlar, müşterilerin isteğine bağlı olarak paketlenmekte veya bir sonraki operasyona sevk edilmektedir.

Sanfor

Sanforlar açık en sanfor ve tüp sanfor olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Sanfor makinalarının özelliği 103 °C dereceye ısıtılmış ve kondense edilmiş kumaşın sıkıştırılarak kumaşa çekmezlik kazandırmasıdır.

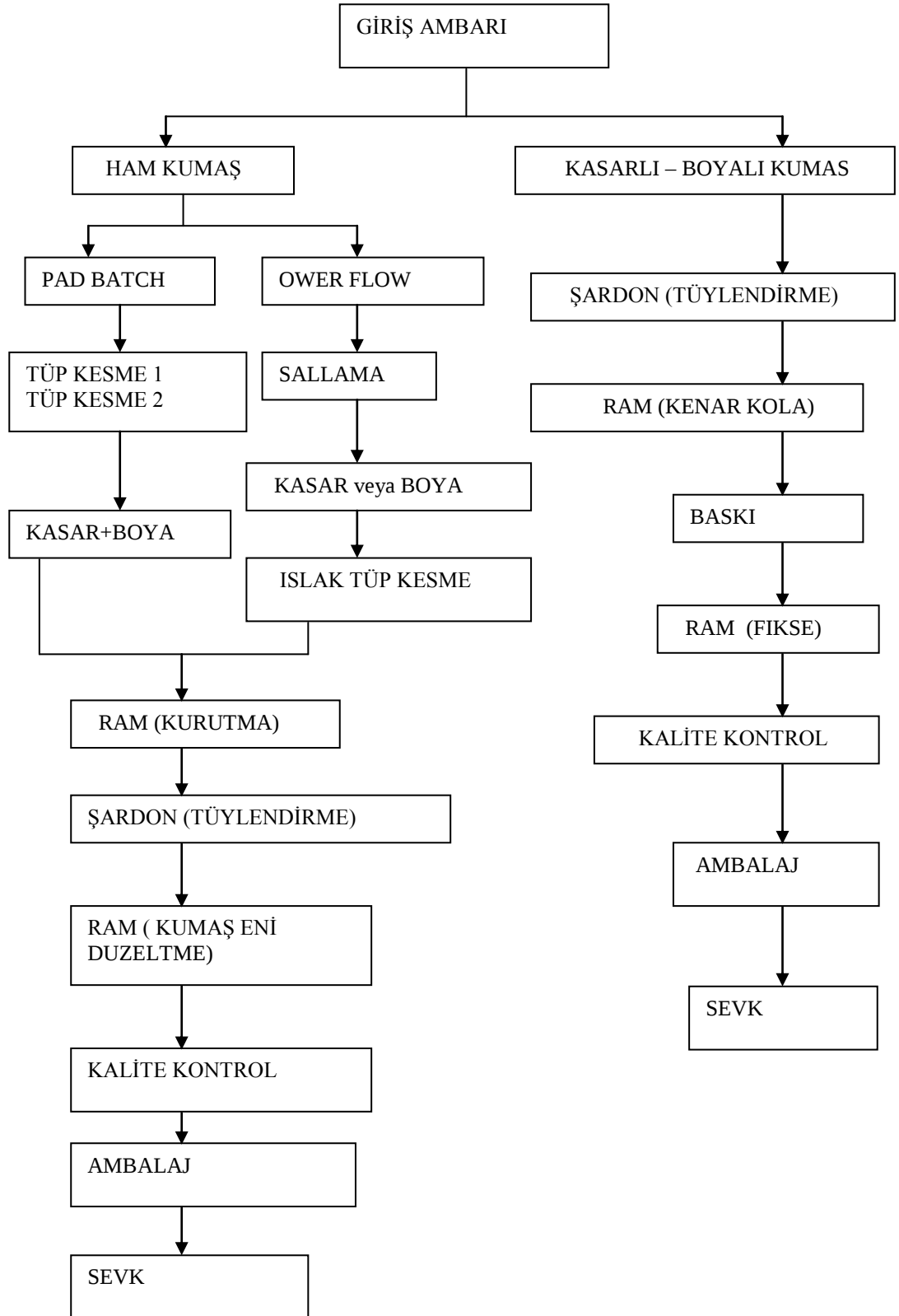
Şardon

Kumaşların 45 ve 48 derecelik açıyla kıvrılmış inoks (paslanmaz iğneli) teller vasıtası ile tüylendirmeye tabi tutulmasıdır.

Sevk

Kumaşların müşteriye rolling, paket veya torba içine konularak gönderilmesidir.

İmalatta kullanılan hammadde ve katkı maddelerinin yıllık sarf miktarları Tablo 7.1’de, yıllık ürün ve ara ürün miktarları ise Tablo 7.2’de verilmektedir.



Şekil 7.1 Tesisin Üretim İşlemleri Akım Şeması

Tablo 7.1 İmalatta Kullanılan Hammaddeler (HM) ve Katkı Maddeleri (KM)

HM ve KM Ticari adı	Bileşenleri	Yıllık kullanma miktarı (ton/yıl)
Hidrojen Peroksit	$H_2 O_2$	32 ton
Sudkostik	NaOH	16 ton
Sodyum silikat	$Na_2 SiO_3$	26 ton
Üre	$CH_4 N_2 O$	10 ton
Islatma maddesi		6 ton
Asetik asit	$CH_3 COOH$	6.5 ton
Soda	$Na_2 CO_3$	4 ton
Optik beyazlatıcı		49 ton
İyon tutucu		500 litre
Reaktif boya		3 ton
Sodyum bikarbonat	$NaHCO_3$	12 ton
Tuz	NaCl	258 ton
Tansioaktif maddeler(ıslatıcı,yıkayıcı,yumuşatıcı)		12 ton
Pigment boya		54 ton
Emülgatör-Etoksilat (Yüzey aktif madde)	Baskı kolaylığı sağlar	16 ton
Kıvamlaştırıcı Poliakrilat (Sentetik Kalınlaştırıcı)		27 ton
Binder (Bağlayıcı) Bütadien sitronakril nitril kopolimer,akrilat akril nitril kopolimer	Baskı boyasını ısı yardımı (175°C) ile kumaşa bağlar (Polimer)	108 ton
Silikon apre maddesi(yumuşatıcı mineral yağ)		2 ton
Nikel şablon	Ni	972 adet
Temizleyici (Kromik asit)	$H_2 CrO_4$	97 kg
Amonyum bikromat	$(NH_4)_2 C_2 O_7$	8 kg
Mürekkep	Suya dayanıklı kapatıcı mürekkep	32 kg

Tablo 7.2 Ürünler ve Ara Ürünler

Ürün ve Ara Ürün Ticari adı	Yıllık Ürün miktarı
Pamuklu Boyama	614 ton
Pamuklu Kasarı	576 ton
Pamuklu Baskı	3240000 m

7.1.1 Üretim Proses Bilgileri

Firmada tekstil terbiye işlemleri, kasar (österbiye), boyama, baskı, apre olarak dört temel bölüme ayrılmaktadır. Kasar (österbiye), tekstil terbiye işlemlerinin birinci basamağıdır.

Optik Kasar

Pamuğun yapısında bulunan ve rengini esmerleştiren doğal boyar maddeleri uzaklaştırmak ,ham rengini gidererek daha iyi bir görünüm kazandırmak için uygulanan işleme optik kasar denmektedir. Optik kasar aynı zamanda doğal yağ ve parafin gibi maddelerinde uzaklaştırılmasını sağlar. Doğal lifler kendi hallerinde nadiren beyazdır.

Pamuk elyafının ağartılması sonucu oluşan ürünün tartışılır bir beyazlık derecesi vardır. Gözle görülebilen dalga boyuna sahip ışıkların karışımından beyaz ışık oluşmaktadır. Yani beyaz renk, görünür alan renklerinin (350-700 nm dalga boyları arası) tamamının bulunduğu bir renkler karışımıdır. Bir cismin rengi, o cismin üzerine düşen ışınların yansıyan kısımlarından oluşur. Yani kabaca, sarı renkli bir cisim üzerine düşen ışınlar demetinden yalnız sarı olanın dalga boyuna sahip ışınları yansıtır. Cisimlerin bu özelliğinden faydalanarak, ışın spektrumunda çok küçük bir yere sahip olan görünür alanın dışında kalan ışınlarında bir kısmını yansıtabilmesini sağlayan maddelerle işlem görmesi sonucu beyaz ötesi kavramı oluşur.

Optik diye tanımlanan kimyasallar, görünür alan dışında dalga boyuna sahip ışınların dalga boylarını görünür alan (350-700 nm) dalga boyu aralığına taşır ve böylece daha fazla ışık yansımaları olur. Bu daha fazla beyazlık olarak göze çarpar.

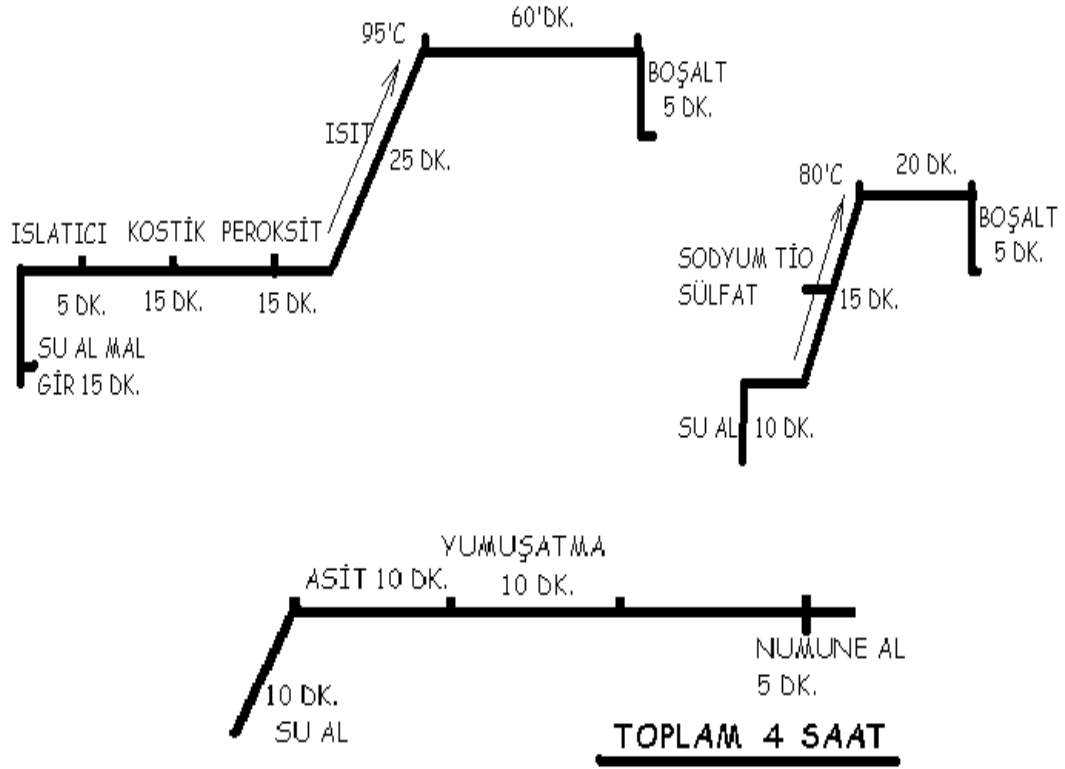
Kimyasal yapıları itibarı ile optik beyazlatıcıların büyük kısmı stilben türevleri, benzimidazoller ve sulfonamidler gruplarına aittir. Optik beyazlatıcı lifin cinsine, aplikasyon yöntemine ve optik beyazlatma ile birlikte yapılan işleme göre seçilir. Örneğin selüloz liflerinin beyazlatılmasında suda çözünebilen (sulfo grubu içeren) liflere substantifliği olan tipler; poliakrilnitrit liflerinin beyazlatılmasında katyonik (kuamer amonyum tuzu vb. gibi) tipleri; polyester liflerinin beyazlatılmasında dispersiyon tipleri kullanılır. Ağartılacak olan mamul kazanlara düzgün bir şekilde yerleştirilerek ağartma flottesini pompa vasıtasıyla sirküle edilir.

Hipoklorit ağartma sonucunda tam beyazlık elde edebilmek zor olduğundan genellikle hidrojen peroksit veya sodyumklorit ağartmasıyla kombine edilebilir. Sodyum hipoklorit ile ağartılan mamuller, diğer maddelerde ağartılanlara nazaran daha yumuşak ve güzel bir tutuma sahip olmaktadır. Ancak, sodyumkloritin avantajlarının yanı sıra, işlem sırasındaki zehirli klordioksit gazı açığa çıkması ve cihazların korozyona uğraması gibi dezavantajları nedeniyle kullanımı çok sınırlı kalmıştır. Firmanın boyahanesinde sodyum klorit ağartması kullanılmamaktadır.

Kasar işleminden sonra tekstil malzemesi üzerinde kalan alkali ve oksidasyon maddesi artıklarını gidermek amacıyla nötralizasyon işlemi uygulanır. Kasar işlemlerinin her birinden sonra ve de kasar işlemi tamamlandığında mutlaka yeterli yıkama işlemlerine uğratarak uygulanan kimyasal maddelerin artıklarının tekstil malzemesinden uzaklaştırılması gerekir. Böylece bir sonraki işleme zarar verecek kimyasallar tekstil maddesinden uzaklaştırılmış olunur.

Kasar işleminin hemen ardından kasar sonu nötralizasyon ve peroksit giderme işlemi yapılır çünkü ortamda bulunan hidrojen peroksitin yükseltgen özelliğinin durdurulması gerekir (Bkz. Şekil 7.2). Boyama aşamasına geçişte ortamda peroksit (H_2O_2) bulunması boyanın hidroliz olmasına neden olur, bu nedenle peroksitin giderilmesi gereklidir. Ayrıca boyamaya geçmeden önce pH'ın ayarlanması için nötralizasyon işlemi yapılır. Kasar süresince bazik olan ortam, kasardan boyamaya geçildiğinde de bazik devam eder ise banyoya verilen boya, nötralize olmadan reaksiyona girer ve düzensiz boyamaya neden olur. Böyle olumsuz bir durumun oluşmaması için ortam pH'nın asetik asit (CH_3COOH) ile nötralize edilmesi ve pH'ın 6.5'a ayarlanması gerekmektedir.

OPTİK KASAR



Şekil 7.2 Optik Kasar Proses Akım Şeması

Şeker Kasar

Boyama ve baskıda, parlak renkler eldesi için yeterli bir beyazlık derecesi oluşturmak şarttır. Burada istenilen beyazlık, optik kasarda istenilenden daha az ve renk boyamada istenilen beyazdan daha fazladır. Bu amaçla şeker kasar yaparken normal boyama (koyu renklerde) yapılmadan önce yapılan kasar işleminde kullanılan kostik ve peroksit miktarından daha fazlası kullanılır. Yapılan işlemler sonunda bir renk elde edilir. Koyu boyanacak mamullerde ya hiç ağartma yapılmaz yada hafif bir ağartma yapılır. Bu tür boyamalarda önemli olan bitlerin ölmesi , iyi ve düzgün hidrofilit ve kumaş temizliğinin sağlanmasıdır. Ancak orta veya açık renkli bir boyama yapılacaksa ve rengin daha parlak, canlı olması isteniyorsa şeker kasar yapılır. Şeker kasar proses akım şeması Şekil 7.3’de verilmektedir. Ayrıca aşağıda örnek olabilecek bir şeker kasar reçetesi basit olarak verilmiştir. Reçetede belirtilen yağ sökme işlemi gerekli ise kullanılmaktadır.

1. Bazik işlem + Ağartma

Islatıcı 0.5 g/l

Yağ sökücü 1 g/l

İyon tutucu 0.5 g/l

Kostik (NaOH) 3 g/l

Peroksit (H₂O₂) 2 g/l

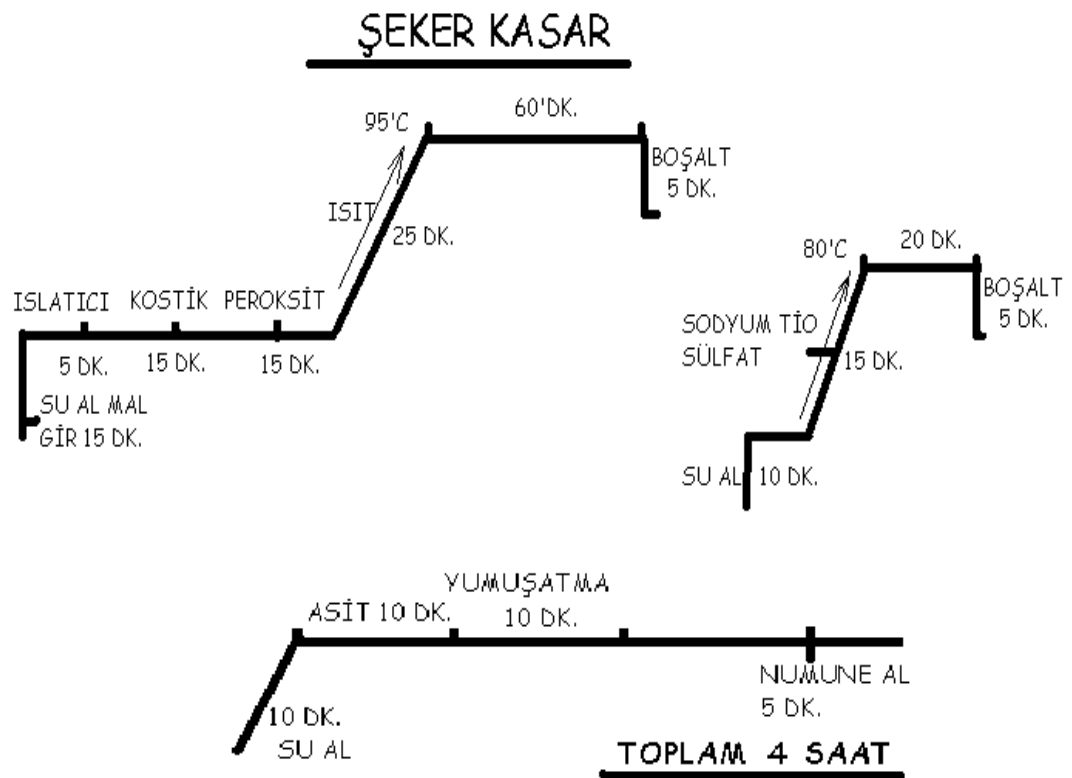
2. Peroksit giderme ve nötralizasyon

Anti peroksit

Asit

3. Yumuşatma

Yumuşatıcı



Şekil 7.3 Şeker Kassar Proses Akım Şeması

Enzim Yıkama

Enzim yıkama işlemi kumaş üzerinde meydana gelen tüylenmeleri minimize etmek amacıyla yapılır. Kumaş parlaklık ve renk canlılığı kazanır. Bu uygulamadan sonra kumaşların yeniden tüylenmesi güçleşir.

Enzim yıkamada sonuç şu faktörlere bağlıdır;

- * Prosesin pH ve sıcaklığı
- * Kullanılan makinanın tipi
- * Makinanın devir sayısı
- * Flotte oranı
- * Kumaşın tipi ve ağırlığı

Boyama

Boyama işlemleri kumaşların renklendirilmesi için yapılan işlemlerdir. Boyama işlemi pamuklu ve sentetikler için farklı yöntemlerle yapılır. Pamuklu ve sentetik endüstrisinde kullanılan elfayın türü farklıdır.

Esas olarak, boyama uygun şartlarda tekstil elyaf molekülleri ile gerçek bağlar yapan çok karmaşık organik kimyasal boyar maddelerle ilgilidir. Genellikle elyaf, iplik ya da kumaş boyar maddenin sulu çözeltisine batırılır. Bu olay çoğunlukla banyodaki boyarmaddenin istenilen rengi üretmek üzere tekstil materyali ile birleşmesine kadar dikkatle sağlanmış yüksek sıcaklık altında gerçekleşir.

Boyamadaki olayları şöyle sıralamak mümkündür;

- *Çözünmüş veya dispers olmuş boyar madde moleküllerinin elyaf üzerinde eşit dağılımı
- *Elyaf yüzeyine boyarmaddenin adsorbe edilmesi
- *Boyarmaddenin elyaf içinde difüzyonu
- *Boyarmadde ile elyaf arasındaki karşılıklı etkileşimdir.

Çektirme yönteminde tuz, sıcaklık ve süre ile fiksaj sağlanır. Örmeden gelen ham kumaşların doğrudan boyanmaları zordur. Düzgün ve hatasız bir boyama yapmak için ön terbiyenin kumaşın her noktasında eşit, düzenli ve yeteri kadar yapılması şarttır. Kumaşın boyanacağı rengin koyuluk derecesine göre ağartmanın miktarı belirlenir. Eğer koyu boyama yapılacaksa şeker kasar yapılması yeterlidir.

Hidrofilite ve peroksit kontrolleri olumlu çıkan kumaş için artık boyama işlemine başlanabilir.

Boyahanede boyama işleminde reaktif boyarmaddeler kullanılmaktadır. Reaktif boyama işlemi, boyarmadde moleküllerinin selüloz ile reaksiyona girmesi sonucu meydana gelen renklenmedir. Reaktif boyalar uygun koşullar altında, elyaf ile kimyasal reaksiyona girerek, kovalent bağ kurarlar. Pamuk boyamada başka yöntemlerde vardır ancak birçok olumsuz özelliklerinden dolayı pek kullanılmazlar ve reaktif boyama tercih edilir.

Reaktif boyarmaddelerin avantajları;

- parlak renkleriyle geniş renk paletleri
- koyu renkler
- mükemmel yaş haslıkları
- normal boyama cihazlarında uygulanabilen basitleştirilmiş boyama yöntemi

Reaktif boyarmaddelerin dezavantajları;

- çektirme yönteminde anormal düzeyde tuz kullanılmaktadır.
- çekim yavaş, fikse hızının düşük olması sonucu atıksulardaki kolorimetrik yük fazladır.
- boyama sonrası yıkama işlemlerinde su, enerji tüketimi ve harcanan zaman fazladır.
- diğer önemli bir sorun, selülozun doğal elyaf olmasından kaynaklanmaktadır.

Bu substrat hiçbir zaman sentetik liflerde olduğu gibi standart kalitede elde edilmemektedir.

Reaktif boyamada selüloz ve boyar madde molekülleri arasında kimyasal reaksiyon oluşumunda tuz ve sodanın etkileri oldukça önemlidir. Tuz elektrolitik ortam sağlayarak boyanın elyafa olan ilgisini (süstantivite) artırır. Soda da elyafı birleştirmeyi (reaktivite) sağlar. Boyama işlemi bittiğinde, kumaş üzerinde kalan fikse olmamış boya ve hidroliz olan boyanın pamuğa olan ilgisini azaltmak için tuzun ortamdan uzaklaştırılması gerekmektedir. Bu amaçla önce soğuk çalkalama yapılır. Aynı zamanda boya ve selüloz arasında gerçekleşen reaksiyonun durdurulması dolayısı ile renk sapmasını önlemek için de alkali (bazik) olan ortamın soğukta nötralizasyonu gerekir. Bu işlem için asetik asit kullanılır.

Polyester Boyama

Boyama veya baskıya girmeden önce polyester elyafa bir ön işlem uygulanması gerekmektedir. Bu işlem ön yıkama veya termofiksedir. Yıkama işleminde yağ, haşıl vb. gibi maddeler ve kumaşın üzerinde çeşitli şekillerde bulaşmış kirler kumaşın üzerinden uzaklaştırılır. Termofikse işlemi, kumaşın boyut stabilitesinin sağlanması ve sonraki ısı ve ıslak işlemlerde korunması amacıyla yapılır. Termofikse ; sıcak hava, sıcak su, doymuş buhar yardımıyla yapılabilir. Ramözde en ve boya ayarı yapılıp bekletme süresi makine hızı ayarlanmak suretiyle istenen kumaş eni ve gramajına ulaşılır. Polyester liflerinin kristal yapısı nedeniyle büyük moleküllü boyar maddeler elyaflara kolay nüfus edemez. Sıcaklık yardımı ile kristal yapısı bozunur ve boyarmadde molekülü lif içine nüfus eder.

Polyester boyama mekanizması, mekanik olarak 1 mikronun altında öğütülmüş olan dispers boya taneciklerinin yüksek sıcaklıkta suda moleküler çözünmesi ve aynı sıcaklıkta polyesterin sıvı özelliği gösteren amorf bölgesine emilmesi ile olur.

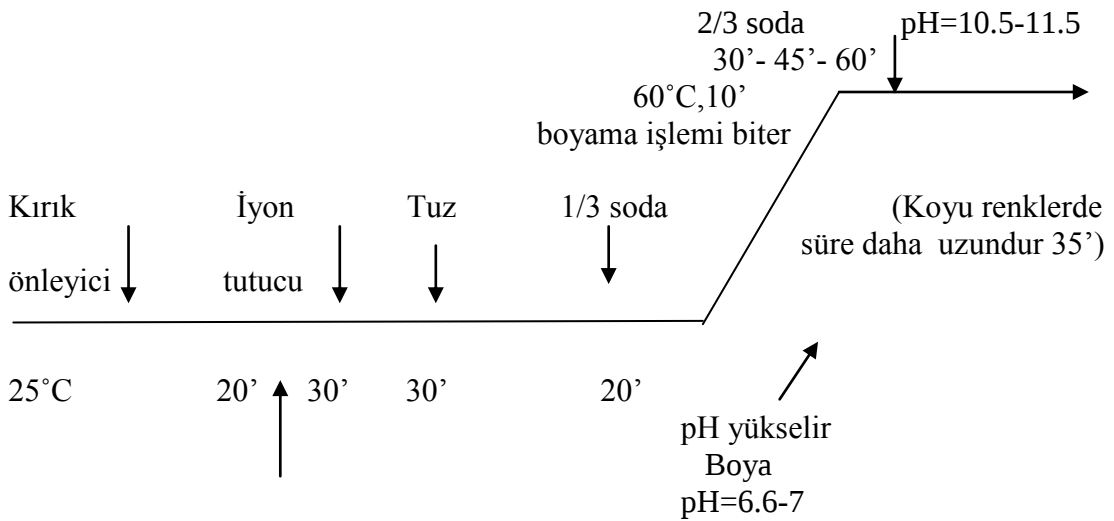
HT (High Temperature) metodu yüksek sıcaklık ve basınç altında uygulanan bir yöntemdir. Lif moleküllerinin termal hareketi 120-130 °C gerçekleşmekte, bu hareket sırasında açılan boşluklardan boyaya girebilmektedir. Böylece çekim kolaylaşır. 120-130 °C boyarmaddenin suda çözünürlüğü arttığından, boyama işlemi de hızlanır. 120-130 °C boyarmaddenin difüzyon, çekim ve migrasyon hızı artar. Düzgün boyanması zor olan boyarmadeler ile çalışıldığında 130 °C de yapılır çünkü sıcaklık arttıkça boyarmaddenin migrasyon yeteneği artar ve boyama düzgünleşir. Düzgün boyanan boyarmadde ise 120 °C üzerine çıkmaya gerek yoktur. Boyama sonrasında haslığı ve rengin parlaklığını arttırmak için sodyumdiyonit, sodyum hidroksit, noniyonik yıkama maddesi ile yıkama işlemi yapılır. Lif yüzeyine yapışmış olan boyarmaddeyi indirgeme yoluyla parçalar, yıkama maddesi ile de liflerden uzaklaştırır. Sabunlama aşamasında boyarmadde uzaklaştırılmazsa kumaşta sürtme haslığı düşük olur.

Pad Batch Açık Boyama

Pad Batch, açık en kumaşlara uygulanan kasar veya boya işlemi ne verilen addır. Sistem oda sıcaklığında 30 °C'yi geçmemek sureti ile fulardan (kasar malzemesi veya boya malzemesi dolu tekne) kumaş geçirmek esasına dayanır. Doklara sarılan kumaş, üstleri sarılarak ve sürekli dönerek reaksiyona bırakılır. Süresi dolunca dok üzerinde yıkanır veramda kurutulur.

Overflow (Sıcak Sistem-Kapalı Tüp Boyama)

Birbirine eklenen tüp kumaş kazan kapasitesine göre partilenir ve overflowlara konulur. Boyama işlemi sırası ile Şekil 7.4'de verilmektedir.

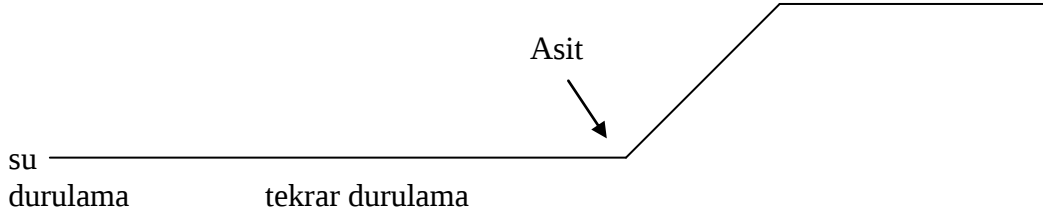


Şekil 7.4 Overflow (Sıcak sistem kapalı tüp boyama)

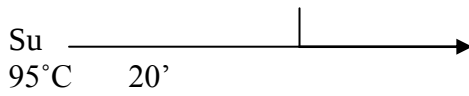
Yıkama Boyaları (Boya Sonrası)

Boyama bitince sıvı boşaltılır ve yeniden su verilir.

a) Durulama
50°C 10'



b) Sabunlama



- 1) 90°C'de 10 dakika durulama
- 2) 90°C'de 10 dakika durulama
- 3) 80°C'de 10 dakika durulama
- 4) Normal sıcaklıktaki su (25°C) ile 10 dakika durulama

Ön kasar ve reaktif boyamada overflow sistemi kapalı sistem olduğundan atmosfere emisyon verilmemektedir. Burada kullanılan üre ve asetik asit zararlı değildir.

7.2 Tesisin Proses Suyu İhtiyacı ve Özellikleri

Üretimde kullanılan proses suyu tesis içindeki 3 adet sondaj kuyusundan sağlanmaktadır. Alınan kuyu suyu özellikleri Tablo 7.3'te verilmektedir. Kuyu suyu kullanılacak proses suyu niteliklerini sağlamak amacı ile 4 adet tandem yumuşatma sisteminden oluşan bir ön arıtmadan geçmektedir.

Tablo 7.3 Alınan kuyu suyu özellikleri

Numune cinsi	Birim	Kuyu 1	Kuyu 2
Toplam sertlik	°Fr	4,4	22,0
Geçici sertlik	°Fr	4,4	22,0
Kalıcı sertlik	°Fr	0	0
(P) Alkalinite	ppm CaCO ₃	5	0
(M) Alkalinite	ppm CaCO ₃	420	370
pH		8,58	8,04
İletkenlik	µS/cm	1400	1161
Klorür	ppm Cl	284	213
Silis	ppm SiO ₂	14,1	12,7
Toplam Demir	ppmFe ^{+2,+3}	0,01	0,01
Görünüm		Renksiz berrak	Renksiz berrak
Aktif Fosfonat	ppm PO ₄		
Dispersant	ppm PAA		
Polyamin	ppm PA		
Fosfat	ppm PO ₄	0	0
Bikarbonat	ppm CaCO ₃	420,0	370,0
Bikarbonat	ppm HCO ₃	512,4	451,4

Yapılan analizler sonucu kuyu 1 suyunda 4,4 °Fr, kuyu 2 suyunda 22,0 °Fr toplam sertlik bulunmuştur. Yapısında %100 oranında bulunan geçici sertlik (bikarbonat) sebebiyle teknolojik kullanım öncesi çok iyi şartlandırılması gerekmektedir.

Proseste kullanılmak üzere yumuşatma sisteminden geçirilen suyun özellikleri Tablo 7.4’de verilmektedir.

Tablo 7.4 Yumuşatmadan çıkan ve proseste kullanılan suyun analizi

Numune cinsi	Birim	Ham su	Yumuşak su	Besi suyu	Kazan suyu
Toplam sertlik	°Fr	12,0	0,1	0,5	1,0
Geçici sertlik	°Fr	12,0	0,1	0,0	0,0
Kalıcı sertlik	°Fr	0,0	0,0	0,5	1,0
(P) Alkalite	ppm CaCO ₃	0	0	0	1600
(M) Alkalite	ppm CaCO ₃	400	430	160	2320
pH		8,06	8,01	7,00	11,97
İletkenlik	µS/cm	1295	1310	465	10660
Klorür	ppm Cl	177,5	177,5	71,0	1136
Silis	ppm SiO ₂	13,5	13,6	4,9	79,6
Toplam Demir	ppmFe ^{+2,+3}	0,03	0,02	0,01	0,14
Görünüm		Renksiz berrak	Renksiz berrak	Sarı berrak	Sarı flu
Aktif Fosfanat	ppm PO ₄				
Dispersant	ppm PAA				
Polyamin	ppm PA				
Fosfat	ppm PO ₄	0	0	0	eser
Bikarbonat	ppm CaCO ₃	400	430		
Bikarbonat	ppm HCO ₃	488,0	524,6		

Yapılan analizler sonucunda ham suda 12,0°Fr toplam sertlik bulunmuştur. Yapısında %100 oranında bulunan geçici sertlik (bikarbonat) sebebiyle teknolojik kullanım öncesi çok iyi şartlandırılması gerekmektedir. Yumuşak su değerleri ham su yapısına bağlı olarak normal değerlerdedir. Besi suyu değerleri normaldir. Kazan suyu değerleri istenilen limitlerin üzerindedir.

7.3 Atıksu Arıtma Tesisi ve Atıksu Bilgileri

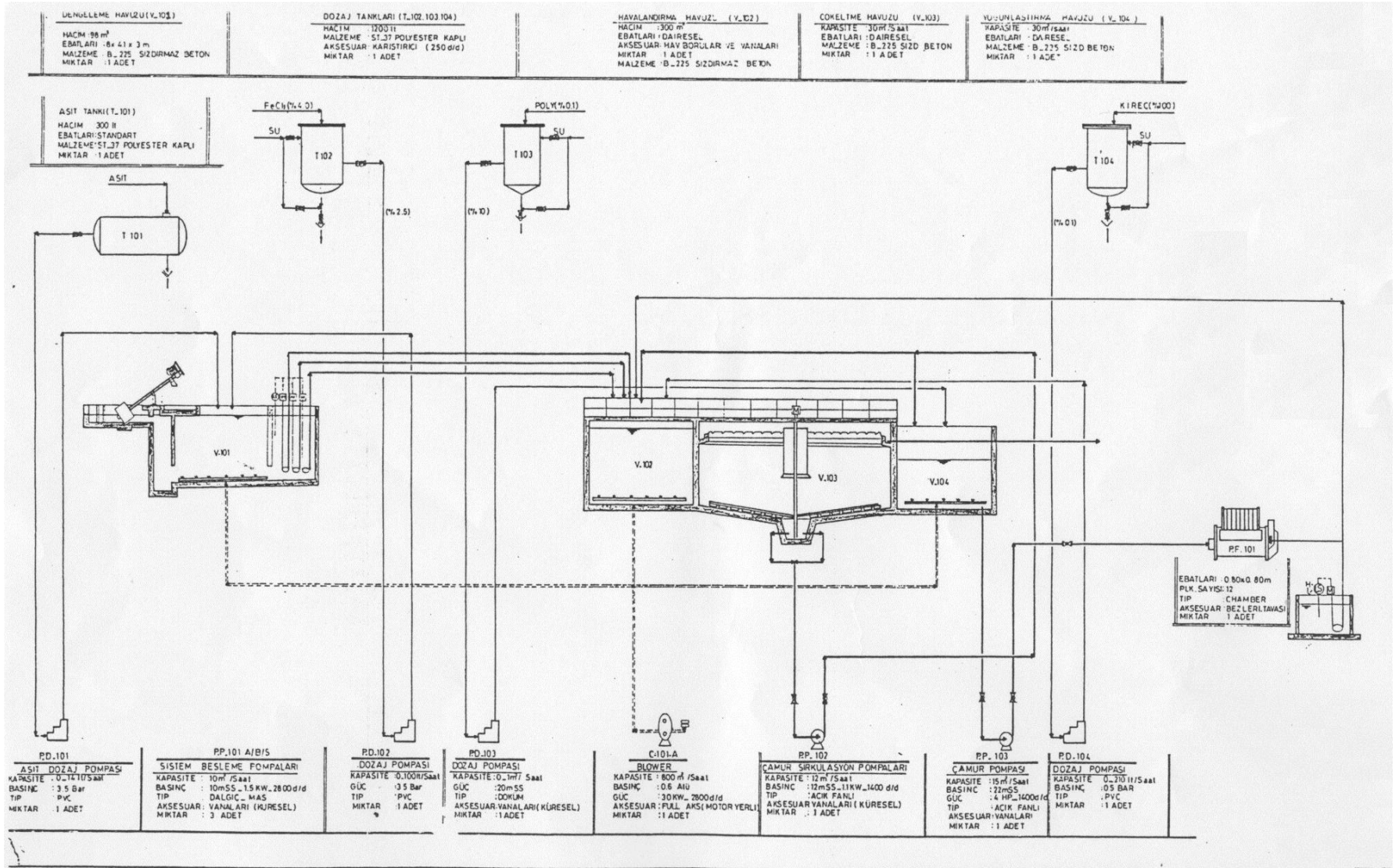
7.3.1 Atıksu Arıtma Tesisi

Tesiste dengeleme havuzu, havalandırma havuzu, son çökeltim havuzu ve filtre presten oluşan bir biyolojik atıksu arıtma tesisi bulunmaktadır. 1998 yılından beri tesisin İSKİ Genel Müdürlüğünce verilmiş bir Deşarj Kalite Kontrol Ruhsatı bulunmaktadır. Boya ve baskı laboratuvarlarından çıkan sular ile üretimden çıkan endüstriyel atıksular biyolojik atıksu arıtma tesisinde İSKİ limitlerine uygun olarak arıtılmakta ve mansab tarafında bulunan İSKİ kanalizasyon şebekesine verilmektedir. Diğer yandan ortaya çıkan evsel nitelikli olan atıksular İSKİ'nin 30 cm çapındaki kanalizasyon mecrasına deşarj edilmektedir. İSKİ firmadan KSUB (Kullanılmış suları uzaklaştırma bedeli) almaktadır. Tesis içindeki sondaj kuyuları üzerine İSKİ tarafından sayaçlar takılmış olup sayaçlara göre atıksu tahakkuku yapılmaktadır.

1 nolu su kuyusu ve 2 nolu su kuyusu 2 lt/sn debiye, 3 nolu kuyusu ise 5 lt/sn debiye sahiptir. Ayrıca İSKİ'nin firmadan şu anda aldığı KSUB birim fiyat bedeli 01.10.2003 tarihi itibarıyla 2,251,167 TL / m³'dür.

Mevcut arıtma tesisi kapasitesi 1000 m³/gün olup Uzun Havalandırmalı Aktif Çamur prensibine göre çalışan mevcut atıksu arıtma tesisi sırası ile rotomat ızgara, dengeleme, nötralizasyon, pıhtılaştırma, yumaklaştırma, hidroksit çöktürme havalandırma, yoğunlaştırma, çamur çöktürme ve filtreprestene meydana gelmektedir. Firmada atıksu gerikazanım ve yeniden kullanımı yoktur.

Arıtma tesisi yerleşim planı ve akım şeması Şekil 7.5 ve 7.6'de verilmiştir.



Şekil 7.6 Atıksu Arıtma Tesisi Akım Şeması

7.3.2 Atıksu Bilgileri

Tesisin günlük su ihtiyacı 1000 m³/gün olup dolayısıyla günde 1000 m³/gün atıksu oluşmaktadır. Atıksuda bulunan başlıca kirletici parametreler KOI, AKM, toplam sülfür, sülfat, pH ve renk 'tir.

2000 yılında İSKİ tarafından arıtma tesisi çıkışından alınan su analizi ve buna karşılık İSKİ'nin kanala deşarj limit değerleri Tablo 7.5'de verilmiştir.

Tablo 7.5 İSKİ Arıtma tesisi çıkışından aldığı su analizi ve kanala deşarj limitleri

Parametre	Birim	Atıksu Kanala Deşarj Limitleri	Analiz Sonucu 17/08/2000
KOI	mg/l	800.0	240.0
AKM	mg/l	350.0	60.0
Top-Sülfür	mg/l	2.0	0.6
pH		6-10	7.5
Sülfat	mg/l	1700.0	615.0

Arıtma tesisi öncesi ve sonrası atıksudaki kirletici parametre değerleri Tablo 7.6'de verilmektedir. Buna göre arıtma tesisi çıkış suyu deşarj limitlerini aşmamaktadır.

Tablo 7.6 Atıksu arıtma tesisi öncesi ve sonrası atıksu karakteri

Kirletici Parametreler	KOI	AKM	AZOT	YAĞ
Arıtma öncesi konsantrasyon mg/l	814	700	351	166
Arıtma sonrası konsantrasyon mg/l	240	60	110	66.9
Limit değerler mg/l	800	350	40	50

7.4 Gerikazanım ve Yeniden Kullanım İçin Önerilen Arıtma Tesisi

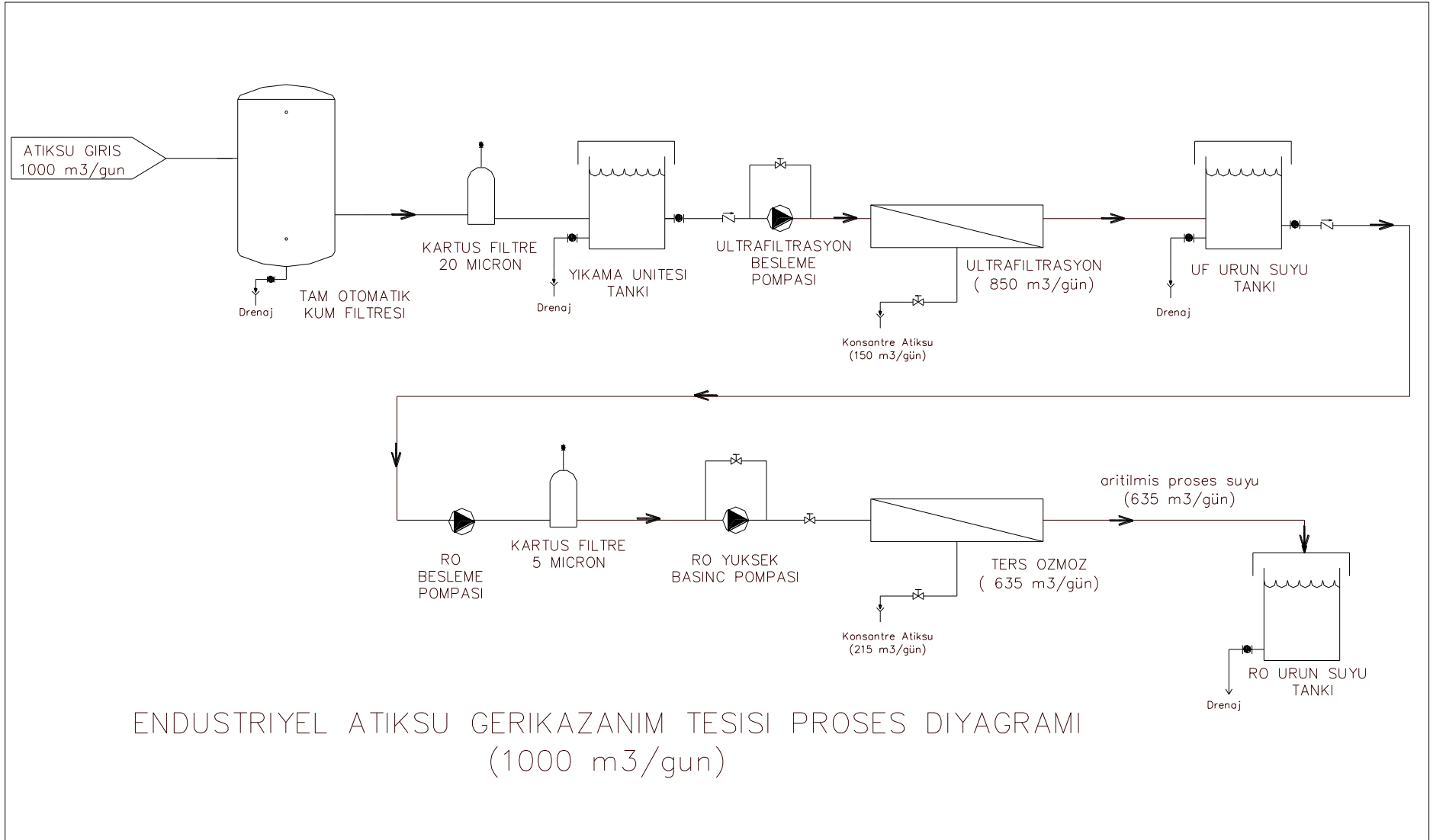
Gerikazanım ve yeniden kullanım için önce firmadaki mevcut atıksu arıtma tesisi incelenmiş olup firmadaki mevcut biyolojik aktif çamur prosesinden sonra ileri arıtım teknikleri yani membran proseslerin kullanılması uygun görülmektedir.

Alınan 1000 m³/gün'lük kuyu suyu önce proste kullanılmak üzere mevcut yumuşatma sisteminden geçirilmektedir. Prosten çıkan atıksular aktif çamur prosesinde arıtıldıktan sonra sırasıyla Kum filtresi, UF ve RO'dan meydana gelen bir gerikazanım tesisinden geçirilerek arıtılmak ve tekrar boya prosesinde veya yıkama suyu olarak kullanılmak istenmektedir.

Fabrikadaki mevcut yumuşatma sistemi ve atıksu arıtma tesisi olduğu gibi bırakılıp mevcut sisteme uygun bir gerikazanım prosesi önerilmiştir (Bkz. Şekil 7.9).

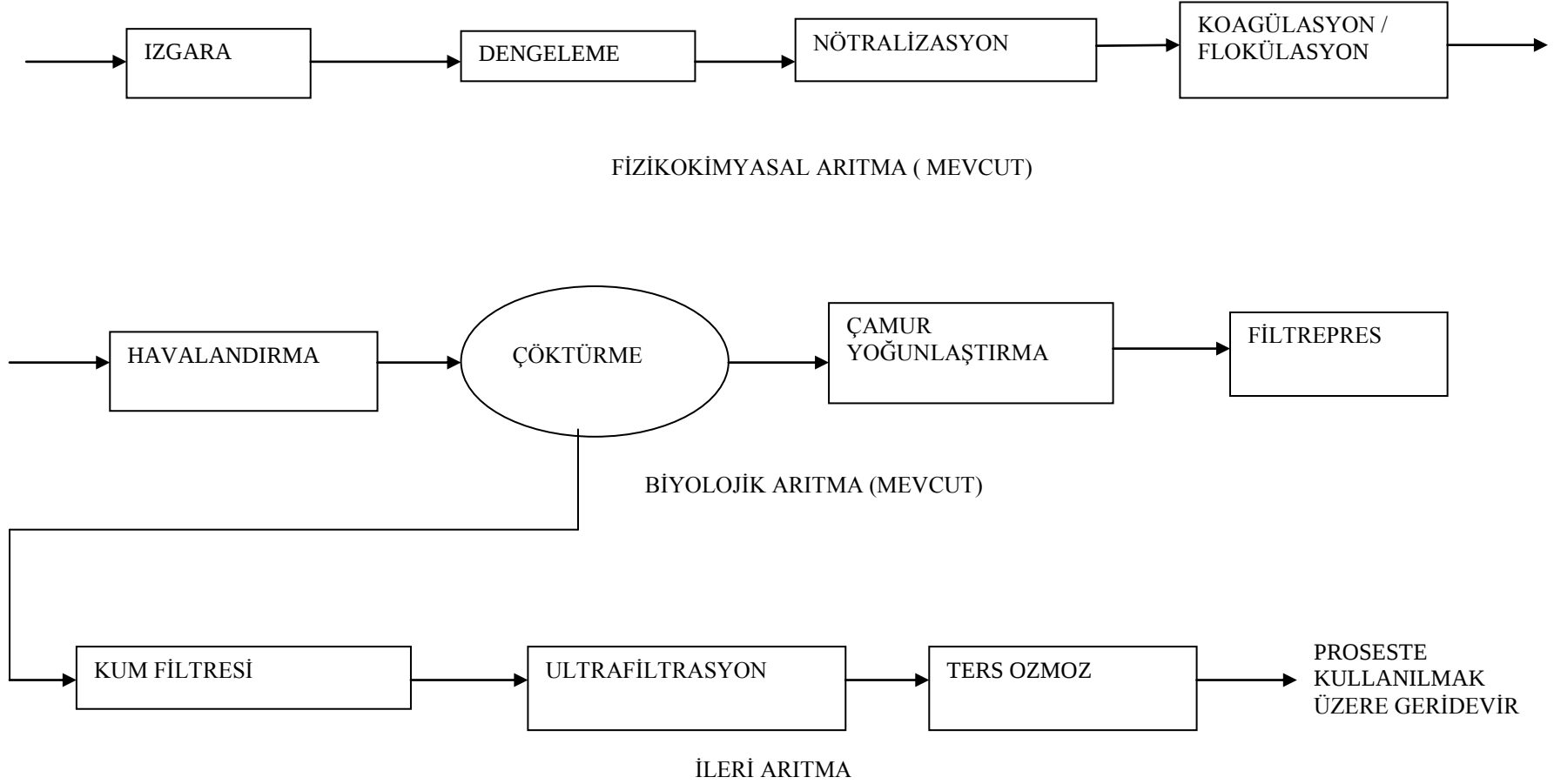
Alternatif olarak, tesiste bulunan ve kuyu suyu arıtımında kullanılan yumuşatma sistemi yerine RO membran modülü konulması ve böylece sudaki tuzluluk ve sertliğin büyük ölçüde giderileceği düşünülerek son kademe arıtımda UF yerine de NF önerilmektedir. Düşük sertlik nedeni ile ikinci kademe çıkış suyu gerikazanımı için NF kullanımı da mümkün olacaktır (Bkz. Şekil 7.10). Fakat bunların yanında çıkan konsantre atıksu miktarının fazla olması ve konsantre atıksu uzaklaştırmanın da maliyeti çok yükselteceği düşünüldüğünden bu sistem ekonomik açıdan tercih edilmemiştir.

Gerikazanım proses diagramı Şekil 7.7 ve 7.8'de verilmiştir.

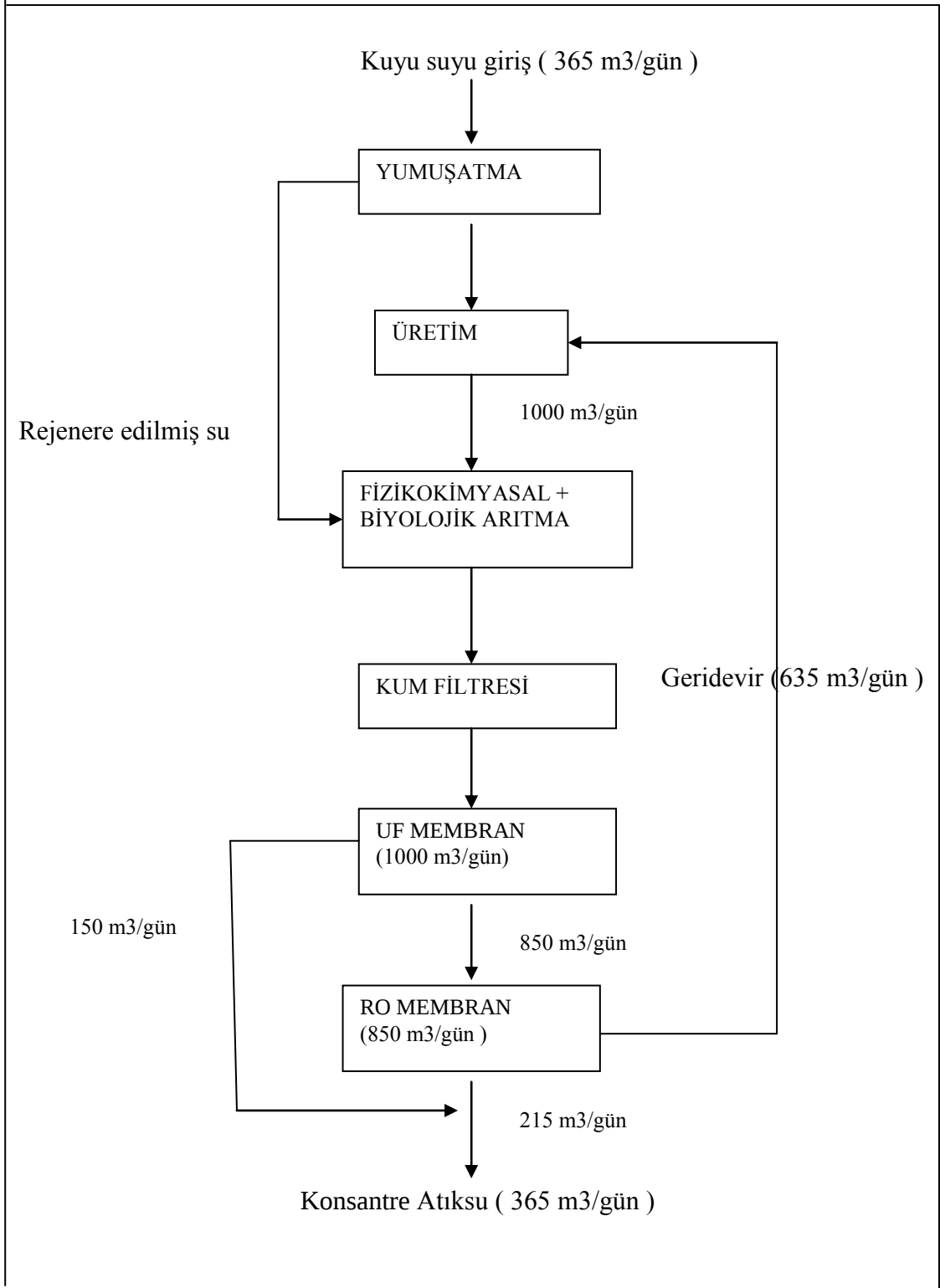


Şekil 7.7 Gerikazanım Tesisi Proses Diyagramı

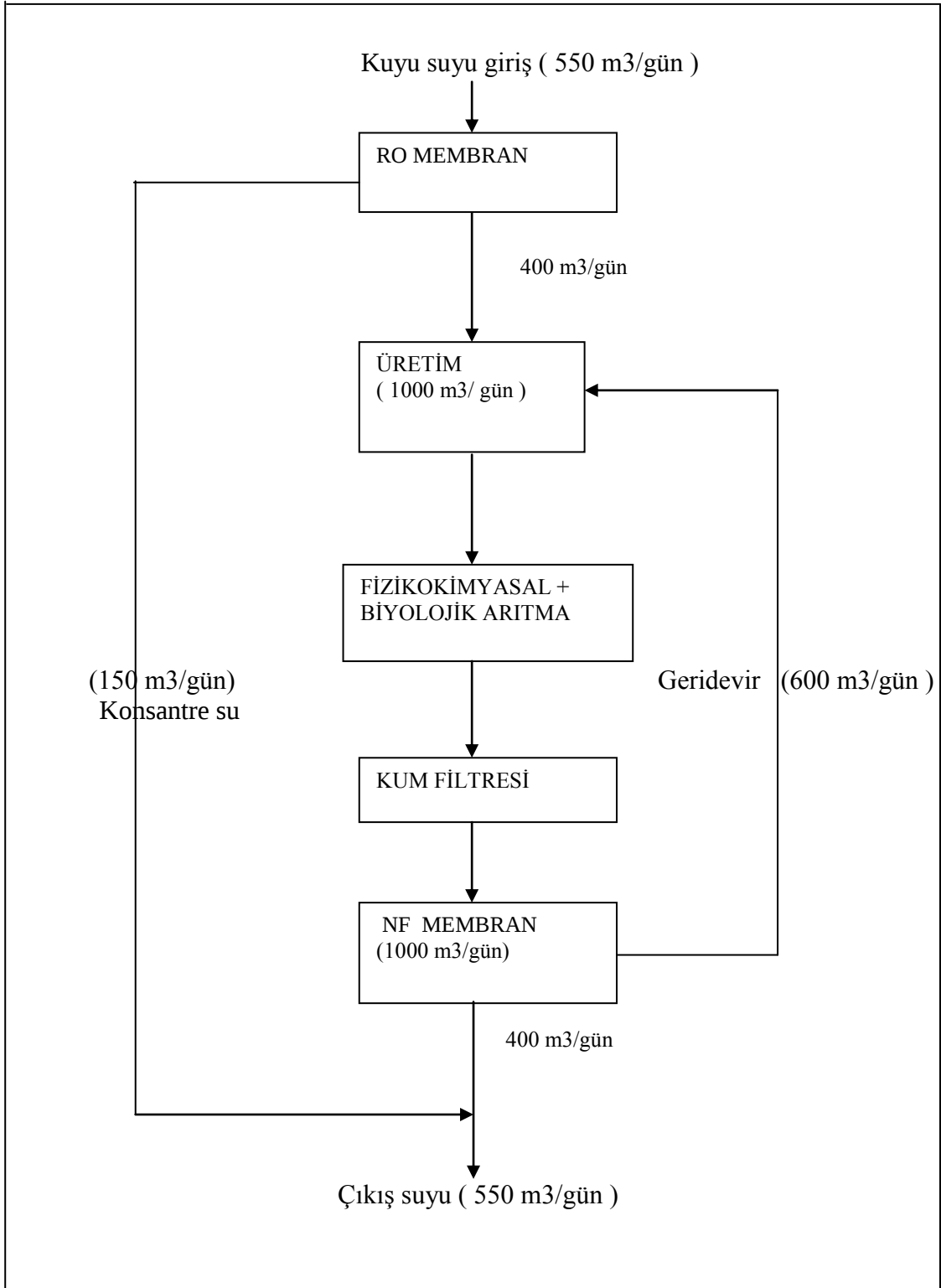
ATIKSU
GİRİŞ



Şekil 7.8 İncelenen firmanın mevcut arıtma tesisi ve önerilen gerikazanım proses akım şeması



Şekil 7.9 Fabrikanın mevcut arıtma tesisi ve önerilen atıksu geri kazanım ve yeniden kullanım tesisi akım şeması



Şekil 7.10 Yumuşatma sistemi yerine RO konulması halinde firma için önerilen alternatif atıksu gerikazanım ve yeniden kullanım tesisi akım şeması

Tablo 7.7 Arıtma Tesisi Çıkışından Alınan Atıksu Analizi

Parametre	Birim	Analiz Sonucu 17/08/2000
Debi	m ³ /gün	1000
KOI	mg/l	240.0
AKM	mg/l	60.0
pH		7.5
Bulanıklık	NTU	7.1
İletkenlik	µS/ cm	7580
Top. sertlik	°F	14
Top. sülfür	mg/l	0.6
Sülfat	mg/l	615
Klorür	mg/lt	1127

KOI, kum filtresinde kısmen arıtıldıktan sonra UF tarafından yaklaşık %50 oranında giderilecektir (M. Marcucci ve diğ., 2001). Kum filtresi ve UF'nun %90 bulanıklık ve %95 AKM gidereceği de gözönünde bulundurularak çıkan suyun özellikleri aşağıda verilmektedir (M. Marcucci ve diğ., 2001). Bunların dışında renkte %5 oranında kum filtresi ve UF tarafından giderilecektir. İletkenlik ve toplam sertlik değerlerinde önemsenecek büyüklükte bir değişme kaydedilmeyecektir.

Tablo 7.8 Atıksuyun Kum filtresi ve UF'dan Geçtikten Sonra Tahmin Edilen Parametre Değerleri

Parametre	Birim	UF Ürün Suyu
Debi	m ³ /gün	850
KOI	mg/l	120
AKM	mg/l	3
pH		7.5
Bulanıklık	NTU	0.71
İletkenlik	µS/ cm	7580
Top. sertlik	°F	14
Top. sülfür	mg/l	0.6
Sülfat	mg/l	780
Klorür	mg/lt	1127

Kum filtresi ve UF'dan sonra çıkan su RO'dan geçirilecektir. RO ünitesinden geçen suyun KOI'si % 42, iletkenliği %95 oranında ve rengi de % 90 oranında giderilecektir (M. Marcucci ve diğ., 2001) . Böylece RO ürün suyu kalitesi Tablo 7.9'da belirtildiği gibi olacaktır.

Tablo 7.9 RO Çıkış Suyu Parametre Değerleri

Parametre	Birim	RO Ürün Suyu
Debi	m ³ /gün	635
KOI	mg/l	70
AKM	mg/l	3
pH		7.5
Bulanıklık	NTU	0.71
İletkenlik	µS/ cm	310
Top. sertlik	°F	0.1
Top. sülfür	mg/l	0
Sülfat	mg/l	8
Klorür	mg/lt	11

Tablo 7.9'dan da görüldüğü üzere gerikazanım tesisi çıkış suyu iletkenlik ve sertlik değeri proses suyu değerlerini karşılamaktadır. Dolayısıyla gerikazanım tesisi çıkış suyunun boyama prosesinde veya yıkama suyu olarak kullanılabilir. Ortaya çıkan konsantre atıksu İSKİ'nin Kanala Deşarj Standartlarını karşılamaktadır (Tablo 7.10).

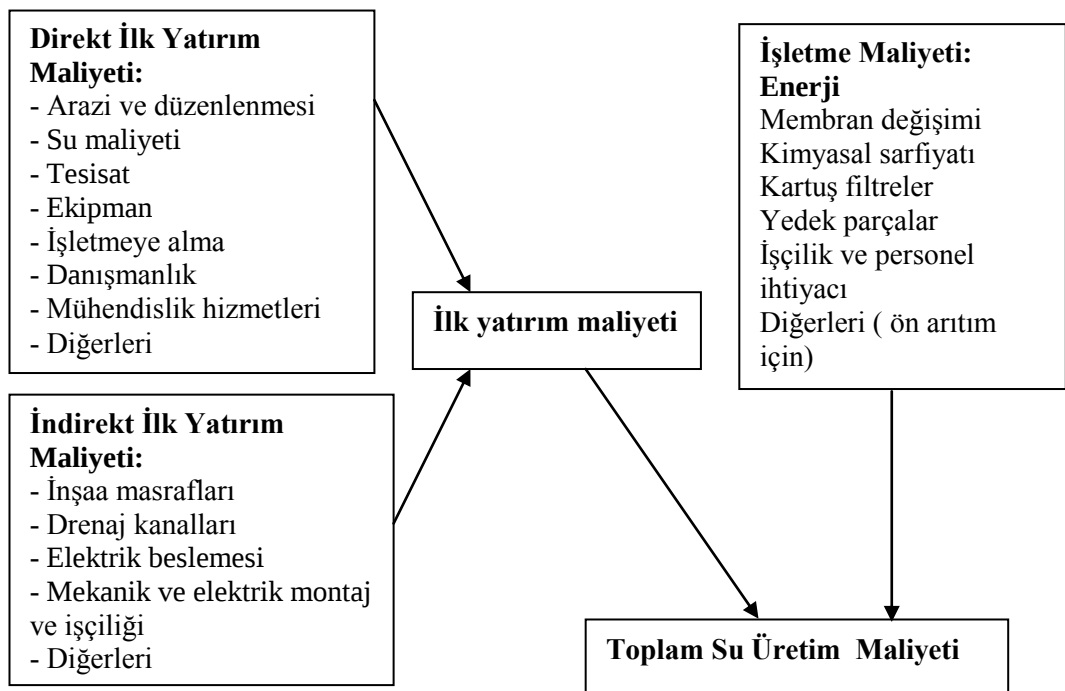
NF'un son membran prosesi olduğu durumda iletkenlik %40 ve toplam sertlik %75 oranında giderilmekte dolayısıyla pilot tesis çıkışındaki su tekrar kullanım için gerekli olan su kalitesini kriterlerini karşılayamayacaktır (örneğin açık renkli boyama prosesi).

Tablo 7.10 Konsantre Atıksu Parametre Değerleri

Parametre	Birim	Konsantre Atıksu	Kanala Deşarj standartları
Debi	m ³ /gün	365	
KOI	mg/l	657	800
AKM	mg/l	164	350
Top. sülfür	mg/l	1.64	2
Sülfat	mg/l	1684	1700

8. GERİKAZANIM MALİYET ANALİZİ

Bu bölümde endüstriye proses suyu temin etmek amacıyla dizayn edilen 1000 m³ /gün kapasiteli gerikazanım tesisinin maliyeti hakkında bilgi verilmiştir. Maliyeti oluşturan unsurlar belirtilmiş ve herbir kalem ayrı ayrı açıklanmıştır. Membran sistemlerin, özellikle ters ozmoz sisteminin maliyeti, teknolojideki gelişmelerle birlikte zamanla ucuzlamaktadır. Membran firmaları devamlı suretle, daha verimli ve daha ucuza mal olabilecek yeni membran sistemlerini ortaya çıkartmaya çalışmaktadırlar (Koyuncu ve dğr., 1998). Membran sistemlerinin maliyeti, birçok unsura bağlıdır. İlk yatırım ve işletme maliyeti, aynı tip uygulamalar için bile farklı olabilmektedir. Bu maliyet değişimi başlıca, ham su özelliklerinin geniş bir aralıkta değişmesi, herbir membran türünün veriminin farklı olması, birbirine rakip firmaların yaptığı teknolojik atılımlar, sistem kapasitesi ve istenen suyun saflığı gibi unsurlara bağlı olarak değişmektedir. Bundan dolayı maliyet tahminlerini yapmak oldukça zorlaşmaktadır. İlk yatırım ve işletme maliyetinden oluşan, toplam işletme maliyetini oluşturan maliyet kategorileri Şekil 8.1’de verilmiştir.



Şekil 8.1 Membran sistemlerde maliyet kategorileri

8.1 İlk Yatırım Maliyeti

8.1.1 Direkt İlk Yatırım Maliyeti

Arazinin Düzenlenmesi: Binaların ve yolların yapılması ve diğer araziyle ilgili düzenlemelerin yapılması bu maliyet kalemini kapsamaktadır. Gerikazanım tesisi mevcut arıtma tesisi içine yapılacaksa arazinin düzenlenmesi maliyeti sıfır olarak alınabilir.

Tesisat: Her türlü pompalama sistemi, tesisat, elektrik sistemi ve mekanik montaj bu maliyet kısmına girmektedir.

Ekipman: Ekipman maliyeti, kum filtresi (önarıtma sistemi), UF ve RO membran modülleri yüksek basınç pompaları, sistem besleme pompaları, dozaj pompaları ve bunların taşınmasını içermektedir. Ekipman maliyetini içeren unsurlar Tablo 8.1’de verilmektedir.

Tablo 8.1 Ekipman Maliyet Kalemleri

Otomatik çok katmanlı kum filtresi
Sodyumhipoklorit dozaj ünitesi
Sodyumbisülfid dozaj ünitesi
Asit dozaj ünitesi
Antiskalant dozaj ünitesi
Orp kontrolör
Orp sensörü
PH Dengeleme ünitesi
Membran yıkama ünitesi
Elektrik mekanik montaj ekipmanı
Kartuş filtre gövdesi
Kartuş filterler
Yüksek basınç pompası
Membran kılıfları
Membranlar
PLC'li kontrol panosu
İletkenlik kontrolü
Debi kontrolü
PH kontrolü
Basınç şalteri
Manometreler
RO şasesi
Paslanmaz çelik globe vanalar
Paslanmaz çelik ve PVC borulama

Su Maliyeti: Su maliyeti kalemini, ham su temin etme (veya satın alma) ve gerikazanım tesisi ile arıtma sonunda oluşan konsantre akımın uzaklaştırılması maliyetlerini içermektedir. Ham su temini üç faktörden etkilenmektedir. Bunlar sırasıyla, ham su temin yöntemi, ham suyun depo edildiği tankın kapasitesi ve gerikazanma oranıdır. Kuyuların açılması, pompalama sistemleri bu maliyet kalemi kapsamındadır. Konsantre akımının uzaklaştırılması ise uzaklaştırma yöntemine ve çevre kanunlarına bağlı olarak değişmektedir. Konsantre uzaklaştırma yöntemleri arasında, , denize verme, araziye serme, kanalizasyon sistemine verme, derin kuyu enjeksiyonu ve evaporasyon yöntemi (yakma) gelmektedir. Bu çalışmada, oluşan konsantre atıksu İSKİ Kanala Deşarj Standartlarını sağladığı için kanalizasyona deşarj edilecektir.

Arazi: Gerikazanım tesisinin kurulduğu arazinin maliyetidir. Mevcut saha içine kurulacağı düşünüldüğünden ihmal edilmiştir.

8.1.2 İndirekt İlk Yatırım Maliyeti

Bu başlık altındaki kalemler, gerikazanım sisteminin inşaatının kesin olmayan bitim tarihine bağlı ek maliyetlerini içermektedir.

İnşaa Masrafları: İnşaa masrafları, ücretler, arazi araştırmaları, geçici olarak şantiye binası yapımı gibi masrafları kapsamaktadır. Toplam direkt ilk yatırım bedelinin %12'si bu maliyet bileşeni için temsil edici değer olarak alınabilir.

Beklenmeyen Giderler: Gerikazanım sistemminde beklenmeyen giderlere ayrılan kısım, toplam direkt ilk yatırım bedelinin %10'udur. Bu değer bölgeye bağlı olarak değişmektedir. Ekonomi politikası değişken olan ülkelerde inşaa edilen tesis için beklenmeyen giderlere ayrılan miktar normalden çok fazla olabilir.

8.2 İşletme Maliyeti

Enerji: Enerji maliyeti, membran sistemlerde en önemli kısmı oluşturmaktadır. Enerji maliyeti, besleme suyu pompaları, yüksek basınç pompaları, dozaj pompaları, ön arıtma birimleri ve malzemelerinin harcadığı enerji maliyetini içermektedir. En çok enerjiyi yüksek basınç pompaları tüketir. Bu dezavantajı ortadan kaldırmak için

son yıllarda, düşük basınçta çalışan membran sistemlerinin geliştirilmesi hız kazanmıştır. Elektrik enerjisi birim fiyatı Tablo 8.2.'de verilmektedir.

Tablo 8.2. Piyasadan Temin Edilen Maliyet Hesaplarında Kullanılan Birim Fiyatlar

Elektrik Birim Fiyatı (EURO/kWsaat)	0,07
Sodyum Hipoklorit Birim Fiyatı %12'lik Sıvı (EURO/kg)	0,17
Sodyum Bisülfid Birim Fiyatı % 95'lik toz (EURO/kg)	0,40
Sülfürik Asit Birim Fiyatı %98'lik (EURO/kg)	0,10
Antiskalant Birim Fiyatı %100'lük Sıvı (EURO/kg)	11,00
Sodyum Hidroksit Birim Fiyatı %50'lik (EURO/kg)	0,15
Aktif Karbon Birim Fiyatı (EURO/kg)	2,50
Kartuş Filtre Birim Fiyatı (EURO/adet)	5,00
Membran (EURO /adet)	800

Membran Değişimi: Membran değişimi de en önemli işletme maliyeti bileşenlerindendir. Membran firmaları membran değiştirme ömrünü 3 ile 5 yıl arasında değişen zamanlarda garanti etmektedirler. Bu çalışmada membran değiştirme ömrü 3 yıl alınmıştır.

İşçilik ve Genel Giderler: İşçilik maliyeti, çalışan işçi sayısına bağlı olarak değişmektedir. Çalışan işçi sayısı ise, sistemin işletme biçimine bağlıdır. Günümüzde membran sistemleri tam otomatik olarak çalışmakta ve işçilik masrafı en aza indirgenmektedir.

Yedek Parçalar: Yedek parçalar sistemde çalışamaz duruma gelmiş parçaların değişimini içermektedir. Bunlar pompa parçaları, vanalar, otomatik kontrol sistemi parçaları ve bilinmeyen diğer parçalar olabilir.

Filtreler: Ön arıtmada kullanılan kartuş filtrelerin 6 haftada bir değiştirilmesi gerekmektedir. Bu da işletme maliyeti olarak ortaya çıkmaktadır.

Kimyasallar: Membran sistemlerinde kimyasallar, membran üzerinde çökeltme oluşumunu önlemek, membranı korumak, arıtma sonrası suyu şartlandırmak ve dezenfeksiyon amaçlı kullanılır. Burada aktif karbon değişim süresi 1 sene kabul edilmiştir.

Diğerleri: Sistemin işletilmesi sırasında ortaya çıkabilecek bilinmeyen işletme giderlerini oluşturur.

8.3. Toplam Su Üretim Maliyeti (TSÜM)

Toplam su üretim maliyeti, ilk yatırım ve işletme maliyetlerinin toplamından oluşur. İlk yatırım maliyetinin amortismanını belirlemek için, tesis süresi, faiz oranı bilinmelidir. Gerikazanım tesisine ait ekonomik değerlendirme Şekil 8.2 ve Tablo 8.3 'de verilmektedir.

Tablo 8.3. 1000 m³/gün Kapasiteli Gerikazanım Tesisi Maliyet Değerlendirmesi

Maliyet Bileşenleri	Maliyeti
Direkt İlk Yatırım Maliyeti (EURO)	260.000
İndirekt İlk Yatırım Maliyeti (EURO)	50.000
Toplam İlk Yatırım Maliyeti (EURO)	310.000
<u>İşletme Maliyetleri (EURO/ yıl)</u>	
Enerji Tüketimi (EURO/ yıl)	41.453
Membran Değişimi (EURO/ 3 yıl)	60.000
İşçilik ve Genel Giderler (EURO/ yıl)	8.000
Kimyasallar (EURO/ yıl)	95.830
Kartuş Değişimi (EURO/ yıl)	2.340
Konsantre Atıksu Uzaklaştırma (KSUB) Bedeli (EURO/ yıl)	168.192
Toplam Yıllık İşletme Maliyeti (EURO/ yıl)	315.815
İşletme Maliyetinin Şimdiki Zaman Değeri* (EURO)	2.837.517
Toplam Üretim Maliyetinin Şimdiki Zaman Değeri (EURO)	3.147.517
20 Yılda Üretilen Su Miktarı** (m ³)	7.200.000
Toplam Su Üretim Maliyeti (EURO/ m ³)	0,43
Toplam Su Elde Etme Birim Fiyatı (EURO/ m ³)***	0,55
Fayda/ Maliyet Analizi	1,28

* Tesisin kendini amorti edeceği süre 20 yıl ve faiz oranı EURO bazında %10 olarak kabul edilmiştir.

** Tesis 1 yılda toplam 360 gün çalışacaktır.

*** Tablo 8.4'ten alınmıştır.

İncelenen fabrikada, kuyu suyu proseste kullanılmak üzere yumuşatma sisteminden geçirilmekte ve atıksu arıtma tesisinden çıkan atıksu İSKİ kanalına deşarj edilmektedir. İSKİ'nin firmadan şu anda aldığı KSUB birim fiyatı 01.10.2003 tarihi itibarıyla 2.251.167 TL/m³ (1,28 EURO/ m³) olarak belirlenmiştir. Tablo 8.4'de yumuşatma sistemi ve atıksu uzaklaştırma maliyet analizi verilmiştir.

Tablo 8.4 1000 m³/gün Kapasiteli Kuyu Suyu Yumuşatma Sistemi ve Atıksu Uzaklaştırma Maliyet Değerlendirmesi

Maliyet Bileşenleri	Maliyeti
Toplam İlk Yatırım Maliyeti (EURO)	25.000
İşletme Maliyetleri	
Enerji Tüketimi (EURO/ yıl)	2.500
İşçilik ve Genel Giderler (EURO/ yıl)	2.000
Kimyasallar (EURO/ yıl)	2.000
KSUB bedeli (EURO/ yıl)	460.800
Toplam İşletme Maliyeti (EURO/yıl)	467.300
İşletme Maliyetinin Şimdiki Zaman Değeri* (EURO)	3.978.592
Toplam Üretim Maliyetinin Şimdiki Zaman Değeri (EURO)	4.003.592
20 Yılda Üretilen Su Miktarı** (m ³)	7.200.000
Toplam Su Üretim ve Atıksu Uzaklaştırma Maliyeti (EURO/ m ³)	0,55

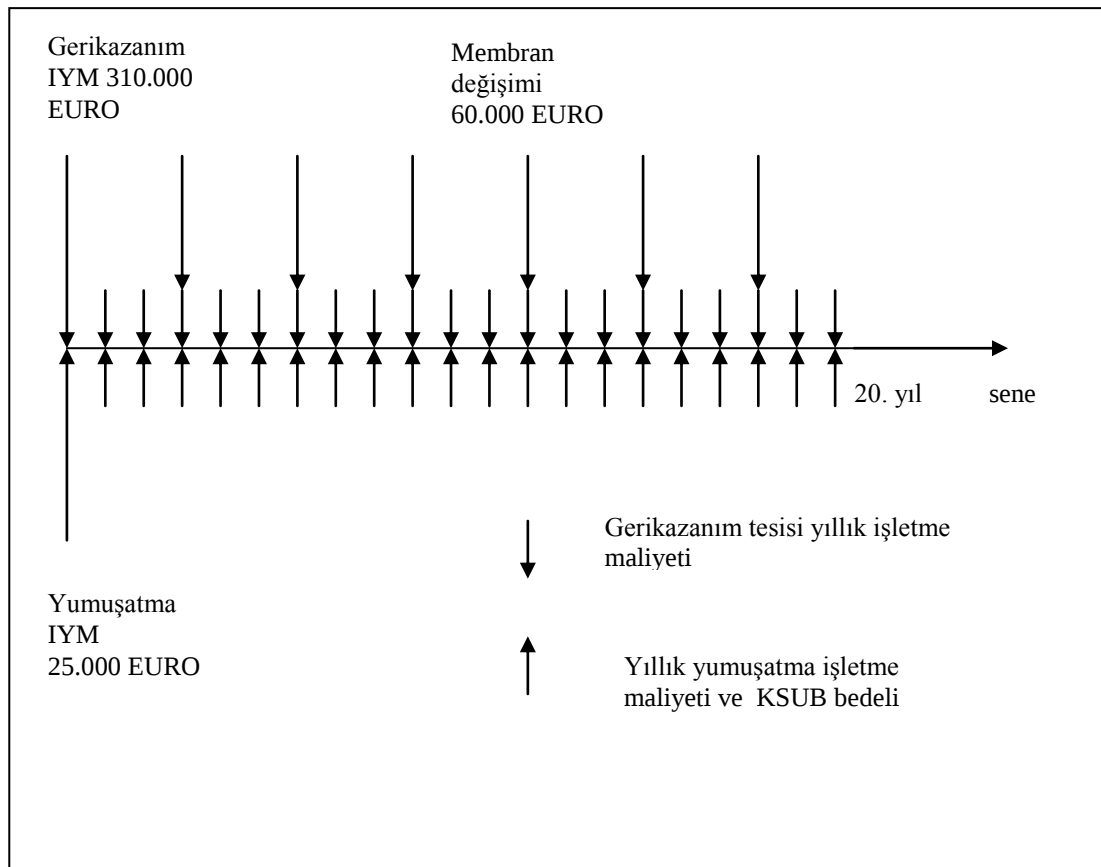
* Tesisin kendini amorti edeceği süre 20 yıl ve faiz oranı EURO bazında %10 olarak kabul edilmiştir.

** Tesis 1 yılda toplam 360 gün çalışacaktır.

Gerikazanım tesisinde, proses suyu ihtiyacı ve atıksu miktarının 1000 m³/gün'den 365 m³/gün'e düşmesi yumuşatmanın işletme maliyetini ve ödenen KSUB bedelini büyük oranda azaltacaktır.

Ayrıca İstanbul bölgesi için İSKİ'nin endüstrilere uyguladığı su tarifesinin 2 EURO/ m³, tankerle su temini maliyetinin 2-3 EURO/ m³ civarında olduğu düşünülürse, gerikazanım ile su üretim maliyetinin sanıldığı kadar pahalı olmadığı, maliyetin diğer su temin yöntemleri ile başabaş ve hatta bazılarının çok altında olduğu görülmektedir.

Tablo 8.3 ve Tablo 8.4’de de görüldüğü üzere membran sistemlerin kullanıldığı gerikazanım tesisi su üretim ve konsantre atıksu uzaklaştırma maliyeti (0,43 EURO/m^ε) ile su yumuşatma ve atıksu uzaklaştırma maliyeti (0,55 EURO/m^ε) kıyaslandığında gerikazanım tesisinin ekonomik açıdan uygulanabilir olduğu görülmektedir.



Şekil 8. 2 Gerikazanım Tesisi Maliyet Analizi

Diğer taraftan “Fayda/Maliyet” oranının **1,28** gibi 1’den büyük bir değer olması, kullanılan proses suyu ve atılan atıksu miktarının da büyük ölçüde azalması, bu projenin endüstriyel kirlenme kontrolü ve ekonomik açıdan çok cazip olduğunu göstermektedir.

9. SONUÇLAR

Membran teknolojisinin maliyeti gün geçtikçe, membran teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak azalmaktadır. Membran sistemlerin diğer kirlilik kontrol sistemlerine göre en önemli avantajlarından birisi sistem içinde direkt olarak geri devir imkanlarının bulunmasıdır. Membranlar, boya dahil kimyasalların fiziksel veya kimyasal değişime uğramadan susuzlaştırarak veya konsantre hale getirerek prosese doğrudan geri verilmesi imkanı sağlamaktadır. Gerikazanım tesisi ile proses suyu elde edilirken hem kullanılan temizsu hem de atılan atıksu miktarı oldukça azalmaktadır. Bu da endüstriyel kirlenme kontrolünde ve su kaynaklarının korunmasında, dolayısıyla sürdürülebilir kalkınma çerçevesinde değerlendirildiğinde, hem ekonomik hem de ekolojik açıdan çok önemli kazançlar sağlamaktadır.

İncelenen tekstil fabrikası örgü kumaş üzerine boyama ve baskı yapan bir fabrika olup boyama prosesinde reaktif boyaları kullanmaktadır. Dolayısıyla boyama esnasında tuz tüketimi oldukça fazla olmaktadır. Boyama ve baskıdan önce ham kumaşlar kasarılma (ön terbiye işlemine) tabi tutulurlar. Tesisten çıkan toplam atıksular fizikokimyasal ve biyolojik aktif çamur prosesinden geçirilerek İSKİ'nin kanala deşarj standartlarına sağlayacak şekilde deşarj edilmektedir. Atıksuda bulunan başlıca kirlenici parametreler KOI, AKM, toplam sülfür, sülfat, pH ve renktir.

Tesis 1000 m³/günlük su ihtiyacını fabrika içinde açılan kuyulardan sağlamakta ve çekilen kuyusunu yumuşatma sisteminden geçirerek proses suyu elde etmektedir. Fizikokimyasal ve biyolojik atıksu arıtma tesisinden çıkan atıksu ise İSKİ'nin belirlediği KSUB bedeli ödenerek kanala deşarj edilmektedir.

Bu çalışmada, fizikokimyasal ve biyolojik atıksu arıtma tesisinden geçen toplam atıksu için 1000 m³/gün kapasiteli, kum filtesi, UF ve RO'dan meydana gelen bir gerikazanım tesisi tasarlanmış, bu tesisin birim su üretim ve konsantre atıksu uzaklaştırma maliyeti piyasadan elde edilen maliyet bilgilerine göre 0,43 EURO/m³

olarak bulunmuştur. Bunun yanında fabrikanın proses suyu elde etme ve atıksu uzaklaştırma maliyeti de 0,55 EURO/m³ olarak hesaplanmıştır. Fayda/maliyet oranı 1,28 gibi 1'den büyük bir değer olarak bulunmuştur. Bütün bu değerler gerikazanım sisteminin ekonomik açıdan oldukça cazip olduğunu göstermektedir.

Yapılan çalışmada, toplam atıksuların gerikazanımı üzerinde durulmuştur. Toplam atıksuların kirletici yüklerinin fazla olmasından dolayı membran proseslerden önce çok iyi bir önarıtma yapılmalıdır. Aksi takdirde tıkanma ve konsantrasyon polarizasyonu gibi problemlerle karşı karşıya kalılabilmektedir. Ayrıca toplam atıksuların hacim ve kirletici parametrelerinin değişken olması, dolayısıyla atıksu karakterizasyonunun tam olarak belirlenememesi membran proseslerin verimini olumsuz yönde etkilemektedir. Mümkün olduğunca atıksular ayırık akımlar şeklinde değerlendirilmeli ve proses bazında gerikazanım yapılmalıdır. Böylece atıksu karakterinde meydana gelen hacim, kirletici yükü, sıcaklık ve pH gibi parametre değişimlerinin minimuma indirilmesi mümkün olmaktadır. Proses bazında yapılan gerikazanım ile boya vb. kimyasallarında gerikazanımı daha kolay olabilecektir.

Yapılan bu çalışmanın olumlu sonuçları düşünüldüğünde ve endüstriyel ölçekli tesislere uygulandığında gerek temizsu kullanımını büyük ölçüde azaltması gerekse atılan atıksu miktarını neredeyse yarıya indirmesi açısından teknik ve ekonomik olarak uygulanabilir olduğu görülmektedir.

Membran teknolojileri, proseste kullanılan kimyasal maddelerin kimyası ve formunu değiştirmeden geri kazanarak yeniden proseste kullanılmasına olanak sağlayan yeni bir teknolojidir ve uygulama çalışmalarının artırılmasının hem çevre kirlenmesi kontrolü hem de ekonomik açıdan önemli kazançlar sağlayacağı düşünülmektedir. Diğer taraftan su üretiminde, özel sektördeki rekabet ve daha çok katılımın fiyatları düşüreceği, gelişen teknoloji ile üretilen suyun kalitesinin yükseleceği ve kamu kuruluşlarının da verimliliğinin artacağı sonucuna varılmaktadır.

KAYNAKLAR

Arslan I., Balcioğlu I. A., Tuhkanen T., 1999. Advanced Oxidation of Synthetic Dyehouse Effluent by O_3 , H_2O_2 / O_3 , H_2O_2 / UV Process, *Environ. Technol*, **20**, 921- 931.

Al-Degs Y., Khraisheh M. A.M., Allen S. J., Ahmad M. N., 2000. Effect Of Carbon Surface Chemistry On The Removal Of Reactive Dyes From Textile Effluent, *Wat. Res.*, **34**, 927- 935.

Balcioğlu A. I., Arslan I., 1997. Treatment of Textile Wastewater By Heterogeneous Photocatalytic Oxidation Processes, *Environmental Tech.*, **18**, 1053-1059.

Buckley, C.A ., 1992. Membrane Technology for the Treatment of Dyehouse Effluents. *Water Science and Technology.*, No. 10, pp. 203 –209, Great Britan.

Churchley J. H., 1994. Removal Of Dyewaste Colour From Sewage Effluent- The Use Of A Full Scale Ozone Plant, *Wat. Sci.Tech.*, **30**, (3), 275-284.

Collivignarelli C., Bertanza G., 1996. Oxidising Agents For Bioresistant Pollution Treatment , *Inquinamento*, **8**, 68- 73.

Correia V.M., Stephenson T., Judd S. J., 1994. Characterization Of Textile Wastewaters: A Review, *Environmental Technology*, **15**, pp 917-929.

EPA, 1978. Environmental Pollution Control, *Textile Processing Industry*, EPA 625.

Fane, A.G., 1996. Membranes for Water Production And Wastewater Reuse, *Desalination*, **106**, pp.1-9.

Freeman, S.D.N. and Morin, O.J.,1995. Recent Developments in Membrane Water Reuse Projects, *Desalination*, **103**, pp. 19-30.

Gaehr F., Hermanuntz F., Oppermann W., 1994. Ozonation-An Important Technique To Comply With New German Laws For Textile Wastewater Treatment, *Wat. Sci. Tech.*, **30**, (3), 255-263.

Gaeta S. N., Fedele U., 1991. Recovery Of Water And Auxiliary Chemicals From Effluents Of Textile Dye Houses, *Desalination*, **83**, 183-194.

Germirli F., Tünay O., Orhon D., 1990. An Overview Of The Textile Industry In Turkey- Pollution Profiles and Treatability Characteristics, International Symposium

On Waste Management Problems In Agro-Industries Istanbul-Turkey 25-27 September 1989 and *Wat. Sci. Tech.*, **22**, (9), 265-274.

Groves, G.R., Buckley, C.A. and Treffy-Goatley K., 1998. A Guide for the Planning , Design and İmplementation of Wastewater Treatment Plants in the Textile İndustry – Part 2: Effluent Treatment / Water Recycle Systems for Textile Dyeing and Printing Effluents, Water Research Commision, Pretoria, ISBN 0-908356-66-8.

Horning R. H., 1977. Characterization And Treatment Of Textile Dyeing Wastewater, *Textile Chem. Col.*, **9**, 24-27.

Hydranautics, Ultrafiltration Systems, Hydranautics. com

Kocaman Ü., 1998. Tekstil Endüstrisinde Kirlenme Kontrolü , *Industrial Waste Mamgement Midterm Homework*, Çevre Mühendisliği, İTÜ., İstanbul.

Koyuncu İ., Topacık D ve Kınacı C., 2000. Ters Ozmoz ile İçme suyu Temininin Ekonomik Boyutu, 1. Ulusal Çevre Kirlenmesi Kontrolü Sempozyumu , 4-6 Ekim 2000, ODTÜ, Ankara.

Koyuncu İ., Topacık D. Türkiye’deki Ters Ozmoz Uygulamaları, Türkiye’de Çevre Kirlenmesi Öncelikleri Sempozyumu 3, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Çevre Mühendisliği Bölümü, 18-19.11.99, Gebze.

Koyugölge T., 1994. Yünlü Tekstil Endüstrisi Atıksuyunun Biyolojik Arıtılabilirliği ve Renk Giderimi, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Kuo W. G., 1992. Decolorising Dye Wastewater With Fenton’s Reagent, *Wat. Res.*, **26**, 881-886.

LambertS. D., Graham N.J.D., Sollars C.J., FowlerG. D., 1996. Evaluation of İnorganic Adsorbents For The On-Site Treatment Of Textile Industry Effluents., *Environ. And Wat. Res. Eng.*, Londra and Atina.

Lin S. H., Chen M. L., 1997. Treatment Of Textile Wastewater by Chemical Methods For Reuse, *Wat. Res.*, **31**, (4), 868-876.

Lin H. S., Peng F.C., 1996. Continuous Treatment Of Textile Wastewater By Combined Coagulation, Electrochemical Oxidation and Activated Sludge, *Wat. Sci. Tech.*, **30** , (3), 587-592.

Lin S. H., Lai C. L., 2000. Kinetic Characteristics of Textile Wastewater Ozonation İn Fludizied and Fixed Activated carbon Beds, *Wat. Res.*, **34**, (3), 763 –772.

McKay G., 1985. Equilibrium Studies For The adsorption Of Dyestuffs From Adequeous Solutions By Low-Cost Materials, *Water, Air, Soil Pollution*, **29**, 273-283.

Metcalf and Eddy, 1991. Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse, 3th “ Wastewater Reclamation and Reuse”, Chapter 16, Ed. McGraw Hill Co., New York.

Mulder M., 1996. Basic Principles Of Membrane Technology, 2nd Ed., Kluwer Academic Publisher.

M. Marcucci, G. Ciardelli, A. Matteucci, L. Ranieri, M. Russo., 2002. Experimental Campains On Textile Wastewater For Reuse by Means of Different Membrane Processes, *Desalination* ,**149**, 137-143.

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

Osmor Membrane systems, Copyright 1985. Osmonics, İnc., USA.

Philippe C. Vandevivere, Roberto Bianchi & Willy Verstraete., 1998. Treatment and Reuse of Wastewater Fron Textile Wet-Processing Industry: Review of Emerging Technologies, *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, **72**, 289- 302.

Porter J. J., 1972. Treatment of Textile Waste With Activated Carbon, *American Dyestuff Reporter*, 24-27.

Sarıkaya H., 2000. Wastewater Reclamation and Reuse, Ders Notları, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul.

Vandevivere P. C., Bianchi R., Verstraete W., 1998. Treatment and Reuse of Wastewater From The Textile Wet-Processing Industry, *J. Chem. Biotechnol.*, **72**, 289-302.

ÖZGEÇMİŞ

Selma BABURŞAH, 1977 yılında İzmir Kemalpaşa’da doğdu. Lise eğitimini 1994 yılında Edremit Lisesi’nde tamamladıktan sonra 1996 yılında İstanbul Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümüne girdi ve 2000 Haziran döneminde mezun oldu. 2000-2001 öğretim yılında İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans eğitimine başlayan Selma BABURŞAH, halen yüksek lisans eğitimine devam etmektedir.