

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TEKSTİL ENDÜSTRİSİ PROSES SUYU
HAZIRLANMASINDA MEMBRAN PROSESLERİN
UYGULANMASI**

Çevre Müh. Ürfet ÖZKAN

**FBE Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. M. Talha GÖNÜLLÜ

İSTANBUL, 2007

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KISALTMA LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
TABLO LİSTESİ	ix
ÖNSÖZ	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Anlam ve Önemi	1
1.2. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı	2
2. MEMBRAN TEKNOLOJİLERİ	4
2.1. Genel Bilgi	4
2.1.1. Membranlar	4
2.1.2. Membranların Gelişimi	4
2.1.3. Membran Teknolojilerinin Kullanım Alanları İçin Örnekler	5
2.2. Membranların Ayırma Mekanizmaları	6
2.2.1. Membranların Performansı	8
2.2.1.1. Akı Etkisi	8
2.2.1.1.1. Basıncın Akı Üzerine Etkisi	8
2.2.1.1.2. Sıcaklığın Akı Üzerine Etkisi	9
2.2.1.2. Giderme Verimi Etkisi	9
2.3. Membranların Yapısı	10
2.3.1. Membran Materyalleri	11
2.4. Membran Karakteristikleri	12
2.4.1. Sıcaklığa Dayanıklılık	12
2.4.2. Kimyasal Uygunluk	13
2.4.3. Basınca Dayanıklılık	13
2.4.4. pH'ya Dayanıklılık	13
2.4.5. Mekanik Kararlılık	13
2.5. Membran Modül Tipleri	14
2.5.1. Plaka ve Çerçeve Membranlar (Plate and Frame Modul)	14
2.5.2. Boru Tipi Membranlar (Tubular Module)	14
2.5.3. Spiral Sargılı Membranlar (Spiral Wound Module)	15
2.5.4. Boşluklu Elyaf Membranlar (Hollow Fiber Module)	17
2.5.5. Membran Modüllerinin Karşılaştırması	18
2.6. Basınçlı Membran Türleri	19
2.6.1. Mikrofiltrasyon (MF)	19
2.6.2. Ultrafiltrasyon (UF)	21
2.6.3. Nanofiltrasyon (NF)	22
2.6.4. Ters Osmoz (Reverse Osmosis (RO))	24
2.6.5. Basınçlı Membran Türlerinin Karşılaştırması	27

3.	MEMBRAN SİSTEMLERİNİN TASARIMI VE İŞLETİLMESİ	29
3.1.	Ters Osmoz Tasarım Kriterleri.....	29
3.1.1.	Ters Osmoz Sistemi Tasarımı.....	29
3.1.2.	Atık Su Miktarı.....	30
3.1.3.	Ters Osmoz Verimi.....	30
3.1.3.1.	Basınç.....	31
3.1.3.2.	Sıcaklık.....	31
3.1.3.3.	İyileştirme Yüzdesi.....	31
3.2.	Membran Ömrünü Etkileyen Faktörler.....	33
3.3.	Ters Osmoz Sistemi İçin Ön Ve Son Şartlandırma.....	35
3.3.1.	Ters Osmoz Sistemi İçin Ön Şartlandırma.....	35
3.3.2.	Ters Osmoz Sistemi İçin Son Şartlandırma.....	36
3.4.	Ters Osmoz Prosesini Sınırlayan Faktörler.....	37
3.4.1.	Kristalizasyon Nedeniyle Membranların Bloke Olması (Scaling).....	38
3.4.1.1.	LSI (Langelier Saturation Index = Langelier Doygunluk İndeksi).....	39
3.4.1.2.	SDSI (Stiff Davis Doygunluk İndeksi).....	39
3.4.2.	Membranın Tıkanması (Fouling).....	39
3.5.	Membranların Yıkama.....	41
3.5.1.	Hidrolik Yıkama.....	41
3.5.2.	Kimyasal Yıkama.....	41
3.5.3.	Mekanik Yıkama.....	43
3.5.4.	Elektrikel Yıkama.....	43
3.6.	RO İşletme Şekli Ve İşletmecinin Görevleri	43
3.6.1.	Günlük Kontroller.....	44
3.6.2.	Haftalık Kontroller.....	44
3.6.3.	Aylık Bakımlar.....	45
3.6.3.1.	Kartuş Filtreler.....	45
3.6.3.2.	RO İşletim Çizelgesi Gözlemi.....	45
3.6.3.3.	RO Membranlarını Yıkama Periyodu.....	45
3.6.4.	RO Membranlarının Bozulması.....	45
3.6.5.	Yapılan İşletme Yanlışlıkları.....	46
3.7.	Ters Osmoz Sistemi Seçiminde Etkili Olan Faktörler.....	47
3.7.1.	Cihaz Kapasitesi.....	47
3.7.2.	Üretim Suyu Kalitesi.....	47
3.7.3.	Ham Suyun Kirliliğine Göre Membran Türü.....	47
3.7.4.	İşletme Sırasında Ters Osmoz Membranlarının Korunması.....	47
3.7.5.	Membran Kılıfları.....	48
3.7.6.	Yüksek Basıncılı Pompa ve Korunması.....	48
3.7.7.	Otomatik Kapanan Vanalar.....	49
3.7.8.	Ölçü Cihazları.....	49
3.7.9.	Emniyetli Kumanda Panosu.....	49
3.7.10.	Motor Kumandası.....	49
3.7.11.	Numune Muslukları.....	49
3.7.12.	Paslanmayan Şasi.....	49
4.	TEKSTİL ENDÜSTRİSİ VE ÜRETİM İŞLEMLERİ.....	50
4.1.	Genel Bilgi.....	50
4.2.	Alt Kategoriler.....	51
4.2.1.	Yün Yıkama.....	51
4.2.2.	Yün Bitirme İşlemleri.....	52

4.2.3.	Dokuma Kumaş Bitirme İşlemleri.....	52
4.2.4.	Örgü Kumaş Bitirme İşlemleri.....	52
4.2.5.	Halı Bitirme İşlemleri.....	52
4.2.6.	Dokuma Dışı Tekstil Bitirme.....	53
4.2.7.	Keçeleştirilmiş Kumaş Bitirme.....	53
4.2.8.	Az Su Kullanılan İşlemler.....	53
4.2.9.	Stok ve İplik Bitirme İşlemleri.....	53
4.2.10.	Alt Kategorilerin Karşılaştırılması.....	53
4.3.	Tekstil Endüstrisinde Kullanılan Suların Nitelikleri.....	54
4.3.1.	Kazan Suları.....	55
4.3.2.	İşletme Suyu.....	55
4.4.	Tekstil Üretiminde Kullanılan Prosesler.....	56
4.4.1.	Yıkama.....	56
4.4.2.	Haşılama.....	56
4.4.3.	Haşıl Sökme.....	57
4.4.4.	Piştirme ve Kaynatma.....	57
4.4.5.	Ağartma.....	58
4.4.6.	Merserizasyon.....	58
4.4.7.	Karbonizasyon.....	59
4.4.8.	Boyama.....	59
4.4.9.	Baskı.....	63
4.4.10.	Apreleme ve Bitim İşlemi.....	63
4.5.	Pamuklu Tekstil Endüstrisi.....	65
4.5.1.	Pamuklu Mamullerin Terbiyesi.....	65
4.5.1.1.	Ön Terbiye.....	66
4.5.1.1.1.	Ham Kontrol.....	66
4.5.1.1.2.	Yakma.....	66
4.5.1.1.3.	Haşıl Sökme.....	66
4.5.1.1.4.	Bazık İşlemler (Yıkama).....	67
4.5.1.1.5.	Ağartma.....	67
4.5.1.1.6.	Merserizasyon.....	68
4.5.1.1.7.	Boyama ve Baskı.....	68
4.5.1.2.	Apre İkmal.....	69
5.	TEKSTİL ENDÜSTRİSİNDE MEMBRAN UYGULAMALARI.....	71
5.1.	Polyester ve Pamuk Boyamada Ters Osmoz Suyu Kullanımı.....	74
5.2.	Tekstil Endüstrisinde Membranla Su Geri Kazanımı.....	75
5.2.1.	Tekstil Üretiminde Kullanılan Proseslerin Atık Oluşumları.....	77
5.2.2.	Tekstil Endüstrisinde Kimyasal Madde Geri Kazanımı.....	80
5.2.3.	Bir Tekstil İşletmesindeki Boya Atıksuyu Geri Dönüşüm Uygulaması.....	81
6.	TEKSTİL FABRİKALARININ PROSES SUYU ARITIMI BAKIMINDAN ARAŞTIRILMASI.....	84
6.1.	Birinci Tesis İncelemesi (Bir Boya ve Apre Tesisine Ait Filtrasyon ve Ters Osmoz Sistemi).....	84
6.1.1.	Proses Tanıtımı ve Dizayn Verileri.....	84
6.1.1.1.	Proses Tanıtımı.....	84
6.1.1.2.	Dizayn Verileri.....	86
6.1.2.	Filtrasyon Sistemi.....	87
6.1.2.1.	Filtrasyon Sistemi Çalışma Prensibi.....	87
6.1.2.2.	Multi Medya Kum Filtresi Teknik Özellikleri.....	89

6.1.3.	Ters Osmoz Sistemi.....	90
6.1.3.1.	Proses Tanımı.....	90
6.1.3.1.1.	Ön Arıtım.....	90
6.1.3.1.2.	Ters Osmoz (RO) Ünitesi.....	91
6.1.3.1.3.	Membran Yıkama Ünitesi.....	91
6.1.3.2.	Veri Kaydetme.....	91
6.2.	İkinci Tesis İncelemesi (Bir Boya ve Apre Tesisine Ait Ters Osmoz Sistemi).....	93
6.2.1.	Proses Tanımı.....	93
6.2.2.	Aktif Karbon Filtre ile Filtrasyon.....	93
6.2.2.1.	Aktif Karbon Filtre Teknik Bilgileri.....	95
6.2.2.2.	Aktif Karbon Filtre Çalışma Esasları.....	95
6.2.2.2.1.	Ters Yıkama İşlemi.....	95
6.2.2.2.2.	Filtre Durulama Konumu.....	96
6.2.2.3.	Aktif Karbon Filtrenin Devreye Alınması.....	96
6.2.3.	Ters Osmoz Sistemi.....	96
6.2.3.1.	Dizayn Kriterleri.....	96
6.2.3.2.	Proses Tanımı.....	98
6.2.3.2.1.	Ön Arıtım.....	98
6.2.3.2.2.	Ters Osmoz (RO) Ünitesi.....	99
6.2.3.2.3.	Membran Yıkama Ünitesi.....	99
6.3.	Üçüncü Tesis İncelemesi (Bir Boya ve Apre Tesisine Ait Ters Osmoz Sistemi).....	100
6.3.1.	Proses Tanımı.....	100
6.3.2.	Torba Filtre Teknik Özellikleri.....	100
6.3.3.	Ters Osmoz Sistemi.....	102
6.3.3.1.	Dizayn Kriterleri.....	102
6.3.3.2.	Ters Osmoz (RO) Ünitesi.....	103
6.4.	Dördüncü Tesis İncelemesi (Bir Boya ve Apre Tesisine Ait Ters Osmoz Sistemi).....	104
6.4.1.	Proses Tanımı.....	104
6.4.2.	Torba Filtre Teknik Özellikleri.....	104
6.4.3.	Ters Osmoz Sistemi.....	104
6.4.3.1.	Dizayn Kriterleri.....	104
6.4.3.2.	Ters Osmoz (RO) Ünitesi.....	107
6.5.	Dördüncü Tesise Ait Proses Suyu Arıtımı İçin Demineralizasyon Sisteminin Uygulanabilirliğinin Araştırılması.....	108
7.	ARAŞTIRILAN TESİSLERDEN ELDE EDİLEN BİLGİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	111
7.1.	İncelenen Dört Tesise Ait Sistemlerdeki Problemler.....	111
7.1.1.	Basınlardaki Değişimler.....	112
7.1.2.	Debilerdeki Değişimler.....	115
7.1.3.	İletkenlikteki Değişimler.....	116
7.2.	Sistemlerin Verimleri.....	116
8.	PROSES SUYU ARITIMI MALİYET ANALİZİ.....	119
8.1.	İlk Yatırım Maliyeti.....	119
8.1.1.	Direkt İlk Yatırım Maliyeti.....	119
8.1.2.	İndirekt İlk Yatırım Maliyeti.....	120
8.2.	İşletme Maliyeti.....	121
8.3.	Toplam Su Üretim Maliyeti.....	122

9.	SONUÇLAR.....	136
	KAYNAKLAR.....	138
	ÖZGEÇMİŞ.....	142

KISALTMA LİSTESİ

MF	Mikrofiltrasyon
UF	Ultrafiltrasyon
NF	Nanofiltrasyon
RO	Ters Osmoz
NDP	Net Sürücü Basınç
CA	Selüloz Asetat
TFC	İnce Film Kompozit
MWCO	Ayırma Sınırı
TDS	Toplam Çözünmüş Katı
LSI	Langelier Doygunluk İndeksi
SDSI	Stiff Davis Doygunluk İndeksi
SDI	Kil Yoğunluk İndeksi
PLC	Programlanabilir Lojik Kontrolör
FRP	Fiberglass Takviyeli Polipropilen
İYM	İlk Yatırım Maliyeti

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Bir membranın ayırma işleminin şematik gösterimi.....	7
Şekil 2.2. Membran proseslerde giriş ve çıkış akımları.....	7
Şekil 2.3. Basıncın fonksiyonu olarak akı değişimi.....	8
Şekil 2.4. Plaka membranların düzenleme şekli.....	14
Şekil 2.5. Boru Tipi Membranlar.....	15
Şekil 2.6. Spiral sargılı membranlar.....	16
Şekil 2.7. Spiral sargılı bir membran içeren membran kılıfının açılmış hali.....	16
Şekil 2.8. Spiral sargılı birden fazla membran içeren membran kılıfının açılmış hali.....	17
Şekil 2.9. Boşluklu elyaf membran.....	18
Şekil 2.10. Partikül boyutları ve membran türleri.....	19
Şekil 2.11. Mikrofiltrasyon membranlarında por büyüklüğü dağılımı.....	20
Şekil 2.12. Osmoz ve ters osmoz prensibi.....	25
Şekil 3.1. Ters osmoz prosesini sınırlayan faktörler.....	37
Şekil 4.1. Pamuklu tekstil terbiyesinde işletme akım şeması.....	70
Şekil 5.1. Tekstil işletmesi boya banyosu atıksuyu geri dönüşüm sistemine ait proses akış diyagramı.....	83
Şekil 6.1. Birinci tesise ait akış diyagramı.....	85
Şekil 6.2. İkinci tesise ait akış diyagramı.....	94
Şekil 6.3. Üçüncü tesise ait akış diyagramı.....	101
Şekil 6.4. Dördüncü tesise ait akış diyagramı.....	105
Şekil 7.1. İki kademeli bir membran sistemindeki basınçlar.....	113
Şekil 8.1. Kapasiteye bağlı olarak arıtılmış su birim maliyeti değişimi.....	131
Şekil 8.2. Toplam çözünmüş madde giderimine bağlı olarak maliyet değişimi.....	132
Şekil 8.3. Dördüncü tesise ait ters osmoz ve demineralizasyon sistemi maliyet analizi.....	135

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1. Membranların tip ve yapıları.....	11
Tablo 2.2. Membran modüllerinin karşılaştırması.....	18
Tablo 2.3. Membran türlerinin karşılaştırması.....	28
Tablo 3.1. Ters osmoz nominal arıtım performansında, 60 psi net basınç ve 25 ° C’da verimler.....	32
Tablo 3.2. Ters osmoz sistemine beslenecek hamsuda istenen bazı parametre değerleri.....	36
Tablo 3.3. Membranlara zarar veren şartlar.....	37
Tablo 3.4. Çeşitli filtrasyonlardan sonra su kalitesi.....	40
Tablo 3.5. Temizleme kimyasalları örnekleri ve uygulamaları.....	42
Tablo 3.6. Günlük bakım çizelgesi.....	44
Tablo 4.1. Tekstil işlemlerinde su tüketimi ve atıksu kirletici özellikleri.....	54
Tablo 4.2. Boya banyolarında kullanılan kimyasal maddeler.....	59
Tablo 4.3. Boyaların uygulanan ipliğe göre sabitleme ve çıkışta kaybedilen oranları.....	60
Tablo 4.4. Elyaf türlerine göre boyarmaddeler ve uygulama yöntemleri.....	61
Tablo 5.1. Boyama prosesi için olması gereken su özellikleri.....	71
Tablo 5.2. Pamuklu tekstil atıksuları genel kompozisyonu.....	77
Tablo 5.3. Renk giderimine göre boya sınıflandırması.....	79
Tablo 5.4. Boya atıksularının özellikleri.....	80
Tablo 5.5. Tekstil işletmesinde izin verilen sınır değerlerdeki değişim.....	82
Tablo 5.6. Boya banyosu tekrar kullanım sistemi maliyet analizi.....	83
Tablo 6.1. Birinci tesisteki ham su (yumuşak su) özellikleri.....	86
Tablo 6.2. Birinci tesisteki ters osmoz sistemi dizayn değerleri.....	86
Tablo 6.3. Birinci tesisteki ters osmoz sistemi çıkış suyu özellikleri.....	87
Tablo 6.4. Birinci tesisteki multi medya kum filtresi teknik özellikleri.....	89
Tablo 6.5. Birinci tesisteki sistem dizayn kriterleri.....	90
Tablo 6.6. Verilerin kontrol sıklığı.....	92
Tablo 6.7. İkinci tesisteki aktif karbon filtre dizayn bilgileri.....	95
Tablo 6.8. İkinci tesisteki ters osmoz sistemi dizayn kriterleri.....	97
Tablo 6.9. İkinci tesisteki hamsu özellikleri.....	97
Tablo 6.10. İkinci tesisteki ters osmoz ünitesi ürün suyu özellikleri.....	98
Tablo 6.11. Üçüncü tesisteki ters osmoz sistemi dizayn kriterleri.....	102
Tablo 6.12. Üçüncü tesisteki hamsu özellikleri.....	102
Tablo 6.13. Üçüncü tesisteki ters osmoz ünitesi ürün suyu özellikleri.....	103
Tablo 6.14. Dördüncü tesisteki ters osmoz sistemi dizayn kriterleri.....	106
Tablo 6.15. Dördüncü tesisteki hamsu özellikleri.....	106
Tablo 6.16. Dördüncü tesisteki ters osmoz ünitesi ürün suyu özellikleri.....	107
Tablo 6.17. Ters osmoz ve demineralizasyon sistemi karşılaştırması.....	109
Tablo 7.1. İncelenen tesislerdeki membranlarda oluşan basınç değerleri.....	113
Tablo 7.2. Birinci tesise ait basınç farklarının sınır değerleri.....	114
Tablo 7.3. İkinci tesise ait basınç farklarının sınır değerleri.....	114
Tablo 7.4. Üçüncü tesise ait basınç farklarının sınır değerleri.....	114
Tablo 7.5. Dördüncü tesise ait basınç farklarının sınır değerleri.....	114
Tablo 7.6. İncelenen tesislere ait kontrol için debi sınır değerleri.....	115
Tablo 7.7. Birinci tesise ait giderme verimleri.....	117
Tablo 7.8. İkinci tesise ait giderme verimleri.....	117
Tablo 7.9. Üçüncü tesise ait giderme verimleri.....	118
Tablo 7.10. Dördüncü tesise ait giderme verimleri.....	118
Tablo 8.1 Ekipman Maliyet Kalemleri.....	120
Tablo 8.2. Piyasadan temin edilen maliyet hesaplarında kullanılan birim fiyatlar.....	122

Tablo 8.3. Birinci tesise ait membran sistemi maliyet değerlendirmesi (inşaat maliyetleri ile birlikte).....	123
Tablo 8.4. Birinci tesise ait membran sistemi maliyet değerlendirmesi (inşaat maliyetleri hariç).....	124
Tablo 8.5. İkinci tesise ait membran sistemi maliyet değerlendirmesi (inşaat maliyetleri ile birlikte).....	125
Tablo 8.6. İkinci tesise ait membran sistemi maliyet değerlendirmesi (inşaat maliyetleri hariç).....	126
Tablo 8.7. Üçüncü tesise ait membran sistemi maliyet değerlendirmesi (inşaat maliyetleri ile birlikte).....	127
Tablo 8.8. Üçüncü tesise ait membran sistemi maliyet değerlendirmesi (inşaat maliyetleri hariç).....	128
Tablo 8.9. Dördüncü tesise ait membran sistemi maliyet değerlendirmesi (inşaat maliyetleri ile birlikte).....	129
Tablo 8.10. Dördüncü tesise ait membran sistemi maliyet değerlendirmesi (inşaat maliyetleri hariç).....	130
Tablo 8.11. Dördüncü tesise ait demineralizasyon sistemi maliyet değerlendirmesi (inşaat maliyetleri ile birlikte).....	133
Tablo 8.12. Dördüncü tesise ait demineralizasyon sistemi maliyet değerlendirmesi (inşaat maliyetleri hariç).....	134

ÖNSÖZ

Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümünde hazırlanan bu lisansüstü tezi çalışmasında “Tekstil Endüstrisi Proses Suyu Hazırlanmasında Membran Proseslerin Uygulanması” konusu ele alınmıştır.

Bu çalışmayı hazırlamamda bana rehberlik eden ve her zaman yardımcı olan Prof. Dr. M. Talha Gönüllü’ ye, yardımlarını ve desteğini esirgemeyen Prof. Dr. Hulusi Barlas’ a, yardımlarından ve yönlendirmelerinden dolayı Prof Dr. Cumali Kınacı ve Prof. Dr. İzzet Öztürk’ e, zamanını ve bilgisini paylaşan Çevre Mühendisi Tan Tüfekçioğlu’ na ve Çevre Mühendisi Tuğba Ece Yemekpişiren’ e teşekkür ederim.

ÖZET

Geleneksel arıtma ile karşılaştırıldığında membran proseslerin uygulamalarından çıkarılan temel avantajları; değişmeyen kalitede su üretimi, daha küçük miktarda kimyasal madde ilavesi ve daha az enerji tüketimidir. Yüksek performanstaki membran sisteminin başarılı üretimine pek çok faktör katkıda bulunur. Membran filtrasyon öncesinde ön arıtma son derece önemlidir. Ön arıtmanın yapısı ve esası, pek çok durumda, tüm tesisin performansını belirler.

Tekstil endüstrisi oldukça yüksek, özel su tüketimi ile karakterize edilir. Proses suyu ihtiyacı tekstil prosesi işleminin tipine, materyalin ya da son ürünün tipine ve kullanılan belirli makine ya da tekniklere özgüdür. Pek çok tekstil üretim prosesi uygun hazırlama, temizleme, renklendirme ve ürün bitirme için gerekli olan ıslak kimyasal proses işlemidir ve bazı prosesler için, proses suyunun kalitesi çok önemlidir. Bu nedenle tekstil endüstrisinde yüksek kalitede proses suyu üretmek için membran sistemlerine olan talep çok güçlüdür.

Bu çalışmada, membran sistemleri açıklanmış; tekstil endüstrisinin üretim prosesleri ve proses suyu gereksinimleri belirtilmiş ve proses sularının arıtımı için membran sistemlerini kullanan dört tekstil tesisi ve sistem performansları incelenmiştir. Membran sistemleri ve demineralizasyon sistemi için ilk yatırım ve işletme maliyetleri hesaplanmış ve birim su üretim maliyetleri karşılaştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Membran sistemleri, tekstil endüstrisi, proses suyu arıtımı.

ABSTRACT

Basic advantages arising from the application of membrane processes as compared with traditional treatment are production of water of invariable quality, smaller quantity of added chemical substances and lower energy consumption. Several factors contribute to the successful fabrication of a high-performance membrane system. Pretreatment prior to membrane filtration is extremely important. The nature and thoroughness of the pretreatment, in many cases, determine the overall plant performance.

The textile industry is characterised by its fairly high specific water consumption. The process water demand is specific to the type of textile processing operation, the type of material or final product and the specific machine or technique used. A number of textile manufacturing processes are chemical wet processing operations necessary to properly prepare, purify, colour or finish the product and for some processes, the quality of process water is very important. For this reason, the demand for membrane systems to produce high quality process water for the textile industry is very strong.

In this study, membrane systems have been clarified; manufacturing processes and process water requirements of textile industry have been explained; and four textile plants, which use membrane systems to treat their process water, and systems' performance have been examined. The first investment and operating costs have been calculated for membrane systems and demineralisation system and the prices of unit water production have been compared.

Keywords: Membrane systems, textile industry, process water treatment.

1. GİRİŞ

1.1. Çalışmanın Anlam ve Önemi

Günlük yaşamımızın her aşamasında, tekstil ürünleri yaşamın vazgeçilmez bir parçasını oluşturmaktadır. Tekstil endüstrisindeki dünya ticareti, toplam dünya mal ticaretinin %3' lük kısmını oluşturmaktadır. Tekstil sektörü 2006 yılı itibariyle ülkemizde, sanayi işgücünün %20' sinden ve toplam işgücünün %10' undan fazlasını teşkil etmektedir. Toplam ihracatımızın %23,5' ini tekstil ürünlerinin ihracatı sağlamaktadır. Bu istatistiksel değerler tekstil endüstrisinin sanayideki önemli sektörlerden biri olduğunu ortaya koymaktadır.

Tekstil sanayisi çeşitli endüstri kolları arasında yüksek su tüketimi ile karakterize edilir. Orta boyutta kapasiteye sahip bir tekstil fabrikasında günlük su tüketimi iki üç bin m³ düzeyindedir. Tekstil işletmelerinde kullanılan suyun büyük miktarını proses suyu oluşturur. Tekstil üretim proseslerinin pek çoğu uygun şekilde ürün hazırlamak için gerekli olan ıslak kimyasal proses şeklindedir.

Tekstil endüstrisinde ürünlere ve kullanılan hammaddelere göre çeşitlenen çok sayıda üretim biçimi bulunmaktadır. Üretim biçimlerinin çeşitliliğine bağlı olarak kullanılan proses suyunun nicelik ve niteliği de farklılık gösterir. Bu nedenle işletmede su kullanımının değerlendirilmesi önem taşımaktadır.

Fabrikalarda kullanılan sularda bulunması istenilen özellikler, suyun kullanılacağı yere ve işleme göre değişir. Tekstil işletmelerin proses suyu ihtiyacı tekstil prosesinin türüne, materyalin ya da son ürünün tipine ve kullanılan makine ve tekniklerin tipine göre değişiklik göstermektedir.

Tekstil endüstrisindeki üretim işlemlerinde kullanılan suyun belirli bir kalitede olması gerekmektedir. Kullanılan suyun niteliği tekstil fabrikalarında üretilen malzemenin kalitesini belirlemede önemli bir yer tutar. Proses suyunun ihtiyaç duyulan özelliklerde olmaması ürün kalitesinde istenmeyen sonuçlara neden olmaktadır. Düşük kalitedeki proses suyunun kullanılması sebebiyle çeşitli üretim işlemlerinde ciddi sorunlar yaşanmaktadır. Özellikle boyama işleminde proses suyunun uygun kalitede olmaması ciddi problemler yaratmaktadır. Ürün tamir oranı ve zaman kaybı artmakta ve böylece işletme maliyetlerinde önemli oranlarda

artış meydana gelmekte ve verimlilik azalmaktadır. Proses için istenilen en uygun su parametrelerinin bulunup, bu değerlere uygun proses suyu kullanılması ürün kalitesini ve verimliliği arttıracaktır.

Tekstil endüstrisi için belirlenen özelliklerde proses suyu hazırlamada çeşitli arıtma yöntemleri veya bunların kombinasyonlarına dayalı alternatif arıtım teknolojileri kullanılmaktadır. Özellikle boyama işlemi gibi yüksek kalitede proses suyuna ihtiyaç duyan üretim biçimleri için su hazırlamada ileri arıtım teknolojileri tercih edilmektedir. Endüstri tarafından uygun arıtma sisteminin seçiminde suyun elde edilebilirliği ve maliyeti dikkate alınmaktadır.

Bir ileri arıtım yöntemi olan membran teknolojisi pek çok endüstride su saflaştırma işlemlerinde kullanılmaktadır. Son zamanlarda tekstil endüstrisi için su hazırlama amacıyla membran teknolojilerinin, özellikle ters osmoz sistemlerinin kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır.

Tekstil işletmesinde kullanılan su, çeşitli kaynaklardan temin edilebilir. Su kaynağına bağlı olarak suyun kalitesinde farklılıklar vardır. Özellikle proses suyu temininde kuyu suyu kullanan tekstil işletmeleri su kalitesindeki dönemsel değişimlerden olumsuz etkilenirler. Bu durumlarda membran teknolojilerinin kullanımı ile efektif bir arıtım sağlanabilmektedir.

Membran proseslerin kullanımı ile yüksek ve değişmeyen kalitede, sürekli su üretimi sağlanması mümkün olmaktadır. Ayrıca kimyasal madde ilavesinin daha küçük olması, daha az enerji tüketimi ve dolayısıyla işletme maliyetlerinin oldukça düşük olması ve uygulama kolaylığı gibi avantajlara sahip olması, bu sistemlerin tekstil endüstrisi proses suyu arıtımında etkili şekilde kullanılmasına neden olmuştur.

1.2. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Bu çalışmada tekstil endüstrisi proses sularının ileri arıtma yöntemleri ile artımı ve ekonomik analizinin yapılması amaçlanmıştır. Son yıllarda yaygın olarak kullanılan ve diğer ileri arıtım

sistemlerine kıyasla daha az enerji tüketimi ve düşük kimyasal gereksinimi nedeniyle ekonomik olarak uygulanabilir ve daha güvenilir olan membran prosesler uygulanmaktadır.

Bu çalışmada konuyla ilgili literatür çalışması yapıldıktan sonra genel anlamda tekstil endüstrisi ve üretim işlemleri ve membran prosesler tanımlanmıştır. Daha sonra tekstil endüstrisi proses sularının özellikleri ve arıtımında membran sistemleri uygulamaları açıklanmıştır.

Boya ve apre işlemlerini uygulayan ve su hazırlama amacıyla membran prosesleri kullanan dört tekstil endüstrisi ele alınarak, bu endüstrilerin proses suyu arıtımı uygulamaları incelenmiştir.

İncelenen tesislerde kullanılan membran sistemlerinin maliyet analizi yapılmıştır. Yapılan maliyet analizinde, farklı kapasitedeki membran sistemlerinin birim su maliyetleri karşılaştırılmıştır.

Boya ve apre tesisi için membran sistemi yerine alternatif bir sistem olarak demineralizasyon sistemi uygulanması durumunda proses suyu özellikleri ve tesis maliyetleri kıyaslanmıştır.

2. MEMBRAN TEKNOLOJİLERİ

2.1. GENEL BİLGİ

2.1.1. Membranlar

Vücudumuzda ve çevremizde yaşayan her şey, hayat için çok önemli maddelerin ve bilgilerin taşınmasını ve değişimini kontrol altında bulunduran bir biyolojik membran ağıyla sarılı durumdadır. Bunları, kimyasal maddelerin seçimli olarak taşınmasını gerçekleştiren semipermeable = yarı geçirgen elekler olarak düşünebiliriz.

2.1.2. Membranların Gelişimi

Membranlar, bir sıvıyı başka bir sıvıdan ayırabilmektedir. Membranların sıvıların temizlenmesinde veya sıvılardan hemen hemen her maddenin bu yolla ekstrakte edilmesinde kullanılabilecekleri fikri, membran araştırmacılarının ilginç denemelere girmesine yol açmıştır. İlk belgeli membran-difüzyon deneyi 1748 yılında Fransız Abbe Nollet tarafından gerçekleştirilmiştir. Nollet bir şarap fıçısının ağzına bir hayvan derisi germiş; fıçıyı bu haliyle suya batırmış ve suyun fıçıya girdiğini, buna karşılık şarabın deriden geçip dışarı çıkamadığını görmüştür. Nollet böylece OSMOZ'u keşfetmiş oldu. İkinci Dünya Savaşı sırasında ilk Hemodiyaliz=yapay böbrek cihazı yapılarak (Hollandalı W. Kolff) membranların tıp alanındaki ilk uygulaması geliştirilmiştir. Savaşın sona, birçok şirket sistematik olarak geliştirme çalışmalarına başlamıştır. Sartorius firması kirlenmiş suların analizi için selülozasetat membranları üretmiştir. Bu membranlar üzerinde yetişen mikroorganizmaların identifikasyonu ve besleme çözeltilerinden ayrılması gerçekleştirilmiştir. Bu arada Amerikan ordusu kimyasal bölümü, Kaliforniya Teknoloji Enstitüsünden Alexander Goetz'ü biyolojik silahların identifikasyonu için bir membran geliştirmekle görevlendirmiştir. Goetz'ün elde ettiği başarılı sonuçlar üzerine, Millipore Corporation isimli ilk Amerikan membran firması kurulmuştur.

1950 'lerin sonlarına doğru, Kaliforniya Üniversitesi'nden Sidney Loeb ve S. Sourirajan ile Florida Üniversitesi'nden Charles Reid, deniz suyunu demineralize etmek amacıyla selüloz asetat membranı ve ters osmozu geliştirmişlerdir. Membranın oldukça kalın olması sebebiyle denemeler istenildiği kadar başarılı olmamıştır. Membran teknolojisiyle ilgili ilk önemli

başarı Loeb ve Sourirajan'ın ilk "anizotrop = asimetric membranı,, üretmesiyle kazanılmıştır. (çok ince, dolayısıyla filtre direnci çok düşük bir membran, basınca dayanabilecek kalınlıkta fakat büyük porlara sahip bir desteğe tutturulmuştu. Akış değerleri (A_k) ($L/m^2.h$) Reid tarafından yapılan membrana göre 10 defa daha yüksekti. Tuzu tutma oranı ise %95 civarındaydı. Bundan kısa bir süre sonra MIT'den Alan Michales ultrafiltrasyon membranlarını geliştirdi ve hemen Amican Corporation'u kurdu. Bu firma şu anda laboratuvar ultrafiltrasyon membranları alanında dünyanın en büyük üreticisidir. Michales'in membranları oldukça büyük porlara sahipti ve özellikle proteinlerin ve kolloidlerin ayrılması için ideal sonuç vermişlerdir.

2.1.3. Membran Teknolojilerinin Kullanım Alanları İçin Örnekler

Membran sistemleri; kimya, biyoteknoloji, çevre koruma, atık su ve diğer endüstriyel alanlarda kullanılmaktadır. Aşağıda bazı uygulamalar sıralanmıştır:

- Buhar kazanı ve buhar jeneratörü besleme suyu arıtımında: Zamanla artan iletkenliğin düşürülmesi ile işletme maliyetleri azalır.
- Süt endüstrisinde yoğunlaştırma, ayırma, yağ giderimi, tuzsuzlaştırma ve arıtım işlemlerinde: peynir altı suyunun ve sütün yoğunlaştırılması, proteinlerin ayrıştırılması, yağ ve mikroorganizma azaltımı ve peynir altı suyunun demineralizasyonu
- Gıda sektöründe ham madde geri kazanımı ve üretimi, proteinlerin konsantre edilmesi: yumurtanın yoğunlaştırılması, jelatinin temizlenmesi ve yoğunlaştırılması, şeker çözeltilerinin temizlenmesi, nişasta, soya proteinleri ve maya yoğunlaştırılması
- Meşrubat sanayinde ürün saflaştırma ve yoğunlaştırma, proses verimlerinin artırılması: meyve sularının temizlenmesi, şarap saflaştırılması, bira üretiminde geri kazanım, portakal, limon vs. sularının ve acılığının giderimi, koyu renkli meyve sularının klarifikasyonu
- Kimya, ilaç ve biyoteknolojik üretim proseslerinde yoğunlaştırma, proses verimlerinin artırılması: saf su üretimi, değerli maddelerin yoğunlaştırılması, filtrasyon / klarifikasyon

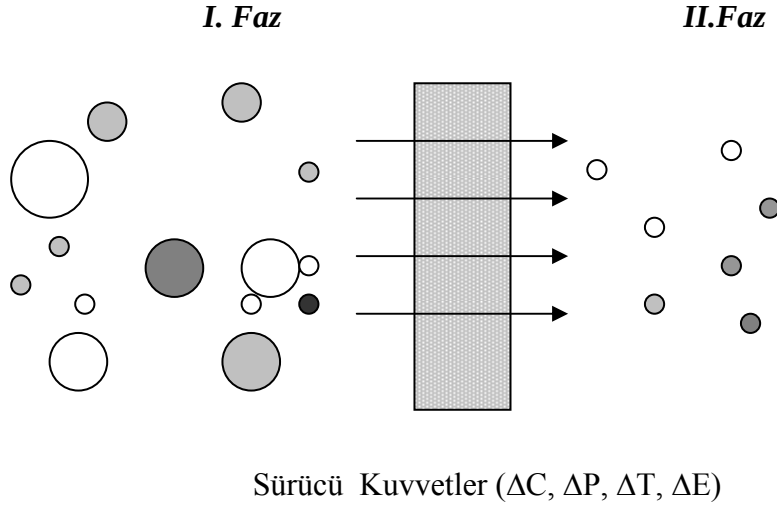
- Elektro daldırma lak kaplama yönteminin atık su arıtımı ile birleştirilerek optimizasyonu: otomotiv sanayi, alet üretimi, ambalaj sanayi gibi proseslerde başarıyla uygulanmaktadır.
- Çeşitli sektörlerde su arıtımı ve atık sulardan ürün elde edilmesi: gıda prosesleri, kozmetik sanayi, tekstil sanayi, ilaç / biyoteknoloji, kimya sanayi, metal işleyen endüstriler
- Tekstil boyahanesi için proses suyu üretimi: Genellikle yumuşatılmış su kullanan tekstil boyahanelerinde yılın 12 ayı ürün kalitesinde standardı yakalamak zordur. Çünkü kuyu veya baraj sularının kimyasal nitelikleri yıl içinde çok değişkendir. Membran ile elde edilen işletme suyunun sabit kalitesi değişken kalitedeki su kaynaklarının arıtımı için bir çözüm olarak düşünülebilir (Madaeni, 1999).
- Diğer kullanım alanları: içme suyu üretimi, deniz suyundan şehir ve kullanma suyu üretimi, enerji santralleri, soğutma suyunun hazırlanması, dializ makinaları

2.2. MEMBRANLARIN AYIRMA MEKANİZMALARI

Membran filtrasyonda, doğada bir yarı geçirgen membrandan basınç farkı nedeniyle molekül taşınımında gerçekleşip duran fiziksel prensipten yararlanılır. Burada moleküller veya partiküller; büyüklükleri, ağırlıkları ya da yapıları nedeniyle membranda tutulurlar. Membran; por büyüklüğü, porların yüzeyde dağılımı, membran yüzeyinde m^2 başına porların sayısı, membran yükü ve kimyasal yapısı ile tanımlanır (Kosutic ve diğ., 2006). Bu faktörler ve her türlü filtrasyonda oluşan kek tabakası, membran filtrasyon sırasındaki madde taşınımını önemli ölçüde etkilerler. Bu ise verim, kapasite ve geri kazanımı etkiler, böylece aynı zamanda membran filtrasyonunun ekonomikliğini de belirler.

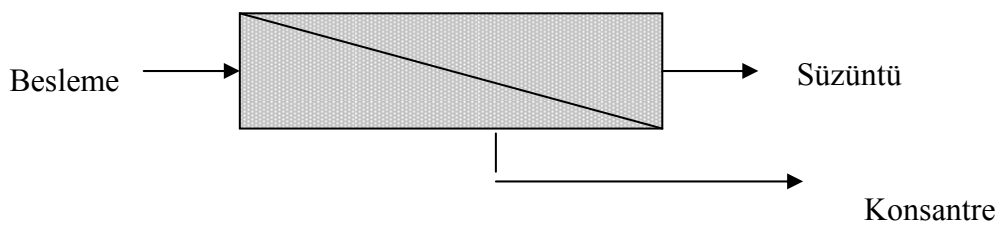
Membranlar, karışım halindeki pek çok maddenin ayrılması amacı ile kullanılır. Ayırma olayı iki ana grupta toplanır. Birincisi, çözünmüş maddelerin ayrımı ikincisi tutulmak istenen partiküler maddelerin ayrılmasıdır. Membran belirli türlerin hareketini kısıtlayan, metal, anorganik veya organik polimerlerden yapılan geçirgen veya yarı geçirgen bir malzemedir. Bu membranlar, gaz ayırımı, katı/sıvı ve sıvı/sıvı ayırımı gibi amaçlar için kullanılır. Genel olarak; sıvılardan ve gazlardan mikron boyutundaki partiküllerin filtrasyonu, sıvılardan kolloidlerin ve büyük ölçekli moleküllerin ayrımı, sadece iyonik türlerin ayrımı ve sulardan

veya diğer sıvılardan bütün askıda katı veya çözünmüş maddelerin ayırımı gibi amaçlar için kullanılır.



Şekil 2.1. Bir membranın ayırma işleminin şematik gösterimi

Membranların çalışmasının şematik gösterimi Şekil 2.1.'de görülmektedir. I. Faz besleme, II. Faz ise, süzüntü fazı olarak adlandırılmaktadır. Ayırma işlemi, membranın I. Fazdaki bir bileşeni, bileşenlerden daha kolay bir şekilde diğer tarafa geçirmesi esasına dayanır. Membrandan geçen akım iki kısma ayrılır. Bunlar, membrandan geçen ve membrandan geçmeyen akımdır. Membrandan geçen akım süzüntü, geçmeyen akım ise konsantre akımı olarak adlandırılır. Bunların şematik gösterimi Şekil 2.2.'de verilmektedir.



Şekil 2.2. Membran proseslerde giriş ve çıkış akımları

Membran sistemleri normal filtrasyondan farklı olarak çapraz akışla çalıştırılırlar. Çapraz akışta, sıvının bir kısmı basınç yardımı ile membran ürün hattına geçerken diğer kısım membran yüzeyine paralel akışla atık hattına doğru hareket eder ve sıvıdan ayrıştırılan safsızlıkları membrandan uzaklaştırır. 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. Çapraz

akış filtrasyonun kendi kendini temizleyen doğası, membranın ömrünü onun ekonomik olarak uygulanabilir bir metod olmasına olanak sağlayacak kadar uzatır.

2.2.1. Membranların Performansı

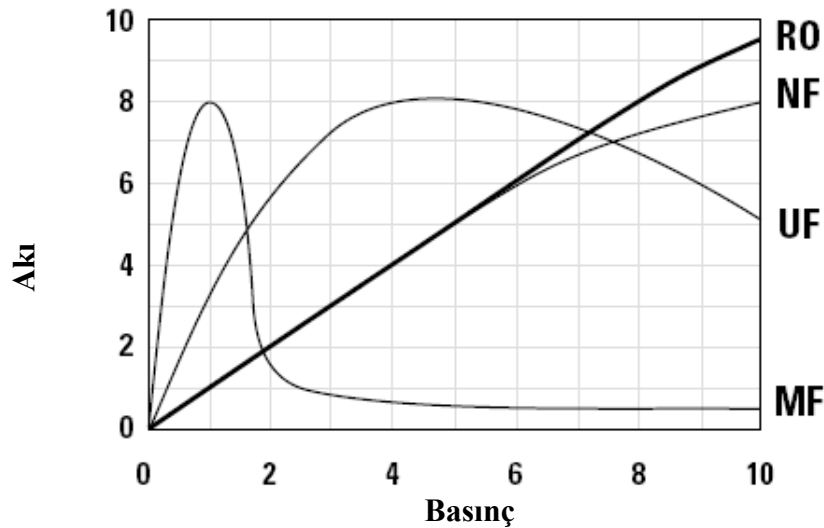
Membranların performansı, akı ve giderme verimi veya seçicilik olarak adlandırılan terimler ile ifade edilmektedir. İdeal bir membranda, yüksek seçicilik veya giderme verimi ile yüksek akı veya geçirimsizlik istenir.

2.2.1.1. Akı Etkisi

Akı, birim zamanda membranın birim alanından geçen akım miktarıdır. Akı, $m^3/m^2.gün$ veya $L/m^2.saat$ gibi birimlerle ifade edilir. Ortalama süzüntü akısı membran performansını göstermek için en yaygın kullanılan parametredir (Chen ve diğ. 2004). Membrandan geçen akım, membrana uygulanan basınç ile doğru, viskozite ile ters orantılıdır (Wang ve diğ., 2001). Süzüntü akısı gözenek uzunluğundan da etkilenir. Azalan gözenek uzunluğu süzüntü akısını artırır (Ma ve diğ., 2006). İyi işletilen membran sistemlerinde makul ve stabil akı ve mümkün olduğu kadar düşük enerji tüketimi olmalıdır. Bu amaçlara ulaşabilmek için proses sırasıyla ürün akısı, basınç ve sıcaklıkla optimize edilmelidir.

2.2.1.1.1. Basıncın Akı Üzerine Etkisi

Basıncın bir fonksiyonu olarak akı değişimi Şekil 2.3.' de gösterilmiştir. Çok genel bir çizimdir, fakat buna rağmen temelde doğrudur.



Şekil 2.3. Basıncın fonksiyonu olarak akı değişimi (Wagner, 2001)

RO sistemleri için genel kural olarak net sürücü basınç (Net Driving Pressure – NDP) iki katına çıkarıldığında akı da iki katına çıkar. NF sistemleri de benzerdir, fakat akı ile net sürücü basınç arasındaki ilişki RO kadar doğrusal değildir. UF sistemlerinde ise besleme basıncı birkaç barın üzerinde arttırıldığında akı azalır. İşletme basıncı seçimi açısından en zor membran prosesi MF' dur. Yaklaşık 0,5 barın üzerinde akı azalır. Sonuç olarak bir genelleme yapılsa; RO ve NF sistemlerinde süzüntü akısını optimize etmek için basınç bir değişken olarak kullanılabilirken, UF ve MF' da basınç süzüntü akısını çok etkin biçimde belirlemez.

2.2.1.1.2. Sıcaklığın Akı Üzerine Etkisi

Sıcaklık artışı su akısını arttırır. Sıcaklık artışı ile artan akı aslında, membran boyunca suyun difüzyon oranını arttıran suyun azalan viskozitesi nedeniyle (McCutcheon ve diğ., 2006). Çoğu membranda su akısı her °C' de %1 artar. Bununla birlikte membran malzemesine bağlı olarak değişiklik görülebilir. TFC membranlarındaki artış %3,3 , PSO ve CA' da ise % 2,7' dir. Öte yandan artan işletme sıcaklığı Ca tuzlarının, proteinlerin çökmesine ve tabaka oluşumuna neden olan bakteri gelişimine neden olabilir.

2.2.1.2. Giderme Verimi Etkisi

Giderme verimi, membran tarafından alıkoyulan kısmın ölçüsüdür. Membranın giderme verimi R ile ifade edilmektedir. R birimsiz bir büyüklüktür. 0 ile 1 arasında değişir. 0 bütün çözünmüş maddelerin membrandan geçtiğini, 1 ise membranın hiçbir madde geçişine izin vermediğini gösterir (Song ve diğ., 2006).

$R = 100 - \text{Membrandan geçen kısmın yüzdesi olup,}$

$$R(\%) = (C_b - C_s) / C_b = 1 - (C_s / C_b)$$

ile ifade edilir. Burada, C_s , süzüntü konsantrasyonu; C_b ise besleme suyu konsantrasyonudur.

Geri kazanım (y) ise , besleme akımının, süzüntü akımına dönüşen kısmının bir ölçüsüdür.

$$y(\%) = (Q_b - Q_k) / Q_b = Q_s / Q_b$$

Bağıntısı ile gösterilir. Burada, Q_b , besleme suyu debisi; Q_k , konsantre kısmın debisi; Q_s ise süzöntü kısmın debisidir.

2.3. MEMBRANLARIN YAPISI

Membran proseslerde kullanılan membranlar, özelliklerine göre çeşitli sınıflandırmaya tabi tutulurlar. Yapılarına göre doğal veya sentetik, organik veya anorganik, boşluklu veya boşluksuz, simetrik veya asimetrik membranlar olarak gruplandırılabilirler. Kullanılan membran tipine göre, membran proseslerin performansları önemli ölçüde değişmektedir. Yüksek süzöntü akımları elde edebilmek için membranın esas seçici tabakasının mümkün olduğunca ince olması gerekir. Bugün aşırı ince membranların en iyileri asimetrik yapı sayesinde elde edilmektedir. Bu tip membranlar aktif tabaka adı verilen ince bir üst tabaka ve bunun altında yer alan poröz bir destek tabakasından meydana gelmektedirler.

Asimetrik membranda filtrasyon aktif tabakada gerçekleşmektedir. Destek tabakası, membranın ayırma etkisi üzerinde rol oynamamakta, sadece aktif tabakayı dayanıklı hale getirmektedir. Asimetrik membranların aktif yüzey tabakası genellikle 0,1-1 μm kalınlığında selülozasetat veya poliamidden, destek tabakası ise yaklaşık 100 μm kalınlığında polisülfon veya polipropilenden oluşur. Asimetrik membranlar, üniform olmayan bir yapıya sahiptir. Asimetrik membranların geliştirilmesiyle, su ve atıksu arıtımında membranların kullanımı yaygınlaşmıştır. Simetrik membranların kalınlıkları ise 10-200 μm arasında değişmektedir.

Boşluklu membranlardan, mikrofiltrasyon için kullanılan membranların boşluk çapları 0.1-10 μm ve ultrafiltrasyon için kullanılan ise 2-10 nm'dir. Konsantrasyon polarizasyonu, bu membranların en önemli problemidir. Membranların tıkanmaya karşı direnci ve tıkanmadan sonra kolay temizlenebilme özelliği, membran seçiminde önemli bir faktördür. Boşluksuz membranlar ters osmoz ve nanofiltrasyonda kullanılır. Bunlar kompozit veya asimetrik membranlardır. Bu filtrasyonda aynı molekül büyüklüğüne bağlı iyonlar tutulurlar.

Membranlar, ayrıca yapılarına göre organik veya anorganik olarak sınıflandırılabilirler. Organik membranların ana maddesi polimerlerdir. Anorganik membranlar, kimyasal ve

termik olarak organik membranlara göre daha iyi dayanıklılık gösterirler. Ana yapım maddelerine göre anorganik membranlar başlıca; seramik, cam ve metalik membranlar olarak gruplandırılırlar.

2.3.1. Membran Materyalleri

Membran malzemeleri doğal ve yapay olmalarına göre gruplandırılabilir. Tablo 2.1’de membranların tip ve yapıları verilmiştir.

Tablo 2.1. Membranların tip ve yapıları

Geliştirilmiş doğal ürünler	Selüloz asetat (Selüloz-2-asetat, selüloz-2.5-asetat, selüloz-3-asetat), Selüloz asetobutirat, selüloz rejenerat, selüloz nitrat.
Sentetik ürünler	Poliamid (aromatik poliamid, kopoliamid, poliamid hidrazide), polibenzimidazole, polisulfone, vinil polimerler, polifuran, polikarbonat, polietilen, polipropilen, PVA, PAN, polieter sulfone, poliolefin, polihydantion, silikon, naylon
Karışık ürünler	Boşluklu cam, ZrO_2 -poliakrilik asit, ZrO_2 -karbon, Al_2O_3 , SiC, metaller (kurşun, gümüş, paslanmaz çelik, alüminyum)

Membran ayırma tekniğine göre membran malzemelerinin dağılımı aşağıda verilmiştir.

- Mikrofiltrasyon: Polipropilen (PP), Polietilen (PE), Polikarbonat (PC) ve Seramik (CC)
- Ultrafiltrasyon: Polisülfon (PSUF), Dynel ve Selüloz asetat (CA)
- Nanofiltrasyon: Poliviniliden florür (PVDF)
- Ters Osmoz: Selüloz asetat (CA), Poliamid ve Naylon

Membran yüzey alanına göre dünya çapındaki membran tüketimi; % 85 kompozit RO, % 3 – 5 kompozit NF, % 5 – 7 polisülfon UF ve MF ve % 3 – 5 diğer membranlardır. Çeşitli membran materyalleri ve özellikleri aşağıda açıklanmıştır.

- Selüloz Asetat (CA) : RO, NF ve UF uygulamalarında kullanılır. Materyalin pH ve sıcaklıkla ilgili olan pek çok sınırlaması vardır. İşletme pH aralığı 6 – 8’ dir. 40 °C’ a kadar işletme sıcaklığında kullanılabilir. CA’ nın avantajı düşük fiyatı ve fouling oluşumuna daha az eğilimli olmasını sağlayan hidrofilik olma özelliğidir. Kloru karşı toleransı iyidir (en fazla

2 mg/l' ye kadar). CA'nın doğal bir zayıflığı ise mikroorganizmalar tarafından yenilebilir olmasıdır (Murphy ve diğ, 2001). Bu nedenle klorlanmış bir su kaynağı ile çalıştırılması gereklidir. En çok kullanılan ve satılan membran grubudur.

- Selüloz Tri – Asetat (CTA) : Optimum işletme pH aralığı 4 – 8' dir. Çoğunlukla bakterilere karşı dirençlidir. Klorla karşı toleransı iyidir. Klorlanmış bir su kaynağı ile çalıştırılması membran ömrünü uzatır.
- Polisülfon (PSO) : 1975' den bu yana pek çok değişiklikle UF ve MF membranlarında kullanıldı. PSO' nun başlıca avantajı iyi sıcaklık ve pH direncidir. 95 °C' de sorunsuz olarak işletilirler. Gıda ve süt endüstrisi uygulamalarında yaygın olarak kullanılır.
- Poliviniliden Florür (PVDF) : İyi ve tutarlı ayırma özelliklerine sahip membran yapmak zor olduğu için çok fazla kullanılmaz. Başlıca avantajı hidrokarbona ve oksitleyici çevreye yüksek dirençli olmasıdır. 95 °C' de sorunsuz olarak işletilirler.
- Poliamid İnce Film Kompozit : İnce film kompozit membranlar TFC veya PA kısaltmaları ile de kullanılırlar. Başlıca avantajı nispeten yüksek akı ve çok yüksek tuz tutulmasının (% 99,5) kombinasyonudur. İyi seviyede sıcaklık ve pH direnci de vardır. İşletme pH aralığı 3 – 11' dir. 65 °C' a kadar işletme sıcaklığı uygulanabilir. Bakterilere karşı dirençlidirler. Uzun ömürlüdürler. Fakat oksitleyici çevreyi tolere edemez. Klorla karşı hassasiyetinden dolayı, membran öncesinde klor giderilmelidir.

2.4. MEMBRAN KARAKTERİSTİKLERİ

Membran tipi belirlenirken düşünülmesi gereken bir çok değişken vardır. Bunlar, sırasıyla aşağıda ele alınmıştır;

2.4.1. Sıcaklığa Dayanıklılık

Sıcaklık, plastik malzemenin performansını etkileyen başlıca faktördür. Özellikle yüksek endüstriyel ayırma proseslerinde, kullanılacak malzemeye dikkat edilmelidir. 0 °C'den 82 °C'a kadar olan sıcaklıklarda membran teknolojisi uygulanabilmektedir. Sıcaklığa en hassas olan membranlar ters osmoz membranlarıdır. Hassasiyet; nanofiltrasyon, ultrafiltrasyon ve

mikrofiltrasyon sıralamasında giderek azalır. En çok kullanılan membran türü olan ve maliyeti diğerlerine göre daha düşük olan selüloz asetat membranlarının 35-40 °C'ye kadar dayanıklılığı vardır. Diğer bir membran türü olan seramik membranlara uygulanan sıcaklık, 800 °C'ye kadar çıkabilmektedir.

2.4.2. Kimyasal Uygunluk

Membran polimerleri kimyasal olarak çözeltiye uygun ve dayanıklı olmalıdır. Çözelti içindeki kimyasal maddelere göre, membranda performans düşüklüğü meydana gelir. Poliamid membranlar özellikle klor karşı dayanıksızdır. Bu sebepten bu tip membranların besleme suyunda klor olmamalıdır. Ayrıca suyun pH'ı belli aralıklarda olmalıdır.

2.4.3. Basınca Dayanıklılık

Her membran türü için ayrı basınçlar uygulanmaktadır. En düşük basınç mikrofiltrasyonda (<2 bar) tatbik edilmektedir. Daha sonra ultrafiltrasyonda (1-8 bar), nanofiltrasyon (10-30 bar), en son olarak ters osmozda (10-100 bar) basınç uygulanmaktadır. Normalden yüksek basınç uygulamaları, membranların yapılarını bozmaktadır.

2.4.4. pH'ya Dayanıklılık

Asitlik ve bazikliğin bir belirtisi olan pH, membranın ömrü açısından önemlidir. Genelde kullanılan pH aralığı 2-8 dir. Selüloz asetat membranları pH'ya çok hassastırlar. Yüksek pH'larda membran kullanımı sınırlıdır.

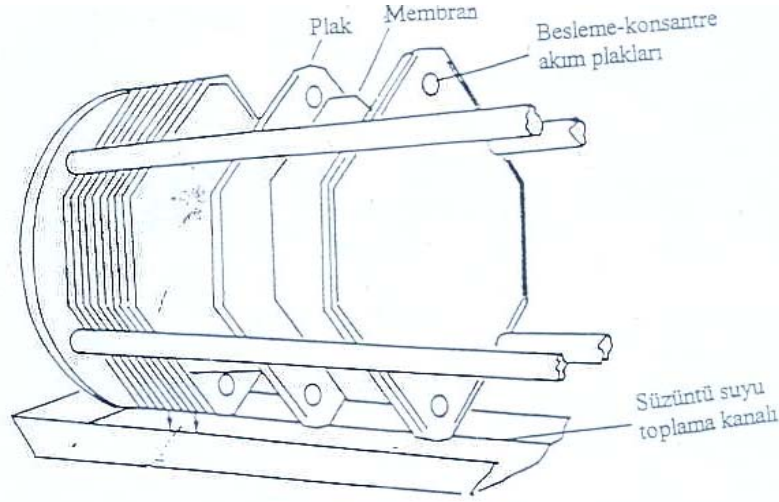
2.4.5. Mekanik Kararlılık

Mekanik kararlılık, diğer özelliklere göre daha az önem taşır. Yüksek basınçların kullanıldığı membranların mekanik dayanıklılığı da yüksek olması gerekir. Genel olarak membranlar yüksek geçirgenlik, iyi seçicilik, kararlı işletme özelliğine sahip olmalı ve düşük maliyet gerektirmelidir.

2.5. MEMBRAN MODÜL TİPLERİ

2.5.1. Plaka ve Çerçeve Membranlar (Plate and Frame Modul)

Bu düzenleme şekli 1966'da ABD'de ortaya çıkmıştır. Membran büyük dairesel plakalar arasına yerleştirilerek oluşturulmuştur. Yapıları, plaka çerçeve pres filtrelerine benzerlik gösterir. Ağır, iri ve işletilmesi zordur. Membranların değiştirilmeleri problemlidir. Her bir plaka 0.5-1 mm kalınlığındadır. Kanal uzunluğu 6-60 cm arasında değişir (Şekil 2.4.). Uzunlamasına modüllerde akım bütün kanallara paralel olarak akar (~ 2 m/s). 30 plaka ile basınçta 10 bar'lık bir azalma belirlenmiştir. Modern plaka tipi membran sistemleri 100 bar'dan fazla basınçları tolere edecek şekilde yapılmıştır.

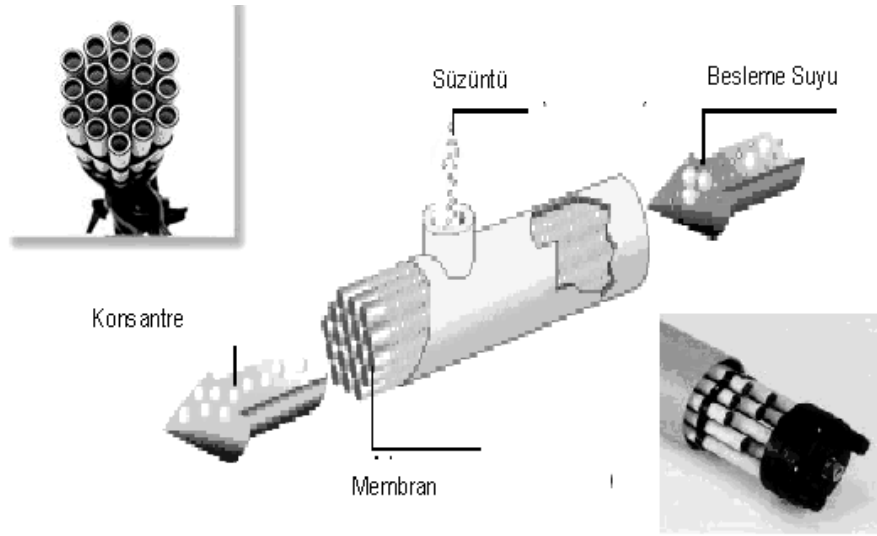


Şekil 2.4. Plaka membranların düzenleme şekli

2.5.2. Boru Tipi Membranlar (Tubular Module)

1965'li yıllarda ortaya çıkmıştır. 0.7-2.5 cm çaplarında ve 0.6-6.4 m uzunluklarında, küçük boruların büyük sağlam borular içine yerleştirilmesi ile oluşturulur. Şekil 2.5.' de gösterildiği üzere, akışkana basınç uygulanır. Uygulanan basınç sonucu, süzünmüş akımı boru dışına çıkar. Konsantre kısım, ortadaki borudan toplanır. Delikli yapı membrandan geçen suyun toplanmasını sağlar. Büyük alana ihtiyaç göstermeleri ve maliyetlerinin çok olmasından dolayı kullanımları, genellikle atıksu arıtımında olmuştur. Membranların değişimi zor ve zaman alıcıdır. Askıda katı madde konsantrasyonu ve viskozitesi yüksek sıvılarda, membran tıkanmadan uzun süre kullanılabilir. Membranlar hem mekanik olarak temizlenebilmekte hem

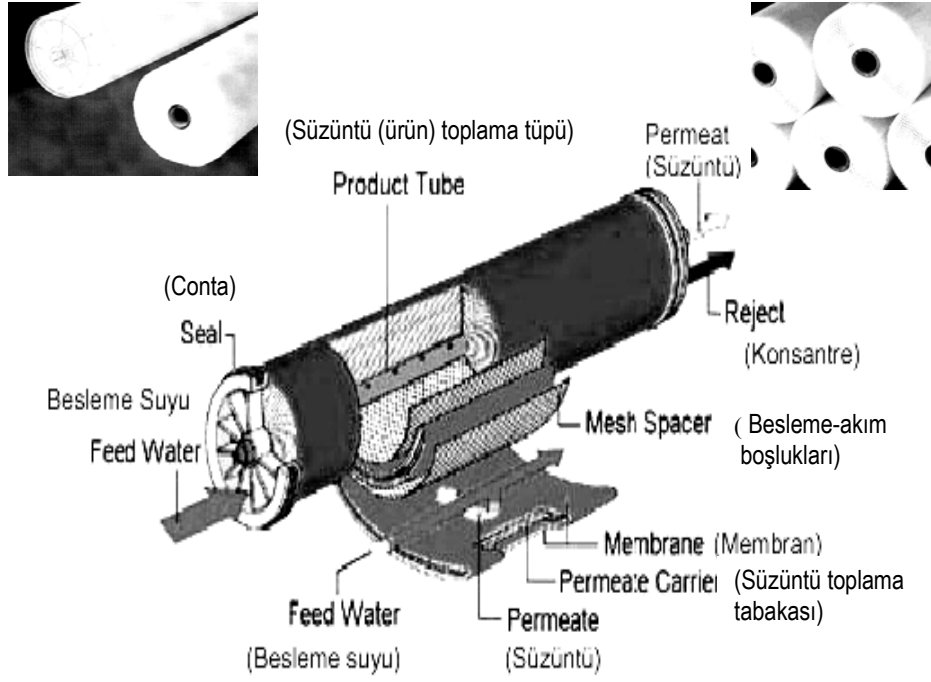
de türbülanslı akım oluşturularak, tıkanma minimuma indirilebilmektedir. Bu amaçla, 2-6 m/s arasında değişen hızlar uygulanmaktadır. Her bir tüp boru için, debisi 15-60 L/dak'dır.



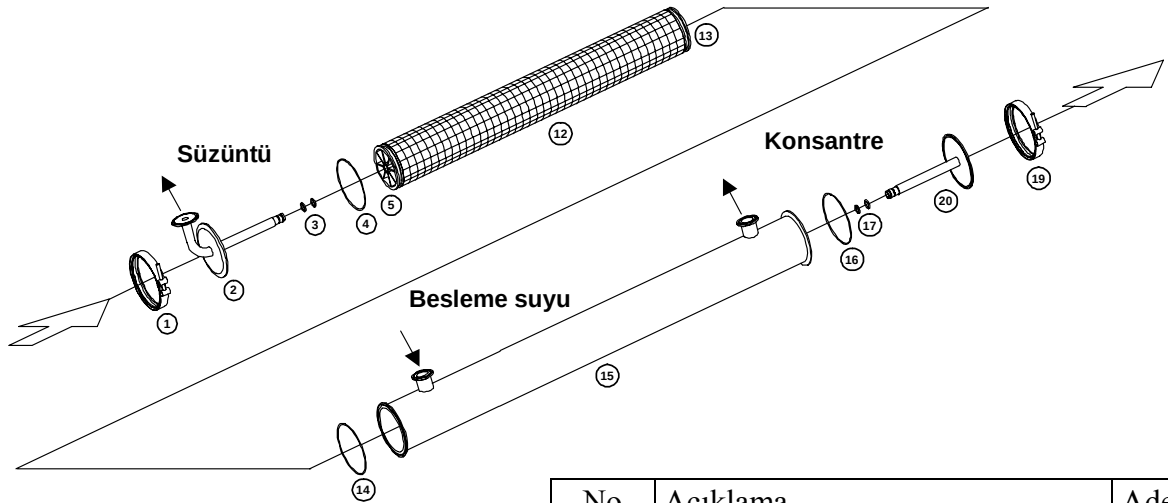
Şekil 2.5. Boru Tipi Membranlar

2.5.3. Spiral Sargılı Membranlar (Spiral Wound Module)

Spiral sargılı membranlar, plaka membranlarının daha geliştirilmiş bir halidir. En çok kullanılan modül türüdür. 1966-67'li yıllarda ortaya çıkmıştır. Özellikle su üretiminde boru tipi membranların yerini almıştır. Şekil 2.6.' da spiral sargılı membranların düzenleme şekli verilmektedir. İki membran arasında gözenekli bir yapı vardır. Bu yapıya “spacer” (yolluk) adı verilmektedir. Bunların hepsi beraber üretilen suyu toplayan bir tüp üzerine sarılır. Yolluk özel işletme koşullarına göre optimize edilmelidir (Ma ve diğ., 2006). Rulo halindeki membran ve delikli yapı, 5,10,20 cm'lik standart çap ve 15-150 cm uzunluğunda imal edilir. Membran alanı çapa bağlı olarak 15 m²'ye kadar çıkabilir. Membranlar, membran kabı içine tek bir modül oluşturabilmek için, sayıları 2 ile 6 arasında değişen miktarda yerleştirilir. Membran kabı fiberglas, PVC veya paslanmaz çelik olabilir (Şekil 2.7. – 2.8.). Bir membran kullanıldığında geri kazanım %30 civarında iken, modül tasarımı ile bu oran %90 mertebesine artırılabilir. Bu membran alanının artmasından kaynaklanmaktadır. Membran için, selüloz asetat, poliamid, ve kompozit poliamid malzemeler kullanılmaktadır.

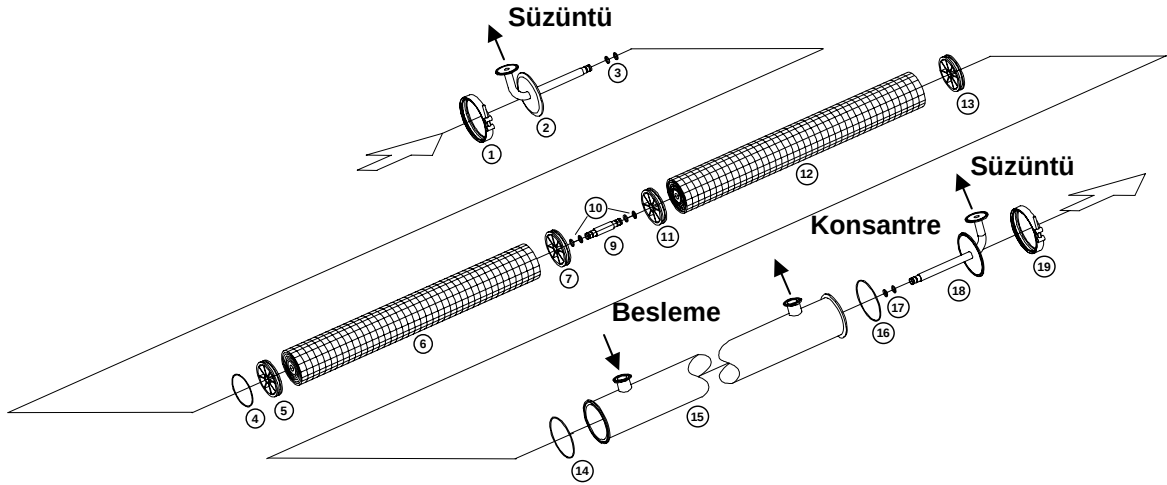


Şekil 2.6. Spiral sargılı membranlar



No	Açıklama	Adet
1, 19	Son kapak için sıkıştırma halkası	2
2	Süzüntü adaptörü için son kapak	1
20	Kör adaptör için son kapak	1
3, 17	O-ring	4
4	Brine seal	1
5, 13	Anti-telescoping Device (ATD)	2
12	Spiral Sargılı Membran	1
14, 16	Son kapak için conta	2
15	Paslanmaz çelik membran kabı	1

Şekil 2.7. Spiral sargılı bir membran içeren membran kılıfının açılmış hali



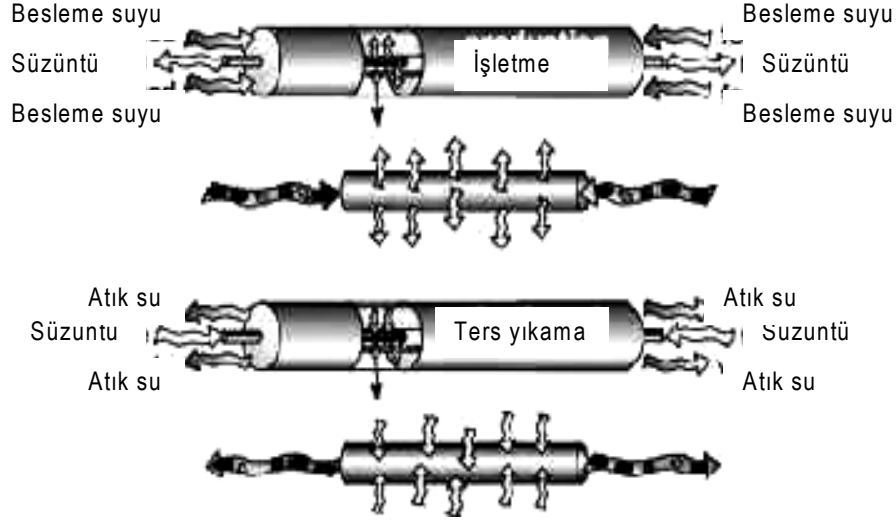
No	Açıklama	Adet
1, 19	Son kapak için sıkıştırma halkası	2
2, 18	Süzüntü adaptörü için son kapak	2
3, 10, 17	O-ring	8+
4, 21	Conta	2+
5, 7, 11, 13	Anti-telescoping Device (ATD)	4+
6, 12	Spiral sargılı membran	2+
9	İç bağlantı	1+
14, 16	Son kapak için conta	2
15	Paslanmaz çelik membran kabı	1

Şekil 2.8. Spiral sargılı birden fazla membran içeren membran kılıfının açılmış hali

2.5.4. Boşluklu Elyaf Membranlar (Hollow Fiber Module)

İlk kullanım 1969' da olmuştur. İnsan saçı çapında borucuklar halinde üretilirler. Besleme suyu dağıtım borusunu saran binlerce elyafın oluşturduğu bir yığın halindedir. Bu yığılı tabaka basınçlı bir fiberglas, PVC ve paslanmaz çelikten yapılmış kap içine yerleştirilir. Temiz su, içteki bölmede toplanır. Bu membranlarda, iç çap ile dış çap oranı 2:1' dir (Şekil 2.9.). UF için üretilen boşluklu elyaf membranlar, selüloz olmayan polimerik membranlar ile oluşturulurlar. Her bir delikli elyafın çapı 0.19-1.25 mm arasında değişir. Kalınlığı ise 200 µm arasındadır. İşletme sıcaklığı 75-80 °C' ye kadar çıkabilir. Modül çapı 10-20 cm ve membran alanı 4.7-7.8 m² arasında değişir. Membrana verilecek suda büyük çaplı partiküllerin

olmaması lazımdır. Bu sebepten, 50-100 µm çaplı partiküllerin tutulması için ön arıtmaya ihtiyaç vardır. Tıkanmaya karşı hassastırlar. İşletme hızı 0.5-2.5 m/s arasındadır.



Şekil 2.9. Boşluklu elyaf membran

2.5.5. Membran Modüllerinin Karşılaştırması

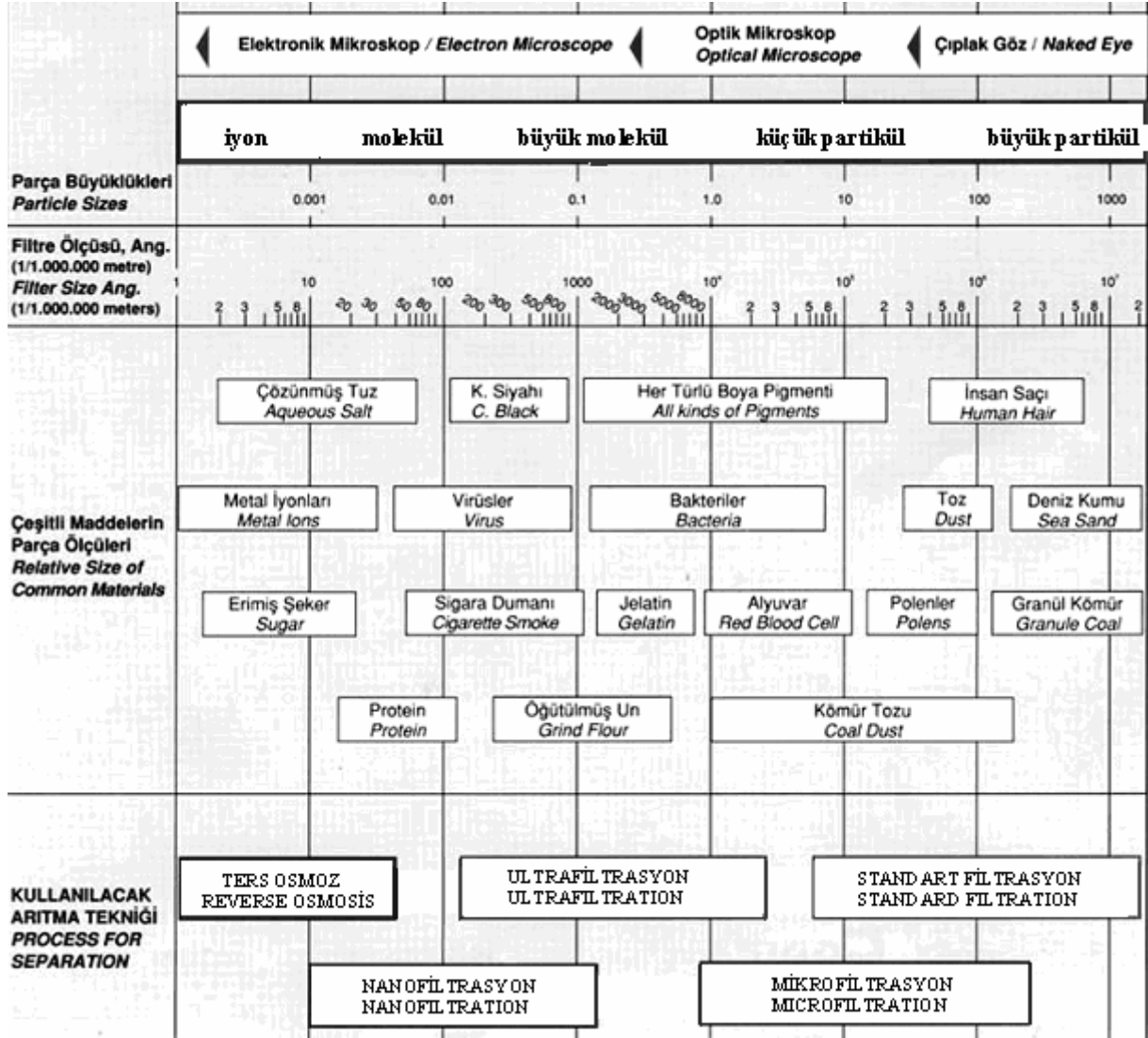
Çeşitli membran modül tiplerinin karşılaştırması Tablo 2.2' de gösterilmiştir.

Tablo 2.2. Membran modüllerinin karşılaştırması

Parametre	Boşluklu elyaf	Spiral sargılı	Plaka	Boru tipi
Yatırım maliyeti	Düşük	Orta	Yüksek	Yüksek
İşletme maliyeti	Düşük	Orta	Orta	Yüksek
Fouling eğilimi	Yüksek	Orta	Orta	Düşük
Konsantrasyon polarizasyonu fouling kontrolü	Zayıf	Orta	İyi	Çok iyi
Yüzey alanı m ² /m ³	Çok yüksek	Yüksek	Orta	Düşük
Ön arıtım gereksinimi	Yüksek	Orta	Yüksek	Basit
Temizlenebilirlik	Düşük	İyi	İyi	İyi
Süzüntü basıncı düşüşü	Yüksek	Orta	Düşük	Düşük
Yüksek basınçta işletmeye uygunluk	Evet	Evet	Evet	Çok az
Belirli tip membran materyallerinde sınırlılık	Evet	Hayır	Hayır	Hayır

2.6. BASINÇLI MEMBRAN TÜRLERİ

Membran türleri giderilecek maddelerin partikül boyutlarına göre seçilirler. Partikül boyutları ve membran türleri arasındaki ilişki Şekil 2.10.' da gösterilmiştir.

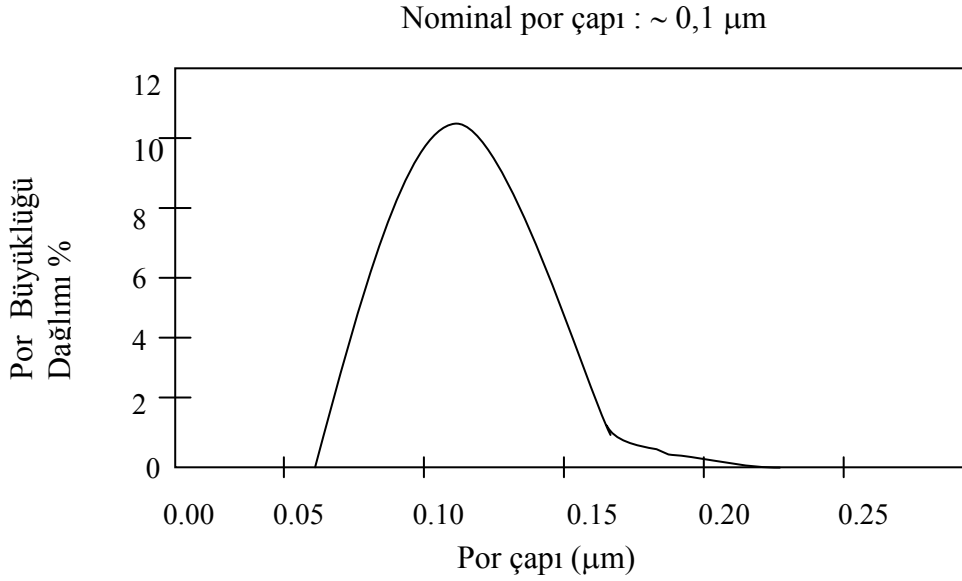


Şekil 2.10. Partikül boyutları ve membran türleri

2.6.1. Mikrofiltrasyon (MF)

Mikrofiltrasyon 0,1 - 10 μm arasındaki partikülleri tutmak amacıyla kullanılır (Tangsubkul ve diğ., 2006). Membranın besleme ve süzöntü yanları arasındaki basınç farkı 0-2 bardır. Elbetteki bu sınırlar tam kesin değildir. Çünkü sadece partikül boyutları değil, aynı zamanda molekül ve kolloid şekilleri, membran ve tutulan maddeler arasındaki ilişkiler de son derece

önemlidir. Bir partikülün membranda tutulup tutulmaması, işletme şartları yanında her şeyden önce partikülün büyüklüğü ve yapısı ile membran porlarının büyüklüğü ve yapısına bağlıdır. Membran için özgün bir değer olan Ayırma Sınırı (MWCO) por büyüklüğü ve por büyüklüğü dağılımı tarafından belirlenir. Membran verimini arttırmak için porozitenin mümkün olduğu kadar yüksek gözenek boyutlarının mümkün olduğu kadar dar olması gerekmektedir. Mikrofiltrasyon membranları Nominal Por Çapı ile karakterize edilirler. Nominal Por Çapı, por büyüklüğü dağılımında en çok sayıda bulunan por büyüklüğüdür. Şekil 2.11.'de 0.1 μm nominal por çapındaki, bir mikrofiltrasyon membranının por dağılımı görülmektedir.



Şekil 2.11. Mikrofiltrasyon membranlarında por büyüklüğü dağılımı

Por büyüklüğünün uygunluğundan dolayı mikrofiltrasyonda asimetric membranlara ihtiyaç duyulmaz. Bu yüzden mikrofiltrasyon membranlarının büyük çoğunluğu simetrik yapıdadır. Mikrofiltrasyon membranlarının üretimi için daha çok PP (polipropilen), PTFE (politetrafloretillen), polikarbonat malzeme kullanılır. Ayrıca birkaç yıldan beri anorganik membranlar da kullanılmaktadır. Anorganik malzeme öncelikle yüksek mekanik özellikler, yüksek termik ve kimyasal dayanıklılık istendiğinde tercih nedeni olmaktadır.

Mikrofiltrasyonun genel uygulama alanları gıda, ilaç, nükleer, kimya ve meşrubat endüstri prosesleri şeklinde sıralanabilir. Ayrıca, muhtelif sanayinin ihtiyacı olan ultra saf su elde etmek için partikül uzaklaştırılmasında da kullanılır. Mikrofiltrasyon, tekstil boya banyosundan ve birbirini izleyen durulama işlemlerinden kaynaklanan koloidal maddelerin giderilmesi amacıyla da kullanılabilir. Bu durumda, boya banyosu yardımcı kimyasal

içeriği suda kalmaktadır. Bu tip uygulamalar, atıksuda partikül halinde bulunan dispers boyarmaddelerin giderilmesinde etkilidir.

2.6.2. Ultrafiltrasyon (UF)

Ultrafiltrasyon 0.1-0.01 μm aralığındaki partikülleri tutmak amacıyla kullanılır. Ultrafiltrasyonda uygulanan basınç 1-10 bardır. Ultrafiltrasyon membranlarında por büyüklüğü dağılımını belirlemek pahalı olduğu ve ayrıca ultrafiltrasyonda ayrılacak maddelerin partikül ölçüleri genellikle bilinemediği için burada karakteristik ayırma büyüklüğü olarak “molekül ağırlığı,, kullanılır. Bir membran filtrasyonunda moleküllerin % 90-95’inin tutulduğu molekül ağırlığı alanı MWCO (Molecular Weight Cut Off) = Ayırma Sınırı olarak verilmektedir. Ultrafiltrasyon membranları için tipik molekül ayırma sınırı yaklaşık 1.000-100.000 D (Dalton)=kg/kmol arasındadır. Ultrafiltrasyon membranlarının üretiminde MF membranları için kullanılan aynı malzemeler söz konusu olur. Ultrafiltrasyon membranları, bir aktif ve bir destek tabakasından bütünleşen asimetric yapıdadırlar.

Ultrafiltrasyon sistemleri metal işletme soğutucuları, alkali temizleyiciler, aşındırma solüsyonları, parça yıkama solüsyonları, lateks banyo solüsyonları, içecekler içindeki bazı safsızlıkları alma ve kalite düzeltme gibi alanlarda kullanılmaktadır. Ultrafiltrasyon ayrıca içme suyu artımında ters osmoz ve nanofiltrasyon öncesi ön arıtma maksatlı olarak da kullanılmaktadır (Costa ve diğ., 2006). Giardia, cryptosporidium, virüsler ve bakteriler gibi mikroorganizmaların giderilmesinde UF oldukça başarılı olmuştur. UF uygulaması ile 0,1 NTU’ nun altında bulanıklığa sahip bir su kalitesi elde etmek mümkündür. Makromoleküllerin ayrılmasında etkilidir (Leung ve diğ., 1979). Öte yandan UF renk gideriminde çok az etkilidir (Marcucci ve diğ., 2001).

Ultrafiltrasyon ve Mikrofiltrasyon modüllerinde ana problem, membran üzerinde oluşan birikme tabakasının kontrol altına alınmasıdır. Burada modül tekniği açısından aşağıdaki seçenekler söz konusu olmaktadır :

- Yüksek Hızlar : Membran yüzeyinde geri dönüşsüz olarak birikme olduğunda, sıvı akış hızının artırılması süzöntü miktarını artırabilir. Fakat bu durumda proses için gerekli enerji miktarında artış görülür.

- Süzüntü (Permeat) ile Ters Yıkama : Membran üzerinde birikme tabakası oluştuğunda süzüntü tarafında kısa süreli basınç yükseltilerek, süzüntü tarafından besleme yönüne doğru akış yönü değişikliği gerçekleştirilir. Bu işlem için membranın süzüntü tarafı da basınca dayanıklı olmalıdır.

2.6.3. Nanofiltrasyon (NF)

Nanofiltrasyon, düşük moleküler ağırlıklı organik bileşiklerin ve iki değerlikli iyonların ayırımında kullanılır (Marcuccia ve diğ., 2001). Ters osmoz ve ultrafiltrasyon arasında yer alır. Ters osmozda 150 D (kg/kmol) değerinden daha büyük molekül ağırlıklı organik maddeler tutulabilir. Ayırma sınırı nanofiltrasyon membranları için 200 D (kg/kmol) değerinin üstündedir. Nanofiltrasyon kavramı, 200 kg/kmol molekül ağırlığı ve buna ait 1 nanometre (10 angstrom) büyüklük ile ilgilidir.

Nanofiltrasyon membranlarının önemli ve farklı bir özellikleri iyon seçici olmalarıdır. Bir değerlikli iyonlar membrandan büyük oranda geçerler (Van der Bruggen ve diğ., 2001). Fakat sülfat ve karbonat gibi iki değerlikli iyonlar önemli oranda tutulurlar. Bir tuzun nanofiltrasyon membranından geçebilirliği önemli oranda anyonun değerliğine bağlılık gösterir. Son zamanlarda yapılan araştırmalara göre nanofiltrasyon membranlarında tutulma aşağıdaki sıraya göre artmaktadır. Örneğin bakır, kalsiyuma göre daha çok, kalsiyum da sodyuma göre daha çok tutulmaktadır.

Katyonlar : H^+ , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cu^{2+}

Anyonlar : NO_3^- , Cl^- , OH^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-}

Nanofiltrasyon membranlarının bu seçiciliği, membrandaki negatif yük gruplarından kaynaklanmaktadır. Bunlar elektrostatik etkileşimlerle çok değerlikli anyonların membrandan geçişini engellemektedirler. Buradaki yük gruplarına örnek olarak $-COOH$ veya $-SO_3H$ verilebilir. Yapılan çalışmalarda negatif yüklü NF membranları ile Mg^{2+} ya da Ca^{2+} lı tuzların tutulmasının artan tuz konsantrasyonu ile arttığı görülmüştür (Wang, ve diğ., 2006). Yüklü membranlarda pH'ın alkali değerlere arttırılışı yüzey daha negatif yüklere sahip olur ve iyonlar daha iyi tutulur (Manttari ve diğ., 2006). Membran üretiminde bu yük grupları membran polimeri kimyasal işlemlere sokularak, yüklü bir polimer ilave edilerek veya yüklü bir monomer polimerize edilerek oluşturulur.

Nanofiltrasyon membranlarının ters osmoz sistemleri ile karşılaştırılması şöyledir;

- NF membranları, RO membranları gibi çoğunlukla asimetrik şekilde üretilmektedir.
- RO'dan farklı olarak yüksek NaCl konsantrasyonlarında ve düşük basınçlarda bile yüksek akı sağlanabilmektedir.
- NaCl için tutma oranları geniş aralıklarda değişebilmektedir. Fakat RO membranlarına göre oldukça düşüktür.

NF membranlarının özellikleri, aşağıdaki tipik kullanım alanlarını oluşturmaktadır. Farklı iyonik tipleri ve moleküler kirlilikleri eş zamanlı tutabildiklerinden avantajlı görülürler (Pervov ve diğ., 2000).

1. Bir değerlikli iyonlar geçerken çok değerlikli anyonların tutulması : proses ve içme sularının yumuşatılması (iyon değiştiricilere göre, az bakım gerektirmesi, rejenerasyon masrafı olmaması ve düşük deşarj hacmi gibi avantajları vardır.)(Woerner), iyon değiştirici veya RO tesisleri için ön arıtma olarak.
2. Bir değerlikli tuzlar geçerken organik bileşiklerin tutulması : içme suyu arıtımı, tekstil ve kağıt endüstrisi atıksularının renk giderimi, peyniraltı suyundan laktoz ve proteinlerin tutulması, tensid içeren atıksulardaki tuzların giderimi
3. Sulu çözeltilerdeki düşük ve yüksek moleküllü maddelerin birbirinden ayrılması : şarabın alkolünün giderimi, biyolojik arıtma basamağından önce, atıksudaki zor parçalanmış maddelerin ayrılması

Pamuklu tekstil boyama banyo atıksularında kalıntı reaktif boyarmadde ve katyonik boyarmaddelerin banyo suyundaki tuzdan ayrılmasında NF membranlarından yararlanılabilmektedir. Bu suretle kazanılan su ve tuz tekrar boya banyosunda kullanılmakta ve suyun sıcaklığı nedeniyle enerji tasarrufu da sağlanmaktadır. Bu şekilde bir sistem, sağladığı tasarruf ile, iki – üç yılda kendini amorti edebilmektedir.

Organik bileşiklerin elektrikçe nötral sulu çözeltileri için NF membranlarındaki akı ve seçicilik, ters osmoz membranları için geliştirilmiş olan Çözünme-Difüzyon Modeli ile açıklanabilir. Fakat iyonik çözeltiler için NF membranlarındaki negatif yüklerden

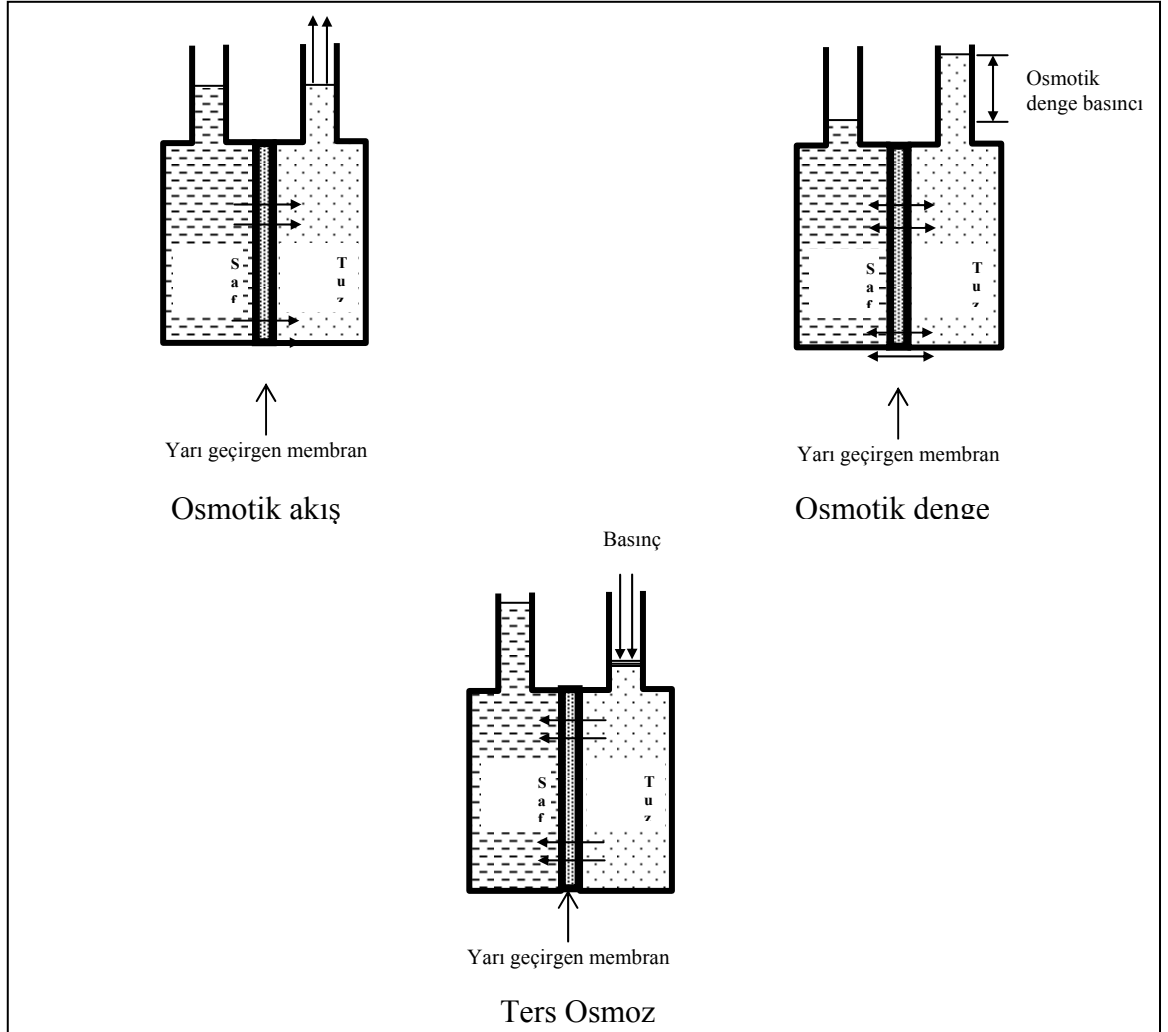
kaynaklanan elektriksel etkiler ortaya çıkar. Çözünme-Difüzyon Modeli bu etkileri modelleyemez. Burada Mikroporlu Membran Modeli daha başarılıdır. İyonlar gibi yüklü grupların tutulması, çözeltideki bileşiklerin değerliğine, konsantrasyonuna ve kimyasal yapısına ve membran yüzeyindeki grupların yüzey yüküne, yük yoğunluğuna ve kimyasal yapısına bağlı olarak açıklanır (Manttari ve diğ., 2006). Organik madde gibi yüksüz türlerin tutulması, bileşiklerin boyutu, şekli, kimyasal yapısı ve hidrofilikliği/hidrofobikliğine ve membran por boyutuna bağlıdır (Kosutic ve diğ., 2006).

NF membranları ile, bir ve çok değerlikli anyonları içeren çözeltilerin tuz gideriminde çok ilginç bir etki ortaya çıkmaktadır: Bir NaCl çözeltisindeki sodyum ve klorürün NF ile tutulmaları denenirken çözeltiye basamaklı olarak Na_2SO_4 ekleniyor. Bu durumda 3 iyonlu bir sistem oluşmuş oluyor (Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-}). Cl^- ve SO_4^{2-} iyonları arasındaki boyut ve yük farklılıkları nedeniyle tutulmaları farklıdır (Tanninen ve diğ., 2006). Sodyum sülfat ilavesi ile iki değerlikli sülfat konsantrasyonu arttıkça, bir değerlikli klorür iyonu tutulma oranı düşmeye başlamaktadır. Yani klorür, daha büyük oranlarda membrandan geçmeye başlıyor. Hatta tutma oranı negatif değerler almaya başlıyor. Yani süzüntüdeki klorür konsantrasyonu, besleme çözeltisindeki klorür konsantrasyonunu bile aşıyor (Membran yüzeyi yakınındaki yoğun klorür tutma bölgesinden yoğun geçişler nedeniyle). Bu olaya “Donnan Etkisi” adı verilmektedir. Bir çözeltiye yüklü bir membran yerleştirildiğinde, dinamik bir denge oluşmaktadır. Bu dengeye göre membran yüzeyinde membran yükü ile ters yükte olan iyonların konsantrasyonu membran yükü ile aynı yükte olan iyonların konsantrasyonundan daha fazla olmaktadır. Bu konsantrasyon fazlalığı membran yüzeyinde donan potansiyeli denilen bir potansiyel oluşturmaktadır. Bu potansiyel membran ile aynı yükteki iyonların membran yüzeyine yaklaşmasını, membran yükü ile zıt yükteki iyonların da membran yüzeyinden uzaklaşmasını önlemektedir. Suların yumuşatılması ve çözeltilerden tuzların giderilmesi gibi proseslerde anyonların geçişi hızlanacağı için Donnan Etkisi önemli yararlar sağlamaktadır ve tercih edilen bir durum olmaktadır.

2.6.4. Ters Osmoz (Reverse Osmosis (RO))

Membran sistemleri içinde en yaygın kullanım alanına sahip olan Ters Osmoz sistemleridir. Ters osmoz prensibinin açıklanması için öncelikle osmoz olayının açıklanması gerekmektedir. Osmoz olayı, canlıların tümünün yaşamında büyük önem taşır. Bitki köklerinin topraktan suyu almaları, vücut içindeki hücrelerin beslenmesi için kandan sıvı alıp vermeleri, böbreklerde kanın idrardan ayrılması gibi birçok tabii olay Osmoz prensibi sayesinde olur

(Şekil 2.12.). Tabiat kanunlarına göre yüksekteki su alçak bir noktaya doğru akar. Basıncı hava daha az basınçlı bir yöreye doğru rüzgar olarak gider. Bu tabiat olayları gibi, tabiattaki saf sular kendinden daha az saf, yani daha çok mineral içeren (daha tuzlu) sulara doğru geçerek tabiattaki sularda bir tuzluluk dengesi sağlarlar. Tabii Osmoz olayını tabiatta sular arasındaki mineral dengesinin sağlanması olarak da düşünebiliriz. Osmoz prensibi ile topraktaki sular, bitki kökü üzerindeki zarı aşarak daha çok tuzlu olan bitki içindeki suların içine girer. Oysa toprak içindeki suyun basıncı yüksek bir ağacın kökündeki suyun basıncından daha azdır. Buna rağmen, topraktaki az mineralli su 100 metre yükseklikteki ağacın dahi kökü içine girer ve böylece ağaç ihtiyacı olan suyu ve mineralleri alır ve yaşamına devam eder. Bu tabii olay az mineralli suyun daha çok mineralli suya kıyasla bir basıncı olduğunu ispat eder. Suların mineral farkından doğan bu “Osmotik Basıncı” sayesinde, aynı atmosferik basınç altında bulunan su, canlıları veya hücreleri ayıran membrandan diğer tarafa kolayca geçer.



Şekil 2.12. Osmoz ve ters osmoz prensibi

Osmotik Basınç'ı şöyle tanımlayabiliriz; bir zar (membran) ile ayrılmış olan az mineralli (az tuzlu) suyun daha çok mineral içeren su tarafına doğru geçişini engellemek için tuzlu su tarafına uygulanacak basınçtır. Su içinde çözülmüş halde bulunan minerallerin miktarına göre suyun Osmotik Basıncı hesaplanabilir. Örneğin, içinde 35000 mg/litre çözülmüş madde bulunan Akdeniz'in suyunun osmotik basıncı 26 Bar'dır (260 mss). Demek ki, bir kabı yarı geçirgen bir tabii zar veya RO membranı ile ikiye ayırırsak, bir tarafa deniz suyu ve diğer tarafa saf su koyarsak, saf suyun deniz suyu tarafına geçmesini engellemek için deniz suyu tarafına en az 26 Bar basınç uygulamamız gerekir. Osmotik Basınç'tan daha yüksek bir basınç uygulanmasıyla Ters Osmoz olayı yaratılarak mineralli (tuzlu) sulardan tatlı su tarafına doğru su geçişi elde edilir. Ters Osmoz olayında su içindeki çözülmüş mineraller membranın diğer tarafına geçemezler. Ham su içinde bulunan katı maddeler, bakteriler, virüsler, organik maddeler de membranı aşamazlar ve mineralli su tarafında kalırlar. Membranın por boyutu virüslerden küçükse, boyut ayrılması ile giderilebilirler. Nötral pH'da pozitif yüklü membranlar elektrostatik çekim nedeniyle daha büyük por boyutlarına rağmen negatif yüklü virüsleri gidermede kullanılabilir (Madaeni, 1999). 25 °C standart sıcaklıkta ve 1 atmosferde bir mol 22,4 litre olduğu bilindiğinden, bir mol çözülmüş iyonun 22.4 bar osmotik basınca neden olduğu düşünülür (Johnson ve diğ.). Bu nedenle kuyu suyu gibi az mineral içeren sulardan iyi su elde etmek için 10 – 15 Bar gibi basınçta çalışan RO cihazları kullanılır; deniz suyundan iyi su elde etmek için ise 60 - 70 Bar basınçta çalışan RO cihazları tasarlanır. Az tuzlu sudan 1 m³ ürün suyu elde etmek için 1 kW ve deniz suyundan takriben beher m³ ürün su elde etmek için 4 kW enerji harcanmaktadır.

Osmotik basınç (psi), aşağıdaki formülde ifade edildiği gibi su içindeki iyonların toplam derişimine bağlı olarak gelişir:

$$P_{\text{osmotik}} = 1,12 (T + 273) \sum m_i$$

Burada ; T, sıcaklık (°C) ve $\sum m_i$, suda iyonik ve non iyonik çözülmüş bileşiklerin molalite toplamlarıdır.

RO tekniği filtre tekniğinden farklıdır. Bir filtrede su filtre yüzeyine dik olarak hareket eder ve sudan ayrılması istenen katılar filtre yüzeyinde kalır, suyun %100'ü süzülür. Oysa RO tekniğinde su RO membranı yüzeyine paralel olarak hareket eder, membranın iki tarafındaki basınç farkı ile mineralli suyun bir kısmı mineralleri terk ederek ve saf olarak membranın

diğer tarafına geçer. Mineralli sular RO membranı boyunca hareket ederken su miktarı gittikçe azalır, ancak kalan suyun mineral miktarı gittikçe artar. Kalan su, sudan ayrılması istenen mineraller ile beraber RO cihazını terk eder. RO tekniğinde, suyun içindeki mineral miktarına göre bu atılan suyun oranı hesaplanır. “Mineral Filtresi” olarak tanımlanan RO’ da filtrasyon mertebesi bir mikronun binde biri altındadır (0,001 mikron altında). Teorik olarak, minerallerin membrandan diğer tarafa geçmemesi gerekir, ancak tatbikatta çok az bir miktar mineral saf su ile beraber membranı aşar. “Mineral kaçağı” olarak adlandırılan bu olayın miktarı ham suyun içindeki minerallerin türüne ve miktarına, kullanılan RO membranı türüne, RO cihazının işletme basıncına, atık su oranına ve RO cihazının tasarımına göre değişir. Örneğin, deniz suyunu iyileştiren RO cihazları suyun içindeki çözünmüş minerallerin %99’unu ayırır (yani %1 kadar mineral iyi su tarafına kaçar), deniz suyundan iyi su elde edilirken ham suyun %60 kadarı atık olarak atılır. Oysa 1000 mikroS/cm iletkenlikteki bir kuyu suyundan kazan besi suyu üreten bir RO cihazının %3 kadar mineral kaçırmaya müsaade edilir, bu işlem sırasında ham suyun %20 kadarı atık su olarak atılır. Normal ters osmoz membranlarında kaçak % 5-10, geliştirilmiş ters osmoz membranlarında ise % 1 civarındadır. Membran kalınlığının kaçak miktarı üzerinde herhangi bir etkisi yoktur.

Elde edilen süzüntü (permeat) miktarı Q_p ; bir membran sabitine (K), membranın giriş ve çıkış kısımları arasındaki basınç farkı (Δp) ve osmotik basınç farkına ($\Delta \pi$), membran yüzeyine (A) ve membran kalınlığına (t) bağlıdır. Bu durumda aşağıdaki eşitlik geçerlidir. 50 bar üzerindeki basınçlarda su geçişi eşitlikte verildiğinden daha az artar. Çünkü bu durumda membranda sıkışmalar ortaya çıkar.

$$Q_p = K. (\Delta p - \Delta \pi) . (A / t)$$

2.6.5. Basınçlı Membran Türlerinin Karşılaştırması

Yukarıda açıklanan Mikrofiltrasyon, Ultrafiltrasyon, Nanofiltrasyon ve Ters Osmoz membranlarının karşılaştırması Tablo 2.3’ de gösterilmiştir.

Tablo 2.3. Membran türlerinin karşılaştırması (Wagner, 2001)

	Ters Osmoz	Nanofiltrasyon	Ultrafiltrasyon	Mikrofiltrasyon
Membran	Asimetrik	Asimetrik	Asimetrik	Simetrik Asimetrik
Kalınlık	150 μm	150 μm	150 – 250 μm	10 – 150 μm
İnce film	0,1 - 1 μm	0,1 - 1 μm	0,1 - 1 μm	
Por boyutu	< 0.001 μm	< 0.002 μm	0.1 – 0.01 μm	10 – 0.1 μm
Membrandan geçemeyenler	HMWC , LMWC, sodyum klorit, glikoz , amino asitler	HMWC, mono- di ve oligo sakkaritler, polivalent neg. iyonlar	Makro moleküller, proteinler, polisakkaritler, vira	Partiküller, kil, bakteri
Membran materyali	CA İnce film	CA İnce film	Seramik, PSO, PVDF, CA , İnce film	Seramik, PP, PSO, PVDF
Membran modülü	Boru , spiral sargılı , plaka	Boru , spiral sargılı , plaka	Boru , boşluklu elyaf, spiral sargılı , plaka	Boru , boşluklu elyaf
İşletme basıncı	5 – 150 bar	5 – 35 bar	1 – 10 bar	< 2 bar

3. MEMBRAN SİSTEMLERİ TASARIMI VE İŞLETİLMESİ

3.1. TERS OSMOZ TASARIM KRİTERLERİ

RO cihazı tasarımında ham suyun içindeki çözünmüş maddelerin türü ve miktarı, suyun sıcaklığı, üretilecek suyun debisi ve bu suyun kullanım maksadı tasarım kriterleri için en önemli verilerdir. RO teknolojisi geliştikçe RO membranlarının türü de çoğalmıştır. Düşük basınçta çalışan ve ham sudaki minerallerin yalnızca %70 kadarını ayıran membranlar olduğu gibi, çok yüksek basınçta görev yaparak minerallerin %99 kadarını ayıran membran türleri de mevcuttur. Diğer taraftan, çok düşük maliyet ile iyi su ürettiği için bugün en çok tercih edilen poliamid membranlar klorlanmış suya dayanıklı değilken, ilk icat edilen membranlardan olan selüloz asetat türü membranlar klor ile dezenfekte edilen sularda ve steril ortamlarda halen kullanılmaktadır. Membranların çoğu 45 – 50 °C sıcaklıklarda deforme olurlar. Son yıllarda 80 °C su ile yıkanabilen membranlar da üretilmiştir. Son icat edilen RO membran türleri ile artık her ihtiyaca, her prosese ve atık su dahil her kötü suya uygun RO membranı seçmek kolaylaşmıştır. Bütün RO'ların çalışma prensibi aynıdır. Besleme akımı membrandan geçerken süzülme gerçekleşir ve su membrandan geçerken mineraller dışarı taşınarak atılır. Ters osmoz sistemlerini genel olarak iki gruba ayırabiliriz.

- Düşük Basıncılı Sistemler : Besleme basıncının 100 psig'den az olduğu sistemlerdir. Membrandaki basınç farkı azaltılınca su üretimi durur. Membrandaki çözünmüş konsantrasyon farkını azaltana kadar tuz geçişi devam edecek; yüksek TDS suyu membranın süzölmüş tarafında ortaya çıkacaktır. Bu olay TDS krebisi olarak tanımlanır.
- Yüksek Basıncılı Sistemler : 100 psig üzerindeki basınç pompalı donanımlar, yüksek basınçlı sistemler olarak sınıflandırılır. Gerçek operasyon basıncı, 100 - 1000 psig arasında değişir. Bu değişim seçilen membrana ve arıtılan suya göre belirlenir. Çoğul membran sistemleri düşünüldüğünde, her modül en az 1, en çok 6 membran içerir. Süzme kalitesi, kapasite, debi, uzaklaştırma yüzdesi ve iyileştirme ile ilgili özel operasyon istekleri hedefe bağlıdır. Bunlarla ilgili dizayn bilgileri kullanılan membran ve pompa tipleriyle alakalıdır.

3.1.1. Ters Osmoz Sistemi Tasarımı

RO cihazı, üzerinde membran kapları, RO membranları, bir pompa, vanalar, borular ve bazı ölçü birimleri ve bunları kontrol eden bir ana panodan yapılmış bir sistemdir. Ancak, basit

görünen bu tesisatta membran türünün ve miktarının seçimi, membranın ham su tarafındaki su hızı, membran içinden suyun diğer tarafa geçiş hızı, gittikçe mineral oranı artan ham suyun kristal üreterek membranları tıkama risklerinin hesabı gibi bir çok hassas noktalar RO tasarımı bir mühendislik ihtisası konusu yapar. Yanlış tasarımı yapılan RO cihazlarının membranlarının çok az ömürlü olduğu ve bu cihazları kullanan işletmelerin bir iki yılda bir RO membranlarını yeniledikleri, RO cihazını çok pahalıya mal ettikleri görülmektedir. İyi tasarlanmış ve iyi bakımı yapılan bir RO cihazının membranları genelde 5 ile 7 yıl kadar görev yapar ve bu süre sonunda cihaza yeni membranlar takılır.

3.1.2. Atık Su Miktarı

RO cihazı sudaki mineralleri ayırır ve bunları dışarı atabilmek için bir miktar suya ihtiyaç duyar. Mineralleri atmak için yeterli miktarda su olmazsa, RO içinde birikimler oluşur. Bu nedenle, ham suda bulunan mineral miktarına ve RO' nun üreteceği su miktarına göre atık su oranı hesap edilir. Örneğin çok mineral içeren deniz suyunu arıtan bir RO' da atık oranı %60 kadarken, 1000 iletkenlikte bir kuyu suyu ile çalışan RO yalnızca %15 –20 kadar su atar. Su içinde bulunan ve kristal üretmeye meyilli olan Silikat, Kalsiyum ve Magnezyum minerallerinin çok yüksek oluşu tasarım şartlarını çok etkiler ve bu tür sular ile çalışan RO cihazları ancak çok su atarak sağlıklı çalışabilirler. Çok az miktarda su üreten RO cihazlarında RO membran sayısı azdır. Ham su, az sayıdaki membranlardan geçerken suyun büyük bir kısmı süzülmeden membranı terk eder. Bu nedenle, az su üreten RO cihazlarının üretim randımanı çok düşük olur ve bu cihazlar, ham su kalitesi çok kötü olmasa dahi (1000 mikroS/cm gibi) %60 - %80 kadar su atarlar. Aynı kalitede ham sudan 30 – 40 m³/saat su üreten bir RO cihazı ise yaklaşık %15 kadar su atar, dolayısı ile yüksek kapasiteli RO cihazları çok daha randımanlıdır.

3.1.3. Ters Osmoz Verimi

Membran performansını etkileyen pek çok faktör vardır. Bunlar; membran tipi, ayırma sınırı, porozite, yüzey yükü ve membran hidrofobikliği gibi membran özellikleri; moleküler ağırlık, melekül boyutu, yükü ve hidrofobikliği gibi çözelti özellikleri; pH, iyonik güç, sertlik ve organik madde gibi çözelti kimyası özellikleri; uygulanan basınç, sıcaklık, çapraz akış hızı ve geri kazanım oranı gibi sistem işletme koşullarıdır (Capar ve diğ., 2006). Ca, Mg ve sülfat gibi 2 değerlikli iyonlar, genel olarak Na ve Cl gibi tek değerli iyonlara göre daha etkili uzaklaştırılır. Bazı maddeler, örneğin borat pH'dan önemli oranda etkilenirler. Genelde

yüksek pH'da verim artar. Qin ve diğ. besleme pH'ının süzöntü pH'ını, membran yüzey yükünün değişimi nedeniyle iyon tutulmasını etkilediğini rapor ettiler. Tablo 3.1.' de Ters Osmoz sistemi nominal arıtım performansında, 60 psi net basınç ve 25 °C' da verimler gösterilmiştir.

3.1.3.1. Basınç

RO'larda operasyon basıncı; besleme suyundaki toplam çözünmüş katılara ve istenen süzme basınç verimine bağlıdır. TDS, sistemin osmotik basıncına karar verir. 100 mg/lt TDS 1 psi'ye karşılık gelir. Besleme, osmotik basınç farkı ile süzme basıncı toplamından büyük olmalıdır. Ek olarak basınç farkının artması, süzme kalitesini artırır. Tuz geçişi sabit iken, su basıncı artırılır ve daha yüksek kalitede su elde edilir. RO sistem basıncını artırarak, istenildiği kadar çok su elde edilebileceği düşünülse bile bu doğru değildir. Max debiye, günlük su debisine ve yüzey alanına göre dizayn yapılır. Bu, konsantrasyon kutuplaşması olarak bilinen, membran yanında mineral yapılmasından dolayıdır. Bundan başka, membranlar zamanla basınçtan dolayı sıkışır. Bu da, içinden geçen suyun difüzyonunu yavaşlatır ve üretim oranı (debi) azalır.

3.1.3.2. Sıcaklık

Besleme suyu sıcaklığındaki artış, süzme akışını artırır, fakat süzme kalitesini etkilemez. Membran yapısının seçiciliğine bağlı olarak, bu ısı etkisi 1 fahrenheit başına % 1.5-2 olabilir. Sıcaklığın artması yalnızca, membranın özel operasyon maximumunun altında faydalı olur. Bunun üstüne çıkan sıcaklıklarda membran zarar görür.

3.1.3.3. İyileştirme Yüzdesi

Membranın çalıştığı iyileştirme yüzdesi süzme kalitesini etkiler. Organikler, pirojenler, virüsler ve bakteriler gibi iyonik olmayan bileşiklerin eliminasyonu filtrasyon prosesidir. Bakteri konsantrasyonunun çok yüksek olduğu durumlarda süzme akımında bulunabilirler. Membran gözeneklerinden geçerken, buralara yerleştikleri kesin olmamakla birlikte, böyle olabileceği kabul edilir. Dolayısıyla RO öncesi bakteriyolojik arıtım yapılmalıdır.

Tablo 3.1. Ters osmoz nominal arıtım performansında, 60 psi net basınç ve 25 ° C'da verimler

<i>İnorganik maddeler</i>	<i>CTA %</i>	<i>TFC %</i>
Sodyum	85-90	90-95
Kalsiyum	90-95	93-98
Magnezyum	90-95	93-98
Potasyum	85-90	90-95
Demir	90-95	93-98
Mangan	90-95	93-98
Alüminyum	90-95	93-98
Bakır	90-95	93-98
Nikel	90-95	93-98
Çinko	90-95	93-98
Stronyum	90-95	93-98
Kadmiyum	90-95	93-98
Gümüş	90-95	93-98
Civa	90-95	93-98
Baryum	90-95	93-98
Krom	90-95	93-98
Kurşun	90-95	93-98
Klor	85-95	90-95
Bikarbonat	85-90	90-95
Nitrat	40-50	85-90
Flor	85-90	90-95
Fosfat	90-95	93-98
Kromat	85-90	90-95
Siyanür	85-90	90-95
Sülfat	90-95	93-98
Boron	30-40	55-60
Arsenik ⁺³	60-70	70-80
Arsenik ⁺⁵	85-90	93-98
Selenyum	90-95	93-98
Radyoaktivite	90-95	93-98
<i>Biyolojik & partiküller</i>		
Bakteri	99	99
Protozoa	99	99
Ameyobik keseler	99	99
E.coli	99	99
Giardia	99	99
Asbest	99	99
Sediment/bulanıklık	99	99
<i>Organik maddeler</i>		
Organik moleküller (Moleküler ağırlığı 300 olanlar)	90	99
Organik moleküller (Moleküler ağırlığı 300 ⁵ olanlar)	0-90	0-99

3.2. MEMBRAN ÖMRÜNÜ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Dizayn performansını ortaya çıkartmak için, süzme kalitesi ve operasyon verimini düşüren faktörler göz önüne alınmalıdır. Alçaltma, inorganik, organik ya da mikrobiyolojik üremeden dolayı ortaya çıkan üretimdeki azalmadır veya alçalma, membran yüzeyinde geri dönülemez hasarlardan dolayı olan su kalitesindeki düşüş anlamına da gelebilir. Membran ömrünü etkileyen faktörler aşağıda açıklanmıştır.

1. İnorganik Kirlenme : İnorganik kirlenme problemleri, uygun ön arıtımın yapılması ile ortadan kaldırılabilir.
2. Askıda Katı Maddeler : Tipik filtrasyon ihtiyacı, porlu geçiş membranında max 5 mikron büyüklük ve spiral sarılı membranlarda da besleme hızına bağlı olarak 25 mikron veya daha küçüktür. Bulanıklık genelde 1 NTU ‘dan küçük olarak düşünülür.
3. Bikarbonat Alkalinitesi : Bütün sular kalsiyum bikarbonat içerir ve kalsiyum karbonat formuna dönüşebilir veya en son aşamada çökelti oluşturabilir ve membranı tıkar. Bunu önlemek için; besleme suyu ya yumuşatılır ya da kalsiyum karbonat çökeltisini önlemek amacıyla pH azaltmak için asitle arıtma yapılır. Genelde, küçük ünitelerde yumuşatma, büyük ünitelerde pH kontrolü kullanır. Membran kalsiyum karbonatla tıkanmışsa, asitle yıkama yolu ile temizlenebilir. Hazırlanmış asitli yıkama aparatları, genel olarak sitrik asit veya fosforik asit ile yapılır.
4. Kalsiyum Sülfat : Kalsiyum sülfat suda sınırlı çözünürlükte bulunur. Eğer suda bulunuyorsa, besleme suyu, süzülme ile tuzlu su bölümünden geçerken, konsantrasyonu artar ve çökelti oluşturarak membranı tıkar. Besleme suyunun ön yumuşatma ünitesinden geçirilmesi veya antiskalantlarla arıtımı yapılır. Kalsiyum sülfatla tıkanan membranlar, asitle arıtılarak temizlenebilir. Kalsiyum sülfatı asitle uzaklaştırmak, kalsiyum karbonata göre daha zordur.
5. Demir, Mangan, Alüminyum, Silikat ve Kolloidal Madde : Sudaki çözünmüş demir hava ile temas ettiğinde demir hidroksit ve/veya demir oksit oluşturacak şekilde okside olur veya çöker. Bu jelatinimsi bir çökeltidir ve membranı tıkar. Eğer demir miktarı 0.05 - 0.5 mg/lit arasında ise ön arıtımla uzaklaştırılmalıdır. Demir tıkanması, korozyon ürünlerinden dolayı

olabilir. Mangan, alüminyum, silikat ve kolloidal maddelerden kaynaklanan problemler de demir ile aynıdır.

6. Organik Kirlenme : Membran organik maddelerden dolayı tıkanır, deterjanla veya kostik soda ile temizlenebilir. TFC membranlarının, selülozik membranlara göre daha geniş pH aralığı toleransına sahip olduğundan, kolay temizlenebilir oldukları düşünülür.

7. Mikrobiyolojik Kirlenme : Selüloz asetat membranları mikrobiyolojik üremeyi desteklerken, poliamid tipi membranlar desteklemez. Her ikisi de mikrobiyolojik kirlenme problemi ile karşılaşabilir. Selüloz asetat membranları, besleme suyunun klorlanması ile, bu kirlenmeden uzak tutulur. Poliamid membranları klorun oksidatif özelliğini tolare edemez. Klorlanmış besleme suyu, sisteme girmeden önce arıtılmalıdır.

8. Oksidasyon : TFC membranları ile ilgilidir ve klor karşı dayanım olduğu zaman düşünülür. Bununla birlikte her oksidan aynı etkiye sahip değildir. Membran aşırı okside edici kimyasala maruz bırakılırsa sistem çöker ve kabul edilemez tuz geçişleri ortaya çıkar.

9. Hidroliz : Selülozik membranları ilgilendirir ve TFC' lerin oksidasyonu ile paralellik taşır. Aynı şekilde hidroliz ile sistem zarar görebilir ve aşırı tuz geçişi ortaya çıkar. Bu da oksidasyonda olduğu gibi geri dönülemez bir zarardır. Membranın beslediği suyun pH'ı arttıkça, hidroliz daha çabuk ortaya çıkar. Genelde pH max 8 - 8.5 ile sınırlandırılır.

10. Polarizasyon (Kutuplaşma) : Membran, mineral konsantrasyonu çok farklı olan durgun iki çözeltiyi yan yana bulundurur. Bu konsantrasyon polarizasyonu olarak adlandırılır ve gelişimi büyük oranda besleme konsantrasyonuna dayanır (Zhou ve diğ., 2006). Membran süzmesi, polarizasyon ne kadar çok sürerse o kadar çok olur.

11. Drenaj Bağlantısı : RO sistemi, besleme ve drenaj suyu arasındaki potansiyel geçiş bağlantısını temsil eder ve bu yüzden uygun drenaj bağlantısı, su besleme hattına hastalık yapıcı bakterilerin geçişini engelleyecek şekilde yapılmalıdır.

12. Yapı Malzemeleri : Genellikle modüller 200 psig' de çalışır ve plastik malzemedendirler. Plastik malzemenin sıcaklık limitleri, membranın sıcaklık limitlerini geçer. 400 psig ve üzerindeki çalışmada, bazı bölümler 304 paslanmaz çelikten, bronzdan veya pirinçten yapılır.

3.3. TERS OSMOZ SİSTEMİ İÇİN ÖN VE SON ŞARTLANDIRMA

3.3.1. Ters Osmoz Sistemi İçin Ön Şartlandırma

Ön Şartlandırma olarak adlandırılan sistem, RO cihazı besi suyunun, yani ham suyun, RO cihazına gelinceye kadar olan fiziksel ve kimyasal şartlandırmasıdır. Membran sorunlarının en aza indirilmesi için RO ön şartlandırmasının doğru yapılması gerekir. Çoğu durumda ön arıtmanın niteliği ve kusursuzluğu tüm sistemin performansını belirler. Ön şartlandırma suyun katılardan iyice arındırılması, yani iyi bir filtrasyon her RO sistemi için genel bir ihtiyaç ise de, filtrasyondan sonra yapılacak şartlandırmalar ham suyun kalitesine ve RO cihazının türüne göre değişir. Membran filtrasyon sistemleri öncesinde yaygın olarak kullanılan filtrasyon türleri; kartuş filtreler, torba filtreler, kum filtreleri ve hareketli bant filtrelerdir. Ön arıtımın belirlenmesinde göz önüne alınan faktörler; membran tipi, modül sistemi, hamsu bileşimi, istenen süzüntü ve konsantre kalitesidir. Genelde, ön şartlandırma olarak aşağıda belirtilenlerden biri veya birkaçı berberce yapılır.

- Membranların aşırı yıpranmalarını ve pH'a bağlı çökelmeleri (metalthidroksitler gibi) önlemek için pH değerinin asit veya kostik dozajı ile uygun değerlere getirilmesi,
- Askıda katıların uzaklaştırılması,
- Kompakt modüllerde özellikle ve kolayca ortaya çıkan ve temizlenmesi son derece zor olan blokajların oluşmaması için organik makromoleküllerin mikrofiltreler veya ultrafiltrasyon ile giderilmesi (gerekirse bir ön çöktürme / flokülasyon ile),
- Mikrobiyolojik kirliliğe yol açabilecek mikroorganizmaların uzaklaştırılması. Selülozasetat membranlar klora karşı dayanıklı olduğundan klor veya NaOCL kullanılabilir. Poliamid membranlar kullanıldığında klor membrandan önce giderilmelidir. Bu amaçla aktifkarbon filtre kullanılabilir. Poliamid membranlar en fazla 0,1 mg/L serbest klora dayanabilirler.
- Gerektiğinde su sıcaklığının maksimum 40-50 °C değerlere kadar düşürülmesi,
- Su sertliği oluşturan iyonların konsantrasyonları arttığında doygunluk sınırlarına ulaşarak konsantrede çökeltme tehlikeleri söz konusu ise bu iyonların yumuşatma prosesi uygulanarak Na^+ ile değiştirilmesi,
- Membranlara zarar verebilecek oksitleyici maddelerin giderimi,
- Su içinde bulunan gazların ayrılması,

- Suya antiskalant dozajı yapılarak membran içinde kristallerin oluşmasının önlenmesi. (Fosfonat antiskalat biyolojik gelişimi destekleyen fosfor içeriği nedeniyle biofoulinge neden olabilir (Johnson ve diğ.).)

Ön arıtımı yapılmış, ters osmoz sistemine beslenme durumuna getirilmiş hamsuyun sahip olması gereken özellikler Tablo 3.2.'de gösterilmiştir.

Tablo 3.2. Ters osmoz sistemine beslenecek hamsuda istenen bazı parametre değerleri

Parametre	Değer
Su sıcaklığı	Max : 50 °C
Bulanıklık	Max : 1 NTU
pH	6,5 – 7,5
Fe, Mn ve Al oksitler	Max : 0,05 mg/L
Bakteriyolojik	Yok
Klor, KMnO ₄ ve diğer oksidant maddeler	0
Organik maddeler (TOK , KOİ veya BOİ)	0
Hidrokarbon, yağ ve gres	0
Ba , Sr ve F	Eser
Ön filtrasyon sonrası SDI değeri	Max : 3

3.3.2. Ters Osmoz Sistemi İçin Son Şartlandırma

RO cihazı ile üretilen suyun pH derecesi ne olursa olsun bu su genelde çok koroziftir. Çünkü su saflaştıkça korozif olur. Ayrıca, ürün suyunun kullanılması planlanan yerlerde bu derece saf su istenmeyebilir veya, ürün suyu bir sitenin veya şehrin boru şebekesine verilecekse, bu şebekede suyun bakteriler ile teması riski ile suya klor verilebilir. Bu tür nedenler ile RO üretim suyunun son şartlandırılması da istenir. Son şartlandırma her işletme için değişiktir ve ürün suyunun kullanım amacına göre farklılık gösterir. Bazı RO suyu son şartlandırma türleri şunlardır:

- Kostik (NaOH) veya başka bir kimyasal dozajı ile suyun pH derecesinin yükseltilmesi;
- Suyun korozyon yapmasını önlemek için suya korozyon inhibitörü dozajı yapılması;
- Bazı mineraller dozlanarak suyun belli bir proseste veya ürün imalatında kullanılması;
- Su içinde bulunan gazların ayrılması;

- Şehir şebekesine vermeden önce suya klor (sodyum hipoklorit veya kalsiyum hipoklorit) dozajı yapılması.

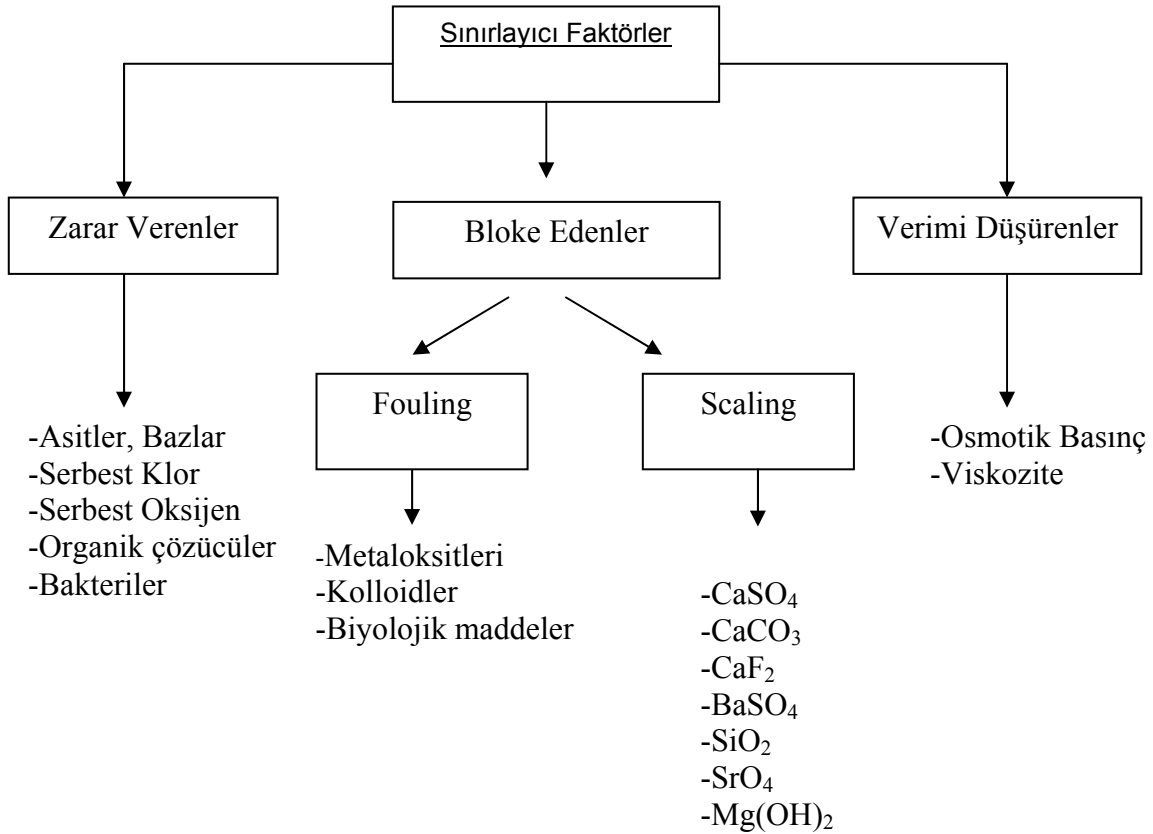
3.4. TERS OSMOZ PROSESİNİ SINIRLAYAN FAKTÖRLER

Ters osmoz prosesi bazı koşullarda olumsuz etkilenmektedir. Membranlara zarar veren şartlar Tablo 3.3.' de gösterilmiştir.

Tablo 3.3. Membranlara zarar veren şartlar

Şartlar	Selülozasetat	Poliamid	Kompozit Membranlar
pH	3-7	4-11	3-11 (4-6)
Serbest Klor	< 1mg/L	pH<8 : <0,1 mg/L pH>8 : <0,25 mg/L	Kısmen Dayanıklı
Bakteriler	Dayanıksız	Dayanıklı	Dayanıklı
Serbest Oksijen	Dayanıklı	Dayanıklı	Kısmen Dayanıklı

Ters osmoz prosesini sınırlandıran faktörler Şekil 3.1.' de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Ters osmoz prosesini sınırlandıran faktörler

Tıkanma ve kristalizasyon membran performansını etkileyen başlıca faktörlerdir. İşletme basıncının artmasına, geçirgenliğin azalmasına neden olur, modüllerin temizlenme ve yenilenme ihtiyacını oluşturur ve böylece işletme maliyetleri artar (Lu ve diğ., 2006).

3.4.1. Kristalizasyon Nedeniyle Membranların Bloke Olması (Scaling)

Membran filtrasyonunun tüm çeşitlerinde membranın seçimli etkileri nedeniyle membran yüzeyi yakınında bir konsantrasyon artışı (konsantrasyon polarizasyonu) görülür. Bunun sonucunda askıda katı maddeler membran yüzeyinde bir tabaka oluştururlar (fouling). Çözünmüş maddeler etkisiyle tabaka oluşumu ise ancak çözünme sınırının (doygunluk) aşılmasıyla başlar (scaling). Her iyonik bileşik için özgün olan çözünürlük sabiti dinamiktir ve sıcaklık, basınç ve pH ile değişebilir (Johnson ve diğ.). Membranlarda tıkanma ilk elemandan başlar. Buna karşılık kristalizasyon ise tesisin son elemanından yani konsantrasyonun en yüksek olduğu yerden başlar.

Sitrikasit gibi asitlerle yıkayarak çoğu durumlarda membran üzerindeki tabaka uzaklaştırılabilirse de spiral sargılı ve boşluklu elyaf modüllerde uzaklaştırılması son derece zordur. Bu nedenle kristalizasyon maddelerin kimyasal dönüşümü, uzaklaştırılması veya stabilizasyonu ve konsantrasyon artışının sınırlandırılmasıyla (modül veya tesis çıkışında çözünmüş maddelerin doygunluk konsantrasyonuna ulaşmaları engellenir) önlenmeye çalışılır. Konsantrasyon artışı sınırının belirlenmesi veya başka ifadeyle gerekli ön işlemlerinin belirlenmesi için aşağıdaki parametrelerin dikkate alınması gerekmektedir.

- Sıcaklık, pH , İletkenlik, Toplam Tuz miktarı
- Asidite, Alkalinite
- Na^+ , Ca^{2+} , Ba^{2+} , Sr^{2+} , Mn^{4+} , Fe^{2+} konsantrasyonları
- Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , F^- , HCO_3^- , CO_3^{2-} konsantrasyonları
- SiO_2 , serbest Cl_2 , O_2 ve CO_2 konsantrasyonları

Kristalizasyon problemi bulunan membranlarda genellikle görülen CaCO_3 ve CaSO_4 kristalizasyonu şu yöntemlerle önlenabilir;

- CaCO_3 kristalizasyonuna karşı alınabilecek ön arıtma önlemleri (Van der Bruggen, 2001) : asit dozajı, çöktürme ve yumuşatma
- CaSO_4 kristalizasyonuna karşı alınabilecek ön arıtma önlemleri : konsantrasyon artışının sınırlandırılması ve böylece CaSO_4 çöküşünün önlenmesi, çöktürme, polifosfatlar ile stabilizasyon ve yumuşatma

3.4.1.1. LSI (Langelier Saturation Index = Langelier Doygunluk İndeksi)

LSI parametresi pH, TDS, sertlik ve alkalinitenin göz önünde bulundurulmasıyla CaCO_3 çökebilirliğinin hesaplanmasına yarar. Başka bir ifadeyle, LSI, düşük TDS değerlerine sahip suların çökme ya da korozyon potansiyellerini CaCO_3 doyumluğuna bakarak belirlemeye yarayan bir parametredir. LSI, ölçülen pH değerinden, kalsiyumkarbonatın doyumluk anındaki pH değerinin (pHs) çıkarılmasıyla hesaplanabilmektedir ($\text{LSI} = \text{pH} - \text{pHs}$). CaCO_3 çözünürlüğü sıcaklığın, pH'ın, kalsiyum değerlerinin ve alkalinitenin artmasıyla azalmakta yani bu durumlarda CaCO_3 çökme olasılığı artmaktadır. Kalsiyumkarbonatın çökmesini önlemek için polimer esaslı bir antiskalant eklenmesi ya da pH'ın düşürülmesi gerekir. Besleme suyuna HCl veya H_2SO_4 ilave edildiğinde pH düşer, böylece LSI değeri de düşürülür. RO konsantresinde istenilen LSI değeri -0,2'dir (Yani konsantrenin pH değeri, doyumluk değerindeki pH değerinden 0,2 kadar düşük olmalıdır). LSI, negatif bir değere sahipse su koroziftir, pozitif bir değere sahipse suda CaCO_3 çökme riski söz konusudur. Sıcaklık, sertlik ve alkalinite değerleri bilindiğinde bu amaçla kullanılan çizelgeler yardımıyla pHs değeri kolayca hesaplanabilir.

3.4.1.2. SDSI (Stiff Davis Doygunluk İndeksi)

SDSI, LSI değerine benzer bir parametredir. Yüksek TDS değerlerine sahip sularda çökme ve korozyon potansiyelini belirlemeye yarar. CaCO_3 'ın doyumluğunu esas alır. Yüksek TDS miktarlarına sahip sular için kullanılan SDSI ile düşük TDS miktarlarındaki sularda kullanılan LSI arasındaki fark artan iyon kuvveti sonucu ortaya çıkan çözünürlük artışıdır. Yüksek TDS oranlarında, az çözünen tuzların çözünürlüğü artmaktadır.

3.4.2. Membranın Tıkanması (Fouling)

Tıkanma, yüzeylerde istenmeyen birikintiler oluşmasını tanımlayan genel bir kavramdır. Anorganik tuzların çökmesi ile oluşan yüzey birikimlerine “anorganik tıkanma

=kristalizasyon,, adı verilmektedir. Ayrıca organik tıkanma ve biofouling ifadeleri de kullanılmaktadır. Aslında bir çok tıkanma türü aynı anda ortaya çıkmakta ve farklı tıkanma türlerinin girişi nedeniyle daha kompleks olabilmektedir (Vrouwenvelder ve diğ., 2006). Tıkanma filtrasyon biçiminden, çapraz akış hızı ve basınç gibi hidrodinamik koşullardan etkilenir. Tıkanma membran özelliklerine (por boyutu, yükü ve pürüzsüzlüğü) ve besleme suyu kimyasına (pH, iyonik güç, iki değerlikli kation konsantrasyonu vb.) da bağlıdır (Kim ve diğ., 2006). Besleme suyunun pH'ı ve iyonik bileşimi kirlenici ve membran arasında ve kirlenici ve kirlilik tabakası arasında kimyasal etkileşimleri etkiler (Costa ve diğ., 2006). Yüklü membranlarda pH'ın alkali değerlere artırılmasıyla membran yüzeyi daha hidrofilik olacağından tıkanma eğilimi azalabilir (Manttari ve diğ., 2006).

İşletme sırasında sudaki süspanse veya kolloid çözünmüş maddeler ya da biyolojik gelişim nedeniyle membran yüzeyinde oluşan kirlilik tabakasının kalınlığı neredeyse ölçülemeyecek kadar küçük olmasına rağmen, membrandan geçmesi gereken komponentler için ek bir direnç/engel meydana gelir ve süzöntü akışı azalır. Tıkanma süzöntü akışı, çapraz akış hızı ve tuz konsantrasyonu gibi akı parametrelerinde değişimlere neden olur (Chen ve diğ., 2004).

Bir hamsuyun fouling oluşturma riski SDI (Silt Density Index – Kil Yoğunluk İndeksi) parametresi ile belirlenebilir. Bu indekse Kolloid İndeksi (KI) de denilir. Başka bir ifadeyle SDI, membran modülünün besleme suyu ile bloke olma riskinin belirlenmesiyle ilgili bir parametredir. SDI, membran sistemleri için geliştirilmiştir ve 0,45 mikron filtrede AKM ve kolloidal partikül sonucunda meydana gelen tıkanma oranını belirlemek için kullanılır. Tipik RO elemanları için besleme suyu SDI₁₅ (15 dakika) sınır değeri max. 4 olarak verilmektedir. Derin kuyulardan alınan sularda SDI değeri 3 veya daha düşük olmaktadır. Bulanıklığın 1' in altında olması durumunda ön arıtım ihtiyacı ortadan kalkabilmektedir. Yüzeysel su kaynaklarında ön arıtma ile kolloid ve AKM'nin uzaklaştırılmasıyla kabul edilebilir SDI değerlerine ulaşılabilir. Çok katmanlı filtre, mikrofiltrasyon ve ultrafiltrasyon uygulamalarından sonra elde edilen su kalitesi Tablo 3.4.' de gösterilmiştir.

Tablo 3.4. Çeşitli filtrasyonlardan sonra su kalitesi

Su Kalitesi	Çok Tabakalı Filtre (Kum/Antrasit)	MF	UF
Bulanıklık (NTU)	0,5	< 0,1	< 0,1
SDI ₁₅	3-5	< 3	< 2

Biofouling mikropların, bakterilerin, mayaların, hücre artıklarının ve metabolik ürünlerin birikimini ifade eder ve süzüntü akısını azaltır. Membranlar üzerindeki diğer etkileri; aynı ürün oranını elde etmek için biofilm direnci nedeniyle besleme basıncının artışı ve biofilmin çözünmeyen iyonların membran yüzeyinde birikimini hızlandırmasıyla ürün suyu kalitesinin azalmasıdır (Liu ve diğ., 2006). Biofouling membran elementinin ilk kısmında başlar (Vrouwenvelder ve diğ., 2006). Önarıtma ile membranın bakteriyolojik olarak güvenli sıcaklıklarda işletilmesi ve besleme akımında çok düşük hücre sayılarının bulunması sağlanır.

3.5. MEMBRANLARIN YIKANMASI

Membranda oluşan performans azalmasına bağlı olarak membranlar belli periyotlarda bakıma alınırlar. Ön arıtma metodları tıkanmayı azaltsa da membranın temizlenmesi devamlı suretle uygulanmaktadır. Yıkama sıklığı membran tesisinin performansına bağlı olarak değişmektedir. Yıkama türünün seçimi modül konfigürasyonuna, membran tipine, kimyasal direncine ve kirleticinin türüne bağlı olarak değişmektedir.

3.5.1. Hidrolik Yıkama

Temiz su ile yıkama iki şekilde olmaktadır. Membranın akış yönü ile aynı yönde bir yıkama yapılırsa normal işletme hızının çok üstünde bir yatay hız ile yıkama yapılır. Buna hızlı yıkama denir. Diğer durumda süzüntü kısmından besleme tarafına doğru membranın akış yönünün tersi doğrultusunda bir yıkama yapılır. Buna ters yıkama denir. Ters yıkamayla düşük işletme basıncı değeri ve böylece düşük enerji tüketimi sağlanır (Marcucci ve diğ., 2001). Yıkama için temiz su kullanıldığı gibi hava da kullanılabilir. Membran sistemi, iç hacmin yaklaşık üç katı bir hacimle ya da yaklaşık olarak m^2 membran alanı başına 5 litre su ile yıkanmalıdır.

3.5.2. Kimyasal Yıkama

En çok uygulanan yıkama çeşididir. Çok değişik kimyasallar kullanılmaktadır. Kimyasal maddenin konsantrasyonu, yıkama süresi ve membranın uygulanan kimyasal maddeye olan direnci önemlidir. Kullanılan başlıca kimyasallar asitler (kuvvetli olarak H_3PO_4 , zayıf olarak sitrik asit), alkaliler (NaOH), deterjanlar, enzimler, kompleks yapıcı kimyasallar (EDTA, sodyum meta fosfat), dezenfektanlar (H_2O_2 , NaOCl), buhar ve gazlar. Nanofiltrasyon ve ters

osmoz sistemlerinde meydana gelen kirlenmeyi temizlemek için kimyasal madde kullanma gereği ortaya çıkmaktadır.

Membranların optimum temizlenmesi, temizleyici maddelerin membran kirleticilerine ve membran uygunluğuna bağlılık gösterir. Bu nedenle kirliliğin bileşiminin bilinmesi büyük önem taşır. Ayrıca kimyasal maddelerin (faz hacminden kirlilik tabakasına) ve kirleticilerin (kirlilik tabakısından faz hacmine) transferi de önemlidir (Ang ve diğ., 2006). Anorganik kirliliklerin (kristalizasyon) giderilmesi için asidik ürünlerle yıkanması tavsiye edilmektedir. Organik kirlilik tabakaları (tıkanma) için ise alkali (bazik) yıkayıcılar daha uygundur. Mikroorganizmalar ile kirlenme (biofouling) durumunda dezenfektanlar kullanılmalıdır. Tıkanma koşullarında uzun süre işletmeden sonra membran temizliği ile düzelme daha az etkili olmaktadır (Lu ve diğ., 2006). Yüksek basınçlı sistemlerde kimyasal yıkama ihtiyacı daha sıktır (Tangsubkul ve diğ., 2006). Yıkama esnasında, kimyasal çözeltinin sıcaklığının artırılması temizleme performansını arttırmaktadır. Her durumda kullanılan membranın dayanıklılığı dikkate alınmalıdır. Kirlilik uzaklaştırılması için kullanılan bazı temizleme kimyasalları ile ilgili bilgiler Tablo 3.5.'de verilmektedir.

Tablo 3.5. Temizleme kimyasalları örnekleri ve uygulamaları

Kirlilik Tabakası	Temizleme Maddesi	Şartlar
Kalsiyum scaling Metalhidroksitleri Anorganik Kolloidler	Sitrikasit	% 1-2 ; NH ₄ OH ile pH= 4'e ayarlanır
Kalsiyum scaling	EDTA	% 1-2 ; NH ₄ OH veya NaOH ile pH=7' ye ayarlanır
Organik maddeler	Anyonik Tensidler (Örnek: Sodyumlaüril-sülfat)	% 0,1-1 H ₂ SO ₄ veya NaOH ile pH=7' ye ayarlanır
Bakteriler	Formaldehid	% 0,1-1

Membran sistemlerinin temizleme prosedürünün adımları aşağıda verilmiştir.

- 1 – Basınç azaltılır. MF ve UF için 1 – 2 bar , NF ve RO için 2 – 8 bar kullanılır.
- 2 – Konsantre akım makul bir şekilde temiz görülene kadar yıkama yapılır.
- 3 – Önce alkali durulama yapılır. Süzüntü ve konsantre geri döndürülür. Alkali deterjanlar ilave edilir. Konsantrasyon yaklaşık %1‘ dir. 30-60 dk geri devir yapılır. pH kontrol edilir.
- 4 – Musluk suyu ile yıkama yapılır.
- 5 – Asit durulaması yapılır. Süzüntü ve konsantre geri döndürülür. Asit deterjanlar ilave edilir. 20 – 40 dk geri devir yapılır. pH kontrol edilir.
- 6 – Musluk suyu ile yıkama yapılır.
- 7 – İkinci alkali durulaması yapılır. Süzüntü ve konsantre geri döndürülür. Alkali deterjanlar ilave edilir. Konsantrasyon yaklaşık % 0,1‘ dir. 20-30 dk geri devir yapılır. pH kontrol edilir.
- 8 – Musluk suyu ile yıkama yapılır.
- 9 – Süzüntü ve konsantre geri döndürülür. Dezenfektan ilave edilir. Konsantrasyon yaklaşık % 0,1‘ dir. 10-20 dk geri devir yapılır. Süzüntü tarafının dezenfekte edilmesini sağlayarak iyi bir süzüntü akımı elde etmek için basıncın artırılması gerekebilir.
- 10 – Musluk suyu ile yıkama yapılır.
- 11 – Üretici tarafından sıcaklık ve basınçta akı ölçülür.

3.5.3. Mekanik Yıkama

Mekanik yıkama tubular modüllerde uygulanan ve büyük baloncukların kullanıldığı bir yıkama çeşididir.

3.5.4. Elektriksel Yıkama

Yıkamanın çok özel bir çeşididir. Elektrik alan uygulayarak kirleticilerin membrandan uzaklaştırılması sağlanır. Elektrotların kullanıldığı özel modül dizaynları yapılmalıdır.

3.6. RO İŞLETME ŞEKLİ VE İŞLETMECİNİN GÖREVLERİ

RO cihazının sağlıklı işletilmesi için periyodik kontroller yapılması şarttır.

3.6.1. Günlük Kontroller

RO işletmecisi her gün yalnızca göz kontrolü yaparak işletme değerini bir çizelgeye kaydeder. Örnek çizelge Tablo 3.6' da gösterilmiştir.

Tablo 3.6. Günlük bakım çizelgesi

Tarih	İlk gün tarihi	2. gün tarihi	3. gün tarihi	4. gün tarihi
Son Kontrolden Sonraki Çalışma Süresi (saat)				
Membran Giriş Basıncı				
Atık Su Basıncı				
Üretim Suyu Debisi				
Atık Su Debisi				
Ham Su İletkenliği				
Ham Su Sıcaklığı				
Üretim Suyu İletkenliği				
Üretim Suyu pH				

Her RO sistemine göre bu tür çizelge detaylı olarak hazırlanır. Yüksek debili RO sistemlerinde her membran kademesinin ve filtrelerin basınç değerleri bu çizelgede yer alır. Bu çizelgedeki değerlerin haftalık, aylık ve yıllık olarak karşılaştırılması, RO cihazının sağlıklı olarak çalışıp çalışmadığını, yakın zamanda membranların yıkanmasının gerekliliğini ve membran ömrünün yakında sona ereceği gibi bilgileri işleticiye gösterir. Çizelge sayesinde ham su kalitesindeki doğal mevsimsel değişimlerde görülmüş olur. İletkenliği değişen ham suyun, membranlara zarar veren sertliği ve silikat miktarı da yükselmiş olabilir. Dönemsel olarak yapılan su analizleri ile bu durumun incelenmesi gerekir. Su analiz değerlerine göre RO cihazının yeni işletme değerleri tespit edilir. Örneğin, ham suda silikat değeri yükseldiyse RO atık su debisinin yükseltilmesi normaldir.

3.6.2. Haftalık Kontroller

Ham su kalitesine göre yapılan RO tasarımlarında, bazen ham su içine antiskalant tabir edilen kireç taşı ve silikat önleyici kimyasal inhibitör, asit veya kostik dozajlanır. Ayrıca, RO üretim suyunun son şartlandırması olarak da bazı kimyasallar üretim suyuna verilebilir. RO sistemine dozlanan kimyasalların miktarı ve dozaj pompasının çalışma şekli ve ayarları haftada bir

kontrol edilir. Kimyasallar azaldıysa takviye edilir. RO öncesi ham suyu süzen Kum Filtresi veya Çok Katmanlı Filtrenin (Multi Media Filtre) veya Diskli Filtre'nin otomatik olarak ters yıkama yaptığı gözlemlenir.

3.6.3. Aylık Bakımlar

3.6.3.1. Kartuş Filtreler

RO cihazına giren ham suyun son filtresi olan 5 mikronluk kartuş filtrelerin su giriş-çıkış basınç kaybı gözlemlenir ve gerekirse kartuşlar yenilenir. Kartuş filtrelerde basınç kaybı az da olsa, bunlarda bakteri çoğalmasını önlemek için en çok iki ayda bir kartuşlar yenilenir.

3.6.3.2. RO İşletim Çizelgesi Gözlemi

Artan basınç, artan iletkenlik, debi farklılığı, su sıcaklığı farkı gözlemlenir ve bunun sonunda membran yıkama zamanına ve membran ömrüne karar verilir.

3.6.3.3. RO Membranlarını Yıkama Periyodu

RO membranlarının yıkanmasının zamanı için iki ayrı görüş vardır: Bir görüşe göre, RO cihazında herhangi bir sorun yaşanmasa dahi RO membranları ayda bir veya iki ayda bir periyodik olarak yıkanmalıdır. Diğer bir görüş ise, membrana su giriş-çıkış basıncı belli bir sınırı geçince ya da süzüntü akısı veya ürün suyu kalitesi belli bir oranda düştüğünde membranlar yıkanmalıdır (Ang ve diğ., 2006). Optimum işletmenin sağlanması için membranların periyodik olarak temizlenmesi gerekli ise de, membran ömrü, kimyasal maliyeti ve gerekli su hacmi üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle temizleme sadece gerekli olduğunda uygulanmalıdır. RO süzüntü suyu yeterli miktarda ise genellikle yıkama ve temizleme için kabul edilebilir. Normal işletme sırasında RO içinden geçen suyun yönü ile aynı yönde bu kimyasal solüsyonlar geçirilir, yani ters yıkama yapılmaz. Yıkama işleminden hemen sonra RO cihazı en iyi suyu üretmeyebilir. Genelde birkaç saat işletme süresinden sonra RO cihazı normale döner ve iyi su işletmeye başlar.

3.6.4. RO Membranlarının Bozulması

Bazı işletme hataları veya normal bir işletme süresi sonucunda normal eskime ile RO membranları bozulur. Bu bozulmanın yıkama ve iyileştirilmesine imkan yoktur ve bu

durumda RO membranları yenilenir. Normal şartlarda RO membranları 3 ile 6 yıl arasında görev yaparlar. Normal eskime dışında RO membranlarının bozulması için aşağıdaki nedenler sayılabilir;

- Membranların aşırı tıkanması sonucunda çok yüksek basınçlar altında uzun süre çalıştırılması ve membranların deforme olması;
- Yanlış yıkamalar ile membranlara kalıcı olarak zarar verilmesi;
- Klor ve ozon gibi oksidan maddeye dayanıklı olmayan Poliamid ve TFC türü RO membranların uzun süre klorlu ve ozonlu su ile beslenmesi.

3.6.5. Yapılan İşletme Yanlışlıkları

Sanayi kuruluşlarında RO cihazı işletenlerin bir çoğu, RO işletim maliyetini azaltmak maksadı ile, önerilere uymazlar, bu nedenle RO membranları tamamen bozulur ve genelde sonuç çok pahalıya mal olur. Çok rastlanan işletme hataları şunlardır:

- RO' u koruyan 5 mikronluk filtre kartuşlar yıkanmamalıdır. Yıkama sırasında kartuşlar deforme olur, sudaki katılar iyi süzülmez, aynı zamanda filtre malzemesi parçalanarak RO membranlarına giderek bunların tıkanmasına da neden olur.
- Su israfını önlemek için cihazın atık su ayar vanası kısılır ve atık su miktarı azaltılır. Sonuçta membranları içinde kristaller oluşur ve membranlar çok kısa zaman içinde tıkanır.
- Basınçlı su pompası sonrası, membranlara giden suyun basıncını ayarlayan vananın konumu değiştirilerek üretim suyu miktarı tasarlanan debinin üzerine çıkartılır. Normalden daha çok üretim yapmaya zorlanan RO membranları zarar görür.
- Kimyasal dozajı azaltılır veya çoğaltılır veya su yumuşatma cihazı ile yumuşatılan suyu kullanan sistemlerde su yumuşatma cihazı jenerasyonu yapılmaz. Sonuçta RO membranları içinde kristaller oluşur ve membranlar tıkanır.
- RO cihazını besleyen suyu filtreleyen kum filtresi veya multi media filtrenin ters yıkama periyodunun aralıkları uzatılır. Sonuçta filtreler içinde bakteri ürer ve bakteriler membranın içine geçerek burada biofilm oluşturur, ürün suyu azalır, su kalitesi bozulur.

3.7. TERS OSMOZ SİSTEMİ SEÇİMİNDE ETKİLİ OLAN FAKTÖRLER

3.7.1. Cihaz Kapasitesi

RO cihazının ilk çalışmasında ürettiği suyun miktarı arzu edilen kapasitede olabilir. Ancak RO cihazı zaman içinde, doğal olarak kapasite kaybına uğrar. Kapasite kaybının kullanıcıyı zor duruma düşürmemesi için ve RO membranlarının çok sık yıkanmasını önlemek için cihaz tasarımında aşağıdaki üç husus göz önüne alınır:

- RO membranlarının %15 - %20 kirlenmesi durumunda dahi yeterli iyi suyu üretecek şekilde membran adedi hesaplanır.
- RO membranlarının zaman içinde su geçirgenliğinin azalması hesaplanır ve bu membranların üç yıl sonra dahi arzu edilen miktarda su üretmesi tasarlanır.
- Pompa gücü yüksek seçilerek membranların kısmen tıkanması durumunda dahi cihazın, daha yüksek basınç altında, istenen kapasitede su üretmesi tasarlanır. Pompa çıkışında bulunan ayar vanası sayesinde membran üzerindeki basınç ayarlanır.

3.7.2. Üretim Suyu Kalitesi

Ham su kalitesine ve işletmede istenen suyun kalitesine göre membran türü seçilir. Bazı RO membranları sudaki minerallerin %99'unu dahi ayırabilirler, fakat bu derece iyi suyun üretimi bazı işletmelerde lüks olabilir. Suyun saflığında daha çok toleranslı olabilen işlerde düşük basınçta çalışan ve sudaki minerallerin %90-95'ini ayıran membranlar seçilebilir. Böyle bir cihazın pompa motor gücü daha düşük olduğundan suyun maliyeti düşük olur.

3.7.3. Ham Suyun Kirliliğine Göre Membran Türü

Bir metre uzunluğunda ve 8" (200 mm) çapında bir RO membranı içinde değişik miktarda membran yüzeyi bulunabilir. Bir membran birimi içinde çok miktarda yüzey bulunursa bu membranın yıkanması zor olabilir. Ham suyun kirlilik durumuna ve işletmenin hassasiyetine göre membran yüzey miktarı seçmek doğru olur.

3.7.4. İşletme Sırasında Ters Osmoz Membranlarının Korunması

RO cihazının en pahalı kısmı olan membranların bir kaç yönden korunması gerekir. RO cihazı dışında, ön şartlandırma ile RO membranları korunur.

- Katı partiküllere karşı: Ham suyun membranlara gelişinden önce çok iyi bir şekilde katı cisimlerden ve organiklerden arınması istenir. Bunun için RO cihazından önce suyun çok iyi bir şekilde filtrelenmesi doğru olur. Genelde RO cihazı şasisi üzerinde bulunan 5 mikron kartuşlu filtreler bir çeşit sigorta filtresi olarak kabul edilmelidir.
- Kireçlenme ve kristalleşmeye karşı: Ham suda çözünmüş halde bulunan bazı mineraller membranlar içinde kristalleşerek bunları geçirimsiz yapar. Buna önlem olarak, ham suyun kimyasal analizi göz önüne alınarak, ham suya bazı kimyasallar verilmesi tasarlanır. Bu kimyasal dozajlarının otomatik olarak yapılması işletme emniyetini sağlar.
- Bakterilere karşı: Bazı bakteri türleri membran içinde üreyerek geçirimsiz bir film oluştururlar ve membranın su geçirim kabiliyetini bozarlar. Bunu önlemek için ham su çok iyi tetkik edilmeli ve ham suda bakteri varsa suyun bakterilerden arınması sağlanmalıdır, ancak bu dezenfeksiyonu yaparken membranlara zarar verilmemelidir.
- Durgunluğa karşı: Uzun süre kullanılmayan RO cihazı içinde bakteri üremesi ve minerallerin kristalleşmesi membranları tıkar. Bunu önlemek için cihazın kumanda panosundaki bir program sık sık membranlar içinden su geçişini sağlamalıdır.
- Yüksek basınca karşı: Cihazın atıksu hattında bulunan bir vananın yanlışlıkla kapatılması cihaz içinde anormal yüksek basınç oluşturur. Bunun önlenmesi için cihaz bir yüksek basınç şalteri ile korunmalıdır.
- Basınç şoklarına karşı: Hızla devreye girip çıkan pompalarla çalışan cihazlarda, her duruş ve kalkışta membranlarda basınç şoku oluşur, bu da membran ömrünü azaltır. “Soft Start” yani yumuşak kalkış motor kumanda cihazı veya frekans kontrollü cihaz ile teçhiz edilmiş bir RO’ da hem membranların ömrü uzar, hem de elektrik arızaları en aza iner.

3.7.5. Membran Kılıfları

Membranları barındıran kılıfların yüksek basınca ve kapların elektrokorozyona dayanıklı malzemeden imal edilmiş olması istenir. Özellikle, cihazın atık su çıkışına yakın çok yüksek iletkenlikte su geçtiğinden, korozyon oluşur, bu nedenle seçilen malzemenin iyi düşünülmesi gerekir.

3.7.6. Yüksek Basıncılı Pompa ve Korunması

Pompanın yüksek kalite ve randımanda ve paslanmaz çelikten imal edilmiş olması RO’un işletme ekonomisi, ömrü ve sağlıklı çalışması için gereklidir. Pompanın kuru çalışmaması için pompa girişinde bir basınç şalteri ile giriş basıncı kontrol altında tutulmalıdır.

3.7.7. Otomatik Kapanan Vanalar

Cihazının duruşlarında su giriş ve çıkış vanalarının kapanması cihazı birçok tehlikeden korur. Cihazın devreye girmesinden birkaç saniye önce vanalar otomatik olarak açılmalıdır.

3.7.8. Ölçü Cihazları

Ham su kalitesi, üretilen suyun özelliği ve proseste istenen hassasiyete göre RO cihazı üzerinde bazı ölçü cihazları bulunur. Bunlar, RO'un fiyatını büyük oranda etkilemektedir.

3.7.9. Emniyetli Kumanda Panosu

PLC (programlanabilir lojik kontrolör) ile teçhiz edilmiş bir pano ile yukarıda tarif edilen kontroller kolayca yapılır. Ayrıca, pano üzerindeki ikaz ışıkları ile cihazın duruş sebepleri ve çalışma durumunun gösterilmesi işleticiye kolaylık sağlar.

3.7.10. Motor Kumandası

Pompa motorunun emniyetli çalışması, kalkışlarda ani elektrik yüklerini azaltması ve membranlardaki basınç şoklarının en aza indirilmesi için 10-15 HP'den daha güçlü pompa motorlarının soft start denilen elektronik şalter ile yapılması gereklidir. En iyi motor kumandası Frekans kontrolüyle yapılır. Bu kumanda RO'un fiyatını arttırmakla beraber, elektrik giderinde ekonomi sağladığı için kısa bir süre sonra kendi fiyatını amorti eder.

3.7.11. Numune Muslukları

Ürün suyunun kalitesi bozulduğunda, bunun teşhisi için membran kaplarının üzerindeki numune musluklarından örnek alınır. Bu nedenle, cihaz üzerinde musluklar olmalıdır.

3.7.12. Paslanmayan Şasi

Bakım ve kontrolde cihazın şasisine kimyasallar damlayabilir. Ayrıca havanın rutubeti de şasinde damlalar oluşturduğundan metal şasiler paslanabilir. Şasisinin yüksek basınçta imal edilmiş cam elyafı sentetik malzemeden olması şasi bakımını ortadan kaldırır.

4. TEKSTİL ENDÜSTRİSİ VE ÜRETİM İŞLEMLERİ

4.1. GENEL BİLGİ

Günlük yaşamımızın her aşamasında, yatak örtüsünden, perdeye, havludan, işe giderken giydiğimiz giysilere kadar tekstil yaşamın vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir. Bu çeşitlilik tekstil endüstrisi içinde, çok çeşitli proseslerin oluşmasına neden olmuştur. Tekstil endüstrisinde yaygın olan bu proseslerin pek çoğu çevresel konuları içermektedir. Bu endüstri sektöründe 4 ana aktivite tanımlanabilir :

- Hammaddenin arıtımı (tekstil liflerinin / ipliklerinin üretimi / hazırlanması)
- Örme / dokuma kumaşların üretimi
- Kumaşın bitirilmesi (örn. son kullanım ihtiyaçlarını karşılamak için kumaşın bazı fiziksel özelliklerinin değiştirilmesi)
- Kumaş ürünlerinin (örn. giysiler, halılar vb.) üretimi

Tekstil endüstrisi doğal ve sentetik ipliklerin hazırlanması; dokuma, örme veya başka yöntemler aracılığıyla dokunmuş kumaş, örgü kumaş, halı gibi tekstil ürünleri elde edilmesi; iplik, elyaf, örgü kumaş ve dokunmuş kumaşa boya, baskı, apre gibi terbiye işlemlerinin uygulanmasını içermektedir. Elyaf cinsine bağlı olarak, üretim proseslerinden bazılarının su gereksinimi düşük mertebededir veya hiç yoktur. Bu tür değişik su kullanımlı veya kuru prosesler arasında eğirme, bükme, örme, dokuma işlemleri yer alır. Bitirme işlemlerinde ise, çok miktarda su kullanımı söz konusudur.

Tekstil endüstrisi üretiminde işlenen hammaddenin özelliğine göre bazı farklılıklara sahip olmakla beraber genelde benzerlikler göstermektedir. Tekstil endüstrisinin hammaddesi elyaftır. Doğal elyaf, sentetik elyaf ve yapay elyaf olmak üzere üç gruba ayrılırlar .

- Doğal elyaflar : Bitkisel kökenli (pamuk, keten), hayvansal kökenli (yün, ipek)
- Sentetik elyaflar : Selülozik olmayan organik maddelerden sentetik olarak üretilmesiyle sentetik elyaf elde edilir. (polyester, naylon vb.)
- Yapay elyaflar : Doğal selülozdan kimyasal proseslerin uygulanmasıyla da yapay elyaf elde edilir. (viskoz rayon, asetat rayon) .

Bu elyaflar dayanıklılık, büzülme ve renk tutmayı içeren fiziksel özellikler aralığına sahiptir ve çeşitli ürünler üretmek için gerekli performansın sağlanmasında bu elyaflardan her biri tek olarak ya da elyaf karışımları çeşitli aşamalardan geçerek, kullanılmaktadır.

4.2. ALT KATEGORİLER

Tekstil endüstrisi, kullanılan hammaddelere, ürünlere, üretim proseslerine, su kullanımına ve atık karakteristiklerine bağlı olarak aşağıda verilen alt kategorilere ayrılır.

- 1 – Yün yıkama
- 2 – Yün bitirme işlemleri
- 3 – Dokuma kumaş bitirme işlemleri
- 4 – Örgü kumaş bitirme işlemleri
- 5 – Halı bitirme işlemleri
- 6 – Dokuma dışı tekstil bitirme
- 7 – Keçeleştirilmiş kumaş bitirme
- 8 – Az su kullanan işlemler
- 9 – Stok ve iplik bitirme işlemleri

4.2.1. Yün Yıkama

Ham yün ve diğer hayvan kılı elyafından tabii safsızlıkların yıkanarak giderilmesi işlemi, bu kategorinin en başta gelen prosesidir. Yün yıkama ile ham yünde bulunan tabii yün gresi, ter, dışkı, kir, bitkisel maddeler, hayvanların tanınması için kullanılan katran, boya ve yapıştırıcı maddeler ve hayvanları hastalık ve haşerelere karşı koruyan ilaçlı maddeler uzaklaştırılır. Yün elyafa uygulanan ilk ıslak proses olan yıkama prosesinde iki yöntem söz konusudur; deterjan yıkama ve solvent yıkama. Deterjan yıkama iki türdür ; sabun – alkali prosesi ve nötr deterjan prosesi. Sabun alkali prosesinde, sentetik deterjan ve sodyum karbonat gibi yumuşak bir alkali pH 9.5 – 10.5‘ ta yıkama banyosuna ilave edilir ve 55 °C‘ a kadar ısıtılır. Nötr deterjan prosesinde ise, non - iyonik deterjan pH 6.5 – 7.5‘ ta ve 53 – 57 °C‘ ta ilave edilir. Yün yıkama işlemi ile kirler ve yağ, emülsiyon haline geçer ve çoğunlukla yağlar bir köpük kaplı kahverengi, kumlu, bulanık bir atıksu meydana getirir.

4.2.2. Yün Bitirme İşlemleri

Yün elyaf karışımı kumaşlarda ağartma, yıkama, boyama, ateşe dayanıklı hale getirme, güve yemezlilik ve benzeri işlemlerinden birinin uygulanmasını kapsamaktadır. Karbonizleme ve dinkleme proseslerini de içeren bu alt kategoride karbonizleme, %100 yünlü kirli liflerinde bulunan bitkisel atıkların yıkama ve diğer işlemler sırasında giderilemeyen kısmının uzaklaştırılması, dinkleme ise yün liflerinin keçeleşme özelliği kullanılarak kumaşın görünüm ve tutumunun değiştirilmesini amaçlayan proseslerdir. Karbonizleme işlemi; materyalin, sülfirik asit ile iyice ıslatılması işlemi ile başlar, daha sonra bu işlem kurutma ve pişirme işlemi ile devam eder. Yün bitirme işlemleri, kullanılan kimyasal maddelerin, çeşit ve miktarının fazla olması ve atık yüklerinin yüksek olması nedeniyle diğer bitirme işlemi kategorilerinden ayrılır.

4.2.3. Dokuma Kumaş Bitirme İşlemleri

Bu alt kategoride, büyük bir kısmı dokuma olan kumaşların en az % 5' ine haşıl giderme, yıkama, ağartma, mersevizasyon, boyama, baskı, apre ve bitirme kimyasallarını uygulama gibi bitirme işlemlerinden biri tatbik edilir.

4.2.4. Örgü Kumaş Bitirme İşlemleri

Pamuk ve/veya sentetik elyaftan yapılmış ve büyük bir kısmı örgü olan kumaşların bitirme işlemlerini içerir. Üretilen kumaşın en az % 5' ine uygulanır. Bu bitirme prosesleri sırasıyla yıkama, ağartma, boyama, baskı ve antistatik maddeleri, yağları (örmeyi geliştirmek için) ve bitirme kimyasalları uygulama işlemlerinden oluşur (Woerner). Örgü kumaş bitirme işlemlerinde haşıl giderme yoktur ve mersevizasyona da pek sık rastlanmaz.

4.2.5. Halı Bitirme İşlemleri

Halı bitirme işlemleri kategorisi, öncelikle tekstil kökenli taban kaplama ürünlerinin bitirme işlemlerini kapsar. Üretilen halının en az %5 'ine tatbik edilen, yıkama, ağartma, boyama, baskı ve bitirme kimyasallarını uygulama gibi prosesler başlıca halı bitirme işlemleridir. Başlıca atık kaynakları boyama ve baskıdır. Fakat, bu prosesler konvansiyonel ve non – konvansiyonel kirleticilerde ekstrem değerler meydana getirmez. Özel bitim işlemlerinin atık debisine olan etkileri düşüktür.

4.2.6. Dokuma Dışı Tekstil Bitirme

Dokuma dışı tekstil üretimi kategorisi, kumaş dışı yün, pamuk ve sentetik tekstil ürünlerinin üretimini, mekanik ve termal yoldan ve / veya yapıştırarak bağlama yöntemiyle gerçekleştiren tesisleri kapsar. Dokuma dışı tekstil ürünlerinin dinkleme ve keçelendirme işlemleri keçelendirilmiş kumaş prosesi kategorisinde ele alınır. Bu kategorinin tipik bazı prosesleri, karding, ısıtma bağlama (lateks akrilik veya polivinil asetat reçinesine daldırma) ve bitirme kimyasallarını uygulamadır.

4.2.7. Keçeleştirilmiş Kumaş Bitirme

Bu altkategori; dinkleme ve keçeleştirme işlemleri sonucunda dokusuz yüzeyli ürünlerin elde edilmesini kapsamaktadır. Yün, rayon ve yün – rayon – polyester karışımı keçeleştirme işleminde kullanılan başlıca elyaflar arasında yer almaktadır. Rayon % 100 rejenere edilmiş selülozdur ve işleme amaçları için temiz pamuk olarak değerlendirilebilir. Keçelendirme kimyasal yolla veya mekanik olarak gerçekleştirilir. Yüksek hacimli fakat genellikle seyreltik bir yapıda atıksu meydana gelir. Dinkleme ve boyamayı takiben durulamalar yapılıyorsa, su kullanımı ve kirletici miktarları artar.

4.2.8. Az Su Kullanılan İşlemler

Düşük su kullanımlı proseslere, bitirme işlemi uygulanmamış iplik, tekstürize iplik, kaplama dokumalar, tafting halı, halı tabanı ve kord lastiği üretiminde rastlanır. Bu proseslerde su öncelikle işlemler sırasında yararlanılan donanımın yıkanması ve temizlenmesi ile soğutma amacıyla kullanılır ve üretimlerin proses suyu gereksinimi azdır. Proses ile ilgili atıksuların toplam deşarjın büyük bir kısmını oluşturduğu yerlerde, atıksu karakteristikleri başlıca haşıllama prosesine, dokuma prosesine veya ıslatma, şişirme veya doyurma prosesine bağlıdır.

4.2.9. Stok ve İplik Bitirme İşlemleri

Bu kategoride, pamuk ve / veya sentetik elyaftan yün, rayon, polyester harmanı kullanılır. Keçelendirme kimyasal yolla veya mekanik olarak gerçekleştirilir.

4.2.10. Alt Kategorilerin Karşılaştırılması

Tekstil endüstrisinde farklı üretim yapan kısımlar olduğundan atıksuların karakteristikleri de oldukça farklı ve büyük sınırlar içerisinde değişir. Bununla birlikte büyük hacimlerde temiz

su tüketimi ve kompleks karakterde atıksu üretimi tekstil atıksuları için genellikle ortak özelliklerdir (Capar ve diğ., 2006). Aynı kategoride olmasına rağmen üretim farklılıkları veya proseslerde oluşan farklılıklar yüzünden atıksuda farklılıklar meydana gelir. Tablo 4.1' de tekstil alt sınıfları için su tüketimleri ve atıksu kirleticisi özellikleri verilmiştir. Çizelgenin incelenmesi ile bitirme işlemlerinde su tüketiminin fazla olduğu ve yün yıkamanın organik kirlilik ve bitirme işlemlerindeki boyama işi nedeniyle ise renk ve boya içinde bulunan maddelerin kirleticisi olarak ön plana çıktıkları görülmektedir.

Tablo 4.1. Tekstil işlemlerinde su tüketimi ve atıksu kirleticisi özellikleri

Alt kategori	Su tüketimi ara- orta- lık lama l/kg l/kg	BOI ₅ mg/l	KOI mg/l	Yağ- Gres mg/l	Fenol µg/l	Cr µg/l	Sül- für µg/l	Renk Birim
1.Yün yıkama	4-78	12	2270	7030	580	(*)		
2.Yün bitirme	110-660	284	170	590				
3.Az su kullanımlı işler	0,8-140	9	293	692				
4.Dokuma kumaş bitirme								
a.Basit işleme	12-275	78	270	900	70	50	40	70
b.Kompleks işleme	11-280	87	350	1060	45	55	110	100
c.Kompleks işleme + haşıl sökme	5-508	113	420	1240	70	145	1100	
5.Örgü kumaş bitirme								
a.Basit işleme	8-393	136	210	870	85	110	80	55
b.Kompleks işleme	20-378	83	270	790	50	100	80	150
c.İç çamaşırı, çorap işleme	5,8-289	69	320	1370	100	60	80	560
6.Halı bitirme	8-163	47	440	1190	20	130	30	180
7.İplik ve stok bitirme	3,3-557	100	180	680	20	170	100	200
8.Dokuma dışı tekstil bitirme	2,5-83	40	180	2360				
9.Keçeleştirilmiş kumaş bitirme	33-931	213	200	550	30	580		

4.3. TEKSTİL ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN SULARIN NİTELİKLERİ

Tekstil sanayi çeşitli endüstri kolları arasında en çok su kullanılan alanlardan biridir. Açık istem tüketim birkaç ünite bir tarafa bırakılırsa günlük su tüketiminin tamamını proses suyu oluşturur. Tekstil endüstrisinde, yapağı ve ipliklerin yıkanması, ağartma, boyama ve son ürünlerin yıkanması gibi işlemlerin başından sonuna kadar yüksek hacimlerde su kullanılmaktadır. 1 kg kumaş üretmek için 200 – 400 l suya ihtiyaç vardır (Marcucci ve diğ., 2001). Fabrikalarda kullanılan sularda bulunması istenilen özellikler, suyun kullanılacağı

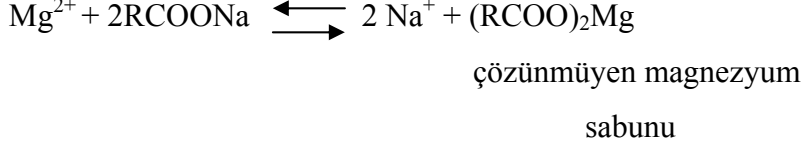
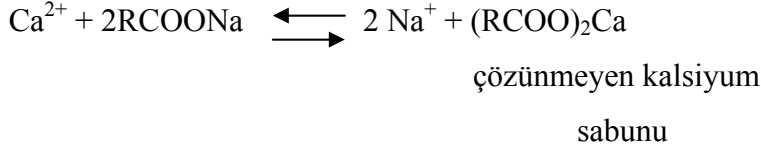
yere, işleme göre değişir. Tekstil fabrikalarında kullanılan su kazan suyu ve işletme suyu olarak iki grupta toplanır. Proseste kullanılan suyun belirli kalitede olması gerekir. Proses suyu ihtiyacı tekstil prosesinin türüne, materyalin ya da son ürünün tipine ve kullanılan makine ve tekniklerin tipine göre belirlenir.

4.3.1. Kazan Suları

Fabrikalarda enerji kaynağı ve ısıtmada kullanılan su buharı için gerekli olan sudur. Besleme sularında, kaba, koloidal ve moleküler pislikler bulunabilir. Bunlar filtrasyon ya da çöktürmeyle sudan uzaklaştırılmalıdır. Suda çözünmüş olarak bulunan silikatlar, kazanlarda silikat taşlarına neden olur. Bu nedenle giderilmesi gereklidir. Yerüstü sularında organik maddelerin çürümesinden oluşan hümin ve hümin asidi, kazan sularında köpürme ve korezyona neden olur. Bu organik maddeler sertlik oluşturan maddelerin giderilmesinde sorun çıkarırlar. Kalsiyum ve magnezyum iyonları ise suya sertlik verirler ve kazan taşı oluşturmurlar. Bunların giderilmesi için fosfat ilave edilir. Suda çözünmüş olarak bulunan ve kazanda korozyona sebep olan gazların (CO_2 , O_2) uzaklaştırılması gerekir. Besleme suyuna amonyak ilave edilerek karbondioksitin zararsız amonyumkarbonat halinde çökmesi sağlanır. İyi bir kazan besleme suyu, kazan taşı oluşturmamalı, korozyona neden olmamalı ve temiz buhar elde edilmesini sağlamalıdır.

4.3.2. İşletme Suyu

Tekstil işletmesinde kullanılacak suyun sertlik, iletkenlik, demir, mangan ve klor gibi parametrelerinin uygun değerlerde olması gereklidir. Genellikle pH'ı 7 – 7,5' tir. Sertlik yaklaşık olarak 0'dır. Oksidasyon sonucunda renk veren metal iyonlarını, özellikle demir ve mangan iyonlarını içermemelidir. İşletme suyu temiz ve renksiz olmalıdır. Su içerisinde yüzen katı ve bulanıklık veren maddeler bulunmamalıdır. Demir ve mangan iyonları kasar işleminde liflerin zarar görmesine ve malzemede leke oluşumuna neden olur. Mangan iyonu kauçuk aksamının yıpranmasına neden olur. Tanenle yapılan çalışmalarda demir iyonu tanenle reaksiyona girerek koyu renkli bileşikler oluşturur. İşletme suyunun pH'ının düşük olması liflere zarar verebileceği gibi kullanılan alet ve cihazların korozyonuna neden olur. İşletme suyunun yumuşak olması istenir. Çünkü suya sertlik veren kalsiyum ve magnezyum iyonları sabunlarla reaksiyona girerek suda çözünmeyen sabunları oluşturmurlar. Çözünmeyen bir bileşiğine dönüşen sabunun temizleme gücü azalır. Sabunları RCOONa genel formülü ile gösterirsek ;



4.4. TEKSTİL ÜRETİMİNDE KULLANILAN PROSESLER

Tekstil üretiminde kullanılan prosesler aşağıda özetle tanımlanmıştır. Bilinen üretim biçimlerinden biri veya birkaçı birden bir tesiste bulunabilmektedir. Çok büyük tesislerde dahi tüm tekstil ürünlerine dayalı işlemlerin bulunması söz konusu değildir.

4.4.1. Yıkama

Yıkama hem doğal hem de sentetik materyallerde kalıntı ayıraçları gidermek için uygulanabilir. Yıkama prosesinin etkinliği materyalin tipine bağlıdır. Pamuk doğal balmumlarını, pektinleri, eğirme yağlarını ve diğer non – selülozik bileşikleri gidermek için, deterjan ya da sabun içeren sıcak alkali çözeltiler kullanılarak temizlenir. Ham elyafların yıkanması ile daha fazla işlenmenin ve boyama sırasında boyarmaddenin lifler tarafından flotteden çekilip alınmasının geliştirilmesi için kumaşın ıslanma kabiliyeti gelişir. Yıkama, banyolarda uygulanabilir ve pamuğun yıkanmasında kaynama noktasına yakın, kahverengi ve kostik bir çıkış oluşturmak için çoğunlukla yüksek sıcaklıktaki (genelde 90 °C'nin üstünde) çözeltilerde sodyum hidroksit kullanılır. Pestisit gibi, atıksu çıkışlarında problem yaratan maddelerin, doğal yağların, balmumu, dışkı, bitkisel ve mineral kirlerin giderilebilmesi için, yün yapağlarında kirlilik giderimi için yıkama yapılır. Yağları ve vaksları gidermek için deterjanlar ve kostik kullanılır (Woerner).

4.4.2. Haşılama

Haşıl dokuma tezgahlarında dokuma esnasında aşınmaya karşı korunma amacıyla ve iplikten kılların azaltılması için ipliğe eklenen kimyasallara verilen addır. Çözgü ipliklerinin haşılانmasında amaç, liflerin birbirine daha iyi yapışarak, daha kapalı, sağlam bir hale gelmelerini ve kayganlıklarının artmasını sağlamaktır. Böylece ipliklerin kopma ve sürtünme özellikleri gelişeceğinden, dokuma sırasında iplik kopması azalmaktadır. Gerilme kuvvetini

ve pürüzsüzlüğü arttırmak için çözgüye uygulanan haşıl maddelerini şu şekilde sınıflandırmak mümkündür :

a) Doğal Kaynaklı Haşıl Maddeleri

1. Nişasta ve türevleri : Doğal nişasta, kısmen parçalanmış veya kimyasal olarak modifiye edilmiş nişasta türevleri
2. Selüloz türevleri : Karboksimetilselüloz, metilselüloz, oksietilselüloz.
3. Yumurta akı haşıl maddeleri : Tutkal, jelatin

b) Tam Yapay Haşıl Maddeleri

Stiren-Maleik asit kopolimerleri, Polivinil alkol (PVA), Polivinil asetat, Poliakrilatlar

Son yıllarda doğal liflerin yanında yapay liflerin ve bunların birbirleriyle karışımlarının öneminin artması, haşıl maddelerinin kullanılma alan ve miktarını etkilemiştir. Birçok hallerde istenilen haşıllama etkisi tek bir haşıl maddesiyle yeterli ve ekonomik bir şekilde sağlanamadığından iki veya daha fazla haşıl maddesinin kombine edilmesi yoluna gidilmektedir. Haşıl maddelerinin değerlendirilmesi sırasında göz önünde bulundurulacak hususlar arasında; ipliğe nüfuz yeteneği, adhezyon ve kohezyon kuvvetleri, yapıştırma kuvveti, film oluşturma yeteneği, film elastikiyeti, esnekliği, flottenin viskozitesi, suda çözülme hızı gibi parametreler önemli bir yer tutmaktadır.

4.4.3. Haşıl Sökme

Dokumanın ardından kumaştan haşılların giderilmesidir. Haşıl sökmede haşıllama işleminde ipliğe uygulanan maddeler haşılın çözünür forma hidrolizi ile giderilir. Haşıl sökme metodu ve atıksu özellikleri kullanılan haşıla göre değişir. Haşıl sökme işlemi esnasında çözündürme, hidrolize etme, oksidasyon gibi işlemlerle, iplik üzerine uygulanmış maddelerin ortamdan uzaklaştırılması sağlanır. Başlıca haşıl sökme maddeleri; su, asitler, alkaliler, enzimler ve oksidasyon maddeleridir. Bunlardan en uygunu enzimlerle yapılan haşıl sökmedir. Bu maksatla bakteri esaslı amilazlarla haşıl sökmeye genelde müracaat edilmektedir.

4.4.4. Pişirme ve Kaynatma

Piştirme pamuğun yapısında bulunan yağ, mum, pektin gibi maddelerin tekstil maddesini hidrofil kılmak ve böylece boya alma kabiliyetini arttırmak amacı ile yapılan işlemlerdir. Pamuklu ürünün 110 – 130 °C arasındaki sıcaklıklarda ve basınç altında seyreltik sodyum

hidroksit çözeltisi ile uzun süre muamele edilmesiyle olur. Kaynatma ise yaklaşık 100 °C normal atmosfer basıncı altında yapılır. Kaynatma sırasında pamuklu liflerdeki lignin ve petkinler tamamen uzaklaştırılmadıklarından, mamul kullanılırken zamanla sararmaktadır. Sararmayı önlemek için mamulün bir asitlemeden geçirilmesine gerek duyulur.

4.4.5. Ağartma

Tekstil mamulünün ham renginin giderilerek, daha iyi bir görünüm kazandırılması, beyazlatılması işlemidir. Bu işlem aynı zamanda doğal yağ ve parafin gibi maddelerin de uzaklaştırılmasını sağlar. Ağartma sırasında bazik işlemde yumuşayan çöpenler, materyalin üzerindeki doğal renklendirici maddeler, elyaf veya mamul üretimi sırasında gelen yabancı maddeler giderilerek, materyal beyazlatılır, temizlenir ve parlaklığı geliştirilir (Woerner).

Açık renge boyanacak veya basılacak kumaşlar mutlaka ağartılmalıdır. Özellikle beyaz olarak piyasaya çıkacak olan doğal liflerden yapılmış materyallerde, ağartma vazgeçilmez bir işlemdir. Bu durumda ağartma işlemiyle tam bir beyazlık istenir. Doğal lifler kendi hallerinde nadiren beyazdır. Genellikle hafif sarımtırak ya da grimtrak olurlar. Bu nedenle doğal liflerin ağartılması sentetik liflere göre daha gereklidir. Ağartıcılar lif verici içerisinde renkli bileşikler ile tepkimeye girerek (indirgeyerek veya yükseltgeyerek) onları renksiz hale getirir. Başlıca kullanılan ağartma maddeleri, güçlü oksitleyici maddeler olan sodyum hipoklorit, sodyumklorür, sodyum peroksit ve hidrojen peroksittir. Sülfürik asit, hidroklorik asit, kostik soda, sodyum bisülfid ve yüzey aktif maddeler gibi yardımcı kimyasallar da ağartma ve son durulama da kullanılırlar.

4.4.6. Mersevizasyon

Malzeme özelliklerinin geliştirilmesi için pamuklu iplik veya kumaşların işlenmesidir. Pamuk lifinin kıvrımlı yapısını, düzgün yuvarlak kesitli hale getirmek ve böylece hem yüzey parlaklığı hem de mukavemetini ve boya alma kabiliyetini arttırmak amacıyla yapılır. Mersevizasyon konsantre kostik banyosunda ve nötrale etmek için son asit yıkama ile muamele edilmiş saf pamuk kumaşlarda uygulanır. Pamuklu iplik düşük sıcaklıklarda (15 °C) sodyum hidroksit çözeltisine daldırılır ve daha sonra alkalinitesinin giderilmesi için çalkalanır. Kumaş ise bu proseste yıkanır ve sülfirik veya hidroklorik asit kullanımıyla nötrale edilir. Böylece çıkış suyunda aşırı deşarj önlenir.

4.4.7. Karbonizasyon

Karbonizasyon, materyalin sodyum karbonat ile nötralizasyon tarafından takip edilen sulandırılmış sülfirik asitte bırakılmasından oluşur. Sonrasında materyal kurutulur ve kırılgan selülozik madde mekanik olarak giderilir.

4.4.8. Boyama

Boyama işlemi elyaf, iplik ve kumaşa renk kazandırmayı amaçlar. Boyamada reaktif naftol, direkt, kükürtlü, indigo gibi çeşitli boya türleri kullanılır. Pamuklu mamulleri boyamada kullanılan çeşitli kimyasal maddeler Tablo 4.2.'de verilmiştir. Boyar maddeler taşıdıkları ortam içinde çözelti halinde bulunur, eğer bu ortamda çözünmeyen renklendirici madde olursa bunlara “pigment” denir. Bunlar dokuma liflerinin renklendirilmesinde kullanılır.

Tablo 4.2. Boya banyolarında kullanılan kimyasal maddeler (Öztürk, 1986)

Boya tipi	Kimyasal madde
Anilin siyahı	Anilin hidroklorür , sodyum ferrosiyanür , sodyum klorit, pigment, sabun, sodyum di kromat
İnkişaf (küp)	Boya, penentrant, sodyum klorür, sodyum nitrat, hipoklorit asit, inkişaf ettirici beta naftol, sabun veya sulfatlanmış sabun
Direk	Boya, sodyum karbonat, sodyum klorür ve ıslatma maddesi
Naftol	Boya, kostik soda, çözülebilir yağ, alkol, sabun soda külü, sodyum klorür, baz, sodyum nitrat, sodyum nitrit, sodyum asetat
Sülfür	Boya, sodyum sülfid, sodyum karbonat, sodyum klorür, sodyum dikromat
Küp	Boya, kostik soda, sodyum bi sülfid, çözülebilir yağ, jelatin, perborat veya hidrojen peroksit
Reaktif	Boya, tuz (sodyum klorür ve sodyum sülfat), sertlik giderici, soda, sabun, baz, asetik asit

Boyalar genellikle iki anahtar öge içeren küçük moleküllerdir. Bu iki anahtar öge; renkten sorumlu kromofor ve boyayı life bağlayan işlevsel gruptur. Kromofor bir ya da birden çok bağ içerir. Bu bağlar değişkendir ve ışığı absorblayarak, boyanın parlak renkli görünümünü sağlar. Kimyasal yapılarına ve liflere uygulanış tiplerine göre tanımlanmış ve rapor edilmiş literatüre geçmiş yüzlerce boya vardır. Florasan beyazlatıcı yardımcı maddelere göre yapılan başka bir sınıflandırmada anyonik bileşikler (asit boyalara benzer olarak) (pamuklu, yünlü ve poliaminli iplikler), katyonik bileşikler (selüloz, poliaminler), çözülebilir grupları olmayan bileşikler (dispers boyalara benzer olarak; polyester, poliamid ve selüloz asetatlar) olmak üzere üçe ayrılmıştır. Boyalar çözünürlüklerine göre de sınıflandırılabilir: çözünür boyalar asit, renkleri sabit kılan (mordan), metal kompleks, direkt, bazal ve reaktif boyaları içerir; ve çözünmez boyalar azoik, sülfür, fiçi ve dispers boyaları içerir. Farklı boya - iplik bileşimleri için sabitleme derecesi ve çıkışta kaybedilen oranların uygulanması renk ve boya uzmanları derneği ruhsatında (Society of Dyers and Colourists) Tablo 4.3.' deki şekilde hesaplanmıştır.

Tablo 4.3. Boyaların uygulanan ipliğe göre sabitleme ve çıkışta kaybedilen oranları (O'Neill, 1999)

Uygulanan boya sınıfı	İp	Sabitlenme derecesi (%)	Çıkışta kaybedilen (%)
Asid	Poliamid	85 – 95	5 – 15
Bazik	Akrilik	95 – 100	0 – 5
Direk	Selüloz	70 – 95	5 – 30
Dispers	Polyester	90 – 100	0 – 10
Metal-kompleks	Yün	90 – 98	2 – 10
Sülfür	Selüloz	60 – 90	10 – 40
Reaktif	Selüloz	50 – 90	10 – 50

Boyahanelerde doğal sentetik elyaflar ve bunların karışımları aynı anda işlem görebilir. Her elyaf tipinin özel bir kimyasal bileşimi bulunmakta olup, üzerlerine boya moleküllerinin tutulması istemi farklıdır. Elyaf türüne göre kullanılan boyarmaddeler, elyafa tutulma oranları, uygulama yöntemleri ve içerdiği metaller Tablo 4.4.' de özetlenmiştir.

Tablo 4.4. Elyaf türlerine göre boyarmaddeler ve uygulama yöntemleri

Boyar madde sınıfı	Elyafa tutulma % ' si	Uygulandığı elyaf Türü	Uygulanma yöntemi	Atıksu özelliği	İçerdiği metal
Asit Boyar Maddeler	80 – 93	Yün , Naylon	pH = 3 – 5 arasında, asidik karakterde, 50–110 °C sıcaklıkta uygulanır	Asidik , ağır metal tuzları	Cu, Cr, Co
Azo Boyar Maddeler	90 – 95	Pamuk, Viskon	Boyanın elyaf üzerinde çökmesi için kaynatılır.		Yok
Bazik Boyar Maddeler	97 – 98	Akrilik bazı Polyester	pH = 4 – 6 arasında, asidik karakterde, 100 °C ' den 105 °C ' ye artan sıcaklıkta uygulanır.	Zayıf asidik	Yok
Direkt Boyar Maddeler	70 – 95	Pamuk, Viskon	Hafif alkali karakterde, 98 °C sıcaklıkta NaCl veya Na ₂ SO ₄ ilavesi ile uygulanır.	Nötral yüksek tuz konsantrasyonu ağır metaller	Cu
Dispers Boyar Maddeler	80 – 92	Polyester, asetat ve diğer sentetikler	pH = 4,5 ' da 130 °C sıcaklıkta uygulanır.	Nötral	Yok
Reaktif Boyar Maddeler	50 – 80	Pamuk, Viskon, Yün	Alkali ortamda, tuz ilavesi ile uygulanır.	Alkali, yüksek tuz konsantrasyonu	Cu, Ni
Sülfür Boyar Maddeler	60 – 70	Pamuk, Viskon	Boya, alkali sodyum sülfürde çözünür. Hava veya peroksit ile elyaf üzerinde çökeltir.	Alkali, yüksek tuz konsantrasyonu, sülfürler	Yok
Vat (Küp) Boyar Maddeler	80 – 95	Pamuk, Viskon	Boya, alkalisodyum sülfürde çözünür. Hava veya peroksit ile lif üzerinde çökeltir.	Alkali oksitleyici kimyasallar	Yok
Mordan veya Krom Boyar Maddeler	95 – 98	Yün	Asidik ortamda, sodyum dikormat ilavesi ile 98 °C sıcaklıkta uygulanır.	Asidik, ağır metaller	Cr

Tekstil maddeleri, liften kumaşa kadar değişen durumları sırasında, herhangi bir adımda aşağıdaki yöntemlerden birisi ile boyanabilirler.

- 1 – İnsan yapısı lif düzeden çekilmeden önce, çözeltide ya da erikte boyama,
- 2 – Lif halinde (elyaf) boyama,
- 3 – Taranmış tarak bandı halinde (tops) boyama,
- 4 – Liftten iplik eğrildikten sonra (iplik) boyama,
- 5 – İplikten kumaş oluşturulduktan sonra metraj (kumaş) boyama,

Rengin tekstil materyaline aktarılması üç değişik yöntemle olur. Bu yöntemler malzemenin banyoda kalış süresi ve banyo / mal oranına bağlı olarak isim almıştır. Bunlar ;

- a – Çektirme yöntemi (diskontinü yöntem)
- b – Emdirme yöntemleri (kontinü yöntemler)
- c – Lif çekim eriğinde boyama yöntemidir.

Bu üç kategoriden en fazla kullanılan çektirme boyamadır. Emdirme boyama da sıklıkla kullanılır.

Genellikle lif, iplik ya da kumaş boyarmaddenin sulu çözeltisine batırılır. Bu olay çoğunlukla banyodaki boyarmaddenin istenilen rengi vermesi için tekstil materyali ile işleme sokulması yüksek sıcaklık altında yapılır.

Klasik su kullanımı ve yardımcı kimyasallar ile istenilen ton elde edilebilir. Özel ton elde etmek için kullanılan boya maddesi bileşikler farklı kimyasal ve fiziksel özellikler içermektedir. Karışık kimyasalların kullanılması nedeniyle suyun sertline karşı korunmaları ve/veya su içinde dağılmış boya maddesi hidrolizini pamukla birlikte kontrol altına almak gerektir.

Kumaştaki boyanın sabitleştirilme işlemi çeşitli uygulanması gerekli olan bağlayıcılarla olur. Bunlar ;

- Kovalent (reaktif boya)
- Elektrostatik (asit ve katyonik boyalar)
- Adsorpsiyon (dispers boyalar)
- Hidrojen bağlayıcılar (küp ve metal kompleksler)

4.4.9. Baskı

Tekstil malzemeleri en çok kumaş haldeyken baskı boyamaya tabi tutulur. Basılacak kumaş genelde beyaz olur. Ön boyamadan geçirilmiş kumaşlar üzerine de baskı yapılabilir. Direkt (Aplike) baskı, aşındırma ve rezerve baskı belli başlı baskı yöntemleridir. Mekanik uygulama açısından ise baskı teknikleri el basmacılığı, şablon basmacılığı, rulo basmacılığı, film basmacılığı olarak dört gruba ayrılır.

4.4.10. Apreleme ve Bitim İşlemi

Kumaşa iyi bir görünüş, yumuşaklık ve düzgünlük vb. kazandırmak için bu işlem yapılır. Özel bitirme işlemleri ile kumaş buruşmaz, çekmez, su geçirmez ve zor yanar hale getirilebilir. Bu ünite de nişasta, dekstrin, tabii ve sentetik vakslar, sentetik reçine, amonyum ve çinko klorür, yumuşatıcı maddeler ve ıslatıcılar kullanılır.

Uygulama şekline göre apre işlemleri ikiye ayrılır :

- 1 – Mekanik apre (kuru apre)
- 2 – Kimyasal apre (yaş apre)

Mekanik apre yöntemleri; traşlama, şardonlama (tüylendirme), kalandırlama, makaslama, zımparalama, çekmezlik sağlama (sanforlama) gibi mamule kuru halde uygulanır.

Kimyasal apre yöntemleri ise; kir tutmazlık apresi, buruşmazlık apresi, yanmazlık apresi, su geçirmezlik apresi, çürümezlik – küflenmezlik apresi, antistatik apre, tel kaçmasını önleyici apre, keçeleşmezlik apresi, antimikrobik apre vb. gibi özel bir kimyasal madde içeren apre flottesinde uygulanan işlemlerdir.

Bitim işlemleri kumaşlar üzerinde öyle büyük etkiye sahiptir ki aynı ham kumaş konstrüksiyonundan değişik bitim işlemleri vasıtasıyla kullanım özellikleri farklı, çeşitli tipte kumaşlar üretilebilir. Yani, aynı kumaş apreye bağlı olarak hem giysi, hem perde; hem de döşemelik için kullanılabilir. Bitim işlemleri sonucu tekstil mamulünün ağırlığında az veya çok bir artış olur. En önemli tekstil bitim işlemleri aşağıdaki şekilde sınıflandırılmıştır :

- 1 – Görünüm ile ilgili özellikler :
- Düzgünlük, parlaklık, sıkılık ve matlık

2 - Tutum ile ilgili özellikler :

Sertlik, dirilik, dolgunluk, yumuşaklık, elastiklik ve tokluk

3 – Kullanışlılıkla ilgili bitim işlemleri :

Yanmazlık, kaymazlık bitim işlemleri, kırılmazlık, burulmazlık, çürüme önleyici, küflenmezlik, su geçirmezlik, güve yemezlik, buruşmazlık, çekmezlik, su iticilik, keçeleşmezlik, kir tutmazlık, antimikrobiklik.

Şardon makineleri ile pazen kumaşların yüzeyi tüylendirilir veya sentetik kumaşa yünlü görünüm verilir.

Tekstil malzemelerine su geçirmezlik özelliği kazandırmak için; su geçirmeyen bir film tabakası ile kumaşın yüzeyini tamamen kaplamak ve kumaşa bir takım su itici (hidrofob) maddeler uygulayarak kumaş yüzeyinde ince bir hidrofob tabaka oluşturmak gereklidir.

Absorban ve kir tutmazlık bitirmesi su absorbansını ve kir tutmazlığı arttırmak amacıyla yüzey gerilimini ve diğer özellikleri değiştirir.

Kumaşı oluşturan elyaflara dışarıdan şiddetli bir buruşturma deformasyonu etki ettiğinde elyaf elementleri birbirine göre kayarak yeni bir denge oluştururlar. Elyaf elementlerinin birbirine göre kayması zorlaştırılırsa kumaşların buruşması önlenabilir.

Selülozu güç tutuşur hale getiren başlıca maddelerin uygulanması da kumaşa bir mukavemet verir.

Kalandırlama; kumaş yüzeyini düzgünleştirmek, kırıklıkları ortadan kaldırmak için bir çeşit ani ütülemedir.

Sanforlama uygulamasında; kumaşların çekmemesi istendiğinden çekmezlik bitim işleminin uygulanması gerekir. Bu amaçla, sanforizasyon denen işlemlerle, kumaşın birçok yıkamadan sonra alacağı şekle önceden sokulmasına çalışılır.

Keeleşmezlik; sık yıkanan ynl mamullerin keeleşmesini önlemek için ynl kumaşlara uygulanır. Keeleşmezlik işlemleri olarak parçalayıcı yöntemler ve reçine yöntemleri kullanılmaktadır.

Dinkleme; yn elyaflarının keçeleşme özelliğinden faydalanarak asidik veya bazik ortamda sıkıştırma suretiyle kumaşın görünüm ve tutumunu değiştirmektedir.

Kostikle muamele; polyester elyafına ipek görünümünü vermek ve esnekliğini arttırmak için uygulanır. İşlem sonunda boyar maddeler elyafa daha etkin biçimde tutulur.

Bitirme işlemleri sonucu oluşan artık kimyasal maddeleri gidermek için sonrasında yıkama uygulanabilir.

4.5. PAMUKLU TEKSTİL ENDÜSTRİSİ

Proses suyunun kalitesi pamuklu tekstil kategorisinde büyük önem taşıtmaktadır. İstenmeyen bazı maddelerin varlığı pamuklu ürünlerin kalitesinde büyük problemlere yol aırmaktadır. Bu nedenle pamuklu tekstil endüstrisi ayrı olarak incelenmiştir.

Pamuk elyaf hazır kumaş haline gelinceye kadar, başlıca  temel üretim safhasından geçirilir. Bunlar; iplik yapımı, dokuma hazırlık ve pamuklu mamullerin terbiyesidir. Pamuk elyafı belirtilen her bir üretim safhasında ayrı işlemlere tabi tutulur. İplik yapımı ve dokuma hazırlık aşamalarındaki işlemler kuru işlemler olduğundan açıklanmamıştır. Terbiye işlemlerinde ise önemli miktarlarda su kullanımı olduğundan aşağıda kısaca değinilmiştir.

İplik yapım aşamasındaki işlemler; açma ve temizleme, hallaç, tarama, çekme, fitil, ring – iplik eğirme, bobin ve bkmdr. Dokuma hazırlık aşamasındaki işlemlerin başlıcası ise haşıllamadır.

4.5.1. Pamuklu Mamullerin Terbiyesi

Pamuklu tekstil ürünlerinin terbiyesinde yer verilen başlıca işlemler ve bunlarla ilgili açıklamalar aşağıda verilmiştir. (şekil 4.1.)

4.5.1.1. Ön Terbiye

Tekstil terbiyesinin başlangıcında diğer terbiye işlemlerine bir hazırlık olarak ve mamulün görünümünü güzelleştirmek için yapılan mamuldeki yabancı maddeleri uzaklaştırma işlemlerinin tümüne birden “Ön Terbiye İşlemleri” denir.

Pamuk liflerinin içerisinde yağ, mum, pektin, hemiselüloz ve proteinler gibi yabancı maddeler bulunmaktadır ve lifler hafif sarımtırak bir renge sahiptir. Liflerin arasında ise lifler toplanırken ve çırçırlandırken karışmış olan yapak, koza, çekirdek kabuğu ve bunun gibi atıklar bulunmaktadır. Çözgü ipliklerinde ise genellikle haşıl mevcuttur. Bu yabancı maddeler yalnız pamuklu mamulün görünümünü bozmakla kalmamakta, liflere hidrofob bir özellik kazandırdıklarından boyama, basma veya apre gibi yaş terbiye işleminin de yapılmasını zorlaştırmaktadır. Bu nedenle pamuklu mamullerin terbiyesine, bu maddelerin giderildiği ön terbiye işlemleri ile başlanır.

Merserizasyon, optik ağartma gibi bazı işlemler ön terbiye tanımına girmiyorsa da aynı yerde yani kasar dairesinde yapıldıklarından bunlarda birer ön terbiye işlemi olarak kabul edilirler. Pamuklu mamullere uygulanabilecek ön terbiye işlemlerinin en önemlileri; ham kontrol, fırçalama, yakma, haşıl sökme, bazik işlemler (yıkama), ağartma, optik ağartma ve merserizasyondur.

4.5.1.1.1. Ham Kontrol

Ham kontrol ile farklı iplik ve kat bükümleri, açılan iplikler, başka elyaftan yapılmış iplikler ve uçuntular, doku hataları, gevşek veya fazla gergin kenarlar, delikler, atkı veya çözgü bantları, yağ lekeleri vb. hususlar belirlenir. Bir kısım hatalar burada giderilir.

4.5.1.1.2. Yakma

Kasar dairesine gelen kumaşın temizlemeden sonra gördüğü ilk işlem yakma olabilir. Amaç kumaşı oluşturan ipliklerden çıkan lif uçları uzaklaştırmaktır. Ayrıca yakma yerine makaslama da kullanılır.

4.5.1.1.3. Haşıl Sökme

Haşıllama sırasında kullanılan ürünlerin büyük bir kısmı suda çözünemediklerinden ve hidrofob olduklarından yaş terbiye işlemleri sırasında kumaşın emme yeteneğini azaltırlar.

Birçok hallerde iyi bir bazık ve ağartmaya tabi tutulan kumaşların bile, eğer daha önce haşıl sökme işlemi yapılmamışsa düzgün bir şekilde boyanmadıkları ve basılmadıkları görülmüştür. Dolayısıyla, haşıllamada ipliklere tatbik edilen haşıl maddesi ile birlikte küf gidericiler, mantar öldürücü ilaçlar gibi önceden koruyucu maksatla kullanılmış kimyasal maddeler ve diğer yabancı maddelerin uzaklaştırılması için haşıl sökme işlemi uygulanır.

Haşıl sökme işlemlerinde en çok kullanılan asitle haşıl sökme ve enzimle haşıl sökmedir. Asitle haşıl sökme işleminde nişastayı hidroliz etmek için seyreltik sülfürik asit çözeltisi kullanılır ve suyla çözünebilir bir hale sokulur. Enzimle haşıl sökme prosesinde ise nişastayı suyla çözünebilir bir forma dönüştürmek için bitkisel veya hayvansal enzimler kullanılır.

4.5.1.1.4. Bazık İşlemler (Yıkama)

Pamuk liflerinde bulunan yağ, mum, pektin, hemiselüloz, vb. yabancı maddelerin önemli bir kısmının hidrofob olmaları ve yaş terbiye işlemleri sırasında liftlerin iyi ve düzgün bir şekilde ıslanmasını, flote olmalarını önleme sebebi ile terbiye işlemleri sırasında sorun çıkarırlar. İplik elde edilmesi sırasında uzaklaştırılamayan yaprak, koza artıkları ve çekirdek kabukları ile iplik üretimi ve dokuma esnasında mamule bulaşan yağ lekeleri de terbiye proseslerinde rahatsız edici sonuçlar verir. Pamuk lifleri içerisinde ve üzerindeki bütün bu yabancı maddelerin uzaklaştırılması için yapılan işlemlere bazık işlemler denir. Yıkama amacı ile kullanılan bazık işlemler pişirme ve kaynatma olmak üzere başlıca iki şekilde uygulanır.

1) Pişirme : Pişirmenin esası pamuklu mamulü baz çözeltisi ile basınç altında, 100 °C ‘ nin üzerindeki sıcaklıklarda birkaç saat işleme tabi tutmaya dayanır. Pişirme son yıllarda önemini iyice kaybetmiş olup yerini yarı sürekli veya sürekli bazık işlemlere bırakmıştır.

2) Kaynatma : Pişirmeye nazaran daha ılıman bir işlem şekli olan kaynatma, ağartmada kullanılan kazanlarda veya kapağı açık bırakılan pişirme kazanlarında yapılabilir.

4.5.1.1.5. Ağartma

Pamuk kendisine kahverengi – sarımtırak bir renk veren doğal boyar maddeler içermektedir. Ağartmanın amacı bu boyar maddeleri bozuşturup, parçalayarak liftlerin temiz, beyaz bir görünüşe sahip olmasını sağlamaktır. Ağartma sırasında kumaşta bulunan yaprak, kapsül ve çekirdek kabuğu artıkları gibi pisliklerde uzaklaştırılmış olurlar. Pamuğun ağartılması genel olarak oksitleyici etki gösteren ağartıcılar ile yapılır.

Optik Ağarma : Optik ağartmada kullanılan optik beyazlatıcılar, insan gözünün göremediği morötesi (UV) ışınlarını, görülebilen spektrum bölgesine kaydırıp yansıtan maddelerdir. Kimyasal yapıları itibarı ile optik beyazlatıcılar büyük stilben türevleri, benzimidazoller ve sülfonamidler gruplarına aittir. Optik beyazlatıcı lifin cinsine, aplikasyon yöntemine ve optik beyazlatma ile birlikte yapılan işleme göre seçilir. Örneğin, selüloz liflerin beyazlatılmasında suda çözünebilir (Sülfo grubu içeren) liflere substantifliği olan tipler; poliakrilnitril liflerinin beyazlatılmasında katyonik (kuarter amonyum tuzu, vb.) tipler; polyester liflerinin beyazlatılmasında dispersiyon tipleri kullanılır.

4.5.1.1.6. Merseizasyon

Merseizasyon esası, pamuklu mamulü kuvvetli bazik bir çözelti ile muamele etmek ve bu muamele esnasında veya hemen arkasından germeye dayanmaktadır. Bu işlem sonucunda doğal haliyle pek parlak olmayan pamuklu mamul belirli bir parlaklık kazanmaktadır. Ancak elde edilecek parlaklık lif kalitesi, lif uzunluğu, iplik bükümü, mamulün merseizasyondan önce gördüğü işlemler, vb. gibi mamule bağlı faktörler ile değişir. Merseizasyonda kullanılan madde sodyumhidroksittir (NaOH) .

4.5.1.1.7. Boyama ve Baskı

Boyama, elyaf hammaddesine, iplik ve kumaşa renk verme işlemidir. Çeşitli boyama metodu ve her bir metod için bir çok boya çeşidi olmasına karşılık, pamuklu mamullerin boyanmasında 6 boya türü kullanılmaktadır; Reaktif, direkt, inkişaf, naftol, kükürtlü ve anilin siyahıdır. Pamuklu tekstil mamullerinin boyanmasında kullanılan boyar maddeler Tablo 4.2‘ de gösterilmiştir.

Reaktif boyalar : Suda çözünmezler ayrıca, ışığa, kuru temizlemeye, güneş ışığına ve yıkamaya en dirençli boyalardır. Reaktif boyama işleminde çözünmeyen formdaki boya önce indirgeyici kimyasal maddelerin kullanılması ile su içinde çözünebilir forma getirilir ve daha sonra mamule uygulanır. Absorblanan boya, daha sonra yeniden çözünmeyen yüksek derecede renkli şekline oksitlenir.

Direkt Boyalar : Doğrudan mamullere uygulanabildiklerinden bu şekilde isimlendirilirler. Avantajları, kolay uygulanmaları, düşük masrafı ve renk tonu çeşitliliğinin fazla olması,

dezavantajları ise meydana getirdiği parlaklığın, yıkamaya, asit ve alkalilere karşı direncinin zayıf olmasıdır.

İnkişaf Boyama : İki farklı kimyasal maddenin kullanıldığı bir yöntemdir. Birinci kimyasal madde mamule emdirilir, daha sonra ikinci kimyasal madde tatbik edilerek renk gelişimi için reaksiyonun tamamlanması sağlanır. Boyamadan sonra durulama yapılır. Avantajı yıkama direncinin olmasıdır. Işık haslığı ise pek fazla iyi olmayabilir.

Naftol Boyama : İnkişaf boyamanın tersidir. Mamul önce inkişaf madde ile doyurulur, daha sonra boya banyosunda çektirme ile elyaf üzerinde oluşması temin edilir. Naftol boyaların avantajı, yıkama dirençli ve ekonomik olması, dezavantajı ise sınırlı bir renk aralığı olmasıdır.

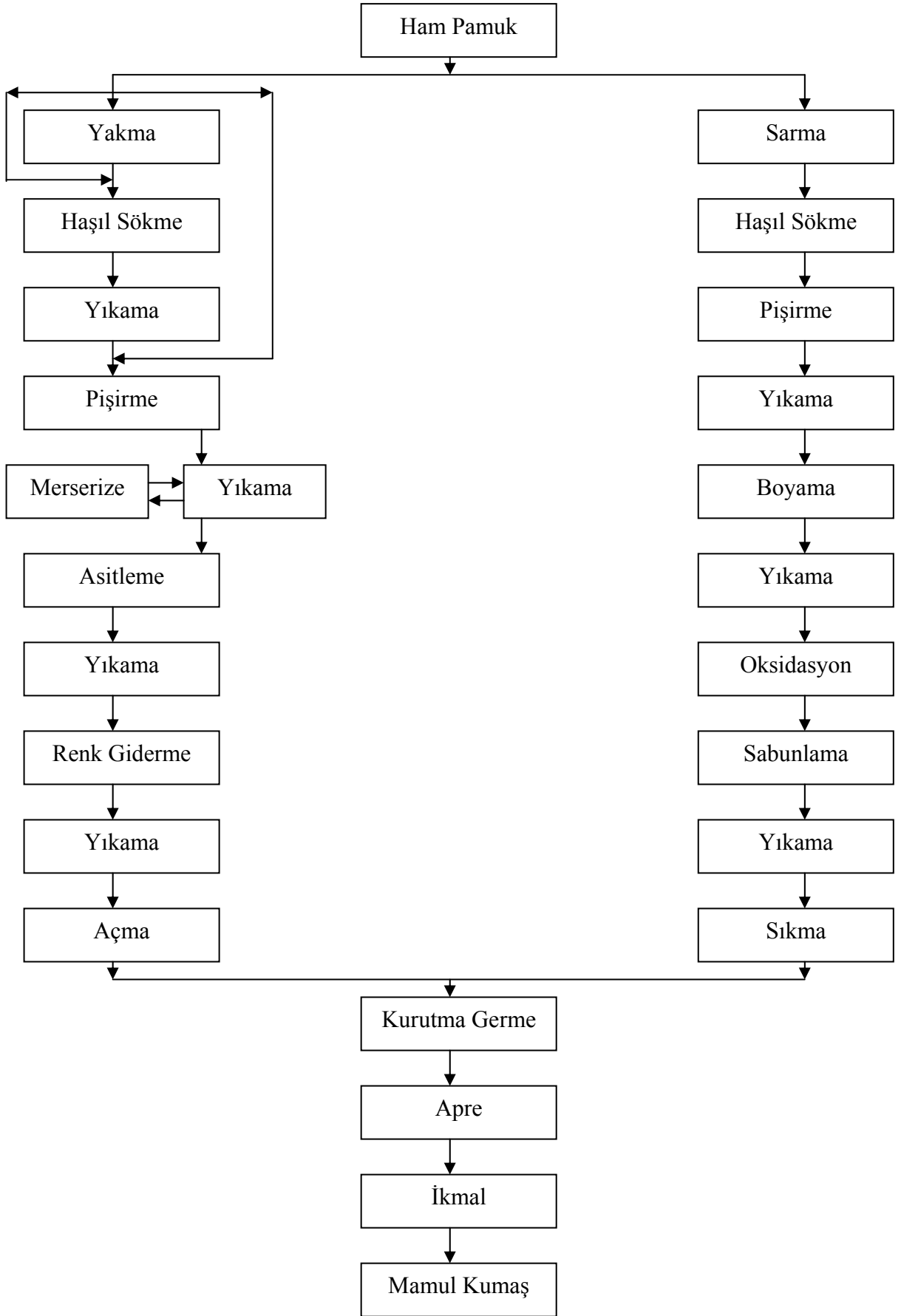
Kükürt Boyama : Esas olarak kalın pamukluları siyah, koyu mavi, kahverengi ve diğer renk tonlarına boyamak için kullanılır. Boyalar genel olarak suda çözünmez. Boyayı uygulamadan önce bir alkali çözelti içinde çözmek gerekir. Boya, genellikle tuz kullanarak yüksek sıcaklıklarda (60 – 100 °C) uygulanır.

Anilin Siyahı Boyama : Anilin oksidasyon ile meydana getirilen çözünmez bir pigmenttir. Kumaş, kimyasal maddeler içeren bir boya banyosundan geçirilir. Doyurmadan sonra kumaş siyah pigmenti inkişaf etmek için buhar uygulamasından geçirilir.

Kumaş üzerindeki renkli şekiller genellikle baskıdır. Silindir baskıda kumaş, baskı pastası ihtiva eden büyük merkezi bir silindir etrafında döndürülür. Renk silindirden kumaşa geçer. Baskı pastası boya, yoğunlaştırıcı hidroskopik maddeler, boyamaya yardımcı maddelere su ve diğer kimyasal maddeleri ihtiva etmektedir. Buharlama ile renk sabitleştirilir. Daha sonra yıkama, çalkalama, kurutma ve apre işlemleri yapılır.

4.5.1.2. Apre İkmal

Tekstil ürünlerine kullanım maksadına göre arzu edilen özelliği kazandırmak için yapılan işlemlerdir. Bu işlemlerin başlıcaları; tutum, su geçirmezlik, buruşmazlık, güç tutuşma, kir tutmazlık, çürümeye ve küflenmeye karşı dayanıklılık, antimikrobik özellik (hijyenik), metal kaplam, saydamlık ve çekmezlik olarak sıralanabilir. Apre – ikmalde kullanılan maddeler işlemlere göre değişmektedir. Nişasta, dextrin, tabii ve sentetik vakslar, sentetik reçine, amonyum klorür, çinko klorür, yumuşatıcı maddeler en çok kullanılanlardır.



Şekil 4.1. Pamuklu tekstil terbiyesinde işletme akım şeması

5. TEKSTİL ENDÜSTRİSİNDE MEMBRAN UYGULAMALARI

Tekstil sektöründe farklı üretim prosesleri için, farklı özelliklerde ham suya ihtiyaç vardır. Hemen hemen her çeşit su ile boya yapmak ya da diğer proseslerde kullanmak mümkündür. Fakat bu durumda; proseslerde ve su hazırlama için kullanılan kimyasallarda ve işletme maliyetlerinde ciddi oranlarda artış olur. Aynı zamanda ürün tamir oranı ve zaman kaybı artar, verimlilik azalır. Oysaki proses için istenilen en uygun su parametrelerinin bulunup, bu değerlere uygun ham su kullanılması, yani suyun standart olması hem kaliteyi, hem verimliliği artırır. Tablo 5.1.' de boyama prosesi için olması gereken su özellikleri belirtilmiştir.

Tablo 5.1. Boyama prosesi için olması gereken su özellikleri

PARAMETRELER	BOYA BANYOSUNDA OLMASI GEREKEN BOYAMA SUYU	
	Ortalama	Maksimum
Toplam Sertlik	0	< 2.5 F
Toplam Alkalinite	50	< 60 ppm
Bikarbonat	30	< 50 ppm
pH	6 - 6,5	
Demir	0.02	< 0.1 ppm
Sülfat	0	< 30 ppm
Silika	0	< 1 ppm
Klorür	12	< 20 ppm
İletkenlik	50	< 100 μ S/cm

Boya prosesine etki eden pek çok parametre vardır. Bu parametrelerin en önemlilerinden biri kullanılan suyun özellikleridir. Yüksek kalitede boyama işlemi elde edilmesinde su kalitesi çok önemlidir (Woerner).

Kullanılan suyun İletkenlik değeri (yani içinde çözünmüş olarak bulunan iyonların toplamı, diğer bir adı da buharlaşma kalıntısıdır) nin yüksek olması, boya prosesi için dezavantajdır. Yüksek iletkenlikli sularda, bikarbonatın, klorürün, silikanın ve diğer çözünmüş iyonların da

yüksek olacağını düşünürsek, böyle bir su ile boya yapmak, daha fazla kimyasal kullanmayı getirecektir. Dolayısı ile işletme maliyetlerini arttıracaktır.

Özellikle değişken özelliklere sahip kuyu suyu ile boya yapmak çok daha zordur. Bu durumda renk farklarının (kazan farkı) olması çok daha yüksek ihtimallidir.

Suda çözülmüş olarak bulunan iyon miktarı yani suyun TDS değeri (İletkenlik) ile boyamada kullanılan boya kimyasalı doğru orantılı olarak artmaktadır. Özellikle boya banyosunda kullanılan suda demir, demir +3 iyonları, bikarbonat, kalsiyum ve magnezyum (sertlik), klorür miktarı yüksek ise kullanılan iyon tutucu miktarı da o oranda yüksek olacaktır. Üstelik suda bulunan bu iyonların boya ile kompleks oluşturması gibi iyon tutucuların da boya ile kompleks oluşturması söz konusudur ki bu da boyamada kazan farklarına sebep olmaktadır.

Ayrıca sudaki bikarbonat oranı yüksek ise boyama için gerekli pH' ın tutturulması oldukça zorlaşmaktadır. Burada sorun her boya banyosunda kullanılan iyon tutucu maliyeti, işletme zorluğu, kazan farklılıklarından doğan para ve zaman kaybıdır. Ayrıca yüksek oranda kullanılan kimyasallardan dolayı atık suyun daha konsantre hale gelmesidir.

Boyama için en önemli parametrelerden biri de kullanılan su olduğu için boya prosesi öncesinde kullanılan suyu arıtmak karşılaşılabilecek sorunları başlangıçta çözecektir. Burada önemli olan proses için uygun su özelliğini, kapasitesini belirlemek ve ihtiyacı karşılayacak şekilde arıtma sistemi kullanmaktır.

Tekstil sektöründe çoğunlukla yumuşatma sistemleri kullanılmaktadır ve yumuşatma sistemlerinin suyu tamamen arıttığı gibi yanlış bir kanı yaygındır. Diğer taraftan iyon değiştiriciler önemli miktarda tuzlu atıksu oluşturan kimyasal rejenerasyon döngüsü gerektiren, sürekli olmayan proseslerdir (Basta ve diğ., 1998).

Yumuşatma cihazlarının sağlıklı çalışması için gerekli şartlar vardır. Toplam Çözülmüş Katı Madde miktarı 1500-2000 mg/l'te üzerinde olan sularda, suyun tuzluluğun yüksek olması yani iyonlarının fazla olması nedeni ile yumuşatma sistemleri reçineleri çok kısa sürede bloke olmaktadır. Aynı şekilde ham suda bakteri, çamur, tortu ve askıda katı madde miktarının yüksek miktarlarda olması ve herhangi bir önlem alınmaması da yumuşatma sistemlerinin bloke olmasına neden olur. Bu gibi durumlarda cihazın daha az yumuşak su vermesi, daha

erken kapasitelerde su sertliğinin artması, servis süresinin kısılması, rejenerasyona girme ihtiyacının artması gibi sorunlar oluşur.

Su yumuşatma sistemleri suyun yalnızca sertliğini gidermektedirler. Yumuşatma cihazından çıkan suda kalsiyum ve magnezyum giderilmiş olur. Fakat bunun dışında boya için çok önemli olan diğer bikarbonat, klorür, silika gibi iyonlar suda mevcut olmaya devam edecektir.

Fabrikalardaki mevcut yumuşatma sistemlerinin çoğunluğunu manuel cihazlar oluşturmakta olup manuel yumuşatmaların işletilmesinde pek çok sorunla karşılaşmaktadır. Manuel sistemlerde en çok karşılaşılan sorunlar, rejenerasyonun insan müdahalesi ile olması nedeniyle fazla tuz kullanımı ve fazla su kaybı olmasıdır. Bu kayıplar yıllık bazda ciddi oranlara gelmektedir. Ayrıca işletmeye ya da yumuşak su havuzuna tuzlu suyun kaçırılması da sözkonusu olmaktadır.

Yumuşatma sistemlerinin önünde otomatik kum filtresi kullanılması ve yumuşatma sistemlerinin debi ya da sertlik kontrollü otomatik sistem olması, verimliliği arttıracığı gibi işletme kolaylığı da getirecektir.

Otomatik kum filtresi ve yumuşatma sistemi kullanılması, suyun fiziksel arıtımının yapılmış olmasını ve sertliğinin giderilmiş olmasını sağlayacaktır.

Suyun toplam çözünmüş katı maddelerinin giderilmesi, bikarbonatın, klorürün, silika gibi iyonların giderilmesi yani suyun iletkenliğinin giderilmesi için Ters Osmoz kullanılması gerekmektedir. Böylece ham su standart hale gelmiş olacak ve hep aynı kalite (düşük iyonlu su) suyla boya yapılmış olacaktır.

Ters Osmoz suda çözünmüş olarak bulunan bütün iyonları (bikarbonat, sülfat, klorür, bakır, nitrat, kalsiyum, magnezyum vb.) % 99'a varan oranlarda arıtarak suyun iletkenliğini düşürür.

Ters Osmoz sistemi, ana ekipman olarak yarı geçirgen zarların sarımından oluşan membranlar ve yüksek basınç pompasından oluşur. Yüksek basınç pompası, suyun mevcut iyonlarından (toplam çözünmüş katı madde) kaynaklanan osmotik basıncı yenerek, suyun membranlardan geçirilmesini sağlar. Bu şekilde sudaki çözünmüş toplam katı maddeler % 99'a varan oranda

arıtılmış olur. Ters Osmoz ürün suyu olarak çok düşük iletkenlikli su elde edilmiş olur. Bu sayede sudaki iyon miktarı çok azalacağı için, boya ile su çok daha kolay birleşecek ve kimyasal kullanımları azalacaktır.

Suda renkleri etkileyecek iyonlar kalmadığı için, kazan farklılıkları da ortadan kalkacak ve istenilen renkler çok daha kolay elde edilecektir. Böylece renk tekrarlanabilirliği çok daha yüksek olacaktır.

5.1. POLYESTER VE PAMUK BOYAMADA TERS OSMOZ SUYU KULLANIMI

RO suyunda sudaki alkaliler giderilmiş olacağı için, polyester boyamalarda kullanılan asit miktarı düşecektir.

Bir işletmede, bikarbonat miktarı 270 mg / lt olan sudaki 0.8 gr / lt lik formik asit kullanımı (pH 4), RO suyu kullanımı ile 0.4 gr / lt ' ye inmektedir.

Polyester boyamada demir ve bakır iyonları, boyamada kullanılan boyar maddeler ile maviden mora kadar değişen renkte kompleks verir. RO suyunda demir ve bakır iyonlarının giderilmiş olması yüzünden bu kompleksler oluşmaz. Dolayısı ile mavi mor renkli lekeler oluşmaz.

RO suyunda kalsiyum, magnezyum, demir, bakır, mangan gibi katyonlar giderilmiş olduğundan polyester boyamada ayrıca iyon tutucu kullanımına gerek kalmaz.

Pamuk boyamalarda, pamuktan gelebilecek anyon ve katyonlar olduğu için RO suyu ile boya yapılsa da bir miktar iyon tutucu kullanımı gereklidir.

Pamuk boyamalarda bikarbonat iyonu pH 'ı yaklaşık 9.5' a tamponlar. Bu tamponlama etkisinden dolayı oluşan ve pH 10.8 altındaki pH değerleri yüzünden kazan farkları oluşur. Bu da laboratuvar ile işletme arasında renk farkları ve bir türlü düzelmeyen haslık bozulmalarına neden olur. RO suyunda bikarbonat iyonu giderilerek çok düşük miktarlara indirildiği için, bu tarz problemler ortadan kalkar.

RO suyu kullanıldığında, polyester boyamalarda, polyesterin üzerinde bulunan etilenteraftalat monomerinin oluşturduğu oligomerlerin ortamda bulunan kalsiyum ve magnezyum katyonları ile çökelti verme problemi ortadan kalkar.

RO suyu kullanıldığında pamuk, vizkon gibi selüloz kökenli elyaflarda kalsiyum, magnezyum, bikarbonat ve silikattan dolayı oluşan beyaz renkli çökeltiler giderilmiş olur.

RO suyu kullanıldığında, polyester makineleri içinde bulunan eşanjör gibi sıcak cidarlarda kışır, kireç tabakası oluşmaz .

5.2. TEKSTİL ENDÜSTRİSİNDE MEMBRANLA SU GERİ KAZANIMI

Tekstil endüstrisi büyük miktarlardaki kimyasal ve su tüketimi ile karakterize edilir ve günlük su tüketiminin büyük miktarını proses suyu oluşturur (Woerner). Bu proseste kullanılan suyun belirli kalitede olması gerekir. Orta boyutta kapasiteye sahip tekstil fabrikasında günlük su tüketimi iki üç bin ton düzeyindedir. İşletme için su temini maliyeti önemli olmaktadır. Diğer yandan atık suyun deşarjı da önemli bir problem yaratmakta, deşarj kriterlerine getirmek amacı ile çok büyük paralar harcanmakta, bu da ürüne ek bir maliyet getirmektedir. Tam denetlenemeyen atık sular yanında denetim altında tutulsa bile su toplama havzalarına verilen atık sular önemli bir kirlilik yükü getirmektedir. Tekstil atık sularının en azından birkaç kez çevrilerek proseste kullanılacak düzeyde arıtılması hem önemli bir maliyet azalması sağlayacak hem de su toplama havzalarının daha az kirlenmesine katkıda bulunacaktır. Tekstil sanayinde temiz üretimin; su, enerji ve hammadde sarfiyatının düşürülmesi ve doğal kaynakların korunması, çevreye verilen atık yükünün azaltılması, çevre standartlarının geçerli olduğu pazarlara girebilme imkanı, üretim maliyetinin düşürülmesi, yönetmelik ve standartlara uyumun kolaylaşması ve tüketici imajının geliştirilmesi gibi faydaları vardır. Temiz üretim uygulaması endüstriye özel olmalı ve bütün seçenekleri tanımlamak için bütün materyaller, su ve enerji dengesi analiz edilmelidir (Kiran, 2003).

İşletmede su kullanımının ayrıntılı değerlendirilmesiyle su kullanımı basit olarak genelde azaltılabilir. Bunun için, işletmenin başından sonuna kadar nerelerde su akışının gerçekleştiği, hangi proseslerde ve ne kadar su kullanıldığının tanımlanması gerekir. Sonra su kalitesinden

taviz vermeksizin akışın azaltılması için fırsatlar tanımlanmalıdır. Bu da, suyun tekrar kullanılmasını olanaklı kılan geri dönüşüm teknolojilerinin kullanımıdır.

Su kullanımının azaltılması için uygulanan yöntemlerden biri ters akışlı durulama sistemlerinin kullanımıdır. Bu sistemde su akışları, birbirine bağlı farklı durulama banyoları aracılığıyla malzeme girişiyle ters yöndedir. Böylelikle aynı temizleme derecelerinin sağlanmasında su kullanımının azaltılmasına müsaade eden bu sistem kullanılabilir. Sistemde sadece son durulama aşamasında temiz suya ihtiyaç vardır.

Membran teknolojileri büyük miktarlardaki atıksuyun tekrar kullanılmasını mümkün kılabilen sistemlerdir. Böylelikle toplam su ihtiyacı azaltılabilir (Capar ve diğ., 2006). Unutulmaması gereken nokta, gerekli suyun sadece her bir adımdaki amaç için uygun olmasıdır. Tüm prosesler için sürekli yüksek kalitede suya ihtiyaç yoktur. Yapılan çalışmalarda, MF'un boya banyolarında kullanılan koloidal boyaları gidermede; UF'un partikülleri ve makromolekülleri gidermede etkili olduğu bulunmuştur. Yıkama, temizleme gibi işlemlerde atıksuyun tekrar kullanımına izin veren kalite sağlandığından tek kademe uygulanabilir. Fakat açık renk boyama gibi daha hassas proseslerde kullanılamaz. UF'un, RO ön arıtımı olarak kullanılmasıyla boya banyosu atıksularından gelen büyük partiküllerin ve iyonların giderilmesi sağlanmıştır (Marcuccia ve diğ., 2001).

Tekstil endüstrisinde birbirinden oldukça farklı üretim yapan kısımlar olduğundan atıksuların özellikleri ve miktarları büyük sınırlar içerisinde değişir. Aynı kategoride olmasına rağmen üretim farklılıkları veya proseslerde oluşan farklılıklar yüzünden atıksuda farklılıklar meydana gelir. Bu nedenle bütün tekstil atıksuları için ortak bir artıma programı önermek mümkün değildir ve aynı altkategoride olsa bile bütün atıksu akımlarının ayrı değerlendirilmesi gerekmektedir. (Capar ve diğ., 2006)

Yün yıkama işlemi ile kirler ve yağ, emülsiyon haline geçer ve çoğunlukla yağlar bir köpük kaplı kahverengi, kumlu, bulanık bir atıksu meydana getirir ve büyük miktarlarda BOI, yağ ve gres yükü üretir (Woerner). Örgü kumaş son işlemleri konvansiyonel kirletici parametreler için konsantrasyon ve yük miktarı bakımından oldukça geniş bir aralık gösterir. Halı bitirme işlemlerinin başlıca atık kaynakları boyama ve baskıdır. Fakat, bu prosesler konvansiyonel ve non – konvansiyonel kirleticilerde ekstrem değerler meydana getirmez. Özel bitim işlemlerinin atık debisine olan etkileri düşüktür. Keçeleştirilmiş kumaş üretiminde yüksek

hacimli fakat genellikle seyreltik yapıda atıksu meydana gelir. Dinkleme ve boyamayı takiben durulamalar yapılıyorsa, su kullanımı ve kirletici miktarları artar. Az su kullanılan işlemlerde atıksu karakteristikleri başlıca haşıllama prosesine, dokuma prosesine veya ıslatma, şişirme veya doyurma prosesine bağlıdır. Tekstil endüstrisindeki alt kategorilerin su tüketimleri ve atıksu özellikleri Tablo 4.1' de verilmiştir. Tablo incelendiğinde bitirme işlemlerinde çok miktarda su kullanımının söz konusu olduğu ve yün yıkamada organik kirliliğin ve bitirme işlemlerindeki boyama işi nedeniyle ise renk ve boya içinde bulunan maddelerin kirletici olarak ön plana çıktıkları görülmektedir. Pamuklu esaslı tekstil endüstrisinde ağartma, boyama ve bitirme gibi ıslak prosesler kullanılan kimyasalların çeşitliliği su miktarının fazlalığı nedeniyle önemlidir (Kiran, 2003). Pamuklu tekstil tesislerinde karşılaşılabilecek genel atıksu kompozisyonları Tablo 5.2' de verilen değerlerdeki gibidir.

Tablo 5.2. Pamuklu tekstil atıksuları genel kompozisyonu

Kirletici parametre	Birim	Değer aralığı
Alkalinite	mg CaCO ₃ / l	200 – 1000
pH	birim	8 – 11,5
AKM	mg / l	30 – 100
BOI ₅	mg / l	200 – 800
T. Katı Madde	mg / l	1000 – 2000
T. Krom	mg / l	1 – 4
Renk	birim	1000 – 4000

5.2.1. Tekstil Üretiminde Kullanılan Proseslerin Atık Oluşumları

Tekstil üretiminde kullanılan çeşitli proseslerde oluşan atıksuların özellikleri uygulanan işlemler ve bu işlemlerde kullanılan kimyasallara bağlı olarak farklılık göstermektedir.

Yıkama işleminde çürüme, güve ve neme karşı kullanılan maddeler atıksuya karışır. Pamuğun gelişiminde kullanılan herbisitler, böcek ilaçları, yaprak dökücüler, kurutucu maddeler ve mantar ilaçları yıkama atıksularında meydana gelebilir. Bu nedenle pamuk yıkama atıksuları toksik olabilir. Haşıllama ile beraber pamuk yıkama işlemi çok yüksek BOI konsantrasyonları oluşturur. Özellikle ham yün temizlemesi tekstil endüstrisinde en yüksek kirlilik oluşturan işlemdir. Kirlilik yükü ham yündeki kirliliklerden (balmumu, dışkı, bitkisel ve mineral kirler

ve parazit kontrol kimyasalları) ve temizleme ve yıkama işlemlerinde kullanılan sabun, deterjan ve alkalilerden kaynaklanır.

Haşılama işlemi sırasında haşılama kutularının, ruloların, haşıl karıştırıcıların ve haşılama alanının temizlenmesinden atıksular meydana gelir. Hacimleri düşüktür, fakat kullanılan yönteme bağlı olarak yüksek seviyede BOI, KOI ve AKM içerebilir.

Haşıl sökme işleminde kullanılan metotlar ile atıksu özellikleri, kullanılan haşıla göre değişir. Yüzey aktif maddeler, enzimler, asitler ve alkaliler ve haşılama nedeniyle haşıl sökmenin çıkış suyuna eklenen maddeler ortamdaki kirletici yükünün artmasına neden olur. Genelde bu prosesin çıkış suları yüksek sıcaklıktadır ve organik madde konsantrasyonu yüksektir. İngiltere’ de yapılan bir çalışma KOI yükünün % 90’ ının haşıl sökme, yıkama ve ağartmadan kaynaklandığını ortaya koymuştur.

Ağartma işlemi sırasında kullanılan hidrojen peroksit, sodyum hidroksit, sodyum bisülfid ve yüzey aktif maddeler gibi yardımcı kimyasallar ve bu proseste giderilen pislikler kirlilik yüklemesine katkıda bulunur. Ağartma atıksuları genellikle yüksek katı içeriğine sahiptir. %100 sentetik ürünlerin işlenmesinde oluşan atıksu önemli bir kirlilik sebebi değildir.

Merserizasyon işlemi atıksuları düşük BOI ve toplam katı değerlerine sahiptir, fakat nötralizasyondan önce fazlasıyla alkalidirler. Sülfirik veya hidroklorik asit kullanımıyla nötralize edilmesiyle, çıkış suyunda aşırı deşarj önlenir.

Karbonizasyonda asitle muameleyle oluşan yüksek çözünmüş katı değerlerine rağmen atıksularında genellikle düşük organik madde seviyeleri bulunur. Ham yün temizleme ile birlikte uygulanması temizleme atıksuyunun toplam kirlilik yükünde azalmaya neden olur.

Kimyasal bitirme işlemlerinden gelen atıksular düşük hacimde olmasına karşın bileşimleri açısından çok değişkendirler ve pentaklorofenol gibi toksik organik maddeler içerebilirler.

Boyamada kullanılan hem boya kimyasının hem de boya prosesinin işletme tarzının çeşitliliği nedeniyle boya atıksularının türlerinin tanımlanması zordur. Boyamada büyük miktarlarda su kullanılır. Kg ürün için 100 – 150 l atıksu meydana gelir. Geleneksel atıksu artıma sistemleri ile genellikle sentetik boyalarla oluşan rengin yaklaşık % 20 – 30’ u giderilir. Boya

teknelerinde kullanılan boyarmadde ve kimyasalların fazlası, tekstilin istenen evsafıta olması için yıkanarak, durulanarak tekstil malzemesinden uzaklaştırılır. Bu yıkama işi için de oldukça çok fazla hacimde su tüketilmekte ve atıksu oluşmaktadır. Renk giderim teknolojilerine ve çeşitli boya türlerinin yerine bakılarak boyaların üç gruba ayrıldığı bir sınıflandırma yapılabilir. Her grup olası renk giderim metodları ile ilişkilendirilebilir (Tablo 5.3.). Tabloda da görüldüğü gibi membran prosesleri 3 tip boya grubu için de etkili bir giderim yöntemidir.

Tablo 5.3. Renk giderimine göre boya sınıflandırması (Treffry-Goatley ve Buckley, 1991)

Sınıflandırma	Boya sınıfı	Yük/çözelti durumu	Teknoloji
Grup 1	Dispers	Negatif yüklü	Koagülasyon
	Azoik	Koloidal	Membran
	Fıçı		Oksidasyon
	Sülfür		
Grup A	Asit	Anyonik	Adsorpsiyon
	Reaktif	Çözünür	İyon değiştirici
	Direkt		Membran
	Renkleri sabit kılan		Oksiasyon
	Metal kompleks		
Grup C	Bazal	Katyonik	Adsorpsiyon
		Çözünür	İyon değiştirici
			Membran
			Oksidasyon

Kompleks kimyasal ve/veya fiziksel mekanizmalar boyanın lifler tarafından adsorplanması ve tutulmasını etkiler. Adsorptif kuvvetler ve tutulma zaman, sıcaklık, pH ve yardımcı kimyasallar gibi pek çok faktör tarafından kontrol edilir. Tablo 4.3. ve 4.4.‘de çeşitli boyaların çeşitli elyaflara tutulma oranları verilmiştir. Tablolarda da görüldüğü gibi boyanın büyük bir yüzdesi elyaf tarafından tutuluyor olsa da kalan kısmı atıksuda kirlilik konsantrasyonunu arttırmaktadır. Tekstil atıksularının spesifik biçiminin oluşmasında en etken olan birimlerin başında gelen boyahanelerin atık suları; önemli mertebede renk, sıcaklık, KOİ ve TÇKM içeren alkali karakterde atık sulardır. Bazı proseslerin atıksu verileri Tablo 5.4.‘ de verilmiştir.

Tablo 5.4. Boya atıksularının özellikleri (Horning, 1978)

Boya	Lif	Renk (ADMI)	BOD (mg/l)	TOC (mg/l)	TSS (mg/l)	TDS (mg/l)	pH
Asit	Poliyamid	4000	240	315	14	2028	5,1
Mordan	Yün	3200	135	210	9	1086	4,0
1 : 2 Metal kompleks	Poliyamid	370	570	400	5	3945	6,8
Bazal	Akrilik	5600	210	255	13	1469	4,5
Bazal	Polyester	1300	1470	1120	4	1360	5,0
Direkt	Viskoz	12500	15	140	26	2669	6,6
Direkt	Pamuk	525	87	135	41	2763	5,0
Reaktif (kesikli)	Pamuk	3890	0	150	32	12500	11,2
Reaktif (sürekli)	Pamuk	1390	102	230	9	691	9,1
Azoik	Pamuk	2415	200	170	387	10900	9,3
Sülfür (sürekli)	Pamuk	450	990	400	34	2000	3,7
Fıçı	Pamuk	1910	294	265	41	3945	11,8
Dispers (yük. sıc.)	Polyester	1245	198	360	76	1700	10,2
Dispers(atmos.boyama)	Polyester	315	234	300	39	914	7,8
Dispers	Polyester(halı)	215	159	240	101	771	7,1
Dispers	Poliyamid(halı)	100	78	130	14	396	8,3
Dispers/asit/bazal (kesikli)	Poliyamid(halı)	210	42	130	8	450	6,7
Dispers/fıçı (sürekli)	Pamuk/polyester	365	360	350	9	691	9,1

Tekstil endüstrisinde her bir sistemden gelen ve çok değişken kimyasal bileşimi olan atıksu akımlarının birleştirilmesi nedeniyle uygun kirlilik azaltma ya da su geri dönüşüm teknolojisinin saptanması zordur. Tekstil boyama işleminde boya banyolarındaki ya da diğer proses akımlarındaki atıksuların ayrılması iyi bir fikirdir. Bu uygulama toplam akışın arıtımındaki sorunları önler ve böylece geri dönüşüm basitleştirilebilir. Besleme suyu kalitesinden bağımsız olan arıtılmış su kalitesi temeline dayanan membran teknolojileri ile de etkili bir geri kazanım yapılmaktadır.

5.2.2. Tekstil Endüstrisinde Kimyasal Madde Geri Kazanımı

Tekstil işlemleri esnasında kullanılıp, atıksu ile atılmak zorunda kalınan kimyasalların geri kazanılması; kimyasalın atıksuda tek başına olması, konsantrasyonunun diğer kimyasallara

göre çok yüksek olması veya çok konsantre durumda bulunması gibi durumlarda söz konusu olabilmektedir. Kimyasal madde geri kazanılmasına örnek olarak; merserizasyon sırasında kullanılan kostik, kimyasal temizlemede kullanılan çözücüler, haşıl maddeleri vb. verilebilir. Merserizasyon işlemi için kullanılan kostiğin geri kazanılması, günümüzde teknolojik açıdan yeterli bir düzeye ulaşmış olup %90'dan yüksek geri kazanma oranları elde edilmektedir. Haşıl maddesinin geri kazanımı, yüksek konsantrasyonlarda ise mümkün olabilmektedir.

Atıksulardaki maddelerin geri kazanımı için membran kullanımı etkili bir yöntemdir. RO ile boyanın, yardımcı maddelerin ve yağın geri kazanımı sağlanmaktadır. UF/MF sistemi ile de atıksudan bazı boyar maddeler geri kazanılır. UF ile tekstil atıksuyundan PVA kazanımı da yapılmaktadır. Boya banyolarının çoğu 3 büyük kirleticiye sahiptir. Boya, ağır metal ve tuz. UF pek çok boyayı ayırma yeteneğine sahiptir. NF tuzdan boyaları ayırmak amacıyla kullanılabilir. Tuz geri kazanılır ve boya deşarj edilebilir. Boya banyosundan tuz geri kazanımı % 50'dir ve bunun yatırımdaki azalması %99' dur (Woerner).

5.2.3. Bir Tekstil İşletmesindeki Boya Atıksuyu Geri Dönüşüm Uygulaması

UK' daki şirketin temel esası Savunma Bakanlığı için boyanmış ve eğrilmiş yün ve yünlü iplik üretimidir. Tesiste kullanılan boyalar boyanın % 50' si atıksuya geçecek kadar düşük fiksasyon özelliğine sahiptir. Tipik atıksu arıtımı ile boya giderimi düşüktür. İşletmede günlük 10 gr iplik üretimi için toplam 400 m³ atıksu oluşmaktadır. Atıksu % 20 ila % 80 arasında boya ve yüksek konsantrasyon krom içerir. Deşarj izinlerini etkili şekilde sağlamada suyun geri kazanımı ve tekrar kullanımı maliyet açısından uygulanabilir ekonomik bir faktör olmaktadır. Bu amaçla en uygun teknolojiye geri kazanım sisteminin seçilmesi gerekmektedir. Kriter ana hatları tekrar kullanılabilir su üretimi kabiliyeti ve su kalitesindeki doğal dalgalanmalara dayanım gücüdür. İncelenen dört seçenek flokülasyon, biyolojik arıtma, ileri oksidasyon ve ters osmozdur. Bu seçenekler arasından suyun tekrar kullanımını sağladığı için membran esaslı teknoloji seçilmiştir.

Sistemi oluşturan proses zinciri nispeten basittir (Şekil 5.1.). Akım RO sistemine pompalanmadan önce 20 µm lik elekten geçer. Prosesten gelen konsantre uygun kimyasallar ile arıtılır ve üretilen çamur 24 saatlik depo tankına gönderilmeden sıvıdan ayrılır. Yerel suyunu deşarj öncesinde kullanılmış temizleme kimyasalları arıtılmış konsantre ile karıştırılır. Oluşan çamur depolanır ve bertaraf amacıyla tankerlerle uzaklaştırılır.

Ana arıtma aşaması iki RO akımıdır. Membranlar spiral sargılı polysulfon modüllerdir. Sistem 1152 m² yüzey alanına sahiptir ve 60 °C sıcaklıkta 480 m³/gün'lük akışı arıtabilir. Ortalama 25 barda ve 16,5 LMH ortalama akıda işletilir. Sistem günde 20 saat, haftada 5 gün ve yılda 48 hafta işletilir. Kalan günde 4 saat 40 m³/gün kullanılmış kimyasal debisi oluşturan pH 10,5' te sodyum hidroksitten meydana gelen membran temizliği için kullanılmaktadır. Deşarj miktarı 30 m³/gün' e indirilmiştir (Tablo 5.5.). Konsantrenin arıtım ihtiyacının azalmasına neden olan COD, Cr ve Zn açısından bu değişimler büyük etkiye sahiptir. Prosesteki etkisi ise flokulant için kimyasal ihtiyacını azaltmasıdır. Geri kazanım sistemi, sistem içinde tekrar kullanılan RO süzöntü akısı olarak %95 geri kazanımla 2 yıldan fazla işletilmiştir. Sistem %80,5 COD, %59 toplam çözünmüş katı, %100 askıda katı ve hemen hemen tam bir renk giderimi sağlanmıştır. Ağır metal giderimi de çok iyiydi. Krom konsantrasyonu 0,75 mg/l'ten 0,02 mg/l'nin altına indirilmiştir.

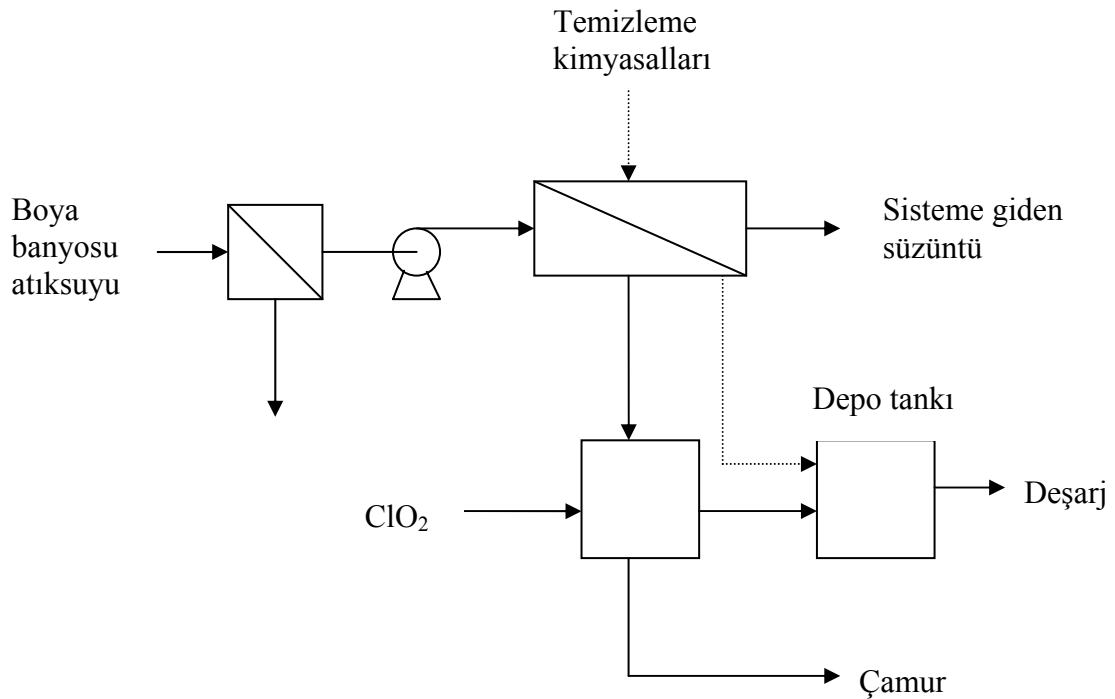
Sistemin kurulumu deşarj izinlerindeki değişim nedeniyle gerekliydi, fakat sistem içinde suyun geri dönüşüm yeteneği pek çok ekonomik avantaj sağlamıştır. Başlıca kazanımlar yumuşak suyun maliyetinde (% 95) ve atıksu ücretinin azaltılmasında sağlanmıştır. İkincil kazanım ise önceden ısıtılmış suyun proseste geri dönüşümü ile ısı ihtiyacının azaltılmasında sağlandı. Programın yatırım maliyeti 1998' de £ 275 000 (\$ 448 800)' dı ve tekrar kullanım sistemindeki yıllık net kazanım £ 142 635 (\$ 232 780)' dı. Böylece sistem 1,9 yıllık geri ödeme zamanına sahipti (Tablo 5.6.). Sistem 2001 yılına kadar işletildi.

Tablo 5.5. Tekstil işletmesinde izin verilen sınır değerlerdeki değişim (Judd , 2003)

Parametre	Orijinal izin	Yeni izin
Debi (m ³ / gün)	227	30
pH	6 – 10	6 – 10
SS (mg / lt)	1000	700
COD (mg / lt)	3000	9000
Cr (mg / lt)	10	15
Zn (mg / lt)	5	10
500 nm' de renk	0,057	0,431
550 nm' de renk	0,053	0,401
600 nm' de renk	0,047	0,356
650 nm' de renk	0,047	0,356

Tablo 5.6. Boya banyosu tekrar kullanım sistemi maliyet analizi (1999) (Judd , 2003)

	Yıllık maliyet £ (\$)	Yıllık kazanım £ (\$)
Membran yenileme	29 714 (47 806)	
Ön filtrasyon	1408 (2265)	
Çalışma	5760 (9267)	
Enerji	22 464 (36 142)	
Su	2661 (4281)	
Temizleme kimyasalları	960 (1544)	
Bakım	3679 (5919)	
Klor dioksit arıtımı	37 058 (59 622)	
Atıksu bertarafı		60 015 (96 558)
Su		68 874 (119 811)
Su yumuşatma		9316 (14 988)
Renk işlemi		56 828 (91 430)
Su ısıtma		50 307 (80 938)
Toplam	103 705 (166 850)	246 340 (396 336)



Şekil 5.1. Tekstil işletmesi boya banyosu atıksuyu geri dönüşüm sistemine ait proses akış diyagramı (Judd , 2003)

6. TEKSTİL FABRİKALARININ PROSES SUYU ARITIMI BAKIMINDAN ARAŞTIRILMASI

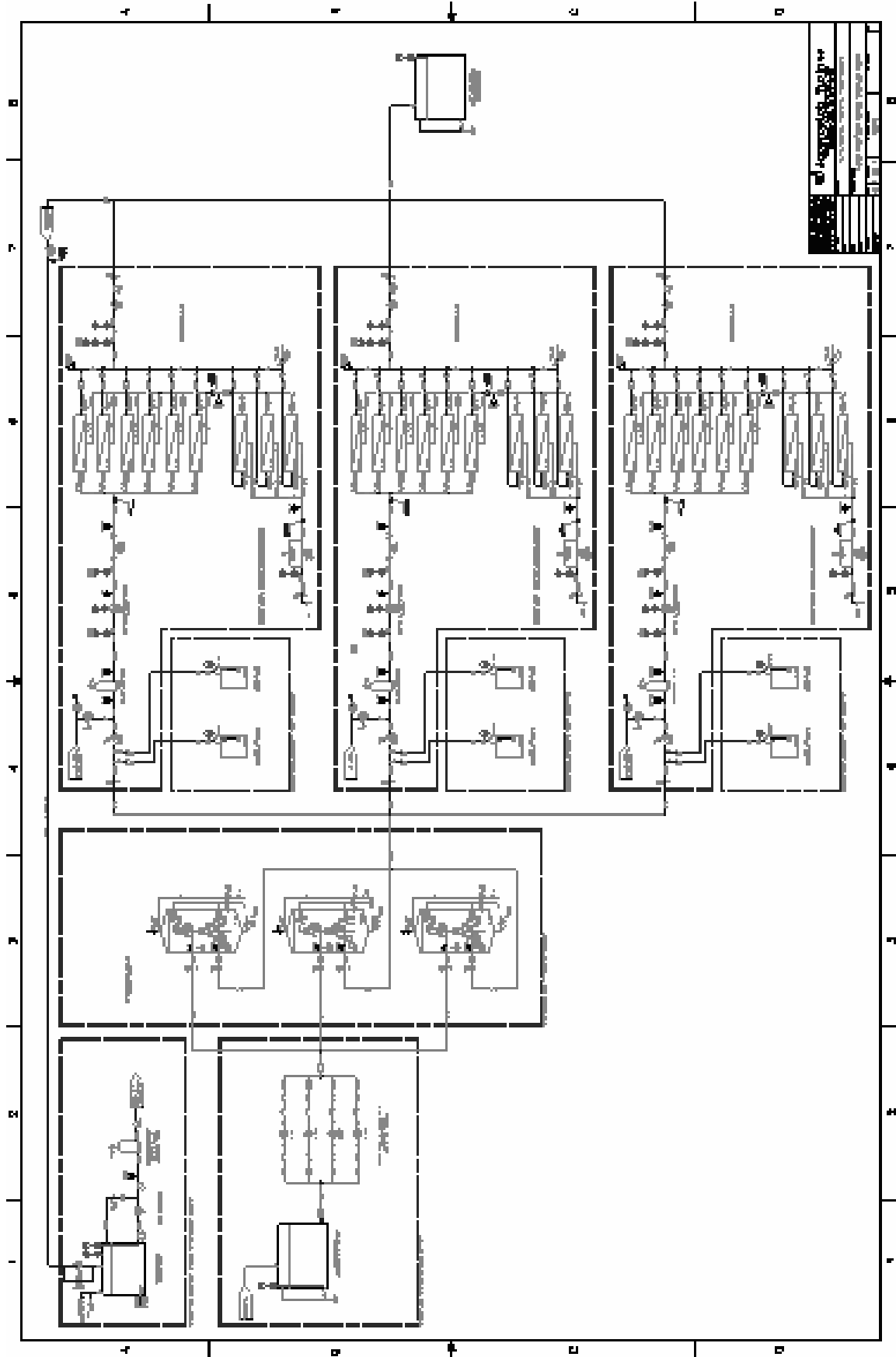
Bu tez araştırması için Tekirdağ Çorlu bölgesinde bulunan dört ayrı boya ve apre tesisi incelenmiştir. Bu tesislerdeki membran uygulamaları aşağıda sırasıyla açıklanmıştır. Tesislerde ince film kompozit (TFK), spiral sargılı membranlar kullanılmaktadır.

6.1. BİRİNCİ TESİS İNCELEMESİ (BİR BOYA VE APRE TESİSİNE AİT FİLTRASYON VE TERS OSMOZ SİSTEMİ)

6.1.1. Proses Tanıtımı ve Dizayn Verileri

6.1.1.1. Proses Tanıtımı

Yumuşak su ile beslenecek olan sistem öncesinde su 1.000 m³' lük depoda toplanmaktadır. Yumuşak su deposundan sistem besleme pompaları yardımı ile su Tam Otomatik Kum Filtrasyon Sistemine iletilmektedir. Filtrasyon sisteminin amacı; içindeki antrasit, kuvars kumu ve dereceli çakıl katmanları ile suda bulunan askıda katı maddeleri 20 mikron kadar hassasiyette gidermektir. Filtrelenmiş su Ters Osmoz (RO) sistemlerine iletilmeden önce kimyasal maddeler dozlanmaktadır. Antiskalant dozajının amacı; RO sistemlerinde bulunan membranlarda iyonların çökmesinden kaynaklanabilecek kabuklaşmayı ve tıkanmayı önlemek içindir. Suda bulunan bakiye klor RO membranlarının hidrolizine neden olarak geri dönüşü olmayan bir hasar verir. Bunu önlemek amacı ile, suda varsa bakiye oksidan madde ile hızla reaksiyona giren, yoksa bakteriyolojik üremeye karşı kısmen etkili olan sodyumbisülfid dozajı uygulanmaktadır. RO sistemlerinden sonra ürün suyu 500 m³' lük depoda toplanmaktadır. Sistemin akış diyagramı Şekil 6.1. 'de verilmiştir.



Şekil 6.1. Birinci tesise ait akış diyagramı

6.1.1.2. Dizayn Verileri

Sisteme verilen ham su (yumuşak su) değerleri Tablo 6.1' de gösterilmiştir.

Tablo 6.1. Birinci tesisteki ham su (yumuşak su) özellikleri

PARAMETRE	BİRİM	Kuyu Suyu
Kalsiyum	Mg/l	0,8
Magnezyum	Mg/l	0,04
Sodyum	Mg/l	216
Potasyum	Mg/l	0,0
Amonyak	Mg/l	Yok
Ba	Mg/l	Yok
Sr	Mg/l	Yok
CO ₃	Mg/l	1,75
Bikarbonat	Mg/l	305
Sülfat	Mg/l	50
Klorür	Mg/l	90
F	Mg/l	0
Nitrat	Mg/l	50
Silika	Mg/l	19
Toplam çözünmüş madde	Mg/l	732
pH	-	8,0

Ters Osmoz sistemi dizayn değerleri ve parametreleri ise Tablo 6.2. ve Tablo 6.3.' de verilmiştir.

Tablo 6.2. Birinci tesisteki ters osmoz sistemi dizayn değerleri

RO Giriş Suyu Debisi	1.867 m ³ /gün
RO Ürün Suyu Debisi	1.400 m ³ /gün
Yaklaşık Sistem Verimi	%75
Dizayn Su Sıcaklığı	20 °C

Tablo 6.3. Birinci tesisteki ters osmoz sistemi çıkış suyu özellikleri

PARAMETRE	Ürün Suyu
Kalsiyum	0,5
Magnezyum	0,02
Sodyum	< 6
Potasyum	0
Amonyak	Yok
Ba	Yok
Sr	Yok
CO ₃	0,05
Bikarbonat	< 10
Sülfat	< 2
Klorür	< 2
F	0
Nitrat	< 2,6
Silika	< 1
Toplam çözünmüş madde	< 18
pH	6,06 ±0,4

6.1.2. Filtrasyon Sistemi

6.1.2.1. Filtrasyon Sistemi Çalışma Prensibi

Sistemin kontrolü, PLC kontrol panosundan sağlanmaktadır. 3 adet filtrasyon tankı normal işletme şartında servis pozisyonundadır. Filtrelerin ters yıkama ve durulama işlemleri ise tam otomatik gerçekleşmektedir. Ters yıkama işlemini bitiren tank servis pozisyonuna yine otomatik olarak geçmektedir. Bu işlem, PLC grubunun bulunduğu kontrol panosundan kumanda alan, içinde solenoid vana grubunun bulunduğu kontrol panosu ve pnömatik aktüatörlü kelebek vanalar ile sağlanmaktadır.

Filtre tanklarının servis giriş-çıkış, ters yıkama giriş-çıkış, durulama çıkış ve hava giriş hatlarında aktüatörlü kelebek vanalar bulunmaktadır. Herbir tankın vana grubuna kumanda

eden lokal kontrol panosundaki solenoid valfler, PLC'den aldıkları sinyale göre vanalara yol vermekte ve tankların pozisyon değiştirmeleri sağlanmaktadır.

Filtrelerin ters yıkama ve durulama işlemleri, filtre besleme pompaları tarafından yapılmaktadır. Ters yıkama işlemi, PLC'de set edilen zaman aralığı inputla başlamaktadır. Her bir filtre tankı, PLC sisteminde set edilen zaman aralığına ulaştığında sırası ile ters yıkama işlemine başlamaktadır.

Sistemde servis pozisyonundaki herhangi bir filtrenin ters yıkaması gerekli görüldüğünde, ters yıkama işlemi operatör tarafından manuel olarak da başlatılabilmektedir. Bu işlem için ana kumanda panosu üzerindeki manuel ters yıkama butonlarından, ters yıkamaya alınmak istenilen filtre tankın butonuna basılması yeterlidir. Filtrelerin çalışma konumları (hangisinin servis veya ters yıkama konumunda olduğu) ana kontrol panosundaki durum lambalarından görülebilmektedir. Filtre besleme pompalarının start-stop konumları, hamsu ve ürün suyu depolarında bulunan seviye transmitterlerinden gelen inputlarla sağlanmaktadır. Pompaların seviye transmitterlerinden gelen inputa göre çalışma şartları aşağıda verilmiştir.

Besleme pompası stop konumuna geçtiğinde, filtrasyon sistemi stop konumunu almakta ve tüm vanalar kapalı konuma geçmektedir. Seviyeler, set değerlerini değiştirdiklerinde besleme pompası start konumuna geçmekte ve sistem otomatik olarak start konumunu almaktadır. Hamsu ve ürün suyu tanklarının min. ve max. su seviyeleri ana kumanda panosu üzerindeki durum lambalarından görülebilmektedir.

Filtrasyon sisteminde filtre tankı aşağıdaki durumlarda servis pozisyonundan yıkama pozisyonuna geçmektedir.

- Zamana bağlı otomatik olarak (PLC kontrol ünitesinde set edilen değere ulaşıldığında.)
- Manuel olarak (Kontrol panosu üzerindeki basma butonu yardımı ile) Filtre tankının çalışma pozisyonları şunlardır;

1) Filtre servis konumu

Servis konumunda servis giriş ve servis çıkış vanası açık, diğer vanalar kapalıdır. Ham su, servis giriş vanasından girerek tankın üst distribütör sisteminden filtre medyası üzerine

dağılmaktadır. Filtre medyası içinde aşağıya doğru hareket eden su, alt distribütör sisteminde toplanarak servis çıkış vanasından servis çıkış hattına geçmektedir.

2) Filtre ters yıkama konumu

Ters yıkama konumunda ters yıkama giriş ve ters yıkama çıkış vanaları açık, diğer vanalar kapalıdır. Ham su, ters yıkama giriş vanasından girerek tankın alt distribütör sisteminden medya malzemesine dağılmaktadır. Medya malzemesinin içerisinden yukarıya doğru hareket eden hamsu, tankın üst kısmındaki distribütör sisteminde toplanarak ters yıkama çıkış vanasından drenaja atılmaktadır.

3) Filtre durulama konumu

Ters yıkama işlemini tamamlayan filtre, yıkama işleminin son aşaması olan durulama işlemini gerçekleştirmektedir. Durulama konumunda servis giriş vanası ile durulama çıkış vanası açık, diğer vanalar kapalı konumdadır. Hamsu servis giriş vanasından girerek filtre medyası üzerine dağılmakta, medya malzemesinin içerisinde aşağıya doğru hareket ederek alttaki difüzörde toplanmaktadır. Durulama çıkış vanasından dışarı çıkan hamsu, drenaj kanalına atılmaktadır.

6.1.2.2. Multi Medya Kum Filtresi Teknik Özellikleri

Ters Osmoz sistemi öncesinde kullanılan multi medya kum filtresinin teknik özellikleri Tablo 6.4.' de verilmiştir.

Tablo 6.4. Birinci tesisteki multi medya kum filtresi teknik özellikleri

Tank gövde malzemesi	Kumlama sonrası Astar ve Epoksi Son Kat boyalı ST-37 Karbon Çelik
İşletme basıncı	5.0 bar.
Tank çapı	79 inç
Ters yıkama süresi	15-20 dk

6.1.3. Ters Osmoz Sistemi

6.1.3.1. Proses Tanımı

Bu sistem % 75 verimde 1400 m³/gün temiz su üretmek amacı ile dizayn edilen RO sisteminden oluşmaktadır. Tesiste 3 adet RO sistemi bulunmaktadır. Sistemin dizayn kriterleri Tablo 6.5.' de verilmektedir.

Tablo 6.5. Birinci tesisteki sistem dizayn kriterleri

RO Giriş Suyu Debisi	3 x 1.867 m ³ /gün
RO Ürün Suyu Debisi	3 x 1.400 m ³ /gün

6.1.3.1.1. Ön Arıtım

Filtre sisteminden çıkan su, RO ünitesine girmeden önce kimyasal ön arıtım işlemine tabi tutulmaktadır.

Ön arıtım işleminde antiskalant ve sodyummetabisülfid kimyasalları dozlanmaktadır.

Sodyummetabisülfid dozajı ile membranların hidrolizine neden olacak sudaki klor gibi oksidan maddelerin giderilmesi sağlanmaktadır. Aynı zamanda bakteriyolojik kirliliğe karşı kısmen etkili olan sodyummetabisülfid kimyasalı ile membranlar üzerinde oluşabilecek bakteriyel oluşum önlenmiş olmaktadır.

Antiskalant dozajı ile, RO membranlarının tıkanmasına sebep olabilecek silika, karbonat, bikarbonat ve metaloksitlerin çökelme limitleri yükseltilmekte, böylelikle iyonların membran yüzeyinde çökelmeden drenaja atılması sağlanmaktadır.

Ürün suyu hattına yapılan kostik dozajının amacı ise; ürün suyunda istenilen pH değerine ulaşabilmek içindir.

6.1.3.1.2. Ters Osmoz (RO) Ünitesi

1. Filtrasyon işleminden geçirilmiş olan ham su 5 mikron filtrasyon hassasiyetine sahip kartuş filtreden geçmektedir. 5 mikronluk kartuş ile filtrasyon, RO membranlarının ve yüksek basınç pompasının korunması için uygulanan bir tedbirdir.
2. YBP emişinde pompanın kuru çalışmasını engellemek amacıyla bir alçak basınç şalteri mevcuttur. Aynı zamanda pompa çıkışında mevcut bir yüksek basınç şalteri pompanın aşırı basınç ile çalışması durumuna karşı koruma sağlamaktadır.
3. İstenilen özelliklere getirilmiş olan ham su RO membranlarına basılmaktadır. Yüksek basınç yardımı ile membranlarda doğal osmoz olayının tersi gerçekleştirilerek yüksek iletkenlikteki ham su membranlardan geçirilip düşük iletkenlikte ürün suyu elde edilmektedir.
4. Ön arıtması yapılan hamsu RO membranlarına yaklaşık $3 \times 77.8 \text{ m}^3 / \text{h}$ debi ile beslenmektedir. % 75 verim ile çalışan RO ünitesi ile yaklaşık $3 \times 58.3 \text{ m}^3 / \text{h}$ debili ürün suyu elde edilmektedir. Drenaja atılan atıksu ise yaklaşık $3 \times 19.5 \text{ m}^3 / \text{h}$ debidedir.

6.1.3.1.3. Membran Yıkama Ünitesi

Belirli zaman aralıklarında oluşabilecek membran tıkanmasına karşı membranları yıkamak üzere dizayn edilmiştir. Yıkama yapılması gerektiğinde bu ünite RO sisteminin yanına getirildikten sonra, membran yıkama ünitesindeki yıkama pompasının trifaze fişi pano üzerindeki trifaze prize takılır. Yıkama işlemi operatör veya teknik servis tarafından gerçekleştirilir. Yıkama esnasında, RO ünitesi (hat) devre dışı bırakılmak zorundadır. Operatör panel üzerinden yıkama ekranında devre dışı bırakılan hattı seçilebilmektedir.

6.1.3.2. Veri Kaydetme

RO ünitesinin sağlıklı çalışıp çalışmadığının değerlendirilebilmesi için, gerekli tüm verilerin toplanması, kaydedilmesi ve dosyalanması gereklidir.

Tablo 6.6.' da parametrelerin kontrol sıklığı ile ilgili bilgiler verilmiştir.

Tablo 6.6. Verilerin kontrol sıklığı

Parametre	Her vardiya	Haftalık	Aylık
RO ünitesi	X		
Kartuş Giriş Basınç	X		
Kartuş Çıkış Basınç	X		
Pompa Çıkış Basınç	X		
1. Kademe Giriş Basınç	X		
2 Kademe Arası Basınç	X		
Atık Su Çıkış Basınç	X		
Debi Ürün suyu	X		
Debi Atıksu	X		
Giriş İletkenlik	X		
Ürün Suyu İletkenlik	X		
Sıcaklık	X		
Her kademedeki basınç kaybı	X		
Toplam basınç kaybı	X		
Kimyasal su analizi		X	
Giriş		X	
Ürün suyu			
Atık su			X
Verim	X		
Kimyasal sarfiyatları		X	

6.2. İKİNCİ TESİS İNCELEMESİ (BİR BOYA VE APRE TESİSİNE AİT TERS OSMOZ SİSTEMİ)

6.2.1. Proses Tanımı

Hamsu, hamsu deposu girişinde klorlanarak mevcut olan demir, bakır ve organik maddelerin oksidasyonu sağlanmaktadır. Mevcut filtrasyon sisteminden geçirilen ve klorlanan hamsu 2 adet hamsu deposunda toplanmaktadır.

Hamsu deposundan sistem besleme pompaları ile çekilen filtrelenmiş su buradan 1 adet aktif karbon filtreden geçirilmekte ve suda bulunan askıda katı madde, tortu ve bulanıklığın giderilmesi sağlanmaktadır. Aynı zamanda dozlanan aktif klorun fazlasının ters osmoz sistemi girişinde tutulması sağlanmaktadır.

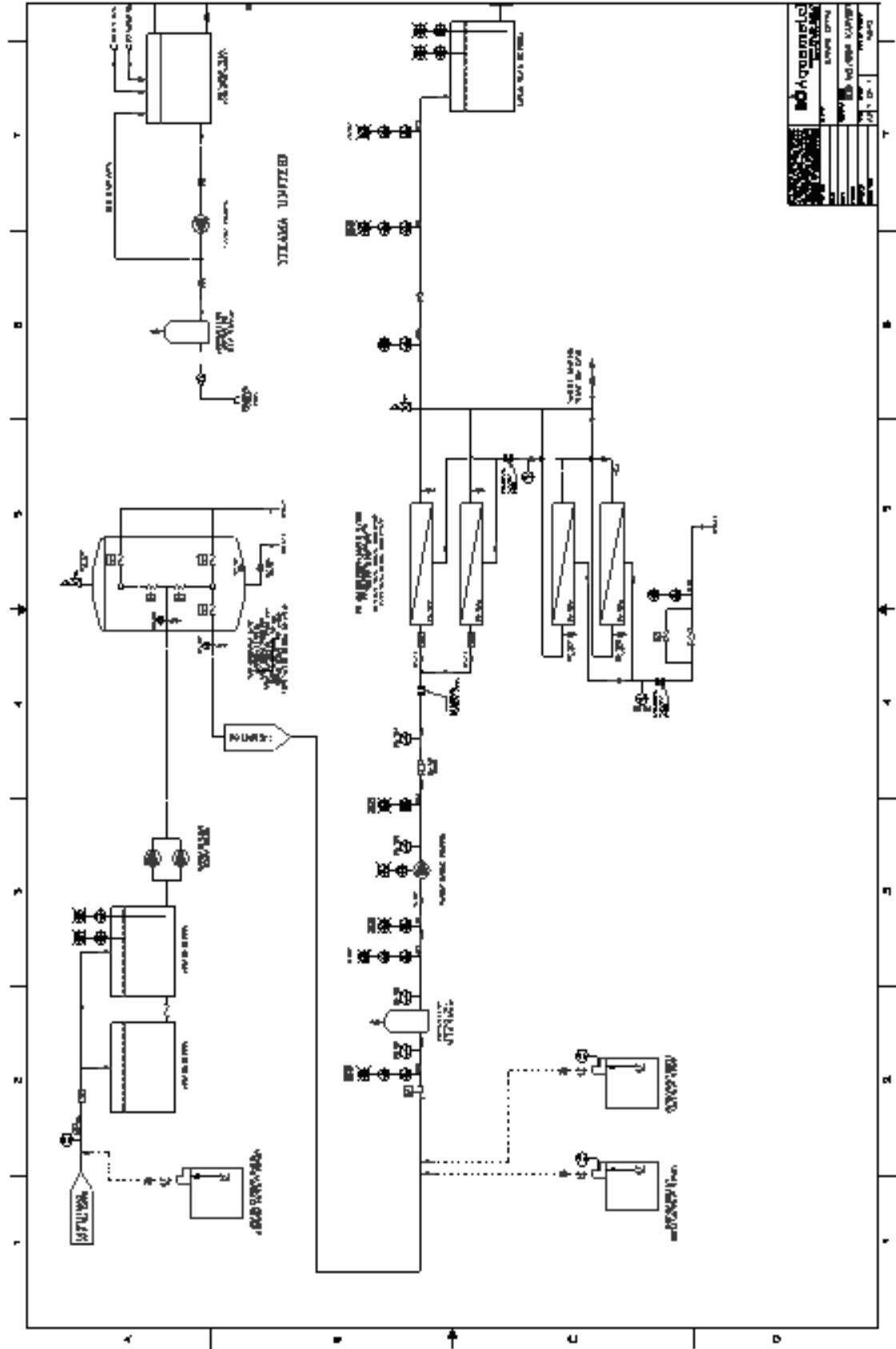
Aktif karbon filtreden geçirilen hamsuya ters osmoz sistemi girişinde sodyummetabisülfid, antiskalant ve kostik kimyasalları dozlanmakta daha sonra 5 mikronluk kartuş filtreden geçirilmektedir. Bu şekilde fiziksel ve kimyasal ön arıtımı yapılan ham su RO ünitesine beslenmektedir.

Ters osmoz membranlarında yüksek basınç yardımı ile doğal osmoz olayının tersi gerçekleştirilmekte ve yüksek iletkenlikteki ham sudan düşük iletkenlikte ürün suyu elde edilmektedir.

Ters osmoz membranlarının özelliğinden dolayı pH değeri düşen ürün suyuna, RO çıkışında kontrollü olarak kostik dozlanmaktadır. RO ürün suyu, proseste kullanılmak üzere temizsu deposunda toplanmaktadır. Sistemin akış diyagramı Şekil 6.2.'de verilmiştir.

6.2.2. Aktif Karbon Filtre İle Filtrasyon

Mevcut filtrasyon ünitesinden geçen ve depo öncesi klorlanan filtrelenmiş su, aktif karbon filtreden geçirilerek ters osmoz sistemine beslenmektedir. Filtre içindeki aktif karbon medyası sayesinde ham sudaki organik maddelerden kaynaklanan renk, tat ve koku gideriminin yanında bakiye aktif klor adsorbe edilmekte ve suyun organik arıtımı gerçekleştirilmektedir.



Şekil 6.2. İkinci tesise ait akış diyagramı

6.2.2.1 Aktif Karbon Filtre Teknik Bilgileri

FRP (Fiberglass takviyeli polipropilen) malzemeden imal edilmiş, 63 inç çaplı filtre tanklarının işletme basıncı ise 2-8 bar 'dır (Maksimum 8 bar.). Aktif karbon tankının konum değiştirme işlemi otomatik olarak gerçekleşmektedir. Aktif karbon filtresine gerektiğinde manuel olarak da müdahale etmek mümkündür. Pano üzerindeki basma butonu ile filtre istenildiği zaman manuel olarak da ters yıkamaya alınabilmektedir.

Filtre tankının alt tabakasında laterali kapatacak kadar çakıl, daha üst tabakada ise aktif karbon bulunmaktadır. Granül haldeki aktif karbon medyası yapısında çok küçük gözenekler içerir. Bu gözenekler, aktif karbon çevresinden geçen su içindeki organik maddelerin "adsorbsiyon" özelliği ile tutulmasını sağlamaktadır. Filtrenin periyodik olarak ters yıkama işleminde ise bu gözeneklerin temizliği sağlanmaktadır. Belirli bir süre sonra ters yıkama ile bu gözenekler açılmaz duruma gelmektedir. (Bu süre işletme şartlarına ve hamsu karakterine göre değişmektedir.) Bu durumda aktif karbon medyasının yenilenmesi gerekir. Aktif karbon ömrü 6 ay ile 2 yıl arasında değişmektedir.

Aktif karbon filtre dizayn bilgileri Tablo 6.7.'de verilmiştir.

Tablo 6.7. İkinci tesisteki aktif karbon filtre dizayn bilgileri

Debi	811 m ³ /gün
Filtrasyon kesit hızı	16 m/h
Tank gövde cinsi	FRP
İşletme basıncı	2-8 bar

6.2.2.2. Aktif karbon Filtre Çalışma Esasları

6.2.2.2.1. Ters Yıkama İşlemi

Normalde filtre servis konumundadır. Servis konumunda, servis giriş ve servis çıkış vanaları açık, diğer vanalar kapalıdır. Ham su servis giriş vanasından girerek tankın üst kısmındaki lateralden medya yatağı üzerine dağılır. Medya yatağı içerisinde aşağıya doğru hareket eden su, alt lateralde toplanarak servis çıkış vanasından dışarı çıkar.

Ters yıkama konumunda, ters yıkama giriş ve ters yıkama çıkış vanaları açık, diğer vanalar kapalıdır. Ham su ters yıkama giriş vanasından girer. Alt lateralden medya yatağının altından giren su, medya yatağında yukarıya doğru hareket ederek tankın üst kısmındaki lateralde toplanır ve ters yıkama çıkış vanasından drenaja atılır. Ters yıkama süresi 10 dk.'dır. Ancak bu süre hamsu kirlilik yüküne bağlı olarak işletme şartlarında değiştirilebilmektedir.

6.2.2.2.2. Filtre Durulama Konumu

Durulama konumunda çok yollu kontrol vanası üzerindeki servis giriş vanası ile durulama çıkış vanası açık, diğer vanalar kapalıdır. Ham su servis giriş vanasından girerek tankın üst lateralinden filtre medyası üzerine dağılır. Medya malzemesinin içerisinde aşağıya doğru hareket eden su, alt lateralde toplanarak durulama çıkış vanasından dışarı çıkar ve drenaja atılır. Durulama süresi 5 dk. dir.

6.2.2.3. Aktif Karbon Filtrenin Devreye Alınması

Aktif karbon filtre ilk devreye alınışında tank içine yerleştirilen granüler aktif karbon su ile doldurulur ve belirli bir süre bekletildikten sonra ters yıkama ve durulama işlemleri yapılır. Ters yıkama çıkış suyu drenaj hattından sürekli gözlenir. İlk ters yıkamada oldukça kirli siyah renkte su atılmaktadır. Ters yıkama işleminden sonra filtre durulama yapılarak işletmeye alınır.

Granüler aktif karbonda oluşabilecek mikrobiyolojik üremenin sürekli kontrol altında tutulması gerekmektedir. Bunun için filtrenin giriş-çıkış basınçları kontrol edilmeli ve periyodik olarak çıkış suyunda bakteri sayımı yapılmalıdır.

6.2.3. Ters Osmoz Sistemi

6.2.3.1. Dizayn Kriterleri

Ters osmoz ünitesi yaklaşık % 74 verimde 600 m³/gün temiz su üretmektedir. Sistemin dizayn kriterleri Tablo 6.8.'de verilmektedir. Ters osmoz sistemi ile arıtımı yapılan suya ait hamsu parametreleri ise Tablo 6.9.'da verilmiştir.

Tablo 6.8. İkinci tesisteki ters osmoz sistemi dizayn kriterleri

RO giriş suyu debisi	811 m ³ /gün.
RO ürün suyu debisi	600 m ³ /gün.
RO ünitesinin yaklaşık verimi	% 74
Dizayn su sıcaklığı	20 °C

Tablo 6.9. İkinci tesisteki hamsu özellikleri

PARAMETRE	BİRİM	KUYU SUYU
Bulanıklık	FTU	6
Toplam çözünmüş madde	Mg/lt	620
Toplam sertlik	Fr.	44
Potasyum	ppm	1,5
Mangan	ppm	0,017
Sülfat	ppm	95
Nitrit	ppm	<0,01
Amonyak	ppm	<0,01
Organik madde	ppm	0,51
Nitrat	ppm	9,24
Klorür	ppm	165
Bikarbonat	ppm	309
Sodyum	ppm	208
Toplam demir	ppm	0,4
AKM	ppm	13
Renk	Pt-Co	17
Toplam silika	Ppm	15,5
pH		6,7

Ters osmoz ünitesine ait ürün suyu değerleri Tablo 6.10.' da gösterilmiştir.

Tablo 6.10. İkinci tesisteki ters osmoz ünitesi ürün suyu özellikleri

PARAMETRE	Ürün Suyu
Sodyum	< 8 mg/lt
Amonyak	Yok
CO ₃	0,05 mg/lt
Bikarbonat	< 10 mg/lt
Sülfat	< 2 mg/lt
Klorür	< 3 mg/lt
Nitrat	< 3 mg/lt
Silika	< 1 mg/lt
Toplam sertlik	< 1 Fr.
Toplam çözünmüş madde	< 20 mg/lt
pH	6

6.2.3.2. Proses Tanımı

6.2.3.2.1. Ön Arıtım

1. Aktif karbon filtreden geçirilen hamsu, RO ünitesine girmeden önce kimyasal ön arıtım işlemine tabi tutulmaktadır.
2. Ön arıtım işleminde antiskalant, sodyummetabisülfid ve kostik kimyasalları dozlanmaktadır.
3. Sodyummetabisülfid dozajı ile membranların hidrolizine neden olacak sudaki klor gibi oksidan maddelerin giderilmesi sağlanmaktadır. Aynı zamanda bakteriyolojik kirliliğe karşı kısmen etkili olan sodyummetabisülfid kimyasalı ile membranlar üzerinde oluşabilecek bakteriyel oluşum önlenmiş olmaktadır.
4. Antiskalant dozajı ile, RO membranlarının tıkanmasına sebep olabilecek silika, karbonat, bikarbonat ve metaloksitlerin çökelme limitleri yükseltilmekte, böylelikle iyonların membran yüzeyinde çökmeden drenaja atılması sağlanmaktadır. Antiskalant dozajı, membran performansını direkt etkileyen bir faktördür. Bu şekilde membranların daha

uzun ömürlü çalışması sağlanmaktadır. Kostik dozajı ise hamsuyun pH değerinin yükselmesini sağlamaktadır.

6.2.3.2.2. Ters Osmoz (RO) Ünitesi

1. Kimyasal ön arıtmaya tabi tutulmuş olan ham su 30 inç, 5 mikron filtrasyon hassasiyetine sahip kartuş filtreden geçmektedir. 5 mikronluk kartuş ile filtrasyon, RO membranlarının ve yüksek basınç pompasının korunması için uygulanan bir tedbirdir.
2. YBP emişinde pompanın kuru çalışmasını engellemek amacıyla bir alçak basınç şalteri mevcuttur. Aynı zamanda pompa çıkışında mevcut bir yüksek basınç şalteri pompanın aşırı basınç ile çalışması durumuna karşı koruma sağlamaktadır.
3. İstenilen özelliklere getirilmiş olan ham su, RO membranlarına basılmaktadır. Yüksek basınç yardımı ile membranlarda doğal osmoz olayının tersi gerçekleştirilerek yüksek iletkenlikteki ham su membranlardan geçirilip düşük iletkenlikte ürün suyu elde edilmektedir.
4. Ön arıtması yapılan hamsu RO membranlarına yaklaşık 34 m³/h debi ile beslenmektedir. % 74 verim ile çalışan RO ünitesi ile 25 m³/h debili ürün suyu elde edilmektedir. Drenaja atılan atıksu ise yaklaşık 9 m³/h debidedir.
5. Ters osmoz membranlarının özelliğinden dolayı ürün suyunun pH'ı ham suya oranla düşük olmaktadır. Ürün suyu hattına pH kontrollü olarak kostik dozlanarak pH değeri istenilen değere yükseltilmektedir.

6.2.3.2.3. Membran Yıkama Ünitesi

Belirli zaman aralıklarında oluşabilecek membran tıkanmasına karşı membranları yıkamak üzere dizayn edilmiştir. 1 adet 1200 lt'lik kimyasal çözelti tankı ve 1 adet 4 kw 18 m³/h yıkama pompası ile 20 inç 5 mikron kartuş filtre ve in line akış ölçerden oluşmaktadır.

6.3. ÜÇÜNCÜ TESİS İNCELEMESİ (BİR BOYA VE APRE TESİSİNE AİT TERS OSMOZ SİSTEMİ)

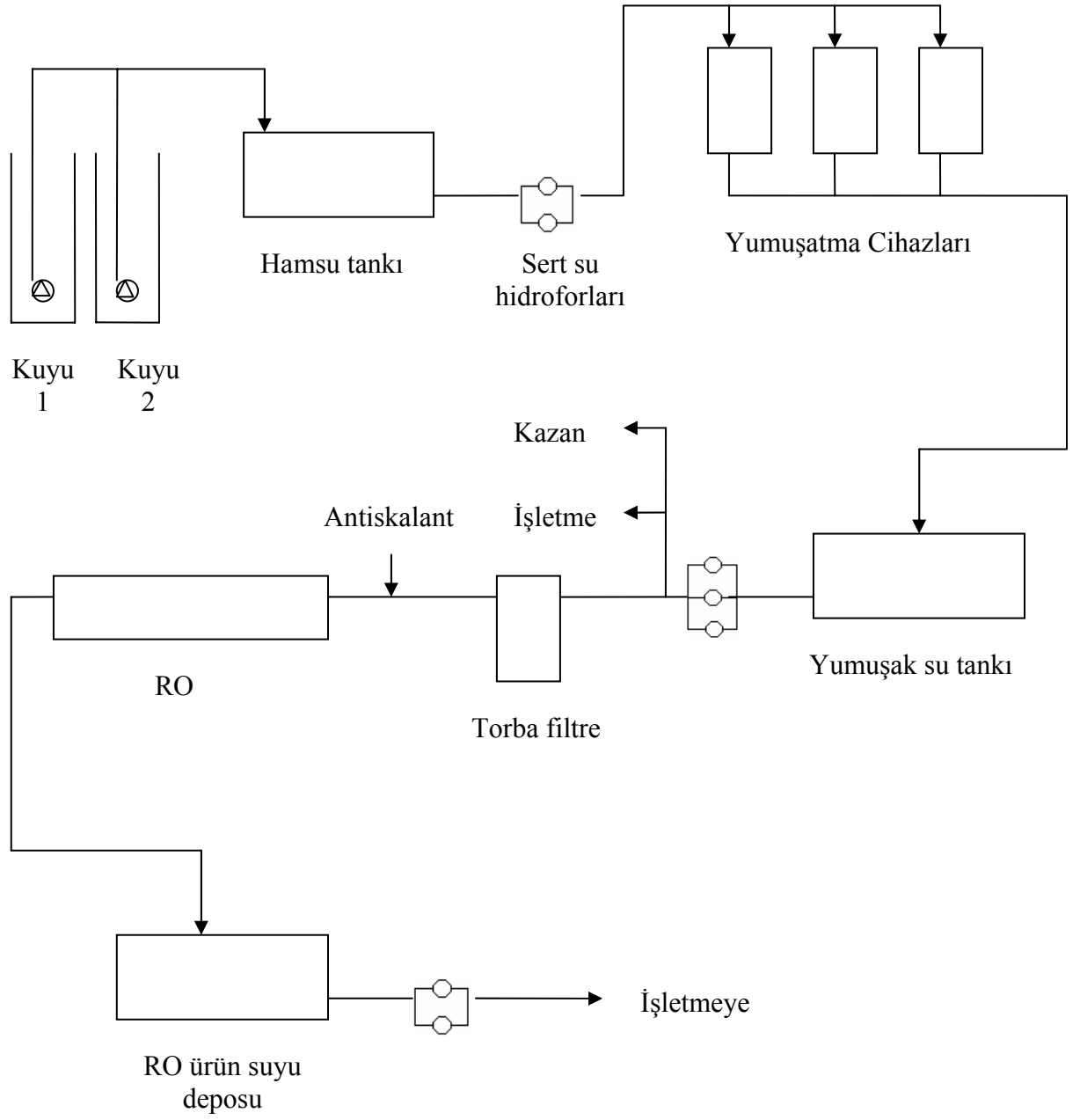
6.3.1. Proses Tanımı

İki adet kuyudan elde edilen hamsu 750 m^3 'lük betonarme hamsu tankında toplanmaktadır. Buradan su sert su hidroforları ile yumuşatma cihazlarına iletilmektedir. Sistemde toplam $1000 \text{ m}^3/\text{gün}$ 'lük kapasitede 3 adet yumuşatma cihazı bulunmaktadır. Yumuşatma cihazından geçirilen su 750 m^3 'lük yumuşak su tankında toplanmaktadır. Yumuşak su tankı çıkışında suyun bir kısmı işletme içinde, bir kısmı kazan suyu olarak kullanılmakta, büyük bir kısmı ise 25 mikronluk torba filtreden geçirilmektedir. Filtrelenmiş su ters osmoz sistemine iletilmeden önce antiskalant dozlanmaktadır. Bu şekilde ön arıtımı yapılmış olan hamsu RO ünitesine beslenmektedir. RO sisteminden sonra ürün suyu proseste kullanılmak üzere 300 m^3 'lük RO ürün suyu deposunda toplanmakta ve buradan işletmeye verilmektedir. Sistemin akış diyagramı Şekil 6.3.'de gösterilmiştir.

6.3.2. Torba Filtre Teknik Özellikleri

Sistemde paslanmaz çelik filtre gövdesine sahip 25 mikronluk torba filtre bulunmaktadır. Kullanılan torba filtrenin max. debisi $50 \text{ m}^3 / \text{saat}$, yüzey alanı 4500 cm^2 , yüksekliği 1165 mm, genişliği ise 220 mm'dir. Filtrasyon sisteminde polipropilen torbalar kullanılmaktadır.

Sıvı akışı torba filtrenin içinden dışına doğru olmaktadır. Filtre destek sepeti ve filtre torbası kapak kısmında yuvalara oturur ve kapağın kapatılması ile sıkıştırarak sızdırmazlık sağlanır. Tutulan pislik, torba filtrenin içinde kalır. Filtre gövdesinin temizlenmesine gerek kalmaz



Şekil 6.3. Üçüncü tesise ait akış diyagramı

6.3.3. Ters Osmoz Sistemi

6.3.3.1. Dizayn Kriterleri

Ters osmoz ünitesi yaklaşık % 70 verimde 550 m³/gün temiz su üretmektedir. Sistemin dizayn kriterleri Tablo 6.11.' de verilmektedir. Ters osmoz sistemi ile arıtımı yapılan suya ait hamsu parametreleri ise Tablo 6.12.' de verilmiştir.

Tablo 6.11. Üçüncü tesisteki ters osmoz sistemi dizayn kriterleri

RO giriş suyu debisi	786 m ³ /gün.
RO ürün suyu debisi	550 m ³ /gün.
RO ünitesinin yaklaşık verimi	% 70
Dizayn su sıcaklığı	20 °C

Tablo 6.12. Üçüncü tesisteki hamsu özellikleri

PARAMETRE	BİRİM	KUYU SUYU
Bulanıklık	FTU	3
Toplam çözünmüş madde	mg/l	230
Toplam sertlik	Fr.	< 1
Potasyum	ppm	0,2
Mangan	ppm	0,001
Sülfat	ppm	31
Nitrit	ppm	Yok
Amonyak	ppm	Yok
Organik madde	ppm	Yok
Nitrat	ppm	3
Klorür	ppm	67
Bikarbonat	ppm	150
Toplam demir	ppm	0,03
AKM	ppm	3
Renk	Pt-Co	Yok
Toplam silika	ppm	30
pH		7,78

Ters osmoz ünitesine ait ürün suyu değerleri Tablo 6.13' de gösterilmiştir.

Tablo 6.13. Üçüncü tesisteki ters osmoz ünitesi ürün suyu özellikleri

PARAMETRE	Ürün Suyu
Bulanıklık	Yok
Toplam çözünmüş madde	11 mg/lt
Toplam sertlik	0 Fr.
Sülfat	0,5 mg/lt
Nitrit	Yok
Amonyak	Yok
Nitrat	< 1 mg/lt
Klorür	< 1 mg/lt
Bikarbonat	2 mg/lt
Sodyum	< 1 mg/lt
Toplam demir	Yok
AKM	Yok
Renk	Yok
Toplam silika	< 1 mg/lt
pH	6,7

6.3.3.2. Ters Osmoz (RO) Ünitesi

Yumuşatma sisteminden geçirilmiş olan hamsu 25 mikron filtrasyon hassasiyetine sahip torba filtreden geçmektedir. 25 mikronluk torba filtre ile filtrasyon, RO membranlarının ve yüksek basınç pompasının korunması için uygulanan bir tedbirdir. Sistemde alçak ve yüksek basınç şalterleri mevcuttur. İstenilen özelliklere getirilmiş olan ham su RO membranlarına basılmaktadır. Yüksek iletkenlikteki ham su membranlardan geçirilip düşük iletkenlikte ürün suyu elde edilmektedir.

Ön arıtması yapılan hamsu RO membranlarına yaklaşık 33 m³ /h debi ile beslenmektedir. % 70 verim ile çalışan RO ünitesi ile 23 m³ /h debili ürün suyu elde edilmektedir. Drenaja atılan atıksu ise yaklaşık 10 m³ /h debidedir.

6.4. DÖRDÜNCÜ TESİS İNCELEMESİ (BİR BOYA VE APRE TESİSİNE AİT TERS OSMOZ SİSTEMİ)

6.4.1. Proses Tanımı

Bir adet kuyudan elde edilen hamsu 200 m^3 'lük hamsu tankında toplanmaktadır. Buradan hidroforlar ile filtrasyon sistemine iletilmektedir. Filtrasyon için iki adet kum filtresi kullanılmaktadır. Kum filtrelerinden geçirilen su 200 m^3 'lük filtrelenmiş su tankında toplanmaktadır. Tank çıkışında su hidroforlar ile 25 mikronluk dört adet torba filtreye iletilmektedir. Filtrelenmiş su Ters Osmoz sistemine iletilmeden önce antiskalant dozlanmaktadır. Bu şekilde ön arıtımı yapılmış olan hamsu RO ünitesine beslenmektedir. RO sistemi çıkışında gerektiğinde kostik dozajı ile pH yaklaşık 7 olacak şekilde pH dengelemesi yapılmakta ve sonrasında ürün suyu proseste kullanılmak üzere 100 m^3 'lük RO ürün suyu deposunda toplanmaktadır. Buradan da hidroforlar ile işletmeye verilmektedir. Sistemin akış diyagramı Şekil 6.4.'de gösterilmiştir.

6.4.2. Torba Filtre Teknik Özellikleri

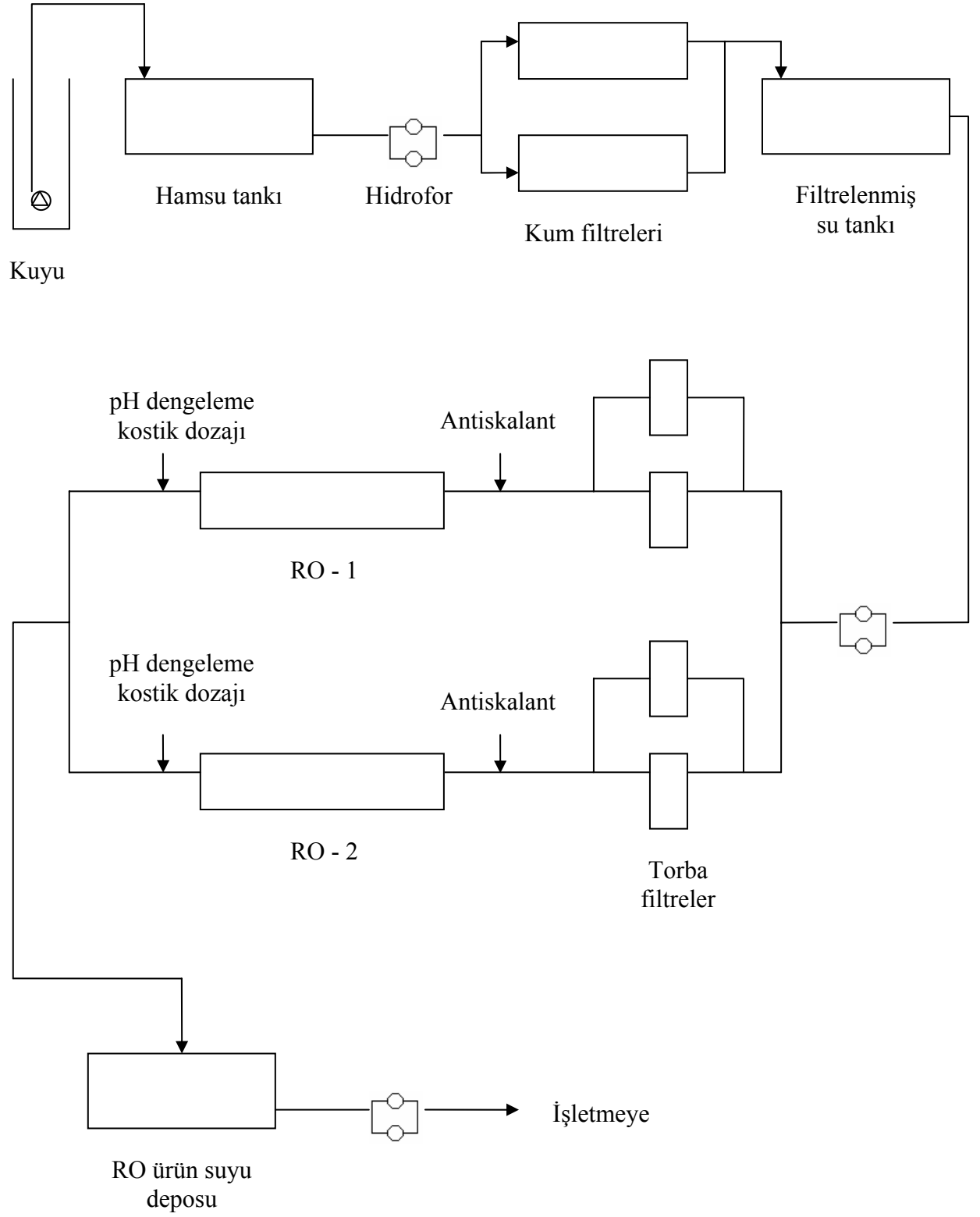
Sistemde paslanmaz çelik filtre gövdesine sahip 25 mikronluk 4 adet torba filtre bulunmaktadır. Kullanılan torba filtrelerin her birinin max. debisi $50 \text{ m}^3 / \text{saat}$, yüzey alanı 4500 cm^2 , yüksekliği 1165 mm, genişliği ise 220 mm 'dir. Filtrasyon sisteminde polipropilen torbalar kullanılmaktadır.

Sıvı akışı torba filtrelerin içinden dışına doğru olmaktadır. Filtre destek sepeti ve filtre torbası kapak kısmında yuvalara oturur ve kapağın kapatılması ile sıkıştırarak sızdırmazlık sağlanır. Tutulan pislik, torba filtrelerin içinde kalır. Filtre gövdesinin temizlenmesine gerek kalmaz.

6.4.3. Ters Osmoz Sistemi

6.4.3.1. Dizayn Kriterleri

Ters osmoz ünitesi yaklaşık % 75 verimde $1200 \text{ m}^3/\text{gün}$ temiz su üretmektedir. Tesiste iki adet RO ünitesi bulunmaktadır. Sistemin dizayn kriterleri Tablo 6.14.'de verilmektedir.



Şekil 6.4. Dördüncü tesise ait akış diyagramı

Tablo 6.14. Dördüncü tesisteki ters osmoz sistemi dizayn kriterleri

RO giriş suyu debisi	2 x 1600 m ³ /gün.
RO ürün suyu debisi	2 x 1200 m ³ /gün.
RO ünitesinin yaklaşık verimi	% 75
Dizayn su sıcaklığı	18 °C

Ters osmoz sistemi ile arıtımı yapılan suya ait hamsu parametreleri Tablo 6.15.' de verilmiştir.

Tablo 6.15. Dördüncü tesisteki hamsu özellikleri

PARAMETRE	BİRİM	KUYU SUYU
Bulanıklık	FTU	4
Toplam çözünmüş madde	mg/lt	510
Toplam sertlik	Fr.	20
Potasyum	ppm	5
Mangan	ppm	0,04
Sülfat	ppm	10
Nitrit	ppm	0
Amonyak	ppm	yok
Organik madde	ppm	yok
Nitrat	ppm	5
Klorür	ppm	85
Bikarbonat	ppm	244
Sodyum	ppm	59
Toplam demir	ppm	0,04
AKM	ppm	< 3
Renk	Pt-Co	yok
Toplam silika	ppm	36,81
pH		7,7
Su sıcaklığı	°C	18

Ters osmoz ünitesine ait ürün suyu değerleri ise Tablo 6.16.' da gösterilmiştir.

Tablo 6.16. Dördüncü tesisteki ters osmoz ünitesi ürün suyu özellikleri

PARAMETRE	Ürün Suyu
Sodyum	< 3 mg/l
Amonyak	yok
CO ₃	-
Bikarbonat	5 mg/l
Sülfat	< 1 mg/l
Klorür	< 1 mg/l
Nitrat	< 1 mg/l
Silika	< 1 mg/l
Toplam sertlik	0,5 Fr.
Toplam çözünmüş madde	< 12 mg/l
pH	6,2

6.4.3.2. Ters Osmoz (RO) Ünitesi

Filtrasyon sisteminden geçirilmiş olan hamsu 25 mikron filtrasyon hassasiyetine sahip torba filtreden geçmektedir. 25 mikronluk torba filtre ile filtrasyon, RO membranlarının ve yüksek basınç pompasının korunması için uygulanan bir tedbirdir. Sistemde alçak ve yüksek basınç şalterleri mevcuttur.

İstenilen özelliklere getirilmiş olan ham su RO membranlarına basılmaktadır. Yüksek iletkenlikteki ham su membranlardan geçirilip düşük iletkenlikte ürün suyu elde edilmektedir.

Ön arıtması yapılan hamsu RO membranlarına yaklaşık 2 x 66,7 m³ /h debi ile beslenmektedir. % 75 verim ile çalışan RO ünitesi ile 2 x 50 m³ /h debili ürün suyu elde edilmektedir. Drenaja atılan atıksu ise yaklaşık 2 x 16,7 m³ /h debidedir.

Ters osmoz membranlarının özelliğinden dolayı ürün suyunun pH'ı ham suya oranla düşük olmaktadır. Ürün suyu hattına pH kontrollü olarak kostik dozlanarak pH değeri istenilen değere yükseltilmektedir.

6.5. DÖRDÜNCÜ TESİSE AİT PROSES SUYU ARITIMI İÇİN DEMİNERALİZASYON SİSTEMİNİN UYGULANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Bir katı maddenin etrafındaki sıvıdan belirli iyonları alıp, buna karşılık ekivalent miktarda diğer iyonları sıvıya vermesi esasına dayanan fizikokimyasal olaya iyon değişimi denir. Bu işlem için reçineler kullanılır. Proses suyunun, iyon değiştirici reçine yatağından geçirilmesi ile, iyon muhteviyatı giderilir.

Su yumuşatma sistemleri suyun yalnızca sertliğini gidermektedirler. Yumuşatma cihazından çıkan suda kalsiyum ve magnezyum giderilmiş olur. Boyama işlemi için çok önemli olan diğer bikarbonat, klorür, silika gibi iyonlar suda mevcut olmaya devam edeceğinden proses suyunun arıtımında yumuşatma sistemleri yeterli olmamaktadır. Bu nedenle proses suyu arıtımı için ters osmoz sistemi ile karşılaştırmada demineralizasyon sistemi düşünülmektedir. Ters osmoz sistemi ile demineralizasyon sistemi karşılaştırması Tablo 6.17.' de görülmektedir.

Ters osmoz sistemlerinde olduğu gibi ön arıtım demineralizasyon sistemleri için de önemlidir. Ön arıtımı iyi yapılmamış bir suyun demineralizasyon sistemine verilmesi iyon değiştirici reçinelerin bozulmasına ve reçinelerde kirlilik oluşumuna neden olabilir ve kötü verim ortaya çıkar. Bu nedenle ters osmoz sistemi yerine uygulanan demineralizasyon sistemi öncesinde uygulanan ön arıtım işlemlerinde bir değişiklik düşünülmemiştir.

Demineralizasyon ünitesi iki kolondan oluşmaktadır. Birinci kolonda katyonik reçine bulunmakta ve pozitif yüklü iyonlar uzaklaştırılmaktadır. İkinci kolonda ise anyonik reçine bulunmakta ve çözeltideki negatif iyonlar tasfiye edilmektedir.

Tablo 6.17. Ters osmoz ve demineralizasyon sistemi karşılaştırması

	Demineralizasyon Sistemleri	Ters Osmoz Sistemleri
İşletme	Rejenerasyon işlemi nedeniyle yedekli çalışır.	Sürekli su sağlar
İlk Yatırım Maliyeti	Demi sistemi için RO ile aynı	Demineralizasyon sistemi ile aynı
Sarf Malzeme	Reçine	Kartuş filtre, membran
Enerji Maliyeti	Düşük	Yüksek
Sistem Verimi	% 95	% 70 – 85
Kimyasal Kullanımı	Hidroklorik asit, sodyum hidroksit (rejenerasyon ve nötralizasyon amacıyla)	Antiskalant ve/veya asit, sodyum bisülfıt
İşletme Maliyeti	0,30 – 1,00 USD/m ³	0,20 – 0,30 USD/m ³
Atıksu Oluşumu	Miktar az (ürün debisinin %5'i)	Miktar yüksek (ürün debisinin %30'u)
Atıksu Deşarjı	Nötralizasyon sonrasında atıksu şebeke hattına verilir.	Direkt atıksu şebeke hattına verilir.
İşletme Kolaylığı	Yoğun kontrol ihtiyacı	Rutin kontrol ve koruyucu bakım ihtiyacı

Boya ve apre tesisi proses suyu için boyutlandırılan demineralizasyon sistemi katyon değiştirici miktarı 2375 l ve anyon değiştirici miktarı 5350 l' dir. Sistemin işletme miktarı 50 m³/s ve aralıksız çalışma süresi 8 saattir. Boya ve apre tesisinin günlük su ihtiyacı düşünüldüğünde 3 adet demineralizasyon sistemi kullanılmaktadır.

Demineralizasyon sisteminde kullanılan katyon ve anyon değiştirici reçineler bir süre sonra doygunluğa ulaşır. Bu durum çıkış suyundaki iletkenlik değerinden anlaşılabılır. Bu nedenle belirli aralıklarla rejenerasyon yapılmaktadır. Katyon değiştirici reçinenin rejenerasyonunda %30' luk HCl kullanılmaktadır. Anyon değiştirici reçinenin rejenerasyonunda ise %50' lik NaOH kullanılmaktadır. Sistemlerde 8 saatte bir rejenerasyon yapılmaktadır. Katyon değiştiricide bir rejenerasyon işleminde kullanılan HCl miktarı 199 kg ve anyon değiştiricide bir rejenerasyon işleminde kullanılan NaOH miktarı 428 kg'dır.

Demineralizasyon sistemin çıkışındaki suyun iletkenlik değeri 10 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ' dir. Bu kalitedeki proses suyunun boya ve apre tesisinde kullanılması uygundur. Ters osmoz sistemi ile elde edilen 12 mg/l toplam çözünmüş madde değerinin yaklaşık olarak 18 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ' e karşılık geldiği düşünüldüğünde deminereliazasyon sistemi ile elde edilen iletkenlik değeri, ters osmoz sistemi ile elde edilen değerden daha düşük olmaktadır.

7. ARAŞTIRILAN TESİSLERDEN ELDE EDİLEN BİLGİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Tekirdağ merkezine 38 km uzaklıkta olan Çorlu, Ergene havzasında ve Trakya'nın merkezi bir yerinde, plato yüzeyinin üzerindeki düzlükte yer alır. Çorlu Yıldız (Istranca) Dağlarından aşınan ve akarsulardan sürüklenen tortuların depolandığı bir dolgu bölgesidir. Çorlu'da en fazla ince elemanlardan meydana gelen kalkersiz kahverengi topraklar yaygındır. Kalınlığı yer yer 30-40 cm'yi bulmaktadır. Çorlu deresinin güneyinde yer alan bölümlerde ise alüvyal topraklar bulunmaktadır.

Trakya'nın ikinci büyük yeraltı sularına sahip bir bölgesidir. Bir çanak gibi üstü kum çakıl olan arazi, bir süzgeç gibi yağın kar ve yağmur sularını yeraltına geçirir. Bu durum kirlilik açısından da tehlike arz etmektedir. Çöp atıklarının, sanayi atıklarının sızıntıları da bu yeraltı sularına karışmaktadır.

Bölgede 350 civarında tekstil fabrikası bulunmaktadır. Bölgedeki endüstrilerin günlük toplam su ihtiyacı 90.000 m³/gün' ü bulmaktadır. Bu miktar yeraltı suyunun kullanılmasıyla karşılanmaktadır.

Kuyu suyu parametreleri, mevsimlere göre, havanın yağışlı ya da kurak olmasına, bölgeler arasındaki havza farklılıklarına ve bölgenin toprak özelliklerine göre değişiklik gösterebilir.

7.1. İncelenen Dört Tesise Ait Sistemlerdeki Problemler

Tekstil endüstrisi proses suyu arıtımında kullanılan membran sistemlerinde yaşanan problemler ortak olarak üç parametredeki değişimler ile izlenir. Bunlar;

1. Basınçlar
2. Debiler
3. İletkenlik

Bu parametrelerdeki değişimler izlenerek, mevcut problemler tespit edilebileceği gibi geri dönüşü olmayan daha büyük sorunların da ortaya çıkması önlenmiş olur.

7.1.1. Basınçlardaki Değişimler

Membran sistemlerindeki basınçlar izlenerek sistem performansını etkileyen sorunlar tespit edilir ve gerekli müdahaleler yapılır. Şekil 7.1.' de iki kademeli bir membran sistemindeki basınçlar gösterilmiştir. Basınç değerleri psi (pounds per square inch) birimi ile verilmiştir. 1 psi, $7,0305 \times 10^{-2} \text{ kg/cm}^2$ veya $6,8948 \times 10^{-2} \text{ bar}$ a karşılık gelmektedir.

Şekilde gösterilen ifadeler şunlardır;

P1 : Sistem giriş basıncı (min 3 bar)

P2 : Yüksek basınç pompası çıkış basıncı (psi)

P3 : Membran besleme basıncı (psi)

P4 : 2. kademe giriş basıncı (psi)

P5 : Atıksu çıkış basıncı (psi)

$$\Delta P1 = P3 - P4$$

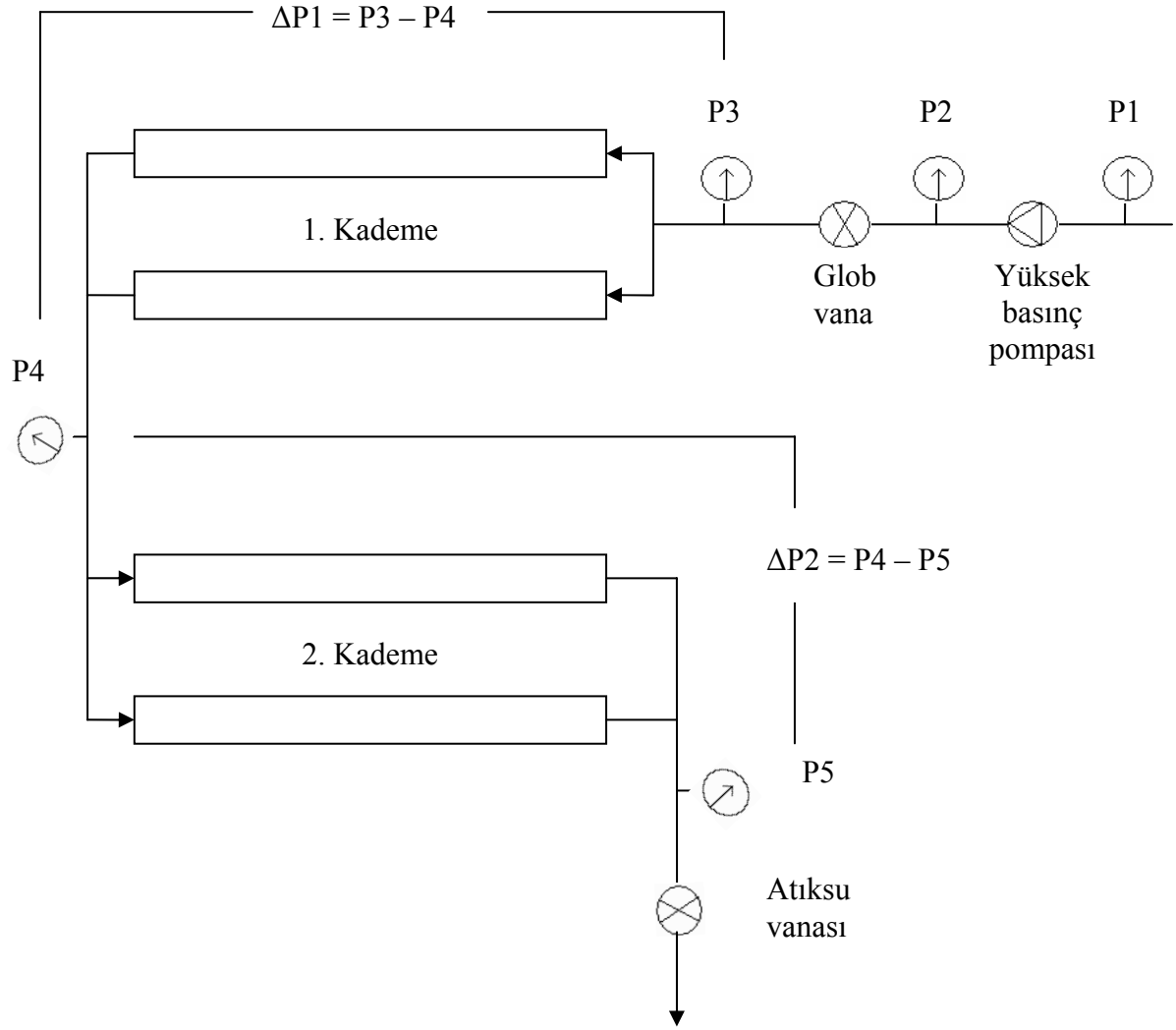
$$\Delta P2 = P4 - P5$$

Yukarıdaki ifadelerde $\Delta P1$ değeri 1. kademedeki basınç düşüşünü, $\Delta P2$ değeri ise 2. kademedeki basınç düşüşünü göstermektedir.

İncelenen tekstil fabrikalarındaki membranların giriş ve çıkış basınçları ve ΔP değerleri Tablo 7.1.' de gösterilmiştir.

Sistemin performansının izlenmesinde, mevcut bir sorunun tespitinde ΔP değerleri kullanılır. ΔP start up değerinin % 10 artması durumunda membranlar gözle kontrol edilir. ΔP değerinin % 15 artması durumunda ise kimyasal yıkama ile membran temizliği yapılır.

İncelenen tesislerdeki sorunların kontrolünde ve uygun önlemlerin alınmasında kullanılan ΔP lerin sınır değerleri Tablo 7.2. – 7.5.' de verilmiştir.



Şekil 7.1. İki kademeli bir membran sistemindeki basınçlar

Tablo 7.1. İncelenen tesislerdeki membranlarda oluşan basınç değerleri
(1 psi = 7,0305 x 10⁻² kg/cm²)

	P ₁ (psi)	P ₂ (psi)	P ₃ (psi)	P ₄ (psi)	P ₅ (psi)	ΔP ₁ (psi)	ΔP ₂ (psi)
1. Tesis	40	240	200	160	140	40	20
2. Tesis	50	260	190	150	120	40	30
3. Tesis	60	225	215	165	145	50	20
4. Tesis	40	240	200	180	70	20	110

Tablo 7.2. Birinci tesise ait basınç farklarının sınır değerleri
(1 psi = 7,0305 x 10⁻² kg/cm²)

	ΔP_1 (psi)	ΔP_2 (psi)
Gözle kontrol	44	22
Kimyasal yıkama	46	23

Tablo 7.3. İkinci tesise ait basınç farklarının sınır değerleri
(1 psi = 7,0305 x 10⁻² kg/cm²)

	ΔP_1 (psi)	ΔP_2 (psi)
Gözle kontrol	44	33
Kimyasal yıkama	46	34,5

Tablo 7.4. Üçüncü tesise ait basınç farklarının sınır değerleri
(1 psi = 7,0305 x 10⁻² kg/cm²)

	ΔP_1 (psi)	ΔP_2 (psi)
Gözle kontrol	55	22
Kimyasal yıkama	57,5	23

Tablo 7.5. Dördüncü tesise ait basınç farklarının sınır değerleri
(1 psi = 7,0305 x 10⁻² kg/cm²)

	ΔP_1 (psi)	ΔP_2 (psi)
Gözle kontrol	22	121
Kimyasal yıkama	23	126,5

Gözle kontrolde problemin ne tür bir kirlilikten kaynaklandığı tespit edilir. Sistemlerdeki sorun bakteriyolojik, kireç çökmesi, demir + mangan çökmesi, silika oluşumu vb. nedenlerden kaynaklanmaktadır.

Kimyasal yıkamada ise kullanılan kimyasal maddenin konsantrasyonu, yıkama süresi ve membranın uygulanan kimyasal maddeye olan direnci önemlidir. Membranların optimum temizlenmesi, temizleyici maddelerin membran kirleticilerine ve membran uygunluğuna

bağıllık gösterir. Bu nedenle kirliliğin bileşiminin bilinmesi büyük önem taşır. Anorganik kirliliklerin giderilmesinde asidik ürünlerle yıkama, organik kirlilik tabakaları için ise alkali yıkama uygulanmaktadır.

Asidik yıkamada pH 2 – 3‘ te sitrik asit kullanılmaktadır. Alkali yıkamada ise pH 10 – 11‘ de kostik, EDTA uygulanmaktadır. Membranların temizlenmesinde ayrıca özel yıkama kimyasallarından da yararlanılmaktadır.

7.1.2. Debilerdeki Değişimler

Membran sistemlerindeki problemlerin tespitinde iki tür debinin izlenmesi gerekmektedir. Bunlar; ürün suyu debisi ve atıksu debisidir.

Ürün suyu debisi dizayn değerinin % 5‘ i kadar azalıyorsa membranlar gözle kontrol edilir. Dizayn değerinden % 10‘luk bir azalma olması durumunda ise kimyasal yıkama yapılır.

İncelenen tesislerdeki problemlerin saptanmasında ve uygun önlemlerin alınmasında kullanılan debi sınır değerleri Tablo 7.6.’ da gösterilmiştir.

Tablo 7.6. İncelenen tesislere ait kontrol için debi sınır değerleri

	Gözle kontrol	Kimyasal yıkama
1. tesis ürün suyu debisi (m ³ /gün)	3 x 1330	3 x 1260
2. tesis ürün suyu debisi (m ³ /gün)	570	540
3. tesis ürün suyu debisi (m ³ /gün)	522,5	495
4. tesis ürün suyu debisi (m ³ /gün)	2 x 1140	2 x 1080

7.1.3. İletkenlikteki Değişimler

İletkenlik değerlerindeki değişim membran sisteminin performansını, sistemde mevcut bir sorunun varlığını belirlemede önemli olduğu kadar, proses suyunun niteliğini doğrudan etkilediğinden tekstil işletmesinin üretim kalitesi içinde oldukça önemlidir. İletkenlik değerleri özellikle boyama prosesinde kritik bir özelliğe sahiptir. İletkenlik değerlerindeki değişim kazan farklarının oluşumuna sebep olmaktadır. Kuyu sularının iletkenlik değerleri mevsimsel değişimlere de bağlı olarak değişebileceğinden tekstil boyahanelerinde yılın 12 ayı ürün kalitesinde standardı yakalamak için iletkenlik değerleri dikkatle izlenmelidir.

İletkenlik değerlendirmesi yapılırken start up iletkenlik değeri ve dizayn iletkenlik değeri baz alınır. İletkenlik değerlerindeki artışın iki nedeni vardır. Bunlar;

1. Sistem bağlantı elemanlarında kaçak ya da sızıntı
2. Membranlarda problemler

7.2. Sistemlerin Verimleri

Tesislerin verimleri debisel verimler ve giderme verimleri olmak üzere iki farklı verim açısından incelenmiştir.

1. tesisteki membran giriş suyu debisi $3 \times 1867 \text{ m}^3 / \text{gün}$ ve ürün suyu debisi $3 \times 1400 \text{ m}^3 / \text{gün}$ 'dür. Tesisteki RO ünitesi % 75 verimle çalışmaktadır.
2. tesisteki giriş suyu debisi $811 \text{ m}^3 / \text{gün}$ ve ürün suyu debisi $600 \text{ m}^3 / \text{gün}$ 'dür. Tesisteki RO ünitesi % 74 verimle çalışmaktadır.
3. tesisteki giriş suyu debisi $786 \text{ m}^3 / \text{gün}$ ve ürün suyu debisi $550 \text{ m}^3 / \text{gün}$ 'dür. RO ünitesinin çalışma verimi % 70 'tir.
4. tesisteki giriş suyu debisi $2 \times 1600 \text{ m}^3 / \text{gün}$ ve ürün suyu debisi $2 \times 1200 \text{ m}^3 / \text{gün}$ 'dür. RO ünitesinin çalışma verimi % 75 'tir.

İncelenen tesislerde kullanılan RO sistemlerinin iyon giderim verimleri Tablo 7.7. – 7.10.’ da gösterilmiştir.

Tablo 7.7. Birinci tesise ait giderme verimleri

PARAMETRE	Giderme Verimi
Sodyum	% 97,2
CO ₃	% 97,1
Bikarbonat	% 96,7
Sülfat	% 96
Klorür	% 97,8
Nitrat	% 94,8
Silika	% 94,7
Toplam çözünmüş madde	% 97,5

Tablo 7.8. İkinci tesise ait giderme verimleri

PARAMETRE	Giderme Verimi
Sodyum	% 96,2
Bikarbonat	% 96,8
Sülfat	% 97,9
Klorür	% 98,2
Silika	% 93,5
Toplam sertlik	% 97,7
Toplam çözünmüş madde	% 96,8

Tablo 7.9. Üçüncü tesise ait giderme verimleri

PARAMETRE	Giderme Verimi
Toplam çözünmüş madde	% 95,2
Sülfat	% 98,4
Nitrat	% 96,7
Klorür	% 98,5
Bikarbonat	% 98,7
Toplam silika	% 98,3

Tablo 7.10. Dördüncü tesise ait giderme verimleri

PARAMETRE	Giderim Verimi
Sodyum	% 95
Bikarbonat	% 98
Sülfat	% 95
Klorür	% 98,8
Nitrat	% 98
Silika	% 97,3
Toplam sertlik	% 97,5
Toplam çözünmüş madde	% 97,6

İncelenen dört tesisteki membran sistemlerinden elde edilen değerler sonucunda sistemlerin % 70 – 75 debisel verimlerle çalıştığı hesaplanmıştır. Yukarıda verilen giderme verimlerini gösteren tablolar incelendiğinde sistemlerin parametreler için % 90'ın üzerinde giderme verimine sahip olduğu açıkça görülmektedir.

8. PROSES SUYU ARITIMI MALİYET ANALİZİ

Bu bölümde incelenen dört tesise ait, proses suyu temin etmek için kullanılan arıtma sistemlerinin maliyetleri hakkında bilgi verilmiştir. Membran sistemi maliyetini oluşturan unsurlar belirtilmiş ve her bir kalem ayrı ayrı açıklanmıştır. Membran sistemlerin, özellikle ters osmoz sisteminin maliyeti, teknolojiye gelişmelerle birlikte zamanla ucuzlamaktadır. Membran firmaları devamlı suretle, daha verimli ve daha ucuza mal olabilecek yeni membran sistemlerini ortaya çıkartmaya çalışmaktadır (Baburşah, 2004). Membran sistemlerinin maliyeti, birçok unsura bağlıdır. Toplam maliyet ilk yatırım ve işletme maliyetinden oluşmaktadır. Aynı tip uygulamalar için bile maliyetler farklı olabilmektedir. Bu maliyet değişimi başlıca, ham su özelliklerinin geniş bir aralıkta değişmesi, her bir 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.

8.1. İLK YATIRIM MALİYETİ

8.1.1. Direkt İlk Yatırım Maliyeti

Arazinin Düzenlenmesi : Binaların ve yolların yapılması ve diğer araziyle ilgili düzenlemelerin yapılması bu maliyet kalemini kapsamaktadır. Proses suyu arıtma tesisi mevcut tesis 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, RO membran modülleri, yüksek basınç pompaları, sistem besleme pompaları, dozaj pompaları ve bunların taşınmasını içermektedir. Ekipman maliyeti içeren unsurlar Tablo 8.1’ de verilmektedir.

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

Tablo 8.1 Ekipman Maliyet Kalemleri

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 filtreler
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

8.1.2. İndirekt İlk Yatırım Maliyeti

İnşaa Masrafları : İnşaa masrafları, ücretler, arazi araştırmaları, geçici olarak şantiye binası yapımı gibi masrafları kapsamaktadır.

8.2. İŞLETME MALİYETİ

Membran sistemlerinde işletme maliyetlerini en fazla etkileyen unsurlar enerji ve membran değişim maliyetleridir (Tangsubkul ve diğ., 2006).

Enerji : Enerji maliyeti, membran sistemlerde en önemli kısmı oluşturmaktadır. Enerji maliyeti, besleme suyu pompaları, yüksek basınç pompaları ve dozaj pompalarının 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.

Membran Değişimi : Membran değişimi de en önemli işletme maliyeti bileşenlerindendir. Membran yenileme maliyetleri membran ömrüne ve element fiyatlarına bağlıdır (Chapman ve diğ., 2003). Membran firmaları membran değiştirme ömrünü 3 ile 5 yıl arasında değişen zamanlarda garanti etmektedir. 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 8 haftada bir değiştirilmesi gerekmektedir. Bu da işletme maliyeti olarak ortaya çıkmaktadır.

Kimyasallar : Membran sistemlerinde kimyasallar, membran üzerinde çökelme oluşumunu önlemek, membranı korumak, arıtma sonrası suyu şartlandırmak ve dezenfeksiyon amaçlı kullanılır.

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

Piyasadan elde edilen maliyet hesaplamalarında kullanılan unsurlara ait birim fiyatlar Tablo 8.2.' de verilmektedir. Maliyet hesaplamalarında Kasım 2006 tarihinde piyasadan elde edilen fiyatlar kullanılmıştır.

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)	0,19
Sodyum Bisülfid Birim Fiyatı %95'lik toz (EURO/kg)	0,35
Sitrik Asit Birim Fiyatı (EURO/kg)	0,66
Antiskalant Birim Fiyatı %100'lük sıvı (EURO/kg)	9,00
Sodyum Hidroksit Birim Fiyatı %50'lik (EURO/kg)	0,20
EDTA Birim Fiyatı (EURO/kg)	4.00
Hidroklorik Asit %30' luk (EURO/kg)	0,15
Kartuş Filtre Birim Fiyatı (EURO/adet)	15,00
Membran (EURO/adet)	800
Katyonik Reçine Birim Fiyatı (EURO/l)	6,85
Anyonik Reçine Birim Fiyatı (EURO/l)	5,90

8.3. TOPLAM SU ÜRETİM MALİYETİ

Toplam su üretim maliyeti, ilk yatırım ve işletme maliyetlerinin toplamından oluşur. İlk yatırım maliyetinin amortismanını belirlemek için, tesis süresi, faiz oranı bilinmelidir. İncelenen dört tesise ait membran proseslerin ekonomik değerlendirmeleri inşaat maliyetleri dahil edilmiş ve inşaat maliyetleri dahil edilmemiş halleriyle Tablo 8.3. - 8.10.' da verilmektedir. İşletme maliyetinin şimdiki zaman değerinin hesaplanmasında birleşik faiz tablolarından yararlanılmıştır.

Tablo 8.3. Birinci tesise ait membran sistemi maliyet değerlendirmesi (inşaat maliyetleri ile birlikte)

Maliyet bileşenleri	Maliyeti
<u>Yatırım maliyetleri</u>	
- <u>RO sistemi</u>	
Membran sistemi (TFK 1400 RO) (EURO)	264.000
Dozaj Üniteleri (EURO)	1.605
Yıkama Ünitesi (EURO)	6.600
- İnşaat maliyetleri (EURO)	92.500
Toplam yatırım maliyetleri (EURO)	364.705
<u>İşletme maliyetleri</u>	
- <u>Enerji tüketimi</u>	
Yüksek basınç pompaları enerji tüketimi (EURO/yıl)	81.648
Dozaj pompaları enerji tüketimi (EURO/yıl)	363
- Membran değişimi (EURO/ 3 yıl)	129.600
- İşçilik ve genel giderler (EURO/yıl)	8.000
- Kimyasallar (EURO/yıl)	34.020
- Kartuş değişimi (EURO/yıl)	3.240
- Membran yıkaması (EURO/yıl)	2.270
Toplam yıllık işletme maliyeti (EURO/yıl)	129.541
İşletme maliyetinin şimdiki zaman değeri * (EURO)	1.021.430
Toplam üretim maliyetinin şimdiki zaman değeri (EURO)	1.386.135
10 yılda üretilen su miktarı ** (m ³)	15.120.000
Toplam su üretim maliyeti (EURO/1000 m ³)	91,68

* Tesisin kullanım süresi 10 yıl ve faiz oranı EURO bazında %10 olarak kabul edilmiştir.

** Tesis bir yılda toplam 360 gün çalışacaktır.

Tablo 8.4. Birinci tesise ait membran sistemi maliyet değerlendirmesi (inşaat maliyetleri hariç)

Maliyet bileşenleri	Maliyeti
<u>Yatırım maliyetleri</u>	
- <u>RO sistemi</u>	
Membran sistemi (TFK 1400 RO) (EURO)	264.000
Dozaj Üniteleri (EURO)	1.605
Yıkama Ünitesi (EURO)	6.600
Toplam yatırım maliyetleri (EURO)	272.205
<u>İşletme maliyetleri</u>	
- <u>Enerji tüketimi</u>	
Yüksek basınç pompaları enerji tüketimi (EURO/yıl)	81.648
Dozaj pompaları enerji tüketimi (EURO/yıl)	363
- Membran değişimi (EURO/ 3 yıl)	129.600
- İşçilik ve genel giderler (EURO/yıl)	8.000
- Kimyasallar (EURO/yıl)	34.020
- Kartuş değişimi (EURO/yıl)	3.240
- Membran yıkaması (EURO/yıl)	2.270
Toplam yıllık işletme maliyeti (EURO/yıl)	129.541
İşletme maliyetinin şimdiki zaman değeri * (EURO)	1.021.430
Toplam üretim maliyetinin şimdiki zaman değeri (EURO)	1.293.635
10 yılda üretilen su miktarı ** (m ³)	15.120.000
Toplam su üretim maliyeti (EURO/1000 m ³)	85,56

* Tesisin kullanım süresi 10 yıl ve faiz oranı EURO bazında %10 olarak kabul edilmiştir.

** Tesis bir yılda toplam 360 gün çalışacaktır.

Tablo 8.5. İkinci tesise ait membran sistemi maliyet değerlendirmesi (inşaat maliyetleri ile birlikte)

Maliyet bileşenleri	Maliyeti
<u>Yatırım maliyetleri</u>	
- <u>RO sistemi</u>	
Membran sistemi (TFK 550 RO) (EURO)	46.500
Dozaj Üniteleri (EURO)	2.140
Yıkama Ünitesi (EURO)	4.800
- İnşaat maliyetleri (EURO)	19.000
Toplam yatırım maliyetleri (EURO)	72.440
<u>İşletme maliyetleri</u>	
- <u>Enerji tüketimi</u>	
Yüksek basınç pompası enerji tüketimi (EURO/yıl)	13.306
Dozaj pompası enerji tüketimi (EURO/yıl)	484
- Membran değişimi (EURO/ 3 yıl)	19.200
- İşçilik ve genel giderler (EURO/yıl)	3.500
- Kimyasallar (EURO/yıl)	10.549
- Kartuş değişimi (EURO/yıl)	1.080
- Membran yıkaması (EURO/yıl)	584
Toplam yıllık işletme maliyeti (EURO/yıl)	29.503
İşletme maliyetinin şimdiki zaman değeri * (EURO)	214.683
Toplam üretim maliyetinin şimdiki zaman değeri (EURO)	287.123
10 yılda üretilen su miktarı ** (m ³)	2.160.000
Toplam su üretim maliyeti (EURO/1000 m ³)	132,93

* Tesisin kullanım süresi 10 yıl ve faiz oranı EURO bazında %10 olarak kabul edilmiştir.

** Tesis bir yılda toplam 360 gün çalışacaktır.

Tablo 8.6. İkinci tesise ait membran sistemi maliyet değerlendirmesi (inşaat maliyetleri hariç)

Maliyet bileşenleri	Maliyeti
<u>Yatırım maliyetleri</u>	
- <u>RO sistemi</u>	
Membran sistemi (TFK 550 RO) (EURO)	46.500
Dozaj Üniteleri (EURO)	2.140
Yıkama Ünitesi (EURO)	4.800
Toplam yatırım maliyetleri (EURO)	53.440
<u>İşletme maliyetleri</u>	
- <u>Enerji tüketimi</u>	
Yüksek basınç pompası enerji tüketimi (EURO/yıl)	13.306
Dozaj pompası enerji tüketimi (EURO/yıl)	484
- Membran değişimi (EURO/ 3 yıl)	19.200
- İşçilik ve genel giderler (EURO/yıl)	3.500
- Kimyasallar (EURO/yıl)	10.549
- Kartuş değişimi (EURO/yıl)	1.080
- Membran yıkaması (EURO/yıl)	584
Toplam yıllık işletme maliyeti (EURO/yıl)	29.503
İşletme maliyetinin şimdiki zaman değeri * (EURO)	214.683
Toplam üretim maliyetinin şimdiki zaman değeri (EURO)	268.123
10 yılda üretilen su miktarı ** (m ³)	2.160.000
Toplam su üretim maliyeti (EURO/1000 m ³)	124,13

* Tesisin kullanım süresi 10 yıl ve faiz oranı EURO bazında %10 olarak kabul edilmiştir.

** Tesis bir yılda toplam 360 gün çalışacaktır.

Tablo 8.7. Üçüncü tesise ait membran sistemi maliyet değerlendirmesi (inşaat maliyetleri ile birlikte)

Maliyet bileşenleri	Maliyeti
<u>Yatırım maliyetleri</u>	
- <u>RO sistemi</u>	
Membran sistemi (TFK 550 RO) (EURO)	46.500
Dozaj Üniteleri (EURO)	535
Yıkama Ünitesi (EURO)	4.800
- İnşaat maliyetleri (EURO)	19.000
Toplam yatırım maliyetleri (EURO)	70.835
<u>İşletme maliyetleri</u>	
- <u>Enerji tüketimi</u>	
Yüksek basınç pompaları enerji tüketimi (EURO/yıl)	13.306
Dozaj pompaları enerji tüketimi (EURO/yıl)	121
- Membran değişimi (EURO/ 3 yıl)	19.200
- İşçilik ve genel giderler (EURO/yıl)	3.500
- Kimyasallar (EURO/yıl)	8.748
- Kartuş değişimi (EURO/yıl)	1.080
- Membran yıkaması (EURO/yıl)	564
Toplam yıllık işletme maliyeti (EURO/yıl)	27.319
İşletme maliyetinin şimdiki zaman değeri * (EURO)	201.264
Toplam üretim maliyetinin şimdiki zaman değeri (EURO)	272.099
10 yılda üretilen su miktarı ** (m ³)	1.980.000
Toplam su üretim maliyeti (EURO/1000 m ³)	137,42

* Tesisin kullanım süresi 10 yıl ve faiz oranı EURO bazında %10 olarak kabul edilmiştir.

** Tesis bir yılda toplam 360 gün çalışacaktır.

Tablo 8.8. Üçüncü tesise ait membran sistemi maliyet değerlendirmesi (inşaat maliyetleri hariç)

Maliyet bileşenleri	Maliyeti
<u>Yatırım maliyetleri</u>	
- <u>RO sistemi</u>	
Membran sistemi (TFK 550 RO) (EURO)	46.500
Dozaj Üniteleri (EURO)	535
Yıkama Ünitesi (EURO)	4.800
Toplam yatırım maliyetleri (EURO)	51.835
<u>İşletme maliyetleri</u>	
- <u>Enerji tüketimi</u>	
Yüksek basınç pompaları enerji tüketimi (EURO/yıl)	13.306
Dozaj pompaları enerji tüketimi (EURO/yıl)	121
- Membran değişimi (EURO/ 3 yıl)	19.200
- İşçilik ve genel giderler (EURO/yıl)	3.500
- Kimyasallar (EURO/yıl)	8.748
- Kartuş değişimi (EURO/yıl)	1.080
- Membran yıkaması (EURO/yıl)	564
Toplam yıllık işletme maliyeti (EURO/yıl)	27.319
İşletme maliyetinin şimdiki zaman değeri * (EURO)	201.264
Toplam üretim maliyetinin şimdiki zaman değeri (EURO)	253.099
10 yılda üretilen su miktarı ** (m ³)	1.980.000
Toplam su üretim maliyeti (EURO/1000 m ³)	127,83

* Tesisin kullanım süresi 10 yıl ve faiz oranı EURO bazında %10 olarak kabul edilmiştir.

** Tesis bir yılda toplam 360 gün çalışacaktır.

Tablo 8.9. Dördüncü tesise ait membran sistemi maliyet değerlendirmesi (inşaat maliyetleri ile birlikte)

Maliyet bileşenleri	Maliyeti
<u>Yatırım maliyetleri</u>	
- <u>RO sistemi</u>	
Membran sistemi (TFK 1200 RO) (EURO)	160.000
Dozaj Üniteleri (EURO)	2.140
Yıkama Ünitesi (EURO)	6.200
- İnşaat maliyetleri (EURO)	61.000
Toplam yatırım maliyetleri (EURO)	229.340
<u>İşletme maliyetleri</u>	
- <u>Enerji tüketimi</u>	
Yüksek basınç pompaları enerji tüketimi (EURO/yıl)	54.432
Dozaj pompaları enerji tüketimi (EURO/yıl)	484
- Membran değişimi (EURO/ 3 yıl)	76.800
- İşçilik ve genel giderler (EURO/yıl)	6.000
- Kimyasallar (EURO/yıl)	22.723
- Kartuş değişimi (EURO/yıl)	2.160
- Membran yıkaması (EURO/yıl)	1.426
Toplam yıllık işletme maliyeti (EURO/yıl)	87.225
İşletme maliyetinin şimdiki zaman değeri * (EURO)	669.562
Toplam üretim maliyetinin şimdiki zaman değeri (EURO)	898.902
10 yılda üretilen su miktarı ** (m ³)	8.640.000
Toplam su üretim maliyeti (EURO/1000 m ³)	104,04

* Tesisin kullanım süresi 10 yıl ve faiz oranı EURO bazında %10 olarak kabul edilmiştir.

** Tesis bir yılda toplam 360 gün çalışacaktır.

Tablo 8.10. Dördüncü tesise ait membran sistemi maliyet değerlendirmesi (inşaat maliyetleri hariç)

Maliyet bileşenleri	Maliyeti
<u>Yatırım maliyetleri</u>	
- <u>RO sistemi</u>	
Membran sistemi (TFK 1200 RO) (EURO)	160.000
Dozaj Üniteleri (EURO)	2.140
Yıkama Ünitesi (EURO)	6.200
Toplam yatırım maliyetleri (EURO)	168.340
<u>İşletme maliyetleri</u>	
- <u>Enerji tüketimi</u>	
Yüksek basınç pompaları enerji tüketimi (EURO/yıl)	54.432
Dozaj pompaları enerji tüketimi (EURO/yıl)	484
- Membran değişimi (EURO/ 3 yıl)	76.800
- İşçilik ve genel giderler (EURO/yıl)	6.000
- Kimyasallar (EURO/yıl)	22.723
- Kartuş değişimi (EURO/yıl)	2.160
- Membran yıkaması (EURO/yıl)	1.426
Toplam yıllık işletme maliyeti (EURO/yıl)	87.225
İşletme maliyetinin şimdiki zaman değeri * (EURO)	669.562
Toplam üretim maliyetinin şimdiki zaman değeri (EURO)	837.902
10 yılda üretilen su miktarı ** (m ³)	8.640.000
Toplam su üretim maliyeti (EURO/1000 m ³)	96,98

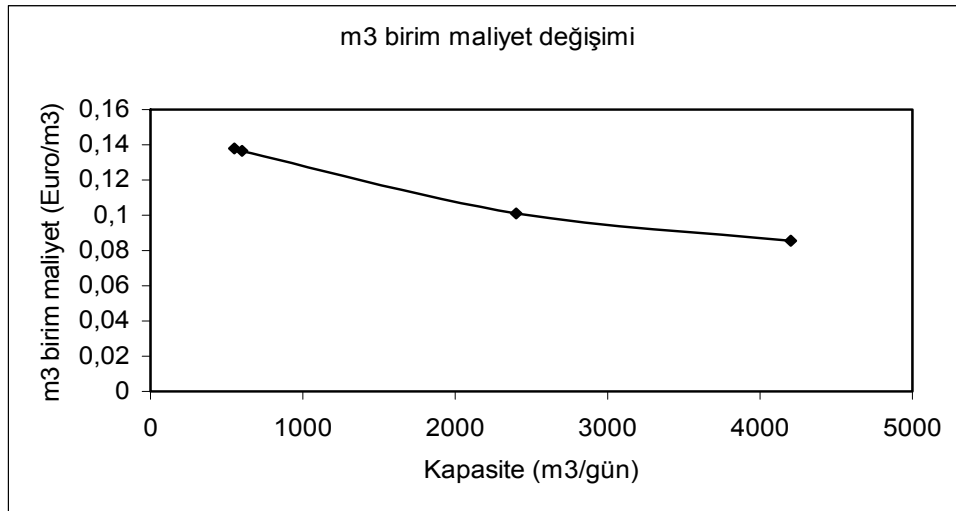
* Tesisin kullanım süresi 10 yıl ve faiz oranı EURO bazında %10 olarak kabul edilmiştir.

** Tesis bir yılda toplam 360 gün çalışacaktır.

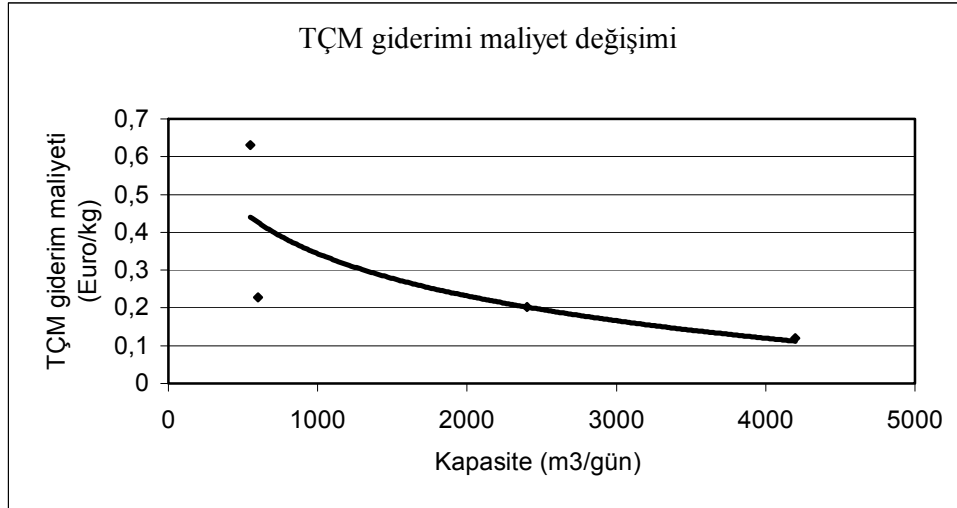
Yukarıdaki tablolarda görüldüğü gibi incelenen tesisler için ters osmoz sistemi kullanarak proses suyu üretimi birim maliyeti, hesaplamalarda inşaat maliyetlerinin dahil edilme durumlarına ve tesislerin kapasitelerine bağlı olarak farklılık göstermekle birlikte, 85,56 €/1000 m³ ile 137,42 €/1000 m³ arasında değişmektedir.

Tesis kapasitelerine bağlı olarak metreküp su birim maliyeti değişiklik gösterir. Daha küçük tesisler metreküp su başına daha yüksek fiyatlar gerektirmektedir (Van der Bruggen ve diğ., 2001). İncelenen tesisler için hesaplanan birim metreküp suyun yıllık maliyetinin tesislerin kapasiteleri ile değişimi Şekil 8.1.' de görülmektedir.

Toplam çözünmüş madde (TÇM) giderim maliyeti giderilen toplam çözünmüş madde miktarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Giderilen miktar artıkça TÇM giderim maliyeti azalmaktadır. İncelenen tesisler için toplam çözünmüş madde giderimi maliyet değişimi Şekil 8.2.' de görülmektedir.



Şekil 8.1. Kapasiteye bağlı olarak artırılmış su birim maliyeti değişimi



Şekil 8.2. Toplam çözünmüş madde giderimine bağlı olarak maliyet değişimi

Dördüncü tesis için düşünülen demineralizasyon sistemi için maliyet değerlendirmesi inşaat maliyetleri ile birlikte Tablo 8.11.' de ve inşaat maliyetleri dahil edilmeden hesaplanmış haliyle Tablo 8.12.' de verilmektedir. Membran sistemlerinde aralıklarla membran değişiminin yapılması gibi iyon değiştirme sistemlerinde de reçinelerin belirli periyotlarla değiştirilmesi gerekmektedir. Demineralizasyon sisteminde kullanılan reçinelerin 5 yılda bir değiştirilmesi gerekmektedir.

Tablo 8.11. Dördüncü tesise ait demineralizasyon sistemi maliyet değerlendirmesi (inşaat maliyetleri ile birlikte)

Maliyet bileşenleri	Maliyeti
<u>Yatırım Maliyetleri</u>	
- Katyon Değiştirici (EURO)	91.008
- Anyon Değiştirici (EURO)	148.368
- İnşaat maliyetleri (EURO)	92.000
Toplam yatırım maliyetleri (EURO)	331.376
<u>İşletme Maliyetleri</u>	
- Enerji tüketimi (EURO/yıl)	8.165
- İşçilik ve genel giderler (EURO/yıl)	12.000
- <u>Kimyasallar</u>	
Katyon değiştirici kimyasalları (EURO/yıl)	64.800
Anyon değiştirici kimyasalları (EURO/yıl)	185.760
- <u>Reçine değişimi</u>	
Katyonik reçine değişimi (EURO/ 5 yıl)	48.807
Anyonik reçine değişimi (EURO/ 5 yıl)	94.695
Toplam yıllık işletme maliyeti (EURO/yıl)	270.725
İşletme maliyetinin şimdiki zaman değeri * (EURO)	1.752.537
Toplam üretim maliyetinin şimdiki zaman değeri (EURO)	2.083.913
10 yılda üretilen su miktarı ** (m ³)	8.640.000
Toplam su üretim maliyeti (EURO/1000 m ³)	241,19

* Tesisin kullanım süresi 10 yıl ve faiz oranı EURO bazında %10 olarak kabul edilmiştir.

** Tesis bir yılda toplam 360 gün çalışacaktır.

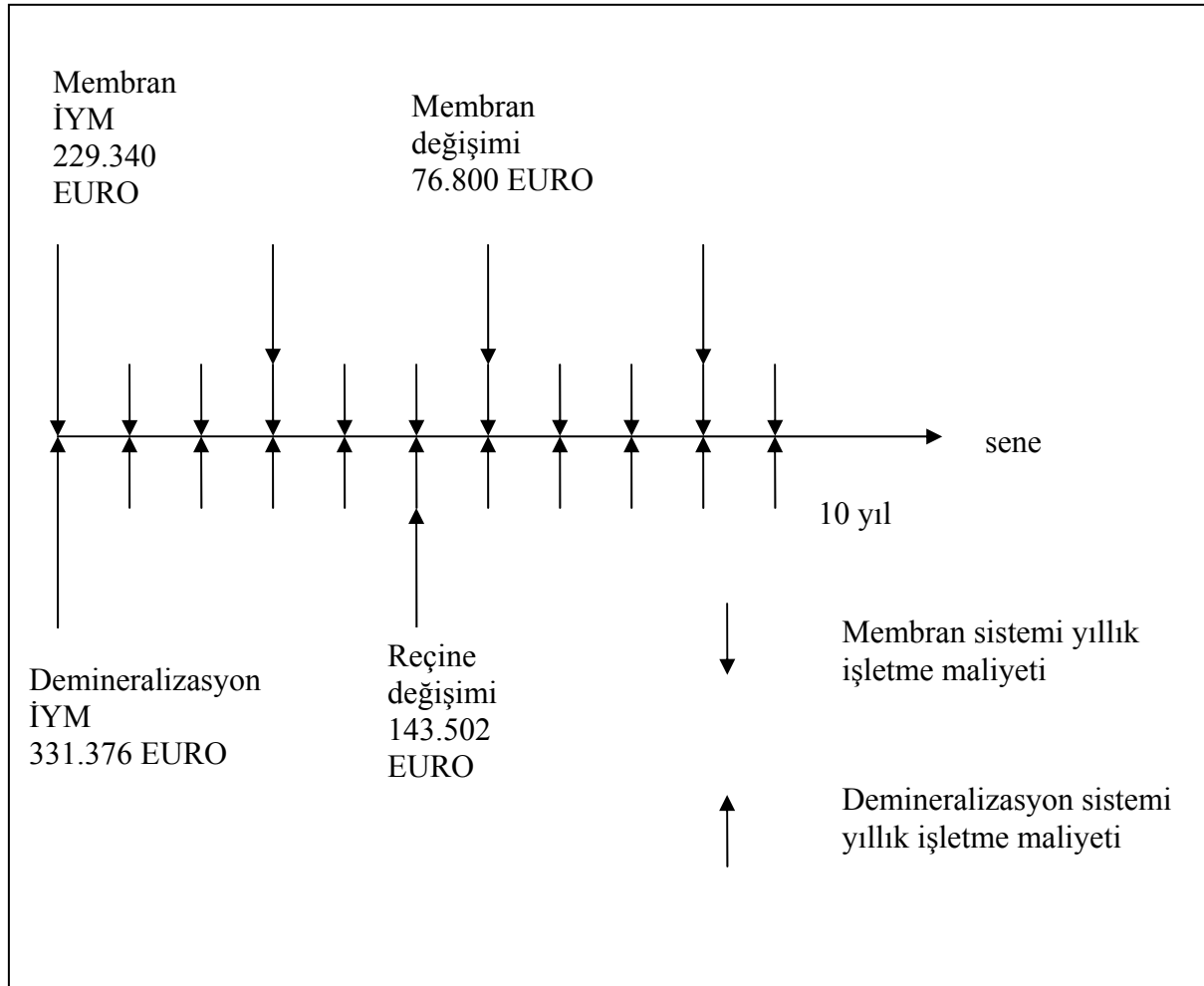
Tablo 8.12. Dördüncü tesise ait demineralizasyon sistemi maliyet değerlendirmesi (inşaat maliyetleri hariç)

Maliyet bileşenleri	Maliyeti
<u>Yatırım Maliyetleri</u>	
- Katyon Değiştirici (EURO)	91.008
- Anyon Değiştirici (EURO)	148.368
Toplam yatırım maliyetleri (EURO)	239.376
<u>İşletme Maliyetleri</u>	
- Enerji tüketimi (EURO/yıl)	8.165
- İşçilik ve genel giderler (EURO/yıl)	12.000
- <u>Kimyasallar</u>	
Katyon değiştirici kimyasalları (EURO/yıl)	64.800
Anyon değiştirici kimyasalları (EURO/yıl)	185.760
- <u>Reçine değişimi</u>	
Katyonik reçine değişimi (EURO/ 5 yıl)	48.807
Anyonik reçine değişimi (EURO/ 5 yıl)	94.695
Toplam yıllık işletme maliyeti (EURO/yıl)	270.725
İşletme maliyetinin şimdiki zaman değeri * (EURO)	1.752.537
Toplam üretim maliyetinin şimdiki zaman değeri (EURO)	1.991.913
10 yılda üretilen su miktarı ** (m ³)	8.640.000
Toplam su üretim maliyeti (EURO/1000 m ³)	230,55

* Tesisin kullanım süresi 10 yıl ve faiz oranı EURO bazında %10 olarak kabul edilmiştir.

** Tesis bir yılda toplam 360 gün çalışacaktır.

Dördüncü tesise ait ters osmoz ve demineralizasyon sistemleri ekonomik değerlendirmesi Şekil 8.3.' de verilmektedir.



Şekil 8.3. Dördüncü tesise ait ters osmoz ve demineralizasyon sistemi maliyet analizi

Tablo 8.11. ve Tablo 8.12.' de görüldüğü gibi demineralizasyon sistemi kullanılarak proses suyu üretimi birim maliyeti, inşaat maliyetleri dahil edilerek 241,19 €/1000 m³ ve inşaat maliyetleri dahil edilmeden 230,55 €/1000 m³ bulunmuştur. Dördüncü tesis için ters osmoz sistemi kullanılarak proses suyu üretimi birim maliyeti ise Tablo 8.9. ve Tablo 8.10.' da görüldüğü gibi, inşaat maliyetleri dahil edilerek 104,04 €/1000 m³ ve inşaat maliyetleri dahil edilmeden 96,98 €/1000 m³ bulunmuştur. Bu değerler karşılaştırıldığında, demineralizasyon sistemi kullanılarak üretilen suyun birim maliyetinin ters osmoz sistemi ile üretilen suyun birim maliyetinin 2,3 katı olduğu bulunmaktadır. Bu nedenle ters osmoz sistemi kullanılarak proses suyu üretimi ekonomik açıdan uygulanabilir olmaktadır.

9. SONUÇLAR

Tekstil sanayi çeşitli endüstri kolları arasında en çok su kullanılan alanlardan biridir. Açık istim tüketim birkaç ünite bir tarafa bırakılırsa günlük su tüketiminin tamamını proses suyu oluşturur. Tekstil endüstrisinde, yapağı ve ipliklerin yıkanması, ağartma, boyama ve son ürünlerin yıkanması gibi işlemlerin başından sonuna kadar yüksek hacimlerde su kullanılmaktadır. Proseste kullanılan suyun belirli kalitede olması gerekir. Proses suyu ihtiyacı tekstil prosesinin türüne, materyalin ya da son ürünün tipine ve kullanılan makine ve tekniklerin tipine göre belirlenir.

Ham suda bulunan demir, mangan, bakteri, organik madde, bikarbonat, sertlik gibi parametreler tekstil endüstrisinde haşıllama, yıkama, ağartma ve özellikle boyama işlemlerinde ciddi problemler yaratmaktadır. Hemen hemen her çeşit su ile boya yapmak ya da diğer proseslerde kullanmak mümkündür. Fakat bu durumda; proses için kullanılan kimyasallarda, su için kullanılan kimyasallarda ve işletme maliyetlerinde ciddi oranlarda artış olur. Aynı zamanda ürün tamir oranı ve zaman kaybı artar, verimlilik azalır. Oysaki proses için istenilen en uygun su parametrelerinin bulunup, bu değerlere uygun ham su kullanılması, yani suyun standart olması hem kaliteyi, hem verimliliği artırır.

Proses suyunun iletkenlik değerinin yüksek olması, boya prosesi için dezavantajdır. Yüksek iletkenlikli sular ile boya yapmak, daha fazla kimyasal kullanmayı getirecektir dolayısı ile işletme maliyetlerini arttıracaktır. Ayrıca sudaki bikarbonat oranı yüksek ise boyama için gerekli pH' ın tutturulması oldukça zorlaşmaktadır. Bu nedenle her boya banyosunda kullanılan iyon tutucu maliyeti, işletme zorluğu, kazan farklılıklarından doğan para ve zaman kaybı ve ayrıca yüksek oranda kullanılan kimyasallardan dolayı atık suyun daha konsantre hale gelmesi gibi sorunlar ortaya çıkmaktadır.

Çeşitli su kaynaklarını kullanan tekstil tesislerinde yılın on iki ayı ürün kalitesinde standardı yakalamak zordur. Çünkü kuyu veya baraj sularının kimyasal nitelikleri yılın on iki ayı içinde çok değişkendir. Bu durum proses suyunun da kalitesini etkileyeceğinden ürün kalitesinde istenmeyen sonuçlara neden olmaktadır.

Tekstil işletmelerinin proses suyunun kalitesi ile ilgili olarak yaşadığı bu sorunlar membran sistemlerinin kullanılması ile ortadan kaldırılabilir. Membran sistemleri %99' a varan

oranlarda giderim verimine sahip olması, tekstil işletmesi için istenen kalitede proses suyu üretebilme kabiliyeti, su kalitesindeki mevsimsel değişimlerden etkilenmeden ham su kalitesinden bağımsız olarak değişmez ürün suyu kalitesi sağlaması gibi üstünlükleri nedeniyle tekstil endüstrisi proses suyu arıtımında etkili şekilde kullanılmaktadır.

İncelenen dört tekstil tesisine ait membran sistemleri % 70 – 75 arasında değişen debisel verimlere ve %90' nın üzerinde giderim verimlerine sahiptir. Tesislerde kullanılan membran sistemleri tesislerin sorunsuz olarak işletilmesi için gerekli olan yeterli kalite ve miktardaki proses suyunu sağlamaktadır. Membran ürün suyunun kalitesindeki değişim tekstil üretim kalitesini de etkileyeceğinden, incelenen sistemlerdeki problemler de irdelenmiştir. Membran sistemlerinin gerekli kalite ve miktarda proses suyu üretimini devam ettirebilmesi için sistemlerin basınç, debi ve iletkenlik değerlerindeki değişimlerin dikkatle izlenmesi ve zamanında uygun müdahalelerin yapılması gerekmektedir.

İncelenen ters osmoz sistemlerindeki proses suyu üretimi birim maliyeti, hesaplamalarda inşaat maliyetlerinin dahil edilme durumlarına ve tesislerin kapasitelerine bağlı olarak farklılık göstermekle birlikte, 85,56 €/1000 m³ ile 137,42 €/1000 m³ arasında değişmektedir. Kapasiteleri daha küçük tesislerde, metreküp su birim maliyeti daha yüksek fiyatlar gerektirmektedir. Toplam çözünmüş madde giderim maliyeti ise giderilen miktar arttıkça azalmaktadır.

Bu çalışmada, incelenen dördüncü tekstil işletmesinin proses suyu arıtımı için ters osmoz sistemi ile karşılaştırmada demineralizasyon sistemi düşünülmüştür. Sistemlerin teknik ve ekonomik kıyaslaması yapılmıştır. Demineralizasyon sistemi kullanılarak proses suyu üretimi birim maliyeti, inşaat maliyetleri dahil edilerek 241,19 €/1000 m³ ve inşaat maliyetleri dahil edilmeden 230,55 €/1000 m³ bulunmuştur. Ters osmoz sistemi kullanılarak proses suyu üretimi birim maliyeti ise inşaat maliyetleri dahil edilerek 104,04 €/1000 m³ ve inşaat maliyetleri dahil edilmeden 96,98 €/1000 m³ bulunmuştur. Demineralizasyon sistemi kullanılarak üretilen suyun birim maliyeti, ters osmoz sistemi ile üretilen suyun birim maliyetinin 2,3 katı olarak hesaplanmıştır. Demineralizasyon sisteminin, tekstil işletmesinde ihtiyaç duyulan özelliklerde proses suyunu sağlamada teknik olarak uygulanabilir olmasına karşılık, bu değerler membran sistemlerinin teknik ve ekonomik açıdan daha cazip olduğunu göstermektedir.

KAYNAKLAR

- Ang, W. S., Lee, S., Elimelech, M., (2006), "Chemical And Physical Aspects Of Cleaning Of Organic-Fouled Reverse Osmosis Membranes", *Journal of Membrane Science* 272, 198–210
- Baburşah, S., (2004), "Tekstil Endüstrisi Atıksularının Gerikazanımı Ve Yeniden Kullanılması", İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi
- Baburşah, S., Çakmakci, M., Kinaci, C., (2006), "Analysis And Monitoring: Costing Textile Effluent Recovery And Reuse", *Filtration and Separation*
- Baker, R. W., (2004), "Membrane Technology And Applications", 2nd. Edition, Osmonics.
- Barber, T. A., Miller, B. D., (1994), "Pervaporation Technology: Fundamentals And Environmental Applications", *Chemical Engineering*
- Barlas, H., (2004), *Suların İleri Artım Teknolojileri Ders Notları*, İ.Ü. Çevre Mühendiliği Bölümü
- Basta, K., Aliane, A., Lounis, A., Sandeaux, R., Sandeaux, J., Gavach, C., (1998), "Electroextraction Of Pb 2+ Ions From Diluted Solutions By A Process Combining Ion-Exchange Textiles And Membranes", *Desalination* 120, 175-184
- Bodzek, M., Konieczny, K., (1998), "Comparison Of Various Membrane Types And Module Configurations In The Treatment Of Natural Water By Means Of Low-Pressure Membrane Methods.", *Separation and Purification Technology* 14
- Capar, G., Yilmaz, L., Yetis, U., (2006), "Reclamation Of Acid Dye Bath Wastewater: Effect Of pH On Nanofiltration Performance", *Journal of Membrane Science* 281, 560–569
- Cartwright, P., (1994), "Membranes Meet New Environmental Challenges", *Chemical Engineering*
- Cengiz, O. O., (1998), "Pamuklu Boyama Endüstrisinde Yaygın Olarak Kullanılan Atıksu Arıtma Sistemlerinin Maliyet Analiz", Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi
- Chapman, M., Moch, I., (2003), "Estimating Membrane Water Treatment Costs", *Membrane Technology*
- Chen, K. L., Song, L., Ong, S. L., Ng, W. J., (2004), "The Development Of Membrane Fouling In Full-Scale RO Processes", *Journal of Membrane Science* 232, 63–72
- Costa, A. R., Norberta de Pinho, M., Elimelech, M., (2006), "Mechanisms Of Colloidal Natural Organic Matter Fouling In Ultrafiltration", *Journal of Membrane Science* 281, 716–725
- Dönencecevre Çevre Teknolojisi Bilgi Hizmetleri, (2003), "Su ve Atıksu Artımında Membran Teknolojileri"
- Gönüllü, M. T., (2004), "Endüstriyel Kirlenme Kontrolü", Cilt1., Birsen Yayınevi

Johnson, G., Culkin B., Monroe M., “Kinetics of Mineral Scale Membrane Fouling, A Comparison of Conventional Crossflow Membranes and VSEP, a Vibratory Membrane System”

Judd, S., Jefferson, B., (2003), “Membranes For Industrial Wastewater Recovery And Reuse”

Kim, H.-C., Hong, J.-H., Lee, S., (2006), “Fouling Of Microfiltration Membranes By Natural Organic Matter After Coagulation Treatment: A Comparison Of Different Initial Mixing Conditions”, *Journal of Membrane Science* 283, 266–272

Kiran-Ciliz, N., (2003), “Reduction In Resource Consumption By Process Modifications In Cotton Wet Processes”, *Journal of Cleaner Production* 11, 481–486

Kosutic, K., Dolar, D., Kunst, B., (2006), “On Experimental Parameters Characterizing The Reverse Osmosis And Nanofiltration Membranes’ Active Layer”, *Journal of Membrane Science* 282, 109–114

Koyuncu, İ., (1995), “Tekstil Atık Sularının Ozonla Arıtılması”, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi

Leung, W.-F., Probstein, R. F., (1979), “Low Polarization in Laminar Ultrafiltration of Macromolecular Solutions”, *Ind. Eng. Chem. Fundam.* Vol. 18, No. 3,

Liu, L.-F., Yu, S.-C., Wu, L.-G., Gao C.-J., (2006), “Study On A Novel Polyamide-Urea Reverse Osmosis Composite Membrane (ICIC-MPD) II. Analysis Of Membrane Antifouling Performance”, *Journal of Membrane Science* 283, 133–146

Lu, Y., Hu, Y., Xu, D., Wu, L., (2006), “Optimum Design Of Reverse Osmosis Seawater Desalination System Considering Membrane Cleaning And Replacing”, *Journal of Membrane Science* 282, 7–13

Ma, S., Song, L., (2006), “Numerical Study On Permeate Flux Enhancement By Spacers In A Crossflow Reverse Osmosis Channel”, *Journal of Membrane Science* 284, 102–109

Madaeni, S. S., (1999), “The Application Of Membrane Technology For Water Disinfection”, *Wat. Res.* Vol. 33, No. 2, pp. 301-308

Manttari, M., Pihlajamaki, A., Nyström, M., (2006), “Effect Of pH On Hydrophilicity And Charge And Their Effect On The Filtration Efficiency Of NF Membranes At Different pH”, *Journal of Membrane Science* 280, 311–320

Marcucci, M., Nosenzo, G., Capannelli, G., Ciabatti, I., Corrieri, D., Ciardelli, G., (2001), “Treatment And Reuse Of Textile Effluents Based On New Ultrafiltration And Other Membrane Technologies”, *Desalination* 138, 75–82

McCutcheon, J. R., Elimelech, M., (2006), “Influence Of Concentrative And Dilutive Internal Concentration Polarization On Flux Behavior In Forward Osmosis”, *Journal of Membrane Science* 284, 237–247

Murphy, A. P., Moody, C. D., Riley, R. L., Lin, S. W., Murugaverl, B., Rusin P., (2001), "Microbiological Damage Of Cellulose Acetate RO Membranes", *Journal of Membrane Science* 193, 111–121

Osmonics, (1997), "Pure Water Handbook", 2nd. Edition

Özkan, Ü., (2004), "Proses Suyu Arıtımında Teknoloji Seçimi", İ.Ü. Çevre Mühendisliği Bölümü, Bitirme Ödevi

Pervov, A. G., Dudkin, E. V., Sidorenko, O. A., Antipov, V. V., Khakhanov, S. A., Makarov, R. I., (2000), "RO And NF Membrane Systems For Drinking Water Production And Their Maintenance Techniques", *Desalination* 132, 315-321

Shanley, A., Ondrey, G., Moore, S., (1994), "Pervaporation Finds Its Niche", *Chemical Engineering*

Song, L., Tay K. G., (2006), "Performance Prediction Of A Long Crossflow Reverse Osmosis Membrane Channel", *Journal of Membrane Science* 281, 163–169

Şapçı, Z., (2002), "Tekstil Atıksularının Anaerobik Arıtılabilirliğinin İncelenmesi", Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi

Tangsubkul, N., Parameshwaran, K., Lundie, S., Fane, A. G., Waite, T. D., (2006), "Environmental Life Cycle Assessment Of The Microfiltration Process", *Journal of Membrane Science* 284, 214–226

Tanninen, J., Manttari, M., Nyström, M., (2006), "Effect Of Salt Mixture Concentration On Fractionation With NF Membranes", *Journal of Membrane Science* 283, 57–64

Van der Bruggen, B., Everaert, K., Wilms, D., Vandecasteele, C., (2001), "Application Of Nanofiltration For Removal Of Pesticides, Nitrate And Hardness From Ground Water: Rejection Properties And Economic Evaluation", *Journal of Membrane Science* 193, 239–248

Vrouwenvelder, J. S., Van Paassen, J. A. M., Wessels, L. P., Van Dam, A. F., Bakker, S. M., (2006), "The Membrane Fouling Simulator: A Practical Tool For Fouling Prediction And Control", *Journal of Membrane Science* 281, 316–324

Wagner, J., (2001), "Membrane Filtration Handbook Practical Tips And Hints", 2nd. Edition, JohnWiley & Sons.

Wang, D.-X., Wu, L., Liao, Z.-D., Wang, X.-L., Tomi, Y., Ando, M., Shintani T., (2006), "Modeling The Separation Performance Of Nanofiltration Membranes For The Mixed Salts Solution With Mg^{2+} And Ca^{2+} ", *Journal of Membrane Science* 284, 384–392

Wang, H. Y., Way, S. D., La Valle, P., (2001), "Microfiltration Of Yeast Suspensions"

Wend, C. F., Stewart, P. S., Jones, W., Campen, A. K., (2003), "Pretreatment For Membrane Water Treatment Systems: A Laboratory Study", *Water Research* 37

Woerner, D. L., "Membrane Technology In Textile Operations", Koch Membrane Systems

Zhou, W., Song, L., Guan, T. K., (2006), “A Numerical Study On Concentration Polarization And System Performance Of Spiral Wound RO Membrane Modules”, Journal of Membrane Science 271, 38–46

İNTERNET KAYNAKLARI

[1]www.corlutso.com

[2]www.tekstilteknik.com

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 18.06.1982

Doğum yeri İstanbul

Lise 1996-2000 Kabataş Erkek Lisesi

Lisans 2000-2004 İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fak.
Çevre Mühendisliği Bölümü

2002-Devam ediyor Anadolu Üniversitesi İşletme Fak.
İşletme Bölümü

Yüksek Lisans 2004-2007 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Müh. Anabilim Dalı