

**TC
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİNDE MEMBRAN TEKNOLOJİLERİ
VE UYGULAMA ALANLARI**

Cüneyt OKUYAN

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

ŞANLIURFA

2013

**TC
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİNDE MEMBRAN TEKNOLOJİLERİ
VE UYGULAMA ALANLARI**

Cüneyt OKUYAN

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

ŞANLIURFA

2013

Yrd. Doç.Dr. Hakkı Gülşen danışmanlığında, Cüneyt OKUYAN'ın hazırladığı ‘‘ Çevre Mühendisliğinde Membran Teknolojileri ve Uygulama Alanları’’ konulu bu çalışma 28 /06 / 2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Yrd.Doç.Dr. Hakkı GÜLŞEN

Üye : Yrd.Doç.Dr. Orhan Can TANER

Üye : Yrd.Doç.Dr. Ayşegül DEMİR YETİŞ

Bu tezin Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında Yapıldığını ve Enstitümüz Kurallarına Göre Düzenlendiğini Onaylarım.

Prof. Dr. Seyid Temir
Enstitü Müdürü

Not : Bu tezde kullanılan özgüne ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZ

Yüksek Lisans Tezi

**ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİNDE MEMBRAN TEKNOLOJİLERİ
VE UYGULAMA ALANLARI**

Cüneyt OKUYAN

**Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Hakkı GÜLŞEN

Yıl: 2013, Sayfa: 75

Bu çalışmada membran teknolojisi ile ilgili genel bilgiler, membran proseslerin işletim şekilleri, membran sistemlerinin çalışma prensibi, çevre mühendisliğindeki uygulama alanları ve membran prosesleri ile ilgili yapılan son çalışmalar bir araya getirilerek bu konuda çalışmak isteyenler için bilgi kaynağı oluşturulacaktır. Dolayısıyla bilimsel çalışmalara ve membran teknolojisinin geliştirilmesine katkı sağlanması planlanmaktadır.

ANAHTAR KELİMELER : membran prosesler, endüstriyel atıksular, membran

ABSTRACT

MSc Thesis

**MEMBRANE TECHNOLOGIS AT ENVIRONMENT ENGINEERING
ANDAPPLICATION AREAS**

Cüneyt OKUYAN

**Harran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department on Environmental Engineering**

Supervisor : Assist. Prof. Dr. Hakkı GÜLŞEN

Year: 2013 , Page: 75

This study include general information in related to membrane technology, operating systems of membrane process, working principle of membrane processapplication area to enviroment engineer and band together all of the information in regard to membrane process because of this article aimband together If all of researches will want about membrane process this resource will help them and This article planning to contribution both scientifics and improve of membranetechnology

KEY WORDS : membrane process, industrial waste water, membrane

TEŞEKKÜR

Bu alıőmayı bana öneren, tez çalıőması süresince danıőmanlıęımı yürüten ve çalıőmalarımın her aőamasında yakın ilgi ve yardımlarını gördüğüm değerli hocam, Yrd. Doç. Dr Hakkı Gülşen'e teşekkür ederim.

Tez çalıőmalarım süresince bana destek olan Yrd. Doç. Dr Özlem DEMİR'e Ziraat Yüksek Mühendisi Ceyda OKUYAN'a, İnşaat Mühendisi Mehmet YILDIZTEKİN'e çok teşekkür ederim.

Ayrıca maddi ve manevi destekleri ile her zaman yanımda olan aileme, bana her zaman manevi destekte bulunan ve tez çalıőmamda emeği geçen arkadaőım Endüstri Mühendisi Yunus Emre ÇALHAN'a teőekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZ.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vii
SİMGELER DİZİNİ.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	2
2.1. Membranın Tanımı.....	2
2.2. Membranın Kullanım Alanları.....	3
2.3. Membran Teknolojilerine Giriş.....	3
2.4. Membranlarda Sınıflandırma.....	6
2.4.1. Ayırma mekanizmalarına göre sınıflandırma.....	6
2.4.2. Morfolojilerine göre sınıflandırma.....	6
2.4.3. Geometrilerine göre sınıflandırma.....	8
2.4.4. Kimyasal yapılarına göre sınıflandırma.....	15
2.5. Membranlar İletim Şekilleri.....	18
2.5.1. Cross - flow membran filtrasyonu (çarpaz akış filtrasyonu).....	18
2.5.2. Spiral sarım ve boru modülleri.....	19
2.5.3. Diğer modüller.....	20
2.6 Membran Prosesleri.....	22
2.6.1. Mikrofiltrasyon (MF).....	22
2.6.2. Ultrafiltrasyon (UF).....	24
2.6.3. Nanofiltrasyon (NF).....	25
2.6.4. Ters osmoz (RO).....	27
2.7. Membran Teknolojilerinin İşletme Parametreleri Açısından Değerlendirilmesi.....	29
2.8. Membran Karakteristikleri.....	32
2.9. Membranlarda Oluşan Kirlilikler ve Çözüm Yolları İncelenmesi.....	33
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	38
3.1. Endüstriyel Atık Su Arıtımı.....	38
3.2. Tekstil Endüstrisi Atıksuları İle Yapılan Çalışmalar.....	39
3.2.1. Membranların çalışma düzeneği.....	41
3.2.2. Tekstil endüstrisi atıksuları ile yapılan deneysel çalışmalarda kullanılan membranların özellikleri.....	41
3.3. İlaç Endüstrisi Atıksuları İle Yapılan Çalışmalar.....	42
3.3.1. İlaç endüstrisi atıksuları ile yapılan deneysel çalışmalarda kullanılan membranların özellikleri.....	43
3.3.2. Membranların çalışma düzeneği.....	44
3.4. Süt Endüstrisinde Jet- Loop Membran Performansının İncelenmesi.....	45
3.4.1. Kullanılan membran ünitesi.....	45
3.5. Çöp Sızıntı Sularında Membran Kullanımı.....	47
3.5.1. Kullanılan membran ünitesi.....	48
3.6. Ekmek Mayası Üretim Atıksuyundan Membran Kullanılarak Biyohidrojen Üretimi.....	51
3.6.1. Kullanılan membran ünitesi.....	51
3.7. Kağıt ve Petrokimya Endüstrisindeki Fenolün Membranla Giderimi.....	52
3.7.1. Kullanılan membran ünitesi.....	52
3.8. Hibrit Membran Prosesi İle Sulardan Doğal Organik Madde Giderimi.....	53
3.9. Peyniraltı Suyunda Kullanılan Membranların Filtrasyonunun İncelenmesi.....	54
3.9.1. Kullanılan membran.....	54
3.10. Metal Endüstrisinde Gümüş Geri Kazanımı.....	55

3.10.1.Kullanılan membran.....	56
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	58
4.1. Tekstil Endüstrisinde Yapılan Deney Bulguları	58
4.2.İlaç Endüstrisindeki Atıksuları İçin Yapılan Deney Bulguları	58
4.3.Süt Endüstrisindeki Atıksuları İçin Yapılan Deney Bulguları.....	59
4.4.Çöp Sızıntı Atıksuları İçin Yapılan Deney Bulguları.....	61
4.5.Ekmek Mayası Atıksuyundan Biyohidrojen Üretimi İçin Yapılan Deney Bulguları	63
4.6.Kağıt ve Petrokimya Endüstrisinde Fenolün Giderimi İçin Yapılan Deney Bulguları.....	60
4.7.Hibrit Seramik Membran İle Organik Madde Giderimi İçin Yapılan Deney Bulguları	65
4.8.Peyniraltı Suyunda Membranların Filtrasyonunu İçin Yapılan Deneyin Bulguları	65
4.9.Metal Endüstrisi Atıksularından Gümüş Geri Kazanımı İçin Yapılan Deneyin Bulgular66	
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	68
KAYNAKLAR	71
ÖZGEÇMİŞ.....	73
ÖZET	74
SUMMARY.....	75

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 2.1.	Akımların şematik gösterimi.....	5
Şekil 2.2.	Simetrik membranların yapısı.....	6
Şekil 2.3.	Asimetrik membranların yapısı.....	7
Şekil 2.4.	Kompozit membranların yapısı.....	7
Şekil 2.5.	Plaka ve çerçeve membranların çalışma prensibi.....	8
Şekil 2.6.	Plaka ve çerçeve membranları.....	9
Şekil 2.7.	Plaka ve çerçeve membranların ayırma prensibi.....	9
Şekil 2.8.	Boşluklu elyaf membranlar.....	10
Şekil 2.9.	Boşluklu elyaf membranların çalışma prensibi.....	10
Şekil 2.10.	Tübüler membranlar.....	11
Şekil 2.11.	Tübüler membranın dikey kesiti.....	12
Şekil 2.12.	Tübüler membranların çalışma prensibi.....	12
Şekil 2.13.	Spiral sarımlı membranların çalışma prensibi.....	13
Şekil 2.14.	Spiral sarımlı membranın en kesiti.....	13
Şekil 2.15.	Çoklu spiral sarımlı membranların çalışma prensibi.....	14
Şekil 2.16.	Çarpaz akış filtrasyonu gösterimi.....	18
Şekil 2.17.	Spiral sarım gösterimi.....	19
Şekil 2.18.	Harici ve dahili (batık) membran bioreaktör.....	20
Şekil 2.19.	Harici ve batık membran şekilleri.....	21
Şekil 2.20.	Mikrofiltrasyon membranları.....	23
Şekil 2.21.	Ultrafiltrasyon membranları.....	24
Şekil 2.22.	Nanofiltrasyon membranları.....	25
Şekil 2.23.	Membran proseslerinin çalışma aralıkları.....	26
Şekil 2.24.	Ters osmoz membranı.....	27
Şekil 2.25.	Farklı çaplardaki ters osmoz membranı.....	28
Şekil 2.26.	Osmoz sisteminin çalışma prensibi.....	29
Şekil 2.27.	Membranların tutma ve ayırma aralıkları.....	31
Şekil 2.28.	Membran yüzeyinde oluşan tıkanma.....	36
Şekil 3.1.	Membran sistemi.....	44
Şekil 3.2.	Denemelerde kullanılan jet loop membran bioreaktörünün şematik görünümü.....	46
Şekil 3.3.	Denemelerde kullanılan jet loop membran bioreaktörün blok diyagram.....	46
Şekil 3.4.	Denemelerde kullanılan seramik membran modülü.....	47
Şekil 3.5.	Kapiler membran boruları.....	49
Şekil 3.6.	Kullanılan membran modülü.....	50
Şekil 3.7.	Membran modülü ölçüleri.....	50
Şekil 3.8.	Membran biyofilm reaktörünün şematik gösterimi modülü.....	52
Şekil 3.9.	Membran biyofilm reaktörünün şematik gösterimi modülü.....	53
Şekil 4.1.	KOİ yükleme değerleri ile arıtma veriminin değişimi.....	60
Şekil 4.2.	Nanofiltrasyon ünitesi akım şeması.....	63

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 2.1. Geometrisine göre sınıflandırılan membran modüllerinin karşılaştırılması.	14
Çizelge 2.2. Organik membran üretiminde kullanılan malzemelerin karşılaştırılması.....	15
Çizelge 2.3. İnorganik membran üretiminde kullanılan malzemelerin karşılaştırılması.	16
Çizelge 2.4. Organik ve inorganik membranların karşılaştırılması.....	16
Çizelge 2.5. Kimyasal yapılarına göre sınıflandırma.	17
Çizelge 2.6. İki membran modülünün karşılaştırılması.....	22
Çizelge 2.7. Membran proseslerinin işletme parametrelerine göre sınıflandırılması.	30
Çizelge 2.8. Membranların üretim şekillerine ve işletme parametrelerine göre karşılaştırılması.	30
Çizelge 2.9. Membranların üretim şekillerine ve uygulama alanlarına göre karşılaştırılması.	31
Çizelge 3.1. Nanofiltrasyon membranı FM NP010'un teknik özellikleri.....	41
Çizelge 3.2. Mikrofiltrasyon membranı FM MP005P'in teknik özellikleri.....	41
Çizelge 3.3. Mikrofiltrasyon membranı FM MP005P'in teknik özellikleri.....	43
Çizelge 3.4. Ultrafiltrasyon membranı FM UP005'in teknik özellikleri.	43
Çizelge 3.5. Nanofiltrasyon membranı FM NP010'un teknik özellikleri.....	43
Çizelge 3.6. Kullanılan nanofiltrasyon membranı modülü ölçüleri.	50
Çizelge 4.1. Jet loop membran biyoreaktörün performans verileri.	60
Çizelge 4.2. Alıcı ortam dere deşarj limitleri ile karşılaştırma.	62

SİMGELER DİZİNİ

AKM	Askıda Katı Madde
ÇOK	Çözünmüş Oksijen Konsantrasyonu
DOM	Doğal Organik Madde
HSMHP	Hibrit Seramik Membran-Hidrojen Peroksit
JLR	Jet – Loop Reaktörler
MBR	Membran
MWCO	En Son Tutulan Molekül Ağırlığı
OTC	Oksitetrasiklin
Ra	Membran Boşluk Çapı
Rcp	Konsantrasyon Polarizasyonu
Rg	Jel Polarizasyonu
Rm	Membran Direnci
Rp	Membran Deliklerinin Tıkanmasıyla Oluşan Direnç
SDI	Silt Yoğunluk İndeksi
TFC	İnce Film Kompozit Membran
THM	Trihalometan
TMP	Trans-Membran Basıncı
TOK	Toplam Organik Karbon

1. GİRİŞ

Son yıllarda deşarj standartlarının daraltılması ve suların tekrar kullanılma ihtiyacını arttırmaktadır. Dolayısıyla atıksulardan suyun geri kazanılması veya atıksuların tekrar kullanımı, atıksuların bertaraf edilmesini oldukça kolaylaştıran bazı arıtma teknikleri uygulanmaktadır. Aynı zamanda konvansiyonel arıtma tesislerinde, uzaklaştırılmayan veya parçalanamayan dayanıklı (persistent) maddelerin zararsız hale getirilmesi için uygulanan tekniklere ileri arıtım teknikleri adı verilmektedir.

İleri arıtım tekniklerinden biride membran poroseslerdir. Membran prosesler önceleri deniz ve kuyu suyu arıtımı için kullanılırken, endüstrinin gelişmesine paralel olarak farklı alanlarda kullanılmaya başlanmıştır. Kullanım alanına ve amacına uygun olarak yüksek akılı, yüksek sıcaklık ve kimyasallara dayanıklı ve geniş pH aralıklarında çalışabilen membranlar geliştirilmiştir. İlk kullanıma başladığı zamanlar pahalı olan membran teknolojisi, yeni gelişmeler ile diğer fiziksel ayırma yöntemleri ile (adsorbsiyon, solvent ayırımı, distilasyon, kristalizasyon, gaz ayırımı, vb.) karşılaştırılabilir hale gelmiştir.

Membran prosesler Tesiste az yer kaplaması, Metan gazı üretimi, Arıtılmış Su Kalitesi İşletme Esnekliği, Düşük Çamur Üretimi, Dezenfeksiyon ve Koku Kontrolü Yüksek Oranda Ayrışma gibi avantajlarından dolayı yaygın olarak kullanılmaktadır.

Membran prosesler, deniz ve kuyu suyu arıtımının yanısıra, atıksu arıtımı, Atıksudan değerli maddelerin geri kazanılması, çözeltilinin konsantre edilmesi, saf su ve yumuşak su üretimi, gıda ve ilaç sanayinde üretimde ayırma işlemleri, petrokimya endüstrilerinde gaz ayırımında kullanılmaktadır. Ayırma işlemi iki ana grupta toplanır. Birincisi, çözünmüş maddelerin ayırımı, ikincisi ise tutulmak istenen partiküler maddelerin ayrılmasıdır.

Bu çalışmada membran teknolojisi ile ilgili genel bilgiler, membran proseslerin işletim şekilleri, membran sistemlerinin çalışma prensibi, çevre mühendisliğindeki uygulama alanları ve membran prosesleri ile ilgili yapılan son çalışmalar bir araya getirilerek bu konuda çalışmak isteyenler için bilgi kaynağı oluşturulacaktır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Membranın Tanımı

Membranı şu şekilde tanımlayabiliriz; Bir maddenin diğer maddelere nazaran daha kolay gözeneklerinden geçebildiği ve bu yüzden ayırma prosesinin temelini oluşturan materyal olarak düşünülebilir. Atıksu arıtımında, artan yükümlülükler için membran ayırma sistemlerinin seçiminde veya tasarımında en önemli parametre, arıtılacak suyun içeriklerini ayırmak için uygun membran özelliğinin bilinmesidir. Birçok proses için membran süspanse veya çözünmüş halde olabilen kirleticileri tutarak suyun kirleticilerden büyük ölçüde temizlenmesini sağlar. Bazı durumlarda ise, membran atıksudan kirleticileri ekstraktif membran biyoreaktöründe ekstre etmek veya daha az kabarcıklı oksidasyon MBR’da atıksudan gaz transferi) şeklinde rol oynayabilir.

2.2. Membranın Kullanım Alanları

Süt endüstrisinde membranlar, yoğunlaştırma, standart hale getirme, ayırma, yağ giderimi, tuzsuzlaştırma ve arıtma işlemlerinde; peynir altı suyunun yoğunlaştırılması, peynir üretme, peynir üretiminde sütün standart hale getirilmesi ve kısmen yoğunlaştırılması, yağ ve mikroorganizma azaltımı, peynir altı suyunun demineralizasyonu ve deasidifikasyonunda salamura suyunun filtrasyonunda kullanılmaktadır.

Gıda sektöründe membranlar hammadde geri kazanımı ve üretiminde, protein konsantre edilmesinde, yumurta beyazının ve tün yumurtanın yoğunlaştırılmasında ve soya proteinlerinin konsantrasyonu işlemlerinde kullanılmaktadır.

Kimya ilaç ve biyoteknolojik üretim prosesinde membranlar, yoğunlaştırma ve proses verimlerinin artırılmasında ve soya proteinlerinin konsantrasyonu işlemlerinde kullanılmaktadır.

Bunun dışında, tekstil, otomotiv, ambalaj üretimi sektörlerinin çeşitli proseslerinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

2.3. Membran Teknolojilerine Giriş

1960'lı yıllarda uygulanmaya başlanan membran prosesleri ilk olarak deniz suyunun demineralizasyonu için kullanılmıştır. Son 30 yılda membran teknolojilerinin gelişmesiyle membran prosesleri deniz suyu arıtımı, içme suyu eldesi ve atık su arıtımı gibi alanlarda kullanılmaya başlanılmıştır. Membran prosesleri, uygulama kolaylıklarından dolayı endüstri kuruluşlarında da tercih edilmektedir. Bu proseslerin kullanıldığı başlıca endüstri kuruluşları şunlardır. Kimya sanayi, eczacılık, petrol endüstrisi, gıda teknolojisi ve tekstil endüstrisi gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Mevcut uygulamalar arasında aşağıdaki alanlar ilk akla gelenler arasındadır ;

1. İnsanın kanının saflaştırılması için dializ,
2. İçme suyu üretmek için tuzlu sulardan suyun arıtılması olan elektrodializ,
3. Deniz suyunun desalinasyonu için ters osmoz,
4. Peynir, kazein, peynir altı suyu ve süttten büyük protein moleküllerinin konsantre edilmesi için ultrafiltrasyon,
5. Eczacılık ve medikal ürünlerin, bira, şarap gibi yumuşak içeceklerin sterilizasyonu için mikrofiltrasyon.

Membranlar atıksularda genel olarak ;

1. Sıvılardan ve gazlardan mikron boyutundaki partiküllerin filtrasyonu,
2. İyonik 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 kullanılmaktadır. (Bilstad 1997) .

Bir membran prosesinde iki faz arasına yerleştirilen membran fazı, bu iki faz arasındaki kütle değişimini kontrol eder. Bir membran ayırma prosesindeki fazlar karışımlardır. Bu sebeple ayırma prosesinde karışımdaki bileşenlerden birisinin

diğerine değişimine tercihen izin verilir, yani membran diğer bileşenlere karşı seçici davranır. Bu yüzden bir faz bileşenlerinden birisi bakımından zenginleşirken diğer fazda ise hızla azalır. Bu açıklamalar kapsamında membran prosesi; bir bileşenin membran tarafından ayrılan bir fazdan diğer faza seçici ve kontrollü olarak taşınması şeklinde tanımlanabilir. Herhangi bir türün membran üzerinden hareketine bir veya iki yürütücü kuvvet (itici kuvvet) sebep olur. Bu yürütücü kuvvetler bir kimyasal potansiyel veya elektrik potansiyel değişiminden kaynaklanır.

Kısacası, Membran belirli türlerin hareketlerini kısıtlayan, metal, anorganik veya organik polimerlerden yapılan geçirgen veya yarı geçirgen bir malzemedir ve gaz ayırımı, katı/sıvı ve sıvı/sıvı ayırımı gibi amaçlar için kullanılır.

Bileşenlerin taşıma hızlarının membran tarafından kontrolü iki etkiyle gerçekleşir:

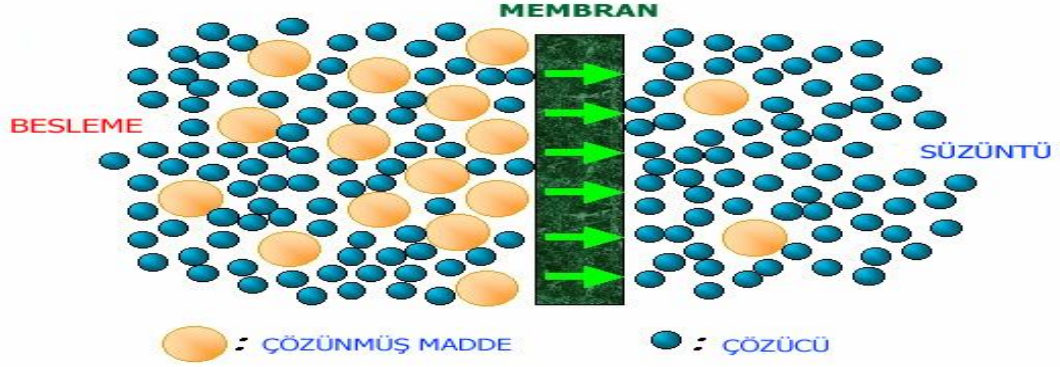
1. Farklı membran-tuz çözücü etkileşimlerinden kaynaklanan farklı taşınma hızları
2. Bileşenlerin membranın her iki tarafındaki iki ara fazda meydana gelen dağılıma veya değişim

Genelde ikinci etki birinciden çok daha önemlidir. İki arafazın olması birinci ve ikinci faz arasında sadece bir fazın olduğu, dengeye dayanan konvansiyonel ayırma işlemlerine zıttır. Dahası, dengeye dayanan proseslerde birinci ve ikinci faz birbirleriyle karışmamalıdır ya da birbirinde çözünmemelidir. Öte yandan iki fazın membran tarafından ayrıldığı bir membran prosesinde ise birinci faz ikinci faz ile karışabilir veya karışamayabilir.

Katı bir membran için birinci ve ikinci faz, karışabilen veya karışamayan sıvı ve gaz fazların herhangi bir kompozisyonu olabilir. Sıvı bir membran için ise fazlar, gazların ve karışmayan sıvı fazların ve bir katı fazın herhangi bir kompozisyonu olabilir. Burada sıvı fazlar, sıvı membran fazıyla karışmamalıdır. Öte yandan gaz bir membran için dökme fazlar, sıvı veya katı fazların herhangi bir bileşimi olabilir.

Aynı zamanda bilinmelidir ki, Membran filtrasyonda moleküller ve partiküller, büyüklükleri, ağırlıkları ya da yapıları nedeniyle membranda tutulurlar.

Membranda ayırma işleminde, sürücü kuvvetlerin etkisiyle besleme akımı 2 ayrı akıma ayrılır. Membrandan geçen akım “süzüntü”,geçmeyen akıma “konsantre” olarak adlandırılır. Şekil 2.1. de bu akımların şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 2.1. Akımların şematik gösterimi

Membran teknolojisinin avantaj ve dezavantajları şunlardır;

Membran Teknolojisinin Avantajları ;

- 1 Tesiste az yer kaplar
- 2 Metan gazı üretimi
- 3 Arıtılmış su kalitesi
- 4 İşletme esnekliği
- 5 Düşük çamur üretimi
- 6 Dezenfeksiyon ve Koku Kontrolü
- 7 Membran özellikleri değişkendir ve ayarlanabilir
- 8 Katkı (ilave kimyasal gerektirmez)
- 9 Ölçekleme ve Kademelendirme kolaydır.
- 10 Enerji tüketimi genellikle düşüktür.
- 11 Ayırma sürekli olarak gerçekleştirilebilir.

Membran Teknolojisinin Dezavantajları ;

- 1 Konsantrasyon polarizasyon/ membran kirlenmesi oluşur
- 2 Düşük membran ömrü
- 3 Düşük seçicilik ve akış
- 4 Ölçekleme faktörünün daha çok ve daha az lineer olmasıdır.

2.4. Membranlarda Sınıflandırma

Membran proseslerde kullanılan membranlar ayırma mekanizmalarına morfolojilerine, geometrilerine ve kimyasal yapılarına göre sınıflandırılırlar. Kullanılan membran tipine göre membran proseslerinin gösterecekleri performanslar önemli ölçüde değişmektedir.

2.4.1. Ayırma mekanizmalarına göre sınıflandırma

Membranlar ayırma mekanizmalarına göre porlu,porsuz,iyon değiştirici membranlar olarak sınıflandırılırlar.Porlu membranlarda konvektif madde taşınımı, porsuz membranlarda çözünme-difüzyon modeli, iyon değiştirici membranlarda ise elektrokimyasal etkiler sözkonusudur.

2.4.2. Morfolojilerine göre sınıflandırma

Membranlar morfolojilerine göre simetrik,asimetrik ve ince filmli kompozit membranlar olmak üzere 3'e ayrılırlar.

Simetrik Membranlar: Simetrik membranlar çok küçük gözenekli olup membran kesiti içindeki geçirgenlikleri sabittir. Yapılarındaki yoğunluk nedeniyle geçirgenlikleri düşük olduğundan bu tür membranların ticari kullanım alanı dardır. Simetrik membrana ait gösterim Şekil 2.2.'te verilmiştir.



Şekil 2.2. Simetrik membranların yapısı

Asimetrik Membranlar: Asimetrik terimi membran yapısının çarpaz kesitinde önemli ölçüde değişimler olduğunu göstermektedir. İntegral asimetrik veya kompozit asimetrik membran olmak üzere iki tür hazırlanabilir. İntegral asimetrik membran faz dönüşüm yöntemiyle hazırlanır. Asimetrik membrana ait yapı Şekil 2.3.'te gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Asimetrik membranların yapısı

Bir membranda taşınım hızı membran kalınlığıyla ters orantılıdır. Ekonomik nedenlerden dolayı yüksek taşınım hızı istendiği için membran mümkün olduğunca ince olmalıdır. Geleneksel film imalat teknolojisi yaklaşık 20 μm kalınlığına kadar mekanik açıdan güçlü ve hatasız film üretimi gerçekleştirebilmektedir. Çok daha ince film tabakası kullanabilmek için hazırlanan kompozit asimetrik membranlar çok daha fazla kalın gözenekli bir yapıyla desteklenmiş son derece ince bir yüzey tabakasından oluşmaktadır.

Yüzey tabakası ve alt destek yapısı tek bir işlemle ve ayrı olarak gerçekleştirilebilmektedir. Şekil 2.4.'te kesit görünümü verilen kompozit bir membranda tabakalar genellikle farklı polimerlerden yapılıdır. Ayırma özellikleri ve permeasyon hızları yüzey tabakasında belirlenir. Alt tabaka mekanik destek işlevi görmektedir. Hemen hemen bütün ticari proseslerde bu tip membranlar kullanılmaktadır.

Kompozit Membranlar : Kompozit membranlar yoğun membranlar olarak da tanımlanmaktadır. Bu tip membranlar boyunca taşınım sadece difüzyon değil aynı zamanda kimyasal türlerin membran içerisindeki çözünürlükleriyle de ilgilidir. Geçirgenliği belirleyen parametreler membranın kimyasal doğası, membranın tipi ve kalınlığına bağlıdır. Yoğun membranlar, permeatların basınç, derişim veya elektriksel potansiyel farkı gibi itici kuvvet altında difüzyonla taşındığı yoğun bir filmde oluşmaktadır. Kompozit membranlara ait yapı Şekil 2.4.'te verilmiştir.



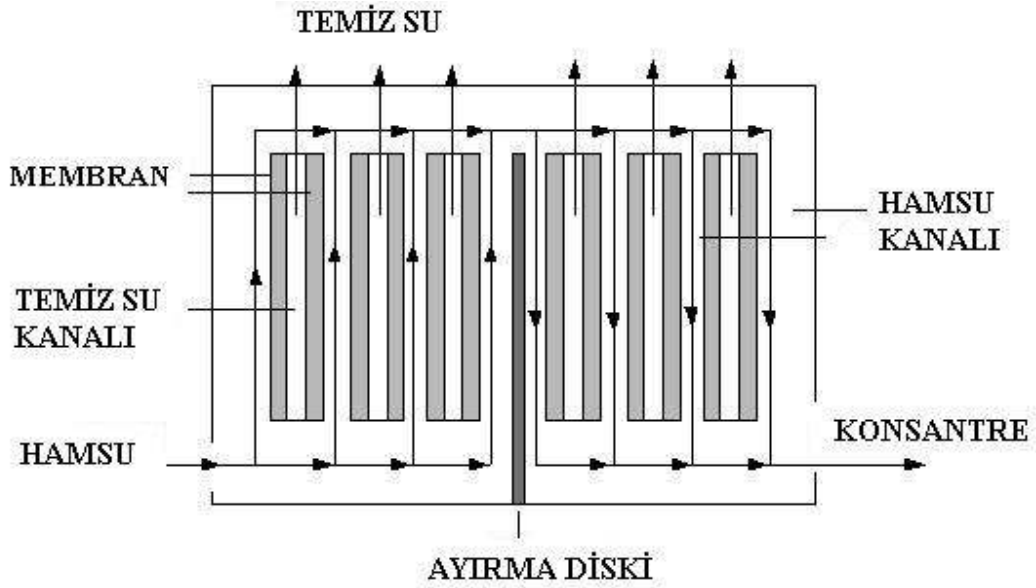
Şekil 2.4. Kompozit membranların yapısı

Karışımı oluşturan bileşenlerin ayrılması membran içindeki difüzyon hızı ve çözünürlükleriyle belirlenen göreceli geçiş hızlarıyla ilişkilidir. Bir çok gaz ayırma, pervaporasyon ve ters osmoz membranı yoğun membrandır. İnce filmkompozit

membranlar (TFC) ince selüloz asetat, poliamidden veya kararlılığı sağlayan başka aktif (genellikle 0,15- 0,25 μm kalınlıkta) kompozit geçirgen tabakadan yapılmaktadır.

2.4.3. Geometrilerine göre sınıflandırma

Plaka ve Çerçeve Membranlar : Bu membranlar ilk olarak 1966 da ABD 'de büyük dairesel plakalar arasına yerleştirilerek üretilmeye başlanmıştır. Daha sonraları sahip oldukları fiziksel özellikleri (boy,ağırlık vs) işletilmesi ve değiştirilmesini güçleştirmiş; ve sonunda ABD'de üretimi ve kullanımları kaldırılarak üretimin ve kullanım sahasının Avrupa'ya; Danimarka'ya ve Almanya'ya kayması sağlanmıştır. Plaka ve çerçeve membranlar asimetrik ve kompozit olmak üzere iki tiptir. Asimetrik membranlar yüksek akı kapasiteli çok ince ($<1\mu\text{m}$) ve buna destek olarak daha kalın (100 μm 'a kadar) birer film tabakasından oluşmaktadır. Bu tip membranların çalışma prensibi Şekil 2.5 ve Şekil 2.6 da verilmiştir.



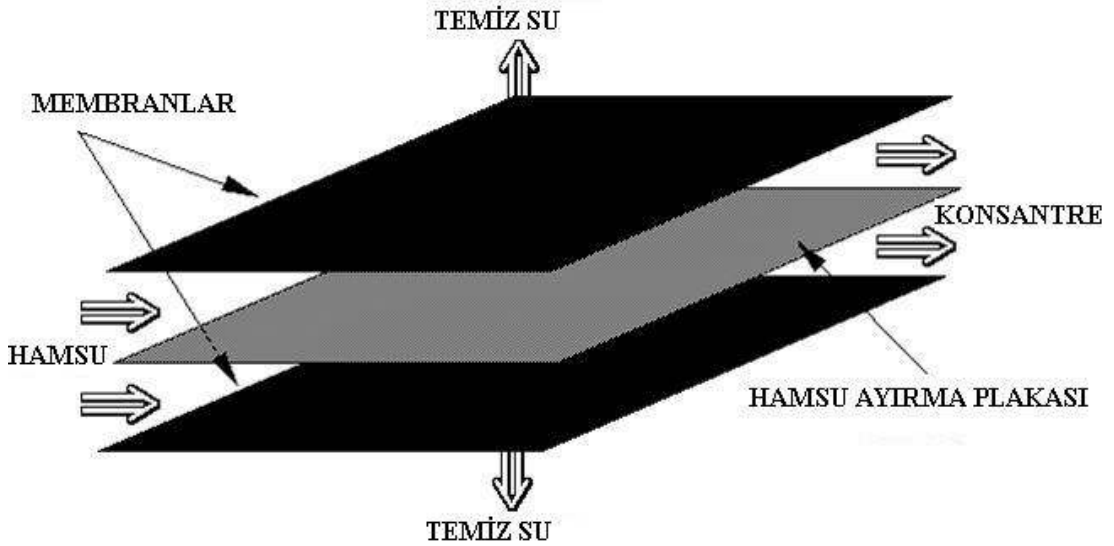
Şekil 2.5 Plaka ve çerçeve membranların çalışma prensibi

Şekil 2.6da verilen uygulamaya göre her bir plaka 0.5-1 mm kalınlığında ve kanal uzunluğu 6-60 cm arasında değişmektedir. Uzunlamasına modüllerde, akım bütün kanallara paralel olarak akmaktadır.



Şekil 2.6 Plaka ve çerçeve membranları

Plaka ve Çerçeve modülleri küçük ölçekli uygulamalar için geliştirilmiş ancak alternatifleriyle karşılaştırıldığında maliyetli olması sebebiyle sınırlı kullanım alanlarına hitap etmektedir. Her bir plaka için gerekli olan contalardan meydana gelen sızıntılar ciddi bir problem olup, günümüzde sadece ve sınırlı sayıda RO ve UF sistemlerinde kullanılmaktadır.



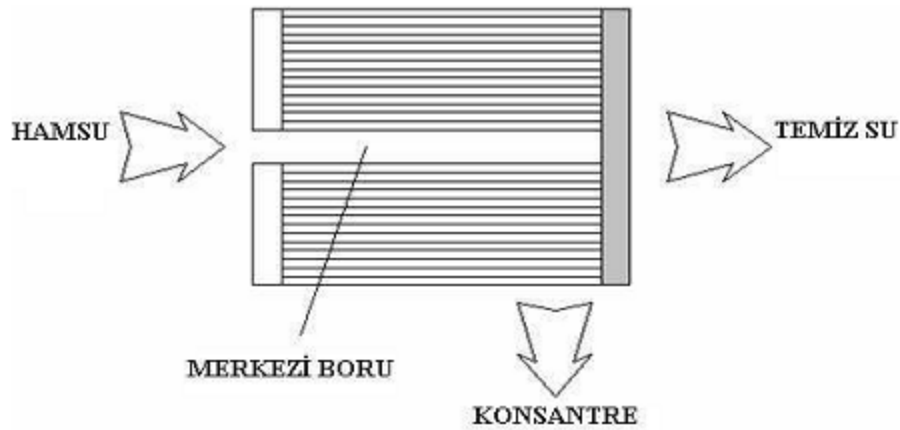
Şekil 2.7 Plaka ve çerçeve membranların ayırma prensibi

Boşluklu Elyaf Membranlar : İlk kullanımı 1960'ların sonlarına doğru uzanmakta olan bu membranlar, uzun tüpler halinde üretilmektedir. Besleme suyu dağıtım borusunu saran binlerce elyaf bir yığın oluşturmakta, bu yığılı tabaka basınçlı bir fiberglas, PVC ve paslanmaz çelikten yapılmış bir kaba yerleştirilerek üretilmektedir. Temiz su ise, içerideki bölmede toplanmaktadır. Boşluklu elyaf membranlar Şekil 2.8.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Boşluklu elyaf membranlar

Ultrafiltrasyon için üretilen boşluklu elyaf membranlar, selüloz olmayan polimerik malzemeden üretilmektedir. Her bir delikli elyafın çapı 0,19-1,25 μm arasında değişmektedir. Kalınlığı ise 200 μm arasındadır. İşletme sıcaklığı 75-80 $^{\circ}\text{C}$ ye kadar çıkabilir. Modül çapı 10-20 cm ve membran alanı 4,7-7,8 m^2 arasında değişir. Bu membranlar, tıkanmaya karşı hassas olduklarından, membrana verilecek suda büyük çaplı partiküllerin olmaması lazımdır. Bu sebepten, 50-100 μm çaplı partiküllerin tutulması için ön arıtmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Boşluklu elyaf membranların çalışma prensibi Şekil 2.9. 'da gösterilmiştir.



Şekil 2.9. Boşluklu elyaf membranların çalışma prensibi

Tipik içi boş lifin iç çapı 50 µm, dış çapı ise 100-200 µm aralığındadır. Besleme sıvısı liflerin dışından gönderilmektedir. Bu çap aralığındaki liflerden hazırlanan modüller çoğunlukla ticari RO uygulamalarında, 200-500 µm aralığındaki çapa sahip liflerden oluşan içi boş lif modülleri ise UF uygulamalarında kullanılmaktadır. Ancak, lif çapı 200 µm'den daha büyükse besleme liflerin içinden gönderilmektedir.

Besleme akımının nispeten temiz olduğu durumlarda kullanılır. Deniz suyundan saf su eldesinde de bu tip modüller kullanılmaktadır. Bu modüllerdeki membran alanı 0,2-1 m² arasındadır.

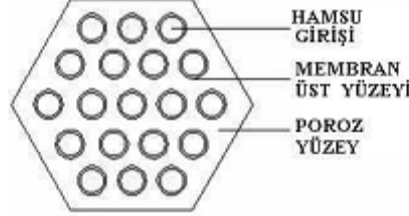
Tübüler Membranlar : 1965'li yıllarda kullanılmaya başlanan tübüler membranlar, 4-40 mm çaplarında ve 0,6-6,4 m uzunluklarında, küçük tüplerin büyük sağlam tüpler veya borular içerisine yerleştirilmesi ile üretilmektedir. Tüpler paslanmaz çelik ya da PVC modüller içerisine yerleştirilir. Akışkana basınç uygulanarak süzüntü akımı tüp dışına çıkarılmakta, Konsantre kısım ise ortadaki tüpten toplanmaktadır. Tüpün delikli yapısı, membrandan geçen suyun toplanmasını sağlamaktadır. Tübüler membran çeşitleri Şekil 2.10. 'da gösterilmiştir.



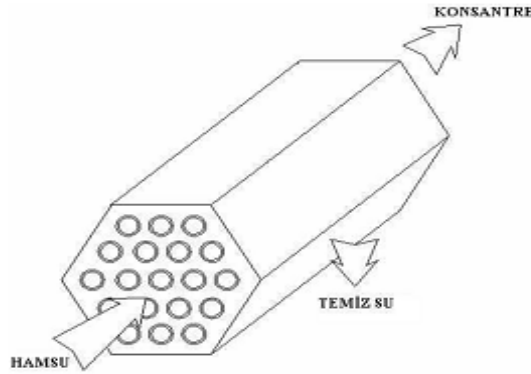
Şekil 2.10. Tübüler membranlar

Tübüler membranların üretiminin pahalı olması, büyük alana ihtiyaç göstermeleri ve maliyetlerinin çok olmasından dolayı büyük hacimli içme suyu tesislerinde kullanımları sınırlı olmakta, bu tip membranlar daha çok atıksu arıtımında kullanılmaktadır. Askıda katı madde konsantrasyonu ve viskozitesi yüksek sıvılarda, membran tıkanmadan uzun süre kullanılabilir olan bu membranlar hem mekanik

olarak temizlenebilmekte hem de türbülanslı akım oluşturularak, tıkanma minimuma indirilebilmektedir. Tübüler membranın dikey kesiti Şekil 2.11.'de ve bu tip membranların çalışma prensibi Şekil 2.12.' de verilmiştir.



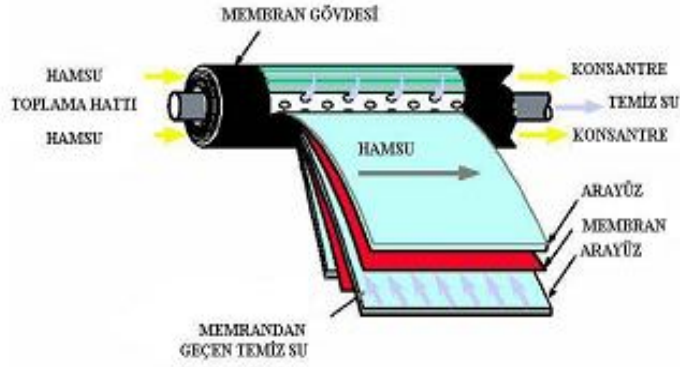
Şekil 2.11. Tübüler membranın dikey kesiti



Şekil 2.12. Tübüler membranların çalışma prensibi

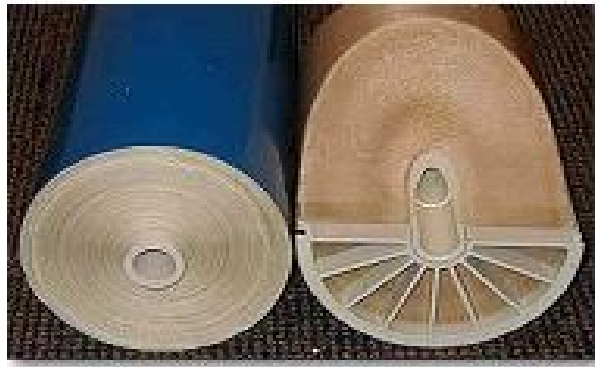
Potansiyel kirlilikleri uzaklaştırabilmek için besleme akımının ön arıtmaya tabi tutulmadığı veya modülün buharla sterilize edilmesi gerektiği bazı durumlarda tüp modüller kullanılmaktadır. Bu tip üniteler kolaylıkla temizlenebilir ve buharla sterilize edilebilir, bununla beraber içi boşluklu elyaf ve spiral sarımlı modülleriyle karşılaştırıldığında basınç kayıpları yüksek, verimlilik düşüktür. Tübüler membran modülleri genellikle UF uygulamalarıyla sınırlıdır.

Spiral sarımlı Membranlar: Spiral sarımlı membranlar, plak ve çerçeve membranlarının daha geliştirilmiş modelidir. Bu tertip tarzı ile, plaka ve çerçeve membranların birçok dezavantajı ortadan kaldırılmış ve kullanım alanı yaygınlaşmıştır. 1966-67'li yıllarda üretilmeye başlayan bu membranlar, özellikle su üretiminde tübüler membranların yerini almıştır. Bu tip membranların çalışma prensibi Şekil 2.13'da verilmiştir.



Şekil 2.13. Spiral sarımlı membranların çalışma prensibi

İki membran arasında gözenekli bir yapı vardır. Bunların hepsi beraber üretilen suyu toplayan bir tüp üzerine sarılmaktadır. Rulo halindeki membran ve delikli yapı, 5,10,20 cm'lik standart çap ve 15-150 cm uzunluğunda imal edilir. Membran alanı çapa bağlı olarak 15 m²'ye kadar çıkabilmektedir. Membranlar, membran kabı içine tek bir modül oluşturabilmek için, sayıları 1 ile 7 arasında değişen miktarda yerleştirilebilmektedir. Membran kabı fiberglas, PVC veya paslanmaz çelik olabilir. Bir membran kullanıldığında geri kazanım %30 civarında iken, modül tasarımı ile bu oran %75 mertebesine kadar arttırılabilir. Bu membran alanının artmasından kaynaklanmaktadır. Bu tip membranlarda, selüloz asetat, poliamid ve kompozit poliamid yapıları malzemeler kullanılmaktadır. Bu tip membrana ait yatay kesit Şekil 2.14'de verilmiştir.



Şekil 2.14. Spiral sarımlı membranın en kesiti

Spiral sarımlı membranların başlıca uygulaması RO'dur. Spiral sarımlı modüller, iç gözenekli permeat toplama tüpü etrafına düz tabaka membranlar, ara

plakalar (spacer) ve gözenekli tabakaların sandviçlenmesiyle oluşturulmaktadır. Permeat, toplama tüpüne radyal olarak akarken, besleme ara plakalar tarafından oluşturulan kanallarda (sandviç boyunca) aksel olarak akmaktadır. Çoklu spiral sarımlı membranların çalışma prensibi Şekil 2.15.'de görülmektedir.



Şekil 2.15. Çoklu spiral sarımlı membranların çalışma prensibi

Yukarıda geometrilerine göre üretilen membran tiplerinin çeşitli parametrelere göre karşılaştırılması Çizelge 2.1.'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Geometrisine göre sınıflandırılan membran modüllerinin karşılaştırılması

Parametre	Membran	Plaka ve Çerçeve	Spiral Sarımlı	Tübüler	Boşluklu Elyaf
Paketleme Oranı (m ² /m ³)		300-500	200-800	30-200	500-9000
Tıkanma Direnci		iyi	Orta	Çok İyi	Kötü
Temizleme Kolaylığı		iyi	Orta	Mükemmel	Kötü
Maliyet		Yüksek	Düşük	Yüksek	Düşük
Kullanım Alanları		RO,UF,MF	RO,UF,MF,NF	RO,UF	RO,UF

Membranlar geometrilerine göre tabaka ve silindirik tarzlı olmak üzere sınıflandırılırlar. Tabaka membranlar spiral sarım ve plaka çerçeve, silindirik membranlar ise tüp (tubular) boşluklu elyaf (hollow fiber) şeklinde bulunmaktadır. Tüp şeklindeki membranların iç çapı 3 mm'den büyük ve boşluklu elyaf membranların ise 3 mm' den küçüktür.

Sızıntı suyu katı atıkların içinden süzülerek bir takım kimyasal, fiziksel ve biyolojik reaksiyonlar sonucu oluşur ve toplama sistemleri ile dışarı alınır. Sızıntı suyu, katı atıkların ana bileşenlerinden kaynaklanan çok sayıdaki element ve bileşiği ihtiva eder.

2.4.4. Kimyasal Yapılarına Göre Sınıflandırma

Membranlar kimyasal yapılarına göre organik veya anorganik olmak üzere sınıflandırılırlar.

Organik membranlar :Organik membranlar yaygın olarak atıksu arıtımında kullanılmaktadır ve çeşitli aromatik poliamid, polisülfon, selüloz asetat ve polipropilen malzemeden üretilmektedir. Bu materyallere ait karşılaştırma Çizelge2.2.'de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Organik membran üretiminde kullanılan malzemelerin karşılaştırılması

Malzeme	Uygulamalar	İletme Sıcaklığı (°C)	pH
Selüloz Asetat	RO, NF, UF, MF	50	3-7
Aromatik Poliamid	RO, NF, UF, MF	0-80	3-11
Florokarbon	RO, NF, UF, MF	130-50	1-14
Poliamidler	RO, NF, UF	40	2-8
Polisülfon	UF,MF	80-100	1-13
Polivinilidin Florit	NF, UF, MF	130-150	1-13

İnorganik Membranlar : İnorganik membranlar,organik membranlara göre kimyasal ve termik olarak daha dayanıklıdırlar. Ana yapım maddelerine göre anorganik membranlar; seramik,cam ve metalik membranlar olarak sıralanabilir. Anorganik membranların en önemli dezavantajları organik malzemelere göre daha kolay kırılabilmeleri ve pahalı olmalarıdır.Bu yüzden geniş kullanım alanlarına sahip değillerdir. Bu membranlar daha çok alümina, borosilikatcam ve seramik, pirolize zirkonya/paslanmaz çelik ve zirkonya/karbon alaşım yapılı membranlar olup, yüksek konsantrasyona sahip atıksularda ve madde geri kazanımında kullanılmaktadır. Bu materyallere ait karşılaştırma Çizelge2.3.'de verilmiştir.

Çizelge 2.3. İnorganik membran üretiminde kullanılan malzemelerin karşılaştırılması

Malzeme	Uygulamalar	Maksimum İşletme Sıcaklığı (°C)	pH
Alümina	MF	> 900	0-13
Paslanmaz Çelik	MF	> 400	4-11
Zirkon	UF, MF	400	1-13
Gümüş	MF	370	1-13

Membran üretiminde kullanılan organik ve inorganik materyallerin çeşitli faktörlere göre karşılaştırılması Çizelge2.4.'de Uygulama alanına göre sınıflandırma ise Çizelge2.5.'de verilmektedir.

Çizelge 2.4. Organik ve inorganik membranların karşılaştırılması

Parametre	Organik	İnorganik
Sıcaklığa Dayanım (°C)	0-150	0-900
pH Limitleri	1-12	1-13
Mikrobiyal Dayanım	Dayanısız	Dayanıklı
Kimyasal Dayanım	Organik solventler içinde stabil değil	Kimyasal stabilitesi iyi
Mekanik Stabilitite	Kırılgan değil	Sert ve kolay kırılır
Basınç Dayanımı	Yüksek basınca dayanımı az	Yüksek basınca dayanımı iyi
Maliyet	Düşük	Pahalı
Membran Ömrü	Kısa	Uzun
Akı	Yüksek	Yüksek

Membran üretiminde kullanılan malzemeler genellikle kullanılacak prosesin türüne ve elde edilmek istenen suyun kalitesine göre farklılık göstermektedir. Su ve atıksu arıtımında kullanılan membranlar; 0,20-0,25 µm kalınlıkta ince bir film tabakasından ve bunu destekleyen 100 µm kalınlıkta daha geçirgen bir yapıdan oluşmaktadır. En yaygın üretilen membranlar, spiral sarımlı, boşluklu elyaf ve tübüler membranlardır.Çizelge2.5.'de membranlarınkimyasal yapılarına göre sınıflandırması verilmiştir.

Çizelge2.5. Kimyasal yapılarına göre sınıflandırma

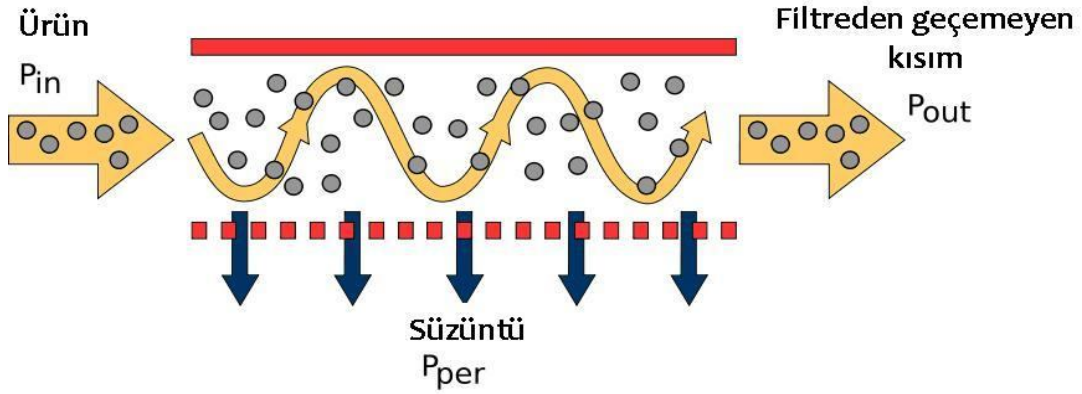
Malzeme	Uygulamalar Alanı		
	MF	UF	NF
Alumina	X		
Selüloz esterler	X		
Seluloz nitrat	X		
Poliamid, alifatik (naylon)	X		
Polikarbonat	X		
Polyester	X		
Polipropilen	X		
Politetrafloroetilen	X		
Polivinilklorür (pvc)	X		
Sinterlenmiş paslanmış çelik	X		
Seluloz	X		
Seramik bileşikleri	X	X	
Poliakrilonitril (pan)	X	X	
Polivinil alkol (pva)	X	X	
Polisülfon (ps)	X	X	X
Polietersülfon (pes)	X	X	X
Seluloz asetat (ca)	X	X	X
Seluloztriasetat (cta)	X	X	X
Poliamid (pa)	X	X	X
Ca ve cta karışımı	X		X
Alumina	X		

2.5. Membran İletim Şekilleri

2.5.1. Cross - flow membran filtrasyonu (çarpaz akış filtrasyonu)

Askıda yada çözülmüş maddelerin molekül ağırlıklarına ve büyüklüklerine göre ayrılmasını sağlayan bir yöntemdir. Basınç farkı uygulaması sonucunda membran bir elek etkisi göstermektedir. Bu ayırma teknolojisi kolay kullanılabilir. Faz değişimine veya yardımcı madde ilavesine gerek duymamaktadır. Ayrıca düşük miktarda enerji harcamaktadır.

Ultrafiltrasyon ve nanofiltrasyon membranları asimetrik yapıya sahiptir. Besleme akımı ile temasta olan aktif membran yüzeyi yüksek yoğunluğa sahip mikroporöz tabakadır. Yüksek asimetrik yapıya sahip olduğundan tutulan maddeler konsantrasyonu arttırarak tıkanmaya sebep olur. Ancak Cross - flow teknolojisinin uygulanmasıyla membran yüzeyinde yüksek akı hızlarına ulaşılmakta buda konsantrasyon polarizasyonunu azaltmaktadır.



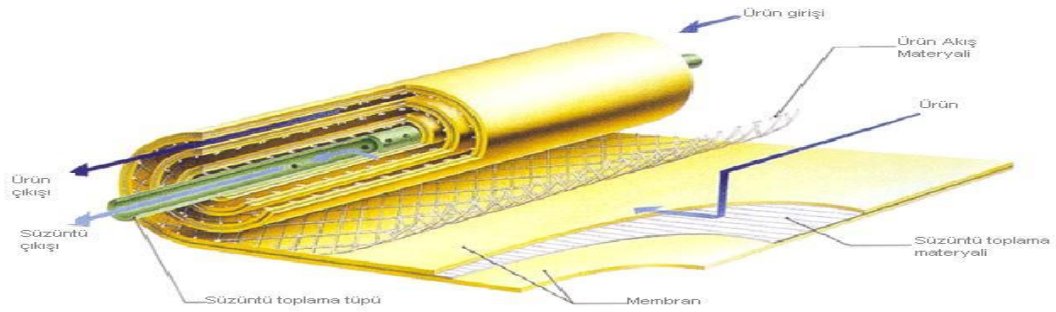
Şekil 2.16. Çarpaz akış filtrasyonu gösterimi

Çarpaz akış filtrasyonunda, ürün akışı filtre içinden daha ziyade çoğunlukla filtre yüzeyinin üstünden teğet olarak geçer. Bu akış tipinin prensip olarak avantajı filtreyi tıkayan filtre kekinin filtrasyon süresince yıkanarak filtrenin uzun süre kullanımına olanak sağlar ve sürekli proses olabilir.

Bu tip filtrasyon küçük partikül boyutunda katıları yüksek oranda içeren ürünler içindir çünkü katı maddeler klasik filtrasyonda membranı kolayca tıkayabilir. Bu uygulama için fermentasyon sıvısından çözümlü antibiyotiklerin ekstraksiyonu endüstriden bir örnektir.

2.5.2. Spiral sarım ve boru modülleri

1.500 mm ile 3.000 mm'lik standart uzunlukta „1- boru modülleri” mevcuttur. Ayrıca sert bir yapı biçimine ve 3.000 mm'lik tek uzunluğa sahip “7- boru modülleri bulunmaktadır. Turbular- Modülleri olarak adlandırılan bu modüllerin serbest kesiti 25,4 mm'dir. Bunlar katı maddeler oranı yüksek olan malzemelerin işlemesi için çok elverişlidir Membran, polisulfon, polieter, sulfon ya da rejenere selüloz'dan imal edilmekte ve büyük ölçüde solventlere ve pH değerlere karşı dayanıklıdır. Spiral sarımlı membran modülünün açık şekli aşağıda verilmiştir.

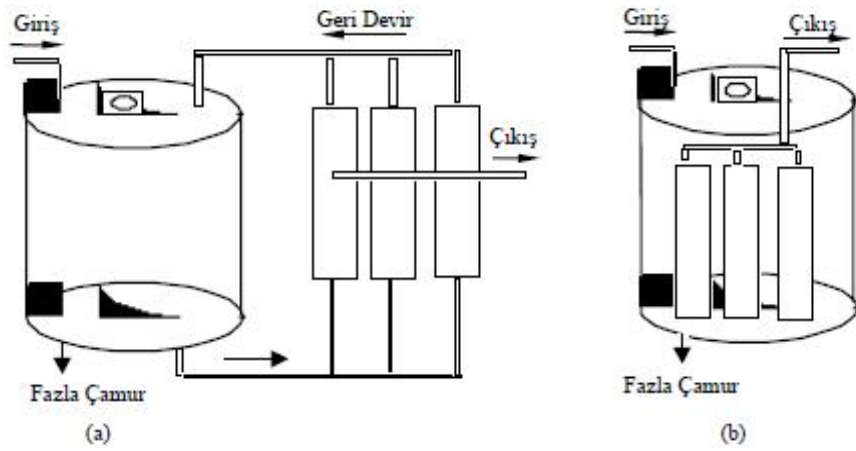


Şekil 2.17. Spiral sarım gösterimi

Ürün taşıyıcı (permeate carrier) iki membran arasına yerleştirilmiştir. İki membran ve ürün taşıyıcı yaprak adı verilen yapıyı oluşturmak için üç kenarı birlikte yapıştırılır. Yapıştırılmamış uçlar merkezdeki delikli toplama tüpüne bağlanır. Membran yaprağı ağ yapılı besleme ara levhası merkezdeki delikli toplama tüpüne spiral şekilde sarılır. Yaprak uzunluğunu kısaltmak için birçok membran yaprağı merkez tüpün etrafına aynı anda sarılır. Çoklu yaprak tasarımları ürün akışındaki düşüşü minimize eder. Sarmal modül basınçlı tübüler kap içerisine yerleştirilir.

2.5.3. Diğer modüller

Membranların bioreaktöre nasıl entegre edileceğine göre, iki MBR proses konfigürasyonu tanımlanmıştır. Bunlar ya reaktöre dışarıdan (Sıvı / biyokütle ayrımının çapraz akışlı membran filtrasyonu ile ayrı bir ünite gerçekleştirildiği) harici ya da sıvı/biyokütle ayrımının bioreaktör içinde batık membranlar ile gerçekleştirildiği batık şekilde entegre edilmektedir Şekil 2.18.'de membran biyoreaktör konfigürasyonları gösterilmektedir.



Şekil 2.18. A) Harici ve B) Dahili (batık) membran bioreaktör

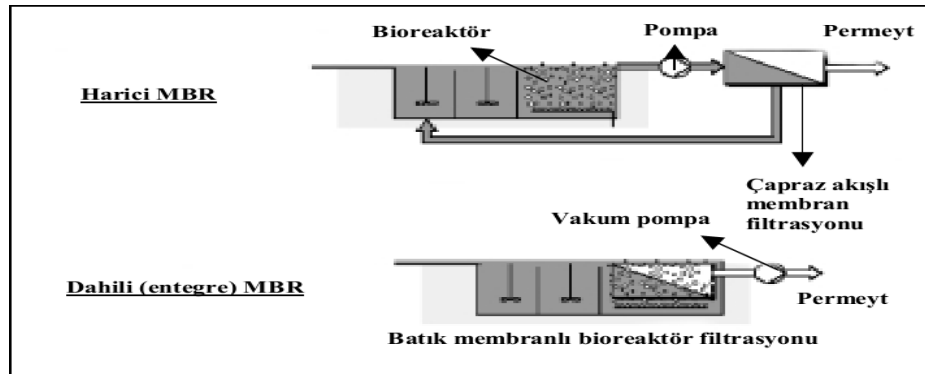
Harici MBRs modülleri reaktörün dışında yer alır ve membranı kapsayan bir resirkülasyon döngüsü üzerinde sıvı karışım sürküle edilir. Batık MBRs modüllerinde ise membranlar sıvı karışımında batık olarak reaktörün içine yerleştirilir. Dış bağlantılı MBRs'ler, daha yüksek operasyonel Trans-Membran basıncı (TMP) ve istenen ters akım hızına ulaşmak için yüksek hacimsel akım gerektirdiklerinden dolayı, çok daha yüksek enerji ihtiyacına gerek duyarlar.

Ayrıca dış bağlantılı aerobik MBRs için pompalama gereksinimleri, %20-40 sadece havalandırma olmak üzere, toplam enerji tüketiminin %60-80'den oluşmaktadır. Ancak dış bağlantılı reaktörler, batık teknoloji ile kıyaslandıklarında, sonraki durumda reaktörden membran ekstraksiyonuna ihtiyaç duyulduğu için, membran modüllerinin temizleme işlemi daha kolay gerçekleştirilir.

Batık MBR ler daha az enerjiye ihtiyaç duyarlar. Fakat düşük membran yüzey kesme seviyeleri sağladıklarından, daha düşük süzüntü akılarında işletilirler. Bu daha fazla membran yüzey gereksinimleri anlamına gelir.

Günümüzde ticari uygulamaların çoğu, düşük enerji gereksinimlerinden dolayı batık konfigürasyonlara dayanmaktadır. MBR'ler batık konfigürasyonları, dışsal konfigürasyonları ile kıyaslandıklarında nispeten düşük enerji gerektirmeleri nedeniyle, daha fazla tercih edilmektedir. Ancak, Anaerobik MBR'ler için durum çok net değildir. Anaerobik MBR'ler, düşük mikrobiyal büyüme oranlarından dolayı, yüksek organik yüklemelerde verimli bir arıtma sağlamak için daha yüksek biomass konsantrasyonlarında işletilmeleri gerekir. Böyle koşullarda, kek tabakası oluşumu süzüntü akısının belirlenmesinde anahtar faktör olarak gösterilmektedir. Kek oluşumunun minimize edilmesinde, daha yüksek kesme hızlarının uygulanmasıyla harici MBR'lerde daha yüksek süzüntü akısı sağlanır. Ancak çamur özelliklerindeki değişimler, muhtemelen operasyonel kesme hızı çıkmazını oluşturan, yüksek yüzey kesmenin faydalarını ortadan kaldırmaktadır.

Anaerobik membran biyoreaktörler ile yapılan birçok araştırma harici modüller ile gerçekleştirilmiştir. Ancak membrandan geçen çürütücü suyunun potansiyel negatif etkisi, pompalar ve vanalar bazı endişeleri artırmaktadır. Atıksu arıtım uygulamalarında kullanılan membran gözenek boyutları 0,03-0,05 μm aralığında olmaktadır.



Şekil 2.19 : Harici ve batık membran şekilleri

Çizelge2.6. İki membran modülünün karşılaştırılması

Dahili/Entegre MBR	Harici MBR
Yüksek havalandırma masrafı	Düşük havalandırma masrafı
Düşük pompaj masrafı	Yüksek pompaj masrafı
Düşük akı (büyük alan gereksinimi)	Yüksek akı (küçük alan gereksinimi)
Daha nadir temizleme ihtiyacı	Daha sık temizleme ihtiyacı
Düşük işletme maliyeti	Yüksek işletme maliyeti
Yüksek ilk yatırım maliyeti	Düşük ilk yatırım maliyeti

2.6. Membran Prosesleri

Çevre Mühendisliği Uygulamalarında en genel olarak uygulanan membran prosesler çeşitli gruplara ayrılır; mikrofiltrasyon, ultrafiltrasyon, nanofiltrasyon, ters osmoz, elektrodiyaliz, gaz ayırma, dializ, osmoz, pervoparasyon, termo- osmoz ve membran distilasyonudur. Bunlardan su ve atıksu arıtımında ve geri kazanımında en çok kullanılan membran prosesleri ise mikrofiltrasyon, ultrafiltrasyon, nanofiltrasyon ve ters osmozdur. Bu tez çalışmasında sözkonusu membran prosesleri işlenecektir.

2.6.1 Mikrofiltrasyon (MF)

Mikrofiltrasyon membran üretiminde ilk ve en eski geçmişe sahip proses sınıfını oluşturmaktadır. Konvansiyonel filtrasyon sistemlerine nazaran sudaki daha küçük boyuttaki partiküllerin tutulmasını sağlayan bir membran ünitesidir. 0,05 – 1,5 µm aralığındaki partikül maddeler ile bakteriler, büyük kolloidal maddeler, kil ve silt sudan ayrılabilir. Mikrofiltrasyon, tübüler ya da boşluklu elyaf membran konfigürasyonları ile teşkil edilmektedir.

Mikrofiltrasyon proseslerinin içme suyu arıtımında çok farklı uygulama şekilleri bulunmaktadır. Bu uygulamalarda mikrofiltrasyon üniteleri ince ızgaralardan sonra ana arıtma prosesi olarak kullanılmalarının yanında ters osmoz veya nanofiltrasyondan önce ön arıtma ünitesi olarak da uygulanabilmektedir.

Mikrofiltrasyonda, akım membran yüzeyine paralel olarak uygulanır ve membrandan geçemeyen konsantre kısım, membran üzerinde birikir. Zamanla membran yüzeyinde direnç artar. Membranfiltrasyonu, ekonomik olmayan bir konuma geldiği zaman, yani filtrasyon verimleri azaldığı zaman membran temizlenmeli veya yenilenmelidir. Membran yüzeyinde katı kek tabakasının oluşumu, yatay akış kullanılarak azaltılabilmektedir. Çeşitli geometrideki mikrofiltrasyon membranları Şekil 2.20.'da verilmiştir.



Şekil 2.20. Mikrofiltrasyon membranları

Membran yüzeyinde kek tabakası oluşumunu önlemek için değişik hızlar uygulanmaktadır. Bir müddet sonra akıda azalma meydana gelmektedir. Prosedüre göre membranın belirli bir süre temizlenmesi gerekmektedir. Membran seçimi mikrofiltrasyonda çok önemlidir. Genellikle, mikrofiltrasyon membranlarının akı değerleri belirli bir değerin altına düşünce temizlenmektedir. Temizleme işlemi kimyasal maddeler ile gerçekleştirilmektedir. Seçilen bu membran kullanılan bu kimyasal maddelere karşı dirençli olmalıdır. Mikrofiltrasyonda, işletme sırasında konsantrasyon polarizasyonu ve tıkanmanın etkisini azaltmak için, vorteksli akımlar, titreşimler, elektriksel alanlar v.b. çeşitli metodlar kullanılmaktadır.

Mikrofiltrasyon genel bir ifadeyle 0,6 μm 'den daha büyük partikülleri tutmak amacıyla kullanılır. MF membranlarının en yaygın uygulama alanı NF ve RO membranları öncesinde ön arıtma amacıyla kullanımıdır Ayrıca MF membranları endüstride sterilizasyon, meyve suları, şarap ve bira hammaddelerinin ayrımı, saf su üretimi, fermantasyon, yağ-su karışımlarının arıtımı için de kullanılmaktadır.

2.6.2. Ultrafiltrasyon (UF)

Ultrafiltrasyon bir büyüklüğü geçirmeyen, basınçla yürüyen bir ayırma prosesidir. Tipik olarak Ultrafiltrasyon (UF) 10 ile 1000 Angstrom arasında değişiklik gösteren gözenek büyüklüğüne ve 300 ile 500.000 Dalton arası ağırlığındaki molekülleri tutabilirler.

Genelde UF membran tarafında geçirilmeyen maddeler şekerleri, biomolekülleri, polimerleri ve kolloidal partiküller ihtiva ederler. Çoğunlukla UF membranların performansı ‘ En son tutulan molekül ağırlığı ‘ (MWCO = Moleküler Weight Cutoff) ile tanımlanmaktadır. Bu ilişki için herhangi bir standart olmamakla beraber genelde üreticiler, ultrafiltrasyon gözenek büyüklüklerinin belirlenmesinde değişik kriterler kullanmaktadırlar.

Üreticiye bağlı olan bu değişimlerden dolayı, doğru membran tipinin belirlenebilmesi için, birden çok sayıda yapılacak testler ile en son tutulan molekül ağırlığının saptanması gereklidir. Örneğin protein MWCO değeri, membranın MWCO sınırından 2 ile 5 katı daha fazladır. Bu nedenle protein ultrafiltrasyon membranları ile konsantre edilebilmektedir. MWCO değerindeki farklılık arttıkça, daha yüksek oranda protein elde edilebilmektedir.

UF ile ayırmada ayrılacak olan molekül büyüklüğü, ilk ayrılacak olan ürün büyüklüğüne uygun olmalıdır. Beslenen kimyasal maddelerin çeşitli faktörlerinin değişimi ile herhangi bir membranın MWCO’su değişebilmektedir. Bu faktörler molekül özellik, molekül konfigürasyon, operasyon şartları v.b. olabilir. Doğal büyük moleküller genellikle UF ile ayrılır.

Aynı zamanda UF da, membran kirlenmesi ve konsantrasyon polarizasyonu problemleri daha önemlidir. UF prosesler belki dializ ve mikrofiltrasyondan sonra en geniş biçimde kullanılmaktadır. UF membran prosesleri genellikle gıda, meşrubat, tekstil ve süt endüstrisinde kullanılmaktadır. Çeşitli gözenek çapına ait ultrafiltrasyon membranları Şekil 2.21.’de verilmiştir.



Şekil 2.21. Ultrafiltrasyon membranları

Ultrafiltrasyon membranları ile, mikrofiltrasyon membranları tarafından tutulan maddelere ilaveten boyutları çok küçük olan virüsler, hümi asitler, yüksek moleküler ağırlıklı proteinler ve organik maddeler sudan ayrılabilir. UF membranları, plak ve çerçeve, spiral sarımlı yada tübüler membran konfigürasyonları ile teşkil edilmektedir. Ayrıca, UF ile yüksek molekül ağırlıklı solvent ve tuzlarda tutulmaktadır. Genellikle ultrafiltrasyon, makromolekül içeren çözeltiler, solventlerden kolloidal maddelerin ve erimiş makromoleküler maddelerin ayrılmasında uygulanmaktadır.

Çevre Mühendisliği Uygulamalarında UF, 0,1 – 0,01 μm arasındaki partikülleri tutmak amacıyla kullanılır. Ultrafiltrasyon membranları tekstil endüstrisinde haşıl maddelerinin ve indigo boyar maddelerinin geri kazanımı, kağıt endüstrisinde ağartma atık sularının konsantre edilmesi, metal endüstrisinde yağ emülsiyonlarının konsantre edilmesi amacıyla kullanılmaktadır.

2.6.3. Nanofiltrasyon (NF)

Nanofiltrasyon membranları, bilhassa +2 değerlikli iyonların ve sudaki bakiye klorün organik maddelerle birleşip oluşturduğu THM (trihalometan) bileşiklerinin sudan ayrılmasında kullanılmaktadır. Sahip oldukları membran aralık boyutları sayesinde nanofiltrasyon üniteleri özellikle sudan sertlik giderilmesinde

uygulanmaktadır. Bunun yanında sudan pestisit ve herbisitlerin giderimi, ağır metallerin ayrılması ve renk gideriminde de nanofiltrasyon membranları kullanılmaktadır. Nanofiltrasyon membranları daha düşük basınç değerlerinde işletilebilmelerine rağmen iyon giderimini sağlayabilmeleri ile düşük yatırım maliyetleri açısından ters osmoz membranlarına üstünlük sağlanmaktadır. Çoğunlukla spiral sarımlı membran kofigürasyonu ile teşkil edilmektedir. Spiral sarımlı membranlar Şekil 2.22.'de verilmiştir.

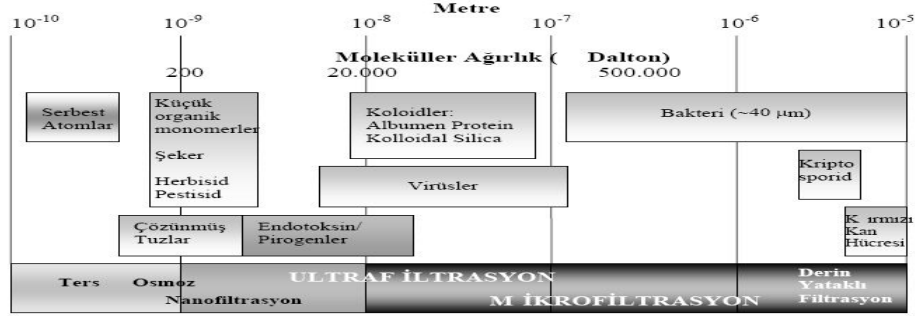


Şekil 2.22. Nanofiltrasyon membranları

MWCO değeri 500 civarında olan maddeleri sudan ayırma özellikleri sayesinde bilhassa DBP (disinfecton by product-dezenfeksiyon sonrası ürünleri) moleküllerinin sularda giderilmesi ve doğal organik maddelerin tutulmasında nanofiltrasyon üniteleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Diğer yönden DBP moleküllerinin %90 oranında sudan ayrılması ile aynı zamanda su dağıtım sistemlerinde daha az miktarda dezenfektan tüketilmesi de sağlanmaktadır. Ca, Mg ve SO gibi 2 değerlikli iyonlar, genel olarak Na ve Cl gibi tek değerlikli iyonlara göre daha etkili uzaklaştırılırlar.

Çevre mühendisliği uygulamalarında Nanofiltrasyon, özellikle sulu çözeltilerdeki organik maddelerin giderilmesi amacıyla kullanılır. Nanofiltrasyon membranlarının önemli ve farklı bir özellikleri iyon seçici olmalarıdır. Bir değerlikli iyonlar membrandan büyük oranda geçerler. Fakat sülfat ve karbonat gibi iki değerlikli iyonlar önemli oranda tutulurlar. Daha yoğun ve ince olmasına rağmen

daha az geçirgen olan membran tabakasının göstermiş olduğu direktten dolayı, MF ve UF'den daha yüksek basınçlarda işletilirler. NF membranları ile 10 – 20 bar arasında çalışılır. Şekil 2.23.'de Mikrofiltrasyon, Ultrafiltrasyon ve Nanofiltrasyon membran proseslerinin çalışma aralıkları verilmiştir.



Şekil 2.23. Membran proseslerinin çalışma aralıkları

2.6.4. Ters osmoz (RO)

Ters Osmoz membranları osmotik basınç prensibinden hareketle geliştirilmiştir. Yaşayan hücre duvarları yarı geçirgen membranlardır. Hücre zarı dışında bulunan yüksek miktarda su; zarın iki tarafındaki yoğunluğu ve basını eşitlemeye çalışır. Membranın yarı geçirgen doğal yapısı sayesinde suyun geçişi, çözülmüş minerallerin geçişine göre daha kolay olmaktadır. Az yoğun çözeltideki su hücre zarından süzülerek geçer ve konsantrasyon basınç dengesi sağlanana kadarmembrandan çok yoğun çözelti fazına geçer. Bu basınca suyun osmotik basıncı denir. Basınç, osmotik basıncı büyük olan konsantre solüsyona uygulandığı zaman suyun geçişi tersine döner ve ters osmoz basıncı uygulanmış olur.

Proseste membrana uygulanan basınç, faz değiştiren su miktarının yüksekliğine eşdeğerde osmotik basıncın ters yönde uygulanmasına eşit olmaktadır. Membranın suyu geçirmediği seçiciliği değişmemiştir. Sadece su akışının yönü değişmiştir. Böylece suyun çözülmüş minerallerden ayrıldığı membran teknolojisi ortaya çıkmıştır.

Ters osmoz membranları en küçük gözenek çapına sahip olduklarından, tıkanma olasılıkları daha yüksektir. Bu yüzden ters osmoz işlemi öncesi ön arıtma gerekmektedir. Ters osmoz ile suda bulunan tüm çözünmüş maddelerin giderilmesi hedeflendiği için RO, ile arıtılacak sularda önemli parametra şüphesiz iletkenlik ve TÇM değeridir. Bu değerler bize arıtılacak ham su hakkında net bilgiler vermektedir.

RO ünitelerinde kullanılan yarıgeçirgen membranlar asimetric yoğunlukta dizilmiş polimer tabakalarıdır. Bunlar çok yoğun ve ince film tabakasına sahiptir. ve daha büyük gözenekli tabakalarla da desteklenmiştir. Tuz geçişini engellemek ve pratikte yeterli su akış oranının sağlamak için kullanılan madde selüloz asetat olmuştur. ve halende kullanılmaktadır. Polimerler yalnız kullanılırlar veya ince film kompozit membran adıyla polisülfon ile birlikte kullanılırlar. RO membranları üretimi daha çok spiral sarımlı ya da boşluklu elyaf membran konfigürasyonları ile teşkil edilmektedir. İnce film kompozit ters osmoz membranı Şekil 2.24.'de verilmiştir.



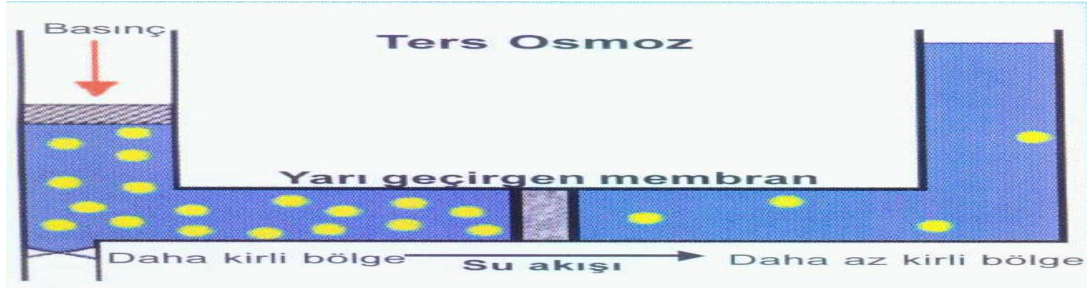
Şekil 2.24. Ters osmoz membranı

Yüksek kapasiteli RO sistemlerinde, membranlar sıralı olarak vessel adı verilen modüllere yerleştirilerek kullanılır. Genellikle her modül en az 1, en çok 6 membran içerir, sadece deniz suyu arıtımında kullanılan modüller 7 membrana kadar çıkabilmektedir. RO membran çapları 2,5 – 8 inch arasında değişiklik göstermektedir. Farklı çaplarda üretilen ters osmoz membranları Şekil 2.25.'de verilmiştir.



Şekil 2.25. Farklı çaplardaki ters osmoz membranı

Aynı zamanda bilinmelidir ki ters osmoz konsantre çözeltilere çözeltileri osmotik basıncından daha yüksek basınç uygulanmasıyla ortaya çıkan kütle transfer olayıdır. Aynı çözeltilere sahip çözeltilerin arasına yarı geçirgen yani çözülmüş maddeleri geçirmeyen membranlar kullanılır. Şekil 2.26.'da Ters Osmoz Çalışma Prensibi gösterilmiştir.



Şekil 2.26. Osmoz sisteminin çalışma prensibi

Tuz giderimi ile proses suyu eldesinde, deniz suyundan içme suyu eldesinde atıksularda sorun yaratan iyonların uzaklaştırılmasında kullanılan bir yöntemdir. Genelde bu membranlar asimetrik ve kompozit yapıdadır.

Son yıllarda gelişen teknolojiyle birlikte düşük basınçlı (7 bar) membranlarda kullanılmaktadır.

2.7. Membran Teknolojilerinin İşletme Parametreleri Açısından Değerlendirilmesi

Membran teknolojileri, kullanım alanları, arıtma kalitesi; kapasite, akı, uzaklaştırma yüzdesi ve geri kazanım oranı gibi farklı parametrelere göre seçilmektedir. Bunlarla ilgili dizayn bilgileri kullanılan membran teknolojisi,

işletme basınçları ve buna bağlı harcanan enerji ile yakından ilgilidir. Membranların işletme parametrelerine göre karşılaştırılması Çizelge2.7.'de verilmiştir.

Çizelge 2.7. Membran proseslerinin işletme parametrelerine göre sınıflandırılması

Malzeme	Uygulamalar	İletme Sıcaklığı (°C)	pH
Selüloz Asetat	RO, NF, UF, MF	50	3-7
Aromatik Poliamid	RO, NF, UF, MF	0-80	3-11
Florokarbon	RO, NF, UF, MF	130-50	1-14
Poliamidler	RO, NF, UF	40	2-8
Polisülfon	UF, MF,	80-100	1-13
Polivinilidin Florit	NF, UF, MF	130-150	1-13

Membranların üretim şekillerine ve işletme şartlarına göre karşılaştırılması Çizelge2.8.'de verilmiştir.

Çizelge2.8. Membranların üretim şekillerine ve işletme parametrelerine göre karşılaştırılması

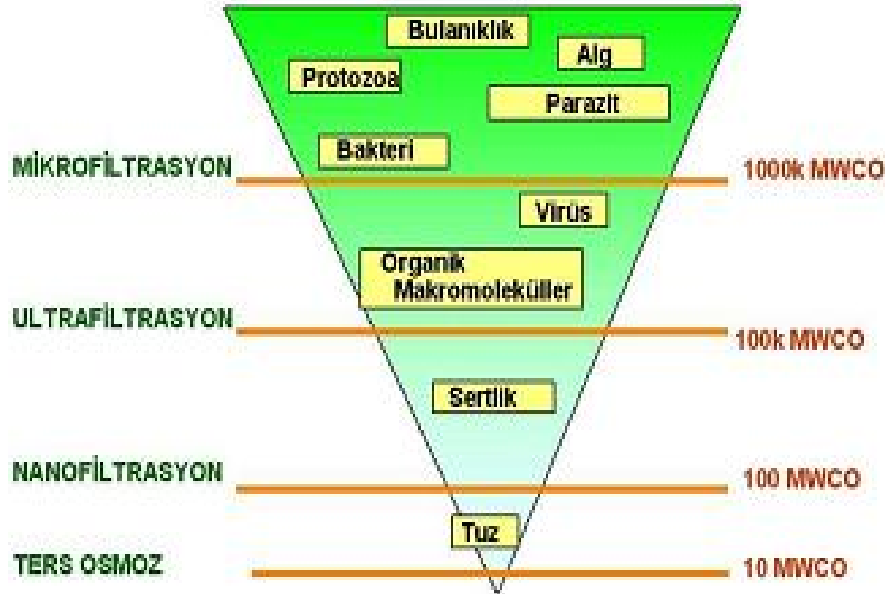
Membran Teknolojisi	İşletme Basıncı (bar)	Enerji Tüketimi (kWs/m ³)	Akı Değeri (l/m ² .gün)	Geri Kazanım Oranı (%)
Mikrofiltrasyon	1,00	0,4	405-1600	94-98
Ultrafiltrasyon	5,25	3	405-815	70-80
Nanofiltrasyon	8,75	5,3	200-815	80-85
Ters Osmoz	15,75	10,2	320-490	70-85

Membran proseslerin endüstriyel atıksu arıtımı ve geri kazanımından, yer altı ve deniz suyundan içme suyu edilmesine, proses suyu hazırlamadan hammadde geri kazanımına kadar yaygın bir kullanım alanı mevcuttur. Su ve atıksu arıtımında kullanılan membranların üretim şekillerine ve uygulama alanlarına göre karşılaştırılması Çizelge2.9.'da verilmiştir.

Çizelge 2.9. Membranların üretim şekillerine ve uygulama alanlarına göre karşılaştırılması

Membran Proses	Membran Tipi	Uygulanan Basınç Türü	Uygulamalar	Membran Kalınlığı
Mikrofiltrasyon	Simetrik ve Asimetrik mikroboşluklu	Hidrostatik basınç (<2 bar)	Partkül ayırımı, Steril filtrasyonu	10-150 µm
Ultrafiltrasyon	Asimetrik mikroboşluklu	Hidrostatik basınç (1-8 bar)	Makromoleküllerin ayırımı	0,1-1 µm
Nanofiltrasyon	Asimetrik	Hidrostatik basınç (10-30 bar)	Küçük organik bileşiklerin ve seçilmiş tuzların ayırımı	0,1-1 µm
Ters Osmoz	Asimetrik, ince filmlili kompozit	Hidrostatik basınç (10-100 bar)	Küçük moleküler ağırlıklı çözülmüş maddelerin ayırımı	0,1-1 µm

Günümüzde sağlık ve çıkış suyu kalitesi beklentilerin artmasıyla ve düşük maliyetli membranların geliştirilmesiyle membran teknolojileri zamanla klasik arıtma yöntemlerinin yerini almakta ve kullanım alanı daha da yaygınlaşmaktadır. Şekil 2.27.'de membran teknolojilerinin tutma ve ayırma aralıkları görülmektedir.



Şekil 2.27. Membranların Tutma ve Ayırma Aralıkları

2.8. Membran Karakteristikleri

Membran, performansına çalışma şartlarının kullanılan membran tipinin ve sistem tasarımının çok büyük etkisi vardır. Kullanılacak membran tipi belirlenirken göz önünde bulundurulması gereken birçok değişken vardır. Bunlar;

- ✓ Sıcaklığa dayanıklılık : Besleme suyundaki sıcaklık artışları membranın bozulmasına ve çabuk hidroliz olmasına sebep olur. Özellikle plastik malzemedeki yapılmış membranlar sıcaklıktan çok etkilenirler. Ters osmoz ultrafiltrasyona göre sıcaklığa karşı daha hassastır. Ve ters osmoz prosesinde sistem verimliliği açısından 25 °C sıcaklıkta değişir. En çok kullanılan membran türü seluloz asetat membran olup 35 -40 °C ye kadar dayanıklıdır seramik membranlar ise 800 °C ye kadar verimliliğinde düşme meydana gelmez.
- ✓ Kimyasal Uygunluk : Membran polimerleri kimyasal olarak çözültüye uygun ve dayanıklı olmalıdır. Çözelti içindeki kimyasal maddelere göre membranda performans düşüklüğü meydana gelir. Seluloz asetat özellikle klor karşı dayanıksızdır. Bu sebepten dolayı besleme suyunda klor olmamalıdır.
- ✓ Basınca dayanıklılık : Membran proseslerin işletilmesinde en önemli etken besleme suyu basıncıdır. Sıvı akışı basınçla doğru orantılıdır. Basınç ters osmoz proseslerinde türbülanslı akım oluşturmaktadır. Böylece membran üzerinde çökelti oluşması önlenerek membran veriminin düşmesi önlenmektedir. Her bir membran türü için ayrı basınçlar uygulanmaktadır. Düşük basınçtan yüksek basınca doğru membran prosesler(<2 bar), ultrafiltrasyon (1-8 bar), nanofiltrasyon (10-30 bar), ters osmoz (10 -100 bar) olarak sınıflandırılır. Yüksek basınç membranların yapısını bozmaktadır.
- ✓ Ph ya karşı dayanıklılık : pH membranların gerek performansları gerekse ömürleri açısından çok önemlidir. Membranlar için pH aralığı 3-8 dir. Polyamid malzemedeki yapılmış membranlar için pH önemlidir. Polyamid membranlar için pH aralığı 4-6 arasında değişir. Bu membranlar 4'den küçük 7'den büyük pH değerlerinde çok hızlı hidroliz olurlar. Asidik ve

bazık koşullarda hidroliz hızı çok yüksektir. Seluloz asetat membranlar da pH a karşı hassastır. Kullanılan pH aralığı 4-6 dır. Yüksek pH membranın çalışmasını olumsuz yönde etkiler.

- ✓ Mekanik kararlılık : Kırılğan membran yüzeyinin yüksek basınçlardan minimum şekilde etkilenmesi için, yüksek basınçların kullanıldığı membranların mekanik dayanıklılığında yüksek olması gerekir.
- ✓ Ekonomik Özellikler : Genel olarak membranlar yüksek geçirgenlik, iyi seçicilik kararlı işletme özelliklerine sahip olmalı ve düşük maliyet gerektirmelidir. Ekonomik özellikler membran seçiminde önemlidir.

2.9. Membranlarda Oluşan Kirlilikler ve Çözüm Yolları İncelenmesi

Membran kirliliğinin oluşturan materyal membran yüzeyinde ve bazen içerisinde birikir ve ürün akışında düzenli bir azalmaya neden olur. Akış hızındaki uzun süreli düşüş prosese büyük ölçüde zarar verir. Ayrıca daha sert bir temizleme işlemi gerektireceğinden membranın ömrünü azaltır. Proses öncesinde kolloidlerin ve partiküllerin çözeltiden uzaklaştırılması çok önemli bir önlemdir ve her zaman yapılmalıdır.

Kirlenme saf su kullanıldığı durumlarda bile gözlenmiştir. Kirlenmeyi en çok etkilediği görülen iki önemli özellik membranın fizikokimyasal yapısıyla yüzeyin gözenekliği ve morfolojisidir. Üç çeşit kirlenme vardır. Bunlar; kek tabakası oluşumu ve gözenek blokajı membran yüzeyindeki kirlenmeyi ifade eder. Kek tabakası oluşumunda biriken moleküller membran yüzeyine yığılırken, gözenek blokajında geri çevrilen moleküller por açıklıklarını tıkar. Gözenek içi kirlenme moleküllerin porların içerisinde birikmesiyle oluşur.

Genellikle kirlenmeye sebep olan kirleticilerin türünü 4 kategoride toplamak mümkündür. Bunlar; kabuk oluşumu, silt, bakteriler ve organik bileşiklerdir.

Kabuk Oluşumu

Kabuk membran yüzeyinde besleme suyundaki çözünmemiş metal tuzların çökmesiyle meydana gelir. Genellikle kabuk bağlayıcılığı yapan tuzlar, kalsiyum karbonat, kalsiyum sülfat, silika kompleksleri, baryum sülfat, stransiyum sülfattır. Suda bulunan tuzlar süzüntüde uzaklaştırıldığından besleme çözeltilisinde bulunan iyonların konsantrasyonu çözünürlük sınırını aşmıca dek artmaktadır. Daha sonra ise tuzlar membran yüzeyinde bir kabuk gibi çökelmektedir. Bir besleme suyunun kabuk meydana getirebilme eğilimi besleme suyunun bir analizinin yapılmasıyla ve tuzlu sudaki konsantrasyon faktörünün hesaplanmasıyla belirlenmektedir. Ürünün akış hızının besleme çözeltilisinin akış hızına oranı geri kazanım oranı olarak adlandırılmaktadır.

Konsantrasyon faktörünün 2'nin altında, geri kazanım oranının %50 olduğu ters osmoz tesislerinde kabuklaşma bir problem teşkil etmez. Ancak tuzlu su ters osmoz tesisleri %80-90 geri kazanım oranında işletilmektedir. Membranın tuzlu su tarafındaki tuz konsantrasyonu daha sonra çözünürlük sınırından uzaklaşabilir.

Silt

Silt membran yüzeyinde askıda kalan maddelerin toplanmasıyla meydana gelir. Silt oluşumunu meydana getiren başlıca kaynaklar ; organik kolloidler, demirin korozyonu ile meydana gelen ürünler, demir hidroksit çökmesi, algler ve daha küçük tanecikli maddelerdir. Silt ile besleme sularında meydana gelebilecek kirlenme olasılığının tahmin edebilmek için besleme suyunun silt yoğunluk indeksi kullanılmaktadır. (SDI) bu değerin 1 den küçük olması ise ters osmoz sisteminin kolloidal kirlenme meydana gelmeksizin birkaç yıl boyunca çalıştırılabileceği anlamına gelmektedir. SDI değerinin 3 den küçük olması ise ters osmoz sisteminin birkaç aylık temizleme ile çalıştırılabileceği anlamına gelmektedir. SDI değerinin 5 den büyük olması kabul edilemez. Ve besleme suyuna ilave bir ön muamele metodunun gerekli olduğunu göstermektedir. Maksimum kabul edilebilecek SDI değeri ayrıca membran modülü ile de değişmektedir. Örneğin Spiral sarımlı modüllerde genellikle SDI değerinin 5 den küçük olması gerekmektedir.

Biyokirlenme

Biyokirlenme membran yüzeyinde bakterilerin büyümesidir. Biyo kirlenmeye karşı membranın hassasiyeti membran bileşiminin güçlü bir fonksiyonudur. Selüloz asetat membranları bakteriler için iyi bir besin kaynağı olmakla beraber kontrolsüz bakteri saldırılarıyla membran birkaç hafta içerisinde tamamen tahrip edilebilir. Bu yüzden besleme suyu bu tür membranlar için mutlaka sterilize edilmelidir. Ayrıca poliamid hollow lifler bakteri saldırılarına karşı bir nebze olsun duyarlıdır, ama ince film kompozit membranlar genellikle çok dirençlidir. Bir bakteri yok edici ile bu tür membranların periyodik muamelesi genellikle biyolojik kirlenme ile kontrol edilir. Bu yüzden bakterilerin kontrolü selüloz asetat membranları, poliamid ve kompozit membranlar için gereklidir.

Organik Kirlenme

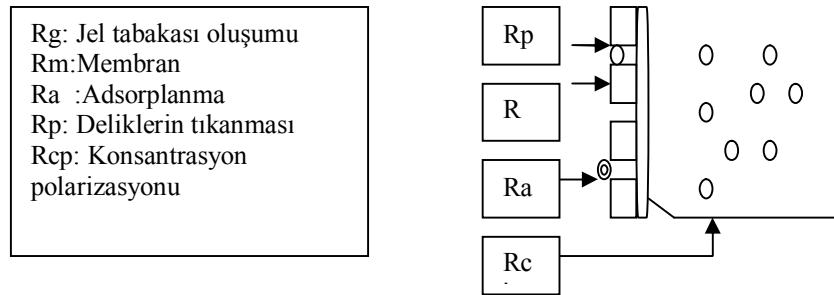
Organik kirlenme membran yüzeyine yağ veya gres gibi materyallerin bağlanmasıyla oluşur. Bu yüzden bu tür kirleticiler filtrasyon ya da karbon adsorbsiyon vasıtasıyla besleme sularından organik materyallerin uzaklaştırılması gerekmektedir. Böyle durumlarda besleme suyu ilk önce klor ile sterilize edilir ve pH'ı 5-6 ya getirilir. Bir polielektrolid madde askıda kalan maddeleri pıhtılaştırmak için ilave edilir ve daha sonra askıda kalan maddeler iki tane çok tabakalı filtre kullanılarak uzaklaştırılır. Bundan sonrada bir aktif karbon yatağının takiben sodyum bi sülfat ilavesiyle sudan klor uzaklaştırılır. İkinci ve son kez pH kontrolü yapılır ve 1-5 µm kartuş filtreler kullanılarak su filtre edilir. Kesinlikle böyle bir ön muamele işlemi pahalı ve tesisin işletim ve sermaye maliyetinin üçte birini oluşturur.

Polarizasyon ve tıkanma membran sisteminin ideal durumunda akıda azalmaya neden olarak bir düşüş meydana getirir. Özellikle makromoleküller ve partiküler maddeler, polarizasyon ve tıkanmaya sebep olur. Akıda düşüş meydana getiren polarizasyon ve tıkanma, membran yüzeyinde ilave bir bariyer oluşturarak membranın direncini artırmaktadır. İdeal bir durumda akışkana karşı oluşan tek direnç, R_m ile ifade edilen membran direncidir.

Membran, çözelti içindeki çözülmüş maddeleri geri çevirdiğinden, membran yakınında çözülmüş madde konsantrasyonunda artış meydana gelmektedir. Bu da konsantrasyon polarizasyonu direnci (R_{cp}) olarak adlandırılan ek bir dirence sebep olmaktadır. Zamanla membran kenarında meydana gelen konsantrasyon artışı daha da yükselmektedir. Bunun sonucu jel polarizasyonu (R_g) olarak adlandırılan bir direnç daha oluşmaktadır. Diğer bir direnç türü özellikle boşluklu membranlarda membran deliklerinin tıkanmasıyla oluşan direnç (R_p) türüdür. Son olarak oluşan bu direnç membran boşlukları üzerinde kirleticilerin adsorblanması ile oluşmaktadır. Aynı zamanda membran delikleri üzerinde konsantrasyon artışı boşluk çapının daralmasına da sebep olmaktadır. Bu da (R_a) ile gösterilmektedir.

Membranlar seçici geçirgen yapıya sahip olduklarından, besleme çözeltisi içindeki maddelerin (tuzların) membrandan geçişini engellerken, çözücü formundaki suyun membranın öbür tarafına geçmesine izin verirler. Böylece membranın bir tarafında yüksek konsantrasyonlu, diğer tarafında ise (süzüntü kısmı) çok düşük konsantrasyonlu akımlar oluşur.

Membran prosese verilen besleme akımı devam ettikçe membran tarafından tutulan maddeler, membran yüzeyinde birikerek yüksek konsantrasyon artışına sebep olurlar. Bu olay, membran yüzeyindeki tuzların konsantrasyonunun aşırı artışı anlamına gelen “konsantrasyon polarizasyonu” olarak adlandırılır. Bu durumda membran yüzeyindeki konsantrasyon, besleme akımındaki konsantrasyon değerinden yüksek olur. Bir süre sonra membran yüzeyindeki konsantrasyon birikmesi geri difüze olmaya başlar. Durum daha kararlı hal alır ve iki yöndeki difüzyon birbirine eşitlenir. Böylece, membran yüzeyinde oluşan konsantrasyon profili, sınır tabakası içinde gözlemlenir.



Şekil 2.28. Membran yüzeyinde oluşan tıkanma

Membran kirliliği, kirlenme zamanla membranlar arası akışın azalmasına neden olan bir olaydır. Kirlenmeye öncelikle konsantrasyon polarizasyonu neden olur. Konsantrasyon polarizasyonu moleküllerin membran yüzeyinde birikmesidir. Üç tip kirlenme vardır. Bunlar kek tabakası oluşumu, gözeneklerin tıkanması ve gözenek içinin kirlenmesidir. Kek tabakası oluşumu ve gözeneklerin tıkanması membranın yüzeyindeki kirlenmedir.

Membranda tıkanma, besleme suyunda bulunan çözünmüş maddeler,kolloidler ve süspansiyon maddelerin membran yüzeyinde birikmesi sonucu tıkanma meydana gelir ve membran performansı düşer.

Membranda tıkanmanın artması durumunda besleme akımı membrana verilmeden önce ön arıtmadan geçirilmesi gerekir. Bu amaçla membran girişinde 5-10 df büyüklüğündeki partikülleri tutan kartuş filtreleri kullanılmalıdır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Endüstriyel Atık Su Arıtımı

Endüstriyel atıksuların en önemli iki özelliği yüksek organik yükler ve arıtmaya dirençli bileşiklerdir. Bu yüzden geleneksel arıtım tekniklerinin yanında MBR gibi alternatif arıtım teknolojilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Aerobik membran biyoreaktör sistemleri, endüstriyel atıksuların arıtılmasında anaerobik arıtımla birlikte kullanılan bir arıtım teknolojisi haline gelmiştir.

Genel olarak yüksek miktarda KOİ değerine sahip atıksular, anaerobik sistemler ile arıtıldığından dolayı, endüstriyel atıksularda MBR teknolojisi de bu proses etrafında geliştirilmiştir. İlk olarak Degremont firması seramik ultrafiltrasyon membran ekipmanı içeren bir aerobik biyoreaktör tasarlayarak, Fransa'daki bir kozmetik endüstrisi atıksularının arıtılmasında uygulamaya başlamıştır. Bu arıtım sisteminde, çıkış suyu kalitesinin doğrudan kullanıma uygun nitelikte olduğu gözlenmiştir. Gıda endüstrisi proseslerinde oldukça fazla miktarlarda su tüketilmekte ve yüksek organik madde içeriğine sahip atıksu oluşmaktadır.

Endüstrinin temel kirletici yüklerini ise yüksek BOİ₅ ve KOİ yanında, toplam askıda katı madde, yağ-gres ve nütrientler oluşturmaktadır. İngiltere'de bir nişasta işleme prosesinde, anaerobik arıtımla desteklenen bir MBR sistemi işleme alınmıştır. Güney Afrika'da geliştirilen ve Anaerobik Çürütme-Ultrafiltrasyon (ADUF) olarak adlandırılan sistem, bir süt işleme tesisinde uygulamaya alınmıştır. Bu sistemde KOİ %97 oranında arıtılmış ve koloidal maddeler etkili bir şekilde uzaklaştırılmıştır.

Japonya'da gerçekleştirilen bir çalışmaya göre, alkol işleme proseslerinden kaynaklanan atıksuların pilot ölçekli bir anaerobik MBR sisteminde arıtılması sonucu %98 KOİ giderimi (7 kg/m³-gün KOİ yüklemesinde) elde edilmiştir. Ayrıca, bu çalışmada düşük miktarda biyokütle ve yüksek miktarda metan gazı elde edilmiştir.

Amerika’da bir otomobil fabrikasında sentetik metal sıvıları ve yüksek miktarda yağ ve gres içeren, 116 m³/gün debiye ve 6,3 kg KOİ/m³.gün yüke sahip atıksular, aerobik MBR sistemi ile arıtılmıştır. Sonuç olarak %94 KOİ arıtımı elde edilmiş ve yağ-gres içeriğinde önemli oranda düşüş sağlanmıştır.

3.2. Tekstil Endüstrisi Atıksuları ile Yapılan Çalışmalar

Tekstil Endüstrisi için yapılan bir çalışmada tekstil endüstrisi atıksu arıtma tesisi çıkışından alınan arıtılmış atıksuların arıtılmasında, ters ozmoz ve nanofiltrasyon öncesinde ön arıtma olarak mikrofiltrasyon membranları planlanmış ve bir seri pilot ölçekli deneysel çalışma yapılmıştır. MF öncesinde verimi artırmak için 50 mg/L alum ilavesi yapılmıştır. % 70 geri kazanım oranıyla, KOİ’ de yaklaşık % 50, AKM’ de % 84 ve renkte % 60 giderim verimi elde etmişlerdir. Membranda oluşan konsantre akımı, ozonlama ile arıtılarak, arıtma tesisine geri verilmiş, bu şekilde tam bir geri kazanım sağlanmıştır.

Bir halı fabrikasına ait baskı ve asit boyama atıksularının membranprosesleri ile arıtımını ve geri kazanımını araştırılmıştır. Baskı boyama atıksuları ilk olarak ön-arıtmaya tabi tutulmuş, alum ile kimyasal çöktürme işleminden geçirilmiştir. Daha sonra bu atıksuyun arıtımı için NF membranları ve moleküler ayırma sınırı 1000-50000 Da arasında değişen UF membranları denenmiştir. Renk ve bulanıklıkta bütün membranlarda % 90’ın üzerinde giderim sağlanmıştır. NF membranı ile % 99,5, UF membranı ile % 25 KOİ giderim verimleri elde edilmiştir.

Atıksuyun saf suya göre akı azalması NF prosesinde % 23 iken UF’de % 11-35 arasında değişmiştir. Asit boyama atıksuları için uygulanan NF prosesinde baskı boyama atıksuyu ile elde edilen yüksek giderimlere ulaşamamıştır. Renkte % 100, bulanıklıkta % 78 giderim sağlanmakla birlikte; KOİ giderimi % 59’da kalmıştır. Atıksuyun saf suya göre akı azalması ise % 18 olarak gözlenmiştir.

Elde edilen süzüntü suyuna ikinci ve üçüncü kademe NF işlemleri uygulanmış ve % 94 KOİ giderimi sağlanmıştır. Uygulama açısından daha pratik çözüm arayışı

ile atıksuyun 4,73 olan pH değerini 7,2' e ayarladıktan sonra tek aşamalı NF ile % 97 KOİ giderim verimine ulaşılmıştır. Bu çalışmada elde edilen verilerle pH'ın filtrasyon performansını etkileyen önemli bir parametre olduğunu belirtmişlerdir.

UF membranlarını kullanarak sentetik boyar maddeler ve gerçek tekstil boyahane atıksuları üzerine çapraz akış hızının etkisi incelenmiştir. Yapılan çalışma sonuçlarına göre çapraz hız arttıkça akı ve giderim verimi artmıştır.

Düşük çapraz hızlarda konsantrasyon polarizasyonun etkili olduğunu, yani membran üzerindeki madde artışının daha fazla olduğunu belirtmişlerdir. Yüksek molekül ağırlıklı boyaların giderme verimi düşük molekül ağırlıklı boyaların giderme veriminden daha yüksek gerçekleşmiştir. Boya banyolarında alınan gerçek tekstil endüstrisi atıksuları ile 200 saat boyunca yapılan çalışmalarda, akı başlangıçta azalma eğilimi gösterirken sonraları sabit kalmıştır. Akı 0,6 - 1 m³/m².gün arasında değişmiştir. KOİ ve toplam organik karbon (TOK) giderim verimleri sırasıyla % 75 - 85 ve % 50 - 60 aralığında olmuştur. Büyük ölçüde renk giderme verimi elde edilirken, iletkenlik giderme verimi % 10-20 aralığında gerçekleşmiştir.

Pilot ölçekli NF ile yünlü tekstil endüstrisi boyahane atıksularının arıtımı konusunda çalışılmıştır. Deneylede dengeleme havuzundan alınan atıksular ile çalışılmıştır. Deney süresince membranda herhangi bir tıkanma gözlemlenmemiştir. KOİ, renk ve iletkenlik giderim verimleri % 97 oranında olmuştur. Bu suyun tesiste tekrar kullanılabilceğini belirtmişlerdir.

Yapılan çalışmalarda bir tekstil endüstrisi atıksuyunun arıtımı için için NF membranlarını denenmiştir. Atıksu boyahane çıkışından alınmıştır ve boya karışımı reaktif siyah boya ve reaktif kırmızı boyayı içermektedir. Denemelerde MWCO'u 400 olan organik bir membran kullanılmıştır. Boyalarda % 94-92 arasında tutma oranı sağlamışlardır. KOİ'de ise % 94 giderim sağlamışlardır. Bu çalışmayla NF teknolojisinin süzütüden boyayı uzaklaştırdığı için KOİ gideriminde de etkili bir teknoloji olduğunu belirtmişlerdir.

3.2.1. Membranla çalışma düzeneği

Tekstil endüstrisi atıksuyu kullanılarak yapılan deneyler aşağıdaki şekilde gerçekleştirilmiştir.

- 5 L atıksu numunesi ilk olarak 90 dakika mikrofiltrasyon membranından geçirilmiştir. Basınç 2 barda sabit tutulmuştur.
- 3,5 L MF süzütüsü NF membranına verilmiş ve deney 12 bar basınçta yapılmıştır. Çalışma 90 dakika sürmüştür.
- Daha sonraki adımda 3,5 L atıksu numunesi direk NF membranından geçirilmiştir. Deney 12 bar basınçta yapılmış ve 90 dakika devam etmiştir. Çalışma süresince süzütü suyundan anlık numuneler alınarak renk ve iletkenlik değişimi takip edilmiştir. Ayrıca toplam süzütülerde renk, iletkenlik, KOİ, AKM ve pH ölçümleri yapılmıştır.

3.2.2. Tekstilendüstrisi atıksuları ile yapılan deneysel çalışmalarda kullanılan membranların özellikleri

Çizelge3.1 Nanofiltrasyon membranı FM NP010'un teknik özellikleri

Membran Malzemesi	Hidrofilik polietersülfon
Saf Su Akısı	* > 200 L/m ² h
pH Aralığı	0-14
Maksimum. Sıcaklık	95 0C

Çizelge3.2. Mikrofiltrasyon membranı FM MP005P'in teknik özellikleri

Membran Malzemesi	Hidrofilik polietersülfon
Saf Su Akısı	* > 800 L/m ² h
pH Aralığı	0-14
Por Büyüklüğü	0,05 µm
Maksimum. Sıcaklık	95 0C

3.3. İlaç Endüstrisi Atıksuları ile Yapılan Çalışmalar

Klindamisin ayırması ve klindamisin fermantasyonu atıksularından geri kazanım için NF membranları üzerine deneyler yapılmıştır. Atıksuları yüksek konsantrasyonda renk, tuz, ve antibiyotik içermektedir. Atıksudaki KOİ değerleri 10.000 - 80.000 mg/L arasında değişirken, pH ve sıcaklık değerleri de salınım göstermektedir. Bu tip atıksulardaki antibiyotik biyolojik arıtmadaki bakterilerin gelişimini engellediğinden, atıksuyu konvansiyonel yöntemlerle arıtmak çoğunlukla mümkün olamamaktadır. Bu sebeple, klindamisini atıksudan ayırmak için 4 farklı tabaka tipi NF membranıyla farklı dinamik işletme şartlarında testler yapmışlardır. İşletme basıncı ve çözelti konsantrasyonunun membran performansı üzerine oldukça büyük etkisi olduğunu ancak akı değerlerinin membran performansı üzerine daha az etkisi olduğunu belirtmişlerdir. 60 saatlik işletmenin ardından klindamisin atıksuyu 266 L'den 26 L'ye, klindamisin 220 mg/L'den 1940 mg/L'ye konsantre edilmiştir.

Bu değer yeniden kullanım için gerekli olan ihtiyacı karşılamaktadır. KOİ değerlerinde ise % 60' ın üzerinde giderim sağlanmıştır. Bu çalışmada besleme konsantrasyondaki artış bütün membranların akılarını, KOİ ve klindamisin tutma oranlarını düşürmüştür.

RO ve UF sistemlerini kullanarak oksitetrasiklin (OTC) atıksuyunun arıtımını araştırılmıştır. RO sonrasında süzüntüdeki KOİ 10.000 mg/L'den 200 mg/L'ye düşürülmüştür. Aynı zamanda OTC konsantrasyonu 1000 mg/L'den 80 mg/L'nin altına indirilmiştir. Konsantredeki OTC konsantrasyonu 3000-4000 mg/L olmuştur. Yüksek konsantrasyonlu büyük biyopolimerlerin OTC molekülleri ile etkileşiminden dolayı OTC, RO'nun konsantresinden konvansiyonel kristalizasyon işlemleriyle başarılı şekilde geri kazanılamamıştır. UF membranlarıyla yapılan ek arıtma işlemlerinden sonra OTC kristalizasyonu ve RO'nun konsantresinden geri kazanımı % 60' dan daha yüksek oranda gerçekleşmiştir.

Yapılan çalışmalar, OTC atıksuyundaki büyük moleküllü biyopolimerlerin polisakkaritler olduğunu göstermiştir. Polisakkaritler, OTC kristallerinin büyümesini

engellemekte yada OTC molekülleri ile birlikte çökmektedir. Büyük biyopolimerlerin UF ile ayrılmasıyla OTC kristalizasyonu için gerekli şartların iyileştirilmesi sağlanmıştır. Bu sebeple RO-UF membran kombinasyonu, antibiyotik atıksularının arıtılması ve antibiyotiklerin geri kazanımı için alternatif bir yol olduğunu belirtmişlerdir.

3.3.1. İlaç endüstrisi atıksuları ile yapılan deneysel çalışmalarda kullanılan membranların özellikleri

Çizelge3.3. Mikrofiltrasyon membranı FM MP005P'in teknik özellikleri

Membran Malzemesi	Hidrofilik polietersülfon
Saf Su Akısı	* > 800 L/m ² h
pH Aralığı	0-14
Por Büyüklüğü	0,05 µm
Maksimum. Sıcaklık	95 °C

Test şartları: 3 bar, 20 0C, hareketli hücre (700 rpm)

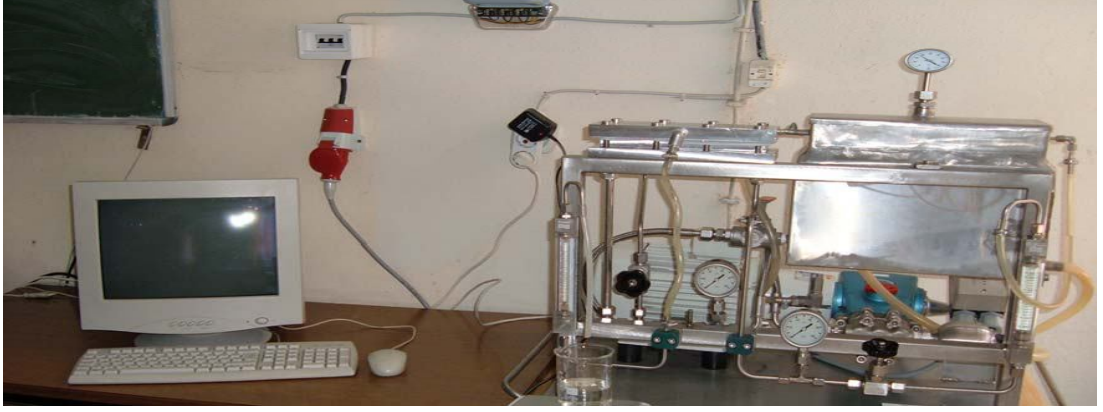
Çizelge3.4. Ultrafiltrasyon membranı FM UP005'in teknik özellikleri

Membran Malzemesi	Hidrofilik polietersülfon
Saf Su Akısı	* > 30 L/m ² h
pH Aralığı	0-14
Maksimum. Sıcaklık	95 °C

Test şartları: 3 bar, 20 0C, hareketli hücre (700 rpm)

Çizelge3.5. Nanofiltrasyon membranı FM NP010'un teknik özellikleri

Membran Malzemesi	Hidrofilik polietersülfon
Saf Su Akısı	* > 200 L/m ² h
pH Aralığı	0-14
Maksimum. Sıcaklık	95 °C



Şekil 3.1 : Membransistemi

Membran tesisinden basınç altında iki adet çıkış akımı mevcuttur. Membrandan geçen akım süzüntü (permeat), membrandan geçemeyen akım ise konsantre (retentat) olarak adlandırılmaktadır. Deneyler çapraz akış düzeninde gerçekleştirilmiş ve süzüntü ayrı bir kaptan toplanırken, konsantre besleme tankına geri devir ettirilmiştir.

3.3.2. Membranla çalışma düzeneği

Sistem, yüksek basınç pompası (60 bar), membran hücresi, membrana girişte ve çıkışta olmak üzere iki adet manometre, permeat ve konsantre miktarının ölçüldüğü iki adet debimetre, soğutma sistemi ve 10 L'lik besleme tankı ünitelerinden meydana gelmektedir. Konsantre besleme tankına geri devrettirilebilmektedir.

Sistem el ile kontrol edilebilmektedir. Basınç ayar vanası sistem ilk çalıştırıldığında açık durumda bırakılarak basıncın sıfır olması sağlanmaktadır. Daha sonra vana kısılarak membran uygulanan basınç artırılmakta ve basınç istenen değere geldiğinde vana o konumda bırakılmaktadır. Sistemde kullanılan plaka tipi membranların uzunluğu 200 mm, genişliği 40 mm olup, etkili membran alanı 80 cm²'dir.

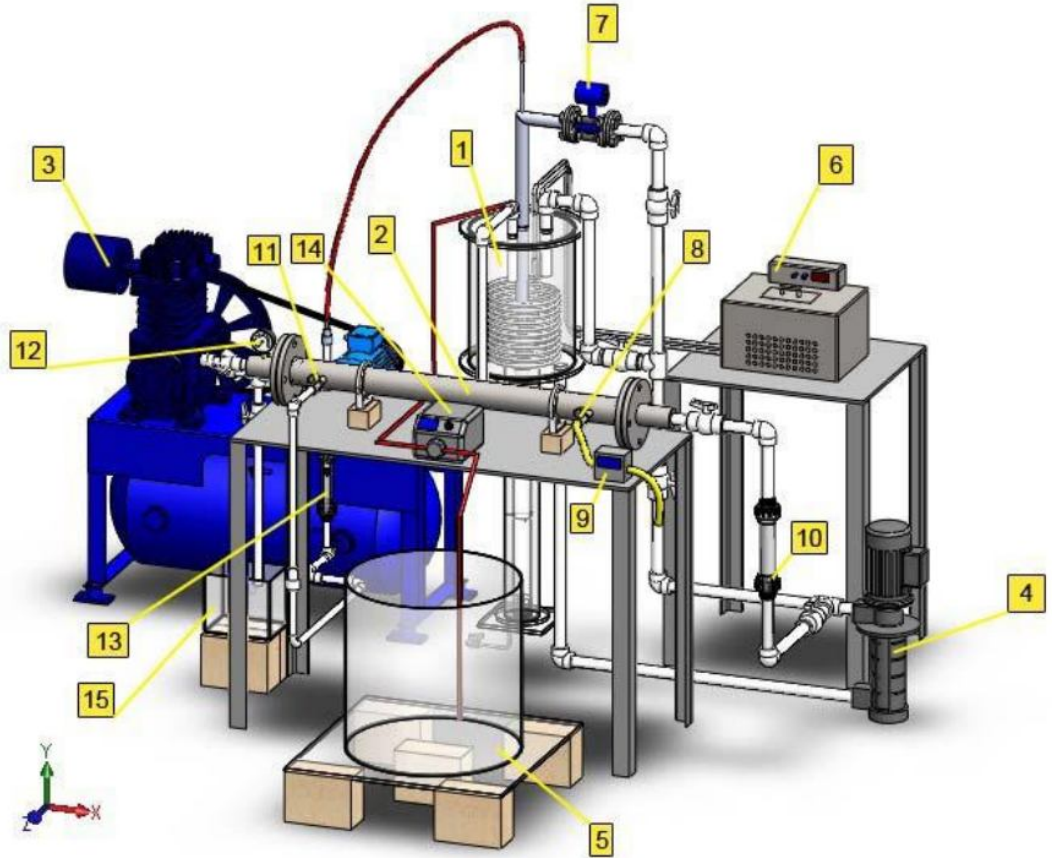
İlaç endüstrisi atıksuyu kullanılarak yapılan deneyler aşağıdaki şekilde gerçekleştirilmiştir.

- 8,5 L atıksu numunesi ilk olarak mikrofiltrasyon membranından geçirilmiştir. Basınç 2 barda sabit tutulmuş, çalışma toplam 150 dakika sürmüştür.
- Mikrofiltrasyon membranından geçirilen atıksu ilk başta ultrafiltrasyon membranından geçirilmiştir. Daha sonra aynı çalışma nanofiltrasyon membranı ile yapılmıştır.
- 5,5 L mikrofiltrasyon süzütüsü, ultrafiltrasyon membranına verilmiştir ve deney 6 bar basınçta yapılmıştır. Çalışma 210 dakika sürmüştür.
- 5,5 L MF süzütüsü nanofiltrasyon membranına verilmiştir ve deney 12 bar basınçta yapılmıştır. Çalışma 210 dakika devam etmiştir.

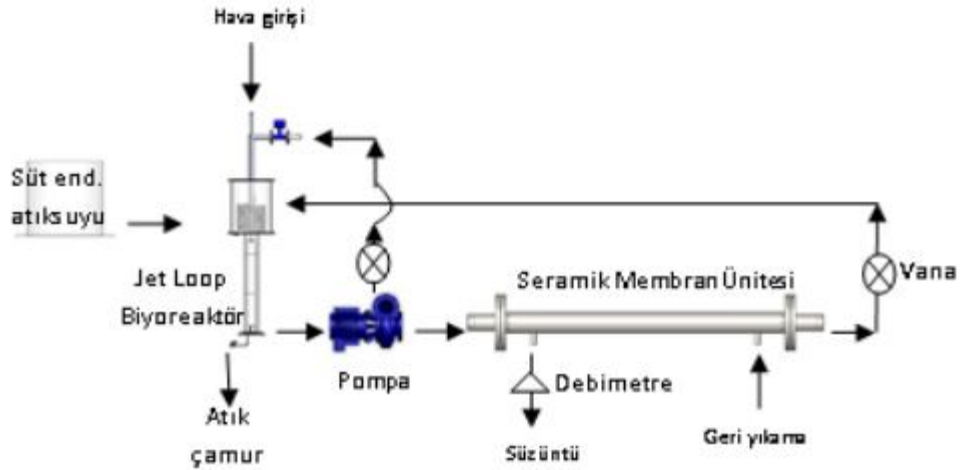
3.4. Süt Endüstrisi Atıksularının Arıtımında Jet- Loop Membran Performansının İncelenmesi

Bu çalışmada süt endüstrisi atıksularının konvansiyonel sistemler yerine daha gelişmiş, modern ve kompakt sistemler ile arıtılması gerektiği düşünülmüştür. Bu yüzden Jet – loop reaktörlerin (JLR), kullanılmıştır. JLR ve silindirik membran modülünün olduğu filtrasyon sisteminin şematik görünümü Şekil 3.2.'de, blok diyagramı ise Şekil 3.3.' de verilmiştir. Jet loop biyoreaktör 18 L sıvı hacmine sahip olacak şekilde ayarlanmıştır. Jet loop biyoreaktör şeffaf akrilik malzemenen silindirik yapıda imal edilmiştir.

Biyoreaktörün üst kısmına gaz alma tankı denir ve bunun içerisinde reaktörün ısınısını sabit tutabilmek için bir soğutucu yerleştirilmiştir. Jet loop reaktör sisteminde çözünmüş oksijen, pH, sıcaklık, sıvı sirkülasyon hızı, membran basıncı ve membran akısı kontrol edilmesi düşünülen parametreler olarak seçilmiştir. Sistemde sürekli olarak pH, sıcaklık, ve ÇO ölçümleri yapılarak, pH=7-7,5 aralığında, sıcaklık 22 ⁰C'de ve ÇO = 2.3 mg/L değerinin üstünde dengelenmeye çalışılmıştır. Sistemin blok diyagramı Şekil3.3.'de gösterilmiştir.



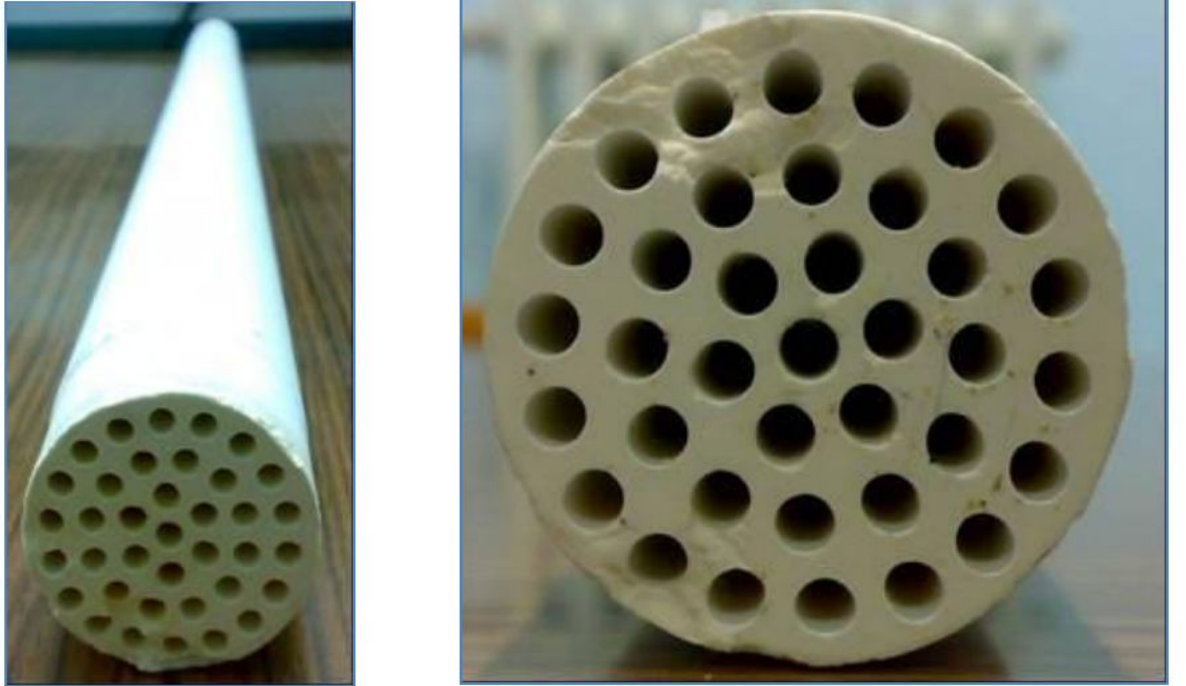
Şekil 3.2. Denemelerde kullanılan jet loop membran biyoreaktörünün şematik görünümü (1- Jet Loop Biyoreaktör, 2- Seramik Membran Biyoreaktör, 3- Hava Kompresörü, 4- Sirkulasyon Pompası, 5- Atıksu Besleme Tankı, 7- Dijital Debimetre, 8- Arıtılmış Su Çıkışı, 9- Dijital Debimetre, 10- Membran Girişi Analog Debimetre, 11-Geri Yıkama Vanası, 12- Manometre, 13- Aanalog Hava Debimetresi, 14- Persitaltik Atıksu Besleme Pompası, 15- Geri Yıkama Çamur Toplama Tankı)



Şekil 3.3. Denemelerde kullanılan jet loop membran biyoreaktörün blok diyagram

3.4.1. Kullanılan membran ünitesi

Deneylerde 0.24 m² yüzey alanına sahip silindirik seramik membran modülü kullanılmıştır. Membranın modülü 400 mm dış çapa ve 37 kanala sahiptir. (Şekil 2.3). Paslanmaz çelik hauzing içersine yerleştirilmiş olan seramik membran por çapları 0.1-0.05 µm ve uzunluğu 1 m'dir Groundfos marka (1.7 kW gücünde) paslanmaz çelik kafalı sirkülasyon pompası ile hem reaktörde jet oluşturulurken; hem de membran ünitesi için gerekli çarpaz akış hızı ve membran basıncı üretilmiştir. Çarpaz akış hızları su debisinin, suyun geçtiği dik kesit alanına bölünmesiyle hesaplanmıştır. İstenilen çarpaz akış hızları Şekil 3.2.'de gösterilen membran ünitesinin sirkülasyon hatları üzerine yerleştirilmiş vanalar ile ayarlanmıştır.



Şekil 3.4. Denemelerde kullanılan seramik membran modülü

Kullanılan seramik membran modülünün temizlenme durumu önerilere eklenecek Süt endüstrisi atıksuyu üzerinde çeşitli parametreler ölçülmüştür, Örneğin ;

Toplam KOİ filtreden süzülmeden ölçülmüş, Çözünmüş KOİ için numuneler membrandan (0.45 µm por çapına sahip glass-fibre filtre) süzildükten sonra analiz yapılması sonucu tespit edilmiştir. Askıda Katı madde ve MLSS konsantrasyonunun ölçülmesi glass-fiber filtreler kullanılarak vakumlamak suretiyle hesaplamıştır.

Bu parametreler dışında süt endüstri atıksuyunda, BOİ, Yağ ve Gres, pH, ÇO ve iletkenlik, Toplam Azot, Fosfor, NH^{+4} analizleri yapılmıştır. Membranda ise Sirkulasyon pompası farklı debilerde çalıştırılarak membranın üzerindeki teğetsel hızın akı üzerindeki etkisi incelenmiş aynı zamanda bir membran filtrasyon sisteminde ölçülmesi gereken en önemli parametre olan membran akısının ölçümü için bilgisayar bağlantılı hassas teraziden ve elektromanyetik debimetreden yararlanılmıştır.

3.5. Çöp Sızıntı Sularında Membran Kullanımı

Pilot tesis çalışmaları, çöp sızıntı suyunun nanofiltrasyon ile arıtılarak alıcı ortam deşarj standartlarına indirilebilme seviyesinin araştırılması için gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneylerde genellikle KOİ, amonyak azotu ve toplam azot ölçülmüştür. Ayrıca iletkenlik, sıcaklık, pH, giriş basıncı, çıkış basıncı, TMB, giriş debisi, konsantre debisi ve süzüntü debisi değerleride ölçülmüştür. Ham çöp sızıntı suyu ilk önce kireç ile kimyasal çöktürmeye tabi tutulmakta daha sonra pH'sı yükseltilerek amonyak ayırma havuzunda amonyak uçurulmaktadır. Amonyak uçurma havuzundan çıkan sızıntı suyu pilot ölçekli MBR ünitesine ve buradan da Nanofiltrasyon pilot tesisi ünitesine geçmektedir.

3.5.1. Kullanılan membran ünitesi

Pilot tesiste, çöp sızıntı suyu arıtımında ince film kapiler nanofiltrasyon membranları kullanılmıştır. Çöp sızıntı suyu arıtımında ince film kapiler nanofiltrasyon membranları kullanılmıştır. Şekil 5.8'depilot tesiste kullanılan kapiler nanofiltrasyon membranları görülmektedir. Pilot tesiste 1,5 mm çapında borucuklardan oluşan ince film kompozit kapiler nanofiltrasyon membranları

kullanılmıştır. Bu tip membranlar genel olarak endüstriyel atıksular, Yüzeysel ve yeraltı sularından proses ve içme suyu üretimi için kullanılmaktadır.



Şekil 3.5. Kapiler membran boruları

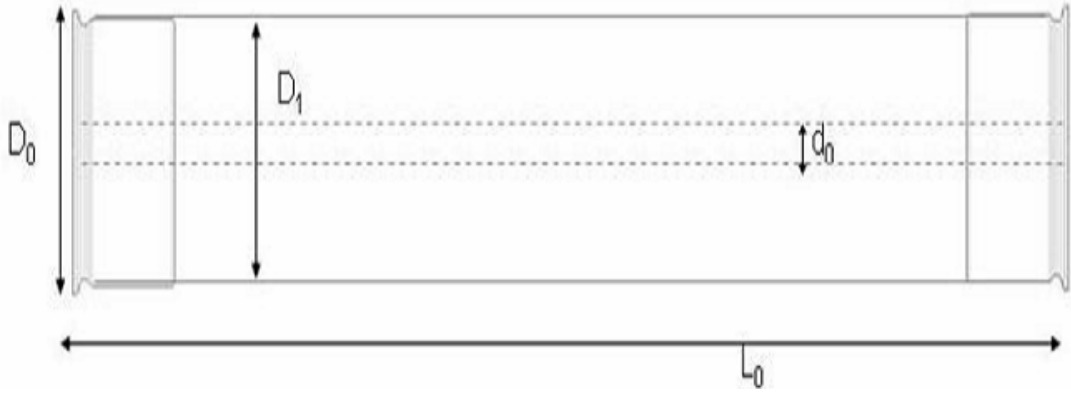
Nanofiltrasyon membranının performans dataları şunlardır; Temiz 25 °C’de su için akı miktarı 16 l/m².h.100 kPa’dır. 25 °C’de %0,35 NaCl içeren su için başlangıç akısı 13 l/m².h.100 kPa’dır. 25 °C’ de %0,5 MgSO₄ içeren su için ilk başlangıç akısı 12 l/m².h.100 kPa’dır. Maksimum TMP 700 KPa’dır pH aralığı 25 °C için 4 ile 10 arasındadır. Sıcaklık aralığı 1-40 °C arasındadır. Membranların temizlenme veya işletme sırasında pH, konsantrasyon, basınç veya sıcaklık gibi parametrelerin herhangi bir kombinasyonda maksimum limit sınırların üzerine olması membranların kullanım önemli ölçüde etkileyecektir.

Pilot tesiste kullanılan membran modülü Şekil 3.6.’da görülmektedir. Bu membran modülü PSU malzemesinden yapılmıştır. Kelepçeler paslanmaz çelik olup montajı gayet kolay ve basittir.



Şekil 3.6. Kullanılan membran modülü

Pilot tesiste kullanılan modüllerin ölçüleri Şekil 3.6 ve Çizelge 3.7.'de görülmektedir.



Şekil 3.7. Membran modülü ölçüleri

Deneylerde KOİ, NH₄-N ve toplam azot deneyleri yapılmıştır. Deneyler Standart metodlara uygun olarak spektrofotometrik yöntem ile yapılmıştır. Ayrıca giriş basıncı, çıkış basıncı, TMB, giriş debisi, çıkış basıncı ile iletkenlik, sıcaklık ve p H değerleri ölçülmüştür.

Çizelge 3.6. Kullanılan nanofiltrasyon membranı modülü ölçüleri

Modül Tipi	Hidrolik Membran Çapı	Membran Alanı	Uzunluğu	Süzüntü Toplama İç Çapı do	Besleme Bağlantısı Do	Modül Çapı D1
	mm	m ²	mm	mm	mm	mm
S-30	1,5	3,6	1047	16,3	119	100

3.6. Ekmek Mayası Üretim Atıksuyundan Anaerobik Membran Biyoreaktörler ile Biyohidrojen Üretimi

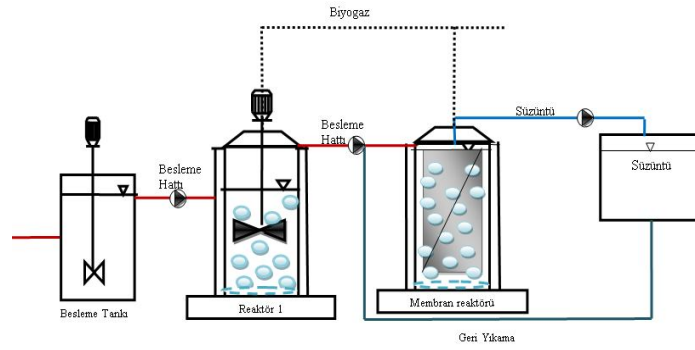
Hidrojen tüm yakıtlar üzerinde en yüksek enerji içeriğine sahip olup temiz ve çevreyi kirletmeyen yakıt olarak giderek önem kazanmaktadır. Bu projedeki amaç ekmek mayası üretim atıksuyundan anaerobik membran biyoreaktör teknolojisi kullanılarak en yüksek biyohidrojen üretiminin araştırılması amaçlanmıştır.

Sistem sürekli olarak maya endüstrisi atıksuyu ile beslenmiştir. Nötr Ph değimi sağlanmıştır. Sistem verimi için reaktör girişi, 1.reaktör girişi ve reaktör çıkışı olmak üzere KOİ ve çözülmüş KOİ ölçülmektedir. Ayrıca 1. ve 2. reaktör içerisindeki mikroorganizma konsantrasyonunu incelemek amacıyla (AKM) ve (UAKM) ölçümleri yapılmaktadır.

Membranlardaki basınç değişimine bağlı olarak geri yıkama yapılmakta ve sisteme belirli periyotlarda azot gazı verilmiştir. Böylece membranlarda karşılaşılabilecek tıkanma probleminin gecikmesi istenmektedir.

3.6.1. Kullanılan membran ünitesi

Araştırmalar için laboratuvar ortamında fermentör ve MBR reaktörleri olmak üzere ardışık iki kademeli sistem kurulmuştur. Sistemde kullanılan reaktörlerin etkili hacmi 5 L'dir. Sistem termofilik sıcaklıkta (55 °C) de işletilmektedir. İkinci reaktörde yüzey alanı 0,0053 m² olan 0,2 mikron gözenek çapına sahip boşluklu lif yapıda 3 adet materyali polipropilen olan membranlar kullanılmıştır. Şekil 3.8.'de sistemin akım şeması verilmektedir.



Şekil 3.8. Anaerobik membran biyoreaktör sisteminin akım şeması

3.7. Kağıt ve Petrokimya Endüstrisinde Oluşan Fenolün Membranla Giderimi

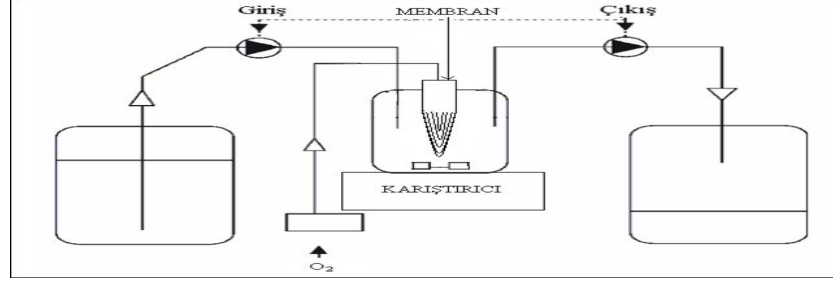
Fenolün toksiditesi yüksektir. Bu yüzden mikroorganizmaları inhibe edebilmektedir. Aynı zamanda fenol, insanoğlunda karaciğer, böbrek hasarlarına ve kalp sorunlarına yol açabilmektedir. Bu çalışmada Oksijene dayalı membran biyofilm reaktör sistemi ile nitrifikasyon ve denitrifikasyon yoluyla toplam azot ve KOİ giderimleri hesaplanmaya çalışılmıştır.

Sabit bir Oksijen basıncı, fenol başlangıç konsantrasyonu ve hidrolitik bekleme süresi ile reaktör işletilerek sistem, fenol ve KOİ giderim verimleri yönünden incelenmiştir. Daha sonra fenol konsantrasyonu 5 mg/L olacak şekilde reaktöre besleme yapılarak deneysel çalışmalara başlanmıştır. İşletme şartları için hidrolitik bekleme süresi 10 saat ve oksijen basınç seviyesi 4psi olarak seçilmiştir. Reaktörden alınan numunelerde fenol ve KOİ analizleri yapılmıştır. Reaktör işletiminin başlatılması 250 ml aşının manyetik karıştırıcı altında 72 saat boyunca membran yüzeyinde sabit bir film tabakası elde edilene kadar karıştırılmasıyla gerçekleştirilmiştir.

3.7.1. Kullanılan membran

250 ml hacmindeki reaktöre, 32 hollow fiber gaz transfer membranı bir modül şeklinde konulmuştur. Membran modülünün dış çapı 280µm, aktif uzunluğu ise 8,5 cm olup içerisindeki membran yüzey alanı ise 0,762 cm²'dir. Membran biyofilm içerisine sağlanan oksijenin basıncı 4 psi seviyesinde tutulmuştur. Fototrofların

gelişimini önlemek amacıyla reaktörün çevresi alüminyum folyo ile kaplanmıştır. Peristaltik pompa ile günlük olarak hazırlanan giriş suyu reaktöre verilmiştir. Çalışmada kullanılan membran biyofilm reaktörün görüntüsü Şekil 3.9.'da gösterilmiştir.



Şekil 3.9 Membran biyofilm reaktörünün şematik gösterimi

3.8. Hibrit Seramik Membran Prosesi ile Sulardan Doğal Organik Madde Giderimi

Bu çalışmada Eğirdirgölü doğal ham su kaynağı besleme suyu olarak kullanılmıştır. Bu çalışmanın amacı demir oksitle kaplanmış seramik membranların kullanıldığı hibrit seramik membran-hidrojen peroksit (HSMHP) prosesi ile içme sularından doğal organik madde (DOM) giderim verimlerinin araştırılması ve HSMHP prosesinde kullanılan membranların kendi kendini yenileme özelliğinin olup olmadığının tespit edilmesidir.

Tüm membran testleri boyunca giriş suyu sıcaklığı, besleme tankı etrafında yer alan su ceketinin içerisine su banyosu sirkülatörü ile istenen sıcaklığa ayarlanarak suyun sirküle ettirilmesiyle su sıcaklığı 21 °C de tutulmuştur. Membran işletim basıncı 2 bar olarak seçilmiştir. Prosesin DOM giderim performansını belirlemek için peroksitli ham su ile 10 saatlik filtrasyon testi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar DOM giderim verimleri ile karşılaştırılmıştır. Demir oksit yüzeylere sahip seramik membranın, hidrojen peroksit sayesinde su filtrasyonu süresince kendi kendini rejenere edeceği düşünüldüğünden 10 gün boyunca HSMHP prosesi testi yapılmıştır.

3.9. Peyniraltı Suyunda Kullanılan Membranların Filtrasyonunun İncelenmesi

Bu çalışmada yüksek verimli kompakt reaktör olan jet loop membran biyoreaktör (JLMB) sisteminde peyniraltı suyunun arıtım performansı ve biyolojik arıtım esnasında oluşan biyokütlenin membran filtrasyonu özellikleri incelenmiştir.

Çalışmalarda atıksu olarak peynir üretim fabrikasından atılan peyniraltı suları kullanılmıştır. Tesisten 2 günde bir alınan atıksu 1/2-1/10 arasında değişen oranlarda (7000-35000 mg/KOİ/L) seyreltilerek doğrudan reaktöre beslenmiştir.

KOİ analizleri kolorometrik olarak 600 mm'de SPEKOL JENA1100 marka spektrofotometre ile yapılmıştır. AKM değerleri standart metodlarda belirtildiği gibi gerçekleştirilmiştir. Reaktörden alınan çamurun katı madde kısmının 600 0C sıcaklıkta yakılması sonucunda aktif çamurun MLVSS miktarının AKM'nin %85'i olduğu tespit edilmiştir.

3.9.1. Kullanılan membran

Çalışmada kullanılan jet loop membran, 130 cm uzunluğunda (14 cm iç çapında) ve 100 cm uzunluğundaki emme tüpü (kenar uzunluğu 5.2 cm olan kare en keşide sahip) akrilik şeffaf malzemeden yapılmıştır. Reaktörün dışında bir adet ara sirkülasyon tankı bulunmaktadır. Bu tanktan alınan su reaktörün en üstündeki girişe gönderilmektedir. Burada hava ile birlikte bir jet nozzle denilen yapıdan reaktör içerisine püskürtülmektedir.

Toplam sirkülasyon debisi bir debi ölçer ile kontrol edilmiştir. Reaktördeki oksijen konsantrasyonu, reaktörün üst tarafındaki çıkışa yerleştirilmiş ORION 850 model bir oksijen metre bağlantılı bir oksijen probu yardımıyla bilgisayar bağlantılı olarak ölçülmüştür.

Biyolojik faaliyet sonucu oluşan aktif çamurun sudan ayrılması OSMONICS marka 155 cm² yüzey alanına sahip düz zeminli bir membran ünitesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Paslanmaz çelik kafalı bir sirkülasyon pompası ile gerekli

çarpaz akışı hızı ve membran basıncı sağlanmıştır. Membran filtrasyonu 0,45 µm por çapına sahip asimetrik selüloz asetat membranlar ile gerçekleştirilmiştir. Çamur yaşı, membran reaktöründen atılan çamurun debisi ile ayarlanmıştır.

Yaklaşık 10 gün boyunca kesikli olarak çalıştırılan JLMB’de çamur çoğaltılırken bir yandan da reaktörün yüksek türbülans şartlarına aktif çamurun alıştırılması sağlanmıştır. Biyoreaktördeki AKM konsantrasyonu 5800 mg/L değerine ulaşınca sürekli arıtma başlamıştır. Çalışmalar sırasında peyniraltı suyu 0,83-2,78 gün hidrolik kalış süresi olacak şekilde rektöre beslenmiştir. KOİ cinsinden organik yükleme 3,04 ile 33,15 kg/m³.gün arasında değiştirilmiştir. Sistem değişik şartlarda yaklaşık 85 gün çalıştırılarak performansı incelenmiştir. Her yükleme sadece sistem kararlı hale gelinceye kadar devam edilmiştir.

3.10. Metal Endüstrisinde Membran Kullanılarak Gümüş Geri Kazanımı

Bu çalışmada saf suya eklenen gümüşün (AgCl partikül formu) sentetik su deneylerinde hibrit siyanürleme ve hibrit basınçlı yüksek basınçlı membran prosesiyle geri kazanılabilirliğin araştırılmasıdır. Test edilen hibrit proses, atıklarda veya sentetik sularda yeniden siyanürleme ve çökeltim sonrası AgCN olarak çözeltilmeye alınan gümüşün nanofiltrasyon veya ters osmoz prosesleriyle konsantre edilip geri kazanılmasının içermektedir.

Sentetik su deneylerinde çözünürlüğü çok az olan AgCl partiküllerinden siyanür liçi sonrası AgCN konsantrasyonları oluşturulup gümüş çözeltilmeye alınmıştır. Müteakip membran testleri, laboratuvar ölçekte düz tabakalı membran konfigürasyonundaki test ünitesinde yapılmıştır. Farklı polimer yapılarında iki adet nanofiltrasyon ve bir adet ters osmoz membran türleri test edilmiştir.

Sentetik su çalışmalarında AgCl, yüksek saflıkta (%98.8) gümüş nitratin (AgNO³) kral suyuyla (3 kısım konsantre HCl ve 1 kısım konsantre HNO₃çözeltilisi) yüksek sıcaklıkta (50 °C) reaksiyonu laboratuvarında üretilmiştir. Reaksiyon sonucu elde edilen AgCl çökeleği filtre kağıdı (1 µm cam elyafi) üzerinde tutulmuş ve

nötralizasyon ve saflık arıtımı için yaklaşık 3 L distile su ile 10 dakika boyunca yıkanmıştır. Elde edilen çökelek siyanür liç testlerinde kullanılmak üzere kapalı şişede, karanlıkta, oda sıcaklığında bekletilmiştir. Her liç deneyindeki kullanımdan önce, olası nemin giderilmesi için, şişeden alınan bir miktar çökelek 70 °C'de 1 saat kurutulmuş, desikatörde soğutulmuş ondan sonra tartılıp liç tankına eklenmiştir.

Liç işlemleri 30 L paslanmaz çelik tankda 25 L çözelti hacimleri ile yapılmıştır. Liç süresi 48 saat seçilmiştir. Sentetik su deneylerinde 25 L çözeltide 50 mg/L Ag sağlayacak AgCl partikülleri liç tankına eklendikten sonra pH farklı konsantrasyonlarda (0,01-5 M) NaOH ve/veya Hcl ilavesi ile 10,7-11 arasına ayarlanmış ve takiben tanka 1500 mg/L CN sağlayacak NaCN eklenmiştir. Tank mekanik karıştırıcı ile 48 saat boyunca (480-515 rpm) karıştırılmıştır. Liç süresi boyunca pH sürekli izlenmiş ve gerekirse 10,7-11 aralığı için NaOH/HCl ilavesi ile pH ayarı yapılmıştır. Olası HCN gazı oluşum riskinden dolayı tüm liç prosesi çeker ocak içinde yapılmıştır.

3.10.1. Kullanılan membran

Bu çalışmada çarpaz akışlı, düz tabakalı membran test ünitesi kullanılmıştır. Liç işlemi sonucunda elde edilmiş gümüş çözeltileri müteakip membran testlerine alınmıştır. Ünite 69 bar basınçlara kadar dayanımlıdır. Bu yüzden Hem RO, NF hemde MF kullanılabilir. Membran ayırma testleri kesikli konsantrasyon modunda yapılmıştır. Her farklı deney için liç işlemi sonucunda elde edilen 25 L gümüş çözeltisi analizlerinden sonra membran besleme tankına alınmış ve sistemin (tesisatın vs.) ön temizliği yapıldıktan sonra membran testine başlanmıştır.

Deney boyunca konsantre besleme tankına geri döndürülmüş ve süzüntü ayrı bir toplama haznesinde biriktirilmiştir. Membran testleri besleme tankındaki çözelti hacminin 5-8 L'ye düşmesine kadar devam ettirilmiştir. Bu hacimlere düşmek için, kullanılan membran türü, süzüntü akılarına bağlı olarak kesintisiz 6-15 saat sürdürülmüştür.

Yüksek basınç pompajı sonucu ısınan konsantre geri döngüsünün besleme tankı çözelti sıcaklığını arttırmaması ve sabit sıcaklığın sağlanması için besleme tankının tüm dış kısmındaki kapalı boşluktan kesintisiz çeşme suyu sirküle edilmiştir. Sabit sıcaklık, sıcaklığın dolayısıyla viskozitenin süzüntü akılarına olan etkilerinin elimine edilmesi için gereklidir. Deneylerde besleme tankı içindeki sıcaklık 20 °C de tutulmuştur.

4.ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Tekstil Endüstrisinde Yapılan Deney Bulguları

Tekstil endüstrisi atıksuyunda yapılan iki deney, KOİ giderim verimleri açısından karşılaştırıldığında MF + NF deneyinde NF girişinde 123 mg/L olan KOİ değeri 72 mg/L'ye düşürülmüş ve % 41 giderim verimi elde edilmiştir. Sadece NF deneyinde ise girişte 180 mg/L olan KOİ değeri 115 mg/L' ye indirilmiş ve % 36 giderim verimi elde edilmiştir. Sadece NF' nin kullanıldığı deneyde iletkenlik değeri açısından % 13 giderim verimi elde edilmiş ve girişteki 9,58 ms/cm değeri, çıkışta 8,36 ms/cm'e düşürülmüştür. MF + N deneyinde, NF girişindeki 9,52 ms/cm değeri, çıkışta 7,81 ms/cm'e indirilmiş ve % 18 iletkenlik giderim verimi elde edilmiştir. İletkenlik giderim verimlerinin düşük olması bu atıksuda tek değerlikli iyonların miktarının yüksek olduğuna işaret etmektedir.

4.2. İlaç Endüstrisinde Yapılan Deney Bulguları

İlaç endüstrisi atıksularının MF ile 210 dakika süresince ön arıtma işleminde akı değeri % 44 oranında azalmıştır. Çalışmada kullanılan atıksuyun AKM değeri 293 mg/L iken, süzüntüde 23 mg/L değerine düşmüştür. Akı değerindeki bu yüksek düşüş, girişteki yüksek AKM konsantrasyonunun bir sonucudur. Böylesi durumlarda literatürde MF'nin verimini artırmak için MF öncesi ham atıksuya alum ilavesi veya MF öncesinde kartuş filtre kullanılması gibi farklı ön arıtma seçeneklerinin uygulandığı çalışmalar mevcuttur.

İlaç endüstrisi atıksuyuyla yapılan deneyler sonucunda MF membranının tek başına kullanımı durumunda bile rengin yüksek oranda giderildiği ve RES parametresinde Avrupa Normunda belirtilen limitlerin altına inilebildiği belirlenmiştir. Her iki deneyde de renk giderim verimlerinin % 90'ın üzerinde olmasına rağmen, KOİ giderim verimlerinin % 36 – % 41 oranlarında olması, atıksuda renk veren ancak organik olmayan maddelerin varlığını düşündürmektedir.

İlaç endüstrisi atıksuyunda MF çıkışına NF' nin uygulandığı deneyde iletkenlik giderim veriminin sadece % 29 olması, (4,35 ms/cm değerinden 3,11 ms/cm değerine inilmiştir) suda tek değerlikli iyonların daha yüksek miktarda bulunduğunu göstermektedir. Süzüntü suyunun iletkenliği, iyon değiştirici reçine veya ters ozmoz prosesleri kullanılarak düşürülebilir. Su bu şekilde, kalitesine bağlı olarak fabrikada kazan besi suyu gibi amaçlarla kullanılabilir.

Normal şartlarda iyon değiştirme tesislerine girişte maksimum 10 mg/L KOİ' ye izin verilmektedir. Fakat literatürde 40-50 mg/L KOİ ile de uygulama örnekleri de mevcuttur. MF + NF deneyinde 420 nm, 525 nm ve 620 nm'de NF girişinde sırasıyla 14 m-1, 13,5 m-1, 4,4 m-1 olan RES parametreleri süzüntüde 1 m-1, 0,8 m-1, 0,1 m-1 değerlerine düşürülerek % 93, % 94 ve % 98 renk giderim verimleri elde edilmiştir.

Sadece NF membranının kullanıldığı deneyde girişte 25 m-1, 25,6 m-1 ve 9,2 m-1 olan RES parametreleri, süzüntüde 1,6 m-1, 1,2 m-1, 0,4 m-1 değerlerine düşürülerek % 94, % 95 ve % 96 renk giderim verimleri sağlanmıştır. Görüldüğü gibi gerek MF + NF kombinasyonu ve gerekse sadece NF çıkışında hemen hemen aynı RES değerlerine ulaşılmıştır. Her iki çalışmada da RES parametresi açısından limitlerin altına inilmiştir.

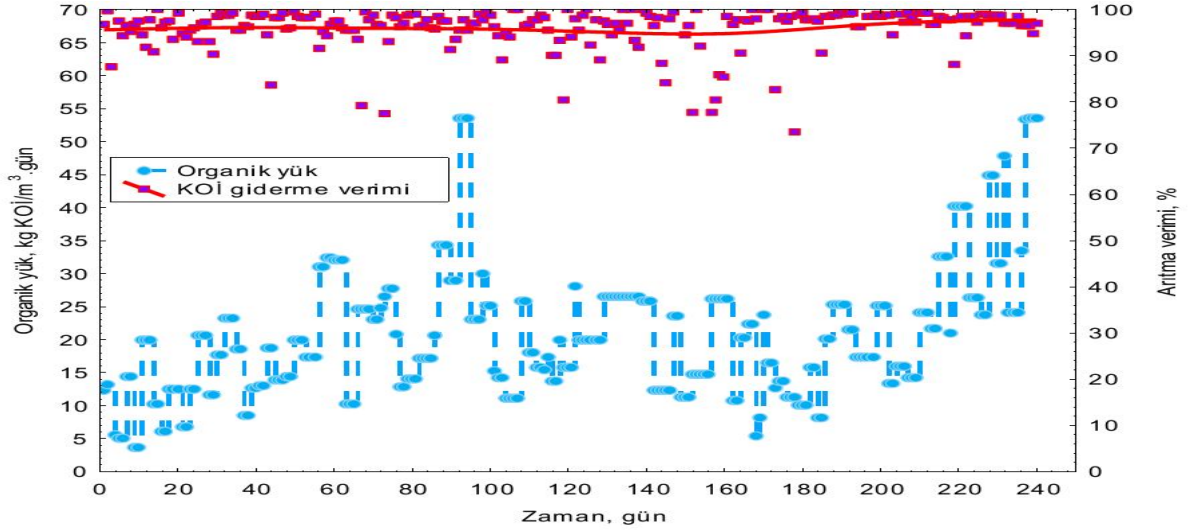
4.3. Süt Endüstrisinde Yapılan Deney Bulguları

Yapılan karakterizasyon çalışmasında kirlilik parametrelerinin oldukça salınım gösterdiği tespit edilmiştir. Konsantrasyondaki büyük farklılıklar yüklemelerinde salınım göstermesine neden olmuştur. Bu açıdan bakıldığında klasik sistemlerin stabil şartlarda işletilmesinde sorun yaratabilmektedir. Ancak JLMBR sistemi bu dalgalanmaları son derece başarılı bir şekilde tolere etmiştir.

Sisteme yüksek konsantrasyonlardaveya yüksek debilerde atıksuyun verildiği şartlarda biyoreaktörde köpürmeler gözlenmiştir. Özellikle yüksek konsantrasyonlu atıksulara rastlandığı dönemlerde meydana gelen bu aşırı köpürmeler sistemden önemli

miktarda aktif çamur kaçışlarına da sebep olmuştur. Biyokütle kaybını önlemek için reaktörün degazifikasyonu izole edilmiştir.

Çalışma boyunca hacimsel organik (KOİ) yükelemelerine karşılık sistemden elde edilen arıtma verimleri Şekil 4.1.'de gösterilmektedir.



Şekil 4.1.KOİ yükleme değerleri ile arıtma veriminin değişimi

Şekilde görüldüğü üzere sisteme verilen KOİ yükleri 5-54 kg/m³. Gün değerleri arasında değişmiştir. Bu da sisteme verilen yüklemelerin oldukça salınım gösterdiğinin kanıtıdır. Yüklerde büyük salınım görülmesine rağmen JLMBR sabit çıkışlar alınabilmiş KOİ giderme verimi %94'ün üzerinde gerçekleşmiştir. Çalışma boyunca çıkış konsantrasyonu 200 mg/L'nin altında ölçülmüştür. Çizelge4.1.'de Çalışmada Kullanılan Jet Loop Membran Biyoreaktörün Performans Verileri verilmiştir.

Çizelge4.1. Jet Loop membran biyoreaktörün performans verileri

Hacim (L)	Sıcaklık (C)	KOİ (mg/L)	Verim % KOİ	Hidrolik Kalış Süresi (sa)	Organik Yük (gKOİ/L.gün)	Q _c (sa)
18	22-24	4500	96-98	3,40	33	4
18	22-24	4700	96-97	3,3	34,3	5
18	22-24	6700	97-98	4	40,3	33
18	22-24	4800	97-98	3	45	22
18	22-24	6600	95-97	2,9	53,6	40
18	22-24	5900	97-98	2,8	53,1	25

Bu çalışmada süt endüstri atıksularından KOİ, N ve P giderimi amaçlanmıştır. KOİ giderim verimi %94 fosfor ve azot giderim verimi % 74 olarak bulunmuştur. Elde edilen bu sonuçlar aerobik biyolojik arıtım ile ilgili bilinen tüm sınırları aşmış durumdadır. Hatta organik yükleme hızı ve MLSS konsantrasyonunda ulaşılan değerler anaerobik arıtımın sınırlarını bile aşmış durumdadır. Çıkan sonuçlar Jet Loop Membran Biyoreaktörün süt endüstrisi atıksularındaki kirleticileri önemli ölçüde ortadan kaldırdığını göstermektedir.

4.4. Çöp Sularının Arıtılması İçin Yapılan Deney Bulguları

Pilot çalışmada MBR çıkış suları NF'nin giriş suyu olarak kullanılmıştır. Nanofilstrasyon membranında akı, süzüntü, KOİ, Toplam-N ve iletkenlik parametrelerindeki değişim incelenmiştir. Akı süzüntü debisinin membran alanına bölünmesiyle bulunmaktadır Tesiste 3 adet nanofilstrasyon membranı kullanılmıştır. Her membranın alanı 3.6 m² dir Toplam membran alanı 3 x 3,6 m² =10,8 m²' dir.

$$Ak_1 = Q (1/st)/A (m^2)$$

Bu denklemde Q süzüntü debisi, A toplammembran alanıdır. Deney süreleri boyunca akı 20 ile 40 l/m² arındadır. Temiz su için bu değer 60l/m² olması gerekir. Bu nedenle elde edilen sonuçlar normaldir. Çünkü akının neredeyse sabit kaldığı ve tıkanmanın olmadığı söylenebilir. Burada çöp sızıntı suyu kirlilik parametrelerinin çok yüksek olan bir suda bile tıkanmadığı görülmektedir. Aynı şekilde süzüntü değerleri yapılan deneylerde % 65—95 arasında değişmektedir. Bu göstermektedir ki membranın verimi yüksektir.

Nanofilstrasyona membranda KOİ girişte 820 mg/lt iken çıkışta 300 mg/lt civarında olmaktadır. KOİ giderme verimi yaklaşık %65 civarında seyretmektedir. Bundan çıkarılacak sonuç membran tıkanmamaktadır. Verimi yüksektir. Süzüntü akımının genellikle KOİ giderimi verimi ile ters orantılı olduğu gözlemlenmiştir.

Nanofilstrasyon membranda azot giderimi %15 ile %22 arasında ve ortalama % 17 civarında seyretmektedir. Azot giderimi azdır. Toplam N içinde bulunan

NH₄, N₀₂, N₀₃ ve organik azot nanofiltrasyon membranından çoğunlukla geçtiğinden dolayı toplam N- giderim veriminin düşük olması normaldir. Süzüntü akımı ile Toplam azot giderimi verimi ile ters orantılıdır.

Nanofiltrasyon membranında % 15 ile % 25 arasında ve ortalama % 20 civarında seyretmektedir. NH₄ giderimi hemen hemen aynıdır. NH₄ nanofiltrasyon membranından geçebildiğinden dolayı NH₄ gideriminin az olması normaldir.

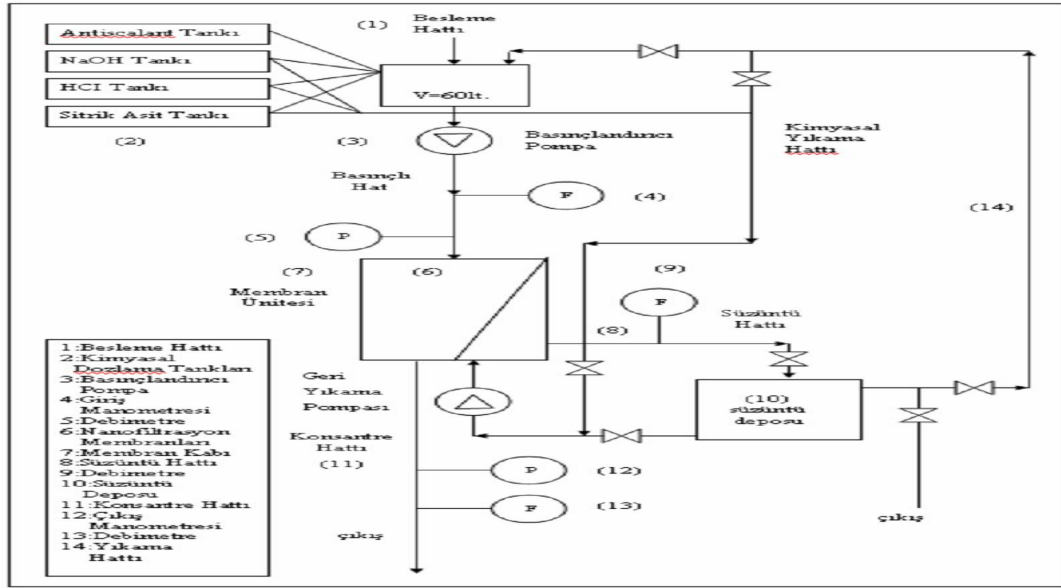
Nanofiltrasyon membranında iletkenlik giderim verimi %2 ile %14 arasında değişmekte olup ortalama %6 civarındadır. İletkenliğe çöp sızıntı suyundaki iyonlar neden olmaktadır. Mg ve Ca iyonları nanofiltrasyonda % 80 oranında tutulduğu saptanmıştır. Çizelge4.2.'de Alıcı Ortam Dere Deşarj limitleri ile karşılaştırma görülmektedir.

Çizelge 4.2.Alıcı ortam dere deşarj limitleri ile karşılaştırma

Parametre	Birim	Ham Çöp Sızıntı Suyu	NF Çıkışı	Standart
KOİ	mg/L	15000	300	125,00
Toplam Azot	mg/L	3000	600	400

Çizelge3.8. den anlaşıldığı gibi tesisteki ham çöp sızıntı suyu 1 lt de 15.000 mg KOİ içeriyor Bu suyun NF'dan geçmesi sonucu bu değer 300 mg/lt ye inmektedir. Deşarj standartı ise 125 mg/L'dir nanofiltrasyon ile deşarj standartarını yakalayabilmek mümkündür sonucu çıkmaktadır.

Pilot tesis çalışmalarında Nanofiltrasyon ünitesinin içinde %40'lık NaOH, %20'lik Sitrikasit, %10'luk HCL ve membranda tıkanma olmaması için antiskalant ilave edilmektedir. Şekil 4.2.'de Nanofiltrasyon Ünitesi Akım Şeması görülmektedir.



Şekil 4.2. Nanofiltrasyon ünitesi akım şeması

4.5.Ekmek Mayası Atıksuyundan Biyohidrojen Üretimi İçin Yapılan Deney Bulguları

Sistemde giriş KOİ değerleri 50.000 mg/L KOİ li maya endüstri atıksuyu kullanılmıştır. 1. reaktör çıkışında KOİ konsantrasyonunun biyokütleyle bağlı olarak değişimi sözkonusudur. Çıkışta ise Membrandan toplanan süzüntünün KOİ değeri ortalama 48.000 mg/L olmuştur. Sisteme sabit hızlarda besleme yapılamadığından sabit süzünü değerleri tespit edilememiş dolayısıyla HRT ve ORT lerde salınımlar meydana gelmiştir.

Sistem işletmeye alındığında basınç değeri maksimuma ulaştığında geri yıkama yapacak şekilde ayarlanmıştır. Son dönemlerde yapılan geri yıkamaların yetersiz kalmasından ötürü akıda artış görülmemiştir. Bu durumdan dolayı Süzünü değeri azalmıştır. Buna bağlı olarak membran tam bir verimle çalışmamış ve KOİ giderimi düşük olmuştur.

4.6. Kağıt ve Petrokimya Endüstrisinde Oluşan Fenolün Giderimi İçin Yapılan Deneyin Bulguları

Oksijene Dayalı membran biyofilm reaktör ile yapılan çalışmada fenol içeren sentetik su için fenol verimleri hesaplanmıştır. Reaktör işleminin ilk 5 gününde hem fenol hem de KOİ değerlerinde dalgalanmalar olmuştur. Daha sonraki süreçte fenol giderim verimleri %96 artmıştır. Sistemde fenol giderimi artarken KOİ giderimide artmıştır. Bu durum mikroorganizmanın hem fenolü hem de diğer karbon kaynaklı bileşiklerini birlikte metabolize ettiğini göstermektedir. Bunun yanı sıra fenol gideriminin %60-96 arasında değişmesi, 5 mg/L fenol konsantrasyonunun reaktördeki mikroorganizmaların biyolojik aktivitesini engellemediğini göstermektedir.

Bundan sonra yapılacak çalışmalarda, oksijene dayalı membran biyofilm reaktörü ile fenol giderimi amaçlanıyorsa daha yüksek konsantrasyonlardaki fenolle çalışılmalıdır. Bunun yanı sıra daha düşük hidrolik bekletme süresi ve farklı oksijen basınç seviyeleri gibi reaktör işletim parametreleri araştırılmalıdır.

4.7. Hibrit Seramik Membran Prosesi ile Sulardan Doğal Organik Madde Giderimi İçin Yapılan Deneyin Bulguları

HSMHP prosesinde demir oksit yüzeyler ile hidrojen peroksit arasındaki reaksiyonlar sonucu oluşabilen hidroksil radikaller, sadece hidrojen peroksit membran yüzeyinde biriken DOM u okside etmiş ve sıyrarak DOM u uzaklaştırmış olabilir. DOM gideriminin artmamış olduğu bulunsada tıkanma kontrolü ve membran yüzey temizlenmesi bağlamında HSMHP prosesinin etkili olduğu söylenebilir. Hidrojen peroksit ve oluşan radikaller sayesinde demir oksit yüzeylerin sürekli temizlenmesi ve prosesin kendi kendini rejenere edebilmesi özelliği membran tıkanma kontrolü ve harici kimyasal temizlik gereksinimleri bağlamında avantaj olabilir.

Genel sonuç olarak, HSMHPprosesi demir oksit kaplı salt membran ayırımının sağladığı DOM giderimine ekstra katkı yapmamış, Ancak tıkanma kontrolünde başarılı olmuştur. Öte yandan, testlerin sadece 10 günlük yapıldığı göz önüne alınırsa bu sonucun daha iyi teyiti için daha uzun dönemli performans testlerinin özellikle pilot ölçekte yapılması önerilmektedir.

4.8.Peyniraltı Suyunda Membranların Filtrasyonunu İçin Yapılan Deneyin Bulguları

Biyolojik arıtma ünitelerinde çözünmüş formdaki biyolojik olarak parçalanabilen organik maddelerin giderilmesinden sonra istenilen çıkış suyu kalitesini sağlamak için biyokütlenin sudan ayrılması gerekmektedir. Bu katı-sıvı ayırımında son çöktürme havuzları yaygın olarak kullanılan ayırma üniteleridir. Çalışma sırasında jet-loop biyoreaktörde oluşturulan biyokütlenin çıkış suyundan ayrılmasında kullanılan MF ünitesinin fltrasyon karakteristikleri belirlenmiştir. Kullanılan membran ünitesi ile 4,49-35,21 l/m².saat arasında akı değerlerinde arıtılmış su elde edilmiştir. Bu sayede biyoreaktör AKM konsantrasyonunun artışı sağlanabilmiş ve mikroorganizmaların sistemde kalış sürelerinin ayarlanması yapılmıştır.

Denemeler boyunca reaktördeki AKM konsantrasyonu 5800-13930 mg/L arasında değişmiştir. Bu değerler klasik aktif çamur sistemlerinden oldukça yüksektir. Biyolojik atıksu arıtımında reaksiyon hızı direkt olarak biyokütle (AKM) konsantrasyonu ile orantılı olduğu için yüksek bir biyokütle konsantrasyonu reaktör hacminde ve dolayısıyla yatırım maliyetlerinde azalmaya neden olmaktadır. Klasik çöktürme yüksek biyokütle konsantrasyonuna müsaade etmeyeceğinden dolayı bu çalışmada membran sisteminin katkısıyla oldukça yüksek AKM konsantrasyonuna çıkılabilmektedir.

Süspansiyon halinde çok küçük flok yapısına sahip olan aktif çamur, peyniraltı suyunun özel yapısından kaynaklanan yapışkan bir özellik kazanmıştır. Bu yapışkan özellikteki çamur membran filtrasyonu esnasında membranın yüzeyine hemen yapışarak akıların azalmasına neden olmakta ve MFİ değerlerini artırmaktadır. AKM konsantrasyonu arttıkça MFİ değerlerinin de artmakta olduğu görülür. Peyniraltı suyu KOİ, TN ve PO_4^{3-} konsantrasyonları sırasıyla 78680, 1125 ve 378 mg/L olarak ölçülmüştür. Çalışma esnasında 1,6 gün çamur yaşı ve 22,2 kgKOİ/m³.gün organik yük için %97 KOİ arıtma verimi elde edilmiştir.

Ayrıca çarpaz akış hızının (V_c) artışı ile kararlı hal akılarının arttığı ve spesifik kek dirençlerinin azaldığı görülmüştür. Membran kirlenme indeksi (MFİ) ise artan AKM ile artmıştır. Membran yüzeyindeki yalancı jel konsantrasyonu (C_g) 54 g/L olarak bulunmuştur.

4.9. Metal Endüstri Atıksularından Gümüş Geri Kazanımı İçin Yapılan Deney Bulguları

Siyanürleme membran ön testlerinde bulunan sonuçlar incelenirse, Tam karışimli kesikli reaktör modunda her membran testi için ayrı yapılan siyanür liç işlemlerinde 0-48 saatlik süre boyunca CN_{WAD} konsantrasyonları 1140-1450 mg/L aralığında bulunmuştur. Sodyum siyanür dozlaması sonucu başlangıç hedef konsantrasyonu olan 1500 mg/L 'ye göre bazı liç işlemlerinde düşük değerler elde edilmesi bir miktar siyanür kaybı olduğunu göstermektedir.

Gümüş testlerinde bulunan sonuçlar incelenirse, deney başlangıcında sisteme uygulanan gümüş kütlesiyle deney sonunda konsantre edilen gümüş kütlesi karşılaştırılmıştır. Gümüş için, sistem genel kütle dengesi NF membranlarında %81-89 arasında bulunmuştur. Gümüş için sistem genel kütle dengesi daha yüksek basınç aralığında çalışılan RO membranı için %56-62 aralığında tespit edilmiştir.

Test edilen membranların sudan gümüş giderim verimleri incelendiğinde RO membranının kararlı şartlarda yaklaşık 4-6 saatlik işletimden sonra % 95 ile 99 aralığında giderim sağlandığı bulunmuştur. Giderim yüzdeleri süzüntü suyundaki konsantrasyonun besleme suyundaki konsantrasyona oranından hesaplanmıştır. Test edilen iki farklı NF membranında 7 ve 21 bar basınçlarda kararlı şartlarda %31-81 arası gümüş giderimi sağlamıştır. NF membranlarında 7 barlık basınçta 21 barlık basınca göre genellikle daha fazla gümüş giderimi sağlanmıştır.

5.SONUÇLAR veÖNERİLER

Tekstil endüstrisi atıksuyunda yapılan iki deney, KOİ giderim verimleri açısından karşılaştırıldığında MF + NF deneyinde NF girişinde 123 mg/L olan KOİ değeri 72 mg/L'ye düşürülmüş ve % 41 giderim verimi elde edilmiştir.NF girişindeki 9,52 ms/cm değeri, çıkışta 7,81 ms/cm'e indirilmiş ve % 18 iletkenlik giderim verimi elde edilmiştir. İletkenlik giderim verimlerinin düşük olması bu atıksuda tek değerlikli iyonların miktarının yüksek olduğuna işaret etmektedir.

İlaç endüstrisi atıksuyuyla yapılan deneyler sonucunda MF membranının tek başına kullanımı durumunda bile rengin yüksek oranda giderildiği ve RES parametresinde Avrupa Normunda belirtilen limitlerin altına inilebildiği belirlenmiştir. Her iki deneyde de renk giderim verimlerinin % 90'ın üzerinde olmasına rağmen, KOİ giderim verimlerinin % 36 – % 41 oranlarında olması, atıksuda renk veren ancak organik olmayan maddelerin varlığını düşündürmektedir.

Süt endüstrisinde membran kullanımı araştırılmıştır. Sonuç olarak KOİ giderim verimi %94 fosfor ve azot giderim verimi % 74 olarak bulunmuştur. Elde edilen bu sonuçlar aerobik biyolojik arıtım ile ilgili bilinen tüm sınırları aşmış durumdadır. Hatta organik yükleme hızı ve MLSS konsantrasyonundaulaşılan değerler anaerobik arıtımın sınırlarını bile aşmış durumdadır. Çıkan sonuçlar Jet Loop Membran Biyoreaktörün süt endüstrisi atıksularındaki kirleticileri önemli ölçüde ortadan kaldırdığını göstermektedir.

Çöp Sularının Arıtılması İçin Deney yapılmıştır. Bu deney sonuçları değerlendirilirse şu sonuçlara varılır.Nanofiltrasyona membranda KOİ girişte 820 mg/lt iken çıkışta 300 mg/lt civarında olmaktadır. KOİ giderme verimi yaklaşık %65 civarında seyretmektedir. Bundan çıkarılacak sonuç membran tıkanmamaktadır. Verimi yüksektir. Süzüntü akımının genellikle KOİ giderimi verimi ile ters orantılı olduğu gözlemlenmiştir.

Nanofiltrasyon membranda azot giderimi %15 ile %22 arasında ve ortalama % 17 civarında seyretmektedir. Azot giderimi azdır. Toplam N içinde bulunan NH_4 , NO_2 , NO_3 ve organik azot nanofiltrasyon membranından çoğunlukla geçtiğinden dolayı toplam N- giderim veriminin düşük olması normaldir.

Nanofiltrasyon membranında % 15 ile % 25 arasında ve ortalama % 20 civarında seyretmektedir. NH_4 giderimi hemen hemen aynıdır. NH_4 nanofiltrasyon membranından geçebildiğinden dolayı NH_4 gideriminin az olması normaldir.

Ekmek mayası atıksuyundan biyohidrojen üretimi için yapılan deney sonucunda,Sistem işletmeye alındığında basınç değeri maksimuma ulaştığında geri yıkama yapacak şekilde ayarlanmıştır. Son dönemlerde yapılan geri yıkamaların yetersiz kalmasından ötürü akıda artış görülmemiştir. Bu durumdan dolayı Süzüntü değeri azalmıştır. Buna bağlı olarak membran tam bir verimle çalışmamış ve $KOİ$ giderimi düşük olmuştur.

Kağıt ve petrokimya endüstrisinde oluşan fenolün giderimi için yapılan deneyin sonucunda,Bundan sonra yapılacak çalışmalarda, oksijene dayalı membran biyofilm reaktörü ile fenol giderimi amaçlanıyorsa daha yüksek konsantrasyonlardaki fenolle çalışılmalıdır. Bunun yanı sıra daha düşük hidrolik bekletme süresi ve farklı oksijen basınç seviyeleri gibi reaktör işletim parametreleri araştırılmalıdır.

Peyniraltı suyunda membran kullanımının incelendiği deneylerde, kullanılan membran ünitesi ile 4,49-35,21 l/m².saat arasında akı değerlerinde artırılmış su elde edilmiştir. Bu sayede biyoreaktör AKM konsantrasyonunun artışı sağlanabilmiş ve mikroorganizmaların sistemde kalış sürelerinin ayarlanması yapılmıştır.

Denemeler boyunca reaktördeki AKM konsantrasyonu 5800-13930 mg/L arasında değişmiştir. Bu değerler klasik aktif çamur sistemlerinden oldukça yüksektir. Biyolojik atıksu arıtımında reaksiyon hızı direkt olarak biyokütle (AKM) konsantrasyonu ile orantılı olduğu için yüksek bir biyokütle konsantrasyonu reaktör

hacminde ve dolayısıyla yatırım maliyetlerinde azalmaya neden olmaktadır. Klasik çöktürme yüksek biyokütlü konsantrasyonuna müsaade etmeyeceğinden dolayı bu çalışmada membran sisteminin katkısıyla oldukça yüksek AKM konsantrasyonuna çıkılabilmektedir.

Madencilik atıksularından membran kullanılarak gümüş geri kazanımı için yapılan deneyin sonucunda, gümüş için uygulanan kütle dengesi hesapları ve membran yüzeylerinde yapılan SEM-EDX analizleri önemli miktarlardaki gümüşün RO membranının yüzeyine geri dönüşümsüz olarak tutunduğunu göstermektedir. Gümüş ayırımında sadece membran gözenek büyüklüğünün değil aynı zamanda membran yüzey kimyası ve ayırımı sağlanan madde ile membran yüzeyi arasındaki kimyasal etkileşimlerinin önemli olduğu varsayılabilir. Bu bize göstermektedirki RO membran yüzeyinde tutunma sonucu gümüş kaybı olsa bile RO membranlarının daha fazla gümüş ayırımından dolayı gümüş geri kazanımları açısından RO membranları NF membranlarına göre daha avantajlıdır. Önerilen hibrit siyanürleme ve yüksek basınçlı membran prosesi değerli metallerin madencilik atıklarından veya atıksularından geri kazanımında etkili bir alternatif olabilir. Ayrıca membran arıtım sonrası elde edilen yüksek kalitedeki süzüntü suyu üretim sürecinde yeniden kullanılabilir.

Sözkonusu yüksek lisans tezi hazırlanırken çalışmalardan elde edilebilecek etki/katma değerler şunlardır;Önerilen bu tez ile ülkemizde ve dünyada atıksu arıtımında membran teknolojisinin kullanımı yaygınlaşacaktır. Çeşitli endüstri dallarında membran kullanımı anlatılacak ve membran prosesleri arasında karşılaştırma yapılacaktır. Dağınık haldeki membran ile ilgili yapılan çalışmalar, literatür bilgileri bir arada toplanmış olacağından bu konularda çalışmak isteyen kişiler için alternatif bir kaynak ortaya çıkacaktır. Dolayısıyla bilimsel çalışmalara ışık tutulmuş olacağından yeni sistemler geliştirilebilecektir. Yeni sistemler geliştirilebileceğinden sürdürülebilir çevre anlayışına katkı sağlanabilir. Çalışma sonuçlarından, uluslararası SCI (Science Citation Index) kapsamındaki dergilerde, kongre ve sempozyumlar da yayın yapılacaktır.

KAYNAKLAR

- ANDERSON, G.K., Donnelly, T. and Mc Keown, K.J.,1982. Identification and Control of Inhibition in the Anaerobic Treatment of Industrial Wastewater, *Process Biochem.*, 17(4): 928-932.
- ANDERSON, G.K., and SAW, C.B., 1992. Leach-Bed Two-Phase Anaerobic Digestion of Municipal Solid Waste.In *Proc. Int. Symp.on Anaerobic Digestion of Solid Waste*, Venice, 171-179
- BORJA, R.,GONZALEZ, E., RAPOSO, F., MİLLAN, F., and MARTİN, A., 2001. Performance Evaluation of a Mesophilic Anaerobic Fluidized Bed Reactor Treating Wastewater Derived From the Production of Proteins From Extracted Sunflower Flour, *Bioresource Technology*,76 (1): 45-52.
- BOYLE, W.C., and HAM, R.K., 1974. Biological Treatability of Landfill Leachate, *J. Water Polut. Control Fed*, Vol.46(5), 860-872.
- CH2M Hill İnternational Ltd., Antel Arıtma A.Ş., 1992. Municipal of Greater Istanbul Waste Management Study, İstanbul Anakenti Katı Atık Yönetimi Etüdü, İstanbul.
- CHANG, J.E., 1989.Treatment of Landfill Leachate with an Upflow Anaerobic Reactor Combining a Sludge Bed and a Filter, *Water Sci, Tech.*, 21, 133-143.
- FARİZOĞLU, B., KESKİNLER, B., YILDIZ, E., ve ÇAKICI,A., 2004. Peyniraltı sularının arıtıldığı jet loop membran biyoreaktörün membran filtrasyonu özelliklerinin araştırılması.*SKKD*,14 (2): 1-8.
- FORSTER, C. F., 1984. The Potantial of Anaerobic Digestion of Anaerobic Digestion for Treating Liquid.Wastes, *Water Pollut. Control*, 83(4): 484- 490.
- FOX, P., Markram, T., SUIDAN, J. and PREFFER, T., 1988. Anaerobic Treatment of Biologically Inhibitory Wastewater, *Journal Water Pollut.Cont. Fed.*, 60(1): 86-92.
- GAU, S.H. and CHANG, F.S., 1996. Improved Fenton Method to Remove Recalcitrant Organics in Landfill Leachate. *Wat. Sci. Technol.*34, 455-462.
- GRAU, P., DOHANYAS, M. and CHUDOBA, J.,1975. Kinetics of Multicomponent Substrate Removal by Activated Sludge, *Water Research*, 9(7): 637-642.
- GULSEN, H.,and TURAN, M., 2004b. Startup of an Anaerobic Fluidized Bed Reactor for Landfill Leachate Treatment, *Environmental Technology*, 25(10): 1107-1114.
- GÜLŞEN, H.,and TURAN, M., 2004c. Anaerobic Treatability of Sanitary Landfill Leachate in a Fluidized Bed Reactor, *Turkish J. Eng .Env. Sci.*, TÜBİTAK,28, 1-9.
- GULSEN, H.,TURAN, M., and ARMAGAN, B., 2004. Anaerobic Fluidized Bed Reactor for the Treatment of Landfill Leachates, *Journal of Environmental Science and Health A*,39(8): 2195 – 2204,.
- HARMAN, İ., KÖSEOĞLU, H., YİĞİT, N.Ö., BEYHAN, M., ve KİTİS, M., Hibrit Seramik Membran Prosesi İle Sulardan Doğal Organik Madde

- Giderimi, Süleyman Demirel Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, 2, Isparta.
- HICKEY, R.F., Wu, W.M, VEIGA, M.C. and JONES, K., 1991. Start-up, Operation, Monitoring and Control of High-Rate Anaerobic Treatment Systems, *Water Science & Technology*, 24(8): 207-255.
- HSU, Y., and SHIEH, W.K., 1993. Startup of Anaerobic Fluidized Bed Reactors With Acetic Acid as the Substrate, *Biotechnol. Bioengng.*, 41, 347-363.
- IZA, J., 1996. Fluidized Bed Reactors for Anaerobic Wastewater Treatment in Anaerobic Treatment Technology for Municipal Wastewater, *Water Sci. Technol.*,24 (8): 257-277.
- KARA,C.,HASANOĞLU, A., TÜRKER, M., AYDIN, F., ARIKAN, O., KOYUNCU, İ., ve ALTINBAŞ, M., 2011. Ekmek Mayası Üretim Atıksuyundan Anaerobik Membran Biyoreaktör ile Biyohidrojen Üretimi, İstanbul Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Çevre Biyoteknolojisi Programı, İstanbul.
- KALELİ, B., 2006. Atıksuların İleri Arıtımında Membran Proseslerinin Kullanımının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Çevre mühendisliği Bölümü, 1, İstanbul.
- KENNEDY, K.J.,HAMODA, M.F., and Guiot, S.G., 1988. Anaerobic Treatment of Leachate Using Fixed Film and Sludge Bed Systems, *J. Water Pollut. Control Fed.*, 60(9): pp. 1675-1683.
- KİM, S.M.,GIESSEN, S.U., and VOLGELPOHL, A., 1997. Landfill Leachate Treatment by A Photoassisted Fenton Reaction, *Water Sci. Technol.*, 35, 239-247.
- LETTINGA G., VAN Velsen, A.F.M., DE Zeeuw, W. and HOBMA, S.W., 1980. Use of UASB Reactor Concept for Biological Wastewater Treatment, Espiacially for Anaerobic treatment, *Biotechnology and Bioengineering*, XXII, 699-734.
- ÖZTÜRK, İ.,ALTINBAŞ, M., ARIKAN, O., TÜYLÜOĞLU, B.S.,and BAŞTÜRK, A., 1999a. Anaerobic and Chemical Treatability of Young Landfill Leachate in 7thInternational Waste Management and Landfill Symposium, October 4-8, Cagliari, Italy.
- ÖZTÜRK, İ.,TİMUR, H., ALTINBAŞ, M., ARIKAN, O., and TÜYLÜOĞLU, B.S., 1999b. Anaerobic Treatability of Leachate: A Comporative Evaluation for Three Different Reaktör Systems, İTÜ.
- YILDIZ, Ş., and BALAHORLİ, V.,2011.Çöp Sızıntı Sularının Membran Biyoreaktör veNanofiltrasyon İle Arıtımı,II.Ulusal Membran Teknolojileri ve Uygulamaları Sempozyumu, Kasım 2-3, İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ

Cüneyt OKUYAN,1984 yılında Şanlıurfa'da doğdu. Ortaokul ve liseyi Şanlıurfa Anadolu Lisesinde tamamladı 2003 yılında Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği bölümünü kazandı.2007 yılında aynı bölümden mezun oldu. 2011 yılında Harran Üniversitesi Meslek Yüksek Okulu İnşaat Teknolojisi bölümünden mezun oldu. 2011 yılında Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesinde başladığı yüksek lisans 2013 yılında tamamlandı.

ÖZET

Bu çalışmada membran teknolojisi ile ilgili genel bilgiler, membran proseslerin işletim şekilleri, membran sistemlerinin çalışma prensibi, çevre mühendisliğindeki uygulama alanları ve membran prosesleri ile ilgili yapılan son çalışmalar bir araya getirilerek bu konuda çalışmak isteyenler için bilgi kaynağı oluşturulacaktır. Dolayısıyla bilimsel çalışmalara ve membran teknolojisinin geliştirilmesine katkı sağlanması planlanmaktadır.

SUMMARY

This study include general information in related to membrane technology, operating systems of membrane process, working principle of membrane process application area to environment engineer and band together all of the information in regard to membrane process because of this article aim band together. If all of researches will want about membrane process this resource will help them and This article planning to contribution both scientific and improve of membranetechnology