

75108

**MEMBRAN PROSESLERLE ENDÜSTRİYEL ATIKSULARDA
RENK GİDERİMİ**

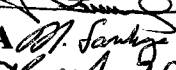
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çev. Müh. Fatma YALÇIN

75108

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 21.09.1998

Tezin Savunulduğu Tarih : 09.10.1998

Tez Danışmanı : Prof. Dr. İzzet ÖZTÜRK  30.12.1998
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Hasan Z. SARIKAYA  30.12.98
Prof. Dr. Dinçer TOPACIK  30.12.1998

EKİM 1998

ÖNSÖZ

Endüstriyel alandaki gelişmelere paralel olarak, su ihtiyacı artmakta ve mevcut su kaynakları giderek azalmakta ve kirlenmektedir. Su kaynaklarının korunması ve suyun geri kazanılarak atıksu maliyetini düşürmek amacıyla membran prosesler üzerinde yapılan çalışmalar hızlanmıştır. İlk olarak tuzlu suların arıtılmasında kullanılan membran prosesler, günümüzde atıksuların arıtılmasında da kullanılmaya başlanmıştır. Bu tezin, atıksuların arıtılmasında membran proseslerin kullanımını daha da arttıracığını umut ediyorum.

Üniversite öğrenimim boyunca ve bu çalışmada her türlü yardımlarını ve desteğini esirgemeyen, Sayın Hocam Prof. Dr. İzzet ÖZTÜRK' e şükranlarımı arz ederim.

Membran pilot tesislerini üniversitemize kazandıran Sn. Prof. Dr. Dinçer TOPACIK'a teşekkür ederim.

Tez çalışmalarımdaki yardımları ve desteği için Araştırma Görevlisi Sn. İsmail KOYUNCU' ya da teşekkür ederim.

Ayrıca, yetişmemde emeği geçen bütün hocalarıma ve sevgili aileme sonsuz teşekkür ederim.

Eylül, 1998

Fatma YALÇIN

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖNSÖZ	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SEMBOL LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	viii
TABLO LİSTESİ	xi
ÖZET	xiv
SUMMARY	xv
BÖLÜM 1. GİRİŞ	1
1.1. Konunun Anlam ve Önemi	1
1.2. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı	2
BÖLÜM 2. MEMBRAN İLE AYIRMA MEKANİZMASI VE MEMBRANLARIN YAPISI	3
2.1. Giriş	3
2.2. Membranların Yapısı	6
2.3. Membranların Karakteristikleri	8
2.4. Membran Tertip Tarzları	11
2.4.1. Spiral Sargılı Membranlar	11
2.4.2. Boşluklu Elyaf Membranlar	11
2.4.3. Tüp Şeklindeki Membranlar	13
2.4.4. Plak ve Çerçeve Membranlar	16
2.4.5. Membran Tertip Tarzlarının Karşılaştırılması	16
BÖLÜM 3. MEMBRAN PROSESLER, KONSANTRASYON POLARİZASYONU ve TIKANMA	17
3.1. Membran Prosesler	17
3.1.1. Mikrofiltrasyon (MF)	18
3.1.2. Ultrafiltrasyon (UF)	20

	Sayfa No
3.1.3. Nanofiltrasyon (NF)	21
3.1.4. Ters Osmoz (RO)	21
3.2. Konsantrasyon Polarizasyonu ve Tıkanma	25
3.2.1. Konsantrasyon Polarizasyonu	26
3.2.2. Membran Tıkanması	29
BÖLÜM 4. ENDÜSTRİLERDE TERS OSMOZ UYGULAMALARI	31
4. Ters Osmoz Uygulamaları	31
4.1 Kağıt Sanayinde Ters Osmoz Uygulamaları	31
4.2 Elektrokaplama ve Metal Son İşlemleri Endüstrisi Uygulamaları	34
4.3 Tekstil Endüstrisi Uygulamaları	35
BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	36
5.1. Pilot Tesisler ve Deneylerin Yapılışı	36
5.1.1. Pilot Tesis-1' in Tanımı	36
5.1.2. Pilot Tesis-2' nin Tanıtımı	38
5.1.3. Pilot Tesiste Kullanılan Membranlara Ait Teknik Bilgiler	39
5.1.4. Pilot Tesislerin Çalıştırılması	40
5.1.5. İzleme Deneylerinin Yapılışı	43
5.2. Pilot Tesislerde Yapılan Deneyler	44
5.2.1. Birinci Aşama Deneyler	45
5.2.1.1. İncelenen Tesisin Tanımı	45
5.2.1.2. Deneylerin Yapılışı	47
5.2.2. İkinci Aşama Deneyleri	48
5.2.3. Üçüncü Aşama Deneyleri	49
5.2.3.1. İncelenen Tesisin Tanımı	49
5.2.3.2. Deneylerin Yapılışı	51
BÖLÜM 6. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	52
6.1. Kağıt Sanayi Atıksuları ileYapılan Deneylerin Değerlendirilmesi	52
6.1.1. Birinci Aşama Deneylerinin Değerlendirilmesi	57
6.1.2. İkinci Aşama Deneylerinin Değerlendirilmesi	63
6.2. Çöp Sızıntı Suyu ile Yapılan Deneylerin Değerlendirilmesi	63
6.2.1. Birinci Aşama Deneylerinin Değerlendirilmesi	63
6.2.2. İkinci Aşama Deneylerinin Değerlendirilmesi	64
6.3. Maya Sanayi Atıksuları ile Yapılan Deneylerin Değerlendirilmesi	68
6.3.1. Birinci Aşama Deneylerinin Değerlendirilmesi	68
6.3.2. İkinci Aşama Deneylerinin Değerlendirilmesi	70
6.4. Enerji Maliyetinin Değerlendirilmesi	70
6.4.1. Kağıt Sanayi Atıksularında Enerji Maliyeti	71
6.4.2. Çöp Sızıntı Sularında Enerji Maliyeti	71

ÖZGEÇMİŞ



SEMBOL LİSTESİ

C_b	: Besleme suyu konsantrasyonu
C_k	: Konsantre akımı konsantrasyonu
C_{max}	: Maksimum konsantrasyon
C_s	: Süzüntü akımı konsantrasyonu
D	: Diffüzyon katsayısı
δ	: Sınır tabakası kalınlığı
ΔC_s	: Konsantrasyon farkı
ΔP	: Uygulanan basınç
$\Delta \pi$	: Osmotik basınç farkı
i	: İyon sayısı
j	: Akı
K_s	: Çözülmüş maddelerin geçirimsizlik katsayısı
μ	: Akışkanın viskozitesi
μ_1	: Süzüntünün viskozitesi
MF	: Mikrofiltrasyon
MWCO	: Moleküler ağırlık engelleme sınırı
NF	: Nanofiltrasyon
μ	: Akışkanın viskozitesi
Q_b	: Besleme suyu debisi
Q_k	: Konsantre suyu debisi
Q_s	: Süzüntü suyu debisi
R	: Geri dönüş oranı
R_m	: Membran direnci
RO	: Ters osmoz
σ	: Refleksiyon katsayısı
SDI	: Kil yoğunluk indeksi

T : Sıcaklık
t₁₅ : 15 dakika sonra okunan zaman değeri
t₀ : İlk okunan zaman değeri
UF : Ultrafiltrasyon
v : hız
V : Sınır tabakası üzerindeki hız
y : Geri kazanım



ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2.1 Membran Giriş ve Çıkış Akımları	4
Şekil 2.2 Membran kesitlerinin şematik gösterimi	7
Şekil 2.3 Spiral sargılı membranlar	12
Şekil 2.4 Spiral sargılı membran kabı	12
Şekil 2.5 Boşluklu elyaf membranlar	14
Şekil 2.6 Tüp şeklindeki membranlar	15
Şekil 2.7 Plak ve çerçeve membranlar	15
Şekil 3.1 Osmoz ve ters osmoz işlemlerinin şematik şekli	22
Şekil 3.2 Membran yüzeyinde konsantrasyon polarizasyonu	26
Şekil 5.1 Membran pilot tesis 1 'in görünüşü	37
Şekil 5.2 Membran pilot tesis 2 'nin görünüşü	37
Şekil 5.3 Deneylerde kullanılan membranlar	40
Şekil 5.4 Pilot tesis-1 'in akım şeması	41
Şekil 5.5 Pilot tesis-2 'nin akım şeması	42
Şekil 5.6 İncelenen fabrikanın atıksu arıtma tesisi akım şeması	47
Şekil 5.7 İncelenen fabrikanın anaerobik arıtma tesisi akım şeması	50
Şekil 5.8 İncelenen fabrikanın aerobik arıtma tesisi akım şeması	51
Şekil 6.1 Kağıt sanayi atıksuları UF membranı zaman-akı grafiği	54
Şekil 6.2 Kağıt sanayi atıksuları BW membranı zaman-akı grafiği	54
Şekil 6.3 Kağıt sanayi atıksuları SW membranı zaman-akı grafiği	55
Şekil 6.4 Kağıt sanayi atıksuları UF membranı süzüntü suyu akımı iletkenlik-zaman grafiği	55

	Sayfa No
Şekil 6.5 Kağıt sanayi atıksuları BW membranı süzüntü suyu akımı iletkenlik-zaman grafiği	56
Şekil 6.6 Kağıt sanayi atıksuları SW membranı süzüntü suyu akımı iletkenlik-zaman grafiği	56
Şekil 6.7 Kağıt sanayi ham atıksuyu, UF ve SW membranları süzüntü Akımları renkleri	58
Şekil 6.8 Kağıt sanayi atıksuları UF membranı süzüntü suyu akımı KOI değerleri grafiği	59
Şekil 6.9 Kağıt sanayi atıksuları BW membranı süzüntü suyu akımı KOI değerleri grafiği	59
Şekil 6.10 Kağıt sanayi atıksuları SW membranı süzüntü suyu akımı KOI değerleri grafiği	60
Şekil 6.11 Kağıt sanayi atıksuları UF membranı süzüntü suyu akımı renk değerleri grafiği	60
Şekil 6.12 Kağıt sanayi atıksuları BW membranı süzüntü suyu akımı renk değerleri grafiği	61
Şekil 6.13 Kağıt sanayi atıksuları SW membranı süzüntü suyu akımı renk değerleri grafiği	61
Şekil 6.14 Kağıt sanayi atıksuları UF ve BW membranları renk ve KOI giderme verimleri	62
Şekil 6.15 Kağıt sanayi atıksuları UF ve SW membranları renk ve KOI giderme verimleri	62
Şekil 6.16 Çöp sızıntı suyu UF membranı akı- zaman grafiği	64
Şekil 6.17 Çöp sızıntı suyu BW membranı akı- zaman grafiği	65
Şekil 6.18 Çöp sızıntı suyu SW membranı akı- zaman grafiği	65
Şekil 6.19 Çöp sızıntı suyu UF membranı iletkenlik- zaman grafiği	66
Şekil 6.20 Çöp sızıntı suyu BW membranı iletkenlik- zaman grafiği	66
Şekil 6.21 Çöp sızıntı suyu SW membranı iletkenlik- zaman grafiği	67
Şekil 6.22 Çöp sızıntı suyu UF ve BW membranları renk ve KOI giderme Verimleri	67

	Sayfa No
Şekil 6.23 Çöp sızıntı suyu UF ve SW membranları renk ve KOİ giderme Verimleri	68
Şekil 6.24 Maya sanayi atıksuları SW membranı zaman-akı grafiği	72
Şekil 6.25 Maya sanayi atıksuları BW membranı zaman-akı grafiği	73
Şekil 6.26 Maya sanayi UF çıkış suyu SW membranı zaman-iletkenlik Grafiği	73
Şekil 6.27 Maya sanayi aerobik arıtma çıkış suyu SW membranı zaman-iletkenlik grafiği	74
Şekil 6.28 Maya sanayi aerobik arıtma çıkış suyu SW membranı zaman-iletkenlik grafiği	74
Şekil 6.29 Maya sanayi aerobik arıtma çıkış suyu BW membranı zaman-iletkenlik grafiği	75
Şekil 6.30 Maya sanayi aerobik arıtma çıkış suyu BW membranının farklı basınçlarda akı değişimi grafiği	75
Şekil 6.31 Maya sanayi aerobik arıtma çıkış suyu BW membranı besleme suyu ve süzöntü akımı renk değerleri	76
Şekil 6.32 Maya sanayi atıksuları UF ve SW membranı renk, KOİ ve amonyak giderme verimleri	76
Şekil 6.33 Maya sanayi atıksuları BW membranı renk, KOİ ve amonyak giderme verimleri	77
Şekil 6.34 Maya sanayi atıksuları SW membranı renk, KOİ ve amonyak giderme verimleri	77
Şekil 6.35 Kağıt sanayi atıksuları UF, BW ve SW membranları enerji maliyeti deney sonuçları	78
Şekil 6.36 Çöp sızıntı suları UF, BW ve SW membranları enerji maliyeti deney sonuçları	78
Şekil 6.37 Maya sanayi atıksuları UF, BW ve SW membranları enerji maliyeti deney sonuçları	79

TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 2.1 Membran tip ve yapıları	8
Tablo 2.2 Membranların Yüzey Alanı / Birim Hacim Oranları	13
Tablo 2.3 Membran Tertip Tarzlarının Karşılaştırılması	16
Tablo 3.1 Membran Proseslerde Fonksiyon Dağılımı	19
Tablo 5.1 Pilot tesiste kullanılan membranlara ait teknik bilgiler	39
Tablo 5.2 İncelenen tesisin atıksu miktar ve özellikleri	46
Tablo 5.3 Tesisin üretim, atıksu miktarı ve kirlilik yükü	46
Tablo 5.4 Maya fabrikası proses atıksuları miktar ve özellikleri	50
Tablo A.1 Kağıt sanayi atıksuları 1. aşama deneyleri	89
Tablo A.2 Kağıt sanayi atıksuları 1. aşama deneyleri	90
Tablo A.3 Kağıt sanayi atıksuları 1. aşama deneyleri	91
Tablo A.4 Kağıt sanayi atıksuları 1. aşama deneyleri	92
Tablo A.5 Kağıt sanayi atıksuları 1. aşama deneyleri	93
Tablo A.6 Kağıt sanayi atıksuları 1. aşama deneyleri	94
Tablo A.7 Kağıt sanayi atıksuları 1. aşama deneyleri	95
Tablo A.8 Kağıt sanayi atıksuları 1. aşama deneyleri	96
Tablo A.9 Kağıt sanayi atıksuları 1. aşama deneyleri	97
Tablo A.10 Kağıt sanayi atıksuları 1. aşama deneyleri	98
Tablo A.11 Kağıt sanayi atıksuları 1. aşama deneyleri	99

	Sayfa No
Tablo A.12 Kağıt sanayi atıksuları 1. aşama deneyleri	100
Tablo B.1 Kağıt sanayi atıksuları 2. aşama deney sonuçları	102
Tablo B.2 Kağıt sanayi atıksuları 2. aşama deney sonuçları	102
Tablo B.3 Kağıt sanayi atıksuları 2. aşama deney sonuçları	103
Tablo B.4 Kağıt sanayi atıksuları 2. aşama deney sonuçları	103
Tablo B.5 Kağıt sanayi atıksuları 2. aşama deney sonuçları	104
Tablo B.6 Kağıt sanayi atıksuları 2. aşama deney sonuçları	104
Tablo C.1 Çöp sızıntı suyu 1. aşama deneyleri	106
Tablo C.2 Çöp sızıntı suyu 1. aşama deneyleri	107
Tablo C.3 Çöp sızıntı suyu 1. aşama deneyleri	108
Tablo C.4 Çöp sızıntı suyu 1. aşama deneyleri	109
Tablo D.1 Çöp sızıntı suyu 2. aşama deney sonuçları	111
Tablo D.2 Çöp sızıntı suyu 2. aşama deney sonuçları	111
Tablo E.1 Maya Endüstrisi atıksuları 1. aşama deneyleri	113
Tablo E.2 Maya Endüstrisi atıksuları 1. aşama deneyleri	114
Tablo E.3 Maya Endüstrisi atıksuları 1. aşama deneyleri	115
Tablo E.4 Maya Endüstrisi atıksuları 1. aşama deneyleri	116
Tablo E.5 Maya Endüstrisi atıksuları 1. aşama deneyleri	117
Tablo E.6 Maya Endüstrisi atıksuları 1. aşama deneyleri	118
Tablo E.7 Maya Endüstrisi atıksuları 1. aşama deneyleri	119
Tablo E.8 Maya Endüstrisi atıksuları 1. aşama deneyleri	120
Tablo E.9 Maya Endüstrisi atıksuları 1. aşama deneyleri	120
Tablo E.10 Maya Endüstrisi atıksuları 1. aşama deneyleri	121

Tablo E.11 Maya Endüstrisi atıksuları 1. aşama deneyleri	Sayfa No 121
Tablo F.1 Maya Endüstrisi atıksuları 2. aşama deney sonuçları	123
Tablo F.2 Maya Endüstrisi atıksuları 2. aşama deney sonuçları	123
Tablo F.3 Maya Endüstrisi atıksuları 2. aşama deney sonuçları	123



ÖZET

Hızlı endüstrileşme ile birlikte çevre sorunları ve kirliliği de artmaktadır. Mevcut su kaynaklarının giderek tüketilmesi ve kirletilmesi, insanları çözüm yolları bulmaya yöneltmiştir. Sadece mevcut kullanma suyunun arıtılması değil, atıksuların uygun teknolojilerle arıtılarak geri kazanılmasında büyük önem kazanmıştır.

Endüstriyel atıksularda renk önemli bir kirletici parametredir. Alıcı su ortamındaki zararlı etkileri dolayısıyla renk, istenmeyen bir parametredir. Membran proseslerin, atıksularda renk gideriminde uygulama çalışmaları henüz sınırlıdır. Bu maksatla yapılan çalışmalarda atıksulardan renk gideriminin yanında diğer parametrelerinde yüksek oranda giderildiği görülmüştür.

Bu çalışmada, membran proseslerin teorisi anlatılarak, uygulama alanlarından örnekler verilmiştir. Deneysel çalışmalar üç farklı atıksu ile yapılmıştır. İlk aşama deneyleri kağıt sanayi atıksuları ile yürütülmüştür. İkinci aşamada çöp sızıntı suları, üçüncü aşamada da maya endüstrisi atıksuları ile deneyler yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda akı, enerji maliyeti ve verim parametrelerinin zamana göre değişimi incelenmiştir.

Tezin birinci bölümünde çalışmanın kapsamı, anlam ve önemi açıklanmıştır.

İkinci bölümde, membran ile ayırma mekanizması ve membranların yapısı hakkında bilgi verilmiştir.

Üçüncü bölümde, günümüzde kullanılan membran prosesler tanıtılmıştır.

Dördüncü bölümde, bugüne kadar endüstriyel atıksular üzerine yapılmış ters osmoz uygulamaları verilmiştir.

Beşinci bölümde, bu tezde kullanılan pilot membran tesisleri, çalışma prensibi, izlenen parametreler ve yürütülen deneyler ve deneysel çalışmalar açıklanmıştır.

Altıncı bölümde, deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar verilerek tablo ve grafiklerle değerlendirilmiştir.

Yedinci bölümde sonuçlar ve öneriler verilmiştir.

COLOR REMOVAL OF INDUSTRIAL WASTEWATERS WITH MEMBRANE TECHNOLOGY

SUMMARY

Environmental problems and pollution have increased due to the technological development and urbanization. Human have been searching alternative solutions to prevent pollution and to reduce natural sources. Thus, controlling at source and reuse of industrial effluents have recently gained significance.

Discharging of industrial wastewater to receiving waters causes unacceptable environmental conditions even if conventional waste treatment technologies are applied. Membrane technology have also been considered as a promising treatment method for the problematic industries.

Colour is a very important pollutant in industrial wastewater. It causes severe environmental conditions. Membrane processes have been used for removing colour from the high coloured wastewater.

In this study, the theory of membrane processes and its application has been investigated and practical application were presented. Treatability studies of colour from three different wastewater have been performed using ultrafiltration and reverse osmosis processes.

Two membrane pilot systems were used in the experimental studies. The pilot reactor was operated at a totally closed mode both for ultrafiltration and reverse osmosis experiments; the brine and permeate flows were recycled back to the feeding tank. In the first phase, pulp and paper mill industry effluents, in the second phase, leachate effluents and in the third phase, fermentation industry effluents were used to conduct treatability of colour.

The result of these experiments, shows high removals of colour, COD, conductivity and ammonium ions following the UF and RO treatment.

The result of these experiments were given below:

1) First Phase Experiments:

Pulp and paper mill industry effluents pretreated anaerobically and aerobically were used in the first phase experiment. Effluent is effectively treated by two stage membrane treatment (ultrafiltration (UF) and reverse osmosis (RO) (brackish water (BW) and seawater (SW)) membranes). The applied pressure were 4 bar

COLOR REMOVAL OF INDUSTRIAL WASTEWATERS WITH MEMBRANE TECHNOLOGY

SUMMARY

Environmental problems and pollution have increased due to the technological development and urbanization. Human have been searching alternative solutions to prevent pollution and to reduce natural sources. Thus, controlling at source and reuse of industrial effluents have recently gained significance.

Discharging of industrial wastewater to receiving waters causes unacceptable environmental conditions even if conventional waste treatment technologies are applied. Membrane technology have also been considered as a promising treatment method for the problematic industries.

Colour is a very important pollutant in industrial wastewater. It causes severe environmental conditions. Membrane processes have been used for removing colour from the high coloured wastewater.

In this study, the theory of membrane processes and its application has been investigated and practical application were presented. Treatability studies of colour from three different wastewater have been performed using ultrafiltration and reverse osmosis processes.

Two membrane pilot systems were used in the experimental studies. The pilot reactor was operated at a totally closed mode both for ultrafiltration and reverse osmosis experiments; the brine and permeate flows were recycled back to the feeding tank. In the first phase, pulp and paper mill industry effluents, in the second phase, leachate effluents and in the third phase, fermentation industry effluents were used to conduct treatability of colour.

The result of these experiments, shows high removals of colour, COD, conductivity and ammonium ions following the UF and RO treatment.

The result of these experiments were given below:

1) First Phase Experiments:

Pulp and paper mill industry effluents pretreated anaerobically and aerobically were used in the first phase experiment. Effluent is effectively treated by two stage membrane treatment (ultrafiltration (UF) and reverse osmosis (RO) (brackish water (BW) and seawater (SW)) membranes). The applied pressure were 4 bar

COLOR REMOVAL OF INDUSTRIAL WASTEWATERS WITH MEMBRANE TECHNOLOGY

SUMMARY

Environmental problems and pollution have increased due to the technological development and urbanization. Human have been searching alternative solutions to prevent pollution and to reduce natural sources. Thus, controlling at source and reuse of industrial effluents have recently gained significance.

Discharging of industrial wastewater to receiving waters causes unacceptable environmental conditions even if conventional waste treatment technologies are applied. Membrane technology have also been considered as a promising treatment method for the problematic industries.

Colour is a very important pollutant in industrial wastewater. It causes severe environmental conditions. Membrane processes have been used for removing colour from the high coloured wastewater.

In this study, the theory of membrane processes and its application has been investigated and practical application were presented. Treatability studies of colour from three different wastewater have been performed using ultrafiltration and reverse osmosis processes.

Two membrane pilot systems were used in the experimental studies. The pilot reactor was operated at a totally closed mode both for ultrafiltration and reverse osmosis experiments; the brine and permeate flows were recycled back to the feeding tank. In the first phase, pulp and paper mill industry effluents, in the second phase, leachate effluents and in the third phase, fermentation industry effluents were used to conduct treatability of colour.

The result of these experiments, shows high removals of colour, COD, conductivity and ammonium ions following the UF and RO treatment.

The result of these experiments were given below:

1) First Phase Experiments:

Pulp and paper mill industry effluents pretreated anaerobically and aerobically were used in the first phase experiment. Effluent is effectively treated by two stage membrane treatment (ultrafiltration (UF) and reverse osmosis (RO) (brackish water (BW) and seawater (SW)) membranes). The applied pressure were 4 bar

COLOR REMOVAL OF INDUSTRIAL WASTEWATERS WITH MEMBRANE TECHNOLOGY

SUMMARY

Environmental problems and pollution have increased due to the technological development and urbanization. Human have been searching alternative solutions to prevent pollution and to reduce natural sources. Thus, controlling at source and reuse of industrial effluents have recently gained significance.

Discharging of industrial wastewater to receiving waters causes unacceptable environmental conditions even if conventional waste treatment technologies are applied. Membrane technology have also been considered as a promising treatment method for the problematic industries.

Colour is a very important pollutant in industrial wastewater. It causes severe environmental conditions. Membrane processes have been used for removing colour from the high coloured wastewater.

In this study, the theory of membrane processes and its application has been investigated and practical application were presented. Treatability studies of colour from three different wastewater have been performed using ultrafiltration and reverse osmosis processes.

Two membrane pilot systems were used in the experimental studies. The pilot reactor was operated at a totally closed mode both for ultrafiltration and reverse osmosis experiments; the brine and permeate flows were recycled back to the feeding tank. In the first phase, pulp and paper mill industry effluents, in the second phase, leachate effluents and in the third phase, fermentation industry effluents were used to conduct treatability of colour.

The result of these experiments, shows high removals of colour, COD, conductivity and ammonium ions following the UF and RO treatment.

The result of these experiments were given below:

1) First Phase Experiments:

Pulp and paper mill industry effluents pretreated anaerobically and aerobically were used in the first phase experiment. Effluent is effectively treated by two stage membrane treatment (ultrafiltration (UF) and reverse osmosis (RO) (brackish water (BW) and seawater (SW)) membranes). The applied pressure were 4 bar

3) Third Phase Experiments:

Fermentation industry effluents pretreated anaerobically and aerobically were used for the third phase experiment. Effluent is effectively removed by a two stage membrane treatment (ultrafiltration (UF) and reverse osmosis (RO) (brackish water (BW) and seawater (SW)) membranes). The applied pressure were 4 bar for UF membrane, 20 bar for BW membrane and 50 bar SW membrane. Combination of UF and SW membranes, the initial colour =5160 Pt.Co.unit., COD = 3200 mg/l, ammonium= 680 mg/l and conductivity = 6500 μ S/cm values were reduced to 130 Pt.Co.unit., 47 mg/l, 45 mg/ lt and 400 μ S/cm, respectively.

Aerobically pretreated water were given directly to SW membranes. In these experiments, the initial values were, colour = 4600 Pt.Co.unit., COD = 2500 mg/l, ammonium 700 mg/l and conductivity = 6500 μ S/cm were reduced to 10 Pt.Co.unit., 10 mg/l, 60 mg/l, 100 μ S/cm, respectively. In this experiment, colour, COD, ammonium and conductivity removals of more than 99, 99, 91 and 97 % were obtained, respectively. Figure 5, shows the result of SW experiments.

BW experiments, colour, COD, ammonium and conductivity removals of more than 98, 99, 80 and 92 % were obtained, respectively. The result of BW experiment were given in Figure 6.

Flux of RO membranes were reduced with time and became constant. The changes of the concentration in the feeding tank effected the flux of BW and SW membranes. At the end of the experiments, constant flux of UBW and SW membranes were 25-28 $\text{lt/m}^2\cdot\text{hr}$ and 20-45 $\text{lt/m}^2\cdot\text{hr}$.

Cost of energy changed with increased pressure. The changes of the concentration in the feeding tank effected the energy cost of UF and RO membranes. Energy costs of UF, BW and SW membranes were constant around 6 KWH/h, 30 KWH/h and 20 KWH/h.

3) Third Phase Experiments:

Fermentation industry effluents pretreated anaerobically and aerobically were used for the third phase experiment. Effluent is effectively removed by a two stage membrane treatment (ultrafiltration (UF) and reverse osmosis (RO) (brackish water (BW) and seawater (SW)) membranes). The applied pressure were 4 bar for UF membrane, 20 bar for BW membrane and 50 bar SW membrane. Combination of UF and SW membranes, the initial colour =5160 Pt.Co.unit., COD = 3200 mg/l, ammonium= 680 mg/l and conductivity = 6500 μ S/cm values were reduced to 130 Pt.Co.unit., 47 mg/l, 45 mg/ lt and 400 μ S/cm, respectively.

Aerobically pretreated water were given directly to SW membranes. In these experiments, the initial values were, colour = 4600 Pt.Co.unit., COD = 2500 mg/l, ammonium 700 mg/l and conductivity = 6500 μ S/cm were reduced to 10 Pt.Co.unit., 10 mg/l, 60 mg/l, 100 μ S/cm, respectively. In this experiment, colour, COD, ammonium and conductivity removals of more than 99, 99, 91 and 97 % were obtained, respectively. Figure 5, shows the result of SW experiments.

BW experiments, colour, COD, ammonium and conductivity removals of more than 98, 99, 80 and 92 % were obtained, respectively. The result of BW experiment were given in Figure 6.

Flux of RO membranes were reduced with time and became constant. The changes of the concentration in the feeding tank effected the flux of BW and SW membranes. At the end of the experiments, constant flux of UBW and SW membranes were 25-28 $\text{lt/m}^2\cdot\text{hr}$ and 20-45 $\text{lt/m}^2\cdot\text{hr}$.

Cost of energy changed with increased pressure. The changes of the concentration in the feeding tank effected the energy cost of UF and RO membranes. Energy costs of UF, BW and SW membranes were constant around 6 KWH/h, 30 KWH/h and 20 KWH/h.

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1. KONUNUN ANLAM VE ÖNEMİ

Yeryüzünde hayatın devam edebilmesi için ihtiyaç duyulan en önemli unsurlardan biri sudur. Endüstrileşmenin ve nüfus artışının büyük bir hız kazandığı dünyamızda, su kaynakları giderek azalmakta ve kirlenmektedir. Oluşan atıksularla mevcut kaynakların kirlenmemesi için, atıksuların değişik yöntemlerle arıtılarak doğaya verilmesi hatta geri kazanılması gerekmektedir. Bu maksatla, çeşitli ileri arıtma teknolojileri geliştirilmekte ve yasal düzenlemelere gidilmektedir.

Çevrenin korunması için getirilen yasal düzenlemeler, endüstriyel uygulamaların su ihtiyacını giderek artması dolayısıyla ileri arıtma teknolojilerinin kullanımını da arttırmıştır. Son yıllarda giderek artan oranda kullanılan ileri arıtma teknolojilerinden biri de membran proseslerdir.

Membran prosesler ilk defa 1950' li yılların sonlarına doğru geliştirilmeye başlanmıştır. Tuzlu sulardan tatlı su temin etmek amacıyla başlayan membran teknolojisinin, günümüzde atıksuların arıtılması ve atıksularda bulunan değerli maddelerin geri kazanılması amacıyla kullanımı giderek artmaktadır.

Membranla arıtma işlemi, bir sıvının yüksek basınç altında polimerik bir membrandan geçirilerek bileşenlerine ayrılmasıdır. Membran delikleri suyun geçişini sağlayabilecek geçirgenliktedir. Kullanım amacına bağlı olarak farklı gözenek çapına sahip membranlar üretilmekte ve geliştirilmektedir.

Membran prosesler olarak tanımlanan ters osmoz, nanofiltrasyon, ultrafiltrasyon ve mikrofiltrasyon yöntemleri, membranlar konusundaki ilerlemelere paralel olarak atıksuların yeniden kullanımı bakımından büyük bir ilgi görmektedir. Membran proseslerin modüler olarak tasarlanmaları, düşük alan ihtiyaçları, kimyasal katkı ihtiyacının olmaması, kesintisiz ve otomatik olarak işletilebilen sürekli proses olmaları gibi üstünlükleri vardır. Gelişen üretim teknolojisine bağlı olarak membran maliyetleri sürekli düşmekte, ürün kalite ve çeşitliliği de artmaktadır. Bu yüzden membranlı arıtma teknolojilerine geleceğin ileri arıtma sistemi olarak bakılmaktadır.

1.2 ÇALIŞMANIN AMAÇ VE KAPSAMI

Renk, su kalitesinde çok önemli bir kirletici parametredir. Renk giderimi oldukça güçtür. Özellikle bazı endüstriyel atıksulardan diğer arıtma teknikleri ile rengin giderilmesi mümkün olmamaktadır. Atıksulardan rengin giderimi için membran prosesler denenmiş ve sonuçlar çok tatmin edici olmuştur. Membran proseslerle renk gideriminin yüksek olmasının yanında, diğer kirletici parametlerin gideriminde de oldukça yüksek verimler elde edilmiştir.

Bu çalışmada, önce literatür taraması yapılmıştır. Membran proseslerin teorisi ve kullanım potansiyeli araştırılmış, uygulamalardan örnekler verilmiştir. Bu çalışmada, farklı atıksularda, ultrafiltrasyon, kuyu suyu ve deniz suyu ters osmoz membranlarının akı, enerji maliyet ve verim üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu çalışma üç aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada kağıt sanayi atıksuları, ikinci aşamada çöp sızıntı suları ve üçüncü aşamada da maya endüstrisi atıksuları ile çalışılmıştır. Deneyler, laboratuarda teşkil edilen membran proses pilot tesisi ile yapılmıştır.

BÖLÜM 2

MEMBRAN İLE AYIRMA MEKANİZMASI VE MEMBRANLARIN YAPISI

2.1. GİRİŞ

1950' li yılların sonlarına doğru geliştirilmeye başlayan membran prosesler, günümüzde çok önemli bir konuma gelmiştir. Membranlar, ilk olarak, deniz suyundan içme suyu elde etmek amacıyla kullanılmaya başlandı. Son 25 yılda farklı ayırma prensiplerine ve mekanizmalara sahip çok sayıda membran prosesi geliştirildi.

Membran, su akımına bir engel teşkil ederek sudaki çözünmüş ve partiküler maddelerin ayrılmasını sağlayan, organik veya inorganik polimerlerden yapılan geçirgen veya yarı geçirgen bir malzemedir.

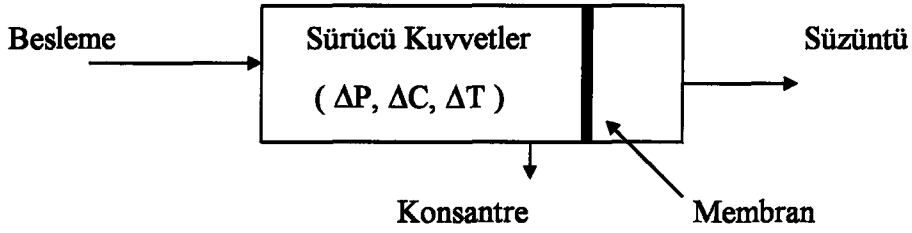
Membran ile ayırma olayı, membranın kimyasal ve fiziksel yapısına bağlıdır. Ayırma verimi çözeltide bulunan çözünmüş madde ve partiküler madde konsantrasyonlarına bağlıdır.

Membranlar genel olarak;

- 1- Sıvılardan ve gazlardan mikron boyutundaki partiküllerin filtrasyonu,
- 2- Sadece iyonik türlerin ayırımı,
- 3- Sıvılardan kolloidlerin ve büyük ölçekli moleküllerin ayırımı,
- 4- Sıvılardan bütün askıda katı veya çözünmüş maddelerin ayırımı
- 5- Konsantre çözelti elde etmek

gibi amaçlar için kullanılırlar (Bilstad 1997).

Ayırma işleminde, besleme çözeltisi sürücü kuvvetlerin (ΔP , ΔC , ΔT) etkisiyle membran yüzeyinden süzülerek membranın diğer tarafına geçer. Membrandan geçen akım süzüntü akımı, geçemeyen akım ise konsantre akımı olarak adlandırılır. Şekil 2.1 de bu akımların şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 2.1 Membran giriş ve çıkış akımları

Süzüntü suyu membran üzerindeki deliklerden geçerken içinde bulunan çözünmüş ve partiküler maddeleri membran yüzeyinde bırakır. Konsantre akım, membrandan geçemeyen maddeleri taşır ve membran yüzeyinden uzaklaştırır.

Konsantre akımın ve süzüntü akımının karakteristiği, membran tipine, membran malzemesine ve membranın üretim amacına bağlıdır (Lloyd ve dğr. 1985).

Membranların performansı, akı miktarına, membranın seçiciliğine veya alıkoyma özelliğine bağlıdır. Akı, birim zamanda membranın birim alanından geçen akım miktarıdır ve $m^3/m^2 \cdot \text{gün}$ veya $lt/m^2 \cdot \text{saat}$ birimleri ile ifade edilir. Membranın seçiciliği, membrandan geçenlerin ölçüsü, alıkoyma ise membrandan geçemeyen kısmın ölçüsüdür. İdeal bir membranda, akı miktarı ve seçicilik yüksektir (Lloyd, 1985).

Membran proseslerde, membran seçiciliği geri dönüş oranı (R) ile ifade edilmektedir.

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

$$(2.1)$$

olup

$$R(\%) = (C_b - C_s) / C_b = 1 - (C_s / C_b) \quad (2.2)$$

ile ifade edilir. Burada,

C_s : Süzüntü suyu akımı konsantrasyonu,

C_b : Besleme suyu konsantrasyonu,

dır. R birimsiz bir büyüklük olup 0 ile 1 arasında bir değer alır. R, " 1 " ise membrandan hiçbir madde geçememiştir, " 0 " ise bütün çözünmüş maddeler membrandan geçmiştir.

Gerçek geri dönüş oranı (R') ise,

$$R' = 1 - (C_s / C_m) \quad (2.3)$$

bağıntısı ile ifade edilebilir. Burada,

C_m : membran yüzeyi konsantrasyonu,

dur (Gekas 1988). Geri kazanım (y) , besleme akımının süzüntü akımına dönüşen kısmının bir ölçüsüdür. Geri kazanım aşağıda verilen bağıntı ile gösterilir;

$$y(\%) = (Q_b - Q_k) / Q_k = Q_s / Q_b \quad (2.4)$$

Burada,

Q_b : Besleme suyu debisi,

Q_s : Süzüntü suyu debisi,

Q_k : Konsantre kısmın debisi' dir.

Membran proseslerde, prosesin verimine etki eden faktörler; besleme suyu hızı, besleme suyunun çözünmüş ve partiküler madde konsantrasyonu, çözünmüş maddelerin cinsi, basınç (ΔP), sıcaklık (ΔT) ve pH.

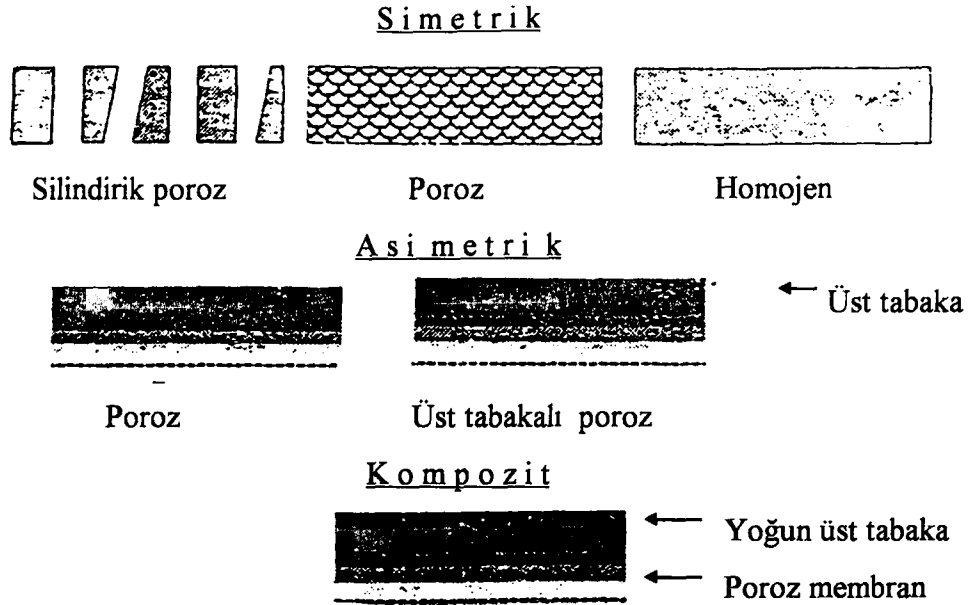
2.2 MEMBRANLARIN YAPISI

Membran proseslerde kullanılan membranlar, yapılarına göre doğal veya sentetik, organik veya inorganik , boşluklu veya boşluksuz, simetrik veya asimetrik membranlar olarak grublandırılırlar.

Membran proseslerde, ayırma membranın fiziksel ve kimyasal yapısına bağlı olarak önemli ölçüde değişmektedir. Artırılabilirlik, membran tipi ve sıvı özelliğine bağlıdır.

İlk asimetrik ve selüloz membranlar 1960' lı yıllarda geliştirildi ve daha sonraları geniş pH ve sıcaklık aralıklarına dayanıklı selüloz olmayan membranlar yapıldı (DOE, 1990).

Simetrik membranların (boşluklu veya boşluksuz) kalınlıkları 10 - 200 μm arasında değişmektedir. Asimetrik membranlar, üniform olmayan bir yapıya sahiptirler ve kalınlıkları 10 - 200 μm arasında değişmektedir. Bu membranların 0.1 - 0.5 μm kalınlığında oldukça yoğun bir üst tabaka ile 50 - 150 μm arasında değişen boşluklu bir alt tabakadan oluşur (Mulder 1991). Şekil 2.2 de membran kesitlerinin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 2.2 Membran kesitlerinin şematik gösterimi (Mulder, 1991)

İdeal bir membran, kimyasal ve mikrobiyolojik etkilere karşı dirençli olmalı, uzun çalışma sürelerinde arıtmaverimi ve mekanik karakteristikleri değişmemelidir (Williams ve dğr., 1990).

Membranların tıkanmaya karşı direnci ve tıkanmadan sonra kolay temizlenebilme özelliği membran seçiminde önemli bir faktördür (Mulder, 1991).

Organik membranların ana maddesi polimerlerdir. İnorganik membranlar kimyasal ve termal olarak organik membranlara göre daha dayanıklıdır.

Selüloz olmayan membranlar, organik maddelerin ayrılmasında ve akı miktarında selüloz membranlardan daha iyi bir performans gösterirler (Williams ve dğr., 1990).

Ters ozmos prosesinde yaygın olarak kullanılan membranlar asimetrik veya ince film kompozit yapıdadırlar. Bu membranlar nanofiltrasyon prosesinde de kullanılmaktadır.

Tablo 2.1 de bazı membranların tip ve yapıları verilmiştir.

Tablo 2.1 Membranların tip ve yapıları (Lloyd ve dğr. 1985)

Organik-Polimerik	Selüloz asetat (selüloz 2-asetat, selüloz 2.5-asetat, selüloz 3-asetat), Selüloz rejenerat, polisulphone, polieter sulfone, Poliamid (aromatik poliamid, kopoliamid, poliamid hidrazide), PAN
İnorganik	Boşluklu cam, ZrO ₂ - poliakrilik asit, ZrO ₂ - karbon, metaller (kurşun, gümüş, paslanmaz çelik, alimünyum)

2.3. MEMBRAN KARAKTERİSTİKLERİ

Membranın performansına, çalışma şartlarının, kullanılan membran tipinin ve sistem tasarımının çok büyük etkisi vardır. Maksimum akı elde etmek ve iyi bir arıtma gerçekleştirmek için sağlanması gereken bir çok koşul vardır. Membranın çalışma şartlarına etki eden bazı faktörler; konsantrasyon polarizasyonu, partiküler ve bakteriyel kirlenme ve organik adsorpsiyondur (Scott, 1995).

Membran tasarımları aşağıda verilen koşulları içermelidir:

1- Çözeltideki değişkenler:

- askıda katı maddeler
- çözünmemiş organik ve inorganik maddeler
- mikroorganizmalar
- organik çözücüler ve okside olmuş kimyasallar
- sıcaklık ve pH

2- Ön arıtma gereksinimi

3- Membrandaki değişkenler:

- membranın polimer tipi ve geometrik yapısı
- model düzenlemeleri
- istenen akı miktarı ve membrandan elde edilebilecek akı miktarı
- geri kazanılan sıvı miktarı ve konsantrasyonu

- akış hızı ve basınca dayanıklılığı
- temizlenme gereksinimi

4- Membranın, membran proseslerle etkileşimi

Karakterizasyonu iyi sıvılar için membran performansı, çalışma şartlarındaki değişkenlere bağlı olarak tahmin edilebilir. Membran performansını tahmin için geliştirilmiş nümerik çözümler vardır. Tüm koşullar için analitik bir çözüm yoktur (Scott, 1995).

Membran proseslerde kullanılacak membran tipi belirlenirken göz önünde tutulması gereken bir çok değişkenler vardır. Bunlar;

a- Sıcaklığa dayanıklılık :

Besleme suyundaki sıcaklık artışları membranın bozulmasına ve çabuk hidroliz olmasına sebep olur. Özellikle plastik malzemeden yapılmış membranlar sıcaklıktan çok etkilenirler. Ters ozmos prosesinde, sistemin verimi açısından genellikle 25 °C sıcaklıkta çalışılır. Selüloz asetat membranlar 35-40 °C sıcaklıklara dayanıklıdır. Seramik membranlara uygulanan sıcaklık 800 °C ye kadar çıkabilmektedir.

b- pH' ya dayanıklılık :

pH membranların gerek performansları gerekse ömürleri açısından önemlidir. Membranlar için pH aralığı 3-8 dir. Polyamid malzemeden yapılmış membranlar için pH çok önemlidir. Polyamid membranlar için tavsiye edilen pH aralığı 4-11 dir. Selüloz asetat membranlar için pH aralığı 4- 6 dir. Bu membranlar 4' ten küçük, 7 ' den büyük pH değerlerinde çok hızlı hidroliz olurlar. Asidik ve bazik koşullarda hidroliz hızı çok yüksektir (Scott, 1995).

c- Basınca dayanıklılık :

Membran proseslerin işletilmesinde en önemli etken besleme suyu basıncıdır. Sıvı akışı basınçla doğru orantılıdır. Basınç ters osmoz proseslerinde turbülanslı akım oluşturmaktadır. Böylece membran üzerinde çökelti oluşması önlenerek membran veriminin düşmesi önlenmektedir.

Normalden yüksek basınç uygulamaları, membranın yapısını bozmaktadır. Her bir membran için ayrı basınçlar uygulanmaktadır. Mikrofiltrasyonda < 2 bar, ultrafiltrasyonda 1-8 bar, nanofiltrasyonda 10-30 bar, ters osmozda 10-100 bar basınç uygulanmaktadır (Mulder, 1991).

d- Kimyasal dayanıklılık :

Membranın kimyasal yapısı çözeltiliye uygun ve dayanıklı olmalıdır. Bazı çözülmüş organik maddeler membranda bozulmalara sebep olur. Membranlarda kullanılan çoğu polimerler pek çok organik bileşikte çözünebilirler.

Selüloz asetat membranlar klora dayanıksız olduklarından bu membranların besleme çözeltileri klor içermemelidir.

e- Mekanik kararlılık :

Membran yüzeyindeki tabaka kırılğan bir tabaka olduğundan yüksek basınçlardan etkilenmektedir. İyi bir membranın yüksek basınç altında mekanik dayanıklılığı yüksek olmalıdır. Besleme çözeltisindeki basınç değişmelerinden etkilenmemelidir (Riley, 1989).

f - Ekonomik Özellikler :

Genel olarak membranlar yüksek geçirgenlik, iyi bir seçicilik ve düşük maliyete sahip olmalıdır. Ekonomik özellik membran seçiminde önemlidir. Kullanılacak olan membranın, çalışma ömrünün uzun, maliyetinin düşük, alan ihtiyacının az ve nakliye kolaylığı istenir.

2.4 MEMBRAN TERTİP TARZLARI

Genel olarak membranlar; spiral sargılı membranlar, boşluklu elyaf membranlar, tüp şeklinde membranlar ve plak ve çerçeve membranlar olmak üzere sınıflandırılırlar.

2.4.1 Spiral Sargılı Membranlar

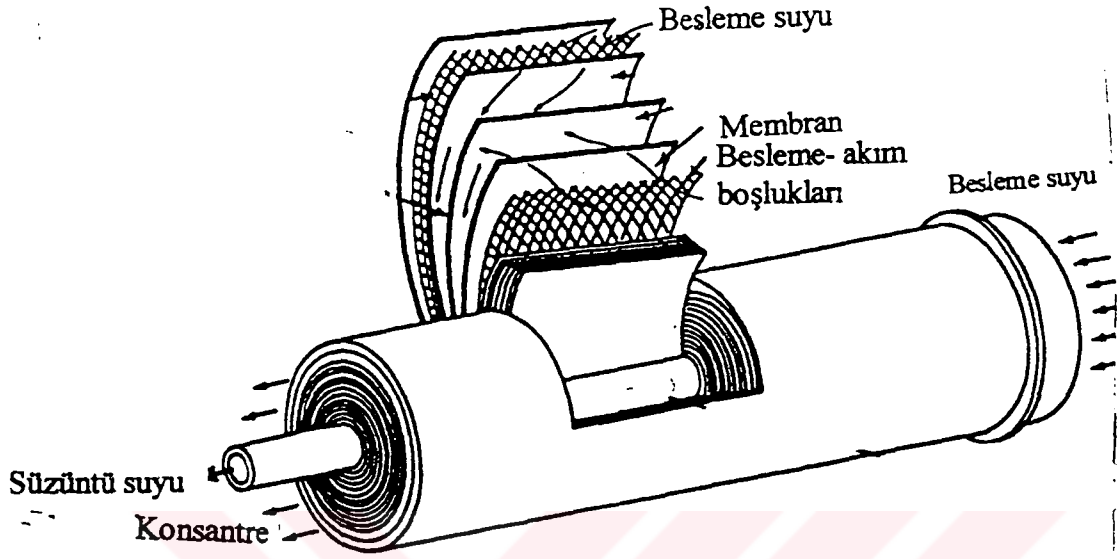
Membran malzemesi, süzüntü suyunun toplandığı bir tüp etrafına rulo halinde sarılmıştır. İki membran arasında gözenekli bir yapı vardır. Şekil 2.3 de spiral sargılı membranların düzenleme şekli verilmiştir.

Spiral sargılı membranlarda, besleme suyu membranın dış yüzeyinden merkeze doğru süzülür. Süzüntü suyu membran ortasındaki toplama tüpünde toplanarak uzaklaştırılır. İlk olarak 1960 ' lı yılların sonlarına doğru tek sargılı membran ortaya çıkmıştır. Tek sargılı membran, iki membran arasına tek katman gözenekli yapı konularak oluşturulur. Zamanla bu tip membranlar geliştirilerek çok sayıda membran tabakasından yapılmaya başlanmıştır. Yaygın olarak kullanılan spiral sargılı membranların çapı 203-279 mm, uzunluğu 1-1.5 m ve alanları 30-65 m² dir (Riley, 1989). Spiral sargılı membranlarda selüloz asetat ve kompozit membranlar kullanılır.

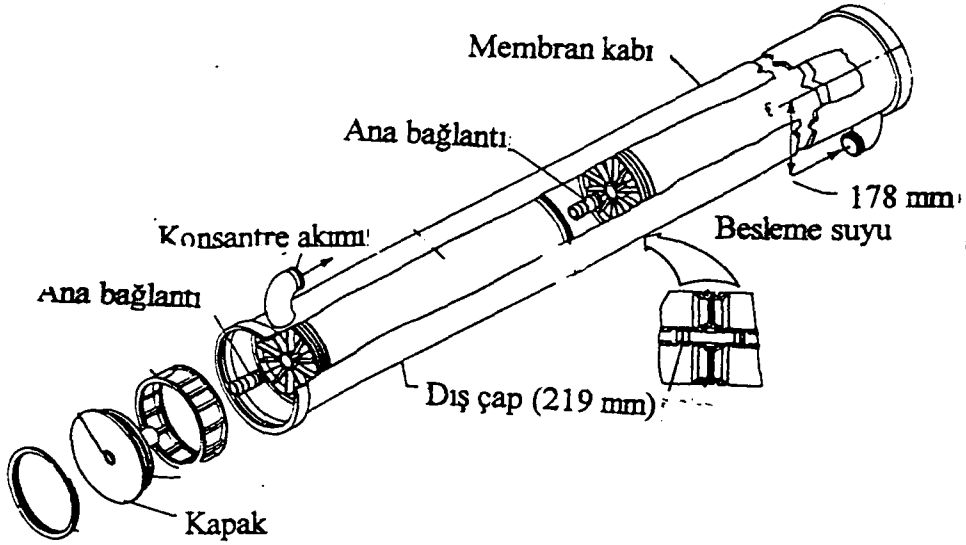
Membranlar bir membran kabı ile kullanılır. Bu kap, bir veya bir çok membranı içine alabilecek şekilde, paslanmaz çelik, PVC ve fiberglas malzemeden yapılabilir. Şekil 2.4 de spiral sargılı membran dış kabı gösterilmektedir.

2.4.2 Boşluklu Elyaf Membranlar

Küçük bir alana çok miktarda elyaf lifinin sığdırılmasıyla oluşturulmuştur. Şekil 2.5 de boşluklu elyaf membran gösterilmiştir.



Şekil 2.3 Spiral sargılı membran (Schierach, 1988)



Şekil 2.4 Spiral sargılı membran kabı (Osmonics, 1988)

Membran, bir dış kap içine yerleştirilir. Besleme suyu dış taraftan basınçlı bir şekilde kabın içine verilir. Süzüntü suyu iç bölmede toplanarak uzaklaştırılır.

Boşluklu elyaf membranlarda elyaf delik çapı 0.5 - 2.5 mm arasında değişir. Elyaf delik çapları küçük olduğundan partiküler maddelerden çok çabuk tıkanır. Tıkanma olayı hem elyaf deliklerinde hem de iki elyaf arasında ki boşlukta olmaktadır. Ultrafiltrasyonda 1- 100 μm çaplı moleküllerin ve kolloidlerin tutulmasında kullanılır. 100 μm ' den büyük çaplı partikül içeren çözeltilerde ön arıtma gereklidir (Meares, 1976).

Basınca dayanıklılıklarını artırmak için membran iç çap ile dış çap oranı yüksektir. Yaygın olarak kullanılan membranlarda bu oran 2:1 dir (Meares 1976).

Duvar kalınlıkları yüksek olduğundan akı değeri ve verimleri düşüktür. Birim maliyetleri, üretilen süzüntü suyu başına diğer membran türlerine göre daha fazladır. Boşluklu elyaf membranların birim hacimdeki yüzey büyüktür (Meares, 1976). Tablo 2.2 de membran türlerinin yüzey alanı / birim hacim oranları gösterilmektedir.

Tablo 2.2 Membranların yüzey alanı / birim hacim oranları (Meares, 1976)

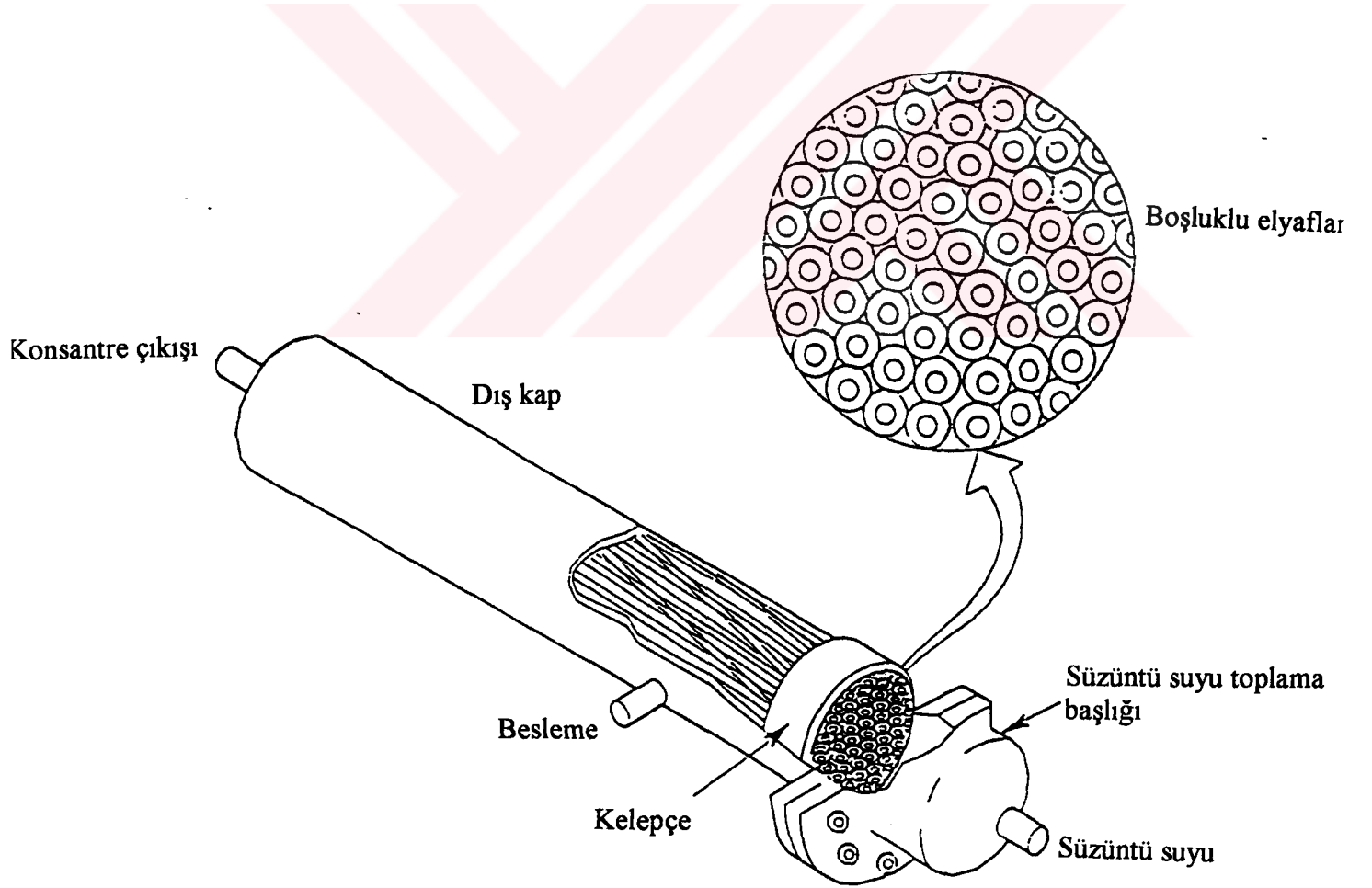
<i>Membran tipi</i>	<i>Alan / birim hacim (m^2/m^3)</i>
Tüp şeklindeki membranlar	30
Spiral sargılı membranlar	90
Boşluklu elyaf membranlar	1500

2.4.3 Tüp Şeklindeki Membranlar

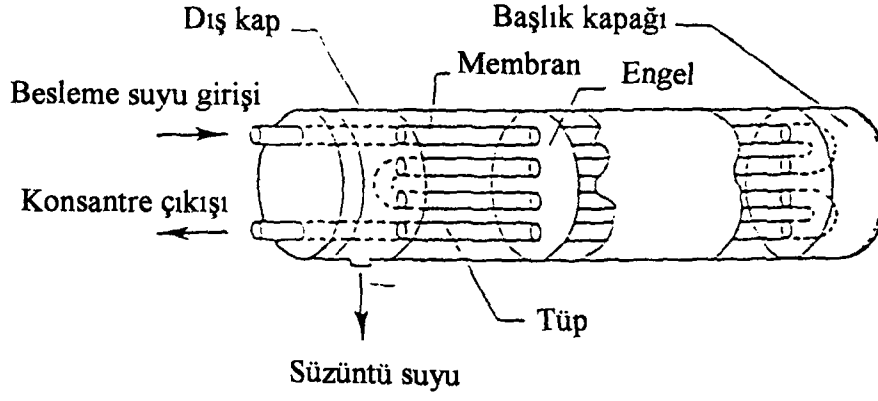
Tüp şeklindeki membranlar, çok sayıda ve yaklaşık 6 m uzunluğundaki küçük tüplerin büyük sağlam tüpler veya borular içine yerleştirilmesiyle teşkil edilir. Besleme suyuna basınç uygulanması sonucu süzüntü suyu boru dışına çıkar ve dış kaptaki toplanarak

uzaklaştırılır. Konsantre kısım tüp içinde toplanır. Şekil 2.6 da tüp şeklinde membran gösterilmektedir.

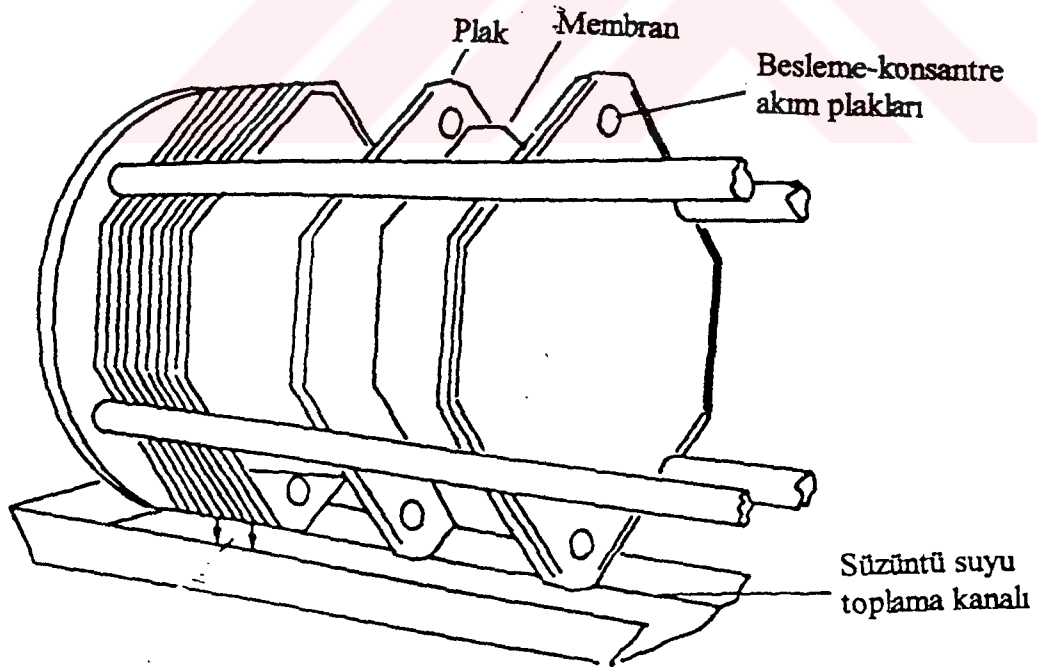
Tüp membranların üretimleri pahalıdır. Alan ihtiyaçlarının büyük olması ve maliyetlerinin yüksek olmasından dolayı kullanımları kısıtlıdır. Basıncın düşük olduğu koşullarda bile membran üzerinde turbülanslı akım oluşturulabilmektedir. Bu özelliğinden dolayı, yüksek konsantrasyonlu çözeltilerle tıkanmadan uzun süre çalıştırılabilirler. Bu membranları temizlenmek oldukça kolaydır. Membran üzerinde turbülanslı akım oluştuğu için tıkanma riski minimuma indirilebilmektedir (Riley, 1989).



Şekil 2.5 Boşluklu elyaf membranlar (Riley, 1989)



Şekil 2.6 Tüp şeklindeki membranlar (Riley, 1989)



Şekil 2.7 Plak ve çerçeve membranlar (Schierach, 1988)

2.4.4 Plak Ve Çerçeve Membranlar

Membran büyük dairesel plakalar arasına yerleştirilerek teşkil edilir. Membran plakaları süzüntü suyu kanallarıyla desteklenir (Şekil 2.7). Plaka kalınlığı 0.5-1 mm arasında değişir. Kanal uzunluğu 6-60 cm dir.

Ağır ve iri olduklarından işletilmeleri zordur ve kullanım alanları oldukça azdır.

2.4.5 Membran Tertip Tarzlarının Karşılaştırılması

Tablo 2.3 de membran tertip tarzlarının farklı karakteristik özellikler açısından karşılaştırılmaları verilmiştir.

Tablo 2.3 Membran tertip tarzlarının karşılaştırılması (Riley, 1989)

	<i>Membran Tipi</i>			
	Spiral sargılı	Boşluklu elyaf	Tüp şekilli	Plak ve çerçeve
Alan ihtiyacı (m²/ m³)	800	6000	70	500
Besleme suyu hızı (m/sn)	0.25- 0.5	~ 0.005	~ 1 - 5	0.25- 0.5
Basınç azalması (kg/cm²)	3 -6	0.1 - 0.3	2 - 3	3 - 6
Tıkanma eğilimi	Yüksek	Yüksek	Düşük	Orta
Temizlenebilme özelliği	zayıf	zayıf	çok iyi	iyi
Ön arıtma ihtiyacı	10- 25 µm	10- 25 µm	gerekli değil	10- 25 µm
İlk yatırım maliyeti	düşük	düşük	yüksek	yüksek

BÖLÜM 3

MEMBRAN PROSESLER, KONSANTRASYON POLARİZASYONU VE TIKANMA

3.1 MEMBRAN PROSESLER

Membran prosesler, yaklaşık 25 yıldır deniz suyu ve kuyu suyu arıtımında yaygın olarak kullanılmaktadır. Endüstriyel alandaki hızlı gelişmelere paralel olarak membran tekniği de geliştirilmiştir. Kullanım amacına bağlı olarak akı miktarı yüksek, kimyasal etkilere, yüksek sıcaklıklara ve geniş pH aralıklarına dayanıklı membranlar yapılmıştır. Geleneksel deniz ve kuyu suyu arıtımının yanında membran prosesler, atıksuların arıtılması, saf su ve yumuşak su üretimi, gıda ve ilaç sanayi prosesleri ayırma işlemlerinde, kağıt sanayi atıksu arıtımında, petrokimya endüstrilerinde gaz arıtımında kullanılmaya başlamıştır (Bilstad, 1997).

Bu endüstrilerde, membran proseslerin kullanımı, distilasyon, iyon değiştirme, adsorbsiyon vb. ayırma yöntemlerine göre daha avantajlıdır. Enerji tüketimleri düşüktür ve kimyasal maddeye ihtiyaç göstermezler. Membran proseslerde kullanılan ekipmanlar basittir ve işletilmeleri oldukça kolaydır.

Membranların performanslarının arttırılmasıyla kullanım alanları da artmıştır. Membran proseslerin temel kullanım alanları;

- Katı partiküllerin ayrılması
- Çözeltinin konsantre edilmesi
- Atıksu akımından bazı maddelerin geri kazanılması
- Çok kirli atıksuların arıtılması

olarak sıralanabilir (Bilstad, 1997).

Membranlar arıtma işlemi sürücü kuvvetlerin etkisi ile gerçekleştirirler. Sürücü kuvvetler, akımın membranın bir tarafından diğer tarafına geçmesini sağlarlar. Ters osmoz , ultrafiltrasyon, mikrofiltrasyon ve pervaporasyonda basınç en önemli sürücü kuvvettir.

Membran proseslerde sürücü kuvvetler basınç, sıcaklık ve konsantrasyon farklarıyla ilgilidir. Geri dönüş oranı yüksek olan membranlarda sürücü kuvvetlerin akı miktarına etkisi oldukça azdır. Membran sülfonik asit veya karboksilik asit gibi sabit yüklü iyonlardan oluşuyorsa yüksek tuzlu su arıtımı gerçekleşir (Pusch, 1986).

Membran prosesler dört gruba ayrılır. Bunlar;

- 1- Mikrofiltrasyon (MF)
- 2- Ultrafiltrasyon (UF)
- 3- Nanofiltrasyon (NF)
- 4- Ters osmoz (RO)

Tablo 3.1 de membran proseslerin fonksiyon dağılımı verilmiştir.

3.1.1 Mikrofiltrasyon (MF)

Mikrofiltrasyon makro moleküllerin membrandan geçmesine izin verirken 100 nm boyutundan büyük partiküllerin membrandan geçmesini engeller. Mikrofiltrasyonda, akım membran yüzeyine paralel olarak uygulanır. Membrandan geçemeyen konsantre kısım membran üzerinde birikir ve membran yüzeyinde direnç artar. Membranın filtrasyon verimi azaldığı zaman, membran temizlenmeli veya değiştirilmelidir. Mikrofiltrasyon membranlarını temizlemek olduğundan, genellikle değiştirilirler.

Günümüzde çapraz akışlı mikrofiltrasyon membranları kullanılmaya başlanmıştır. Çapraz akışlı mikrofiltrasyon membranları tıkanmalara ve basınç kayıplarına karşı oldukça dayanıklıdır (Bilstad,1997).

Mikrofiltrasyonda, 2 bar ' dan az basınçlarda çalışılır.

Tablo 3.1 Membran proseslerde fonksiyon dağılımı (Kovuncu, 1997)

	Elektronik Mikroskopu							Optik mikroskop		Plak göz	
	iyon	molekül	Büyük parça		Küçük parça	Büyük parça					
Parça Büyüklükleri	(μm)	0.001	0.01	0.1	1.0	10	100				
1000											
Filtre Ölçüsü Ang. (1/1000000 m)	10		10^2	10^3	10^4	10^5	10^6				
10^7											
Çeşitli maddelerin parça büyüklükleri	Çözülmüş tuz Metal iyonları Erimiş şeker	K. Siyahı Virüsler Sigara dumanı	Her türlü boya pigmenti Bakteriler Alyuvarlar	İnsan saçı Toz Polenler	Deniz kumu Granül kömür						
Kullanılacak Arıtma Tekniği	Ters Osmoz	Ultrafiltrasyon	Nanofiltrasyon	Mikrofiltrasyon	Standart Filtrasyon						

3.1.2 Ultrafiltrasyon (UF)

Ultrafiltrasyon, membran proseslerin fonksiyon dağılımında mikrofiltrasyon ile ters osmoz arasında kalır. Ultrafiltrasyonun kullanım alanı bu iki prosesle çakışır. Ultrafiltrasyonda molekül ağırlığı yüksel olan maddeler tutulur. Membran delik çapı 0.05-1 nm arasında değişir. Kolloidal partiküller, polimerler, biomoleküller ve şeker iyonları membranda alıkonan maddelerden bazılarıdır.

Ultrafiltrasyon genel olarak;

- ters osmoz sistemlerinde, ters osmoz membranlarını korumak için ön işlem olarak
- kapalı devre sistemlerde suyun kalitesini korumak
- besleme çözeltisini artırmak veya konsantre etmek

amacıyla kullanılır.

Ultrafiltrasyon membranlarında moleküler ağırlık engelleme sınırı (MWCO) önemlidir. MWCO, maddelerin iyonize olma seviyelerini ifade eder. Daha çok membran tarafından %90 oranında geri iletilen küçük moleküler ağırlıklı maddeler için tanımlanır. Her membran için tanımlanan MWCO değeri, çalışma koşullarına, besleme çözeltisinin kimyasal içeriğine ve moleküller özelliğe bağlı olarak değişebilir. Ayırma işleminde membran ile çözelti arasındaki uyum önemlidir.

Ultrafiltrasyon ve ters osmoz proseslerinde membrandan madde geçişini sağlayan sürücü kuvvet, basınç farkıdır. Ultrafiltrasyonda osmotik basınç farkı, ters osmoza göre daha düşüktür. Ultrafiltrasyon membranları 2- 10 bar gibi düşük basınçta çalıştırılırlar.

Membranda en büyük direnç, membranın üst tabakasında meydana gelir. Bu direnç ultrafiltrasyon prosesinin verimi için önemlidir. Membran yüzeyindeki kirlenme eğilimi azalan yönde olmalıdır. Membranın polimer yapısı akıyı arttıracak ve tıkanmayı azaltacak şekilde tasarlanmalıdır.

Ultrafiltrasyon membranları, gıda endüstrilerinde, ilaç sanayinde su arıtımında, kimya, kağıt ve tekstil endüstrilerinde atıksu arıtımında kullanılmaktadır.

3.1.3. Nanofiltrasyon (NF)

Ters osmoz ile ultrafiltrasyon arasında bulunmaktadır. İnce film selüloz olmayan membranlardaki gelişmeler ile beraber kullanılmaya başlanmıştır. Nanofiltrasyon, ters osmozdan daha düşük basınçlarda (< 5 bar) çalıştırılmasına karşın ters osmozdan daha yüksek akıya sahiptir. Nanofiltrasyon membranları negatif yüklüdür. Bu nedenle, tek değerlikli iyonların (Cl^- vb.) geri dönüş oranı çok değerlikli iyonların (SO_4^{2-} , vb.) geri dönüş oranından daha azdır. İyon konsantrasyonu fazla olan çözeltilerde tuzlu su geri dönüş oranı yüksektir .

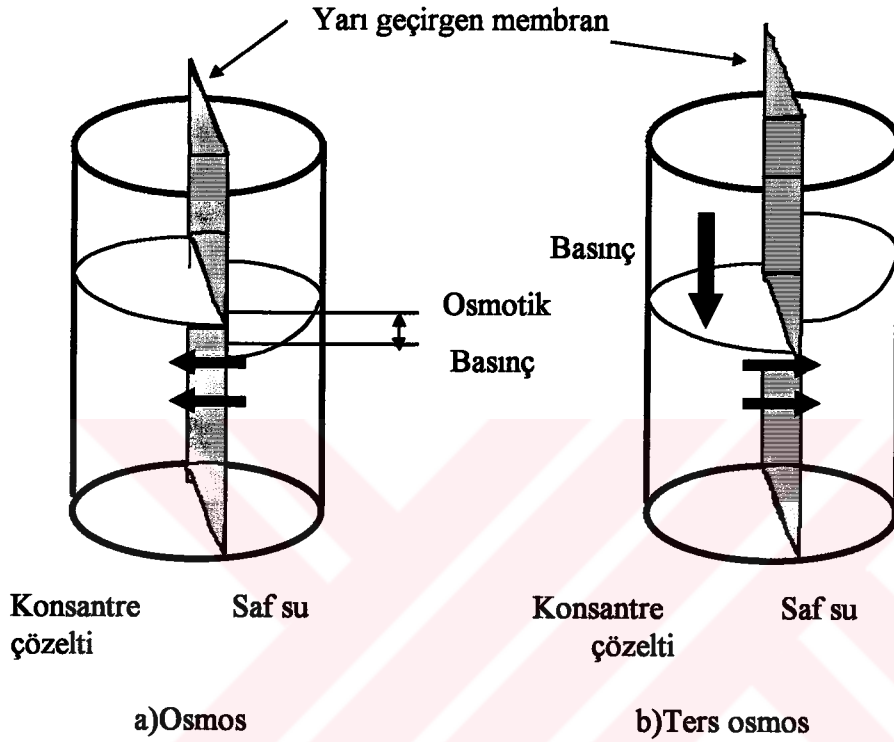
Nanofiltrasyonun MWCO değeri 200 civarındadır. Düşük basınçta bile iyon yükü yüksek ve molekül ağırlığı 200 den büyük olan organikleri içeren çözeltiler membran tarafından alıkonur. 5 bar basınç altında ve 2000 mg/lt civarındaki tuz çözeltisinin nanofiltrasyonu sonucunda, sodyum klorür geri dönüş oranı %60, kalsiyum bikarbonat geri dönüş oranı %80, magnezyum sülfat geri dönüş oranı %98 civarında olmuştur (Koyuncu, 1997).

Nanofiltrasyon, tekstil (Simpson, Kerr ve Buckley 1987), kağıt sanayi (Bindoff ve dğr. 1987), elektro kaplama endüstrisi (Cadotte ve dğr. 1988), boya endüstrisi (Perry ve Linder 1989), gıda endüstrisi (İkedo ve dğr., Cadotte ve dğr. 1988) atıksularının arıtımında kullanılmaktadır.

3.1.4. Ters Osmoz (RO)

Ters osmoz, molekül ağırlığı çok düşük olan maddelerin çözelti içinden alınması prosesidir. Osmoz, suyun yarı geçirgen bir membranın her iki tarafında osmotik denge sağlanıncaya kadar , saf su tarafından konsantre çözelti tarafına doğru akmasıdır.

Denge halinde membranın her iki tarafında osmotik basınç aynıdır. Suyun akış yönünü değiştirmek için sisteme osmotik basınçtan daha büyük bir basınç uygulanır. Bu durumda su, konsantre taraftan saf su tarafına doğru akar. Bu olaya ters osmoz denir. Ters osmoz hiperfiltrasyon olarak da tanımlanır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Osmoz ve ters osmoz sistemlerinin şematik şekli (Scott, 1995)

Ters osmoz prosesi, inorganik maddelerin ve molekül ağırlığı çok düşük olan organik maddelerin yüksek oranda ayrılmasında kullanılır. Organik maddelerin geri dönüş oranı membran malzemesinin tipine, yapısına ve membran ile çözelti arasındaki uyuma bağlıdır. Ters osmoz prosesinde, çözünmüş madde konsantrasyonu ve akış hızı, basınç, sıcaklık , pH ve askıda katı madde konsantrasyonu önemli değişkenlerdir.

Ters osmoz prosesinde membrandan geçen akım süzüntü akımı, geçemeyen akım ise konsantre akım olarak tanımlanır. Membrandan geçen akı, membranın geçirgenliği,

membrana uygulanan basınç (ΔP) ve membrandaki osmotik basınç farklığına bağlıdır. Ters osmozda akı değeri,

$$J_w = k.(\Delta P - \Delta\pi) \quad (3.1)$$

ile hesaplanır. Burada,

ΔP : Basınç farklığı,

$\Delta\pi$: Osmotik basınç farklığı,

k : Membran geçirgenliğini

ifade etmektedir.

Membrandaki gerçek osmotik basınç farklığı refleksiye katsayısı (σ) ile tesbit edilir. Refleksiye katsayısı,

$$\sigma = \Delta\pi / \Delta P \quad (3.2)$$

formülü ile hesap edilir. Gerçek osmotik basınç farklığı,

$$\Delta\pi = \sigma . \Delta P \quad (3.3)$$

olur. Refleksiye katsayısı 1' den küçük ve pozitif bir değerliktir. Genellikle $\sigma \leq 1$ dir.

Membrana gelen akım, çözünmüş maddeleride taşır. Bu çözünmüş maddelerin akısı, membrandan geçen çözünmüş maddelerin konsantrasyon farklılıkları ile doğru orantılıdır. Membrandan geçen çözünmüş madde akısı,

$$J_s = K_s \cdot \Delta C_s \quad (3.5)$$

ifadesi ile verilmektedir. Burada;

ΔC_s : Konsantrasyon farkı

K_s : Çözünmüş maddelerin geçirimsilik katsayısı' dır.

K_s , 5×10^{-3} ile 10^{-4} arasında değişir. K_s ' nin en küçük değeri, en yüksek geri dönüş oranını (R) gösterir.

Ters osmoz prosesinde, membran malzemesinin seçimi önemlidir. Yaygın olarak kullanılan ters osmoz membranları, asimetrik veya kompozit yapıdadır. İdeal ters osmoz membranları, kimyasal ve biyolojik etkilere, ayırma ve mekanik karakteristikleri uzun çalışma sürelerine dayanıklı olmalıdır. Membran teknolojisindeki ilerlemeler sonucunda, yüksek sıcaklık, geniş pH aralıklarına ve yüksek klor değerlerine dayanıklı membranlar geliştirilmiştir.

Membran geri dönüş oranı ve akı değeri konsantrasyon, sıcaklık, basınç ve pH değişkenlerine bağlıdır. Akı değeri, basıncın artmasıyla artar. Konsantrasyonu yüksek çözeltilerin osmotik basıncı yüksek olduğundan, akı değeri azalır. Sıcaklıkla hem osmotik basınç hem de geçirgenlik katsayısı artar.

Ters osmozda ön arıtma ihtiyacı sistem tasarımında önemlidir. Tıkanmış bir membranı temizlemek oldukça güçtür. Membranın tıkanmasını önlemek için suda bulunan askıda katı ve kolloidal maddelerin ayrılması gereklidir. Bunun için ön arıtma uygulanmalıdır.

Askıda katılar ve kolloidler için ön arıtma ihtiyacı, SDI (kil yoğunluk indeksi)' den yararlanılarak belirlenir. SDI değerini tesbit etmek için, filtre kağıdı filtre kabına yerleştirilir. Sabit basınç altında, su filtreden geçirilerek 100 ml hacmindeki kaba doldurulur. Kabın dolma süresi (= t_0) ölçülür. Daha sonra 15 dakika süre ile sistem çalıştırılır. Bu süre sonunda kabın dolma süresi (= t_0) belirlenir. Elde edilen değerlerle SDI değeri, denklem (3.5) ile hesaplanır.

$$SDI = ((1 - (t_0 / t_{15})) / 15) * 100 \quad (3.5)$$

Burada,

t_0 : İlk okunan zaman değeri (sn)

t_{15} : 15 dakika sonra okunan zaman değeri (sn)

ifade eder.

Ters osmoz prosesleri, birim membran hacminden maksimum akı miktarı elde edilebilecek, konsantrasyon polarizasyonundan dolayı meydana gelen olumsuz etkileri azaltacak ve enerji maliyeti düşük olacak şekilde dizayn edilmelidir.

3.2 KONSANTRASYON POLARİZASYONU VE TIKANMA

Konsantrasyon polarizasyonu ve tıkanma, membranın veriminde düşüş meydana getiren olaylardır. Meydana gelen etki, membran prosesin tipine bağlı olarak değişir. Membran yüzeyinde biriken makromoleküller ve partiküler maddeler, polarizasyon ve tıkanmaya sebep olurlar. Polarizasyon ve tıkanma, akıda da düşüş meydana getirir.

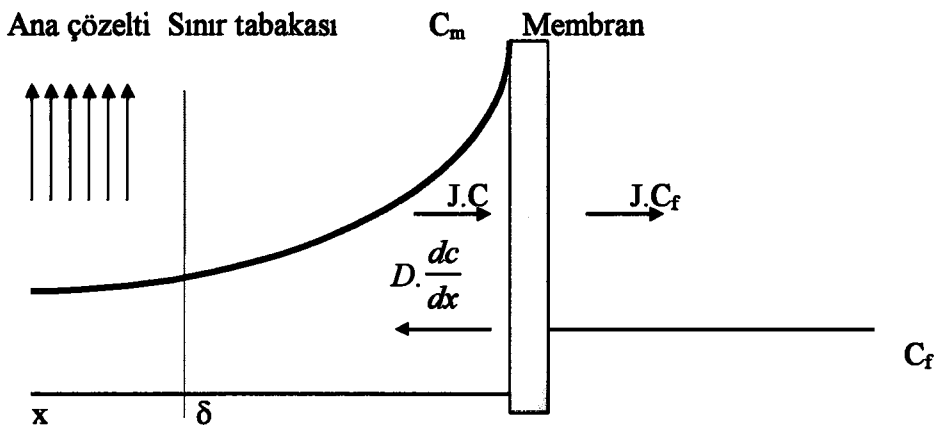
3.2.1 Konsantrasyon Polarizasyonu

Su membrandan geçerken, besleme çözeltisi içindeki maddeler membranda tutulur. Membran tarafından tutulan maddeler, membran yüzeyinde birikerek konsantrasyon artışına sebep olur. Zamanla membran yüzeyindeki konsantrasyon besleme çözeltisi konsantrasyonundan daha fazla olur. Membran yüzeyindeki konsantrasyon, membran yüzeyinden akan kısmın konsantrasyonu tarafından tutulur. Bu olay, membran polarizasyonu olarak adlandırılır. Bir süre sonra konsantrasyon birikmesi geri diffüze olmaya başlar. Membran yüzeyinde konsantrasyon profili gözlenir (Şekil 3.2) (Matthiasson ve dğr., 1980).

Konsantrasyon polarizasyonun etkileri;

- 1- Membran yüzeyinde osmotik basıncın artması ve akının azalması
- 2- Membran yüzeyindeki konsantrasyon artışıyla membran deliklerinin tıkanması ve böylece akı miktarının azalması
- 3- Membranın arıtma özelliğinin değişmesi
- 4- Membranın kirlenmesi

olarak sıralanabilir.



Şekil 3.2 Membran yüzeyinde konsantrasyon profili (Mulder, 1991)

Konsantrasyon polarizasyonu membran yüzeyine yakın yerde iyi bir karışım oluşturarak azaltılabilir. Karışımı sağlamak için, besleme kanalında membran yatay akış hızının arttırılarak türbülanslı akım oluşturulması gerekir.

Membrandan δ kadar mesafede, konsantrasyonu C_b olan tam karışimli akım mevcuttur. Membrana doğru yaklaştıkça, sınır tabakası oluşumu gözlenir. Bu sınır tabakası içinde konsantrasyon tam karışimli olarak aktığı C_b konsantrasyon değerinden, maksimum (C_m) konsantrasyon değerine çıkar. Bu tabaka içindeki akışkanın yükü $J.C$ ile belirtilir. Çözelti içindeki maddelerin hepsi membran tarafından tutulamaz. Bu durumda membrandan geçen akışkanın yükü $J. C_p$ ile belirtilir. Membran yüzeyinde meydana gelen birikme, geriye doğru difüzyon akımının oluşmasını sağlar (Scott, 1995) (Mulder, 1991). Kararlı durumda, membrandaki kütle denklemi,

$$J.C + D.\frac{dC}{dx} = J.C_p \quad (3.6)$$

ile belirtilir. Sınır şartlarında,

$$x=0 \dots\dots\dots C=C_m$$

$$x=\delta \dots\dots\dots C=C_b$$

olur. (3.6) denkleminin integrasyonu sonucunda

$$J(C_p - C) = D \frac{dC}{dx} \quad (3.7)$$

$$\int_0^\infty J.d x = D \int_{C_b}^{C_m} \frac{dC}{C_p - C} \quad (3.8)$$

$$\frac{C_m - C_p}{C_b - C_p} = e^{\frac{J\delta}{D}} \quad (3.9)$$

bağıntısı elde edilir. Burada, difüzyon katsayısı (D) ile, sınır tabakası kalınlığı (δ), arasındaki oran, kütle transfer katsayısı (k) ile belirtilir. Burada k,

$$k = \frac{D}{\delta} \quad (3.10)$$

ile ifade edilmektedir. Geri dönüş oranı (R);

$$R = 1 - \frac{C_p}{C_m} \quad (3.11)$$

ile gösterilirse,

$$\frac{C_m}{C_b} = \frac{\exp\left(\frac{J}{k}\right)}{R + (1 - R) \cdot \exp\left(\frac{J}{k}\right)} \quad (3.12)$$

formülü ortaya çıkmaktadır (Mulder, 1991). C_m ve C_b sırasıyla, membran yüzeyinin ve besleme çözeltisinin konsantrasyonlarıdır. C_m / C_b oranı konsantrasyon polarizasyonu modülü olarak adlandırılmaktadır. Bu oran artan akı ile artar. Bu sırada, geri dönüş oranı (R) artar ve kütle transfer katsayısı (k) azalır. Yüksek k değerleri, konsantrasyon polarizasyonun düşük olduğunu gösterir (Mulder, 1991).

Çözelti içindeki bütün maddeler membran tarafından tutulduğu durumda (ideal durum, $R=1$ ve $C_p=0$) (3.12) denklemi,

$$\frac{C_m}{C_b} = \exp\left(\frac{J}{k}\right) \quad (3.13)$$

halini alır. Bu durum kararlı durumu ifade eder. Burada, C_m / C_b oranı, sınır tabakası kalınlığı ve akı ile birlikte ekponansiyel olarak artar ve artan çözünmüş madde difüzyon hızı ile azalır. Buda, yüksek geçirgenliğe sahip membranlarda polarizasyonun daha zor olduğunu gösterir. Konsantrasyon polarizasyonun etkisini, membran yatay hızı artırılarak azaltılabilir.

3.2.2 Membran Tıkanması

Besleme suyunda bulunan partiküler maddeler membran yüzeyinde birikerek membranın tıkanmasına sebep olurlar. Tıkanma ile akı miktarında azalma başlar. Böylece membran prosesinin performansı ve ömrü azalır.

Membranların tıkanmasını önlemek için ön arıtma işlemi yapılmalıdır. Ön arıtma, proseste istenilen performansa, kullanılan membrana ve besleme suyunun karakterine bağlı olarak belirlenir.

Besleme suyunda, kil ve diğer askıda katı maddeler, koloidal maddeler, mikrobiyal organizmalar ve çözünmüş maddeler vardır. Askıda katı ve koloidal maddeler, membran yüzeyini tıkayarak hem akının azalmasına hem de süzüntü suyu kalitesinin bozulmasına neden olurlar. Mikroorganizmalar, membran yüzeyinde kek tabakası oluştururlar. Oluşan kek tabakası, akı miktarını azaltır. Ayrıca süzüntü suyunun bakteriyel kirlenmesi söz konusudur. Besleme suyunda bulunan tuzlar da membran yüzeyinde birikerek akıda düşüş meydana getirirler (Pepper, 1981).

Ön arıtma işlemi;

- Membranın çalışma süresini uzatmak
- Membranın tıkanmasını önlemek
- Sistemin performansını artırmak
- Sistemin bakım ve onarım maliyetini azaltmak

amacıyla yapılır.



BÖLÜM 4

ENDÜSTRİLERDE TERS OSMOZ UYGULAMALARI

4. TERS OSMOZ UYGULAMALARI

Ters osmoz prosesi, ilk olarak 1950' li yıllarda tuzlu sulardan içme suyu elde etmek için kullanılmıştır. Membran teknolojilerinin geliştirilmesiyle, atıksuların arıtılmasında kullanımları artmıştır. Ters osmoz prosesleri kimya, tekstil, petrokimya, kağıt ve gıda sanayi atıksularının, evsel atıksuların ve çöp sızıntı sularının arıtımında kullanılmaktadır.

Membran prosesler, atıksularda bulunan organik ve inorganik kirleticilerin arıtılması ve konsantrasyonlarının artırılması için kullanılır. Özellikle nanofiltrasyon membranları gibi negatif yüklü membranlar, atıksularda bulunan zararlı maddelerin ayrılmasında kullanılmaktadır.

Ters osmoz membranları ile atıksu arıtımında etkili olan bir çok değişken vardır. Bu değişkenler, besleme suyunun karakterizasyonu (konsantrasyon, pH değeri, sıcaklığı, çözünmüş maddelerin tipi ve miktarı, v.b.) ve çalışma basıncı olarak sıralanabilir. Membranın tıkanmasını ve bozulmasını önlemek için atıksuya ön arıtma yapılması gerekebilir.

4.1 Kağıt Sanayinde Ters Osmoz Uygulamaları

Kağıt sanayi, çok fazla miktarda su tüketen bir endüstridir. Selüz üretiminde yaklaşık 200 m³ / ton selüloz, kağıt üretiminde üretilen kağıdın kalitesine bağlı olarak 100 -

1000 lt / ton kağıt su kullanılmaktadır. Oluşan atıksular renkli ve pH değeri yüksektir. Çözünmüş maddelerden dolayı biyolojik olarak arıtılması zordur (Scott, 1995).

Bu atıksular, çevresel etkileri azaltmak, suyun yeniden kullanımını sağlamak ve atıksulardaki değerli maddeleri geri kazanmak amacıyla membran proseslerle arıtmaya başlanmıştır. Kağıt sanayi atıksularının arıtımında kullanılan ters osmoz prosesleri aşağıda belirtilmiştir:

- Siyah likör için UF ve RO
- Beyazlatma (ağartma) işlemi atıksuları için UF ve RO
- Kağıt makinalarından çıkan atıksu için UF

Ultrafiltrasyon prosesi kağıt sanayi atıksularında oldukça başarılı sonuçlar vermiştir. Ultrafiltrasyon membranın yüksek sıcaklık ve pH değerlerine dayanıklı olması kağıt sanayi atıksuları için önemli bir faktördür. Japonya' da ağartma işleminden gelen atıksuların arıtılması için membran alanı 500 - 1500 m² olan Ultrafiltrasyon tesisi kurulmuştur. Yine Japonya' da, beyazlatma prosesi atıksuyu sıcaklığı 44 - 54 ° C ve pH değeri 10 -11.5 olan bir başka kağıt fabrikası için UF membranlarından oluşan bir tesis kurulmuştur. Tesiste, 1250 -1900 g / m³ KOİ ve 20 - 110 g / m³ askıda katı madde içiren atıksu 20 kat konsantre edilmiştir. Oluşan konsantre atıksu buharlaştırma veya yakma işlemleri ile ileri arıtma yapılarak bertaraf edilmiştir. Bu tesislerde; % 82 KOİ, % 94 renk ve % 100 askıda katı madde giderme verimi sağlanmıştır. Tesislerde kullanılan membranlar her gün temizlenerek 18 ay süre ile kullanılmıştır (Scott, 1995).

Ters osmoz prosesleri, İskandinav ülkeleri, Kanada, İtalya ve Arjantin'de de kağıt sanayi atıksularının arıtılmasında kullanılmıştır. Tesisler silfit likörü ve beyaz likör atıksularını konsantre etmek amacıyla kurulmuştur. Bu tesislerde sülüloz asetat ve plak çerçeve membranlar kullanılmıştır. Besleme suyu pH değeri yüksek olmasına rağmen, selüloz asetat membranlar 1 / 3 günde bir temizlenerek 1 yıldan fazla süreyle kullanılmıştır. Süzüntü suyu kalitesi çok yüksek olan tesislerde, KOİ ve BOİ ' de % 97 giderim sağlanmıştır.

Kağıt sanayi atıksularının kirlilik yükünün fazla olması sebebiyle ters osmozdan önce ön arıtma yapılması gereklidir. Bu tür atıksularının ters osmoz prosesi ile arıtılmasında, kirlenmeye dirençli olmaları ve temizleme kolaylığından dolayı ilk olarak plak çerçeve ve tüp şeklinde membranlar kullanılmıştır. Çözünmüş katı maddeler, organik bileşikler ve renk yüksek oranda giderilmiştir.

Ters osmoz prosesi, atıksu hacmini azaltmak ve atıksuyun yeniden kullanılmasını sağlamak gibi üstünlükleri dolayısıyla kağıt sanayi için en uygun teknolojidir. Ters osmozdan çıkan konsantre atıksu buharlaştırma yöntemi ile daha konsantre hale getirilebilmektedir. Morris ve dğr. (1972) yılında yaptıkları çalışmada 10.000 mg/l çözünmüş katı madde içeren atıksuda ters osmoz ile % 99 geri kazanım sağlamışlardır. Wiley (1978), ters osmoz ile KOİ ve renk parametrelerinde % 95'in üzerinde giderme verimi elde etmiştir. Jonsson ve Wimmersted (1985), kağıt sanayi beyaz likör atıksuyunda ince film kompozit membran ile % 99.4 TDS, %99.8 KOİ giderimi ve % 80 atıksu geri kazanımı sağlamışlardır. Groves (1983), ters osmoz prosesini kraft endüstrisinin atıksularının arıtılmasında kullanmıştır. Katı madde konsantrasyonu 5.000 - 30.000 mg /lt olan atıksuda organik ve inorganik bileşiklerde % 90' nın üzerinde giderme verimi elde etmiştir (Scott, 1995).

Chakravorty ve Srivastova (1987) ve Chakravorty (1989), ters osmoz prosesi ile kağıt sanayi atıksularının arıtımı konusunda çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmalar, ultrafiltrasyon membranından çıkan süzüntü suyu ters osmoz membranına verilmiştir. KOİ, BOİ, inorganik ve organik madde, TDS ve renk parametrelerinde % 90 - 95 oranında giderme verimi elde edilmiştir. Atıksu, ultrafiltrasyon membranı öncesinde çöktürme, pH ayarı ve mikrofiltrasyon ile ön arıtma yapılmıştır. 400 psi çalışma basıncında akıda azalma olmadığı gözlenmiştir (Scott, 1995).

Basu ve Sakpal (1987), siyah likör atıksuyunu arıtmak için ters osmoz yöntemini kullanmışlardır. Ön arıtma olarak, çöktürme, pH ayarlaması, kum filtresi, kartuş filtre ve dezenfeksiyon işlemleri yapılmıştır. Spiral sargılı selüloz diasetat membran ile plak çerçeve ve tüp şeklinde membranların kullanıldığı çalışmada, % 80 klor, % 95 renk giderimi elde edilmiştir.

4.2 Elektrokaplama ve Metal Son İşlemleri Endüstrisi Uygulamaları

Elektrokaplama ve metal son işlemleri endüstrisinin proses atıksuları ağır metal içerirler. Bu metallerin ekomonik ve çevresel etkilerinden dolayı geri kazanılması gereklidir. Membran prosesler, elektrokaplama sanayi atıksularının arıtılmasında çok yüksek verim sağlayan proseslerdir. Son zamanlarda bu endüstri kolunda kullanımları artmıştır.

Ters osmoz ile bu endüstrinin durulama prosesinden kaynaklanan atıksularının arıtılmasında % 95 ' in üzerinde geri kazanım sağlanmıştır (Scott, 1995). Aromatik polyamid membranların kullanıldığı ters osmoz tesisinde, altın kaplama durulama sularından % 90' nın üzerinde verim elde edilmiştir (Kamizawa ve dğr. 1978).

Nikel kaplama banyosu atıksularının arıtılması için kurulan ters osmoz prosesi ile % 97 su geri kazanımı ve metal giderimi sağlanmıştır. Tesisten çıkan süzüntü suyu durulama amacıyla kullanılırken, konsantre su kaplama banyosuna geri verilmiştir. Böylece, nikel tüketiminde büyük bir azalma sağlanarak arıtma maliyeti çok düşürülmüştür. Elektrokaplama sanayi atıksularında bulunan arsenik, berilyum, kadmiyum, selenyum, gümüş, bakır, krom, civa, çinko, nikel, kurşun ve siyanür iyonlarında ters osmoz prosesi ile % 90 ' ın üzerinde giderim sağlanmıştır (Spatz, 1979).

Alüminyum üretimindeki, elektrolitik prosesinin parlatma işleminden çıkan atıksularda bulunan posforik asidin geri kazanılması için kullanılan ters osmoz ile % 96 -98 verim elde edilmiştir (Thorsen 1985).

Metal son işlemleri sanayi atıksularında bulunan kadmiyumu gidermek amacıyla ters osmoz prosesi kullanılmıştır. İnce film kompozit membranın kullanıldığı çalışmada, kadmiyum konsantrasyonu 165 mg / lt olan besleme suyunda % 99 verim elde edilmiştir. Süzüntü suyu kalitesinin çok yüksek olduğu tesiste, atıksuda bulunan diğer metallerde ve iletkenlikte % 98 giderim sağlanmıştır (Slater ve dğr. 1987).

4.3 Tekstil Endüstrisi Uygulamaları

Tekstil sanayinde, yıkama, boyama, ağartma vb. amaçlar için çok fazla miktarda su tüketilir. Oluşan atıksuların karakterleri de farklıdır. Çözünmüş ve kolloidal boya pigmentleri, tuz, asit, yağ ve gres içeren atıksuların sıcaklığı 30 - 90 °C , pH değeri 4 - 12 arasında değişir.

Ters osmoz, tekstil sanayi atıksularının arıtılması için en uygun teknolojilerden biridir. Tekstil sanayi atıksularında % 90 geri kazanım sağlanan ters osmoz prosesleri enerji tüketiminin az olması sebebiyle de oldukça ekonomik olmaktadır (Scott, 1995). Bu endüstri kolunda ters osmoz aşağıda sıralanan amaçlar için kullanılmaktadır :

- Arıtılan atıksuyu proseste tekrar kullanarak, su ihtiyacını ve atıksu miktarını azaltmak
- Atıksuda bulunan değerli maddeleri (boya pigmentleri vb.) geri kazanmak

Boyama prosesi atıksularının arıtılması için poliakrilik - zirkonyum oksitten yapılmış tüp şeklindeki membranın kullanıldığı ters osmoz prosesi ile, boya pigmentleri % 97 oranında giderilmiş ve % 95 geri kazanım sağlanmıştır (Scott, 1995).

BÖLÜM 5

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1. PİLOT TESİSLER VE DENEYLERİN YAPILIŞI

Deneysel çalışmalarda, ultrafiltrasyon ve ters osmoz membranlarının atıksu arıtımındaki etkinlikleri araştırılmıştır. Deneysel çalışmaların birinci aşamasında kağıt sanayi atıksuları, ikinci aşamada maya endüstrisi atıksuları ve üçüncü aşamada da çöp sızıntı suları kullanılmıştır. Kağıt sanayi atıksuları ve çöp sızıntı suları 1. pilot tesiste, maya endüstrisi atıksuları ise 2. pilot tesiste çalışılmıştır.

5.1.1 Pilot Tesis 1 'in Tanıtımı

Deneysel çalışmalarda kullanılan membran proses pilot tesis, SEPARATECH Seperation Technology Inc. 'den, Türkiye'deki temsilcisi ESSU Arıtma Tesisleri A.Ş. aracılığıyla temin edilmiş ve İ.T.Ü. Çevre Mühendisliği Bölümü laboratuvarında kurulmuştur (Şekil 5.1).

Pilot tesis, hem laboratuvarında hem de arazide test çalışmaları yapabilecek şekilde tasarlanmıştır. Paslanmaz çelikten imal edilmiş olan pilot tesis, üç fazlı akım ile çalışan bir elektrik motoru ve yüksek basınç pompasına sahiptir. Tesisin maksimum debisi yaklaşık olarak 100 lt/saat civarındadır. Tesis yüksek basınç pompası, motor, ince kartuş filtreler, hidrofor, membranın yerleştirildiği membran kabı, membrana girişte ve çıkışta olmak

BÖLÜM 5

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1. PİLOT TESİSLER VE DENEYLERİN YAPILIŞI

Deneysel çalışmalarda, ultrafiltrasyon ve ters osmoz membranlarının atıksu arıtımındaki etkinlikleri araştırılmıştır. Deneysel çalışmaların birinci aşamasında kağıt sanayi atıksuları, ikinci aşamada maya endüstrisi atıksuları ve üçüncü aşamada da çöp sızıntı suları kullanılmıştır. Kağıt sanayi atıksuları ve çöp sızıntı suları 1. pilot tesiste, maya endüstrisi atıksuları ise 2. pilot tesiste çalışılmıştır.

5.1.1 Pilot Tesis 1 'in Tanıtımı

Deneyslerde kullanılan membran proses pilot tesis, SEPARATECH Seperation Technology Inc. 'den, Türkiye'deki temsilcisi ESSU Arıtma Tesisleri A.Ş. aracılığıyla temin edilmiş ve İ.T.Ü. Çevre Mühendisliği Bölümü laboratuvarında kurulmuştur (Şekil 5.1).

Pilot tesis, hem laboratuvarında hem de arazide test çalışmaları yapabilecek şekilde tasarlanmıştır. Paslanmaz çelikten imal edilmiş olan pilot tesis, üç fazlı akım ile çalışan bir elektrik motoru ve yüksek basınç pompasına sahiptir. Tesisin maksimum debisi yaklaşık olarak 100 lt/saat civarındadır. Tesis yüksek basınç pompası, motor, ince kartuş filtreler, hidrofor, membranın yerleştirildiği membran kabı, membrana girişte ve çıkışta olmak

üzere iki adet manometre, basınç ayar vanası, soğutma sistemi ve 60 lt'lik bir besleme tankı ünitelerinden meydana gelmektedir.

Tesisin genişliği, 38.1 cm (15"), uzunluğu 142.2 cm (56") ve yüksekliği, 66 cm (26")'dır. Membran kabı, 1016 mm (40") boyunda ve 63.5 mm (2.5") çapında membranlar kullanılacak şekilde tasarlanmıştır. Yüksek basınç pompaları ile, 70 bar'a kadar olan basınçlar, temin edilebilmektedir. Yüksek basınç pompası, Warner Engineering Inc. (A.B.D.) tarafından imal edilmiştir. Besleme suyu tankı, 60 lt. hacminde ve dairesel olarak polietilen bir malzemeden imal edilmiştir. Tesis, konsantre hattı üzerine yerleştirilmiş, soğutma tertibatına da sahiptir. Soğutma suyu olarak, musluk suyu kullanılmıştır.

Tesis el ile kontrol edilecek şekilde tasarlanmıştır. Basınç ayar vanası, ilk çalıştırma sırasında tamamen açık durumda bırakılarak, basıncın sıfır (0) olması sağlanmıştır. Daha sonra vana kısılarak, membrana uygulanan basınç artırılmış, basınç istenen değere geldiği anda, vana o konumda tutulmuştur. Deneye başlamak için bir süre daha beklenerek, tesisin o basınçta kararlı konuma gelmesi sağlanmıştır.

Yüksek basınç pompası çıkışında, emniyet ventili bulunmaktadır. Bu sayede, basınç artışı karşısında, tesis emniyet altına alınmış, membranların oluşabilecek yüksek basınçtan zarar görmeleri engellenmiştir.

5.1.2 Pilot Tesis 2' in Tanıtımı

Fransız SLCE firması tarafından üretilen AQUA -SET P9712 no' lu pilot tesisin görünüşü şekil 5.2 de verilmiştir. Tesisin genişliği 580 mm, yüksekliği 1320 mm ve uzunluğu 760 mm ' dir. Membran kabı 1200 mm uzunluğundadır. Membran kabı çapı 2.5" çapındaki membranlar kullanılacak şekilde tasarlanmıştır. Tesis, yüksek basınç motoru, kartuş filtre, hidrofor, membran dış kabı, kontrol panelleri, giriş basınç manometresi, basınç ayar vanası ve 60 litrelik besleme tankı ünitelerinden oluşmaktadır. Konsantre suyu hattı üzerine ceketli soğutma suyu kabı monte

edilmiştir. Cihaz üzerine monte edilmiş kontrol paneli üzerinde, açma / kapama düğmesi, hız ayar düğmesi, acil durdurma butonu, reset düğmesi ve hız göstergesi bulunmaktadır. Giriş suyu ve süzüntü suyu hattında lt / h ölçekli debimetreler bulunmaktadır. Şeffaf renkli olan bu debimetrelerde giriş ve süzüntü sularının rengi ve akış hızı görülebilmektedir. Basınç pompası çıkışına konulan emniyet ventili ile ani basınç artışlarına karşı tesis korunmuştur.

5.1.3 Pilot Tesislerde Kullanılan Membranlara Ait Teknik Bilgiler

Pilot tesiste, deniz suyu ve kuyu suyu olmak üzere ters osmoz ve ultrafiltrasyon membranları kullanılmıştır. Bu membranlara ait teknik bilgiler ve üreticileri tablo 5.1 de verilmiştir. Şekil 5.3 de pilot tesiste kullanılan membranlar görülmektedir.

Tablo 5.1 Pilot tesiste kullanılan membranlara ait teknik bilgiler

İşletme Bilgileri	Ters Osmoz (Deniz suyu membranı)	Ters Osmoz (Kuyu suyu membranı)	Ultrafiltrasyon
Üretici firma	Filmtech Corp.	Filmtech Corp.	Desalination System Inc.
Membrane Tipi	İnce filmlili kompozit	İnce filmlili kompozit	İnce filmlili kompozit
Maks. İşletme Basıncı (bar)	70	40	4
Maks. İşletme Sıcaklığı (°C)	45	45	50
Maks. Besleme suyu bulanıklığı (NTU)	1	1	
Serbest klor toleransı (ppm)	< 0.1	< 0.1	<0.1
pH aralığı	2-11	2-11	2-11
Maks. Besleme suyu debisi (lt/dak.)	23	23	
Maks. SDI	5	5	5
Tuz geri dönüş oranı (%)	99.1	98	98
Geri kazanım (%) (Tek membran için)	10	15	10

edilmiştir. Cihaz üzerine monte edilmiş kontrol paneli üzerinde, açma / kapama düğmesi, hız ayar düğmesi, acil durdurma butonu, reset düğmesi ve hız göstergesi bulunmaktadır. Giriş suyu ve süzüntü suyu hattında lt / h ölçekli debimetreler bulunmaktadır. Şeffaf renkli olan bu debimetrelerde giriş ve süzüntü sularının rengi ve akış hızı görülebilmektedir. Basınç pompası çıkışına konulan emniyet ventili ile ani basınç artışlarına karşı tesis korunmuştur.

5.1.3 Pilot Tesislerde Kullanılan Membranlara Ait Teknik Bilgiler

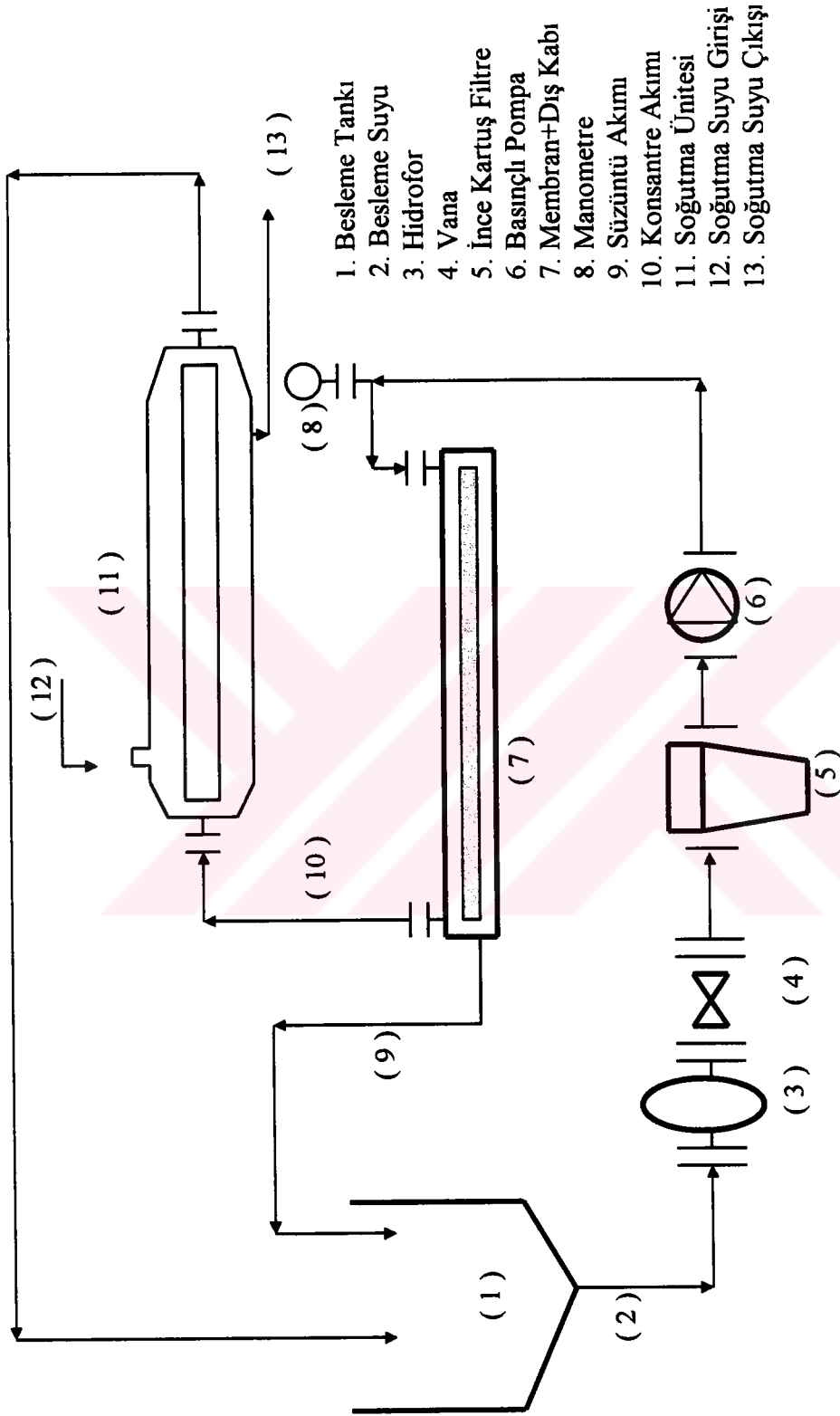
Pilot tesiste, deniz suyu ve kuyu suyu olmak üzere ters osmoz ve ultrafiltrasyon membranları kullanılmıştır. Bu membranlara ait teknik bilgiler ve üreticileri tablo 5.1 de verilmiştir. Şekil 5.3 de pilot tesiste kullanılan membranlar görülmektedir.

Tablo 5.1 Pilot tesiste kullanılan membranlara ait teknik bilgiler

İşletme Bilgileri	Ters Osmoz (Deniz suyu membranı)	Ters Osmoz (Kuyu suyu membranı)	Ultrafiltrasyon
Üretici firma	Filmtech Corp.	Filmtech Corp.	Desalination System Inc.
Membrane Tipi	İnce filmlili kompozit	İnce filmlili kompozit	İnce filmlili kompozit
Maks. İşletme Basıncı (bar)	70	40	4
Maks. İşletme Sıcaklığı (°C)	45	45	50
Maks. Besleme suyu bulanıklığı (NTU)	1	1	
Serbest klor toleransı (ppm)	< 0.1	< 0.1	<0.1
pH aralığı	2-11	2-11	2-11
Maks. Besleme suyu debisi (lt/dak.)	23	23	
Maks. SDI	5	5	5
Tuz geri dönüş oranı (%)	99.1	98	98
Geri kazanım (%) (Tek membran için)	10	15	10



Şekil 5.4 Pilot tesis-1' in akım şeması



Şekil 5.5 Pilot tesis-2' nin akım şeması

besleme suyu ile uzun süreli çalışılabilmektedir. Çeşitli parametreler, hem konsantre hem de süzüntü suyu hattından, tanka girişleri sırasında alınan, anlık numuneler ile izlenmiştir. Ayrıca, tanktaki değişimi görmek için, besleme tankından da numune alınmıştır. Deneyler anında yapılarak, ölçülen parametreler kaydedilmiştir. Deneyler, 2.5-5 saat arasında değişen zaman sürelerinde gerçekleştirilmiştir.

60 lt'lik tanktaki besleme suyu, önce hidrofor ile ince kartuş filtreye verilmiştir. Hidroforda yaklaşık olarak 2 bar basınç sağlanmıştır. İnce kartuş filtrelerden geçirilen akışkan, yüksek basınç pompasına gönderilmiştir. Burada, kullanılan membran tipine göre gerekli basınç kazandırılan akışkan, membrana verilmiştir. Membranda süzüntü ve konsantre akım olarak iki kısma ayrılan akışkanın her iki kısmında, 60 lt'lik tanka geri devir yaptırılmıştır. Membrandan geçiş sırasında, sıcaklık artışı sözkonusu olduğu için, konsantre hat üzerinde soğutma tertibatı yerleştirilmiştir. Soğutma suyu, musluk suyundan temin edilmiştir. Basınç, basınç ayar vanası ile belli değerlerde sabit tutulmuştur.

5.1.5 İzleme Deneylerinin Yapılışı

Deneysel çalışma iki aşamada gerçekleştirilmiştir. I. Aşama deneyleri sırasında, debi, sıcaklık, pH, iletkenlik, TDS parametreleri izlenmiştir. Ayrıca, harcanan enerji değeri okunmuştur. II. Aşama deneyler sırasında, debi, sıcaklık, pH, iletkenlik, amonyum deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerin yapılmasında aşağıdaki yöntemler izlenmiştir.

pH; pH ölçümleri, ORION marka pH elektrodu kullanılarak ORION SA720 tipi iyon seçicide okunmuştur.

Sıcaklık, iletkenlik ve TDS deneyleri AGB-1001 Laboratory Data logging tipi kondaktivimetre ile yapılmıştır.

Renk deneyleri Hach marka Color-Metre ile, Pt. Co (Platin cobalt) ünit birimine göre çalışılmıştır. Ölçümler 30 ml' lik cam şişelerde ve 30 V, 1.5 A akımda yapılmıştır.

Amonyak, ORION marka 720 A model iyonmetre ile ölçüm yapılmıştır. Deneyde 100 ml numune içine pH' ı 10' un üzerine çekmek için 1 ml 10 normal NaOH ilave edilmiş, karıştırıcıda karıştırarak amonyak elektrodu ile okuma yapılmıştır.

KOI, standart metoda göre, numunenin, gümüşlü sülfirik asit reaktifi ve bikromat çözeltisiyle geri soğutma altında 2 saatlik kaynatma süresinde indirgemiş olduğu potasyum bikromat miktarı ölçülerek yapılmıştır.

5.2 PİLOT TESİSLERDE YAPILAN DENEYLER

Pilot tesiste üç farklı atıksu numunesi ile çalışılmıştır. Seçilen membranların atıksuda bulunan bazı kirletici parametreleri giderme verimleri araştırılmıştır.

Deneylerde, ultrafiltrasyon (UF) membranı ve ters osmoz membranları (kuyu suyu membranı (BW) ve deniz suyu membranı (SW)) kullanılmıştır. Çalışmanın birinci aşamasında kağıt sanayi atıksuları, ikinci aşamada çöp sızıntı suları ve üçüncü aşamada maya endüstrisi atıksuları ile çalışılmıştır.

Deney sonuçları, akı, harcanan enerji ve giderme verimi gibi faktörler gözönüne alınarak değerlendirilmiştir.

Akı, birim zamanda birim alandan geçen akımın bir göstergesidir. Süzüntü akımı debisi, 1 lt'lik bir mezür ve bir kronometre yardımı ile hesaplanmıştır. Başlangıçta, (sn / lt) olarak okunan değer, daha sonra membran alanı dikkate alınarak, (lt/m²saat.) birimine dönüştürülmüştür. Deneylerde kullanılan membran alanı, 2 m²'dir.

Enerji tüketimi, enerji hattı üzerinde teçhiz edilmiş olan elektrik sayacı vasıtası ile, anlık okumalar yapılarak belirlenmiştir. Sonuçlar daha sonra, elde edilen m³ süzüntü suyu başına harcanan enerji olarak değerlendirilmiştir.

Giderme verimi (E), süzüntü ile tank içindeki konsantrasyon farklılığı esas alınarak hesaplanmıştır. Buna göre E,

$$E(\%) = 1 - \frac{C_s}{C_t} \quad (5.1)$$

bağıntısı ile verilmiştir. Burada, C_t tank içindeki C_s ise süzüntü suyundaki konsantrasyondur.

5.2.1 Birinci Aşama Deneyleri

Birinci aşama deneylerinde, Tekirdağ ili sınırlarında kurulu olan bir kağıt fabrikasının proses atıksuları ile çalışılmıştır.

5.2.1.1 İncelenen Tesisin Tanıtımı

Kağıt fabrikası, samandan yarı kimyasal (SAICA Prosesi) yöntemle saman selülozu (Testliner) üretilen birim ile hurda (atık) kağıttan saman fluting üretilen (Fampa-Beloit Prosesi) ambalaj kağıdı biriminden oluşan entegre bir tesistir.

Fabrikanın yıllık kapasitesi 90.000.000 ton olup, bunun 20.000.000 tonu testliner üretimi, 70.000.000 tonu ise saman üretimidir. Günlük kapasite 260 - 270 ton civarındadır. Fabrikanın soğutma suyu ihtiyacı da dahil olmak üzere günlük su ihtiyacı yaklaşık 2500 m³ ' tür.

Tesisin 22.11.1993 - 20.11.1994 tarihleri arasında yıllık dönemi kapsayan ortalama ham atıksu miktar ve özellikleri tablo 5.2 ' de verilmiştir (Öztürk ve dğr., 1996). Tablo 5.3 de tesisin üretim atıksu miktarı ve kirlilik yükleri verilmiştir.

Tesisin atıksu arıtma tesisi, iki kademeli (anaerobik - aerobik) bir tesistir. Anaerobik birinci kademe (AN kademesi) havasız aktif çamur sistemi (ANAMET) Prosesi) olarak teşkil edilmiştir. Bu kısımda, bir adet 10.000 m³ 'lük tam karışımli mezofilik anaerobik reaktör ile çıkışında lamelli çökeltme havuzu, gaz kompresörleri, alev bacası ve ısı değıştiriciler bulunmaktadır.

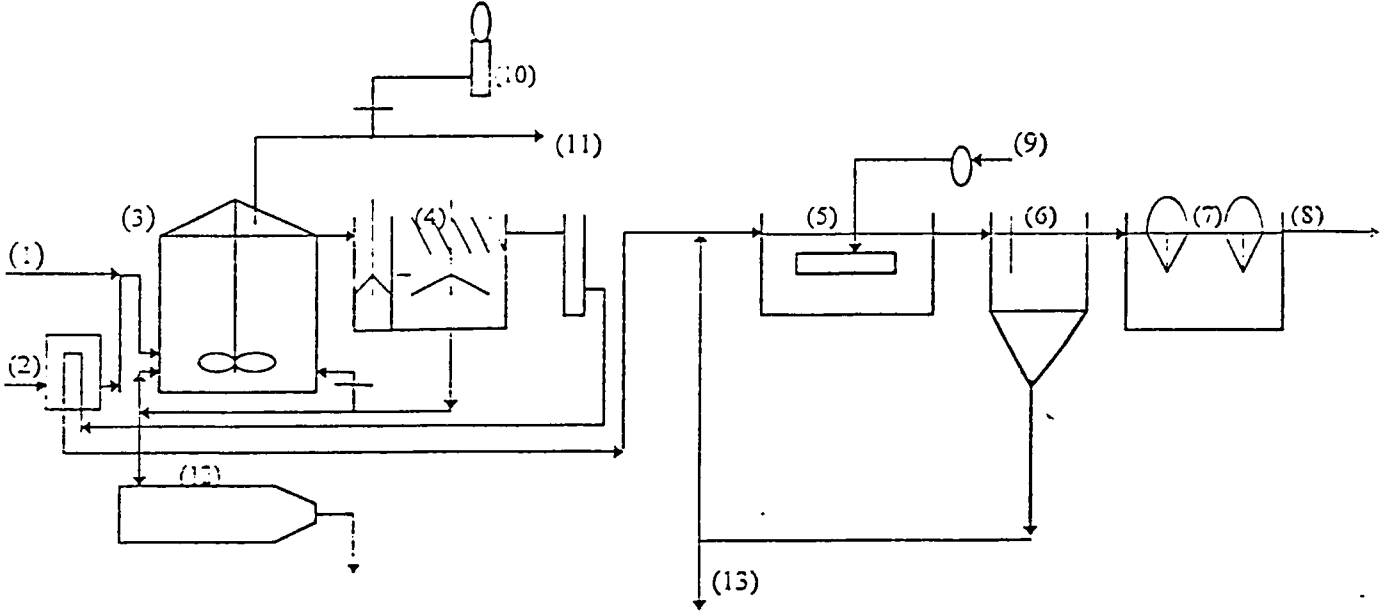
Tesisin ikinci kademesi (aerobik kademe) aktif çamur sistemi ve ona seri bağı mekanik havalandırılmalı lagünden oluşmaktadır. Buradan atıksular, havuz çıkışında 7 metre çaplı toplam hacmi 5000 m³ olan havalandırılmalı lagüne verilerek ilave son arıtmaya tabi tutulmakta ve oradan da dereye deşarj edilmektedir. Arıtma tesisine ait akım şeması şekil 5.6' te verilmiştir.

Tablo 5.2 İncelenen tesisin atıksu miktar ve özellikleri (Öztürk ve dğr., 1996)

Parametre	Beyaz Likör	Siyah Likör	Ortalama
Debi (m ³ / gün)	1400	100	1500
KOI (mg / lt)	8765	61400	122275
AKM (mg / lt)	2610	8940	3030
Sıcaklık (° C)	40 - 50	25 - 30	37
pH	7.26	6.66	7.18

Tablo 5.3 Tesisin üretim, atıksu miktarı ve kirlilik yükü (Öztürk ve dğr., 1996)

Parametre	Beyaz Likör	Siyah Likör	Ortalama
Debi (m ³ / ton kağıt)	8	1	9
KOI (kg / ton kağıt)	50 – 80	50 - 80	150
AKM (kg / ton kağıt)	15 – 30	10	30



Şekil 5.6 İncelenen fabrikanın atıksu arıtma tesisi akım şeması (Öztürk ve dğr., 1996)

- | | | | |
|-------------------|-------------------|----------------|-------------------|
| 1- Beyaz likör | 5- Havalandırma | 8- Deşarj | 11- Buhar üretimi |
| 2- Siyah likör | 6- Çöktürme tankı | 9- Hava girişi | 12- Santrifuj |
| 3- Anaerobik tank | 7- Lagün | 10- Alev | 13- Fazla çamur |

5.2.1.2 Deneylerin Yapılışı

Atıksu, önce UF membranından daha sonra ters osmoz membranlarından (BW ve SW) geçirilmiştir. Ultrafiltrasyon membranı ile ön arıtma yapılarak ters osmoz membranlarının tıkanma ve çalışma süresi uzatılmıştır.

Deneyler ortalama 30°C sıcaklıkta yürütülmüştür. Soğutma suyu tertibatında şehir şebeke suyu kullanılarak sıcaklık 25 - 30°C ' de sabit tutulmaya çalışılmıştır. Deneylerde sisteme, ultrafiltrasyon membranında (UF) 4 bar , kuyu suyu membranında (BW) 25 bar, deniz suyu membranında (SW) 50 bar basınç uygulanmıştır. Membranlar, deney bitiminde kimyasal madde ile temizlenmiştir.

Sistem kapalı devre olarak çalıştırılmıştır. Laboratuar ölçekli çalışıldığından membrandan çıkan süzüntü suyu ve konsantre suyu akımları besleme tankına geri

devir yaptırılmıştır. Böylece az miktarda atıksu ile uzun süre çalışma olanağı kazanılmıştır.

Çalışmanın 1. aşama deneylerinde, her yarım saatte bir süzüntü suyu ve besleme tankından (süzüntü suyu ve konsantre su karışımından) numuneler alınarak pH, iletkenlik ve sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Aynı zamanda süzüntü suyu akı değeri de ölçülmüş ve enerji tüketimi için sayaç değerleri okunmuştur.

Kağıt sanayi atıksuları ile yapılan çalışmada ölçülen değerler Ek A' da verilmiştir.

2. aşama deneylerinde, deney başlangıcında, besleme tankından BESLEME SUYU, süzüntü akımından deney başlangıcında ve deney sonunda sırasıyla PER-1 ve PER-2 olarak tanımlanan numuneler alınmıştır. Numunelerde, **renk** , **KOI** ve **amonyak** analizleri yapılmıştır.

Kağıt sanayi atıksularının 2. aşama deney sonuçları Ek B' de verilmiştir.

5.2.2 İkinci Aşama Deneyleri

İkinci aşama deneylerinde anaerobik arıtmaya tabi tutulmuş çöp sızıntı suları ile çalışılmıştır.

Kirlilik yükü çok yüksek olan atıksu, önce UF membranından geçirilmiş, oluşan süzüntü suyu BW ve SW membranlarına verilmiştir. Deney sırasında basınç ve sıcaklık değerleri sabit tutulmaya çalışılmıştır.

Deney süresince 1. aşama deneyleri olarak, akı , iletkenlik, pH ve sıcaklık parametreleri incelenmiştir. Deney sonuçları Ek C' de verilmiştir.

2. aşama deneyleri için ham atıksu ve süzüntü sularından numuneler alınarak KOI, amonyak ve renk ölçülmüştür. Deney sonuçları Ek D' de verilmiştir.

5.2.3 Üçüncü Aşama Deneyleri

Üçüncü aşama deneylerinde, ekmek mayası üreten bir maya fabrikası atıksuları arıtma tesisi çıkış suları ile çalışılmıştır.

5.2.3.1 İncelenen Tesisin Tanıtımı

Ekmek mayası üretiminde kullanılan ana hammadde, %50 oranında şeker ihtiva eden ve şeker endüstrisinin bir yan ürünü veya atık maddesi durumundaki şeker pancarı melasıdır. Maya üretimi başlıca melas hazırlama, fermentasyon, maya ayırma ve maya sütü biriktirme, süzme ve kurutma proseslerini kapsamaktadır.

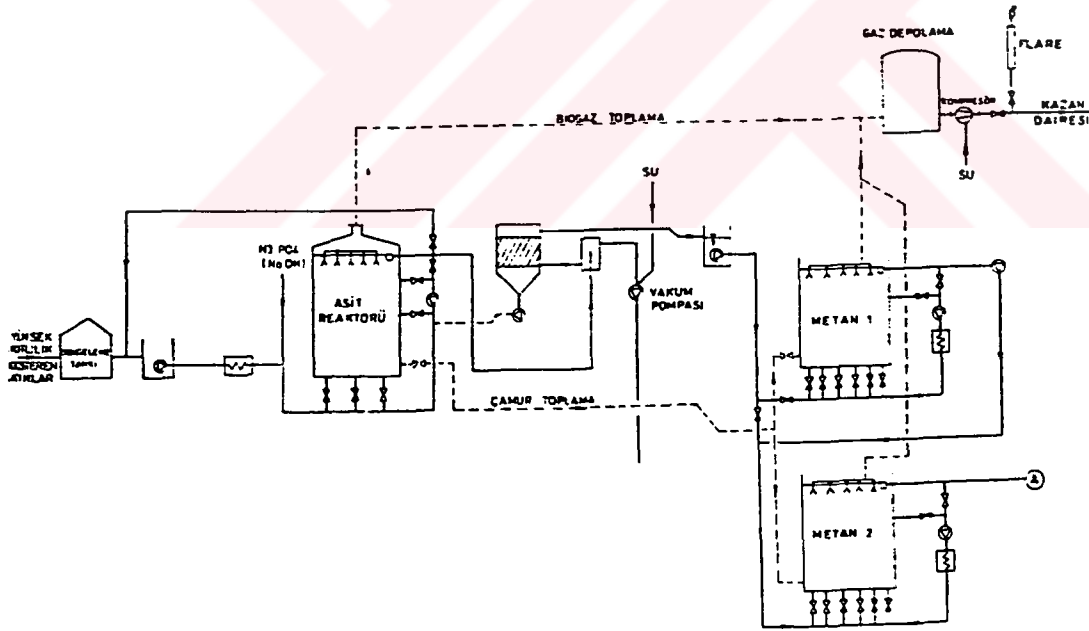
İncelen endüstrinin atıksu arıtma tesisi iki kademededen oluşmaktadır. 1. kademedede anaerobik arıtma, 2. kademedede aerobik biyolojik arıtma uygulanmaktadır. Anaerobik arıtma tesisi, dengeleme tankı, terfi merkezi, asit reaktörü, iki adet metan reaktörü, vakumlu gaz ayırıcı ve lamelli çamur çökelticiler ile gaz toplama tankı, gaz kazanları ve yedek yakma bacası ünitesinden oluşmaktadır (Şekil 5.7).

Sistemin nutriyent ihtiyacını karşılamak üzere fosforik asit, pH 'ı kontrol içinde NaOH gerektiğinde dozlanmaktadır. Metan reaktörleri iki adet olup seri veya paralel bağlı işletilebilmektedir. Anaerobik reaktörler yukarı akışlı çamur yatağı tarzında inşa edilmiştir. Aerobik arıtma tesisi ise, uzun havalandırmalı aktif çamur prosesidir (Şekil 5.8). Anaerobik arıtma tesisine gelen atıksuların miktar ve özellikleri tablo 5.4' de verilmiştir (Öztürk ve dğr. 1993).

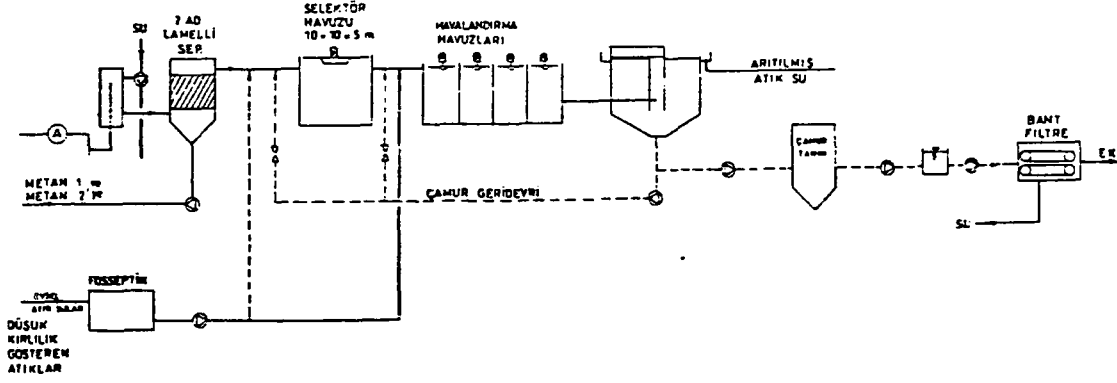
Tablo 5.4 Maya fabrikası proses atıksuları miktar ve özellikleri (Öztürk ve dğr. 1993)

Parametre	Miktar
Debi (m ³ / gün)	900-1500 (1150)*
KOİ (mg / lt)	10000-30000 (20000)*
BOİ (mg / lt)	7000-21000 (14000)*
Askıda madde (mg / lt)	50-1200
Sülfat (SO ₄) (mg / lt)	1300-2700
Toplam Azot (N) (mg / lt)	250-1200
Toplam fosfor (P) (mg / lt)	27
Sıcaklık (° C)	20-28
pH	5-6

* Parantez içindeki değerler ortalama değerlerdir.



Şekil 5.7 İncelenen fabrikanın anaerobik arıtma tesisi akım şeması (Öztürk ve dğr., 1993)



Şekil 5.8 İncelenen fabrikanın aerobik arıtma tesisi akım şeması (Öztürk ve dğr., 1993)

5.2.3.2 Deneylerin Yapılışı

Üçüncü aşama deneyleri pilot tesis-2 ' de yapılmıştır. Atıksu UF, BW ve SW membranlarından geçirilerek, renk, KOI, amonyak ve iletkenlik parametrelerinin değişimi incelenmiştir. BW membranı ile farklı basınçlarda çalışılmış akı, iletkenlik, renk parametrelerindeki değişim incelenmiştir. Deneysel çalışma sırasında her yarım saatte bir akı, iletkenlik, sıcaklık ve sayaç değerleri okunmuştur.

1. aşama deney sonuçları Ek E' de verilmiştir.

Deney sırasında besleme tankından süzüntü suyundan numuneler alınarak KOI, renk ve amonyak ölçülmüştür.

2. aşama deney sonuçları Ek F' de verilmiştir.

BÖLÜM 6

DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

6.1 Kağıt Sanayi Atıksuları ile Yapılan Deneylerin Değerlendirilmesi

Bölüm 5.2 'de tanımlanan deneysel çalışmaların sonuçları, yapılan çalışmalara paralel olarak değerlendirilmiştir.

6.1.1 Birinci Aşama Deneylerinin Değerlendirilmesi

Birinci aşama deneylerinde incelenen tesisin anaerobik ve aerobik arıtma tesisi çıkış suları ile çalışılmıştır. UF membranına, ham atıksu (anaerobik çıkış suyu) beslenerek sabit basınçta akı ve iletkenlik parametrelerindeki değişim incelenmiştir. Şekil 6.1' de UF membranın zaman-akı grafiği, şekil 6.4' de ise zaman-iletkenlik grafiği verilmiştir. UF membranına beslenen atıksu arıtma çıkışından anlık olarak alındığından, numunelerin iletkenlik değerleri birbirinden farklıdır. Besleme suyu karakterinin farklı olması sebebiyle UF süzüntü suyu akı değerleri ve iletkenlik değerleri de farklılık göstermektedir. UF süzüntü suyu iletkenlik değeri zamanla bir azalma göstermektedir. Zamanla, sistem kararlı hale geldiğinden iletkenlikteki değişim çok fazla olmamaktadır. Giriş suyu iletkenlik değeri 6000- 6700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olan atıksuların UF süzüntü suyu iletkenlik değeri 5600-6500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olmuştur. Giderme verimi % 3-10 arasında değişmektedir.

Grafiklerden de görüldüğü üzere zamanla akı miktarı azalmaktadır. Başlangıçta 45-55 $\text{lt}/\text{m}^2 \cdot \text{saat}$ olan akı değeri 40-48 $\text{lt}/\text{m}^2 \cdot \text{saat}$ değerine düşmüştür. Akıdaki azalma ortalama % 11 olmuştur. Bu membranın zamanla tıkanıp tıkanmadığını göstermektedir.

BW membranına UF süzüntü suyu akımı ve UF süzüntü suyu akımı ile SW membranı çıkış akımları beslenerek çalışılmıştır. BW membranından çıkan süzüntü ve konsantre akımlarının iletkenlik değerlerinin zamanla giderek arttığı gözlenmiştir. Besleme suyu iletkenlik değeri 5100-6100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olan suda süzüntü akımı iletkenlik değeri 1000-3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olmuştur. İletkenlik giderme verimi % 40-98 arasında değişmektedir. Akı başlangıçta hızlı bir düşüş gösterirken zamanla kararlı hale gelmiştir. BW membranı akı değeri, deney başlangıcında 38-47 $\text{lt}/\text{m}^2\cdot\text{saat}$ değerinden 20-18 $\text{lt}/\text{m}^2\cdot\text{saat}$ değerine düşmüştür. Akı miktarındaki azalma % 47-61 oranında olmuştur. Şekil 6.2'de BW zaman-akı grafiği, şekil 6.5' de zaman-iletkenlik grafiği verilmiştir.

SW membranına da UF süzüntü suyu akımı / BW membranı süzüntü suyu akımları ayrı ayrı veya karıştırılarak beslenmiştir. Membrandan çıkan akımların zamanla iletkenlik değerlerindeki değişim oldukça azdır. Giriş suyu iletkenlik değeri 4700-5900 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olan besleme suyunda süzüntü akımı iletkenlik değeri 122-266 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olmuştur.

SW membranında, akıdaki değişim iletkenlikteki değişimden oldukça az olmuştur. SW membranı ile yapılan çalışmalarda akıdaki azalmanın BW membranına oranla çok düşük olduğu ve sistemin kısa sürede kararlı hale geldiği gözlenmiştir. Akı, 45-135 $\text{lt}/\text{m}^2\cdot\text{saat}$ değerinden 40-155 $\text{lt}/\text{m}^2\cdot\text{saat}$ değerine düşmüştür. Azalma % 12-15 arasında olmuştur. Şekil 6.3' de SW membranın zaman-akı grafiği, şekil 6.6'da zaman-iletkenlik grafiği verilmiştir.

Kritik akı değerleri besleme suyu özelliğine bağlı olarak UF membranında 20-25 $\text{lt}/\text{m}^2\cdot\text{saat}$, BW membranında 15-20 $\text{lt}/\text{m}^2\cdot\text{saat}$ ve SW membranında ise 20-120 $\text{lt}/\text{m}^2\cdot\text{saat}$ civarında olmuştur.

Membranlardan çıkan süzüntü akımı pH değeri zamanla artarak 6.6-8.6 arasında değişmiştir.

BW membranına UF süzöntü suyu akımı ve UF süzöntü suyu akımı ile SW membranı çıkış akımları beslenerek çalışılmıştır. BW membranından çıkan süzöntü ve konsantre akımlarının iletkenlik değerlerinin zamanla giderek arttığı gözlenmiştir. Besleme suyu iletkenlik değeri 5100-6100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olan suda süzöntü akımı iletkenlik değeri 1000-3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olmuştur. İletkenlik giderme verimi % 40-98 arasında değişmektedir. Akı başlangıçta hızlı bir düşüş gösterirken zamanla kararlı hale gelmiştir. BW membranı akı değeri, deney başlangıcında 38-47 $\text{lt}/\text{m}^2\cdot\text{saat}$ değerinden 20-18 $\text{lt}/\text{m}^2\cdot\text{saat}$ değerine düşmüştür. Akı miktarındaki azalma % 47-61 oranında olmuştur. Şekil 6.2'de BW zaman-akı grafiği, şekil 6.5' de zaman-iletkenlik grafiği verilmiştir.

SW membranına da UF süzöntü suyu akımı / BW membranı süzöntü suyu akımları ayrı ayrı veya karıştırılarak beslenmiştir. Membrandan çıkan akımların zamanla iletkenlik değerlerindeki değişim oldukça azdır. Giriş suyu iletkenlik değeri 4700-5900 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olan besleme suyunda süzöntü akımı iletkenlik değeri 122-266 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olmuştur.

SW membranında, akıdaki değişim iletkenlikteki değişimden oldukça az olmuştur. SW membranı ile yapılan çalışmalarda akıdaki azalmanın BW membranına oranla çok düşük olduğu ve sistemin kısa sürede kararlı hale geldiği gözlenmiştir. Akı, 45-135 $\text{lt}/\text{m}^2\cdot\text{saat}$ değerinden 40-155 $\text{lt}/\text{m}^2\cdot\text{saat}$ değerine düşmüştür. Azalma % 12-15 arasında olmuştur. Şekil 6.3' de SW membranın zaman-akı grafiği, şekil 6.6'da zaman-iletkenlik grafiği verilmiştir.

Kritik akı değerleri besleme suyu özelliğine bağlı olarak UF membranında 20-25 $\text{lt}/\text{m}^2\cdot\text{saat}$, BW membranında 15-20 $\text{lt}/\text{m}^2\cdot\text{saat}$ ve SW membranında ise 20-120 $\text{lt}/\text{m}^2\cdot\text{saat}$ civarında olmuştur.

Membranlardan çıkan süzöntü akımı pH değeri zamanla artarak 6.6-8.6 arasında değişmiştir.

BW membranına UF süzüntü suyu akımı ve UF süzüntü suyu akımı ile SW membranı çıkış akımları beslenerek çalışılmıştır. BW membranından çıkan süzüntü ve konsantre akımlarının iletkenlik değerlerinin zamanla giderek arttığı gözlenmiştir. Besleme suyu iletkenlik değeri 5100-6100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olan suda süzüntü akımı iletkenlik değeri 1000-3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olmuştur. İletkenlik giderme verimi % 40-98 arasında değişmektedir. Akı başlangıçta hızlı bir düşüş gösterirken zamanla kararlı hale gelmiştir. BW membranı akı değeri, deney başlangıcında 38-47 $\text{lt}/\text{m}^2\cdot\text{saat}$ değerinden 20-18 $\text{lt}/\text{m}^2\cdot\text{saat}$ değerine düşmüştür. Akı miktarındaki azalma % 47-61 oranında olmuştur. Şekil 6.2'de BW zaman-akı grafiği, şekil 6.5' de zaman-iletkenlik grafiği verilmiştir.

SW membranına da UF süzüntü suyu akımı / BW membranı süzüntü suyu akımları ayrı ayrı veya karıştırılarak beslenmiştir. Membrandan çıkan akımların zamanla iletkenlik değerlerindeki değişim oldukça azdır. Giriş suyu iletkenlik değeri 4700-5900 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olan besleme suyunda süzüntü akımı iletkenlik değeri 122-266 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olmuştur.

SW membranında, akıdaki değişim iletkenlikteki değişimden oldukça az olmuştur. SW membranı ile yapılan çalışmalarda akıdaki azalmanın BW membranına oranla çok düşük olduğu ve sistemin kısa sürede kararlı hale geldiği gözlenmiştir. Akı, 45-135 $\text{lt}/\text{m}^2\cdot\text{saat}$ değerinden 40-155 $\text{lt}/\text{m}^2\cdot\text{saat}$ değerine düşmüştür. Azalma % 12-15 arasında olmuştur. Şekil 6.3' de SW membranın zaman-akı grafiği, şekil 6.6'da zaman-iletkenlik grafiği verilmiştir.

Kritik akı değerleri besleme suyu özelliğine bağlı olarak UF membranında 20-25 $\text{lt}/\text{m}^2\cdot\text{saat}$, BW membranında 15-20 $\text{lt}/\text{m}^2\cdot\text{saat}$ ve SW membranında ise 20-120 $\text{lt}/\text{m}^2\cdot\text{saat}$ civarında olmuştur.

Membranlardan çıkan süzüntü akımı pH değeri zamanla artarak 6.6-8.6 arasında değişmiştir.

BW membranına UF süzüntü suyu akımı ve UF süzüntü suyu akımı ile SW membranı çıkış akımları beslenerek çalışılmıştır. BW membranından çıkan süzüntü ve konsantre akımlarının iletkenlik değerlerinin zamanla giderek arttığı gözlenmiştir. Besleme suyu iletkenlik değeri 5100-6100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olan suda süzüntü akımı iletkenlik değeri 1000-3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olmuştur. İletkenlik giderme verimi % 40-98 arasında değişmektedir. Akı başlangıçta hızlı bir düşüş gösterirken zamanla kararlı hale gelmiştir. BW membranı akı değeri, deney başlangıcında 38-47 $\text{lt}/\text{m}^2\cdot\text{saat}$ değerinden 20-18 $\text{lt}/\text{m}^2\cdot\text{saat}$ değerine düşmüştür. Akı miktarındaki azalma % 47-61 oranında olmuştur. Şekil 6.2'de BW zaman-akı grafiği, şekil 6.5' de zaman-iletkenlik grafiği verilmiştir.

SW membranına da UF süzüntü suyu akımı / BW membranı süzüntü suyu akımları ayrı ayrı veya karıştırılarak beslenmiştir. Membrandan çıkan akımların zamanla iletkenlik değerlerindeki değişim oldukça azdır. Giriş suyu iletkenlik değeri 4700-5900 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olan besleme suyunda süzüntü akımı iletkenlik değeri 122-266 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olmuştur.

SW membranında, akıdaki değişim iletkenlikteki değişimden oldukça az olmuştur. SW membranı ile yapılan çalışmalarda akıdaki azalmanın BW membranına oranla çok düşük olduğu ve sistemin kısa sürede kararlı hale geldiği gözlenmiştir. Akı, 45-135 $\text{lt}/\text{m}^2\cdot\text{saat}$ değerinden 40-155 $\text{lt}/\text{m}^2\cdot\text{saat}$ değerine düşmüştür. Azalma % 12-15 arasında olmuştur. Şekil 6.3' de SW membranın zaman-akı grafiği, şekil 6.6'da zaman-iletkenlik grafiği verilmiştir.

Kritik akı değerleri besleme suyu özelliğine bağlı olarak UF membranında 20-25 $\text{lt}/\text{m}^2\cdot\text{saat}$, BW membranında 15-20 $\text{lt}/\text{m}^2\cdot\text{saat}$ ve SW membranında ise 20-120 $\text{lt}/\text{m}^2\cdot\text{saat}$ civarında olmuştur.

Membranlardan çıkan süzüntü akımı pH değeri zamanla artarak 6.6-8.6 arasında değişmiştir.

6.1. 2 İkinci Aşama Deneylerinin Değerlendirilmesi

İkinci aşama deneyleri, deneysel çalışma sırasında alınan numunelerin analiz edilmesinden oluşmaktadır. Bu aşamada, ham atıksu ve membrandan çıkan süzüntü akımından alınan numunelerde renk ve KOİ parametreleri incelenmiştir.

Deneysel çalışmalar sırasında deneye başlamadan önce besleme tankından alınan numune BESLEME SUYU, deney başlangıcında ve sonunda süzüntü suyu akımından alınan numuneler de sırasıyla PER-1 ve PER-2 olarak tanımlanmıştır. Her bir membranın renk ve KOİ parametrelerini giderme verimleri incelenmiştir. Şekil 6.7' de ham atıksuyu, UF ve SW membranları süzüntü suyu akımlarının renkleri verilmiştir. Şekil 6.8, 6.9 ve 6.10 ' da sırasıyla UF, BW ve SW membranlarının besleme suyu ve süzüntü suyu akımındaki KOİ değerleri verilmiştir.

UF membranında, KOİ değeri 2400-3600 mg/l'te olan besleme suyunun süzüntü akımı KOİ değerleri 415-462 mg/l'te arasında değişmektedir. UF membranın KOİ giderme verimi ortalama % 79 olmuştur. BW membranında KOİ değeri 440-470 mg/l'ten 70-80 mg/l'te ye düşürülmüştür. BW membranının KOİ giderme verimi % 91 olmuştur. SW membranında ise KOİ değeri 350-645 mg/l'ten 2-58 mg/l'te ye düşürülmüştür. KOİ giderme verimi ortalama % 96' dır.

Renk giderimi ile ilgili grafikler şekil 6.11, 6.12 ve 6.13 'de verilmiştir. UF membranının besleme suyu renk değeri 3000-3200 Pt.Co.Units iken süzüntü akımı renk değeri 780-870 Pt.Co.Units olmuştur. Renk giderme verimi ortalama % 74 olarak hesaplanmıştır. BW membranında renk 680-730 Pt.Co.Units değerinden 80-540 Pt.Co.Units değerine düşürülmüştür. BW membranı renk giderme verimi % 93 olarak hesaplanmıştır. SW membranında ise renk 730-900 Pt.Co.Units değerinden 0-130 Pt.Co.Units değerine düşürülmüştür. Ortalama renk giderme verimi % 98 olmuştur.

Kağıt sanayi atıksuları için ultrafiltrasyon ve ters osmoz membranları beraber kullanıldığından renk, iletkenlik, KOİ vb. parametlerde çok yüksek giderme verimleri elde edilmiştir. UF ve BW membranları beraber kullanıldığında renk giderme verimi % 93-95, KOİ giderme verimi % 90-97 olmuştur. Şekil 6.14' de UF

6.1. 2 İkinci Aşama Deneylerinin Değerlendirilmesi

İkinci aşama deneyleri, deneysel çalışma sırasında alınan numunelerin analiz edilmesinden oluşmaktadır. Bu aşamada, ham atıksu ve membrandan çıkan süzüntü akımından alınan numunelerde renk ve KOİ parametreleri incelenmiştir.

Deneysel çalışmalar sırasında deneye başlamadan önce besleme tankından alınan numune BESLEME SUYU, deney başlangıcında ve sonunda süzüntü suyu akımından alınan numuneler de sırasıyla PER-1 ve PER-2 olarak tanımlanmıştır. Her bir membranın renk ve KOİ parametrelerini giderme verimleri incelenmiştir. Şekil 6.7' de ham atıksuyu, UF ve SW membranları süzüntü suyu akımlarının renkleri verilmiştir. Şekil 6.8, 6.9 ve 6.10 ' da sırasıyla UF, BW ve SW membranlarının besleme suyu ve süzüntü suyu akımındaki KOİ değerleri verilmiştir.

UF membranında, KOİ değeri 2400-3600 mg/l'te olan besleme suyunun süzüntü akımı KOİ değerleri 415-462 mg/l'te arasında değişmektedir. UF membranın KOİ giderme verimi ortalama % 79 olmuştur. BW membranında KOİ değeri 440-470 mg/l'ten 70-80 mg/l'te ye düşürülmüştür. BW membranının KOİ giderme verimi % 91 olmuştur. SW membranında ise KOİ değeri 350-645 mg/l'ten 2-58 mg/l'te ye düşürülmüştür. KOİ giderme verimi ortalama % 96' dır.

Renk giderimi ile ilgili grafikler şekil 6.11, 6.12 ve 6.13 'de verilmiştir. UF membranının besleme suyu renk değeri 3000-3200 Pt.Co.Units iken süzüntü akımı renk değeri 780-870 Pt.Co.Units olmuştur. Renk giderme verimi ortalama % 74 olarak hesaplanmıştır. BW membranında renk 680-730 Pt.Co.Units değerinden 80-540 Pt.Co.Units değerine düşürülmüştür. BW membranı renk giderme verimi % 93 olarak hesaplanmıştır. SW membranında ise renk 730-900 Pt.Co.Units değerinden 0-130 Pt.Co.Units değerine düşürülmüştür. Ortalama renk giderme verimi % 98 olmuştur.

Kağıt sanayi atıksuları için ultrafiltrasyon ve ters osmoz membranları beraber kullanıldığından renk, iletkenlik, KOİ vb. parametlerde çok yüksek giderme verimleri elde edilmiştir. UF ve BW membranları beraber kullanıldığında renk giderme verimi % 93-95, KOİ giderme verimi % 90-97 olmuştur. Şekil 6.14' de UF

6.1. 2 İkinci Aşama Deneylerinin Değerlendirilmesi

İkinci aşama deneyleri, deneysel çalışma sırasında alınan numunelerin analiz edilmesinden oluşmaktadır. Bu aşamada, ham atıksu ve membrandan çıkan süzüntü akımından alınan numunelerde renk ve KOİ parametreleri incelenmiştir.

Deneysel çalışmalar sırasında deneye başlamadan önce besleme tankından alınan numune BESLEME SUYU, deney başlangıcında ve sonunda süzüntü suyu akımından alınan numuneler de sırasıyla PER-1 ve PER-2 olarak tanımlanmıştır. Her bir membranın renk ve KOİ parametrelerini giderme verimleri incelenmiştir. Şekil 6.7' de ham atıksuyu, UF ve SW membranları süzüntü suyu akımlarının renkleri verilmiştir. Şekil 6.8, 6.9 ve 6.10 ' da sırasıyla UF, BW ve SW membranlarının besleme suyu ve süzüntü suyu akımındaki KOİ değerleri verilmiştir.

UF membranında, KOİ değeri 2400-3600 mg/l'te olan besleme suyunun süzüntü akımı KOİ değerleri 415-462 mg/l'te arasında değişmektedir. UF membranın KOİ giderme verimi ortalama % 79 olmuştur. BW membranında KOİ değeri 440-470 mg/l'ten 70-80 mg/l'te ye düşürülmüştür. BW membranının KOİ giderme verimi % 91 olmuştur. SW membranında ise KOİ değeri 350-645 mg/l'ten 2-58 mg/l'te ye düşürülmüştür. KOİ giderme verimi ortalama % 96' dır.

Renk giderimi ile ilgili grafikler şekil 6.11, 6.12 ve 6.13 'de verilmiştir. UF membranının besleme suyu renk değeri 3000-3200 Pt.Co.Units iken süzüntü akımı renk değeri 780-870 Pt.Co.Units olmuştur. Renk giderme verimi ortalama % 74 olarak hesaplanmıştır. BW membranında renk 680-730 Pt.Co.Units değerinden 80-540 Pt.Co.Units değerine düşürülmüştür. BW membranı renk giderme verimi % 93 olarak hesaplanmıştır. SW membranında ise renk 730-900 Pt.Co.Units değerinden 0-130 Pt.Co.Units değerine düşürülmüştür. Ortalama renk giderme verimi % 98 olmuştur.

Kağıt sanayi atıksuları için ultrafiltrasyon ve ters osmoz membranları beraber kullanıldığından renk, iletkenlik, KOİ vb. parametlerde çok yüksek giderme verimleri elde edilmiştir. UF ve BW membranları beraber kullanıldığında renk giderme verimi % 93-95, KOİ giderme verimi % 90-97 olmuştur. Şekil 6.14' de UF

6.1. 2 İkinci Aşama Deneylerinin Değerlendirilmesi

İkinci aşama deneyleri, deneysel çalışma sırasında alınan numunelerin analiz edilmesinden oluşmaktadır. Bu aşamada, ham atıksu ve membrandan çıkan süzüntü akımından alınan numunelerde renk ve KOİ parametreleri incelenmiştir.

Deneysel çalışmalar sırasında deneye başlamadan önce besleme tankından alınan numune BESLEME SUYU, deney başlangıcında ve sonunda süzüntü suyu akımından alınan numuneler de sırasıyla PER-1 ve PER-2 olarak tanımlanmıştır. Her bir membranın renk ve KOİ parametrelerini giderme verimleri incelenmiştir. Şekil 6.7' de ham atıksuyu, UF ve SW membranları süzüntü suyu akımlarının renkleri verilmiştir. Şekil 6.8, 6.9 ve 6.10 ' da sırasıyla UF, BW ve SW membranlarının besleme suyu ve süzüntü suyu akımındaki KOİ değerleri verilmiştir.

UF membranında, KOİ değeri 2400-3600 mg/l'te olan besleme suyunun süzüntü akımı KOİ değerleri 415-462 mg/l'te arasında değişmektedir. UF membranın KOİ giderme verimi ortalama % 79 olmuştur. BW membranında KOİ değeri 440-470 mg/l'ten 70-80 mg/l'te ye düşürülmüştür. BW membranının KOİ giderme verimi % 91 olmuştur. SW membranında ise KOİ değeri 350-645 mg/l'ten 2-58 mg/l'te ye düşürülmüştür. KOİ giderme verimi ortalama % 96' dır.

Renk giderimi ile ilgili grafikler şekil 6.11, 6.12 ve 6.13 'de verilmiştir. UF membranının besleme suyu renk değeri 3000-3200 Pt.Co.Units iken süzüntü akımı renk değeri 780-870 Pt.Co.Units olmuştur. Renk giderme verimi ortalama % 74 olarak hesaplanmıştır. BW membranında renk 680-730 Pt.Co.Units değerinden 80-540 Pt.Co.Units değerine düşürülmüştür. BW membranı renk giderme verimi % 93 olarak hesaplanmıştır. SW membranında ise renk 730-900 Pt.Co.Units değerinden 0-130 Pt.Co.Units değerine düşürülmüştür. Ortalama renk giderme verimi % 98 olmuştur.

Kağıt sanayi atıksuları için ultrafiltrasyon ve ters osmoz membranları beraber kullanıldığından renk, iletkenlik, KOİ vb. parametlerde çok yüksek giderme verimleri elde edilmiştir. UF ve BW membranları beraber kullanıldığında renk giderme verimi % 93-95, KOİ giderme verimi % 90-97 olmuştur. Şekil 6.14' de UF

6.1. 2 İkinci Aşama Deneylerinin Değerlendirilmesi

İkinci aşama deneyleri, deneysel çalışma sırasında alınan numunelerin analiz edilmesinden oluşmaktadır. Bu aşamada, ham atıksu ve membrandan çıkan süzüntü akımından alınan numunelerde renk ve KOİ parametreleri incelenmiştir.

Deneysel çalışmalar sırasında deneye başlamadan önce besleme tankından alınan numune BESLEME SUYU, deney başlangıcında ve sonunda süzüntü suyu akımından alınan numuneler de sırasıyla PER-1 ve PER-2 olarak tanımlanmıştır. Her bir membranın renk ve KOİ parametrelerini giderme verimleri incelenmiştir. Şekil 6.7' de ham atıksuyu, UF ve SW membranları süzüntü suyu akımlarının renkleri verilmiştir. Şekil 6.8, 6.9 ve 6.10 ' da sırasıyla UF, BW ve SW membranlarının besleme suyu ve süzüntü suyu akımındaki KOİ değerleri verilmiştir.

UF membranında, KOİ değeri 2400-3600 mg/l'te olan besleme suyunun süzüntü akımı KOİ değerleri 415-462 mg/l'te arasında değişmektedir. UF membranın KOİ giderme verimi ortalama % 79 olmuştur. BW membranında KOİ değeri 440-470 mg/l'ten 70-80 mg/l'te ye düşürülmüştür. BW membranının KOİ giderme verimi % 91 olmuştur. SW membranında ise KOİ değeri 350-645 mg/l'ten 2-58 mg/l'te ye düşürülmüştür. KOİ giderme verimi ortalama % 96' dır.

Renk giderimi ile ilgili grafikler şekil 6.11, 6.12 ve 6.13 'de verilmiştir. UF membranının besleme suyu renk değeri 3000-3200 Pt.Co.Units iken süzüntü akımı renk değeri 780-870 Pt.Co.Units olmuştur. Renk giderme verimi ortalama % 74 olarak hesaplanmıştır. BW membranında renk 680-730 Pt.Co.Units değerinden 80-540 Pt.Co.Units değerine düşürülmüştür. BW membranı renk giderme verimi % 93 olarak hesaplanmıştır. SW membranında ise renk 730-900 Pt.Co.Units değerinden 0-130 Pt.Co.Units değerine düşürülmüştür. Ortalama renk giderme verimi % 98 olmuştur.

Kağıt sanayi atıksuları için ultrafiltrasyon ve ters osmoz membranları beraber kullanıldığından renk, iletkenlik, KOİ vb. parametlerde çok yüksek giderme verimleri elde edilmiştir. UF ve BW membranları beraber kullanıldığında renk giderme verimi % 93-95, KOİ giderme verimi % 90-97 olmuştur. Şekil 6.14' de UF

6.1. 2 İkinci Aşama Deneylerinin Değerlendirilmesi

İkinci aşama deneyleri, deneysel çalışma sırasında alınan numunelerin analiz edilmesinden oluşmaktadır. Bu aşamada, ham atıksu ve membrandan çıkan süzüntü akımından alınan numunelerde renk ve KOİ parametreleri incelenmiştir.

Deneysel çalışmalar sırasında deneye başlamadan önce besleme tankından alınan numune BESLEME SUYU, deney başlangıcında ve sonunda süzüntü suyu akımından alınan numuneler de sırasıyla PER-1 ve PER-2 olarak tanımlanmıştır. Her bir membranın renk ve KOİ parametrelerini giderme verimleri incelenmiştir. Şekil 6.7' de ham atıksuyu, UF ve SW membranları süzüntü suyu akımlarının renkleri verilmiştir. Şekil 6.8, 6.9 ve 6.10 ' da sırasıyla UF, BW ve SW membranlarının besleme suyu ve süzüntü suyu akımındaki KOİ değerleri verilmiştir.

UF membranında, KOİ değeri 2400-3600 mg/l'te olan besleme suyunun süzüntü akımı KOİ değerleri 415-462 mg/l'te arasında değişmektedir. UF membranın KOİ giderme verimi ortalama % 79 olmuştur. BW membranında KOİ değeri 440-470 mg/l'ten 70-80 mg/l'te ye düşürülmüştür. BW membranının KOİ giderme verimi % 91 olmuştur. SW membranında ise KOİ değeri 350-645 mg/l'ten 2-58 mg/l'te ye düşürülmüştür. KOİ giderme verimi ortalama % 96' dır.

Renk giderimi ile ilgili grafikler şekil 6.11, 6.12 ve 6.13 'de verilmiştir. UF membranının besleme suyu renk değeri 3000-3200 Pt.Co.Units iken süzüntü akımı renk değeri 780-870 Pt.Co.Units olmuştur. Renk giderme verimi ortalama % 74 olarak hesaplanmıştır. BW membranında renk 680-730 Pt.Co.Units değerinden 80-540 Pt.Co.Units değerine düşürülmüştür. BW membranı renk giderme verimi % 93 olarak hesaplanmıştır. SW membranında ise renk 730-900 Pt.Co.Units değerinden 0-130 Pt.Co.Units değerine düşürülmüştür. Ortalama renk giderme verimi % 98 olmuştur.

Kağıt sanayi atıksuları için ultrafiltrasyon ve ters osmoz membranları beraber kullanıldığından renk, iletkenlik, KOİ vb. parametlerde çok yüksek giderme verimleri elde edilmiştir. UF ve BW membranları beraber kullanıldığında renk giderme verimi % 93-95, KOİ giderme verimi % 90-97 olmuştur. Şekil 6.14' de UF

6.2 Çöp Sızıntı Suyu ile Yapılan Deneylerin Değerlendirilmesi

6.2.1 Birinci Aşama Deneylerinin Değerlendirilmesi

UF membranına, ham atıksu beslenerek sabit basınçta akı ve iletkenlik parametrelerindeki değişim incelenmiştir. Şekil 6.16' de UF membranının zaman-akı grafiği, şekil 6.19' da ise zaman-iletkenlik grafiği verilmiştir. Grafiklerden de görüldüğü üzere zamanla akı miktarında çok az bir artış gözlenmiştir. Deney başlangıcında akı değeri 8-30 lt/m²*saat iken deney sonunda 11-32 lt/m²*saat değerine ulaşmıştır. BW membranında akı değeri, Şekil 6.17' de verilen grafikten de görüldüğü üzere zamanla artma ve azalmalar gösterirken başlangıçta 60 lt/m²*saat olan değer 58 lt/m²*saat değerine düşmüştür.

SW membranında ise akı değeri zamanla değişirken, deney başlangıcında ve deney sonunda 58 lt/m²*saat değeri civarında kalmıştır. SW membranının zaman-akı grafiği şekil 6.18' de verilmiştir.

Çöp sızıntı sularında UF, BW ve SW membranlarının besleme suyu karakterine bağlı olarak kritik akıları sırasıyla 12 lt/m²*saat, 55 lt/m²*saat, 58 lt/m²*saat olmuştur.

UF, BW ve SW membranları süzüntü akımı ve konsantre akımı iletkenlik değerlerinde sabit bir değer elde edilememiştir. UF membranında iletkenlik değeri 6500-22000 µS/cm değerinden 6200-21700 µS/cm değerine indirilmiştir. UF membranı iletkenlik giderme verimi ortalama % 3 olmuştur. BW membranında iletkenlik değeri 3400 µS/cm' den 320 µS/cm' e indirilmiştir. Bu membranın giderme verimi % 98 olmuştur. SW membranın iletkenlik 19000 µS/cm 'den 4000 µS/cm 'e düşmüş, membranın giderme verimi % 79 olmuştur. Şekil 6.19' da UF membranı, Şekil 6.20 ve 6.21' de ise BW ve SW membranları iletkenlik değerleri verilmiştir.

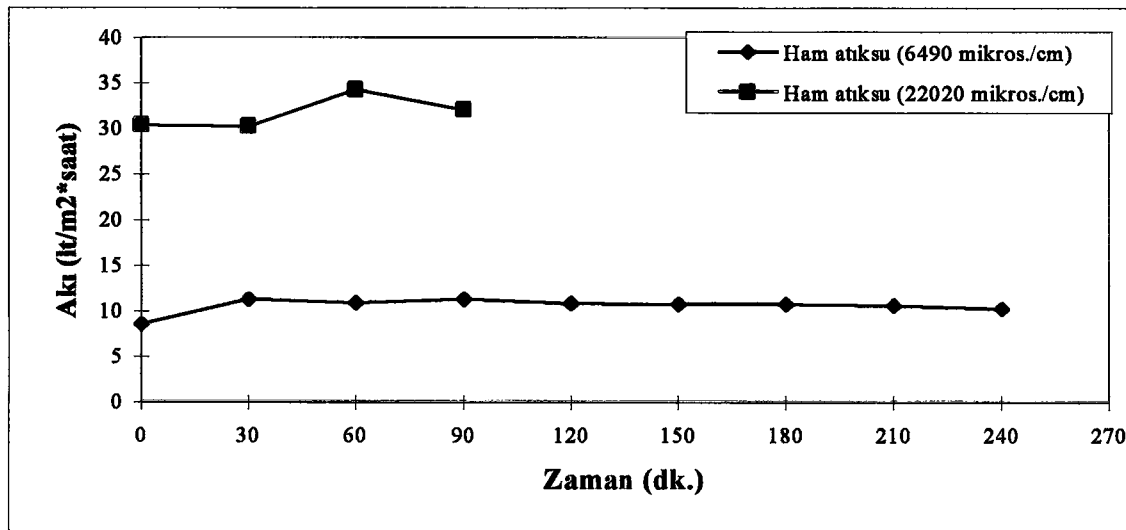
Membranların süzüntü akımı pH değeri zamanla artarak 7.5-9.0 arasında değişmiştir.

6.2. 2 İkinci Aşama Deneylerinin Değerlendirilmesi

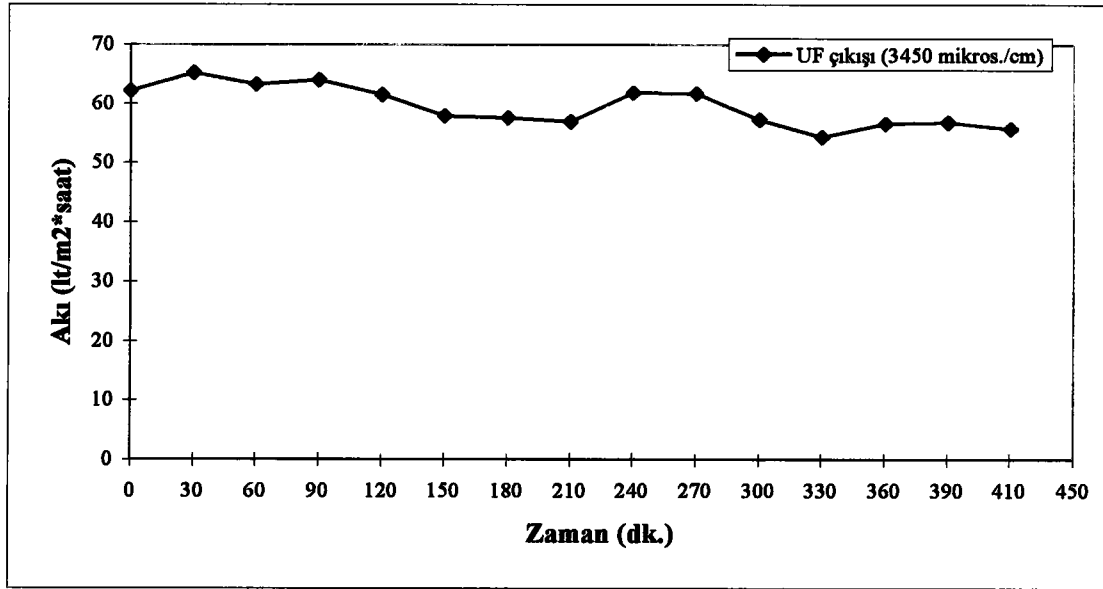
Bu aşamada, ham atıksu ve membranlardan çıkan süzüntü akımından alınan numunelerde renk , amonyak ve KOİ parametreleri incelenmiştir.

Ultrafiltrasyon ve ters osmoz membranları beraber kullanıldığından renk, iletkenlik, KOİ ve amonyak parametrelerinde çok yüksek giderme verimleri elde edilmiştir. UF ve BW membranları beraber kullanıldığında renk 4400 Pt.Co.Units' den, 860 Pt.Co.Units' ye, KOİ ise 1700 mg/lt' den 390 mg/lt' ye indirilmiştir. Bu membranların renk giderme verimi % 99, KOİ giderme verimi de % 99 olmuştur. Şekil 6.22' de UF ve BW membranlarının çöp sızıntı sularında renk ve KOİ giderme verimleri verilmiştir.

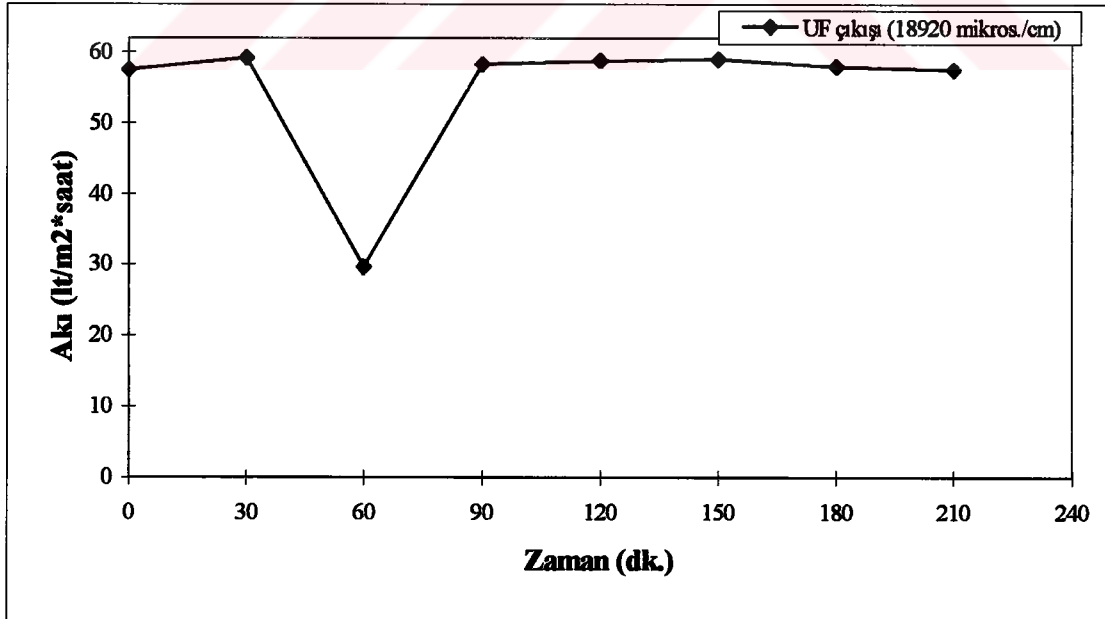
UF ve SW membranları beraber kullanıldığında renk 2900 Pt.Co.Units' den, 165 Pt.Co.Units' e, KOİ 2800 mg/lt' den 340 mg/lt' ye, amonyak ise 950 mg/lt'den 270 mg/lt'ye düşürülmüştür. UF ve SW membranlarının renk giderme verimi % 93, KOİ giderme verimi % 88-90 ve amonyak giderme verimleri %71-73 olmuştur. Şekil 6.23' te UF ve SW membranlarının çöp sızıntı sularından renk, KOİ ve amonyak giderme verimleri verilmiştir.



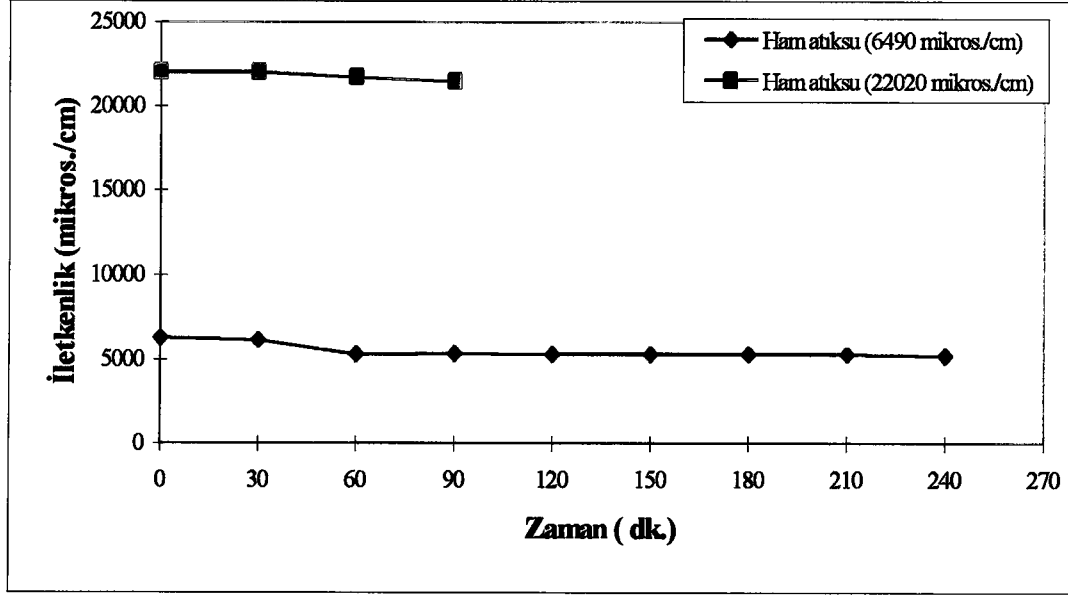
Şekil 6. 16 Çöp sızıntı suyu UF membranı akı-zaman grafiği (basınç 4 bar)



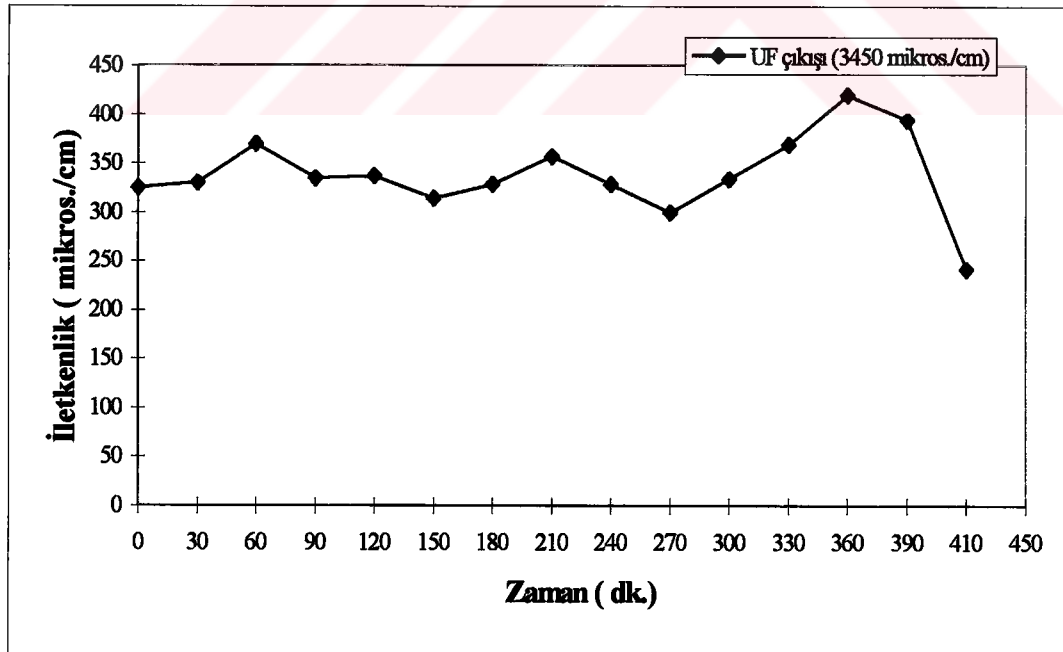
Şekil 6.17 Çöp sızıntı suyu BW membranı zaman-akı grafiği (25 bar)



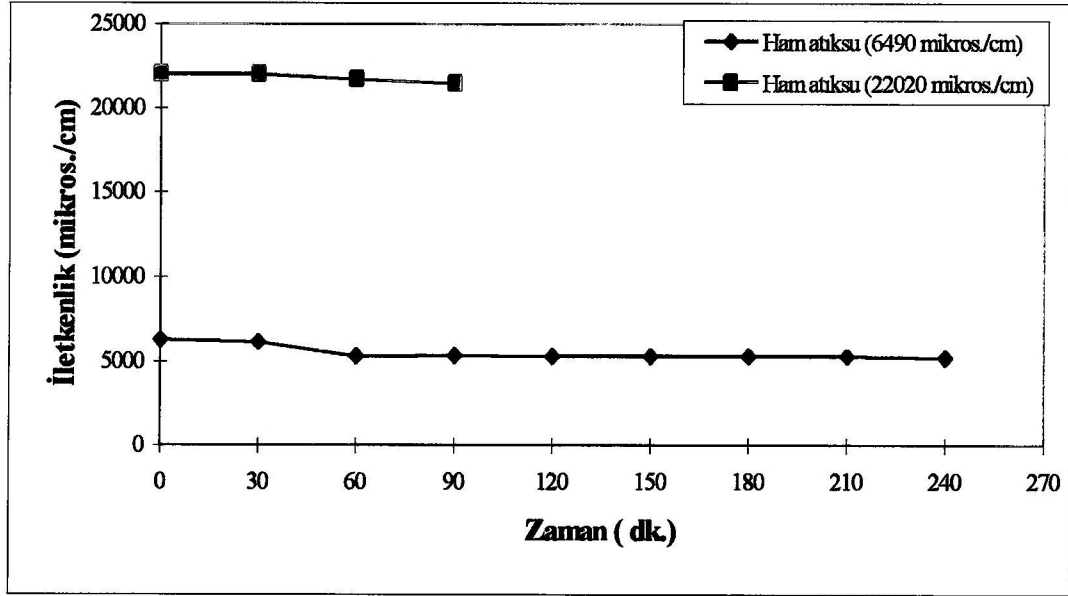
Şekil 6.18 Çöp sızıntı suyu SW membranı zaman-akı grafiği (55 bar)



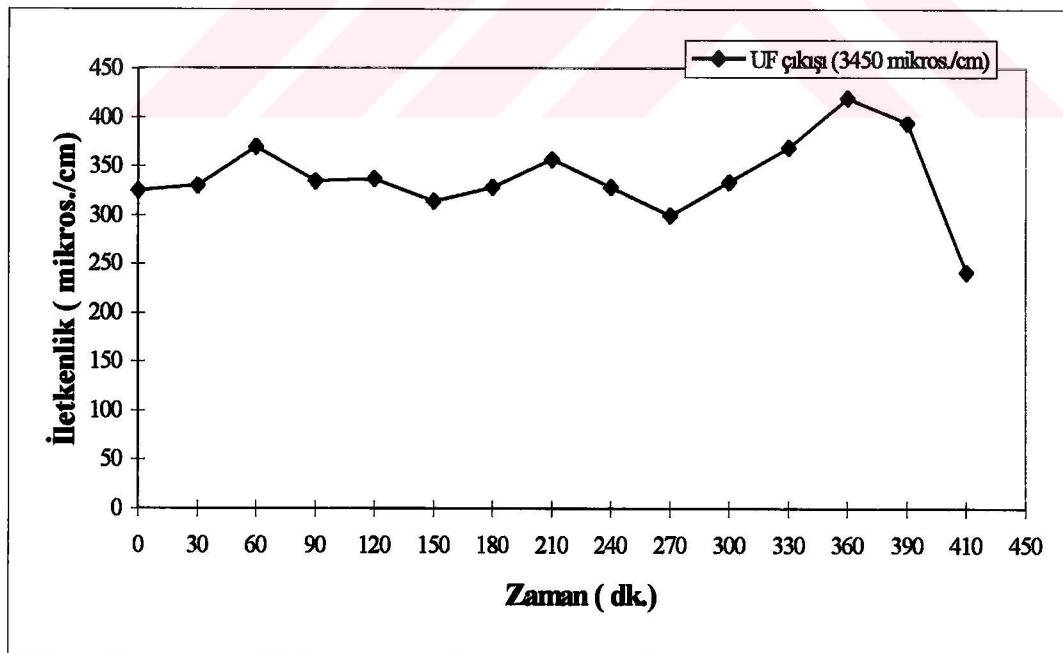
Şekil 6.19 Çöp sızıntı suyu UF membranı zaman-iletkenlik grafiği (4 bar)



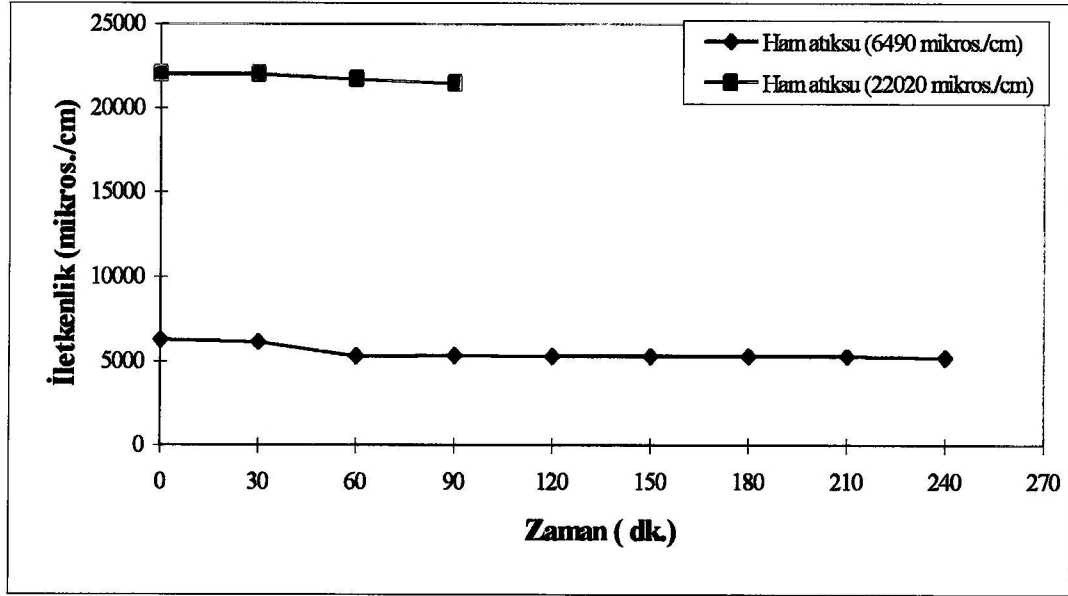
Şekil 6.20 Çöp sızıntı suyu BW membranı zaman-iletkenlik grafiği (25 bar)



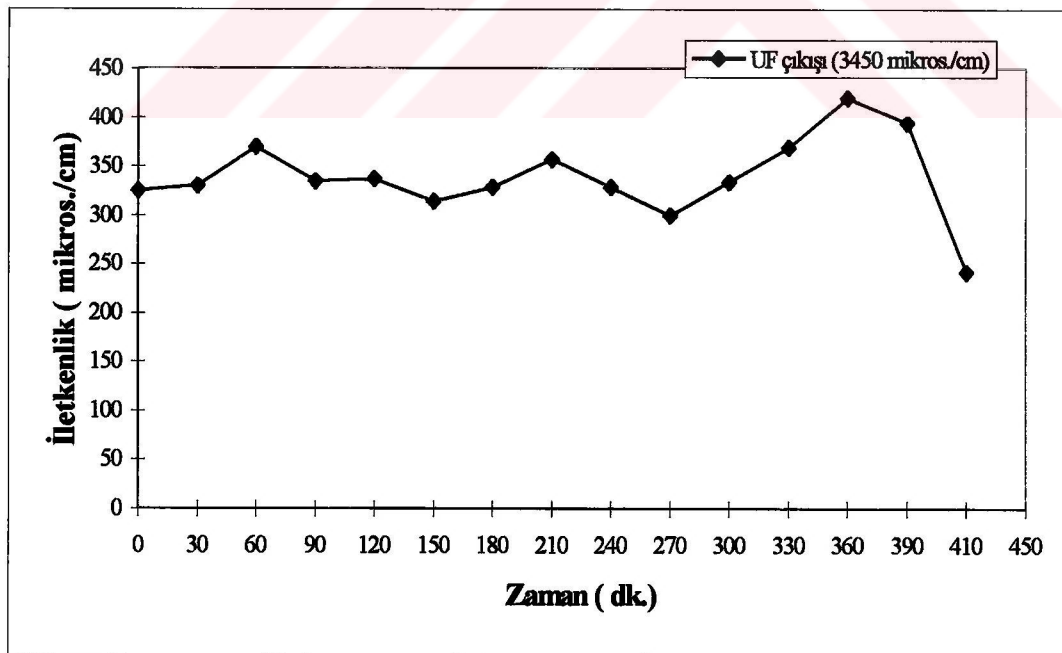
Şekil 6.19 Çöp sızıntı suyu UF membranı zaman-iletkenlik grafiği (4 bar)



Şekil 6.20 Çöp sızıntı suyu BW membranı zaman-iletkenlik grafiği (25 bar)



Şekil 6.19 Çöp sızıntı suyu UF membranı zaman-iletkenlik grafiği (4 bar)



Şekil 6.20 Çöp sızıntı suyu BW membranı zaman-iletkenlik grafiği (25 bar)

UF süzüntü suyu verildiğinde akı değeri 60 lt/m²*saat değerinden 38 lt/m²*saat değerine düşmüştür. Akı miktarındaki azalma % 23-35 olmuştur. UF çıkış suyu SW membranına verildiğinde akı değeri yüksek olmuştur. Bunun sebebi aerobik çıkış suyu doğrudan SW membranına verildiğinde membranda tıkanma meydana geldiğinden akı değeri az olmuştur.

Şekil 6.24 ve 6.25' da SW ve BW membranlarına ait zaman-akı grafikleri verilmiştir.

Membranların kritik akı değerleri, besleme suyu karakterine bağlı olarak BW membranında 25 lt/m²*saat, SW membranında 20-45 lt/m²*saat' dir.

BW membranına iletkenlik değeri 9900-10000 µS/cm olan aerobik arıtma tesisi çıkış suyu verildiğinde süzüntü akımı iletkenlik değeri 940-600 µS/cm olmuştur. Membranın iletkenlik giderme verimi % 90-94 olmuştur. Konsantre ve tank akımlarının iletkenlik değerleri de zamanla azalmıştır. Bu azalmanın sebebi iyonların membran gözeneklerinde ve membran üzerinde oluşan jel tabasında tutulmasıdır. Tutulan bu maddeler membranın zamanla tıkanmasına sebep olurlar.

SW membranına iletkenlik değeri 6500-9000 µS/cm arasında değişen aerobik arıtma tesis çıkış suları verildiğinde membranın süzüntü akımı iletkenlik değeri 130-400 µS/cm arasında değişmiştir. SW membranının giderme verimi ortalama %97-98 ' dir.

Şekil 6.26, 6.27, 6.28 ve 6.29 BW ve SW membranları akımları iletkenlik değişim grafikleri verilmiştir. BW membranı ile farklı basınçlarda aerobik çıkış suyu ile çalışılmıştır. Akı basınçla artmış ve zamanla sabit kalmıştır. Şekil 6.30' da çalışmanın grafik olarak sonuçları verilmiştir.

Membranların süzüntü akımları pH değeri zamanla artarak 6.0-8.8 arasında değişmiştir.

6.3. 2 İkinci Aşama Deneylerinin Değerlendirilmesi

Bu aşamada, ham atıksudan ve membranlardan çıkan süzüntü akımından alınan numunelerde renk , amonyak ve KOİ parametreleri incelenmiştir.

Maya fabrikasının renk, KOİ ve amonyak değerleri sırasıyla 5160 Pt.Co.Units, 3200 mg/lt ve 680 mg/lt olan atıksuları UF ve SW membranlarına verildiğinde renk 130 Pt.Co.Units' e, KOİ 47 mg/lt'ye ve amonyak değeri de 45 mg/lt'ye indirilmiştir. Renk giderimi %97-98, KOİ giderimi %98-99 ve amonyak giderimi % 93 olmuştur.

Aerobik artıma tesisi çıkış suyu SW membranına doğrudan verildiğinde renk 4600 Pt.Co.Units' den 10 Pt.Co.Units' e, KOİ değeri 2470 mg/lt'den 10 mg/lt'ye, amonyak değeri ise 686 mg/lt'den 60 mg/lt değerine düşürülmüştür. SW membranının giderme verimi renk ve KOİ parametrelerinde % 99'un üzerinde olurken amonyak giderimi % 91 oranında olmuştur.

BW membranına ham atıksu doğrudan verildiğinde renk değeri 4850 Pt.Co.Units' den 70 Pt.Co.Units' e, KOİ 2930 mg /lt 'den 37 mg/lt' ye, amonyak ise 460 mg/lt'den 91 mg/lt değerine indirilmiştir. BW membranın renk, KOİ ve amonyak giderme verimi sırasıyla % 98, % 98-99 ve % 80 olmuştur. Şekil 6.31' de BW membranı ile yapılan çalışma sırasında besleme suyu ile süzüntü akımının renk farkı gösterilmiştir.

Maya sanayi atıksularında sadece ters osmoz membranları kullanıldığında da çok yüksek arıtma verimler elde edilmiştir. Ayrıca membranlar kısa sürede kararlı hale geldiklerinden iletkenlik ve akı değerlerindeki değişim az olmuştur. Şekil 6.32, 6.33 ve 6.34 ' te membranların verim grafikleri verilmiştir.

6.4 Enerji Maliyetinin Değerlendirilmesi

Kağıt, çöp sızıntı suyu ve maya sanayi atıksuları ile yapılan deneysel çalışmalarda m³ süzüntü suyu için enerji tüketimi KWH cinsinden hesaplanmıştır.

6.4.1 Kağıt Sanayi Atıksularında Enerji Maliyeti

Atıksu önce UF membranından geçirilmiştir. UF membranında 4 bar basınçta çalışılmış ve süzüntü suyu BW ve SW membranlarına verilmiştir. BW membranında 25 bar , SW membranında 55 bar sabit basınçta çalışılmıştır. Şekil 6.35' te membranların enerji maliyeti-zaman değerleri gösterilmiştir. BW membranı ile çalışıldığında enerji tüketimi değişiklik gösterirken, UF ve SW membranları enerji tüketimi çok az değişmiştir. UF ve SW membranlarının enerji tüketimleri sırasıyla 7 KWH/m³ , 20 KWH/m³ civarında sabit kalmıştır. BW enerji tüketimi ortalama 30 KWH/m³ ' dır.

Kağıt sanayi atıksularının arıtımında UF ve ters osmoz membranları beraber kullanıldığında renk, KOİ ve iletkenlik parametrelerinde yüksek giderme verimi elde edilmiş idi. Özellikle UF ve SW membranları ile %99' un üzerinde bir verim elde edilmiş idi. Enerji maliyeti açısından değerlendirme yapıldığında da UF ve SW membranlarının daha uygun olduğu görülmüştür.

6.4.2 Çöp Sızıntı Sularında Enerji Maliyeti

Atıksu önce UF membranından daha sonra BW ve SW membranlarından geçirilmiştir.

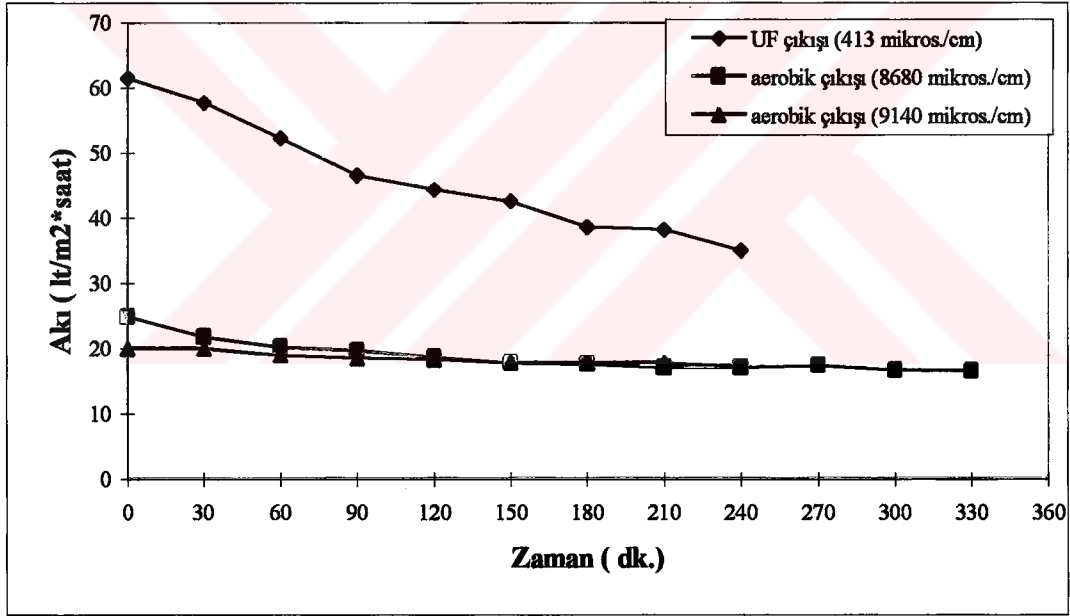
Deneysel çalışmada UF membranı ile 4 bar, BW membranı ile 25 bar ve SW membranı ile 55 bar sabit basınçta çalışılmıştır. Şekil 6.36' de membranların enerji maliyeti verilmiştir. UF membranında başlangıçta hızlı bir düşüş olmuş, daha sonra enerji tüketimi çok az bir artış göstermiştir. Enerji tüketimi ortalama 32 KWH/m³ değerinde kalmıştır.

BW ve SW membranları enerji tüketimlerinde çok az bir değişiklik olmuştur. Enerji tüketimleri BW membranında 13 KWH/m³ , SW membranında ise 23 KWH/m³ değerinde sabit kalmıştır.

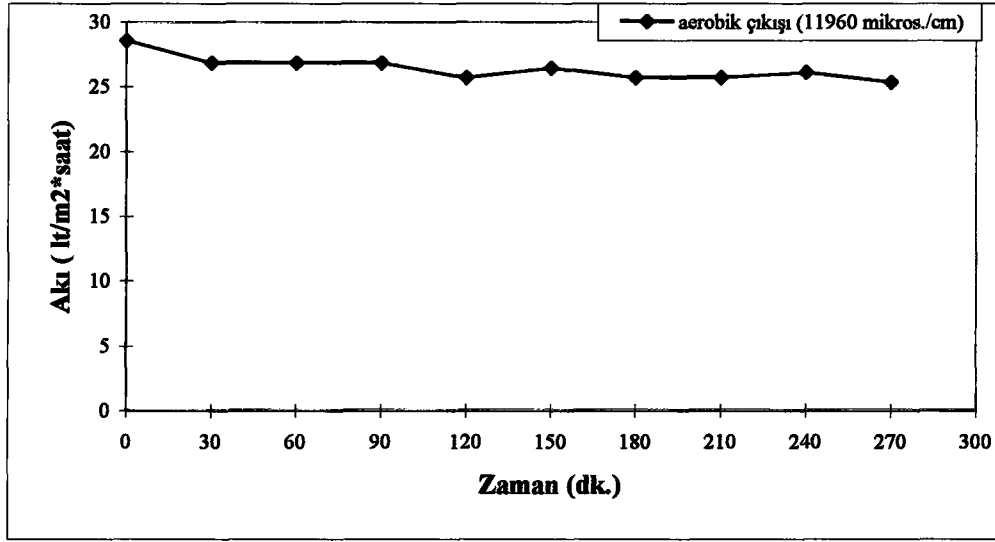
6.4.3 Maya Sanayi Atıksuları Enerji Maliyeti

Atıksu UF, BW ve SW membranlarına verilerek her bir membranın enerji tüketimleri hesaplanmıştır. UF, BW ve SW membranlarında sırasıyla 4 bar, 25 bar ve 50 bar sabit basınçta çalışılmıştır.

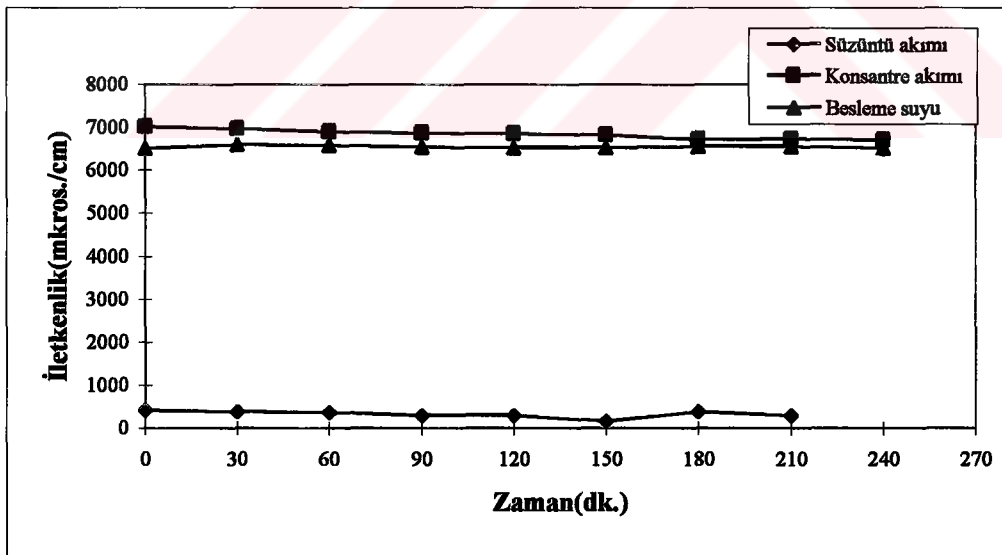
SW membranı enerji maliyeti zamanla artarken BW ve UF membranları enerji tüketimlerinde çok az bir değişme olmuştur (Şekil 6.37). Enerji tüketimi ortalama değer olarak sırasıyla UF' da 5 KWH/m³ , BW' da 7 KWH/m³ ve SW membranında 21 KWH/ m³ mertebesinde kalmıştır.



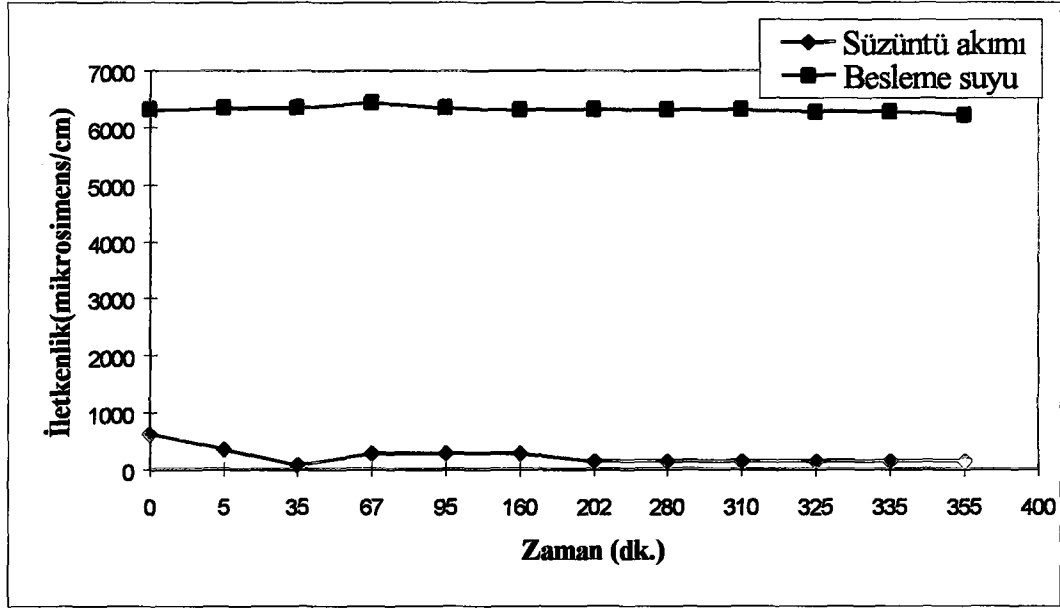
Şekil 6.24 Maya sanayi atıksuları SW membranı zaman -akı grafiği (basınç 55 bar)



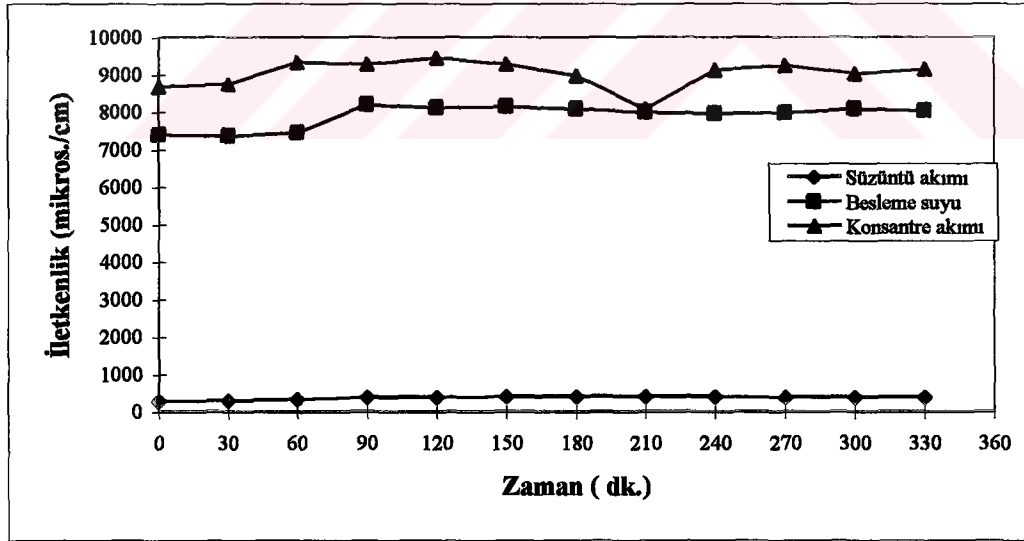
Şekil 6.25 Maya sanayi atıksuları BW membranı zaman -akı grafiği (basınç 25 bar)



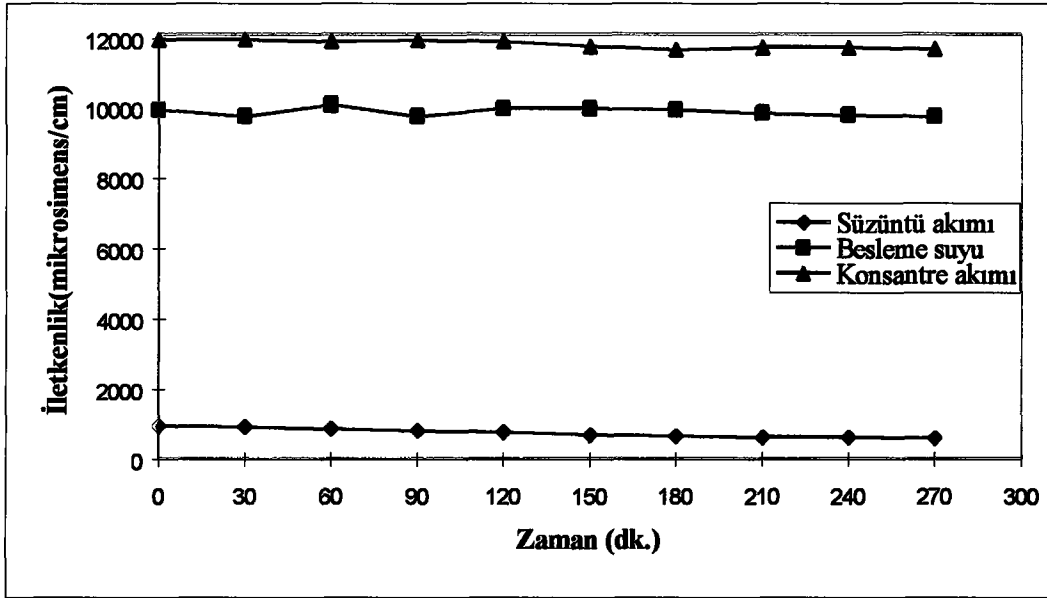
Şekil 6.26 Maya sanayi UF çıkış suyu SW membranı zaman- iletkenlik grafiği (basınç 55 bar)



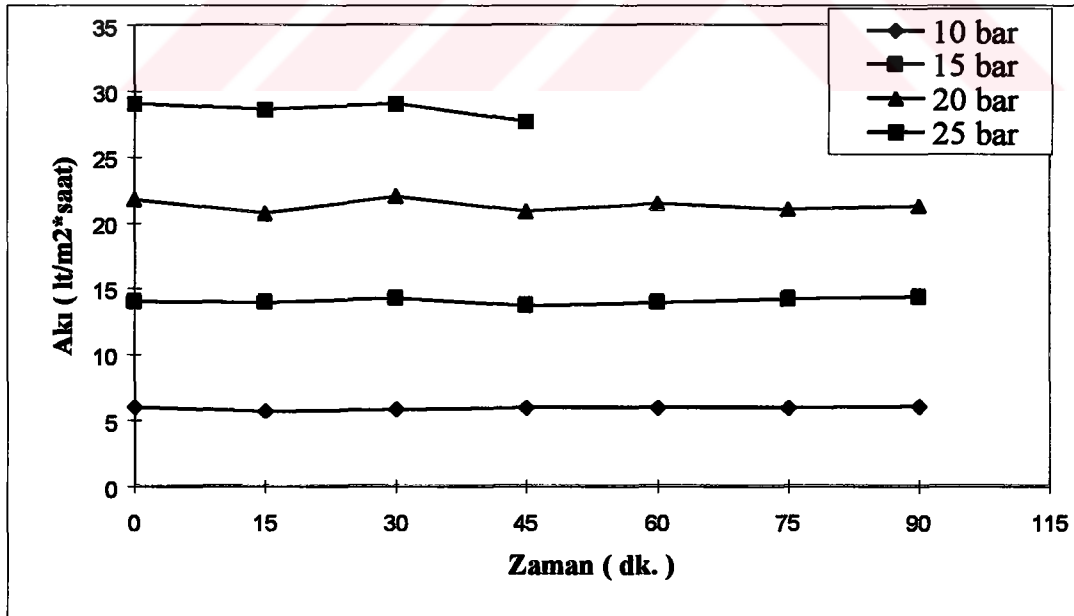
Şekil 6.27 Maya sanayi aerobik çıkış suyu SW membranı zaman- iletkenlik grafiği
(basınç 55 bar)



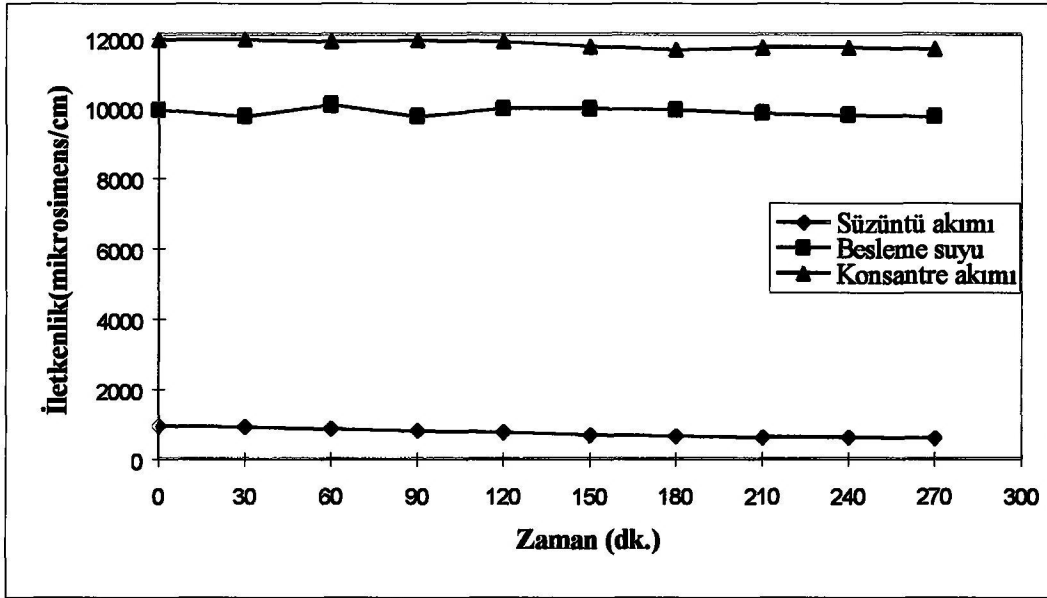
Şekil 6.28 Maya sanayi aerobik çıkış suyu SW membranı zaman- iletkenlik grafiği
(basınç 50 bar)



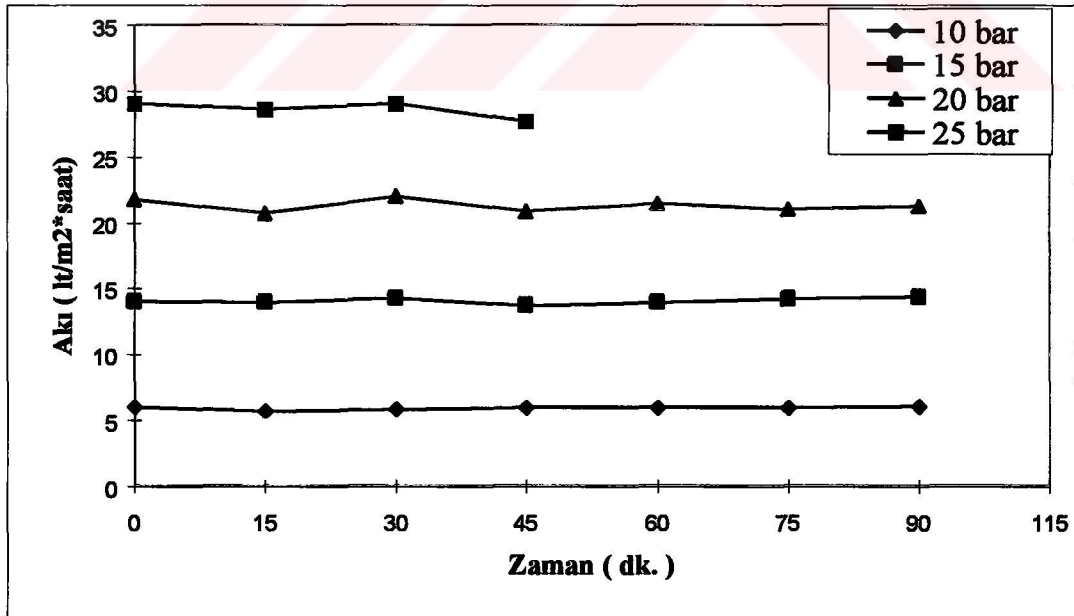
Şekil 6.29 Maya sanayi aerobik çıkış suyu BW membranı zaman- iletkenlik grafiği
(basınç 20 bar)



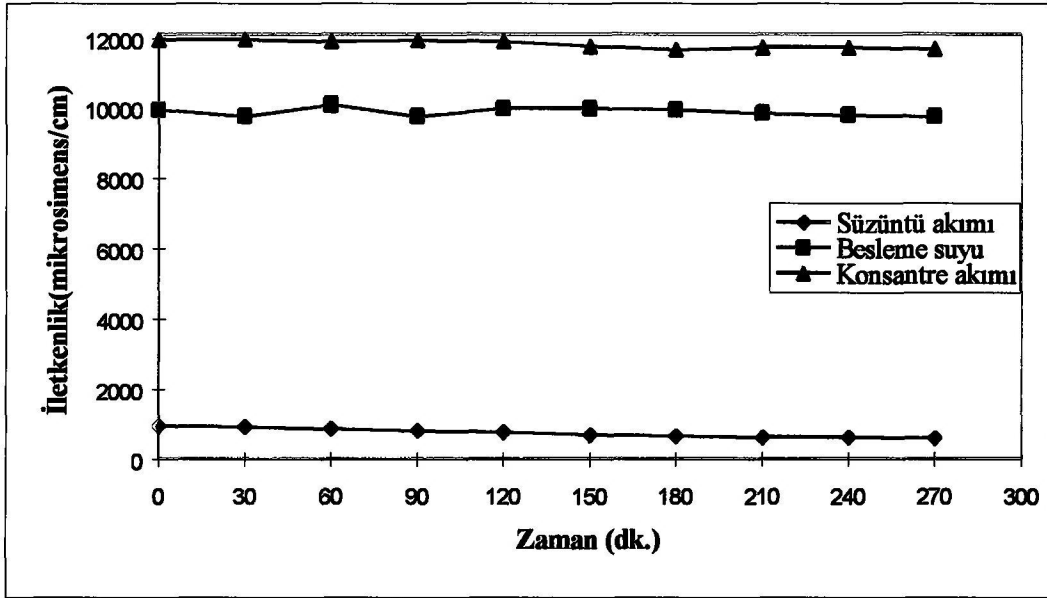
Şekil 6.30 Maya sanayi aerobik arıtma tesisi çıkış suyu BW membranının farklı basınçlarda akı değişimi grafiği



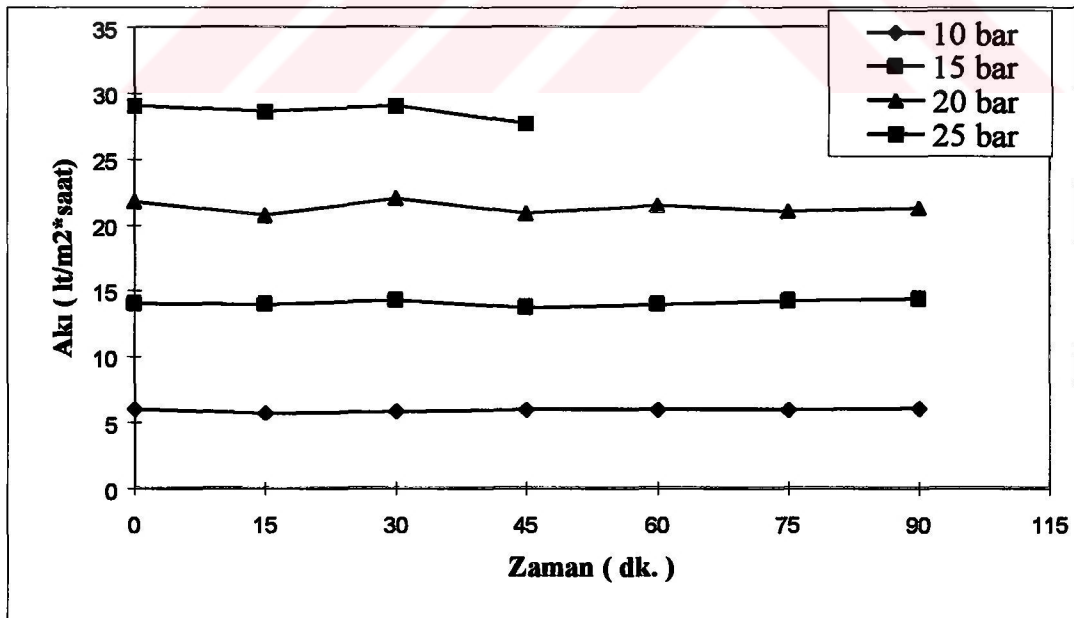
Şekil 6.29 Maya sanayi aerobik çıkış suyu BW membranı zaman- iletkenlik grafiği
(basınç 20 bar)



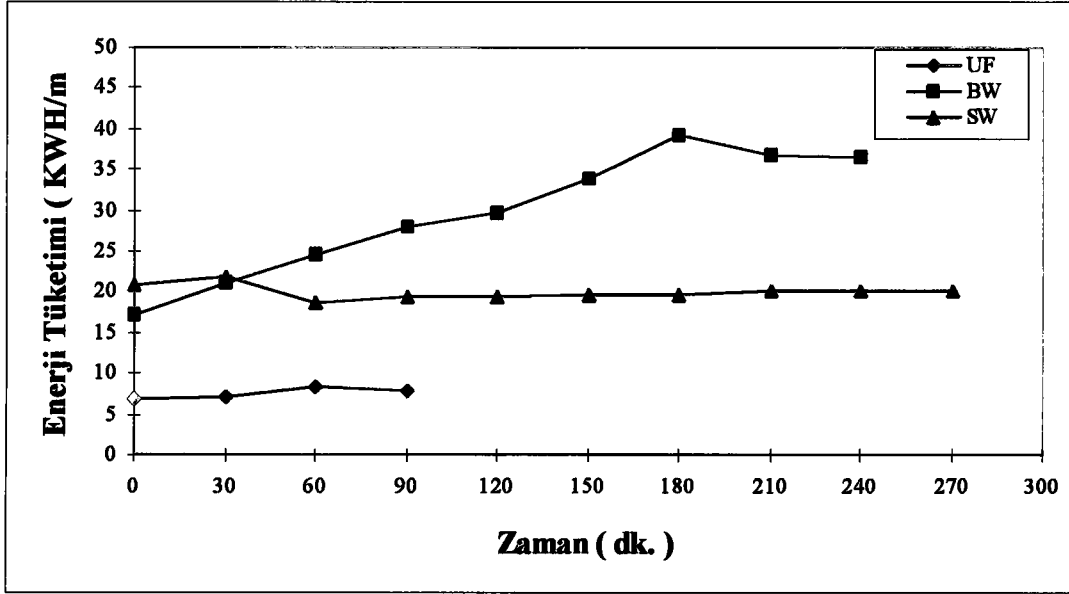
Şekil 6.30 Maya sanayi aerobik arıtma tesisi çıkış suyu BW membranının farklı basınçlarda akı değişimi grafiği



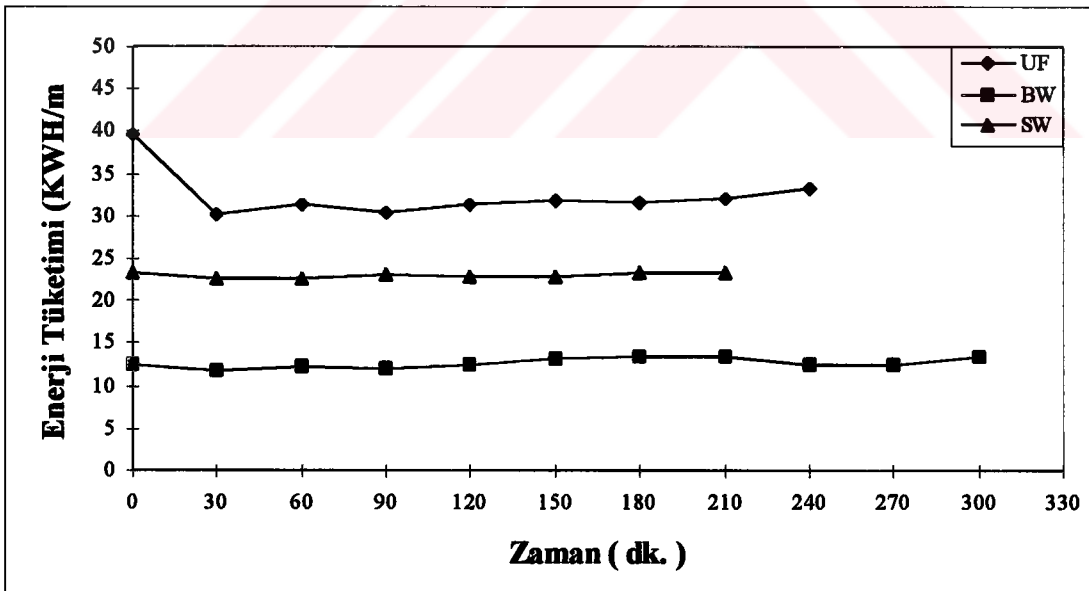
Şekil 6.29 Maya sanayi aerobik çıkış suyu BW membranı zaman- iletkenlik grafiği
(basınç 20 bar)



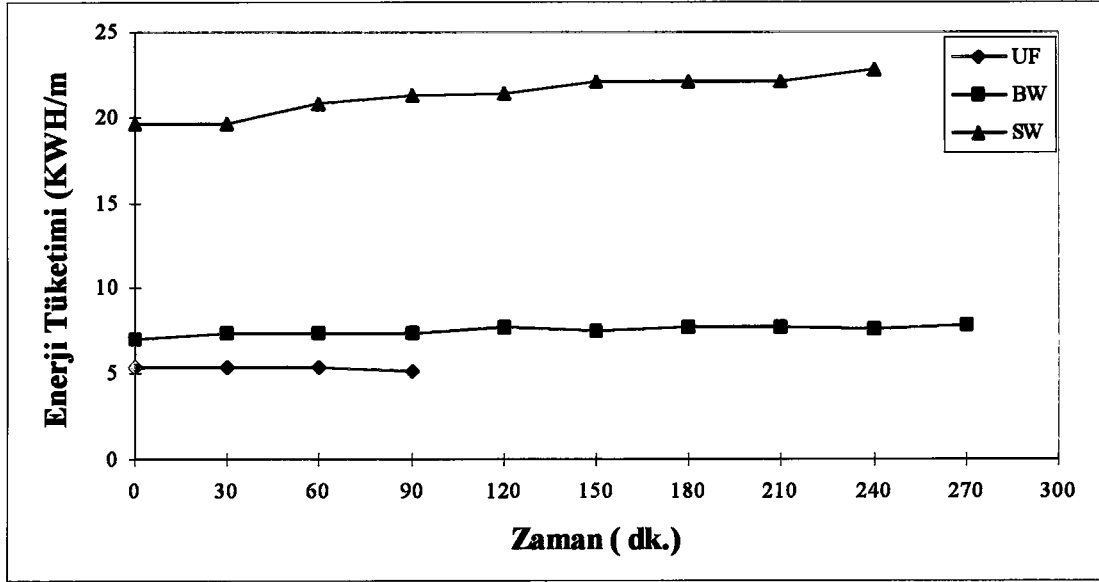
Şekil 6.30 Maya sanayi aerobik arıtma tesisi çıkış suyu BW membranının farklı basınçlarda akı değişimi grafiği



Şekil 6.35 Kağıt sanayi atıksuları UF, BW ve SW membranları enerji maliyeti deney sonuçları



Şekil 6.36 Çöp sızıntı suları UF, BW ve SW membranları enerji maliyeti deney sonuçları



Şekil 6.37 Maya sanayi atıksuları UF, BW ve SW membranları enerji maliyeti deney sonuçları

BÖLÜM 7

SONUÇLAR

Üç farklı atıksu ile yürütülen deneysel çalışmalarda ultrafiltrasyon ve ters osmoz membranları ile başta renk olmak üzere diğer kirletici parametrelerde de çok yüksek giderme verimleri elde edilmiştir.

7.1 Birinci Aşama Deney Sonuçları

Kağıt sanayi atıksuları ile yapılan birinci aşama deneylerinde UF ve RO membranları ile çalışılmıştır. Renk değeri 3000-3500 Pt.Co.units, KOİ değeri 2500-3500 mg/lt ve iletkenliği 6000-6700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olan kağıt fabrikasının arıtma tesisi çıkış suyunda UF ve RO membranları birlikte kullanıldığında % 98-99 verim elde edilmiştir. UF ve BW membranları ile renk 80 Pt.Co.units, KOİ 76 mg/lt ve iletkenlik ise 2800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ' ye indirilmiştir. UF ve SW membranları beraber kullanıldığında besleme suyu karakterine bağlı olarak, renk 0-20 Pt.Co. units, KOİ 4-50 mg/lt ve iletkenlikte 80-200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ' e indirilmiştir. UF ve SW membranları beraber kullanıldığında UF ve BW membranlarına göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Deneysel çalışmada, ultrafiltrasyon ve ters osmoz membranları birlikte kullanıldığında yaklaşık olarak % 25-30 geri kazanım sağlanmıştır. Membranlar seri halde çalıştırıldığında yaklaşık % 70 geri kazanım sağlanabilir.

Kritik akı değerleri besleme suyu özelliğine bağlı olarak UF membranında 20-25 lt/m²*saat, BW membranında 15-20 lt/m²*saat ve SW membranında ise 20-120 lt/m²*saat civarında olmuştur. Akı değeri kararlı halden azalmaya başladığında membran temizlenmelidir. Membranın temizleme periyodunun belirlenmesi için tesisin

uzun süreli çalıştırılması gerekmektedir. Membranlar arıtılan suyun özelliğine bağlı olarak her gün veya iki günde bir temizlenerek 1 yıl süre ile kullanılabilir.

UF, BW ve SW membranları ile sırasıyla 4 bar, 25 bar ve 50 bar sabit basınçta çalışılmıştır. Çalışma sırasında, SW membranının enerji maliyeti zamanla artarken BW ve UF membranları enerji tüketimlerinde çok az bir değişme olduğu gözlemlenmiştir. Enerji tüketimi ortalama değer olarak sırasıyla UF' da 5 KWH/m³, BW' da 7 KWH/m³ ve SW membranında 21 KWH/m³ mertebesinde kalmıştır.

7.2 İkinci Aşama Deney Sonuçları

Çöp sızıntı suları ile yapılan deneysel çalışmalarda UF ve RO membranları ile renk giderimi % 95-99, KOİ giderimi % 98-99, iletkenlik giderimi % 85-95, amonyak giderimi % 70-75 olmuştur. Ultrafiltrasyon ve ters osmoz membranları birlikte kullanıldığında yaklaşık olarak % 20 geri kazanım sağlanmıştır. Membranlar seri halde çalıştırıldığında yaklaşık % 60 - 70 geri kazanım sağlanabilir.

UF ve BW membranları beraber kullanıldığında renk 4400 Pt.Co. units' den 860 Pt.Co. units' e, KOİ 1700 mg/lt'den 390 mg/lt, iletkenlik ise 6500 µS/cm' den 300 µS/cm' e indilmiştir. UF ve BW membranlarının çöp sızıntı sularında renk ve KOİ giderme verimi % 99, iletkenlik giderme verimi de %95-96 olarak hesaplanmıştır. UF ve SW membranları ile, renk 2900 Pt.Co. units' den 165 Pt.Co. units' e, KOİ 2800 mg/lt' den 340 mg/lt, amonyak 950 mg/lt'den 270 mg/lt ve iletkenlik değeri 22000 µS/cm' den 4000 µS/cm' e düşürülmüştür. UF ve SW membranlarının renk giderme verimi % 93, KOİ giderme verimi % 88-90, amonyak giderme verimi %71-73 ve iletkenlik giderme verimi % 81-82 olmuştur. UF ve SW membranlarında iletkenliği çok yüksek atıksu ile çalışılmıştır. Bu nedenle verim UF ve BW membranlarına göre düşüktür.

Çöp sızıntı sularında UF, BW ve SW membranlarının besleme suyu karakterine bağlı olarak kritik akı değerleri sırasıyla 12 lt/m²*saat, 55 lt/m²*saat, 58 lt/m²*saat olarak

hesap edilmiştir. Kritik akı değerinde azalma olduğunda membranın temizlenmesi gerekmektedir.

Deneysel çalışmada UF membranı ile 4 bar, BW membranı ile 25 bar ve SW membranı ile 55 bar sabit basınçta çalışılmıştır. UF membranı ile yapılan çalışmada, deney başlangıcında membranda tıkanma meydana geldiğinden basınçta artma olmuştur. Dolayısıyla enerji tüketimi başlangıçta değişiklik gösterirken zamanla kararlı hale gelerek ortalama 32 KWH/m³ değerinde kalmıştır.

BW ve SW membranlarının enerji tüketimlerinde çok az bir değişiklik gözlenmiştir. Enerji tüketimleri BW membranında 13 KWH/m³, SW membranında ise 23 KWH/m³ değerinde sabit kalmıştır.

7.3 Üçüncü Aşama Deney Sonuçları

Maya sanayi atıksuları ile yürütülen çalışmada ters osmoz membranları ile başta renk olmak üzere, KOİ, amonyak ve iletkenlik parametrelerinde % 80-99 giderme verimi elde edilmiştir. Deneysel çalışmada, ters osmoz membranları ile yaklaşık olarak % 15-20 geri kazanım sağlanmıştır. Membranlar seri halde çalıştırıldığında yaklaşık % 70 geri kazanım sağlanabilir.

Renk değeri 4500-5200 Pt.Co. units, KOİ değeri 2400-3300 mg/lt, amonyak değeri 400-680 mg/lt, iletkenlik değeri 6300-10100 µS/cm arasında değişen maya fabrikası atıksularında ultrafiltrasyon ve ters osmoz membranları ile bu parametreler, 10-70 Pt.Co. units, 10-100 mg/lt, 45-60 mg/lt ve 100-1000 µS/cm'e indirilmiştir. SW membranı ile BW membranına göre daha yüksek verim elde edilmiştir.

Maya fabrikasının renk, KOİ ve amonyak değerleri sırasıyla 5160 Pt.Co. units, 3200 mg/lt ve 680 mg/lt olan atıksuları UF ve SW membranlarına verildiğinde renk 130 Pt.Co. units'e, KOİ 47 mg/lt'ye ve amonyak değeri de 45 mg/lt'ye indirilmiştir. Renk giderimi %97-98, KOİ giderimi %98-99 ve amonyak giderimi % 93 olmuştur.

Aerobik arıtma tesisi çıkış suyu SW membranına doğrudan verildiğinde renk 4600 Pt.Co. units' den 10 Pt.Co. units' e, KOİ değeri 2470 mg/l'ten 10 mg/l'te, amonyak değeri ise 686 mg/l'ten 60 mg/l değerine düşürülmüştür. SW membranının giderme verimi renk ve KOİ parametrelerinde % 99'un üzerinde olurken amonyak giderimi % 91 oranında olmuştur. BW membranına ham atıksu doğrudan verildiğinde renk değeri 4850 Pt.Co. units' den 70 Pt.Co. units' e, KOİ 2930 mg /lt 'den 37 mg/lt' ye, amonyak ise 460 mg/l'ten 91 mg/l değerine indirilmiştir. BW membranın renk, KOİ ve amonyak giderme verimi sırasıyla % 98, % 98-99 ve % 80 olmuştur.

Maya sanayi atıksularında sadece ters osmoz membranları kullanıldığında da çok yüksek arıtma verimleri elde edilmiştir. Ayrıca membranlar kısa sürede kararlı hale geldiklerinden iletkenlik ve akı değerlerindeki değişim çok az olmuştur. UF membranı giderme verimi çok düşük olmasına rağmen süzöntü suyu ters osmoz membranlarına verildiğinde % 99 verim elde edilmektedir. UF membranında renk giderimi %11 KOİ giderimi % 39 oranında olmuştur.

Membranların kritik akı değerleri besleme suyu karakterine bağlı olarak BW membranında 25 lt/m²*saat, SW membranında 20-45 lt/m²*saat olarak hesaplanmıştır. Kritik akı değerlerinde azalma meydana geldiğinde membranların temizlenmesi gereklidir.

Deneysel çalışmalarda enerji maliyeti ölçülmüş ve sabit basınçta çalışıldığında enerji tüketiminin çok az değiştiği görülmüştür. Basınç arttıkça m³ süzöntü suyu başına enerji maliyetinin arttığı gözlenmiştir. Deney sırasında UF membranı ile 4 bar, BW ile 25 bar ve SW ile 55 bar sabit basınçta çalışılmıştır. BW membranı ile çalışıldığında enerji tüketimi değişiklik gösterirken, UF ve SW membranları enerji tüketimi çok az değişmiştir. UF ve SW membranlarının enerji tüketimleri sırasıyla 7 KWH/m³, 20 KWH/m³ civarında sabit kalmıştır. BW enerji tüketimi ortalama 30 KWH/m³ ' dır. Enerji maliyeti açısından değerlendirme yapıldığında, UF ve SW membranlarının daha uygun olduğunu görülmüştür.

7. 4 Öneriler

Membran prosesleri tesislerinden iki akım çıkmaktadır. Bu akımlar süzüntü akımı ve konsantre akım olarak tanımlanmaktadır. Süzüntü suyu akımı çok yüksek kalitede olurken, konsantre akımın kirlilik yükü çok yüksektir. Süzüntü akımı bazı tesislerde proses suyu olarak kullanılabilir. Tesisten çıkan konsantre akımın arıtılması ise büyük bir sorun oluşturmaktadır. Konsantre akım, buharlaştırma ve yakma yöntemleri ile arıtılabilir. Bu da tesise ikinci bir maliyet getirmektedir.

Membranların çalışma ömürlerini belirlemek için membranların tıkanma süresinin ve temizleme periyotlarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu maksatla pilot tesislerin yeterli bir süre ile sürekli çalıştırılması gereklidir.



KAYNAKLAR

AFONSO, M.D., PINHO, M.N. (1991), " Membrane Separation Processes in the Pulp and Paper Industry", Desalination, 85 : 53-58.

AFONSO, M.D., GERALDES, V., ROSA, M.J. and PINHO, M.N. (1992), " Nanofiltration removal of chlor,nated organic compounds from alkaline bleaching effluents in a pulp and paper plant" , Wat. Res. Vol. 26, No:12, pp 1639-1643.

BAKER, R.J., FANE, A.G., FELL, C.J.D. and YOO, B.H. (1985). "Factor affecting flow in crossflow filtration", Desalination, 53, p .81-93.

BİLSTAD, T., (1997), " Membrane operations", Water Sci. Tech. Vol. 36, No.2-3, pp. 17-24.

BUCKLEY, C.A. (1992), " Membrane technology for the treatment of dyehouse effluents" , Water Science and Technology, V.25 ,N.10.

CONION, W.J. (1984). Water Quality and Treatment, Chapter 11 "Membrane Proceses" .

DAHLHEIMER, J.A., THOMAS, D.G., and KRAUS, K.A. (1970). "Hyperfiltration-Application of Woven Fibre Hoses to Hyperfiltration of salts and crossflow filtration of Suspended Solids", Ind.Eng. Chem. ProcessDes. Develop, 9(4), p.566-569.

DESALINATION (1994), Desal Membrane Products, Engineering Catalog.

DOE., (1990), "Membrane seperation system report", DOE/ ER/30133-HI, U.S., Department of Enegy.

EYKAMP, W. and STEEN, J. (1992), "Ultrafiltration and Reverse Osmosis", Koch Membrane Systems Inc. Wilmington, Massachusetts.

JONSSON, A.S., JONSSON, C, TEPLER, M., TOMANI, P. and WANNSTROM, S., (1996), " Treatment of paper coating colour effluets by membrane filtration", Desalination, 263-276.

KOYUNCU, İ., (1997), " membran teknolojisinin Çevre Mühendisliğinde kullanım potansiyeli ve ters osmoz ile amonyum iyonu giderimi", Doktora Tezi.

LİNDE, K., and JONSSON, A., (1995), " Nanofiltration of salt solutions and landfill leachate", Desalination 103, 223-232.

LLOYD, D.R., and MELUCH, T.B., (1985), "Selection and evaluation of membrane material for liquid separations", In *Material Science of Synthetic Membranes*, Ed. D.R. Lloyd, ACS Symp. Ser. No. 269. Washington, D.C. American Chemical Society.

MATTHIASSEN, E., and SIVIK, B., (1980), "Concentration polarization and fouling", *Desalination*, 35-59.

METCALF and EDDY, Inc. (1991). *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse*, 3rd Ed. Mc Graw Hill Co., New York.

MEARES, P., (1976), "Membrane separation Processes", Amsterdam,

MULDER, M., (1991). *Basic Principles of Membrane Technology*, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.

OSMO MEMBRANE SYSTEMS, (1986). *Membrane Elements*.

PEPPER, D. (1981), "Pretreatment and operating experience on reverse osmosis plant in the Middle East", *Desalination*, 38:403.

PUSCH, W., (1986), "Measurement techniques of transport through membranes", *Desalination*, 59:105.

RILEY, R., (1989), "Separation systems", International La Jolla, CA., Personal Communication, September 20.

SCHIERACH, M., (1988), *Desalination By Reverse Osmosis*, Hydrotenic.

SCHOEMAN, J.J., VAN STADEN, J. F., SAAYMAN, H.M. and VORSTER, W.A., (1992), "Evaluating of reverse osmosis for electroplating effluent treatment", *Water Science and Technology*, V.25, N.10.

SCHOEMAN, J.J., STEYN, A. and SCURR, P. (1996). "Treatment Using Reverse Osmosis of an Effluent From Stainless Steel Manufacture". *Water Researches*. Vol 30 N 10 p.1979-1984.

SCHULZ, G., RIPPENGER, S. (1989), "Concentration Polarisation in Cross Flow Microfiltration" *Journal of Membrane Science*, 40, p.173-187.

SCOTT, K., (1995), *Handbook of Industrial Membranes*, I. Baski.

STANDART Methods For Examination of Water and Wastewater, (1980), 15th. Ed.

TOPACIK D., KOYUNCU, İ. (1996) " Türkiye'deki Membran Proses Uygulamaları ve Karşılaşılan Güçlükler" . Çevre'96,Türk Devletleri Arasında 3. İlmî İşbirliği Konferansı , 10 -12 Eylül 1996 , UFA, Başkurdistan

WILLIAMS, M.R., and BHATTACHARYYA, D., (1990), “ Seperation of hazardous organics by revers osmosis membranes” , Enviromental Programme, 9:118.

ZAIDI, A., SIMMS, K. and KOK , S. (1992), "The use of micro/ultrafiltration for the removal of oil and suspended solids from oilfield brines" , Water Science and Technology, V.25 ,N.10.



EKLER

Tablo A.1 Kağıt sanayi atıksuları 1. aşama deneyleri

Deney No : 1
Tarih : 28.07.1997
Membran Tipi : UF
Basıncı : 4 bar
Besleme Suyu : Arıtma tesisi aerobik çıkışı (ham atıksu)
Tanktaki Su Miktarı : 30 Lt

Zaman	Sayaç	Süzüntü				Besleme Suyu		
		Debi	pH	İletkenlik	Sıcaklık	pH	İletkenlik	Sıcaklık
<u>Dakika</u>	<u>KWH</u>	<u>sn / lt</u>		<u>$\mu S / cm$</u>	<u>$^{\circ}C$</u>		<u>$\mu S / cm$</u>	<u>$^{\circ}C$</u>
0	372.24	32.48		5770	29.5		6370	28.7
60	372.79	29.24		5330	29.4		5460	28.4
120	373.37	30.72		5580	28.9		5780	29.4

Tablo A.2 Kağıt sanayi atıksuları 1. aşama deneyleri

Deney No : 2
Tarih : 29.07.1997
Membran Tipi : BW
Basınç : 25 bar
Besleme Suyu : UF çıkışı (süzüntü suyu)
Tanktaki Su Miktarı : 20 Lt

Zaman	Sayaç	Süzüntü				Besleme suyu			
		Debi	pH	İletkenlik	Sıcaklık	pH	İletkenlik	Sıcaklık	
<i>Dakika</i>	<i>KWH</i>	<i>sn / lt</i>		<i>µS / cm</i>	<i>°C</i>		<i>µS / cm</i>	<i>°C</i>	
0	374.00	47.00	7.45	3080	26.8	7.60	5170	27.3	
30	374.69	57.16	7.57	2666	30.3	7.78	4210	30.2	
60	375.27	66.88	7.82	2500	30.1	7.94	4970	30.2	
90	375.89	76.00	7.99	2630	30.5	8.05	5140	30.7	
120	376.51	80.80	8.09	2500	30.5	8.13	5170	30.6	
150	377.15	91.88	8.20	2600	30.5	8.22	5150	30.5	
180	377.79	107.92	8.28	2860	30.4	8.29	5160	30.8	
210	378.54	99.96	8.39	2900	30.5	8.38	5140	30.9	
240	379.29	99.16	8.50	2840	30.5	8.51	5160	30.9	

Tablo A.3 Kağıt sanayi atıksuları 1. aşama deneyleri

Deney No : 3
Tarih : 31.07.1997
Membran Tipi : UF
Basınç : 4 bar
Besleme Suyu : Arıtma tesisi aerobik çıkışı (ham atıksu)
Tanktaki Su Miktarı : 25 Lt

Zaman	Sayaç	Süzüntü				Besleme suyu		
		Debi	pH	İletkenlik	Sıcaklık	pH	İletkenlik	Sıcaklık
<u>Dakika</u>	<u>KWH</u>	<u>sn / lt</u>		<u>$\mu S / cm$</u>	<u>$^{\circ}C$</u>		<u>$\mu S / cm$</u>	<u>$^{\circ}C$</u>
0	380.48	40.84	7.66	5630	31.3	7.66	6040	30.5
30	380.79	42.20	7.89	5530	28.7	7.93	5910	28.6
60	381.01	49.20	8.01	5450	28.7	8.04	5890	28.5
90	381.39	47.00	8.11	5430	29.0	8.14	5810	28.5

Tablo A.4 Kağıt sanayi atıksuları I. aşama deneyleri

Deney No : 4
Tarih : 31.07.1997
Membran Tipi : SW
Basınç : 55 bar
Besleme Suyu : UF ve BW çıkışları (süzüntü akımları)
Tanktaki Su Miktarı : 22 Lt

Zaman	Sayaç	Süzüntü				Besleme suyu			
		Debi	pH	İletkenlik	Sıcaklık	pH	İletkenlik	Sıcaklık	
<i>Dakika</i>	<i>KWH</i>	<i>sn / lt</i>		<i>µS / cm</i>	<i>°C</i>		<i>µS / cm</i>	<i>°C</i>	
0	381.85	34.92	6.60	230	31.9	8.13	5570	33.1	
30	383.21	38.00	7.00	210	34.4	8.22	5520	35.1	
60	384.75	44.40	7.60	250	35.2	8.34	5740	35.5	
120	386.25	48.56	7.80	240	32.2	8.42	5840	33.0	
150	387.78	51.52	7.82	280	34.3	8.43	5770	35.6	
180	389.27	53.52	7.88	240	39.4	8.43	5570	35.8	
210	390.77	54.92	7.90	287	33.7	8.44	5760	35.5	
240	392.27	55.60	7.93	291	35.0	8.44	5790	35.5	
270	393.76	55.72	7.93	282	35.5	8.45	5780	36.1	

Tablo A.5 Kağıt sanayi atıksuları 1. aşama deneyleri

Deney No : 5
Tarih : 01.08.1997
Membran Tipi : SW
Basınç : 55 bar
Besleme Suyu : UF süzöntü suyu
Tanktaki Su Miktarı : 15 Lt

Zaman	Sayaç	Süzüntü				Besleme suyu			
		Debi	pH	İletkenlik	Sıcaklık	pH	İletkenlik	Sıcaklık	
Dakika	KWH	sn / lt		$\mu S / cm$	$^{\circ}C$		$\mu S / cm$	$^{\circ}C$	
0	394.58	13.22							
30	396.60	13.12							
60	397.60	13.63							
90	399.14	14.14	8.05	266	34.3	8.44	5900	35.7	
120	400.63	14.53							
150	402.25	14.90		288	35.8		5900	36.3	
180	403.68	15.13							
210	405.16	15.68		250	34.9		5920	35.6	
240	406.67	15.58							
270	408.17	15.87		309	34.5		6160	35.1	
300	409.67	15.73							
330	411.20	15.96		320	34.7		6090	35.4	
360	412.66	16.04							
395	414.44	16.01							
465	418.00	16.45							

Tablo A.6 Kağıt sanayi atıksuları 1. aşama deneyleri

Deney No : 6
Tarih : 02.08.1997
Membran Tipi : UF
Basıncı : 4 bar
Besleme Suyu : Arıtma tesisi aerobik çıkışı (ham atıksu)
Tanktaki Su Miktarı : 28 Lt

Zaman	Sayaç	Süzüntü				Besleme suyu		
		Debi	pH	İletkenlik	Sıcaklık	pH	İletkenlik	Sıcaklık
<u>Dakika</u>	<u>KWH</u>	<u>sn / lt</u>		<u>$\mu S / cm$</u>	<u>$^{\circ}C$</u>		<u>$\mu S / cm$</u>	<u>$^{\circ}C$</u>
0	418.71	40.36		6600	28.3		6730	28.2
10	418.88	38.04	7.08	6530	29.1	7.08	6840	28.7
60	419.20	41.04	7.22	6550	29.1	7.22	6860	28.7
120	419.53	44.12	7.28	6530	30.1	7.28	6730	28.7

Tablo A.7 Kağıt sanayi atıksuları 1. aşama deneyleri

Deney No : 7
Tarih : 02.08.1997
Membran Tipi : BW
Basınç : 25 bar
Besleme Suyu : UF ve SW süzüntü suları
Tanktaki Su Miktarı : 15 Lt

Zaman	Sayaç	Süzüntü				Besleme suyu			
		Debi	pH	iletkenlik	Sıcaklık	pH	iletkenlik	Sıcaklık	
<i>Dakika</i>	<i>KWH</i>	<i>sn / lt</i>		<i>µS / cm</i>	<i>°C</i>		<i>µS . cm</i>	<i>°C</i>	
0	420.12	37.96	6.57	1020	30	7.49	6120	29.6	
30	420.98	49.44	7.07	1080	33.2	7.83	6230	33.7	
60	421.78	68.84	7.78	1554	31.8	8.01	7080	31.8	
90	422.45	81.12	8.07	1730	31.8	8.17	6400	31.6	
120	423.24	101.48	8.24	2193	31.5	8.24	6560	31.4	
150	423.97	111.32	8.35	2280	31.3	8.35	6730	31.5	
180	424.73	117.88	8.43	2420	31.5	8.41	6700	31.5	
210	425.45	129.48	8.50	2530	31.5	8.44	6720	31.5	
240	426.20	130.56	8.51	2126	31.5	8.47	6820	31.5	

Tablo A.8 Kağıt sanayi atıksuları 1. aşama deneyleri

Deney No : 8
Tarih : 10.08.1997
Membran Tipi : UF
Basıncı : 4 bar
Besleme Suyu : Arıtma tesisi aerobik çıkışı
Tanktaki Su Miktarı : 25 Lt

Zaman	Sayaç	Süzüntü				Besleme suyu		
		Debi	pH	İletkenlik	Sıcaklık	pH	İletkenlik	Sıcaklık
<u>Dakika</u>	<u>KWH</u>	<u>sn / lt</u>		<u>$\mu S / cm$</u>	<u>$^{\circ}C$</u>		<u>$\mu S / cm$</u>	<u>$^{\circ}C$</u>
0	426.60	32.56	7.31	5770	28.8	7.17	6190	28.3
30	426.98	34.52	7.67	5680	29.2	7.45	5990	29.2
60	427.35	36.56	7.76	5940	29.9	7.67	6340	29.4
120	427.73	38.32	7.95	6420	29.1	7.90	6300	29.4

Tablo A.9 Kağıt sanayi atıksuları 1. aşama deneyleri

Deney No : 9
Tarih : 10.08.1997
Membran Tipi : SW
Basıncı : 55 bar
Besleme Suyu : UF ve BW membranları süzüntü suları
Tanktaki Su Miktarı : 25 Lt

Zaman	Sayaç	Süzüntü				Besleme suyu		
		Debi	pH	İletkenlik	Sıcaklık	pH	İletkenlik	Sıcaklık
<i>Dakika</i>	<i>KWH</i>	<i>sn / lt</i>		<i>µS / cm</i>	<i>°C</i>		<i>µS cm</i>	<i>°C</i>
0	428.33	38.32	7.37	1288	28.5	8.51	8200	27.1
30	429.79	63.48	8.03	1290	34.9	8.32	8100	35.8
60	431.28	82.92	8.43	1944	35.7	8.48	7750	36.0
90	432.74	92.16	8.63	2110	35.0	8.59	7800	35.8
120	434.15	100.20	8.74	2288	34.5	8.68	7680	35.8
150	435.54	103.84	8.83	2302	34.5	8.73	7800	35.7
180	436.97	104.68	8.88	2430	34.4	8.78	7160	35.7
210	438.40	108.60	8.95	2440	34.2	8.83	8000	35.8
240	439.89	108.68	8.99	2460	34.7	8.89	7300	35.8

Tablo A.10 Kağıt sanayi atıksuları 1. aşama deneyleri

Deney No : 10
Tarih : 24.08.1997
Membran Tipi : UF
Basınç : 4 bar
Besleme Suyu : Arıtma tesisi aerobik çıkışı (ham atıksu)
Tanktaki Su Miktarı : 25 L1

Zaman	Sayaç	Süzüntü				Besleme suyu		
		Debi	pH	İletkenlik	Sıcaklık	pH	İletkenlik	Sıcaklık
<i>Dakika</i>	<i>KWH</i>	<i>sn / lt</i>		<i>$\mu S / cm$</i>	<i>$^{\circ}C$</i>		<i>$\mu S / cm$</i>	<i>$^{\circ}C$</i>
0	443.64	61.12	7.50	5700	26.5	7.58	5970	25.8
30	443.97	63.08	7.72	5840	27.0	7.74	5800	27.2
60	444.30	65.52	7.97	5710	27.2	7.92	5810	27.4
90	444.64	67.72	8.04	5710	27.4	8.05	5710	27.4
120	445.09	67.24	8.21	5670	27.1	8.18	5690	27.5
150	445.33	69.64	8.25	5720	27.3	8.27	5680	27.5
180	445.65	68.36	8.31	5690	27.2	8.30	5670	27.5
210	445.97	70.32	8.35	5750	27.3	8.34	5700	27.4
240	446.28	71.24	8.40	5610	27.1	8.39	5710	27.4
270	446.60	68.04	8.45	5560	27.3	8.44	5560	27.4
300	446.95	69.12	8.46	5530	27.4	8.47	5510	27.6
330	447.29	69.56	8.51	5560	27.3	8.51	5490	27.9
360	447.60	71.80	8.52	5500	27.7	8.54	5490	27.7
395	447.94	72.04	8.56	5470	27.6	8.56	5770	27.7
465	448.26	74.32	8.56	5470	27.7	8.58	5500	28.0

Tablo A.11 Kağıt sanayi atıksuları 1. aşama deneyleri

Deney No : 11
Tarih : 29.08.1997
Membran Tipi : SW
Basınç : 55 bar
Besleme Suyu : UF süzöntü suyu
Tanktaki Su Miktarı : 20 Lt

Zaman	Sayaç	Süzüntü				Besleme suyu		
		Debi	pH	İletkenlik	Sıcaklık	pH	İletkenlik	Sıcaklık
<i>Dakika</i>	<i>KWH</i>	<i>sn / lt</i>		<i>µS / cm</i>	<i>°C</i>		<i>µS cm</i>	<i>°C</i>
0	457.53	26.89		155	31.5		5200	31.5
70	460.50	29.95		150	33.5		5200	33.7
195	465.45	31.85		147	33		5180	32.9
290	466.85	33.34		157	33.3		4970	33
310	467.67	33.24		140	33.2		4980	32.9
378	472.63	29.70		100	33.5		4860	33.3
412	473.90	28.87		103	33.5		4870	33.3
420	474.20	28.57						33.4

Tablo A.12 Kağıt sanayi atıksuları 1. aşama deneyleri

Deney No : 12
Tarih : 30.08.1997
Membran Tipi : SW
Basınç : 55 bar
Besleme Suyu : UF süzöntü suyu
Tanktaki Su Miktarı : 12 Lt

Zaman	Sayaç	Süzüntü				Besleme suyu		
		Debi	pH	İletkenlik	Sıcaklık	pH	İletkenlik	Sıcaklık
<u>Dakika</u>	<u>KWH</u>	<u>sn / lt</u>		<u>$\mu S / cm$</u>	<u>$^{\circ}C$</u>		<u>$\mu S / cm$</u>	<u>$^{\circ}C$</u>
0	474.88	27.49	6.66	112	31.4	8.58	4780	32.3
30	476.10	28.96	6.69	90.4	31.9	8.62	5360	32.2
60	477.30	24.70	6.82	66.10	33.1	8.69	5320	33.2
90	478.65	25.49	7.26	85.90	34.2	8.73	5290	32.1
120	480.10	25.43	7.85	136	34.2	8.76	5330	33.2
150	481.50	25.90	8.26	197	34.4	8.79	5660	33.3
180	482.93	25.75	8.38	191	34	8.85	5570	33.0
210	484.29	26.54	8.53	237	33.7	8.88	5560	32.0
240	485.70	26.54	8.65	232	33.9	8.90	5480	33.0
270	487.15	26.42	8.65	221	34.2	8.93	5710	32.2

•

EK -B

•

Tablo B.1 Kağıt sanayi atıksuları 2. aşama deney sonuçları

Deney No : 1

Tarih	Membran Tipi	Numune	KOI (mg / Lt)	Renk (Units)
28.07.1997	UF	Besleme suyu (ham atıksu)	726	3050
28.07.1997	UF	Per-2 (süzüntü suyu)	561	780
29.07.1997	BW	Besleme suyu (ham atıksu)	471	730
29.07.1997	BW	Per-2 (süzüntü suyu)	300	540

Tablo B.2 Kağıt sanayi atıksuları 2. aşama deney sonuçları

Deney No : 2

Tarih	Membran Tipi	Numune	KOI (mg/Lt)	Renk (Units)
31.07.1997	UF	Besleme suyu (ham atıksu)	2405	3280
31.07.1997	UF	Per-1 (süzüntü suyu)	461	95
31.07.1997	UF	Per-2 (süzüntü suyu)	419	720
31.07.1997	SW	Besleme suyu (UF ve BW süzüntü suları)	433	730
31.07.1997	SW	Per-1 (süzüntü suyu)	4	21
31.07.1997	SW	Per-2 (süzüntü suyu)	9.4	31

Tablo B.3 Kağıt sanayi atıksuları 2. aşama deney sonuçları

Deney No : 3

Tarih	Membran Tipi	Numune	KOI (mg/Lt)	Renk (Units)
02.08.1997	UF	Besleme suyu (ham atıksu)	3696	3150
02.08.1997	UF	Per-1 (süzüntü suyu)	491	760
02.08.1997	UF	Per-2 (süzüntü suyu)	462	730
02.08.1997	BW	Besleme suyu (UF ve SW süzüntü suları)	439	680
02.08.1997	BW	Per-2 (süzüntü suyu)	76	80

Tablo B.4 Kağıt sanayi atıksuları 2. aşama deney sonuçları

Deney No : 4

Tarih	Membran Tipi	Numune	KOI (mg/Lt)	Renk (Units)
10.08.1997	UF	Besleme suyu (ham atıksu)	3077	3230
10.08.1997	UF	Per-1 (süzüntü suyu)	586	820
10.08.1997	UF	Per-2 (süzüntü suyu)	580	870
10.08.1997	SW	Besleme suyu (UF ve BW süzüntü suları)	645	900
10.08.1997	SW	Per-1 (süzüntü suyu)	58.4	130
10.08.1997	SW	Per-2 (süzüntü suyu)	-	280

Tablo B.5 Kağıt sanayi atıksuları 2. aşama deney sonuçları

Deney No : 5

Tarih	Membran Tipi	Numune	KOI (mg / Lt)	Renk (Units)
24.08.1997	UF	Besleme suyu (ham atıksu)	2088	2850
24.08.1997	UF	Per-1 (süzüntü suyu)	644	880
24.08.1997	UF	Per-2 (dakika 180)	462	720
24.08.1997	UF	Besleme suyu (dakika 270)	483	760
24.08.1997	UF	Per-2 (dakika 420)	-	730

Tablo B.6 Kağıt sanayi atıksuları 2. aşama deney sonuçları

Deney No : 6

Tarih	Membran Tipi	Numune	KOI (mg / Lt)	Renk (Units)
29.08.1997	SW	Besleme suyu (UF süzüntü suyu)	358	740
29.08.1997	SW	Per-1 (dakika 0)	2.6	0
29.08.1997	SW	Per-2 (dakika 420)	19	0



Tablo Ek C.1 Çöp sızıntı suyu 1. aşama deneyleri

Deney No : 1
Tarih : 06.09.1997
Membran Tipi : UF
Basıncı : 4 bar
Besleme Suyu : Çöp sızıntı suyu
Tanktaki Su Miktarı : 25 Lt

Zaman	Sayaç	Süzüntü				Besleme suyu		
		Debi	pH	İletkenlik	Sıcaklık	pH	İletkenlik	Sıcaklık
<u>Dakika</u>	<u>KWH</u>	<u>sn / lt</u>		<u>$\mu S / cm$</u>	<u>$^{\circ}C$</u>		<u>$\mu S / cm$</u>	<u>$^{\circ}C$</u>
0	490.46	208.66		6260	23.9		6490	23.3
30	490.76	159.00		6150	25.4		6380	25.1
60	491.13	164.72		5280	25.5		6320	26.3
90	491.45	159.64		5320	25.6		5350	26.4
120	491.80	165.28		5300	26.0		5460	26.5
150	492.14	166.96		5310	26.3		5470	26.6
180	492.48	166.32		5300	26.3		5550	26.7
210	492.85	169.12		5290	26.3		5470	25.7
240	493.20	175.20		5200	26.3		5520	26.6

Tablo C.2 Çöp sızıntı suyu 1. aşama deneyleri

Deney No : 2Tarih : 07.09.1997Membran Tipi : BWBasınç : 25 barBesleme Suyu : UF süzöntü suyuTanktaki Su Miktarı : 10 Lt

Zaman	Sayaç	Süzüntü				Besleme suyu		
		Debi	pH	İletkenlik	Sıcaklık	pH	İletkenlik	Sıcaklık
Dakika	KWH	sn/lt		µS/cm	°C		µS/cm	°C
0	493.72	28.97	7.69	325	27.1	8.51	3450	26.2
30	494.55	27.63	8.62	330	26.8	8.64	3430	27.8
60	495.31	28.48	8.75	270	28.7	8.72	3230	27.2
90	496.10	28.16	8.94	335	290	8.81	3420	28.5
120	496.89	29.28	9.07	337	28.8	8.83	3440	28.1
150	497.63	31.07	9.03	314	28.9	8.88	3440	28.0
180	498.36	31.24	9.15	329	28.7	8.84	3380	28.1
210	499.10	31.58	9.39	357	28.	8.93	3420	28.1
240	499.90	29.12	9.21	329	28.5	8.94	3390	28.2
270	500.60	29.16	9.33	300	29.8	8.95	4650	28.2
300	501.44	31.40	9.31	334	29.3	8.936	4900	28.2
330	502.22	33.12	9.26	369	28.7	8.98	5420	27.8
360	502.95	31.76	9.40	420	28.8	8.97	5480	27.9
390	503.69	31.64	9.26	394	28.6	8.91	5480	27.8
410	504.43	32.28	9.08	242	28.3	8.84	3660	27.6

Tablo C.3 Çöp sızıntı suyu 1. aşama deneyleri

Deney No : 3
Tarih : 11.10.1997
Membran Tipi : UF
Basınç : 4 bar
Besleme Suyu : Çöp sızıntı suyu
Tanktaki Su Miktarı : 30 Lt

Zaman	Sayaç	Süzüntü				Besleme suyu		
		Debi	pH	iletkenlik	Sıcaklık	pH	iletkenlik	Sıcaklık
<i>Dakika</i>	<i>KWH</i>	<i>sn / lt</i>		<i>µS / cm</i>	<i>°C</i>		<i>µS / cm</i>	<i>°C</i>
0	508.04	59.16	8.40	21.720	16.1	8.34	22020	21.3
30	508.35	59.56					22020	21.3
65	508.77	52.56					21710	25.8
90	509.05	56.08	8.69			8.63	21460	23.7

Tablo C.4 Çöp sızıntı suyu 1. aşama deneyleri

Deney No : 4
Tarih : 11.10.1997
Membran Tipi : SW
Basıncı : 55 bar
Besleme Suyu : UF süzöntü suyu
Tanktaki Su Miktarı : 15 Lt

Zaman	Sayaç	Süzüntü				Besleme suyu		
		Debi	pH	İletkenlik	Sıcaklık	pH	İletkenlik	Sıcaklık
<u>Dakika</u>	<u>KWH</u>	<u>sn / lt</u>		<u>$\mu S / cm$</u>	<u>$^{\circ}C$</u>		<u>$\mu S / cm$</u>	<u>$^{\circ}C$</u>
0	509.93	31.32		4000			18920	28.3
30	511.23	30.40					17020	29.8
60	512.78	30.20					16770	30.2
90	514.04	30.88					16910	29.6
120	515.36	30.64					17440	29.9
150	516.68	30.52					17750	29.9
180	518.00	31.08					15760	30.2
210	519.34	31.32	9.23	2900	29.2	8.75	17130	29.8



Tablo D.1 Çöp sızıntı atıksuları 2. aşama deney sonuçları

Deney No : 1

Tarih	Membran Tipi	Numune	KOI (mg / Lt)	Renk (Units)
06/09/1997	UF	BESLEME SUYU	1729	4440
06/09/1997	UF	PER-1	468	820
06/09/1997	UF	PER-2	391	860
06/09/1997	UF	KONS.	1374	4464
07/09/1997	BW	BESLEME SUYU	354	850
07/09/1997	BW	PER-1	8	45
07/09/1997	BW	PER-2	7	30
07/09/1997	BW	KONS.	299	770

Tablo D.2 Çöp sızıntı atıksuları 2. aşama deney sonuçları

Deney No : 2

Tarih	Membran Tipi	Numune	KOI (mg/Lt)	Amonyak (mg / lt)	Renk (Units)
11/10/1997	UF	1.) BESLEME SUYU	2877	946	2580
11/10/1997	UF	2.) PER-1	2285	980	640
11/10/1997	UF	3.) KONS.	2945	882	4770
11/10/1997	UF	4.) PER-2	2052	868	820
11/10/1997	SW	5.) KONS.	2621	1064	880
11/10/1997	SW	6.) PER-1	343	269	165



EK -E

Tablo E.1 Maya Endüstrisi atıksuları 1. aşama deneyleri

Deney No : 1
Tarih : 02.05.1998
Membran Tipi : UF
Basıncı : 4 bar
Besleme Suyu : Arıtma tesisi anaerobik çıkış suyu
Tanktaki Su Miktarı : 40 Lt

Zaman	Sayaç	Süzüntü				Konsantre			Besleme suyu		
		Debi	pH	İletkenlik	Sıcaklık	pH	İletkenlik	Sıcaklık	pH	İletkenlik	Sıcaklık
<i>Dakika</i>	<i>KWH</i>	<i>sn / lt</i>		$\mu S / cm$	$^{\circ}C$		$\mu S / cm$	$^{\circ}C$		$\mu S / cm$	$^{\circ}C$
0	2.50	30.33	7.50	6430	21.4	7.54	6490	21.0	7.50	6550	21.4
30	2.83	30.45	7.56	6470	23.9	7.65	6560	23.6	7.63	6560	23.7
60	3.13	30.88	7.72	6510	23.5	7.74	6550	22.9	7.72	6550	23.0
90	3.45	29.09	7.76	6510	22.6	7.72	6530	22.8	7.76	6550	22.8

Tablo E.2 Maya Endüstrisi atıksuları 1. aşama deneyleri

Deney No : 2
Tarih : 02.05.1998
Membran Tipi : SW
Basıncı : 55 bar
Besleme Suyu : UF membranından geçirilmiş atıksu
Tanktaki Su Miktarı : 35 Lt

Zaman	Sayaç	Süzüntü			Konsantre			Besleme suyu		
		Debi	pH	İletkenlik	Sıcaklık	pH	İletkenlik	Sıcaklık	pH	İletkenlik
<i>Dakika</i>	<i>KWH</i>	<i>sn. lt</i>		$\mu S/cm$	$^{\circ}C$		$\mu S/cm$	$^{\circ}C$		$\mu S/cm$
0	4.53	29.31	7.72	413	27.8	7.74	7010	26.9	7.74	6510
30	6.10	31.16	7.99	386	28.7	7.80	6970	28.3	7.81	6600
60	7.68	34.44	8.05	378	28.3	7.89	6900	28.2	7.85	6580
90	9.15	38.68	8.16	298	28.5	7.94	6870	27.8	7.93	6540
120	10.76	40.54	8.16	298	28.2	7.97	6850	27.3	7.97	6520
150	12.37	42.22	8.21	299	27.9	8.00	6830	27.1	8.01	6530
180	13.86	46.61	8.42	160	27.2	8.05	6720	26.8	8.05	6550
210	15.48	47.10	8.28	389	27.3	8.13	6730	26.7	8.16	6550
240	17.04	51.49	8.56	296	26.8	8.20	6700	26.3	8.23	6510

Tablo E.3 Maya Endüstrisi atıksuları 1. aşama deneyleri

Deney No : 3
Tarih : 05.05.1998
Membran Tipi : SW
Basınç : 55 bar
Besleme Suyu : Arıtma tesisi anaerobik çıkışı
Tanktaki Su Miktarı : 35 Lt

Zaman	Sayaç	Süzüntü				Konsantre				Besleme suyu			
		Debi	pH	İletkenlik	Sıcaklık	Debi	İletkenlik	Sıcaklık	pH	İletkenlik	Sıcaklık	pH	İletkenlik
<u>Dakika</u>	<u>KWH</u>	<u>sn / lt</u>		<u>$\mu S / cm$</u>	<u>$^{\circ}C$</u>	<u>sn / lt</u>	<u>$\mu S / cm$</u>	<u>$^{\circ}C$</u>		<u>$\mu S / cm$</u>	<u>$^{\circ}C$</u>		<u>$\mu S / cm$</u>
0	22.55	41.0		625		25.9				6300	22.6		
5	22.84	42.0		353		26.1				6340	26.7		
35	24.65	44.0		83		26.7				6340	26.9		
67	26.27	46.0		282		26.8				6440	27.1		
95	27.75	47.50		281		26.7				6340	27.1		
160	31.14	49.0		283		26.7				6310	27.0		
202	33.23	50.0		138		26.8				6300	27.0		
280	37.15	53.0		137		26.6				6300	26.9		
310	38.69	54.0		139		26.7				6300	26.9		
325	39.45	53.56		137		26.7				6270	26.9		
335	40.19	54.88		138		26.7				6270	27.0		
355	41.20	55.50		137		26.6				6210	27.4		

Tablo E.4 Maya Endüstrisi atıksuları 1. aşama deneyleri

Deney No : 4
Tarih : 05.05.1998
Membran Tipi : SW
Basınç : 55 bar
Besleme Suyu : Arıtma tesisi anaerobik çöküşü
Tanktaki Su Miktarı : 35 Lt

Zaman	Sayaç	Süzüntü				Konsantre				Besleme suyu			
		Debi	pH	İletkenlik	Sıcaklık	pH	İletkenlik	Sıcaklık	pH	İletkenlik	Sıcaklık	pH	İletkenlik
<u>Dakika</u>	<u>KWH</u>	<u>sn / lt</u>		<u>$\mu S / cm$</u>	<u>$^{\circ}C$</u>		<u>$\mu S / cm$</u>	<u>$^{\circ}C$</u>		<u>$\mu S / cm$</u>	<u>$^{\circ}C$</u>		<u>$\mu S / cm$</u>
0	41.90	46.75		580						6500	22.6		
30	43.45	47.35		274						6310	26.7		
40	43.9	47.82		279						630	26.9		
77	45.80	49.06		267						6300	27.1		
131	48.44	51.68		138						6260	27.1		
165	50.15	52.31		137						6270	27.0		
212	52.50	52.72		137						6250	27.0		
222	53.23	52.41		137						6270	26.9		
269	55.39	53.78		137						6260	26.9		
297	56.73	53.97		137						6250	26.9		
322	58.03	53.78		137						6240	27.0		
394	61.64	51.97		139						6210	27.4		

Tablo E.5 Maya Endüstrisi atıksuları 1. aşama deneyleri

Deney No : 5
Tarih : 18.07.1998
Membran Tipi : SW
Basınç : 50 bar
Besleme Suyu : Aerobik arıtma çıkışı
Tanktaki Su Miktarı : 20 Lt

Hız : 19.3 lt / h
Debitmetre : 280 lt / h

Zaman	Sayaç	Süzüntü				Besleme suyu			Konsantre		
		Debi	pH	İletkenlik	Sıcaklık	pH	İletkenlik	Sıcaklık	pH	İletkenlik	Sıcaklık
<i>Dakika</i>	<i>KWH</i>	<i>sn Lt</i>		$\mu S/cm$	$^{\circ}C$		$\mu S/cm$	$^{\circ}C$		$\mu S/cm$	$^{\circ}C$
0	20.07	72.27	5.97	299	5.97	7.29	7400	28.7	7.33	8680	29.5
30	20.45	82.53	6.17	315	6.17	7.45	7360	29.4	7.47	8750	29.2
60	20.86	89.13	6.37	340	6.37	7.47	7460	29.5	7.48	9330	29.5
90	21.28	91.54	6.60	388	6.60	7.47	8200	29.8	7.47	9280	29.7
120	21.68	96.62	6.94	400	6.94	7.53	8120	28.8	7.53	9450	28.8
150	22.11	101.00	7.15	416	7.15	7.55	8160	29.7	7.54	9290	29.7
180	22.53	102.00	7.45	405	7.45	7.60	8090	29.7	7.58	8980	29.7
210	22.94	105.42	7.76	414	7.76	7.61	8000	29.7	7.60	8090	29.6
240	23.35	105.36	7.90	406	29.6	7.64	7970	29.6	7.63	9130	29.5
270	23.80	103.41	8.02	399	29.9	7.66	7990	29.7	7.65	9240	29.6
300	24.20	107.90	8.09	398	30.1	7.69	8080	29.7	7.67	9020	29.7
330	24.62	108.41	8.12	389	30.4	7.71	8030	29.8	7.69	9150	28.9

Tablo E.6 Maya Endüstrisi atıksuları 1. aşama deneyleri

<u>Deney No</u>	: 6	<u>Hız</u>	: 19.3 lt / h
<u>Tarih</u>	: 19.07.1998	<u>Debimetre</u>	: 290 lt / h
<u>Membran Tipi</u>	: SW		
<u>Basıncı</u>	: 50 bar		
<u>Besleme Suyu</u>	: Aerobik arıtma çıkışı		
<u>Tanktaki Su Miktarı</u>	: 20 Lt		

Zaman	Sayaç	Süzüntü				Besleme suyu				Konsantre		
		Debi	pH	İletkenlik	Sıcaklık	Amonyak	pH	İletkenlik	Sıcaklık	pH	İletkenlik	Sıcaklık
<u>Dakika</u>	<u>KWH</u>	<u>sn lt</u>		<u>$\mu S \cdot cm$</u>	<u>$^{\circ}C$</u>	<u>CON</u>		<u>$\mu S \cdot cm$</u>	<u>$^{\circ}C$</u>		<u>$\mu S \cdot cm$</u>	<u>$^{\circ}C$</u>
0	25.00	90	8.14	645	29.1	72.9	7.81	8080	28.8	7.80	9140	28.9
30	25.35	90	8.34	489	28.5	72.0	7.84	8010	29.3	7.81	9320	29.3
60	25.78	95	8.43	464	30.0	72.3	7.84	8130	29.8	7.82	9100	29.7
90	26.17	97	8.41	490	30.6	75.3	7.81	8090	30.0	7.79	9080	29.9
120	26.55	98	8.44	490	30.5	75.3	7.83	7940	29.8	7.79	9140	29.5
150	26.96	101	8.44	501	30.3	77.4	7.83	8010	29.9	7.79	9260	29.7
180	27.36	101	8.44	490	30.4	77.8	7.85	8120	29.9	7.81	9130	29.8
210	27.82	101	8.46	487	30.3	78.4	7.84	8100	29.9	7.81	9050	29.8
240	28.15	104	8.48	484	30.5	80.9	7.84	8140	29.9	7.85	9000	29.7

Tablo E.7 Maya Endüstrisi atıksuları 1. aşama deneyleri

Deney No : 7
Tarih : 25.07.1998
Membran Tipi : BW
Basınç : 25 bar
Besleme Suyu : Aerobik arıtma çıkışı
Tanktaki Su Miktarı : 17 Lt

Hız : 18.8 lt / h
Debimetre : 300 lt / h

Zaman	Sayaç	Süzüntü				Besleme suyu			Konsantre		
		Debi	pH	İletkenlik	Sıcaklık	pH	İletkenlik	Sıcaklık	pH	İletkenlik	Sıcaklık
<u>Dakika</u>	<u>KWH</u>	<u>sn / lt</u>		<u>$\mu S / cm$</u>	<u>$^{\circ}C$</u>		<u>$\mu S / cm$</u>	<u>$^{\circ}C$</u>		<u>$\mu S / cm$</u>	<u>$^{\circ}C$</u>
0	37.31	63	6.65	943	29.6	7.40	9950	29.3	7.41	11960	29.3
30	37.50	67	6.87	917	29.9	7.55	9760	29.6	7.56	11960	29.4
60	37.69	67	7.25	871	29.9	7.66	10100	29.4	7.62	11900	29.5
90	37.87	67	7.81	810	30.0	7.74	9750	29.9	7.71	11950	29.6
120	38.09	70	8.15	760	30.0	7.79	9990	29.8	7.75	11910	29.8
150	38.28	68	8.25	685	30.7	7.80	9990	29.8	7.75	11770	29.8
180	38.55	70	8.08	646	30.2	7.65	9950	29.7	7.65	11680	29.7
210	38.75	70	8.51	620	30.8	7.65	9850	29.7	7.75	11730	29.7
240	38.95	69	7.55	608	30.3	7.78	9790	29.9	7.89	11730	29.7
270	39.10	71	8.86	590	30.8	7.92	9760	29.7	7.93	11690	29.7

Tablo E.8 Maya Endüstrisi atıksuları 1. aşama deneyleri

<u>Deney No</u>	: 8	<u>Hız</u>	: 19.1 lt / h
<u>Tarih</u>	: 26.07.1998	<u>Debimetre</u>	: 300 lt / h
<u>Membran Tipi</u>	: BW		
<u>Basınç</u>	: 10 bar		
<u>Besleme Suyu</u>	: Aerobik arıtma çıkışı		
<u>Tanktaki Su Miktarı</u>	: 17 Lt		

Zaman	Sayaç	Debi	Süzüntü	Besleme suyu
		Debi	İletkenlik	İletkenlik
<u>Dakika</u>	<u>KWH</u>	<u>sn lt</u>	<u>µS cm</u>	<u>µS cm</u>
0	39.24	299	1184	8880
15	39.38	315	1170	9060
30	39.43	308	1170	9020
45	39.49	303	4457	9070
60	39.55	301	1142	9070
75	39.56	301	1126	9070
90	39.66	297	1126	9020

Tablo E.9 Maya Endüstrisi atıksuları 1. aşama deneyleri

<u>Deney No</u>	: 9	<u>Hız</u>	: 19.1 lt / h
<u>Tarih</u>	: 26.07.1998	<u>Debimetre</u>	: 300 lt / h
<u>Membran Tipi</u>	: BW		
<u>Basınç</u>	: 15 bar		
<u>Besleme Suyu</u>	: Aerobik arıtma çıkışı		
<u>Tanktaki Su Miktarı</u>	: 17 Lt		

Zaman	Sayaç	Debi	Süzüntü		Besleme suyu
		Debi	İletkenlik	Renk	İletkenlik
<u>Dakika</u>	<u>KWH</u>	<u>sn lt</u>	<u>µS cm</u>	<u>Units</u>	<u>µS cm</u>
0	39.73	128.3	707		8980
15	39.78	128.9	685		8920
30	39.86	126.1	682	38	8920
45	39.94	131.3	692	30	8900
60	40.01	128.9	682	25	8890
75	40.08	126.4	678	25	8830
90	40.15	125.2	676	28	8820

Tablo E.10 Maya Endüstrisi atıksuları 1. aşama deneyleri

<u>Deney No</u>	: 10	<u>Hız</u>	: 19.1 lt / h
<u>Tarih</u>	: 26.07.1998	<u>Debimetre</u>	: 300 lt / h
<u>Membran Tipi</u>	: BW		
<u>Basıncı</u>	: 20 bar		
<u>Besleme Suyu</u>	: Aerobik arıtma çıkışı		
<u>Tanktaki Su Miktarı</u>	: 17 Lt		

Zaman	Sayaç	Debi	Süzüntü		Besleme suyu
		Debi	İletkenlik	Renk	İletkenlik
<u>Dakika</u>	<u>KWH</u>	<u>sn lt</u>	<u>μS cm</u>	<u>Units</u>	<u>μS cm</u>
0	40.22	82.72	565	19	8660
15	40.32	86.76	527	25	8690
30	40.39	81.68	530	15	8690
45	40.47	86.24	523	35	8690
60	40.51	83.76	535	42	8580
75	40.65	85.64	470	35	8640
90	40.73	84.48	529	38	8660

Tablo E.11 Maya Endüstrisi atıksuları 1. aşama deneyleri

<u>Deney No</u>	: 11	<u>Hız</u>	: 19.1 lt / h
<u>Tarih</u>	: 26.07.1998	<u>Debimetre</u>	: 300 lt / h
<u>Membran Tipi</u>	: BW		
<u>Basıncı</u>	: 25 bar		
<u>Besleme Suyu</u>	: Aerobik arıtma çıkışı		
<u>Tanktaki Su Miktarı</u>	: 17 Lt		

Zaman	Sayaç	Debi	Süzüntü		Besleme suyu
		Debi	İletkenlik	Renk	İletkenlik
<u>Dakika</u>	<u>KWH</u>	<u>sn lt</u>	<u>μS cm</u>	<u>Units</u>	<u>μS cm</u>
0	40.83	61	340	31	8340
15	40.93	63	422	39	7940
30	41.09	62	412	32	7880
45	41.13	65	411	50	7910



Tablo F.1 Maya endüstrisi atıksuları 2. aşama deney sonuçları

Deney No : 1

Tarih	Membran Tipi	Numune	KOI (mg/Lt)	Amonyak (mg / lt)	Renk (Units)
03.05.1998	UF	1.) BESLEME SUYU	3225	680	5160
03.05.1998	UF	2.) PER-2	1950		4560
03.05.1998	SW	3.) BESLEME SUYU	2900		5220
03.05.1998	SW	4.) KONS. -1	2950		5400
03.05.1998	SW	5.) KONS.-2	2528		5220
03.05.1998	SW	6.) PER-1	74		260
03.05.1998	SW	6.) PER-2	47	45	130

Tablo F.2 Maya endüstrisi atıksuları 2. aşama deney sonuçları

Deney No : 2

Tarih	Membran Tipi	Numune	KOI (mg/Lt)	Amonyak (mg / lt)	Renk (Units)
18.07.1998	SW	1.) BESLEME SUYU	2472	686	4600
18.07.1998	SW	2.) PER-1	38	35	32
18.07.1998	SW	2.) PER-2	10	61	10
18.07.1998	SW	4.) BESLEME SUYU	2040	729	4450
18.07.1998	SW	2.) PER-1	96	82	265
18.07.1998	SW	2.) PER-2	29		100

Tablo F.3 Maya endüstrisi atıksuları 2. aşama deney sonuçları

Deney No : 3

Tarih	Membran Tipi	Numune	KOI (mg/Lt)	Amonyak (mg / lt)	Renk (Units)
25.07.1998	BW	1.) BESLEME SUYU	2925	461	4850
25.07.1998	BW	2.) PER-1	192	65	70
25.07.1998	BW	2.) PER-2	37	91	70

ÖZGEÇMİŞ

Fatma YALÇIN, 1973 yılında Çanakkale İli, Biga ilçesinde doğdu. Lise eğitimini 1990 yılında Biga Mehmet Akif Ersoy Lisesi'nde tamamladı. 1991 yılında, İstanbul Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'ne girdi. Lisans eğitimini, 1995 Haziran döneminde bitirdi. 1995-1996 öğretim yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Yüksek Lisans Hazırlık Sınıfını bitirdi. 1996-1997 öğretim yılında İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başladı. 1997 yılından beri özel sektörde Çevre Mühendisi olarak çalışmaktadır.

