



**MEMBRAN ARITMA SİSTEMİYLE  
FLORÜRÜN ARITILMASI**

**Ahmet Husrev YILDIZ**

**Yüksek Lisans Tezi  
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI  
ISPARTA 2000**

**T.C.  
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MEMBRAN ARITMA SİSTEMİYLE  
FLORÜRÜN ARITILMASI**

**AHMET HUSREV YILDIZ**

95116

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

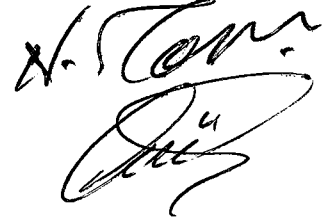
**ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**ISPARTA, 2000**

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne

Bu çalışma jürimiz tarafından ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI'nda  
YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

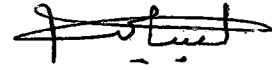
Başkan : Prof. Dr. Nazmi TOPÇU



Üye : Yrd. Doç. Dr. H. Cahit SEVİNDİR



Üye : Doç. Dr. Habib MUHAMMETOĞLU



ONAY

Bu tez ..... / ..... / 2000 tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen yukarıdaki jüri  
üyeleri tarafından kabul edilmiştir.

11 / 09 / 2000



S.D.Ü. FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

**İÇİNDEKİLER**

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
SİMGELER DİZİNİ.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK BİLGİSİ.....	2
2.1. Membranlar.....	2
2.1.1. Membran Prosesler.....	2
2.1.1.1. Mikrofiltrasyon (MF).....	4
2.1.1.2. Ultrafiltrasyon (UF).....	8
2.1.1.3. Nanofiltrasyon (NF).....	10
2.1.1.4. Ters Ozmoz (RO).....	11
2.1.2. Membran İle Ayırma Mekanizması.....	13
2.1.3. Temel Membran Terminolojisi.....	15
2.1.3.1. Transmembran Basıncı ( Membran Üzerindeki Basınç ).....	15
2.1.3.2. Transmembran Debisi.....	16
2.1.3.3. Spesifik(özgül) Debi.....	17
2.1.3.4. Geri Besleme Suyu.....	18
2.1.4. Membranların Yapısı.....	19
2.1.5. Membranların Karakteristikleri.....	20
2.1.6. Membranların Tertip Tarzları.....	21
2.1.6.1. Plak ve Çerçeve Membranlar.....	21
2.1.6.2. Tüp Şeklindeki Membranlar.....	22
2.1.6.3. Spiral Sargılı Membranlar.....	23
2.1.6.4. Boşluklu Elyaf Membranlar.....	25
2.1.6.5. Membran Tertip Tarzlarının Karşılaştırılması.....	26

	Sayfa
2.1.7. Konsantrasyon Polarizasyonu ve Kontrol Metotları.....	266
2.1.8. Membran Tıkanması ve Tıkanmayı Etkileyen Etkenler .....	288
2.1.8.1. Tıkanmayı Etkileyen Etkenler .....	29
2.2. Florür.....	31
2.2.1. Florürün Bulunduğu Kaynaklar, Isparta Florür Kaynakları ve Florürün Çevre ve İnsan Sağlığına Etkisi:.....	31
2.2.2. Florür Tayini .....	36
2.2.2.1. Florür İyonunun Elektrokimyasal Olarak Saptanması.....	36
2.2.2.2. İyon Seçici Elektrotla Düşük Konsantrasyonlarda Florür Tayini.....	36
2.2.2.3. Florür Elektrotlarının Hassaslık Derecesine Çeşitli Faktörlerin Etkisi ....	37
2.2.3. Florür Giderimi.....	38
2.2.3.1. Küçük Toplumlar İçin Florür Giderim Metotları .....	38
3. MATERYAL VE METOT .....	44
3.1. Materyal .....	45
3.2. Metot.....	47
3.2.1. Deneyin Genel Yapılışı.....	47
3.2.2. Florür Tayini .....	48
3.2.3. Membran Sisteminden Atık Su Geçişi.....	49
4. BULGULAR.....	50
4.1. I. Aşama Deneyler .....	50
4.2. II. Aşama Deneyler .....	57
4.3. III. Aşama Deneyler.....	59
5. TARTIŞMA VE SONUÇ .....	61
6. KAYNAKLAR .....	64
ÖZGEÇMİŞ.....	66
EKLER.....	67
EK-1. I. Aşama Deney Sonuçları.....	67
EK-2. II. Aşama Deney Sonuçları .....	68
EK-3. III. Aşama Deney Sonuçları.....	69

EK-4. Daha Evvel Yapılan Florür Arıtım Çalışmaları İle Bu Çalışmada Elde Edilen Değerlerin Mukayesesi.....	70
--	----



## ÖZET

Mikrofiltrasyon çapraz akış membran filtrasyonu ile birlikte florürün arıtımı amaçlanmış olup çalışma için filtrasyon tesisi laboratuarda tesis edilmiştir. Belirli miktarlardaki florür çözültisi farklı koagülant maddelerle çökeltiyerek membran sistemine verilmiştir. Deney sonuçlarında %95'lik yüksek bir verim sağlayan  $\text{CaSO}_4$  miktarı tespit edilmiştir. Florür elektrotu ile ölçülen,  $\text{CaSO}_4$ 'ün florür miktarını 87,1 mg/L'den 3,94 mg/L'ye düşürdüğü gözlenmiştir. Netice olarak florür arıtımında, ilk maliyeti düşük bir sistem ile birlikte daha az koagülant madde dolayısıyla daha az çamur miktarı sağlanmıştır.

**ANAHTAR KELİMELELER:** Membran, Florür, Arıtım, Mikrofiltrasyon, Çapraz akış

## ABSTRACT

The aim of this thesis was to remove fluoride with crossflow membrane filtration and the filtration system was set-up in the laboratory. Previously determined amounts of fluoride were precipitated by adding different coagulants & then the solution is passed through the membrane system. At the end of the experiments the coagulant,  $\text{CaSO}_4$ , produced 95% efficiency in fluoride removal where the fluoride concentration was reduced to 3,94 mg/L from 87,1 mg/L . The fluoride measurements were realized using a fluoride electrode. As a result, fluoride removal is achieved with a low initial cost system with low coagulant usage & sludge production.

**KEY WORDS:** Membrane, Fluoride, Treatment, Microfiltration, Crossflow





**TEŐEKKÖR**

Bu çalışmada bana yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen tez danıőman hocam Sayın Prof.Dr. Nazmi Topçu'ya ve literatür taraması ve tez yazımında yardımcı olan arkadaşlarıma içtenlikle teşekkür ederim.



## SİMGELER DİZİNİ

$\sigma_k$	:	Deneysel nicelik
$\mu$	:	Viskozite sabiti(Pa.s)
$\Delta\Pi$	:	Osmotik basınç eğimi(bar)
A	:	Membran yüzey alanı (m <sup>2</sup> )
$C_c$	:	Çıkıştaki çözünen konsantrasyonu(mg/L)
$C_f$	:	Girişteki çözünen konsantrasyonu(mg/L)
$C_p$	:	Sızan sudaki çözünen konsantrasyonu(mg/L)
HF	:	Hiperfiltrasyon
J	:	l/saat/m <sup>2</sup> , de transmembran debisi
$J_s$	:	l/saat/m <sup>2</sup> /bar'daki özgül debi
MF	:	Mikrofiltrasyon
MWCO	:	Molekül ağırlığı engelleme sınırı(dalton)
NF	:	Nanofiltrasyon
NWO	:	Doğal organik madde
$\Delta P$	:	Bar veya psi'deki transmembran basıncı,
$P_c$	:	Çıkış basıncı(bar)
$P_f$	:	Giriş basıncı(bar)
$P_p$	:	Sızma basıncı(bar)
$Q_c$	:	Çıkan akım(l/saat)
$Q_f$	:	Giren akım(l/saat)
$Q_p$	:	Sızan akım(l/saat)
$Q_r$	:	Geri devir debisi(l/saat)
R	:	Geri besleme suyu oranı(%)

$R_m$	:	Temiz membranın hidrolük direnci( $m^{-1}$ )
RO	:	Ters ozmoz
TISAB II	:	Toplam iyonik kuvvet ayarlayıcı tampon
TOC	:	Toplam organik karbon
UF	:	Ultrafiltrasyon



## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Dik akışlı ve çapraz akışlı membran filtrasyonu .....	3
Şekil 2.2. Membran tipleri .....	3
Şekil 2.3. Mikrofiltrasyon membranların iki tipinin gözenek yapısı; “çapraşık gözenek ” ve “kılcal gözenek ” .....	4
Şekil 2.4. Gergin bir proses kullanılarak imal edilen çapraşık yapılı membranların resimlenmesi .....	5
Şekil 2.5. Kılcal gözenekli membran.....	5
Şekil 2.6. Çapraz akışlı ve dik akışlı membran proseslerde akı azalması ve kek tabakası oluşumu.....	6
Şekil 2.7. Ultrafiltrasyon membranlarında akının sıcaklık ve basınca bağlı olarak değişimi.....	9
Şekil 2.8. Ozmoz ve ters ozmoz sistemlerinin şematik şekli.....	12
Şekil 2.9. Membranların uygulama alanları.....	13
Şekil 2.10. Bir membranın şematik gösterimi .....	14
Şekil 2.11. Membran proseslerde giriş ve çıkış akımları.....	14
Şekil 2.12. Farklı proses akımlarını gösteren genel membran şekli .....	15
Şekil 2.13. Üç temel membranın yapı ve ayırma özellikleri .....	19
Şekil 2.14. Plaka ve çerçeve membranların tertip tarzı .....	22
Şekil 2.15. Tüp şeklindeki membranlar .....	23
Şekil 2.16. Spiral sargılı membranlar. ....	24
Şekil 2.17. Spiral sargılı membran kabı.....	24
Şekil 2.18. Boşluklu elyaf membranları .....	25
Şekil 2.19. Boşluklu elyaf membranının küçük ölçekli gösterimi.....	25
Şekil 2.20. Membran yüzeyinde meydana gelen direnç türleri .....	27
Şekil 2.21. Konsantrasyon polarizasyonu ve jel tabakası oluşumunun şekli.....	28
Şekil 2.22. Membran temizlendikten sonra akının değişimi .....	29
Şekil 2.23. Su içindeki florür ile dış çürükleri arasındaki ilişki .....	35
Şekil 2.24. Sudaki florür miktarının aylara göre değişimi.....	35

	Sayfa
Şekil 2.25. İlave edilen kalsiyum konsantrasyonları ile artık florür iyonlarının farkları .....	43
Şekil 2.26. Kalsiyumla florürün çökeltimi.....	43
Şekil 3.1. Florür ölçüm aygıtı ve elektrotu .....	45
Şekil 3.2. Çapraz akışlı mikrofiltrasyon pilot tesisi.....	45
Şekil 3.3. Giriş ve by-pass borusu ile vanalar.....	46
Şekil 3.4. Basınç göstergeleri, su saati, ve çıkış borusu .....	46
Şekil 3.5. Membran rulosu.....	46
Şekil 3.6. Membran kapakları.....	47
Şekil 5.1. Koagülant maddelerin florür arıtım verimi (1.aşama).....	61
Şekil 5.2. Koagülant maddelerin florür arıtım verimi (2.aşama).....	62



## ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. Membran proseslerin sürücü kuvvetlere göre sınıflandırılması .....	2
Çizelge 2.2. Basınçla çalışan membran prosesler için tipik işletim karakteristikleri. .17	17
Çizelge 2.3. Membran tertip tarzının karşılaştırılması .....	26
Çizelge 2.4. Isparta'da bazı istasyonlarda ölçülen florür konsantrasyonlarının maksimum ve minimum ortalama değerleri .....	33
Çizelge 2.5. Isparta civarında istasyonlarda Mart 2000'de yapılan ölçümler .....	33
Çizelge 2.6. Florün insan vücudunda bulunuşu .....	34
Çizelge 2.7. İşlenen kemikle pişirim esnasında zamana göre artık florür konsantrasyonları .....	39
Çizelge 2.8. Trikalsiyum fosfat ile florür gideriminin deneysel sonuçları, ilk florür miktarı 10 mg/L ... ..	39
Çizelge 2.9. Yerel alümina ile florür gideriminde zamana göre konsantrasyon değişimleri .....	40
Çizelge 2.10. Kireç ile florür gideriminin teorik ve deneysel sonuçlarının karşılaştırılması .....	41
Çizelge 2.11. Toz aktif karbon ile absorbe edilen(arıtılan) florür değerleri .....	41
Çizelge 2.12. Aniyonik iyon seçici reçinelerle(Zeolit FF(ip) standart reçinesi, gözenek 14 ila 52) absorbe edilen florür değerleri .....	42
Çizelge 2.13. Alüm ve çamur miktarının florür giderimine etkileri .....	44
Çizelge 2.14. Alüm, silika ve oluşan çamur miktarının florür giderimine etkisi, ilk florür miktarı 10 mg/L .....	44
Çizelge 5.1. Üç aşamalı deney neticeleri .....	61

## 1. GİRİŞ

Coğrafi yapı, insan nüfusunun dengesiz artması, teknolojinin gelişmesi ve şehirleşme, insanları içme suyu sorunu ve aynı zamanda oluşan kirli içme sularının sağlıklı bir şekilde arıtılması problemi ile karşı karşıya bırakmıştır. İçilebilir temiz su kaynaklarının giderek azalması, insanları alternatif arıtım veya üretilere doğru yöneltmiştir.

Bu nedenle içme suyu standartlarını elde etmek için gerekli arıtım teknolojileri geliştirilmeye çalışılmaktadır. Son yıllarda çok yaygın olarak kullanılan bu ileri arıtma yöntemlerinden birisi de "Membran Prosesler"dir. Membran proseslerin modüler olarak tasarlanmaları, düşük alan ihtiyaçları, kimyasal katkı ihtiyacının olmaması, sıcaklık değişikliklerinden fazla etkilenmemesi, kesiksiz ve otomatik işletme sağlayan sürekli proses olmaları gibi üstünlükleri bulunmaktadır. İçme suyu standartlarının sağlanması, tuzlu sudan tatlı su eldesi, endüstri için su hazırlanması ve atıksuların geri kazanımında kullanılan membran prosesler, geliştirilen yeni yöntemler ile atılım yapmış ve ileri arıtım teknolojileri arasındaki yerini almıştır.

Membran sistemlerinin kullanıldığı büyük işletimlerden birisi de içme suyu prosesleridir. İçme suları ya coğrafik yapıdan kirlenmekte ya da insanlar tarafından kirlenmekte veya her ikisi de meydana gelebilmektedir. İçme suları; endüstri, tarım ve canlı hayatın temel kaynağını oluşturmaktadır. Bu nedenle yapılan bu çalışmada standartların üzerinde insan sağlığına zararlı olan florür miktarının membran filtrasyonu ile arıtımı amaçlanmıştır.

## 2. KAYNAK BİLGİSİ

### 2.1. Membranlar

#### 2.1.1. Membran Prosesler

Son on yılda membran üretim teknolojisindeki gelişmeler, membran proseslerin kimya, petrokimya, maden, metal, gıda, biyoteknoloji, eczacılık, elektronik, kağıt vb birçok endüstride kullanımını artırmıştır. Başlangıçta çok pahalı bir proses olan membran prosesler, bu gelişmeler ile diğer fiziksel ayırma yöntemleri olan adsorpsiyon, solvent ayırımı, distilasyon, kristilizasyon ve gaz ayırımı gibi proseslerle mukayese edilebilir hale gelmiştir. Bazı durumlarda maliyetleri bu proseslere göre daha düşüktür. Membran prosesler, bileşik ve çözünmüş maddeleri büyüklüğüne göre ayırmakla birlikte yatay akışlı(cross-flow) olarak çalıştırıldığı zaman  $10 \mu m$ 'nin altındaki askıda maddeleri ve çözeltileri ayırabilir. Membrandan geçemeyen partikül veya çözünmüş maddeler membran yüzeyine paralel olarak akan konsantre kısım ile beraber sürekli olarak alınır. Membrandan geçen kısım ise süzüntü olarak adlandırılır (Scott, 1995; Koyuncu, 1997).

Her membran proses kendine has özelliklere sahip olup, kullandıkları membranların özelliklerine ve kullandıkları sürücü kuvvetlerin türüne göre sınıflandırılabilir. Bu sürücü kuvvetler iki faz arasındaki;

- Basınç,
- Sıcaklık,
- Konsantrasyon ve
- Elektriksel potansiyel farklardır (Koyuncu, 1997).

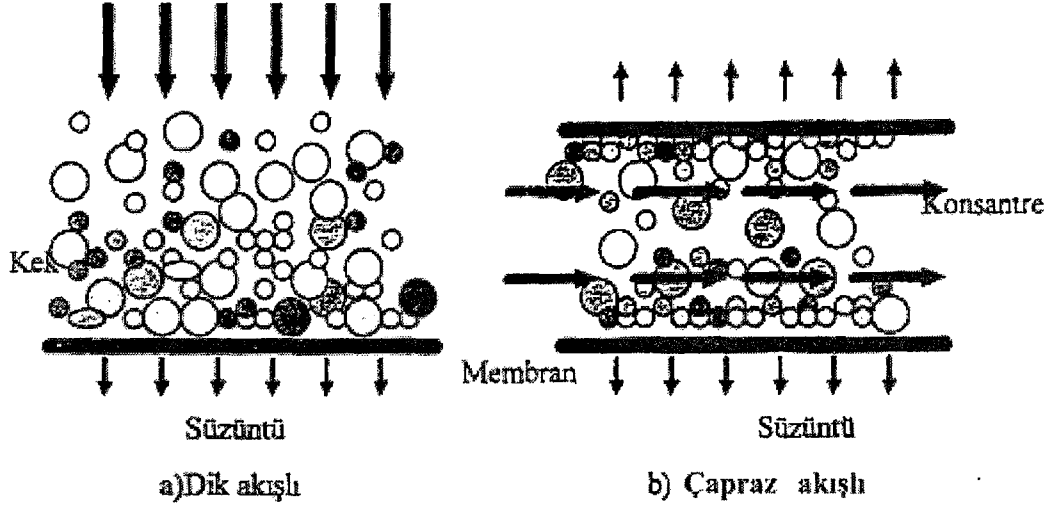
Membran proseslerin sürücü kuvvetleri Çizelge 2.1'de gösterilmiştir (Koyuncu, 1997).

**Çizelge 2.1.** Membran proseslerin sürücü kuvvetlere göre sınıflandırılması  
(Koyuncu, 1997)

<i>Basınca Göre</i>	<i>Konsantrasyon Farklılığına Göre</i>	<i>Sıcaklık Farklılığına Göre</i>	<i>Elektriksel Potansiyel Farklılığına Göre</i>
Mikrofiltrasyon(MF) Ultrafiltrasyon(UF) Nano filtrasyon(NF) Ters Osmoz(RO)	Pervaporasyon Gaz Ayırımı Diyaliz Sıvı Membranlar	Sıcaklığa Dayalı Osmoz Membran Distilasyonu	Elektrodiyaliz



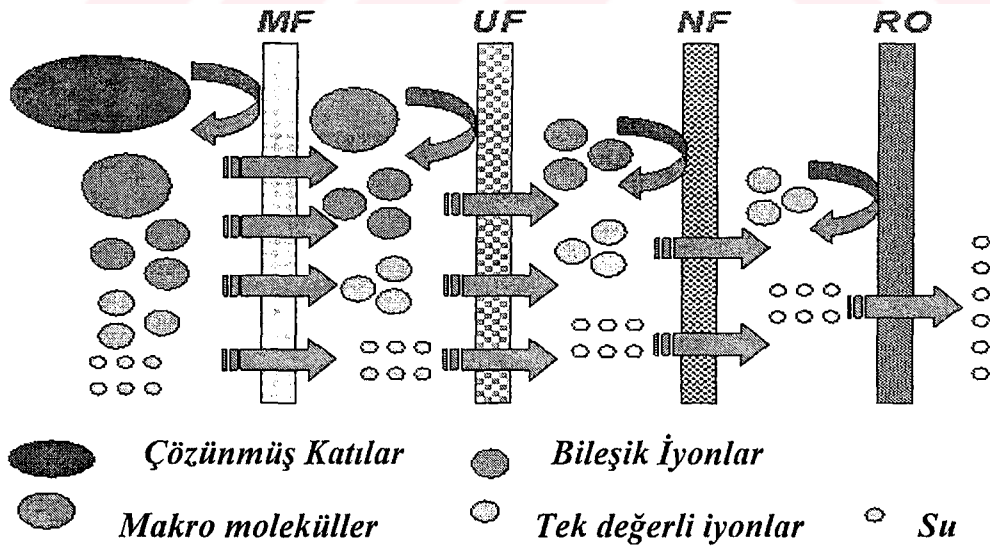
Membran proseslerin iki tür çalışma prensibi vardır. Birincisi dik akışlı filtrasyon, ikincisi çapraz akışlı filtrasyondur. Her iki çalışma prensibi Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Dik akışlı ve çapraz akışlı membran filtrasyonu (Koyuncu, 1997)

Mikrofiltrasyon, ultrafiltrasyon, nanofiltrasyon ve ters ozmoz basınç uygulamalı prosesler olarak adlandırılmaktadır.

Membran tiplerinin genel şematığı Şekil 2.2'de verilmiştir:



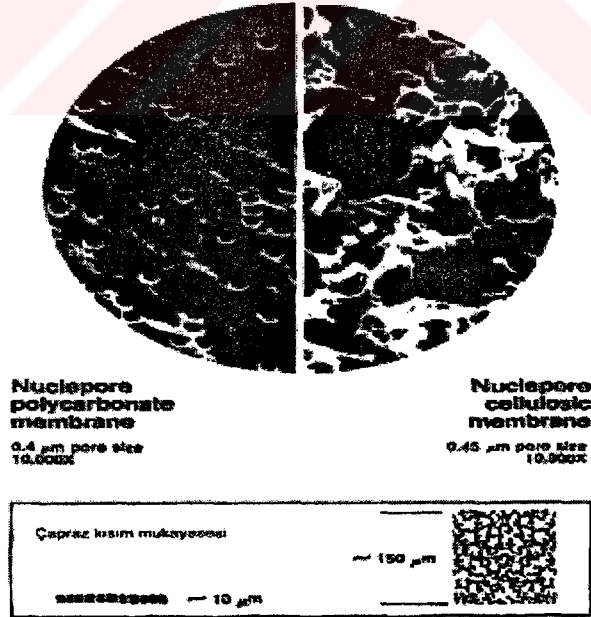
Şekil 2.2. Membran tipleri (Kim, 1995)

### 2.1.1.1. Mikrofiltrasyon (MF)

Mikrofiltrasyon ile çözelti içindeki mikron ve daha büyük boyutlardaki partiküller ayrılır. Mikrofiltrasyon için kullanılan membranlar, üniform delik büyüklüğünde ve yaklaşık % 80'lik yüksek gözenek yoğunluğunda ince polimer filmlerden yapılırlar (Scott, 1995; Koyuncu, 1997).

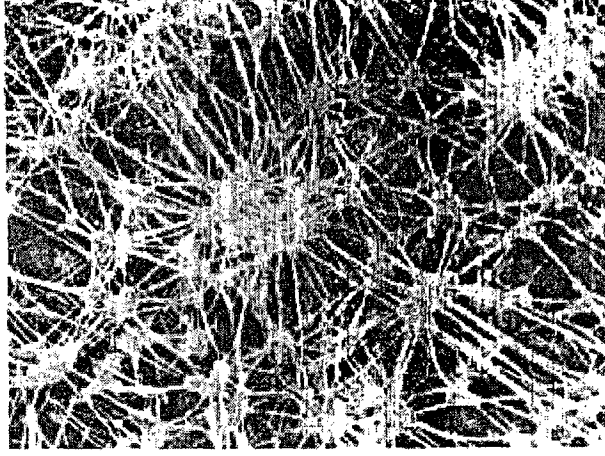
Yüksek gözenek yoğunluklu filmlerin, hidrodinamik direnci genelde düşük olup yüksek akılar için ortalama 2 bar'a kadar olan basınçlarda çalıştırılır. Bir çok membranın gözeneklerinin düzenli olmaması ve filtre edilerek tutulacak partikül şekillerinin düzenli olmaması filtrasyon sırasında boyut açısından kesin bir ayırım yapmayı kısıtlamaktadır (Porter, 1986).

Mikrofiltrasyon membranların yapısı Şekil 2.3'te görüldüğü gibi iki farklı tipe sınıflandırılabilir; "Çapraşık gözenek" ve "Kılcal gözenek". Çapraşık gözenek membranlar en sık rastlananlarıdır. Bu membranların yapısı gözeneklerin çapraşık labirentleri ile birlikte bir sünger andırır. Böyle membranlar, selüloz esterler ve polimerlerden yapılırlar. Bu tip membranlar kıvrım yapmaya elverişlidir (Porter, 1986).



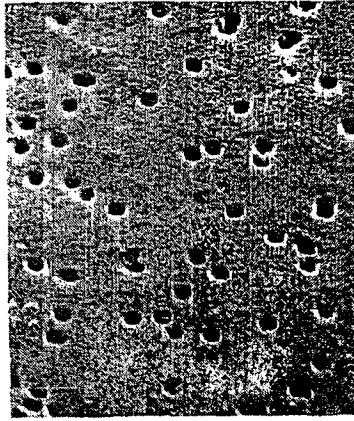
Şekil 2.3. Mikrofiltrasyon membranların iki tipinin gözenek yapısı; "çapraşık gözenek" ve "kılcal gözenek" (Porter, 1986)

Çapraşık gözenekli membranlara ilaveten Şekil 2.4'te gerdirme prosesi kullanılarak imal edilen membran görülmektedir.



Şekil 2.4. Gergin bir proses kullanılarak imal edilen çapraşık yapılı membranların resimlenmesi (Porter, 1986)

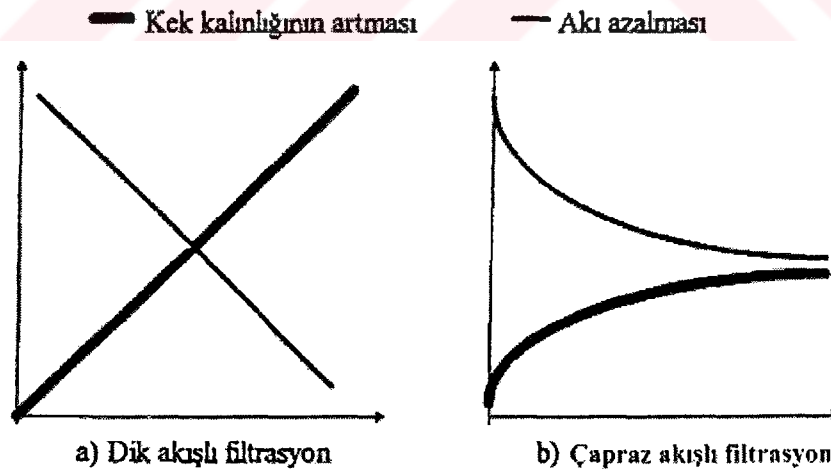
Kılcal gözenekli membranlar polikarbonat ve polyesterden yapılırlar. Şekil 2.5'da görüldüğü gibi gözenekler çapraşık değildir fakat silindirik gözenekler boyunca düzdür. Bu güne kadar kılcal gözenekli membranların şekillenmesi gravimetrik ve iz element analizi, mikroskobik analiz, kan rholoji analizi gibi özel laboratuvar alanların da bulunmuştur. Bu zamana kadar büyük ölçümlü endüstriyel uygulamaların çoğunda çapraşık gözenekli membranlar kullanılmıştır (Porter, 1986).



Şekil 2.5. Kılcal gözenekli membran (Porter, 1986)

Organizmalar ve partiküllerin tutulması gözenek çapına ilaveten diğer faktörlere bağlıdır. Bu faktörler, zeta potansiyeli, partiküllerin hareket hızı ve çarpışma süresi vb olarak tanımlanabilir. Bununla beraber tutma karakteristikleri incelendiğinde, çapraşık gözenekli membranlarda çok yüksek tutma verimine sahip olup absorpsiyon için kılcal gözenekli yapılan membranlardan 25-50 kez daha fazla iç alana sahiptir. Kılcal gözenekli membranlar gerçekte çapraşık gözeneklilere nazaran daha iyi olmasına rağmen çoğu endüstriyel ölçekli filtrasyon bütün partikülleri giderme amacına sahip olduğundan çapraşık gözenekli membranların büyük ölçekli filtrasyon için çok sık seçilmesine sebep olmuştur (Porter, 1986).

Mikrofiltrasyonda, akım membran yüzeyine paralel veya dik olarak uygulanır ve membrandan geçemeyen konsantre kısım membran üzerinde birikir. Zamanla membran yüzeyinde direnç artar. Membran filtrasyonu ekonomik olmayan bir konuma geldiği zaman, yani filtrasyon verimleri azaldığı zaman ya membran temizlenir veya yenilenir (Scott, 1995; Koyuncu, 1997). Membran yüzeyinde katı kek tabakasının oluşumu, çapraz akış kullanılarak azaltılabilir. Çapraz akışlı ve dik akışlı membran proseslerle akı azalması ve kek tabakası oluşumu Şekil 2.6'da gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Çapraz akışlı ve dik akışlı membran proseslerde akı azalması ve kek tabakası oluşumu (Scott, 1995)

Membran yüzeyinde kek tabakası oluşumunu önlemek için değişik hızlar uygulanır. Bir müddet sonra akıda azalmalar meydana geldiği görülür. Prosedüre göre membranın belli bir müddet sonra temizlenmesi gerekir. Membran seçimi mikrofiltrasyonda çok önemlidir. Mesela, özellikle proteinler hidrophobik membranlar üzerinde birikme eğilimi gösterirler. Ön arıtma yapılsa bile düşük basınçlarda yeterli akı temin edilemez. Genellikle mikrofiltrasyon membranların akı değerleri belli bir değerin altına düşünce temizlenmesi gerekmektedir. Temizleme işlemi kimyasallarla gerçekleştirilir. Seçilen membran kullanılan bu kimyasallara karşı dirençli olmalıdır. Mikrofiltrasyonda, işletme sırasında konsantrasyon polarizasyonu ve tıkanmanın etkisini azaltmak için vorteksli akımlar, sesler, titreşimler, elektriksel alanlar vb. çeşitli metotlar kullanılabilir.

Mikrofiltrasyon, içme suyu arıtımında kullanıldığı gibi endüstride; sterilize etme, meyve suları, şarap ve bira sularının ayrımı, saf su üretimi, atıksu üretimi, fermantasyon, yağ-su karışımının arıtımı vb amaçlar için de kullanılabilir (Zaidi vd., 1992).

Özet olarak; mikrofiltrasyon şu özellikleri taşır (Scott, 1995);

Membran	:	Simetrik (asimetrik),
Kalınlık	:	10-150 $\mu m$ ,
Delik çapı	:	0,05-150 $\mu m$ (çalışmada deneylerde kullanılan 0,2 $\mu m$ ),
Basınç	:	<2 bar (çalışmada deneylerde kullanılan 0,4 bar),
Membran malzemesi	:	Polimerik, seramikdir.

Serbest UF ve MF arasındaki büyük bir fark membran gözenek çapıdır, MF(0,05 – 5  $\mu m$ )'ninki UF'ninkinden daha büyük gözeneğe sahiptir. Bu membran prosesi için ilk uygulama partikül ve mikrobiyal arıttır. Genelde makinaların çoğu küçük (% 50 si, 3.800  $m^3$  /gün'den daha az)'dür (Joseph vd., 1999).

#### Çapraz Akış:

Mikrofiltrasyon, hem çapraz akış hem de dik akış uygulamalarında kullanılmaktadır. Bu iki şeklin işletiminde büyük bir fark her bir geçiş için elde edilen süzüntü miktarıdır. Dik akışlı filtrasyonda, filtreye gelen su hem kek vasıtasıyla tutulur hem

süzüntü olarak ortaya çıkar, bu nedenle dönüşüm %100'e (ilk geçişte) yaklaşabilir. Çapraz akış filtrasyonunda ise, süzüntü miktarı %20'den küçük olmasına rağmen süzüntü kalitesinin verimi dik akışlıya göre çok daha yüksek olup daha az maliyet gerektirir (Noble, 1995).

Çapraz akışlı filtrasyonda filtrelenmiş olan akışkan membranın yüzeyine paralel olarak bir taraftan öbür tarafa pompalanır. Ancak, membran üzerinden geçen akışkanın küçük bir kısmı membran içinden geçer. Membran üzerindeki tutulan materyaller, sürüklenme hızı ile membranın bir tarafından öbür tarafına sürüklenmektedir. Membran yüzeyinde tutulan materyal birikimi az olduğu için membranın tıkanmaya karşı eğilimi az olduğu halde ömrü fazla olacaktır. Çapraz akışlı filtrasyon, tutulan materyalin membranı tıkaması düşük olduğu için avantajlıdır (Noble, 1995).

#### 2.1.1.2. Ultrafiltrasyon (UF)

Ultrafiltrasyon işletme açısında mikrofiltrasyona benzer. Ultrafiltrasyon membranlar iki tabakalıdır. Üst tabakada gerçek filtrasyon olayı meydana gelirken alt tabaka üst tabakaya mesnet oluşturur. Membranın üst tabakasında boşluk çapı 1-100 nm. arasında değişir. Akışkandan çözülmüş molekülleri ve küçük partikülleri ayırmak için kullanılır. Ayırmada temel etken moleküler büyüklüğü ile beraber moleküler şekli ve yükü de rol oynar. İyonik olmayan materyalleri de tutarlar. Maddelerin iyonize olma seviyeleri "MWCO" ile ifade edilir. Her bir membran için bu değer belirtilmiştir. Belirli bir MWCO değerinin altındaki maddeler membranda tutulamaz. Moleküler ağırlıkları, 1000-1.000.000 dalton arasında değişen maddeler ultrafiltrasyon membranları tarafından tutulurlar (Scott, 1995; Koyuncu, 1997).

Ultrafiltrasyon membranlar, filtre tarafından tutulan maddelerin konsantre edilmesi veya filtreden geçen akışkanın saflaştırılması işlemlerinin her ikisi için de kullanılmaktadır. Membranda yüksek moleküler ağırlıklı maddeler tutulup diğerleri membrandan geçer. Ultrafiltrasyon membranlar genelde çapraz akışlı akım olarak işletilirler. Akım membran yüzeyini yatay olarak süpürür. Böylece membran kullanım süresi ve akışı artar. Bu olay bu tür sistemler için avantajdır. Çapraz akış ile

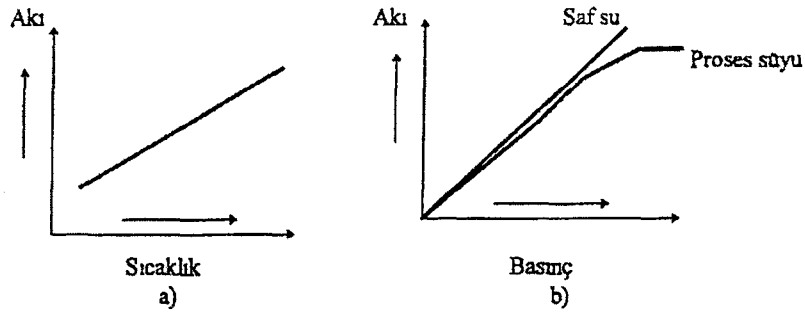


membran devamlı surette temizlenmesi ve gerekli kimyasal madde ihtiyacının azaltılması sağlanır.

Ozmotik etki ultrafiltasyon membranlarda küçüktür. Uygulanan basınç 1-7 bar arasında, membran boşluk çapı 1-100 nm. arasında değişmektedir. Üst tabaka, kalınlığı 50-250  $\mu\text{m}$  arasında değişen ve yüksek geçirgenlik ve seçiciliği olan bir alt tabaka ile desteklenmiştir. İlk ultrafiltasyon membranları polimerik ve inorganik yapıya sahip ise de şimdi seramik membranlar geliştirilmiştir (Scott, 1995; Koyuncu, 1997).

Membranlarda en büyük direnç, membranın en üst tabakasinda meydana gelir. Alt tabakalar düşük direnç gösterirler. Ultrafiltasyonun geçirimlilik kat sayısı(k), mikrofiltasyonun geçirimlilik katsayısından daha düşüktür. Bu değer 0,1-10m/gün arasında değişir. Ayrıca k değeri membran malzemesine göre de değişir (Scott, 1995; Koyuncu, 1997).

Saf sular ve diğer sıvılar için uygulanan basınç ile akı arasında doğrusal bir ilişki vardır. Gerçek akışkanlar için artan basınç ile akı asimptotik değere ulaşma eğilimi gösterir. Bu da bir çok faktörün etkisine bağlıdır. Bunlar konsantrasyon polarizasyonu, jel tabakası oluşumu, tıkanma ve ozmotik etkidir. Ultrafiltasyon membranları için akı, sıcaklık ve basınca bağlı olarak değişir (Şekil 2.7). Şekil 2.7.a.'da görüldüğü gibi sıcaklık artışı ile akı devamlı surette artmakta olup aynı zamanda basınç ile de akı artar. Şekil 2.7.b.'de görüldüğü gibi Proses suları için membran üzerinde zamanla birikme meydana geldiği için akı azalır.



**Şekil 2.7.** Ultrafiltasyon membranlarında akının sıcaklık ve basınca bağlı olarak değişimi (Koyuncu, 1997)

Ultrafiltrasyonda performans belirli büyüklükteki moleküllerin geri döndürülmesi ile tanımlanır. Bu R ile gösterilir ve geri dönüş oranı olarak adlandırılır. Geri dönüş oranı sabit olmayıp işletme koşulları, çözeltinin konsantrasyonu, membran yüzeyinde konsantrasyon polarizasyonu gibi etkenlere bağlı olarak değişir. R değeri 0 ila 1 değeri arasında değişmektedir (Scott, 1995).

Ultrafiltrasyon başlıca içme sularında NWO gideriminde (Joseph vd., 1999) tekstil endüstrisi yün yıkama sularının geri kazanılması (Turpie vd., 1992), (Scott, 1995), yağ içeren atık suların arıtımında (Zaidi vd., 1992), elektro kaplama endüstrisinde (Scott 1995), mezbaha atık sularının arıtımında, gıda endüstrisinde (Scott, 1995) vb. bir çok endüstride kullanılmaktadır (Koyuncu, 1997). Aynı zamanda deniz suyu arıtma tesislerinin ters ozmoz sisteminde, ön arıtma amaçlı olarak da kullanılmaktadır (Strohwalld vd., 1992).

Mikrofiltrasyonda olduğu gibi çözelti ile membranın kimyasal uygunluğunu etkileyen faktörler doğru teşhis edilmelidir. Membran mekanizması, basınç artırıldığı zaman akının da artacağı bir elek olarak düşünülmektedir. Sınır tabakası içinde membran üst yüzeyinde çözünen maddelerin birikmesiyle oluşan konsantrasyon polarizasyonunun etkisi akıyı sınırlandırmaktadır. Makromoleküller yüksek basınç altında, ince tabaka formunda yüzey üzerinde oluşacak ikinci bir membran gibi davrandıklarından membran yüzeyinin tıkanmasına neden olmaktadır.

Özet olarak ultrafiltrasyon şu özellikleri taşır (Scott, 1995);

Membran	:	Asimetrik, delikli,
Kalınlık	:	150 $\mu$ m,
Delik Çapı	:	1-100 nm,
Basınç	:	1-10 bar,
Membran Malzemesi	:	Polimerik, seramiktir.

### 2.1.1.3. Nanofiltrasyon (NF)

Ters ozmoz ile ultrafiltrasyon arasında bulunmaktadır. Son zamanlarda ince filmli selüloz olmayan membranlardaki gelişmeler ile beraber ortaya çıkmıştır. Genellikle gıda ve biyoteknolojide proses verimlerinin artırılmasında ve yeni üretimlerin elde



edilmesinde kullanılmaktadır. Nanofiltrasyon, ters ozmozdan daha düşük basınçlarda (5-9 bar arası) çalıştırılır (Scott, 1995; Joseph vd., 1999; Koyuncu, 1997).

NF, ters ozmoz gibi yüksek sodyum geri dönüşümlerinde kullanılır. Fakat iki değerlikli ( $Mg^{+2}$  ve  $Ca^{+2}$  gibi) elementlerin tutulacağından genellikle kullanılmazlar. Nanofiltrasyon MWCO değeri 200-1000 dalton civarındadır (Scott, 1995; Joseph vd., 1999; Koyuncu, 1997).

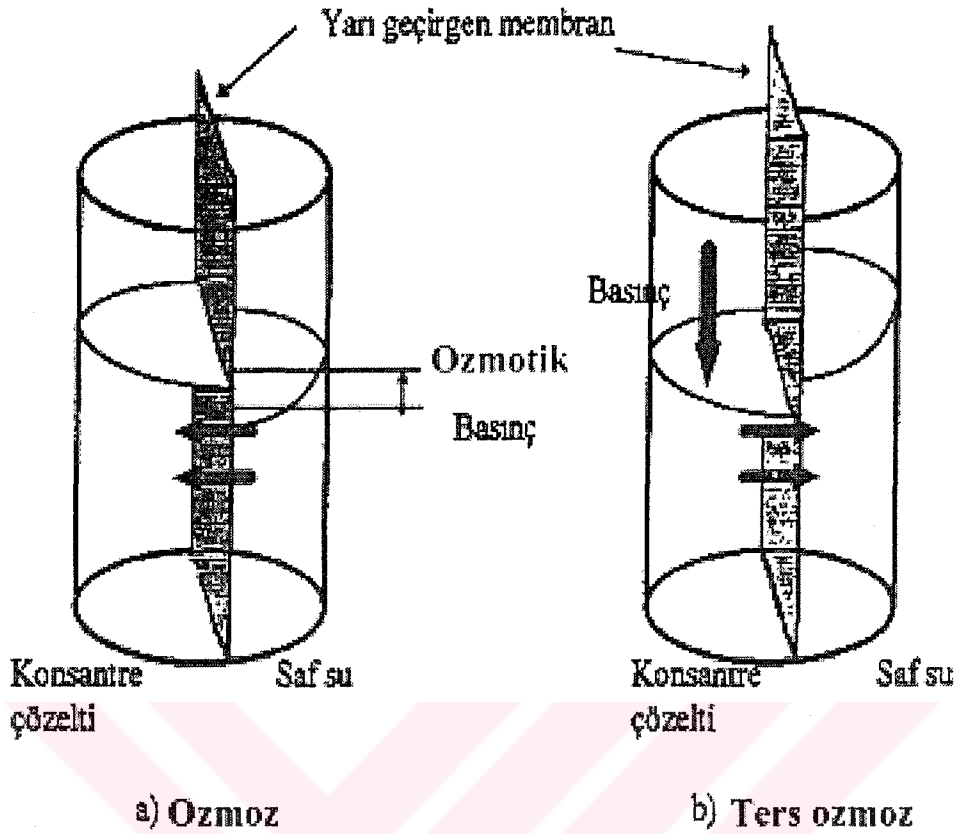
Endüstride nanofiltrasyon, tuzlu peynir sularının arıtımında, eczacılıkta, renk ve yüzey sularından sertlik gideriminde, NWO gideriminde (Joseph vd., 1999) ve TOC gideriminde gideriminde kullanılmaktadır (Koyuncu, 1997).

#### 2.1.1.4. Ters Ozmoz (RO)

Ters ozmoz sisteminin ilk uygulamaları, deniz suyu arıtımında olmuştur. 1983'e kadar çeşitli membranların geliştirilmesi ile birlikte kullanımı çok artmıştır. MWCO'u 100-110 dalton ve geri dönüşüm oranı %90 olan membranlar geliştirilmiştir. 1983'den sonra MWCO'u 50 civarında olan membranlar üretilmiştir (Koyuncu, 1997).

Ters ozmoz (RO) düşük molekül ağırlıklı çözünmüş maddelerin, çözelti içinden alınması prosesidir. RO prosesi hiperfiltrasyon (HF) olarak da adlandırılır. Ters ozmoz prosesini anlayabilmek için ozmoz olayını bilmek gerekmektedir. Şekil 2.8.'da görüldüğü gibi ozmoz, suyun yarı geçirgen bir membran ile ayrılması sonucu meydana gelir. Su ozmotik denge sağlanana kadar saf su tarafından konsantre çözelti kısmına doğru akar. Konsantre kısma basınç uygulanırsa, bu sefer su çözelti tarafından saf su tarafına geçer.

RO, NWO (Joseph vd., 1999), çözünmüş organik ve inorganik türleri ayırabilir. Ters ozmoz projesi, tekstil endüstrisi renk gideriminde (Koyuncu, 1997; Scott, 1995), elektro kaplama endüstrisi metal geri kazanımında, mezbaha atıksu arıtımında, gıda endüstrisinde (Scott, 1995), sızıntı suyu arıtımında (Scott, 1995), kağıt endüstrisi renk gideriminde (Zaidi vd., 1992), (Scott, 1995), demir çelik endüstrisinde, madencilikte vb bir çok endüstride kullanılmaktadır (Koyuncu, 1997).



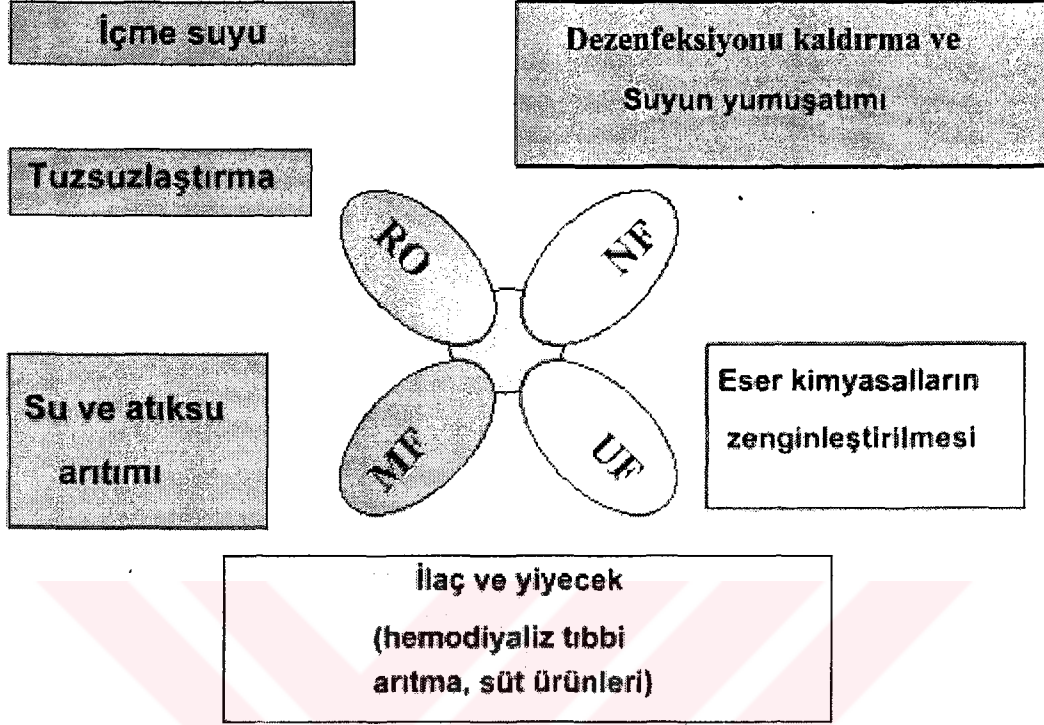
Şekil 2.8. Ozmoz ve ters ozmoz sistemlerinin şematik şekli ( Scott, 1995)

Ters ozmoz projesi için kullanılan membranlar, 1mm'den daha incedir. Kalınlığı 50-150  $\mu$  m arasında değişen üst tabaka, alt tabaka tarafından desteklenmektedir. En üst tabaka ayırma karakteristiğini belirler. Ters ozmoz en çok inorganik çözücülerin ayrılmasında kullanılır. RO proseslerinde 100  $\mu$  m kalınlıkta, selüloz asetat membranları çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Ters ozmoz, 0.0001 ile 0.001  $\mu$  arasındaki partiküllerin tutulmasında ekonomik olmaktadır (Koyuncu, 1997).

Özel olarak ters ozmoz şu özellikleri taşır (Scott, 1995);

Membran	:	Asimetrik veya kompozit
Kalınlık	:	Alt tabaka 150 $\mu$ m, üst tabaka 1 $\mu$ m,
Delik Çapı	:	< 2 nm,
Basınç	:	Kuyu suyu membranı 15-25 bar, deniz suyu membranı 40-80 bar,
Membran malzemeleri	:	Selüloz asetat, aromatik poliamid.

Şekil 2.9'da dört farklı membranın uygulama alanları verilmiştir (Kim, 1995).



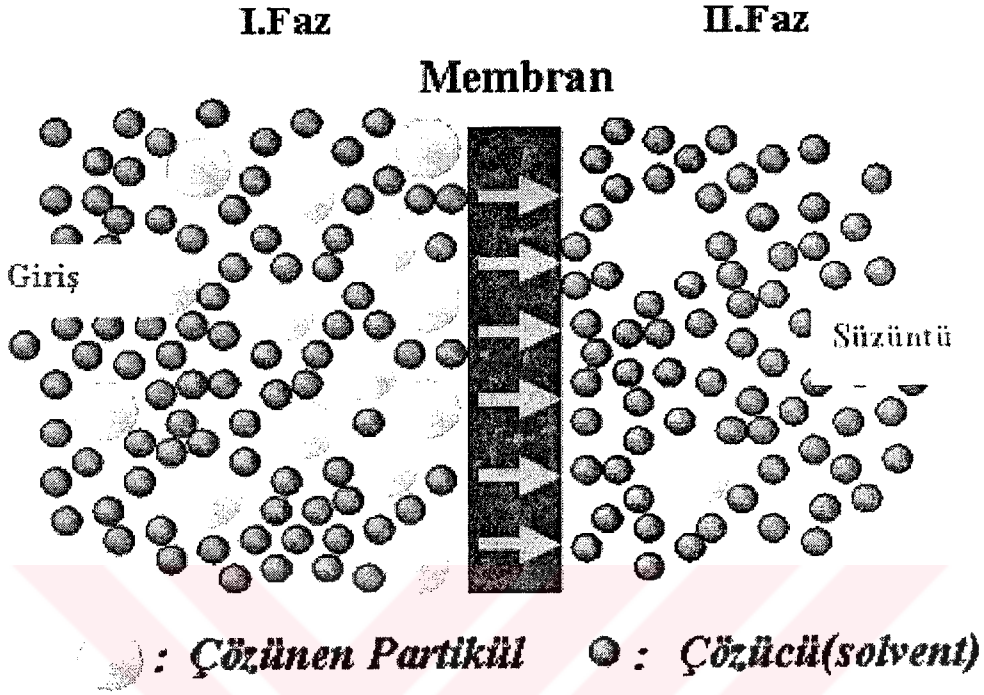
Şekil 2.9. Membranların uygulama alanları (Kim, 1995)

### 2.1.2. Membran İle Ayırma Mekanizması

Membranlar, karışım halindeki pek çok maddenin ayrılması maksadı ile kullanılmaktadır. Ayırma olayı iki ana grupta toplanmakta olup birincisi, çözünmüş maddelerin ikincisi ise, tutmak istenen partiküler maddelerin ayrılmasıdır. Şekil 2.10'da membran ayırma mekanizmasının şeması verilmiştir. Membran belirli türlerin hareketini kısıtlayan, metal, inorganik veya organik polimerlerden yapılan geçirgen veya yarı geçirgen bir malzemedir. Bu membranlar gaz ayırımı, katı/sıvı ve sıvı/sıvı ayırımı gibi amaçlar için kullanılır. Genel olarak;

1. Sıvılardan ve gazlardan mikron boyutundaki partiküllerin filtrasyonu,
2. Sıvılardan kolloidlerin ve büyük ölçekli moleküllerin (iyon boyutu da dahil olmak üzere) ayırımı,
3. Sadece iyonik türlerinin ayırımı,

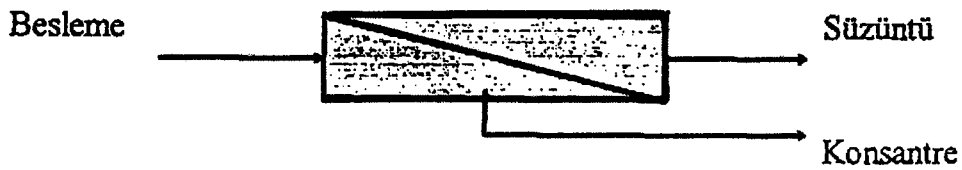
4. Sulardan ve diğer sıvılardan bütün askıda kalan veya çözünmüş maddelerin ayırımı, gibi maksatlar için kullanılır (Scott, 1995; Koyuncu, 1997).



Şekil 2.10. Bir membranın şematik gösterimi (Keskinler, 1997; Kim, 1995)

1.Faz, besleme 2.faz ise süzüntü fazı olarak adlandırılmaktadır. Ayırma işlemi, membranın 1. fazdaki bir bileşenini öteki bileşen veya bileşenlerden daha kolay bir şekilde diğer tarafa geçirilmesi esasına dayanır (Koyuncu, 1997).

Membranın üzerinden geçen akım, membran içinden geçen ve membrandan geçmeyen olmak üzere iki kısma ayrılır. Membrandan geçen akım, süzüntü, geçmeyen akım ise, konsantre akımı olarak ifade edilir. Bunların şematik gösterimi Şekil 2.11'de gösterilmiştir.



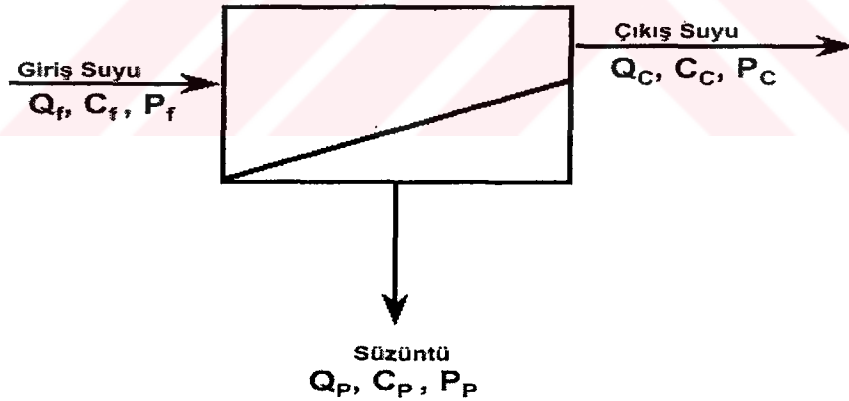
Şekil 2.11. Membran proseslerde giriş ve çıkış akımları (Koyuncu, 1997)

Membranların performansı, akı ve alıkoyma veya seçicilik olarak adlandırılan terimler ile ifade edilmektedir. *Akı*, birim zamanda membranın birim alanından geçen akım miktarıdır. *Alıkoyma*, membran tarafından, tutulan kısmın ölçüsüdür. *Seçicilik* ise membrandan geçen kısmın ölçüsüdür. İdeal bir membranda, yüksek seçicilik veya alıkoyma ile yüksek akı veya geçirimsizlik istenir. Akı,  $m^3 / m^2 \cdot \text{gün}$  veya  $L / m^2 \cdot \text{saat}$  gibi birimlerle ifade edilir (Koyuncu, 1997).

### 2.1.3. Temel Membran Terminolojisi

Üç akıntı (besleme, konsantre ve süzüntü) suyunu kapsayan temel membran proses şekli Şekil 2.12’de gösterildiği gibidir.

Her bir akıntı, debi(Q), çözeltinin konsantrasyonu(C) ve basınç(P)’in terimleri olarak tanımlanmaktadır. Aşağıdaki ifadeler basınçla çalışan membranların tanımlaması yapıldığı zaman kullanılan temel terimlerin bir kısmını oluşturmaktadır (Joseph vd., 1999).



Şekil 2.12. Farklı proses akımlarını gösteren genel membran şekli (Joseph vd., 1999)

#### 2.1.3.1. Transmembran Basıncı ( Membran Üzerindeki Basınç )

İlk membran üzerinde sürükleyici çapraz kuvvet transmembran basıncı olarak adlandırılır. UF ve MF’ye bir etkisi bulunmayan ozmotik basınç için membran prosesler düşünüldüğünde transmembran basıncı;

$$\Delta P = (P_f + P_c)/2 - P_p \quad 2.1$$

olarak tanımlanabilir.

Çalışmada elde edilen  $\Delta p = 0,225$  bar'dır.

RO ve NF sistemleri için;

$$\Delta P = \frac{P_f + P_c}{2} - p_d - \Delta\Pi \text{ 'deki gibi,} \quad 2.2$$

net sürücü basınç hesaplandığında ozmotik basınç eğimini düşünmek gereklidir (Joseph vd., 1999).

### 2.1.3.2. Transmembran Debisi

Bu terim, bir membran yüzeyi üzerinde kütle veya hacim transfer miktarları içinde Darcy Kanunu ile tanımlanabilir. MF ve UF sistemleri için;

$$J = \frac{\Delta P}{\mu R_m} \quad 2.3$$

NF ve RO sistemler için denklem hakkında,

$$J = \frac{\Delta P \sigma_k \Delta\Pi}{\mu R_m} \text{ ,deki gibi} \quad 2.4$$

ozmotik basınçtaki değişimler için hesaba göre değişiklik yapılabilir (Joseph vd., 1999).

Debi,

$$J = \frac{Q_p}{A} \text{ 'deki gibi} \quad 2.5$$

deneysel olarak elde edilebilir.

Çalışmada elde edilen  $J = 152,01 \text{ L/saat/m}^2$ 'dir

Çizelge 2.2., farklı membran prosesler için tipik transmembran proseslerini gösterir. Tahmin edildiği gibi daha büyük debi daha fazla geçirgen membran demektir. RO için debiler  $15-25 \text{ L/saat/m}^2$  arasında değişiklik gösterir. Bunun gibi MF ve UF için debiler ise genellikle  $68-170 \text{ L/saat/m}^2$  arasında değişiklik göstermektedir (Joseph vd., 1999).

**Çizelge 2.2.** Basınçla çalışan membran prosesler için tipik işletim karakteristikleri (Joseph vd., 1999)

Proses	Transmembran Debisi L / saat / m <sup>2</sup>	Spesifik Debi L / saat / m <sup>2</sup> / bar	Geri Devir Yüzdesi
Ters Ozmoz	12-25	<5	50-80
Nanofiltrasyon	17-34	5-10	75-90
Ultrafiltrasyon	68-170	60-250	90-98
Mikrofiltrasyon	68-170	60-250	90-98

### 2.1.3.3. Spesifik(Özgül) Debi

Her bir birim membran alanı ve sürücü kuvvetteki su transfer hacmi,

$$J_s = \frac{J}{\Delta p} \quad 2.6$$

ile tanımlandığı biçimde spesifik debidir.

Çalışmada elde edilen  $J_s = 675,02 \text{ L/saat/m}^2/\text{bar}$ 'dır.

Transmembran debisinin transmembran basıncına oranı olarak kabul edilir. Özgül debi, birbiriyle karşılaştırılabilen farklı membran faaliyetlerine uygun faydalı bir ölçümdür. Farklı membran prosesleri için spesifik debiler Çizelge 2.2'de gösterilmiştir. Çizelgeden görüldüğü gibi, UF ve MF için özgül debi, RO ve NF için olanlardan büyüktür (Joseph vd., 1999).

#### 2.1.3.4. Geri Besleme Suyu

Bir sistemin geri besleme suyu,

$$R = \frac{QP}{Q_r} \quad 2.7$$

şeklinde tanımlandığı gibi sızıntı olarak gösterilen besleme suyunun küçük parçası olarak da tanımlanır.

Çalışmada elde edilen  $R = \% 98,5$

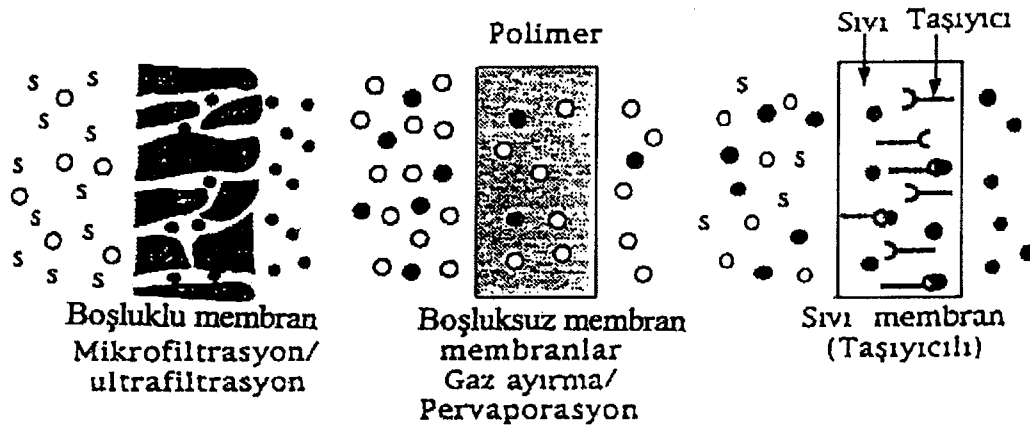
Küçük sistem için tipik besleme suyu geri devirleri Çizelge 2.2.'de gösterilmiştir. En yüksek geri devirler(%90-98) MF ve UF ile elde edilirken tipik NF geri devirleri %80 ila 90 arasında değişiklik göstermektedir (Joseph vd., 1999).



Netice olarak transmembran debisi ve transmembran basıncının standarda uygun olduğu görülmüştür. Özgül debi ve geri dönüşüm oranının ise yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bunun nedeni olarak da membran alanının küçük olması ve sistemde tek tabaka membran kullanılması, dolayısıyla suyun membran içindeki aldığı mesafenin küçük olması ve su hızının yüksek olmasından kaynaklandığı söylenebilir.

#### 2.1.4. Membranların Yapısı

Membran proseslerle kullanılan membranlar, özelliklerine göre çeşitli sınıflandırmaya tabi tutulurlar. Yapılarına göre doğal ve sentetik, organik ve inorganik, boşluklu ve boşluksuz, simetrik veya asimetric membranlar olarak gruplandırılabilirler. Kullanılan membran tipine göre, membran proseslerin gösterecekleri performansları da önemli ölçüde farklılık arz etmektedir. Simetrik membranların (boşluklu veya boşluksuz) kalınlıkları 10 – 200  $\mu\text{m}$ . arasında değişmektedir. Asimetric membranların gelişmesiyle, su ve atıksu arıtımında membranların kullanımı yaygınlaşmıştır. Bir asimetric membranın kalınlığı yaklaşık olarak, 50 – 150  $\mu\text{m}$  arasında boşluklu bir alt tabaka ile 0,1 – 0,5  $\mu\text{m}$  kalınlığında oldukça yoğun bir üst tabakadan oluşur. Asıl ayırma işlemi üst tabakada meydana gelir (Koyuncu, 1997).



Şekil 2.13. Üç temel membranın yapı ve ayırma özellikleri (Koyuncu, 1997)

Boşluklu membranlarda Şekil 2.13.'de gösterildiği gibi boşluklardan meydana gelir. Mikrofiltrasyon içinde kullanılan membranların boşluk çapları, 0,1–10 µm ve ultrafiltrasyon için kullanılanlar ise 2 -10 nm' dir. Konsantrasyon polarizasyonu bu membranların en önemli problemidir (Koyuncu, 1997).

Membranların tıkanmaya karşı direnci ve tıkanmadan sonra kolay temizlenebilme özelliği, membran seçiminde önemli bir faktördür (Koyuncu, 1997).

Boşluksuz membranlar ters ozmoz ve nanofiltrasyonda kullanılmaktadır. Bunlar kompozit veya asimetrik membranlar olarak bilinir. Bu filtrasyonda aynı molekül büyüklüğüne bağlı iyonlar tutulur.

Ayrıca membranlar, yapılarına göre organik ve inorganik olarak sınıflandırılabilir (Koyuncu, 1997). Organik maddelerin ana maddesi polimerlerdir. İnorganik membranlar kimyasal ve termal olarak organik membranlara göre daha iyi dayanıklılık gösterir. Ana yapım maddelerine göre inorganik membranlar başlıca;

1. Seramik membranlar,
  2. Cam membranlar,
  3. Metalik membranlar,
- olarak gruplandırılırlar (Koyuncu, 1997).

### **2.1.5. Membranların Karakteristikleri**

Kullanılacak membran tipi belirlenirken düşünülmesi gereken bir çok değişken vardır. Bunlar;

Sıcaklığa Dayanıklılık: Sıcaklık, plastik malzemenin performansını etkileyen önemli bir faktördür. Özellikle yüksek sıcaklıklı endüstriyel ayırma proseslerinde kullanılacak malzemeye dikkat edilmelidir. 0°C'den 82°C'ye kadar olan sıcaklıklarda membran teknolojisi kullanılabilir. Ters ozmoz sistemi ultrafiltrasyona göre daha hassastır. En çok kullanılan membran türü olan ve maliyet değerleri düşük olan selüloz asetat membranların 35-40°C'ye kadar dayandığı görülmüştür. Diğer membran türü olan seramik membranlara uygulanan sıcaklık 800°C'ye kadar çıkabilmektedir (Scott, 1995; Koyuncu, 1997).

Kimyasal Uygunluk: Membran polimerleri kimyasal olarak çözülmeye uygun ve dayanıklı olmalıdır. Çözelti içindeki kimyasal maddelere göre, membranlarda performans düşüklüğü meydana gelir. Selüloz asetat membranları özellikle klor karşı dayanıksızdır. Bu sebeple bu tip membranların beslenme suyunda klor olmamalıdır. Ayrıca suyun pH'sı da belli aralıklarda ayarlanmalıdır (Scott, 1995; Koyuncu, 1997).

Basınca Dayanıklılık: Her bir membran türü için ayrı basınçlar uygulanmaktadır. En düşük basınç mikrofiltrasyonda (1-8 bar), nanofiltrasyonda (10-30 bar), en son olarak da ters ozmozda (10-100 bar) uygulanmaktadır. Normalde yüksek basınç uygulamaları, membranların yapılarını bozmaktadır (Koyuncu, 1997).

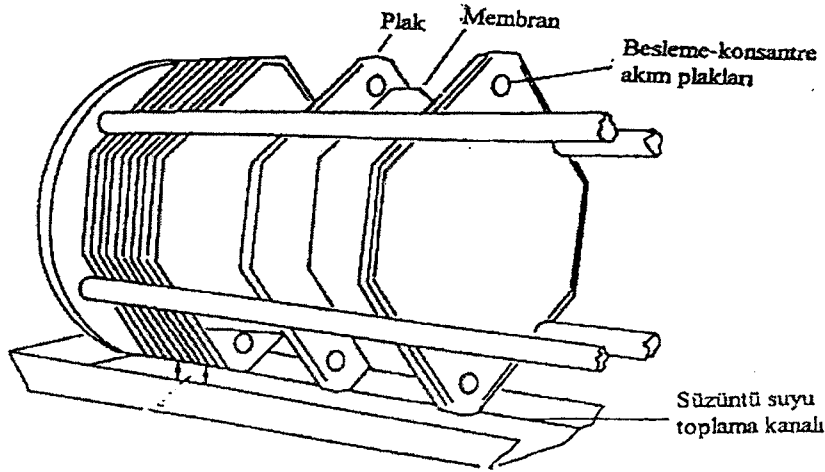
pH'a Dayanıklılık: Asitliğin ve bazikliğin bir belirtisi olan pH, membranın ömrü açısından önemlidir. Genelde kullanılan pH aralığı 2-8'dir. Selüloz asetat membranları pH'a karşı çok hassastırlar. Yüksek pH'larda membran kullanımı sınırlıdır (Scott, 1995; Koyuncu, 1997).

Mekanik Kararlılık: Mekanik kararlılık, diğer özelliklere göre daha az önem taşır. Yüksek basınçların kullanıldığı membranların mekanik dayanıklılığı da yüksek olması gerekir. Genel olarak membranlar yüksek geçirgenlik, iyi seçicilik, kararlı işletme özelliğine sahip olmalı ve düşük maliyet gerektirmelidir (Koyuncu, 1997).

## **2.1.6. Membranların Tertip Tazları**

### **2.1.6.1. Plak ve Çerçeve Membranlar**

Membran büyük dairesel plaklar arasına yerleştirilerek teşkil edilmiştir. Yapıları, bir plaka-çerçeve pres filtrelerine benzerlik arz etmektedir. Ağır, büyük ve işletilmesi zordur. Membranların değiştirilmesi problemlidir. Her plaka 0,5 - 1 mm kalınlığındadır. Kanal uzunluğu 6-60 cm arasında değişir (Şekil 2.14). Uzunlamasına modüllerde akım bütün modüllere paralel olarak akar ( $\approx 2\text{m/s}$ ). 30 plaka ile basınçta 10 barlık bir azalma tespit edilmiştir (Koyuncu, 1997).

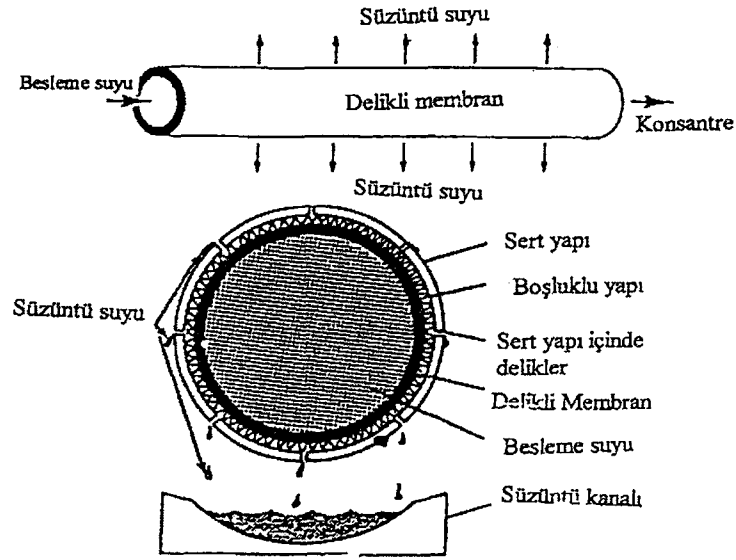


Şekil 2.14. Plaka ve çerçeve membranların tertip tarzı (Koyuncu, 1997)

ABD’de kullanımları kaldırılmıştır. Avrupa’da Danimarka ve Almanya’da hala üreticileri vardır (Koyuncu, 1997). Membran fiyatı, selüloz asetat membranlar için ABD’de  $\$100/m^2$  selüloz olmayan RO membranlar için  $\$ 200/m^2$  ve polisülfane membranları için ise  $\$120/m^2$  değerindedir (Scott, 1995).

#### 2.1.6.2. Tüp Şeklindeki Membranlar

0,7-2,5 cm çaplarında ve 0,6-0,24 m uzunluklarında, küçük tüplerin büyük sağlam tüpler veya borular içine yerleştirilmesi ile teşkil edilmiştir. Şekil 2.15’te gösterildiği üzere, süzüntü akımı tüp dışına çıkar. Konsantre kısım, ortadaki tüpte toplanır. Delikli yapı membrandan geçen suyun toplanmasını sağlar. Membran genelde 1,3 cm çapındadır. Tüp membranların üretimlerinin pahalı olmasından dolayı büyük hacimli içme suyu tesislerinde kullanımları sınırlıdır. Büyük alana ihtiyaç göstermeleri ve maliyetlerinin çok olmasından dolayı kullanımları genellikle atıksu arıtımında olmuştur. Askıda katı madde konsantrasyonu ve viskozitesi yüksek sıvılarda, membran tıkanmadan uzun süre kullanılabilir. Bu membranlar hem mekanik olarak temizlenebilmekte hem de türbülanslı akım oluşturarak, tıkanma minimuma indirilebilmektedir. Bu maksatla burada 2 – 6 m/s arasında değişen hızlar uygulanmaktadır. 1,25 ve 2,5 cm iç çapında ve 150 – 610 cm boyutlarında üretilir. Her bir tüp için debisi 15 – 60 L/dakika’ dır (Koyuncu, 1997).

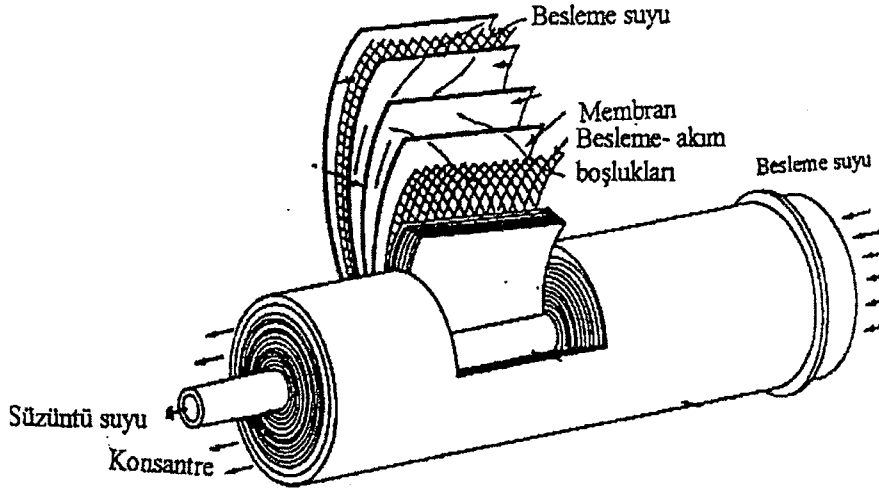


Şekil 2.15. Tüp şeklindeki membranlar (Koyuncu, 1997)

Genelde membran malzemesine bağlı olarak tüp membran maliyeti \$90–700/m<sup>2</sup> arasında değişmektedir (Scott, 1995; Koyuncu, 1997).

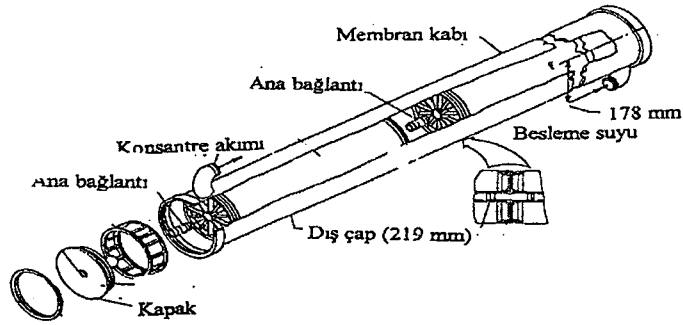
### 2.1.6.3. Spiral Sargılı Membranlar

Spiral sargılı membranlar, plak ve çerçeve membranların daha geliştirilmiş bir halidir. Bu tertip tarzı ile plaka ve çerçeve membranların bir çok dezavantajı ortadan kaldırılmıştır. Böylece kullanımı artmıştır. Özellikle su yüzeyinde tüp şeklindeki membranların yerini almıştır (Koyuncu, 1997). Şekil 2.16.'da bu tip bir membran şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.16. Spiral sargılı membranlar (Koyuncu, 1997)

Yukarıdaki şekilde spiral sargılı membranların düzenlenme şekli verilmektedir. İki membran arasında gözenekli bir yapı bulunmaktadır. Bunların hepsi, beraber üretilen suyu toplayan bir tüp üzerine sarılır. Rulo halindeki membran ve delikli yapısı, 5,10,20 cm'lik standart çap ve 15-150 cm uzunluğunda imal edilir. Membran alanı çapa bağlı olarak 15 m<sup>2</sup> ye kadar çıkabilir(bu modele ve üreticiye bağlı olarak değişir). Membranlar, membran kabı içinde (tek bir modül oluşturabilmek için), sayıları 2-6 arasında değişen miktarda yerleştirilir. Membran kabı fiberglas, PVC veya paslanmaz çelik olabilir. Şekil 2.17.'de spiral sargılı bir membranın kabı görünmektedir.

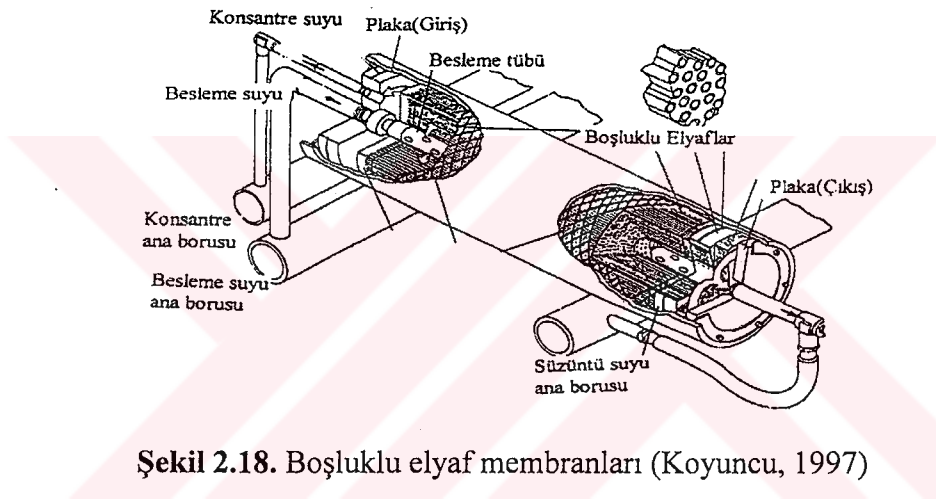


Şekil 2.17. Spiral sargılı membran kabı (Koyuncu, 1997)

Bir membran kullanıldığında geri kazanım %30 civarında iken modül tasarımı ile bu oran %90 mertebesine kadar artırılabilir. Bu membran alanının artmasından kaynaklanmaktadır. Membran için selüloz asetat, poliamid ve kompozit poliamid malzemeler kullanılmaktadır (Scott, 1995; Koyuncu, 1997).

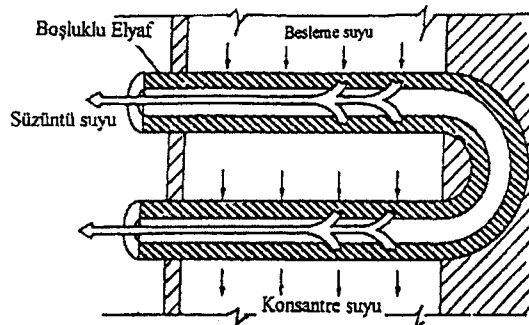
#### 2.1.6.4. Boşluklu Elyaf Membranlar

İlk kullanımı 1969'da olmuştur. İnsan saçı çapında uzun tüpler halinde üretilirler. Bu membranlarda, iç çap ile dış çap oranı 2:1'dir. Şekil 2.18 ve 2.19'de boşluklu elyaf membranlar gösterilmektedir.



Şekil 2.18. Boşluklu elyaf membranları (Koyuncu, 1997)

Besleme suyu dağıtım borusunu saran binlerce elyafın oluşturduğu bir yığın halindedir. Bu yığın tabaka basınçlı bir fiberglas, PVC veya paslanmaz çelikten yapılmış kaba yerleştirilir. Temiz su, içteki bölmede toplanır (Koyuncu, 1997).



Şekil 2.19. Boşluklu elyaf membranının küçük ölçekli gösterimi (Koyuncu, 1997)

Ultrafiltrasyon için üretilen boşluklu elyaf membranlar, selüloz olmayan polimerik membranlar ile teşkil edilir. Her bir delikli elyafın çapı 0,19-1,25 mm arasında değişir. Kalınlığı ise 200  $\mu$ m arasındadır. İşletme sıcaklığı 75-80<sup>o</sup>C' ye kadar çıkabilir. Modül çapı 10–20 cm ve membran alanı 4,7–7,8 m<sup>2</sup> arasında değişir. Membrana verilecek suda büyük çaplı partiküllerin olmaması gerekir. Bu sebepten, 50-100  $\mu$ m çaplı partiküllerin tutulması için ön arıtmaya ihtiyaç duyulur. Bu membranlar tıkanmaya karşı hassastır. Bunun yanında geri yıkama yapılabilir. İşletme hızı 0,5-2,5 m/s arasında değişir. Membranın yenilenme maliyeti yüksektir. 7,5 cm çaplı modüllerin maliyeti \$600 /7,5 cm dir. Yenileme maliyeti ise \$200-300/m<sup>2</sup> 'dir (Scott, 1995; Koyuncu, 1997).

#### 2.1.6.5. Membran Tertip Tarzlarının Karşılaştırılması

Çizelge 2.3'de membran tertip tarzlarının ilk yatırım, tıkanma, temizleme ve işletmeye maliyeti açısından karşılaştırılması gösterilmiştir.

Çizelge 2.3. Membran tertip tarzının karşılaştırılması (Koyuncu, 1997)

	Tüp	Plaka ve Çerçeve	Spiral Sargılı	Delik Elyaf
İlk Yatırım	Yüksek			Düşük
Tıkanma Eğilimi	Düşük			Çok Yüksek
Temizleme	İyi			Zayıf
İşletme Maliyeti	Yüksek			Düşük

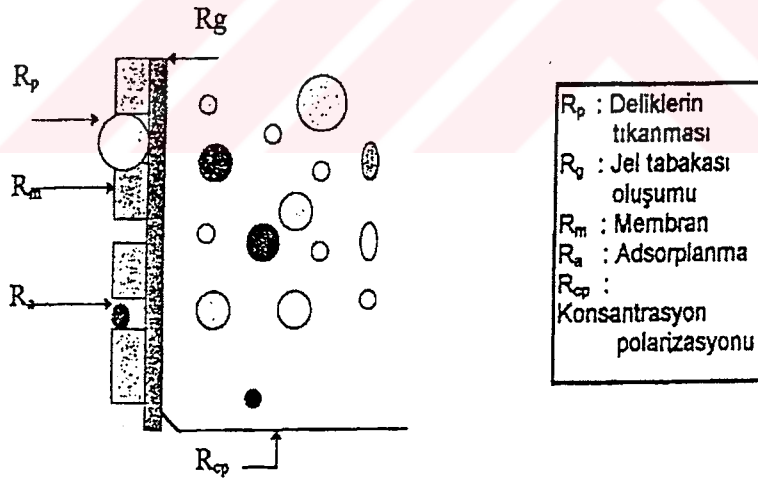
#### 2.1.7. Konsantrasyon Polarizasyonu ve Kontrol Metotları

Polarizasyon ve tıkanma, membran sistemini ideal durumunda bir düşüş meydana getiren olaylardır. Meydana gelen düşüş akıdaki azalma ile ortaya çıkar. Meydana gelen etki, membran proses tipine bağlı olarak değişir. Örneğin, membran yüzeyinde biriken makromoleküller ve partiküler maddeler, polarizasyon ve tıkanmaya sebep

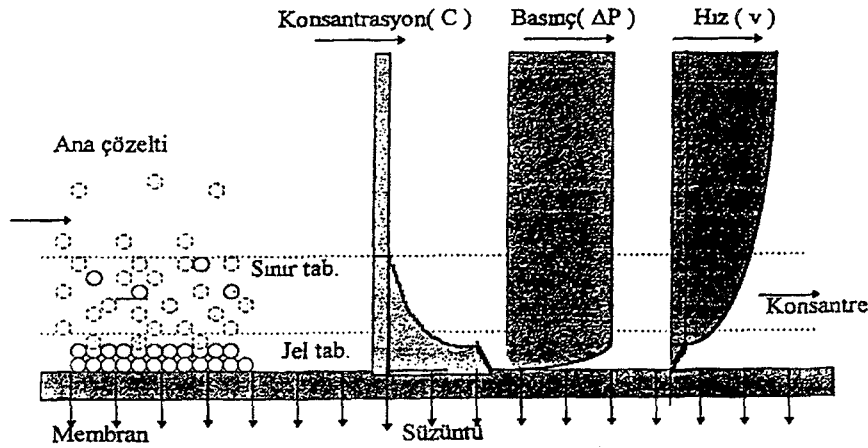


olur. Akıda düşüş meydana getiren polarizasyon ve tıkanma, membran yüzeyinde ilave bir bariyer oluşturarak, akışkanın direncini artırır (Koyuncu, 1997).

Şekil 2.20.'de gösterildiği gibi ideal bir durumda akışkana karşı tek direnç, membranın direncidir. Membran, çözelti içindeki çözülmüş maddeleri geri çevirir. Bu sırada membranların yüzeylerinde birikme meydana gelir. Buda ilave bir direnç oluşturur. Meydana gelen bu direnç, konsantrasyon direnci olup bu olaya da konsantrasyon polarizasyonu denir. Membran kenarında meydana gelen konsantrasyon zamanla daha çok artar. Bunun sonucu, jel polarizasyonu olarak adlandırılan bir direnç tabakası daha oluşur. Diğer bir direnç türü, özellikle boşluklu membranlarda, membran deliklerinin tıkanması ile oluşan dirençtir. Son olarak oluşan direnç, adsorplanmadan kaynaklanır. Membran üzerinde konsantrasyonun artışı aynı zamanda, boşluk çapının daralmasına sebep olur (Koyuncu, 1997). Şekil 2.21'de konsantrasyon polarizasyonu ve jel tabakası oluşumunun şekli verilmiştir (Koyuncu, 1997).



Şekil 2.20. Membran yüzeyinde meydana gelen direnç türleri (Koyuncu, 1997)



Şekil 2.21. Konsantrasyon polarizasyonu ve jel tabakası oluşumunun şekli  
(Koyuncu, 1997)

**a) Ön arıtma ile polarizasyonun kontrolü:**

Membran prosesler, atık su arıtımında da uygulanır. Membrandan geri çevrilen partiküller, membran üzerinde birikmeye başlarlar. Artan kek tabakası kalınlığından dolayı direnç meydana gelir. Bu direnci düşürmek için ön arıtma elamanları kullanılır. Ön arıtma elamanları ile membranın kullanım süresi de uzatılmış olur (Schweitzer, 1979).

**b) Geri yıkama ile polarizasyon kontrolü:**

Eğer membran yüzeyinde bir kek tabakası oluşması söz konusu ise geri yıkama ile membran üzerindeki bu tabaka sıyrılabilir (Schweitzer, 1979).

**2.1.8. Membran Tıkanması ve Tıkanmayı Etkileyen Etkenler**

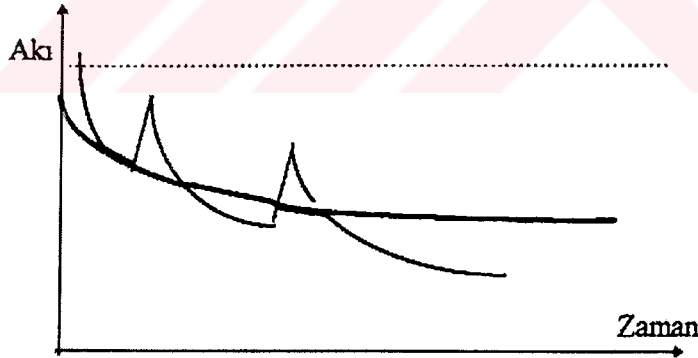
Tıkanma membran tarafında tutulan, kolloid, tuz, makromolekül gibi partiküllerin membran yüzeyinde veya gözeneklerinde birikmesidir. Birikmenin artması akının devamlı suretle azaldığını gösterir. Meydana gelen tıkanma uygulanan sisteme göre değişir. Tıkanmanın en basit anlamda, yüzeyde bir katı kek oluşması, ilave bir direnç oluşturmasıdır. Tıkanma ile birlikte akıda azalma meydana gelir. Akının kararlılığı işletme maliyeti açısından önemlidir.

Kararlı akı değeri, çapraz akışlı filtrasyonda uzun süreli olarak devam edebilir. Burada konsantrasyon polarizasyonu kontrol edilmelidir. Dik akışlı (dead end) filtrasyonda, jel tabakası oluşumu daha hızlıdır ve devamlı suretle artar. Bunun sonucu olarak akıda sürekli bir azalma meydana gelir. Birçok tesiste akı, uzun süreli olarak incelenmektedir. Akıda meydana gelen azalma, membranın yenilenme maliyetini etkiler (Scott, 1995; Koyuncu, 1997).

### 2.1.8.1. Tıkanmayı etkileyen etkenler

#### a)Ön Arıtma:

Ön arıtma membran performansında önemli bir yere sahiptir. Şekil 2.22.'de arıtılmış kanalizasyon atıkları ile yapılan akı deneyleri gösterildiği gibidir (Schweitzer, 1979). Burada görüleceği üzere, ham atıksudaki akının azalma sebebi, askıdaki katı maddelerin yüzeyde birikmesi iledir. Askıdaki katı maddeler, kimyasal çöktürme ile çöktürülürse akı, daha iyi bir duruma gelebilir. Biyolojik arıtma ile çözülmüş organik maddelerin arıtılması, akıyı daha da artırmıştır (Koyuncu, 1997).



Şekil 2.22. Membran temizlendikten sonra akının değişimi (Koyuncu, 1997)

#### b) Membran gözenek çapı:

Yüksek gözenek oranındaki membranlar, düşük membran direncine sahip olduklarından yüksek akılar meydana gelir (Koyuncu, 1997).

**c) Membran tipi:**

Spiral sargılı membranlar, yüksek yüzey alanına sahiptir. En büyük avantajları, ekonomik olmaları ve üretimlerinin kolay olmasıdır. Alan büyük olduğu için geçen akı miktarı büyük olur. Yüksek oranda katı madde içeren sular için kullanımları elverişli değildir. Çünkü kanal arası mesafe küçük olduğu için tıkanmaya kolay maruz kalır. Boru şeklindeki membranlar, yüksek oranda katı madde alma kapasitesine sahiptir. Fakat alanı düşük olduğu için daha az akım geçer akı küçük olur ve maliyetleri de modül başına yüksektir.

Delikli elyaf membranlarda da oluşan akı düşüktür, alanları küçüktür. Tıkanmaya karşı diğerlerine göre daha hassastır (Scott, 1995; Koyuncu, 1997)



## 2.2. Florür

### 2.2.1. Florürün Bulunduğu Kaynaklar, Isparta Florür Kaynakları ve Florürün Çevre ve İnsan Sağlığına Etkisi

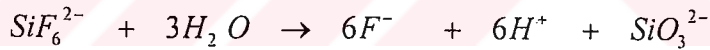
Flor, diş ve kemik yapısında bulunan önemli bir elementtir. Diş ve kemik oluşumunda büyük rol oynayan flor elementi, kemiğe sağlamlık ve parlaklık veren bir maddedir. Flor elementi doğada çeşitli minerallerin yapısında bulunur; florit ( $\text{CaF}_2$ ), kriyolit ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ), florapatit ( $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2\text{CaF}_2$ ).

Florit: Flor elementinin en önemli endüstriyel kaynağı florit mineralidir. İçinde %51,3 kalsiyum ve %48,7 flor elementi vardır. Saydam ve yarı saydam bulunur.

Kriyolit: Saf halde %12,9 alüminyum, %32,8 sodyum ve %54,3 flor içerir.

Florapatit: Fosfat taşı olan florapatit, %3,4 oranında flor içerir (Çakar, 1997).

Florür en aktif element olarak bilinir. Doğada basit florür bileşikleri ve birçok kompleks iyonlarda bulunur. Başlıca florür bileşikleri  $\text{NaF}$ ,  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{H}_2\text{F}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{SiF}_6$ ,  $\text{H}_2\text{SiF}_6$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6$  vb genellikle florosilikat iyonlarının hidroliziyle oluşur (Kır, 1997).



Flor çok elektronegatif bir elementtir ve bundan dolayı doğada asla elementer halde bulunmaz. Yeryüzü tabakasının yaklaşık %0,06-0,09'u flordur. Yeryüzü kabuğunda flor, klordan daha çoktur, çinko ve bakırın 5 ile 10 katı ve kurşunun da 30 katı kadardır (Çakar, 1997).

Topraktaki flor konsantrasyonu derinliklere inildikçe artar. Yüksek dağlık bölgelerde florür miktarı oldukça düşüktür. Dağlarda meydana gelen erozyonlardan dolayı florür, diğer halojenler gibi sürüklenerek düşük platolara veya çay, nehir ve denizlere taşınırlar (Çakar, 1997).

Tabii suların kapsamında çoğunlukla az miktarda florür bulunur. Birçok minerallerin bileşiminde bulunan florürün en önemli kaynağı apatit ( $\text{CaF}_2$ )'tir. Derinden alınan

sularda, özellikle petrol kuyularındaki tuzlu sularda ve son zamanlarda volkanizma geçirmiş arazilerden gelen sularda florür görülür (Kır, 1997) .

Yeryüzündeki bütün sular çeşitli konsantrasyonlarda florür içerir. Deniz suyu 0.8-1.4 mg/kg seviyelerinde florürün önemli bir miktarını içerir. Yüksek florür konsantrasyonu içeren sular genellikle yüksek dağların eteklerinde ve deniz kökenli jeolojik birikintili bölgelerde bulunur. Su, yer üstü yer altında akarken yolu üzerinde temas ettiği flor bileşiklerini de eriterek beraberinde götürür. Flor bileşiklerinin su içinde erime kabiliyetleri gayet az olduğundan, sudaki flor konsantrasyonu sınırlıdır. Yer küresinde su içindeki flor miktarı 0-67 mg/L arasında değişir. Genellikle 10 mg/L floru ihtiva eden sular azdır. Yüzeysel sular ise nadiren 1mg/L'den fazla olmaktadır (Çakar, 1997).

*Isparta ve Florür:* Tabiatta florürlü sular genellikle volkanik bölgelerde bulunur. Isparta ve çevresi ise böyle bir volkanik arazi üzerinde kurulmuştur. Gölcük yöresi volkanik kayalarından çıkan su kaynakları 0,7 ile 5,6 mg/L arasında değişen florür değerleri vermekte olup 2,5 mg/L florür eşik değeri ile temsil edilmektedir. Gölcük Gölü'nde ölçülen florür konsantrasyonu 1,78 mg/L' dir. Bu değerlerde Dünya Sağlık Örgütü içme suyu standartlarını aşmaktadır. Fakat sedimentlerden çıkan kaynakların suları genelde 0,7 mg/L altında florür değerleri vermektedir. Böylece Gölcük yöresi yeraltı suları;

1. Volkanik kayalar içinde bulunan florürce zengin,
2. Sedimanter kayalar içinde yer alan florürce fakir alan olmak üzere iki bölgeye ayrılabilir.

1982-83 yılları arasında yapılan bir çalışmada Isparta şehir merkezi içme sularında çeşitli örnekler alınarak florür miktarı ölçülmüş ve genelde Dünya Sağlık Örgütü'nün üst sınır olarak vermiş olduğu florür konsantrasyonuna eşit veya üstünde değerler bulunmuştur. Dünya Sağlık Örgütü standartlarına göre içme suları 0,5 ile 1mg/L arasında florür içermelidir. Isparta için yıllık ortalama sıcaklık dikkate alındığında Dünya Sağlık Örgütü'nce müsaade edilen maksimum içme suyu florür konsantrasyonu 1,2mg/L' dir. Isparta ilinde yıllık sıcaklık ortalaması 22°C'dir (Kır, 1997).

İstasyon ölçümleri aşağıdaki Çizelge 2.4’de verilmiştir. Çizelge 2.5’da ise mart 2000’de bazı istasyonlarda yapılan ölçümler görülmektedir.

**Çizelge 2.4.** Isparta’da bazı istasyonlarda ölçülen florür konsantrasyonların maksimum ve minimum ortalama değerleri (Kır, 1997)

İstasyon No	Minimum(mg/L)	Maksimum(mg/L)	Ortalama(mg/L)
Çüntür Su Deposu	0,01	0,195	0,053
Karpuz Çeşmesi	0,13	0,49	0,36
Gölcük Gölü	0,79	1,55	1,12
Milas Çeşme Suyu	0,38	1,2	0,77
Isparta Deresi	0,13	1,1	0,40
Andık Deresi	2,65	3,4	2,99
Ayazma Çeşmesi	0,025	0,18	0,068
Anadolu Mahallesi	0,145	0,35	0,220

**Çizelge 2.5.** Isparta civarında istasyonlarda Mart 2000’de yapılan ölçümler

İstasyon No	(mg/L)
Gölcük Gölü	0,439
Milas Çeşme Suyu	0,532
Isparta Deresi	0,279
Andık Deresi	0,875
Anadolu Mahallesi	0,114
Ayazma Çeşmesi	0,686
Karpuz Çeşmesi	0,224
Tren Garı	0,517
Mimar Sinan	0,124
Yayla Mahallesi	0,252
SDÜ	0,142

Florür insan sağlığı için son derece önemli ve gerekli bir elementtir. İçme sularında olması gerekenden daha az miktarda bulunduğu zaman (0,0-0,5 mg/L) dış çürümesine neden olur. Florür konsantrasyonu 0,5-1,5 mg/L arasında olduğu

zaman diş çürümelerini önler. Fakat 1,5-4 mg/L arasında olduğu zaman “Diş florosisi” meydana gelir. 4,0-10 mg/L arasında olduğu zaman ise bu sefer iskelet sisteminde florosis hastalığı oluşur, 10 mg/L’den fazla olduğunda ise sakatlığa yol açan florosis oluşur (Kır, 1997).

Florürün güvenilir maksimum günlük dozajı olarak bir fikir birliği olmamasına rağmen, vücut ağırlığının her kg’ına göre günde alınması gereken en uygun miktarı 0,05 ile 0,07 mg F- arasındadır (Çakar, 1997).

Çizelge 2.6’da görüldüğü gibi kemik ve dişlerin farklı bölümlerindeki florür miktarları verilen ve absorbe edilen miktarlara, çeşidine, mekana, dokunun aktivitesine ve bireyin yaşına bağlı olarak değişir.

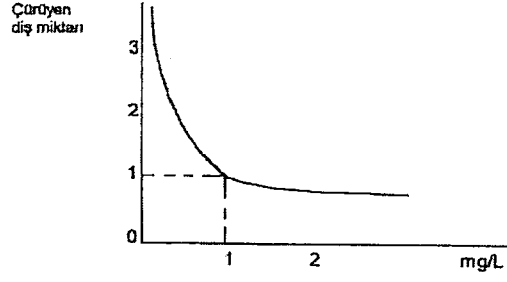
**Çizelge 2.6.** Florür insan vücudunda bulunuşu (Çakar, 1997)

Doku	Flor oranı (mg/kg)
Kemik	100-9700
Diş	90-1600
Kan	0,01-2

Organizmaya böbreklerden hemen atılamayacak kadar fazla florür girdiğinde, kandaki florür düzeyinin normal sınırlar içinde kalabilmesi için kemiklerdeki tutulma artar. Gerek genel sağlık açısından, gerekse çürükten korunma açısından ideal olan günlük florür alım dozu 1 litre içim suyunda 1mg’dır (Çakar, 1997).

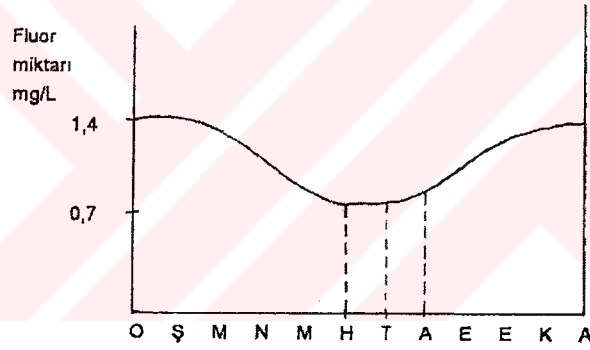
Organizma için en önemli florür kaynağı sulardır. Diş sağlığını korumada en önemli ve en ucuz yöntem içme sularının florür içeriğinin optimal seviyeye getirilmesidir. Suda optimal florür düzeyi çürük önleyici etkisinin en fazla, yan etkisinin (florosis) en az olduğu seviye olarak tanımlanır. Florür oranının az olması halinde, dişlerin çıkmasından önceki dönemde (0-12 yaş arasında) başka vasıtalarla alınması gereken mineraldir. Diş çürümeleeri ile su içindeki florür miktarı arasındaki ilişkiyi şematik olarak Şekil.2.23’deki gibi gösterebiliriz (Çakar, 1997).





Şekil 2.23. Su içindeki florür ile diş çürükleri arasındaki ilişki

Florür değeri ılıman iklimler için 1mg/L olup suyun tüketimine bağlı olarak iklimler arasında değişiklik gösterir. Soğuk iklimlerde bu değer yükselirken (1,2mg/L), sıcak iklimlerde düşer(0,8mg/L). Şekil 2.24.'da görüldüğü gibi içme suyundaki florürün miktarı mevsimlere bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Çakar, 1997).



Şekil 2.24. Sudaki florür miktarının aylara göre değişimi

Florürün yararlı etkilerinin yanısıra toksik etkisi de vardır. Diş çıkma dönemlerinde sürekli olarak, normal günlük dozun üç katından daha fazla florür alındığında mine organik matriks yapısı zarar görerek floroz veya lekeli mine adı verilen durumlar ortaya çıkar. İçme suyundaki florür oranı fazlalığına ve alım süresine bağlı olarak mine dokusundaki bozukluklar da artar. Daha yüksek dozda, uzun süreli florür alan kişilerin 10-20 yıl süre ile günlük alım dozunun 1 litre içme suyunda 20-80 mg olduğu durumlarda ise eklem ve kemik deformasyonları ve hareket zorluğu gibi vakalar ortaya çıkar. Ayrıca bazı vakalarda erken yaşlanma da olmaktadır (Çakar, 1997).

## 2.2.2. Florür Tayini

### 2.2.2.1. Florür İyonunun Elektrokimyasal Olarak Saptanması

Hali hazırda florürün saptanması için standart metotlar vardır, elektrot metodu ve iki kalorimetrik yöntem. Elektrot metodu basittir fakat gelişmiş ölçekli bir pH metre ve özel bir elektroda ihtiyaç duyar (Çakar, 1997).

Son yıllarda, sürekli analizlere duyarlı olduğu için iyon seçici elektrotların kullanımına ilgi artmıştır. Bu teknik, kullanımı daha basit ve hızlı olmasıyla karakterize edilir.

İyon seçici elektrot(ISE) uygulamaların endüstriyel analitiksel alanda geleceği parlak gözükmektedir. İyon seçici elektrotlar, bir proses çözeltisi içine yerleştirilmelidir. Bu elektrotlar çözeltinin bileşimini karakterize eden bir elektriksel sinyal yayacaktır. Bu bilgi süratle elde edilir. Bir kontrol edici veya bir proses bilgisayarından işletme de faydalanılır.

En kolay florür tayini ise iyon seçici elektrotla yapılmaktadır. Bu yöntemle standart florür çözeltileri hazırlanarak, alet istenilen aralıkta ölçüm yapacak şekilde ayarlanır. Florür iyon elektrotuyla direkt rastlanan anyonik girişime hidroksi(OH<sup>-</sup>) iyonu sebep olur.

### 2.2.2.2. İyon Seçici Elektrotla Düşük Konsantrasyonlarda Florür Tayini

Florür iyon seçici elektrotu (ISE), florür tayini için hassas ve seçici bir enstrümandır. ISE' un tepkisi NaF çözeltisinde  $10^{-5}$  M F<sup>-</sup> veya  $1.5 \cdot 10^{-6}$  M F<sup>-</sup> ve tamponlu NaF çözeltisinde  $5 \cdot 10^{-8}$  M F<sup>-</sup> Nernst olarak saptanmıştır. F<sup>-</sup> ile güçlü kompleks veren katyonlarla Nernst tepkisi  $10^{-9}$  M florür tayin edecek ölçüde geliştirilmiştir. Ancak düşük florür iyon konsantrasyonlarında elektrot tepkisinin yavaş olduğu görülmüştür. Bu tür çalışmalarda elektrot potansiyel akımının sık sık kalibre edilmesi gerekir.

Elektrotlar özel iyonik türleri ölçerler. Al(III), Fe(III) ve Si(IV) ve florür elektrotuyla ölçülemeyen bu katyonlarla ilişkili olan florür parçasından oluşan bileşikleri

ölçmezler. Bu karışıklığın üstesinden gelmek için, bir TISAB ayarlayıcısı kullanılmaktadır.

Elektrotu analitin konsantrasyonuna eşdeğer olan bir standart çözeltide 12-18 dakika bekleterek sabit bir elektro potansiyel elde edilmiştir (Çakar, 1997).

Katı halde veya çökelti elektrotları örnek veya referans çözelti arasındaki anyonları seçen bir katı membran içerir. Membran genel olarak merak edilen anyon ve çözeltideki anyonu çökeltilebilen bir katyondan oluşmuştur. Florür için katı haldeki bir elektrot son on yıl içinde gelişmiştir.

Daldırmalar arasında elektrot yumuşak dokulu bir kağıt ile silinerek, elektrot uçlarındaki yapışkan sıvı damlaları yavaşça kurutulmuştur. Elektrotlar suyla veya bir tampon çözeltisiyle durulanmaz.

Bu işlemlerde elektrot potansiyelinin ölçme hassaslığı sıcaklığın sabit kalmasına bağlı olduğu esas alınmıştır. Eğer sıcaklık  $\pm 2$  ° C aralığında sabit tutulursa, elektrot bir kalibrasyon gerektirmeden haftalarca çalıştırılabilir (Çakar, 1997).

Florür çözeltisi karıştırılırken elektrot tepkisinin değiştiği gözlenmiştir. Fakat karıştırma durdurulduğunda elektrot 5 ile 30 dakika aralığında florür konsantrasyonuna bağlı olarak sabit bir potansiyel olduğu kabul edilmiştir. Benzer bir proses kullanılarak elektrotun florür iyonlarının geçişinin azalmasından dolayı sabit bir potansiyel olduğu sonucuna varılmıştır. Büyük hacimli çözeltilerde her zaman bir denge potansiyeli görülmüştür (Çakar, 1997).

### **2.2.2.3. Florür Elektrotlarının Hassaslık Derecesine Çeşitli Faktörlerin Etkisi**

Bu çalışmada, flor elektrotu için hassaslığa etki eden faktörler,

1. Zarın çözünürlüğü,
2. Belirsiz elektrolit altında iyonun safsızlık yüzdesi,
3. Kapların duvarlarındaki iyonların adsorpsiyonu olarak tespit edilmiştir.

### 2.2.3. Florür Giderimi

#### 2.2.3.1. Küçük Toplumlar İçin Florür Giderim Metotları

Zaman zaman fazla florürün giderimi için farklı metotlar ileri sürülmekle beraber bunlar, iki ana kısma ayrılmıştır. Bunlar da arıtım esnasında suya kimyasalların ilavesi esasına dayanan farklı bir işlem veya absorpsiyon olarak sınıflandırılabilir. Belirtilen maddeler, işlenmiş kemik, doğal veya sentetik trikalsiyum fosfat, hidroksiapatit, magnezyum, aktif alüm, aktif karbonlar ve iyon değiştiriciler içeren bağlantı yataklarında kullanılmışlardır. Kimyasal arıtma metotları, kireç(ya tek başına ya da magnezyum tuzları ve alüminyum tuzları gibi koagülant yardımcı madde ile beraber)'in kullanımını içerir. Diğer metotlar, magnezyum, kalsiyum fosfat, bentonit, dolgu toprağı, bentonit ve diatoma toprağı, çökeltim ve/veya filtrasyonla sudaki karışan ve ayrılan benzer maddelerin florürlü suya ilavesini içerir. Bütün bu metotlarda, yüksek ilk maliyet, florürler için seçiciliğın noksanlığı, verimsiz florür giderim kapasitesi, ayırma problemi, karmaşık veya pahalı yenileme dezavantajlarından dolayı sıkıntı çekilir. Bu maddelerin bir kaçı kısaca aşağıdaki gibi sınıflandırılmıştır(Arceivala, 1998).

**Fosfatik Bileşikler:** Bunlar, birkaç kemik formülasyonu, sentetik trikalsiyum fosfat ve kalsiyum fosfat ve hidroksiapatitin bir karışımını içerir (Arceivala, 1998).

**İşlenmiş Kemik:** Kemiğın yağı alınır, kurutulur ve 40-60 gözenek çapında ezilir. Toz 1380 – 1780 °F 'da kapalı bir ortam içinde karbonlanır. Çıkan ürün trikalsiyum fosfat içerir ve ortalama litre başına 1000 - 1500 mg'lık bir giderme kapasitesine sahiptir. Florürle doyduktan sonra, kömürün absorbe etme kapasitesini yenilemek için hava miktarı sınırlaması altında, 750 °F civarında tekrar kurutulabilir. Alternatif olarak, yatak sodyum hidroksit çözeltisi ile temizlenebilir (Arceivala, 1998). İşlenmiş kemik ile yapılan arıtım sonuçları Çizelge 2.7'de gösterilmiştir.

**Çizelge 2.7.** İşlenen kemikle pişirim esnasında zamana göre artık florür konsantrasyonları (Azbar, 1994)

Zaman (dakika)	Her Kap İçine Dozlanan Kemığın Miktarı			
	4 (g/L)	6 (g/L)	8 (g/L)	15 (g/L)
0	10,0	10,0	10,0	10,0
30	-	7,80	7,10	6,80
60	7,10	7,00	5,90	5,00
90	-	-	5,80	4,50
120	6,50	6,10	-	-
150	6,30	5,20	-	-
180	6,00	5,00	4,30	3,90

**Kemik Odun Kömürü:** Kemik hava içinde yakılarak ve 60-100 gözenek çapında ezilerek işlenir. Çıkan ürünün florür giderim kapasitesi ortalama litre başına yaklaşık 1000 mg  $F^-$ 'dir (Arceivala, 1998).

**Sentetik Trikalsiyum Fosfat:** Ürün kireç ile fosforik asitin tepkimesiyle hazırlanır. Litre başına 700 mg  $F^-$  kapasitededir. Ortam, hafif bir asit çalkamasıyla tamamlanan yüzde birlik sodyum hidroksit çözeltisiyle temizleme işlemine tabi tutulur (Arceivala, 1998). Trikalsiyum fosfat ile yapılan florür gideriminin deney sonuçları Çizelge 2.8'de gösterilmiştir.

**Çizelge 2.8.** Trikalsiyum fosfat ile florür gideriminin deneysel sonuçları, ilk florür miktarı 10 mg / L (Azbar, 1994)

Kimyasal Madde Dozajları ( $Ca_3(PO_4)_2$ g/L)	Atıksu Konsantrasyonu (mg $F^-$ /L)	Verim (%)
1	4,7	53
3	2,3	77
4	2,3	77
6	2,2	78
8	2,2	79

**Florex:** Trikalsiyum fosfat ve hidroksiapatitin karışımı için ticari bir isimdir. Ortalama florür giderim kapasitesi litre başına 600mg  $F^-$ 'dir ve yüzde 1,5 sodyum hidroksit çözeltisi ile ıslah edilerek temizleme işlemine tabi tutulur. Yüksek aşınmaya sahip olduğundan çok başarısız olduğu gözlenmiştir (Arceivala, 1998).

**Aktif Alümina:** İçme suyundan florür iyonu giderimi için bu materyalin kullanımı ilk olarak 1934'de ileri sürülmüştür. Yatak, sulandırılmış hidroklorür asidi ile aşırı alkaliliği nötralize etmekle tamamlanan sodyum hidroksitin yüzde 2'lik bir

çözültüsüyle temizlenmiştir. Ortalama kapasite, alüminanın litresi başına yaklaşık 800 mg  $F^-$  olarak bulunmuştur. Florürleri arıtmak için alüminyumun kapasitesi, alüminanın litresi başına yaklaşık 0,2 kg'lık bir seviyeye getirilebilen temizleme için kullanılan filtre alümin miktarına orantılı olduğu rapor edilmiştir. Bu seviyede, florür giderim kapasitesi yaklaşık olarak alümin litresi başına 5500 mg  $F^-$ 'di. Alüminanın florürü değiştirme kapasitesine etki eden tek faktör su alkalinitesidir (Arceivala, 1998). Yerel alümina ile florür gideriminde zamana göre konsantrasyon değişimleri Çizelge 2.9'da gösterilmiştir.

**Çizelge 2.9.** Yerel alümina ile florür gideriminde zamana göre konsantrasyon değişimleri (Azbar, 1994)

Alümina Dozu (g/L)	Zaman(dakika)					pH
	5	15	60	120	240	
0,5	10	8,9	7,7	6,5	3,9	7,5
2,5	9,4	8,3	6,5	4,6	2,3	7,6
5,0	8,7	7,6	5,1	3,3	1,8	7,7

**Kireç:** Kirecin, magnezyum tuzları, magnezyum hidroksit flokları üzerinde absorbe edilen florürleri ve florür giderimdeki neticeleri içeren sularda artım verdiği gözlenmiştir. Deneysel olarak, giderilen florürün miktarı (oluşan floklardaki magnezyum giderimi mg'ı ve ilk mevcut florür  $\mu g$ 'ı gösterdiğinde) 0,07 Mg'ye eşittir. Bu durumda, su, 10,5'lük veya daha yukarısında bir pH ve daha önce yapılması gereken karbonat giderimiyle 30 mg/L'lik bir kostik alkalinite de artırılır. Magnezya ve kurutulmuş magnesit, yüksek sıcaklıkta daha iyi olduğu bildirilen florür giderim kapasitesi ve sudaki florür giderimi için kullanılmıştır (Arceivala, 1998). Çizelge 2.10'da kireç ile florür gideriminin teoriksel ve deneysel sonuçlarının karşılaştırılması yapılmıştır.

**Çizelge 2.10.** Kireç ile florür gideriminin teorik ve deneysel sonuçlarının karşılaştırılması (Azbar, 1994)

Kimyasal Madde ilavesi		Atıksu Florür Konsantrasyonları	
Kireç İlavesi (mg/L)	Ca <sup>++</sup> (mg/L)	Teorik (mg/L)	Deneysel (mg/L)
10	5,4	8,95	7,6
50	27	4,0	6,4
100	54	2,8	5,5
200	108	1,9	4,0
300	162	1,6	3,5
400	216	1,4	2,5

**Aktif Karbonlar:** Farklı karbon araştırmalarından, hazırlanan karbonların çoğunun alüm yayıldıktan sonra florür giderim kapasitesine sahip oldukları anlaşılmıştır. Aktif karbonların çeşitli tiplerinin iyi florür giderim kapasitesi olduğu bulunmuştur. Bir aktif karbon maddesi kg başına yaklaşık 320 mg F<sup>-</sup> (litre başına 150 mg F<sup>-</sup>) gidermiş olup ve pH'sı 7 iken maksimum arıtma verimi göstermiştir. Aktif karbon, 12-14 saat içinde %2 alüm içeren su ile temizlenmiştir (Arceivala, 1998). Toz aktif karbon ile absorbe edilen florür için değerler Çizelge 2.11'de verilmiştir.

**Çizelge 2.11.** Toz aktif karbon ile absorbe edilen(arıtılan) florür değerleri (Azbar, 1994)

İlk Florür Konsantrasyonu (mg/L)	pH	Artık Florür Konsantrasyonu (mg/L)
2	6,5	0,9
5	6,5	3,6
10	6,5	7,0
15	6,5	11
20	6,5	15
25	6,5	19

**İyon Değiştirici Reçineler:** Kuvvetli baz iyonu değiştiricileri, ya hidroksil döngüsü ya da anyonlar ile beraber klorür döngüsü florürleri giderir. Çok küçük diğer anyonlarla karşılaştırıldığında florürün orantılı miktarından dolayı, böyle reçinelerin verim kapasitesi tamamen düşük bir şekilde sonuçlanmıştır. Birkaç inorganik iyon değiştiriciler, örneğin; kompleks metal klorür silikat, silisik asitle ferrik klorür veya

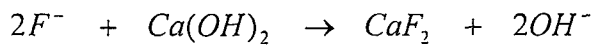
baryum birde klorür için değiştirici florürden oluşmuştur (Arceivala, 1998). Aniyonik iyon seçici reçinelerle absorbe edilen florür değerleri Çizelge 2.12'de verilmiştir.

**Çizelge 2.12.** Aniyonik iyon seçici reçinelerle(Zeolit FF(ip) standart reçinesi, gözenek 14 ila 52) absorbe edilen florür değerleri (Azbar, 1994)

İlk Florür Konsantrasyonu (mg/L)	pH	Artık Florür Konsantrasyonu (mg/L)
2	6,9	1,2
5	6,9	3,1
10	6,9	7,0
15	6,9	12,5
20	6,9	18
25	6,9	20,5

Alüm çözeltili ile doyurulan katyon değiştirici reçineler, florürsüzleştirme elemanları gibi iş görmek için bulunmuştur. Farklı araştırmacılar, florürsüzleştirme için alüm çözeltili ile arıtımdan sonra katyon değiştirici iyonlar kullandı.

**Kalsiyum tuzları:** Kalsiyum iyonları ile elde edilen verim daha yüksek olması nedeniyle, bu konu ayrı bir bölüm halinde ele alınmıştır. Florür anyonu, aşağıdaki bağıntıya göre çökelen bir kalsiyum florürdeki florür çözeltilisine kalsiyum ilavesiyle çökeltilebilir (Tuncer, 1989);

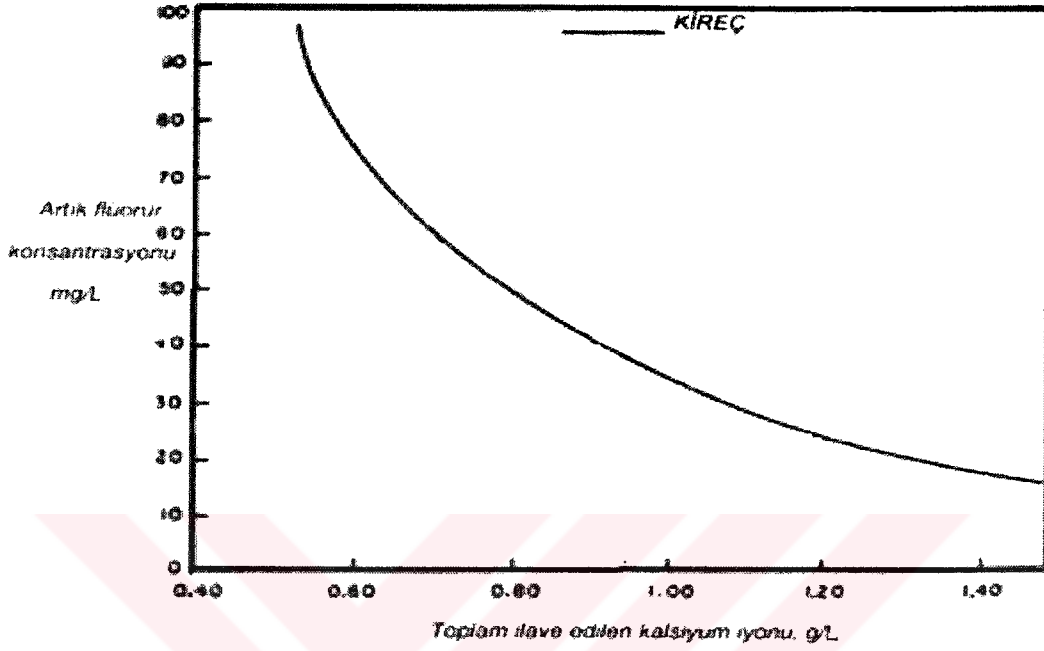


Ancak, kalsiyum florürü çökeltimini düzenlemek için kalsiyum florürün çözünlük çarpımı fazla olmalıdır. Eğer kalsiyum ve florür çözünlük çarpımına uygun değerden daha büyük miktarlarda mevcut ise florür, aşağıdaki çözünlük çarpım ifadesine göre çözeltilerden kalsiyum florür olarak çökeltilebilir;

$$|Ca^{+2}||F^{-2}| = 3,4 \cdot 10^{-11} \quad 18^{\circ}C$$



Kalsiyum tuzlarıyla birlikte çökelen florürün giderimi, atıksu arıtımında çok araştırılmış ve pratikte tatbik edilmiştir. Bu araştırmalara göre elde edilen bazı bulgular Şekil 2.24 ve Şekil 2.25'te gösterilmiştir (Tuncer, 1998).



Şekil 2.25. İlave edilen kalsiyum konsantrasyonları ile artık florür iyonlarının farkları (Tuncer, 1989)



Şekil 2.26. Kalsiyumla florürün çökeltimi (Tuncer, 1989)

**Kullanılan diğer maddeler** Bu maddeler ve florür giderimine etkileri Çizelge 2.13 ve Çizelge 2.14'te verilmiştir;

**Çizelge 2.13.** Alüm ve çamur miktarının florür giderimine etkileri (Azbar, 1994).

Alüm Konsantrasyonu (mg/L)	Artık Florür Konsantrasyonu (mg/L)	Oluşan Çamurun Konsantrasyonu (ml/L)	pH
100	6,0	3	6,2
200	4,0	5	6,4
400	3,0	33	6,5
600	1,5	44	6,5
800	1,0	48	6,4
1000	0,7	54	6,7

**Çizelge 2.14.** Alüm, silika ve oluşan çamur miktarının florür giderimine etkisi, ilk florür miktarı 10 mg /L (Azbar, 1994)

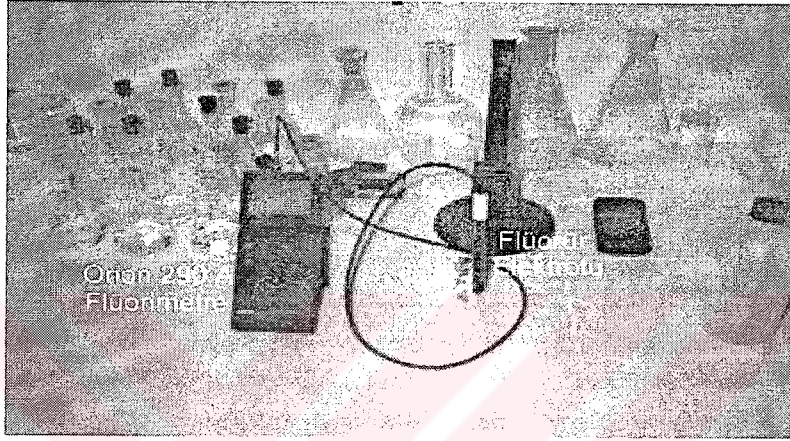
Alümün Konsantrasyonu mg/L	Artık Florürün Konsantrasyonu mg/L	Oluşan çamurun Miktarı ml/L	pH	Silika İlavesi mg/L	Kireç İlavesi ml/L
100	6,0	3	6,3	100	-
200	4,0	6	6,4	100	2
400	2,7	24	6,1	100	4
600	1,3	44	8,0	100	12
800	0,8	50	6,4	100	12
1000	0,6	56	6,4	100	12

### 3. MATERYAL VE METOT

#### 3.1. Materyal

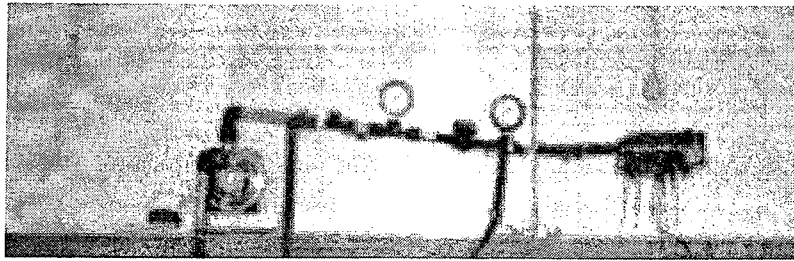
Çalışmada kullanılan materyaller şu şekilde sınıflandırılabilir:

*Florür ölçüm aygıtı* (Orion 290A)(Şekil 3.1), *florür elektrotu* (9609 BN Fluoride) (Şekil 3.1), *TİSAB II*(Standart tampon çözelti), *NaF*(Atık su ve standartlar NaF'dan



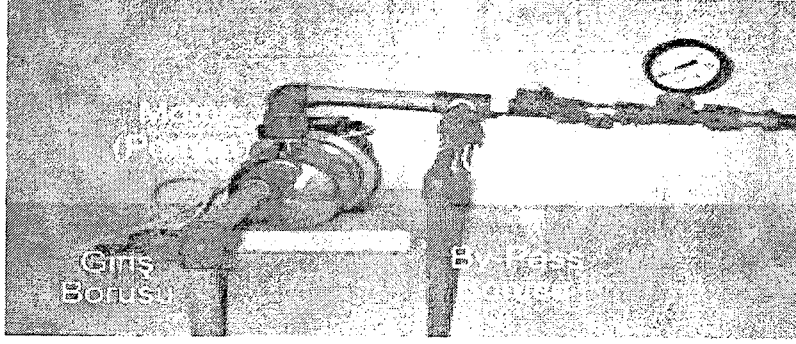
Şekil 3.1. Florür ölçüm aygıtı ve elektrotu

seyreltilerek hazırlanmıştır), *referans elektrotu doldurma solüsyonu*, laboratuarda imal edilen *çapraz akışlı mikrofiltrasyon pilot tesisi* (Şekil 3.2), (bu düzenek;



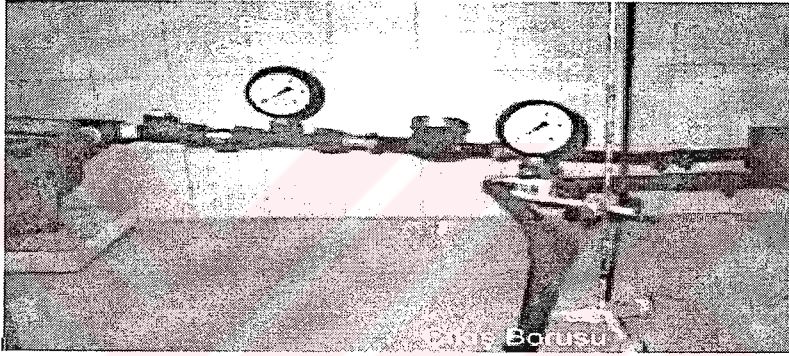
Şekil 3.2. Çapraz akışlı mikrofiltrasyon pilot tesisi

iki vana, biri basınç değişikliği diğeri de by-pass vanası (Şekil 3.3), giriş - çıkış ve by - pass borusu (Şekil 3.3-3.4), iki adet basınç göstergesi (10 barlık sedef



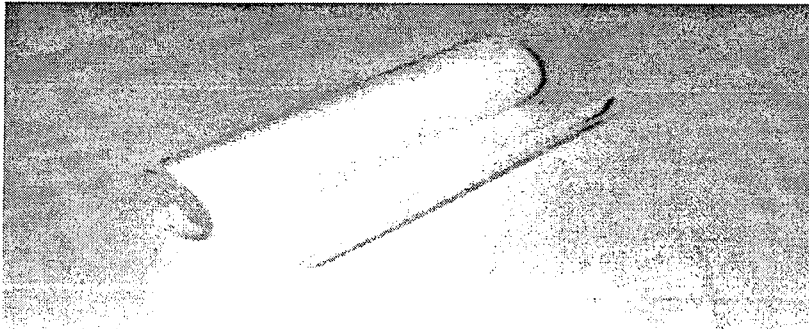
Şekil 3.3. Giriş ve by-pass borusu ile vanalar

marka)(Şekil 3.4), su saati (Şekil 3.4), (özellikleri:  $\Delta P=0,6$  bar,  $Q_{\max}=3$  m<sup>3</sup>/saat,



Şekil 3.4. Basınç göstergeleri, su saati, ve çıkış borusu

$Q_{\text{normal}}=1,5$  m<sup>3</sup>/saat, TEKSAN marka), pompa (Şekil 3.3) ve mantar conta (0,2 mm'lik conta)'dan oluşmuştur), *membran* (Şekil 3.5) (özellikleri; marka: (Sartious) Nitrocellulose Blotting, por size (gözenek çapı büyüklüğü):  $0,2 \mu\text{m}$ , Germany, çalışmada kullanılan membran alanı:



Şekil 3.5. Membran rulosu



$A = 14,2 \text{ cm.} * 10 \text{ cm.} = 142 \text{ cm}^2$ , *membran kapakları* (Şekil 3.6) (bir alt ve bir üst kapaktan oluşmaktadır. Polyesterden çapraz akışlı mikrofiltrasyona uygun tarzda imal edilmiştir. Kapak su giriş – çıkışları çapraz akışlı mikrofiltrasyona göre; giriş ve konsantre su çıkışı üst kapaktan süzüntü su çıkışı ise, alt kapaktan olacak şekilde yapılmıştır. Üst kapak giriş- çıkış alanları şöyledir:

Çıkış:	Genişlik:	1,5 mm.
	Uzunluk:	9,5 cm.
Giriş:	Genişlik:	2,0 mm.
	Uzunluk:	9,5 cm.

Alt kapak süzüntü toplama alanı ise, yukarıda bahsi geçen membran alanına yaklaşık olarak eşittir ( $A \cong 142 \text{ cm}^2$ )).



**Şekil 3.6.** Membran kapakları

## 3.2. Metot

### 3.2.1. Deneyin Genel Yapılışı

18 ve 36 litrelik çeşme suyu içerisine daha önceden jar test aletinde çeşme suyu ile karışımı yapılmış NaF katılarak hazırlanan NaF'lı çözelti çapraz akışlı mikrofiltrasyon sisteminden geçirilerek arıtılmıştır. Sonra daha yüksek verimler elde

etmek amacıyla jar testte karışımı yapılan, daha evvel florür arıtım çalışmalarında kullanılmış bazı kimyasallarla( $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ,  $\text{Ca}(\text{SO}_4)$ ,  $\text{AlCl}_3$ ,  $\text{Fe}(\text{SO}_4)$ ,  $\text{FeCl}_3$ ) koagülasyon, flokülasyon ve çökeltme işlemi uygulanmıştır. Koagülasyon için 2-3, flokülasyon için 32-33 ve çökeltme içinde 45-60 dakika'lık bir süre(standartlara uygun olarak) seçilmiştir. Çökeltme işlemi tamamlanan çözelti (çökelek kısmı alınarak) tekrar membranda arıtılmıştır. Giriş ve süzüntü sularının florür miktarı florimetrede belirlenmiştir. Deneyler üç aşamada yapılmıştır; *ilk aşamada* farklı koagülant maddelerle çökeltim yapılarak çözelti membrana verilmiştir. *İkinci aşamada* birinci aşamada verim elde edilen üç koagülant madde üzerinde koagülasyon flokülasyon ve çökeltim uygulanarak elde edilen süzüntü üzerinde aynı işlemler tekrarlandıktan(iki defa arıtım yapıldıktan) sonra verim elde edilen çözeltinin bulanıklık ve çamur miktarı da belirlenmiştir. Üçüncü aşamada ise ikinci aşamada verim elde edilen madde üzerinde koagülant madde artırılarak tekrar birinci aşamadaki işlemler uygulanmıştır.

İşlemler esnasında elde edilen verim, süzüntü miktarı, çamur miktarı, pH, sıcaklık ve bulanıklık parametreleri kayıt edilmiştir.

Çalışmada kullanılan madde miktarlarına gelince:

Florür miktarı, a) içme sularında 0-67 mg/L arasında değiştiği (Çakar, 1997), b) florimetrenin yüksek dozlarda daha iyi verim verdiği göz önünde bulundurularak bu değer 10-90 mg/L arasında tutulmuştur.

Koagülant madde miktarı, I. Aşama deneylerde kimyasal formüle uygun tarzda NaF için gerekli yaklaşık dozajlar alınmıştır. II. Aşamada bu miktarlar 2 ve 4 katına çıkartılmıştır. III. Aşamada da 4 kat dozlama yapılmıştır. Bu miktarlar daha evvel yapılan florür arıtım çalışmalarında kullanılan miktarlardan(Arceivala, 1998; Azbar, 1994; Tuncer, 1989) düşük olması nedeniyle verim değerini artırmak için deneme ve yanılma yöntemiyle dozlama artırılmıştır.

### 3.2.2. Florür Tayini

Florür tayin etme metodunda, NaF, saf su ile seyreltilerek 1,9 mg/L – 47 mg/L ve 190 mg/L'lik standart çözeltiler hazırlanmıştır. Orion 290 A (Florür ölçüm aygıtı)

kullanım için kalibre edilmiştir. Daha evvel literatür kısmında bahsedilen florür tayin yönteminden farklı olarak bu aygıtta direkt kalibrasyon, dolayısıyla direkt ölçüm yapılmıştır. Ölçümde, standart ve ölçüm yapılacak numuneler tampon çözelti TISAB II ile % 50 oranında karıştırılmıştır. Florür elektrotu sürekli olarak referans elektrot doldurma solüsyonu ile desteklenmiştir. Her yeni ölçümde kalibrasyon tekrarlanmıştır (aygıtın her 2 saatte bir kalibre edilmesi gerekmektedir). Ölçüm esnasında numune veya standart içine daldırılan elektrotun membranında oluşan hava kabarcıkları giderilmiştir. Her ölçüm sonrası elektrotlar distile su ile temizlenerek hafif şekilde kurulanmıştır. Ölçüm yaparken elektrotu daldırdıktan sonraki süre standart ve numunelerde eşit alınmıştır. Ayrıca ölçümden önceki hem numune hem standart her defasında karıştırılmıştır.

### 3.2.3. Membran Sisteminden Atık Su Geçişi

Hazırlanan atık su aside dayanıklı bir motor vasıtasıyla pompalanmıştır. Basınç ayarını sağlamak ve by-pass'ı temin için iki adet vana kullanılmıştır. Membran giriş ve çıkış basınçları iki ayrı barometreden okunmuştur. Membrandan geçen su miktarı da bir su saati vasıtasıyla belirlenmiştir. Besleme (giriş) akışı, membrandan çıkan akış ve by-pass akışı bir kaptan toplanarak süzüntü suyu farklı bir kap içine alınmıştır. Filtrasyon için  $0,2 \mu\text{m}$ 'lik membran kullanılmıştır. Membran günlük olarak yapılan her deneyin akabinde, kuruduktan sonra tekrar kullanılıncaya parçalanması nedeniyle değiştirilmiştir.

Deney esnasında basınç ve debi sabit tutulmuştur;

*Basınç:* Deneyde basınç saatinden okunan değer, 1 bar olup bu değerden su saati basınç kaybı (0,6 bar) çıkartıldığında membrana girişteki basınç 0,4 bar olmaktadır. Bu basınç miktarı motoru daha fazla zorlamamak ve verimi azaltmamak için artırılmamıştır. Membran çıkış basıncı ise yaklaşık olarak 0,05 bar olarak gözlenmiştir..

*Debi:* Saat debisi  $Q_{\text{max}} = 3 \text{ m}^3/\text{saat}$   $Q_{\text{normal}} = 1,5 \text{ m}^3/\text{saat}$ 'dir. Deneylerde uygulanan basınçtaki sistemden geçen debi  $Q_{\text{sistem}} = 2,25 \text{ m}^3/\text{saat}$  olarak tespit edilmiştir.

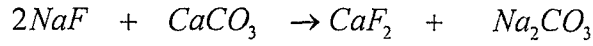
## 4. BULGULAR

### 4.1. I. Aşama Deneyler

#### 1. $CaCO_3$ ile florür arıtım deneyi;

Dozlama :2,53 g NaF / 18 L çeşme suyu ve 4 g  $CaCO_3$  / 18 L çeşme suyu

Kimyasal reaksiyon denklemi:



a) Yalnız  $NaF$  'nin membran sistemine uygulanması;

**Sıcaklık** :30°C

**Süzüntü Debisi** :2,9 ml/s

**Sonuçlar** :Atık su içerisindeki  $F^-$  miktarı :19,3 mg/L

$$pH_A = 6,73$$

Süzüntü suyu içerisindeki  $F^-$  miktarı:11,1 mg/L

$$pH_S = 6,50$$

b)  $NaF + CaCO_3$  'in membran sistemine uygulanması;

**Sıcaklık** :40°C

**Süzüntü Debisi** :10,0 ml/s

**Sonuçlar** :Atık su içerisindeki  $F^-$  miktarı :18,9 mg/L

$$pH_A = 6,71$$

Süzüntü suyu içerisindeki  $F^-$  miktarı:10,1 mg/L

$$pH_S = 6,49$$

c)  $NaF + CaCO_3 +$  çökeltmenin membran sistemine uygulanması(çökeltlen maddeler atılmıştır);

**Sıcaklık** :40°C

**Süzüntü Debisi** :11,0 ml/s

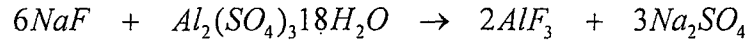


**Sonuçlar** :Atık su içerisindeki  $F^-$  miktarı :16,1 mg/L  
 $pH_A = 6,65$   
 Süzüntü suyu içerisindeki  $F^-$  miktarı:9,61 mg/L  
 $pH_S = 6,44$

## 2. $Al_2(SO_4)_3$ ile florür arıtım deneyi;\*

Dozlama : 2,53 g NaF / 18 L çeşme suyu ve 11,2 g  $Al_2(SO_4)_3$  / 18 L çeşme suyu

Kimyasal reaksiyon denklemi:



a) Yalnız NaF 'nin membran sistemine uygulanması;

**Sıcaklık** :30°C  
**Süzüntü Debisi** :10,0 ml/s  
**Sonuçlar** :Atık su içerisindeki  $F^-$  miktarı :11,4 mg/L  
 $pH_A = 6,51$   
 Süzüntü suyu içerisindeki  $F^-$  miktarı:16,2 mg/L  
 $pH_S = 6,65$

b) NaF +  $Al_2(SO_4)_3$  'in membran sistemine uygulanması;

**Sıcaklık** :38°C  
**Süzüntü Debisi** :4,2 ml/s  
**Sonuçlar** : Atık su içerisindeki  $F^-$  miktarı :13,5 mg/L  
 $pH_A = 6,57$   
 Süzüntü suyu içerisindeki  $F^-$  miktarı:19,2 mg/L  
 $pH_S = 6,72$

c) NaF +  $Al_2(SO_4)_3$  + çökeltmenin membran sistemine uygulanması(çökeltin maddeler atılmıştır);

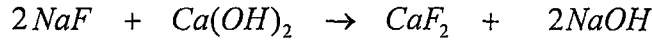
\* Sonuçlardan negatif verim elde edildiği gözlemlenmiştir. Gerekli yorum tartışma ve sonuç bölümünde yapılmıştır.

<b>Sıcaklık</b>	: 39°C
<b>Süzüntü Debisi</b>	: 3,5 ml/s
<b>Sonuçlar</b>	: Atık su içerisindeki $F^-$ miktarı : 15,1 mg/L
	$pH_A = 6,61$
	Süzüntü suyu içerisindeki $F^-$ miktarı: 16,1 mg/L
	$pH_S = 6,62$

### 3. $Ca(OH)_2$ ile florür arıtım deneyi;

Dozlama : 2,53 g NaF / 18 L çeşme suyu ve 2,23 g  $Ca(OH)_2$  / 18 L çeşme suyu

Kimyasal reaksiyon denklemi:



a) Yalnız NaF 'nin membran sistemine uygulanması;

<b>Sıcaklık</b>	: 30°C
<b>Süzüntü Debisi</b>	: 9,5 ml/s
<b>Sonuçlar</b>	: Atık su içerisindeki $F^-$ miktarı : 30,6 mg/L
	$pH_A = 6,89$
	Süzüntü suyu içerisindeki $F^-$ miktarı: 29,1 mg/L
	$pH_S = 6,86$

b) NaF +  $Ca(OH)_2$  'in membran sistemine uygulanması;

<b>Sıcaklık</b>	: 37,5°C
<b>Süzüntü Debisi</b>	: 7,9 ml/s
<b>Sonuçlar</b>	: Atık su içerisindeki $F^-$ miktarı : 27,5 mg/L
	$pH_A = 6,84$
	Süzüntü suyu içerisindeki $F^-$ miktarı: 23,0 mg/L
	$pH_S = 6,78$

c)  $NaF + Ca(OH)_2 +$  Çökeltme'nin membran sistemine uygulanması(çökelen maddeler atılmıştır);

**Sıcaklık** :  $39^{\circ}C$

**Süzüntü Debisi** :  $8,5 \text{ ml/s}$

**Sonuçlar** :Atık su içerisindeki  $F^{-}$  miktarı :  $25,0 \text{ mg/L}$

$$pH_A = 6,81$$

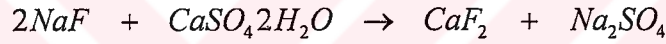
Süzüntü suyu içerisindeki  $F^{-}$  miktarı:  $18,7 \text{ mg/L}$

$$pH_S = 6,71$$

#### 4. $CaSO_4$ ile florür arıtım deneyi;

Dozlama 2,53 g NaF / 18 L çeşme suyu ve 5,19 g  $CaSO_4$  / 18 L çeşme suyu

Kimyasal reaksiyon denklemi:



a) Yalnız  $NaF$  'nin membran sistemine uygulanması;

**Sıcaklık** :  $31^{\circ}C$

**Süzüntü Debisi** :  $1,0 \text{ ml/s}$

**Sonuçlar** :Atık su içerisindeki  $F^{-}$  miktarı :  $26,2 \text{ mg/L}$

$$pH_A = 6,82$$

Süzüntü suyu içerisindeki  $F^{-}$  miktarı:  $16,0 \text{ mg/L}$

$$pH_S = 6,64$$

b)  $NaF + CaSO_4$  'ın membran sistemine uygulanması;

**Sıcaklık** :  $39^{\circ}C$

**Süzüntü Debisi** :  $0,6 \text{ ml/s}$

**Sonuçlar** :Atık su içerisindeki  $F^{-}$  miktarı :  $24,6 \text{ mg/L}$

$$pH_A = 6,84$$

Süzüntü suyu içerisindeki  $F^{-}$  miktarı:  $9,26 \text{ mg/L}$

$$pH_S = 6,45$$

c)  $NaF + CaSO_4$  + Çökeltme'nin membran sistemine uygulanması(çökelen maddeler atılmıştır);

**Sıcaklık** :  $39^\circ C$

**Debi** :  $8,0 \text{ ml/s}$

**Sonuçlar** :Atık su içerisindeki  $F^-$  miktarı :  $21,6 \text{ mg/L}$

$$pH_A = 6,75$$

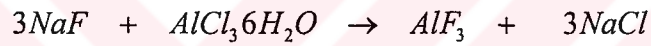
Süzüntü suyu içerisindeki  $F^-$  miktarı:  $8,11 \text{ mg/L}$

$$pH_S = 6,40$$

### 5. $AlCl_3$ ile florür arıtım deneyi;

Dozlama 2,53 g NaF / 18 L çeşme suyu ve 7,27 g  $AlCl_3$  / 18 L çeşme suyu

Kimyasal reaksiyon denklemi:



a) Yalnız  $NaF$  'nin membran sistemine uygulanması;

**Sıcaklık** :  $29^\circ C$

**Süzüntü Debisi** :  $3,5 \text{ ml/s}$

**Sonuçlar** :Atık su içerisindeki  $F^-$  miktarı :  $36,2 \text{ mg/L}$

$$pH_A = 6,94$$

Süzüntü suyu içerisindeki  $F^-$  miktarı:  $19,0 \text{ mg/L}$

$$pH_S = 6,71$$

b)  $NaF + AlCl_3$  'in membran sistemine uygulanması;

**Sıcaklık** :  $39^\circ C$

**Süzüntü Debisi** :  $4,0 \text{ ml/s}$

**Sonuçlar** :Atık su içerisindeki  $F^-$  miktarı :  $21,2 \text{ mg/L}$

$$pH_A = 6,75$$

Süzüntü suyu içerisindeki  $F^-$  miktarı:  $8,34 \text{ mg/L}$

$$pH_s = 6,43$$

c)  $NaF + AlCl_3$  + Çökeltme'nin membran sistemine uygulanması (çökelen maddeler atılmıştır);

**Sıcaklık** : 40°C

**Süzüntü Debisi** : 5,1 ml/s

**Sonuçlar** : Atık su içerisindeki  $F^-$  miktarı : 12,9 mg/L

$$pH_A = 6,58$$

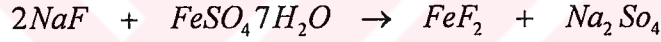
Süzüntü suyu içerisindeki  $F^-$  miktarı: 8,91 mg/L

$$pH_s = 6,45$$

#### 6. $FeSO_4$ ile florür arıtım deneyi;

Dozlama 2,53 g NaF / 18 L çeşme suyu ve 8,38 g  $FeSO_4$  / 18 L çeşme suyu

Kimyasal reaksiyon denklemi:



a) Yalnız  $NaF$  'nin membran sistemine uygulanması;

**Sıcaklık** : 29°C

**Süzüntü Debisi** : 6,9 ml/s

**Sonuçlar** : Atık su içerisindeki  $F^-$  miktarı : 39,4 mg/L

$$pH_A = 6,97$$

Süzüntü suyu içerisindeki  $F^-$  miktarı: 17,5 mg/L

$$pH_s = 6,67$$

b)  $NaF + FeSO_4$  'in membran sistemine uygulanması;

**Sıcaklık** : 39°C

**Süzüntü Debisi** : 6,5 ml/s

**Sonuçlar** : Atık su içerisindeki  $F^-$  miktarı : 35,4 mg/L

$$pH_A = 6,92$$

Süzüntü suyu içerisindeki  $F^-$  miktarı: 15,3 mg/L

$$pH_s = 6,63$$

c)  $NaF + FeSO_4$  + Çökeltme'nin membran (çökelen maddeler atılmıştır);

**Sıcaklık** :38,5°C

**Süzüntü Debisi** :16,8 ml/s

**Sonuçlar** :Atık su içerisindeki  $F^-$  miktarı :18,0 mg/L

$$pH_A = 6,69$$

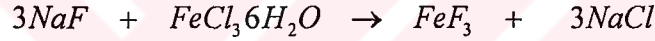
Süzüntü suyu içerisindeki  $F^-$  miktarı:15,1 mg/L

$$pH_s = 6,62$$

### 7. $FeCl_3$ ile florür arıtım deneyi;

Dozlama 2,53 g NaF / 18 L çeşme suyu ve 5,43 g  $FeCl_3$  / 18 L çeşme suyu

Kimyasal reaksiyon denklemi:



a) Yalnız  $NaF$  'nin membran sistemine uygulanması;

**Sıcaklık** :31°C

**Süzüntü Debisi** :2,4 ml/s

**Sonuçlar** :Atık su içerisindeki  $F^-$  miktarı :38,0 mg/L

$$pH_A = 6,95$$

Süzüntü suyu içerisindeki  $F^-$  miktarı:15,2 mg/L

$$pH_s = 6,64$$

b)  $NaF + FeCl_3$  'in membran sistemine uygulanması;

**Sıcaklık** :39,5°C

**Süzüntü Debisi** :6,4 ml/s

**Sonuçlar** :Atık su içerisindeki  $F^-$  miktarı :29,0 mg/L

$$pH_A = 6,86$$

Süzüntü suyu içerisindeki  $F^-$  miktarı: 11,8 mg/L

$$pH_s = 6,55$$

c)  $NaF + FeCl_3 + \text{Çökeltme}$ 'nin membran sistemine uygulanması (çökelen maddeler atılmıştır);

**Sıcaklık** : 39°C

**Süzüntü Debisi** : 13,0 ml/s

**Sonuçlar** : Atık su içerisindeki  $F^-$  miktarı : 11,2 mg/L

$$pH_A = 6,54$$

Süzüntü suyu içerisindeki  $F^-$  miktarı: 10,6 mg/L

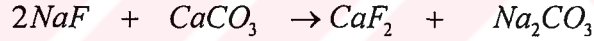
$$pH_s = 6,52$$

#### 4.2. II. Aşama Deneyler\*

##### 1. $CaCO_3$ ile florür artırım deneyi;

Dozlama 2,53 g NaF / 18 L çeşme suyu ve 9,05 g  $CaCO_3$  / 18 L çeşme suyu

Kimyasal reaksiyon denklemi:



a)  $NaF + CaCO_3 + \text{Çökeltme}$  (Koagülasyon + Flokülasyon + Çökeltme)'nin membran sistemine uygulanması ;

**Sıcaklık** : 22°C

**Süzüntü Debisi** : 2,5 ml/s

**Sonuçlar** : Atık su içerisindeki  $F^-$  miktarı : 27,4 mg/L

$$pH_A = 6,85$$

Süzüntü suyu içerisindeki  $F^-$  miktarı: 23,1 mg/L

$$pH_s = 6,76$$

\* Bu bölümde madde miktarları artırılmıştır. Artırma nedeni tartışma ve sonuç bölümünde izah edilmiştir

b) Süzüntü Suyu +  $CaCO_3$  + Çökeltme(Koagülasyon + flokülasyon + Çökeltme)'nin membran sistemine uygulanması;

Dozlama :0,6 g  $CaCO_3$  / 18 L çeşme suyu

**Sıcaklık** :24°C

**Süzüntü Debisi** :17 ml/s

**Sonuçlar** :Atık su içerisindeki  $F^-$  miktarı :13,1 mg/L

$$pH_A = 6,53$$

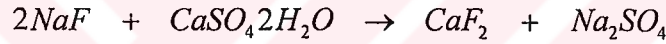
Süzüntü suyu içerisindeki  $F^-$  miktarı:8,42 mg/L

$$pH_S = 6,37$$

## 2. $CaSO_4$ ile florür arıtım deneyi;

Dozlama :10,12 g NaF / 36 L çeşme suyu ve 41,52 g  $CaSO_4$  / 36 L çeşme suyu

Kimyasal reaksiyon denklemi:



a)  $NaF$  +  $CaSO_4$  + Çökeltme(Koagülasyon + Flokülasyon + Çökeltme)'nin membran sistemine uygulanması;

**Sıcaklık** :24°C

**Süzüntü Debisi** :9,0 ml/s

**Sonuçlar** :Atık su içerisindeki  $F^-$  miktarı :85,7 mg/L

$$pH_A = 7,29,$$

Süzüntü suyu içerisindeki  $F^-$  miktarı:4,66 mg/L

$$pH_S = 6,23$$

b) Süzüntü Suyu +  $CaSO_4$  + Çökeltme(Koagülasyon + Flokülasyon + Çökeltme)'nin membran sistemine uygulanması;

Dozlama :21 g  $CaSO_4$  / 18 L çeşme suyu

**Sıcaklık** :31°C

**Süzüntü Debisi** :13 ml/s

**Sonuçlar** :Süzüntü suyu içerisindeki  $F^-$  miktarı:4,32 mg/L



$$pH_s = 6,21$$

Bulanıklık : 4(Florlu su: 17)

### 3. $AlCl_3$ ile florür arıtım deneyi;

Dozlama :10,12 g NaF / 36 L çeşme suyu ve 38,34 g  $AlCl_3$  / 36 L çeşme suyu

Kimyasal reaksiyon denklemi:



a)  $NaF + AlCl_3 +$  Çökeltme(Koagülasyon + Flokülasyon + Çökeltme)'nin membran sistemine uygulanması;

Sıcaklık :29°C

Süzüntü Debisi :4,8 ml/s

Sonuçlar :Atık su içerisindeki  $F^-$  miktarı :91,2 mg/L

$$pH_A = 7,28$$

Süzüntü suyu içerisindeki  $F^-$  miktarı:40,4 mg/L

$$pH_s = 6,95$$

b) Süzüntü Suyu +  $AlCl_3 +$  Çökeltme(Koagülasyon + Flokülasyon + Çökeltme)'nin membran sistemine uygulanması;

Dozlama :19,2 g  $AlCl_3$  / 18 L çeşme suyu

Sıcaklık :31°C

Süzüntü Debisi :10 ml/s

Sonuçlar :Süzüntü suyu içerisindeki  $F^-$  miktarı:18,8 mg/L

$$pH_s = 6,65$$

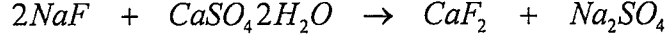
### 4.3. III. Aşama Deneyler\*

\* (59. sayfada)Bu bölümde  $F^-$  ve koagülant madde miktarı artırılmıştır. Artırma nedeni tartışma ve sonuç bölümünde izah edilmiştir

### 1. $CaSO_4$ ile florür arıtım deneyi;

Dozlama :10,12 g NaF / 36 L çeşme suyu ve 62,28 g  $CaSO_4$  / 36 L çeşme suyu

Kimyasal reaksiyon denklemi :



$NaF + CaSO_4$  + Çökelme(Koagülasyon + Flokülasyon + Çökelme)'nin membran sistemine uygulanması;

**Süzüntü Debisi** :9,0 ml/s

Florürlü su ;

**Sıcaklık** :20°C

Çıkış suyu ;

**Sıcaklık** :22°C

**Sonuçlar** :Atık su içerisindeki  $F^-$  miktarı :87,1 mg/L

$$pH_A = 7,30$$

Süzüntü suyu içerisindeki  $F^-$  miktarı:3,94 mg/L

$$pH_S = 6,16$$

Bulanıklık :1(Florlu su: 14)

Çamur Miktarı :410 ml  $CaSO_4$  / 36 L atıksu

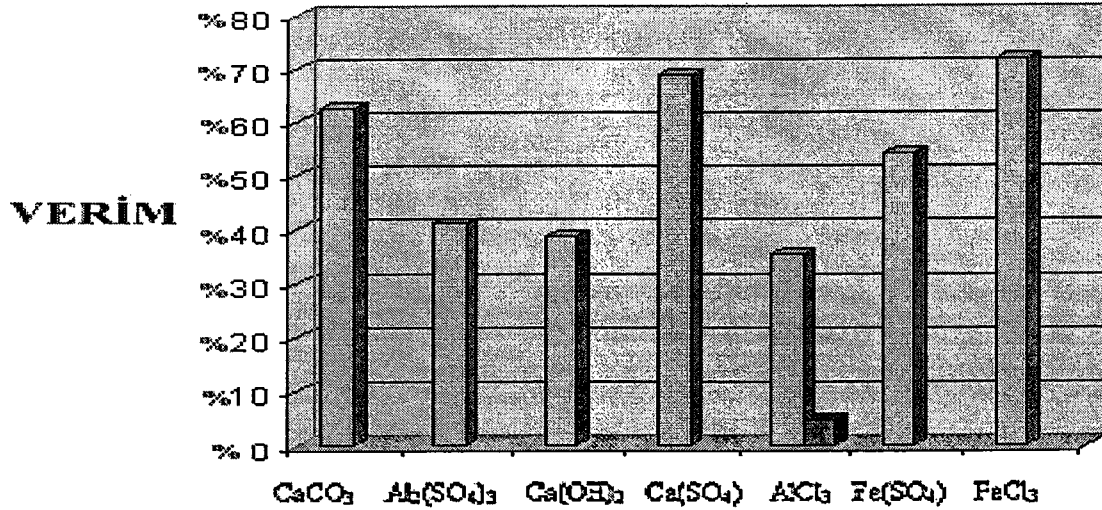
Üç aşamalı deney bulgularının sonuçları ekler bölümünde gösterilmiştir.

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

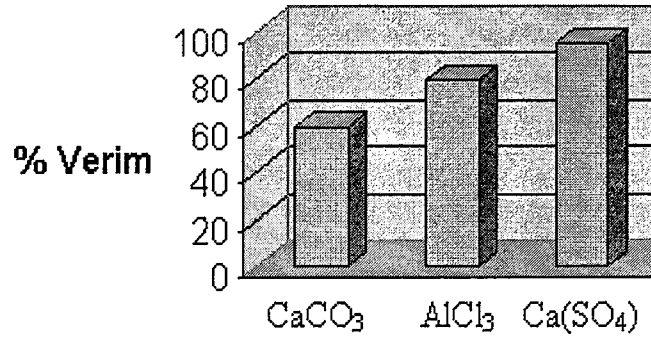
Aşağıdaki Çizelge 5.1’de üç aşamalı deneyin neticeleri verilmiş olup verim grafikleri de Şekil 5.1 ve Şekil 5.2.’de ifade edilmiştir.

Çizelge 5.1. Üç aşamalı deney neticeleri

Koagülant Maddeler	I. Aşama			II. Aşama			III. Aşama		
	İlk Florür Miktarı (mg/L)	Artık Florür Miktarı (mg/L)	Verim (%)	İlk Florür Miktarı (mg/L)	Artık Florür Miktarı (mg/L)	Verim (%)	İlk Florür Miktarı (mg/L)	Artık Florür Miktarı (mg/L)	Verim (%)
CaCO <sub>3</sub>	29,3	9,61	67,2	27,4	8,4	69,3	--	--	--
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	11,4	16,1	50,2	--	--	--	--	--	--
Ca(OH) <sub>2</sub>	27,5	18,7	38,9	--	--	--	--	--	--
Ca(SO <sub>4</sub> )	26,2	8,11	69	85,7	4,32	94,96	87,1	3,94	95,4
AlCl <sub>3</sub>	36,2	8,91	75,4	91,2	18,8	79,4	--	--	--
Fe(SO <sub>4</sub> )	39,4	15,1	61,7	--	--	--	--	--	--
FeCl <sub>3</sub>	38	10,6	72,1	--	--	--	--	--	--



Şekil 5.1. Koagülant maddelerin florür artım verimi (1. aşama)



Şekil 5.2. Koagülant maddelerin florür artırım verimi (2.aşama)

Çizelgeden de anlaşılacağı üzere ilk aşamada; a)Deney iki defa tekrar edildiği halde Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>'den negatif bir verim elde edilmiştir. Bunun nedeni olarak alümin membran yapısını bozduğu veya alüminle birlikte membranın absorbe etme özelliğinin arttığı söylenebilir(Koyuncu, 1997). Bu ise ayrı bir tez çalışması gerektirdiğinden daha fazla detaya inmedik. b)Ca(OH)<sub>2</sub>, Fe(SO<sub>4</sub>), FeCl<sub>3</sub>'ün verimi yüksek olmasına rağmen artık florür miktarının düşük olduğu gözlenmiştir. Yüksek verimle birlikte artık florür miktarının dünya standartlarına göre sağlığı etkilemeyecek miktarlara indirgenmesi gerektiğinden(Kır, 1997) birinci aşamada ulaşılan en yüksek verimli ve en düşük florürlü üç koagülant madde(CaSO<sub>4</sub>, AlCl<sub>3</sub> ve CaCO<sub>3</sub>) ikinci aşamada kullanılmıştır.

İkinci aşamada bu maddeler iki defa arıtılıp elde edilen çizelgedeki değerlere göre hem verimi yüksek hem de artık florür miktarı düşük olan koagülant madde CaSO<sub>4</sub> son aşamada tekrar kullanılarak % 95,4'lük bir verim elde edilmiştir. Böylece bu deneyde ilk florür miktarı 87,1 mg/L'den 3,94 mg/L'ye indiği gözlenmiştir. Deney sonunda 36 lt'lik çözeltiden 410 mlt çökelek(çamur) oluşmuştur. Daha fazla koagülant madde miktarı daha çok çamur meydana getirdiğinden ve bulanıklığı artırmasından dolayı CaSO<sub>4</sub> miktarı yükseltilmemiştir.

Netice olarak, normalde florür RO (ters ozmoz)'da arıtılırken mikrofiltrasyon + koagülant madde kullanarak daha ekonomik bir filtrasyon sağlanmıştır. Daha evvel florür artırım yöntemlerinde kullanılan madde miktarlarına göre koagülant madde (CaSO<sub>4</sub>), hem daha az miktarda kullanılmış hem de kolay bulunabilen ve maliyeti

düşük bir maddedir. Bu nedenle  $\text{CaSO}_4$  maddesinin 1,73 g/l'lik miktarının 87,1 g/l'lik  $\text{F}^-$  gideriminde en uygun miktar olduğu gözlenmiştir.

Daha evvelki çalışmalarda elde edilen florür artım değerleriyle(Arceivala, 1998; Azbar, 1994; Tuncer, 1989) bu çalışmada elde edilen değerler ekler bölümünde mukayese edilmiştir.



## 6. KAYNAKLAR

- Arceivala, S., 1998. Defluoration Methods for Small Communities. Flourude. World Health Organization, 18 s, Ankara.
- Azbar, N., 1994. Selective Defluoration in Drinking and Mineral Waters. 9 Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Y.Lisans Tezi, 86 s, İzmir.
- Çakar, S., 1997. Adana Yöresi İçme Sularının Florür Düzeylerinin Saptanması. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 83 s, Adana.
- Joseph, G. J., Montgomery, W., Lovettsville, V., 1999. Membrane Filtration For Small Drinking Water Systems. United States Environmental Protection Agency, 20 s, Office Of Research and Development Washington DC 20460.
- Keskinler, B., 1997. Çevre Teknolojilerine Yeni Yaklaşımlar ve Membran Proseslerin Önemi. Atatürk Üniversitesi Çevre Sorunları Araştırma Merkezi, Özel Sayı, Erzurum.
- Kır, E., 1997. Isparta İli İçme Suyu Kaynaklarında Nitrat, Fosfat Ve Florür Dağılımının Araştırılması, SDÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 49 s, Isparta.
- Kim, A., 1995. Concentration Polarization in Pressure-Driven Crossflow Membran Filtration. Department of Civil and Environmental Engineering University of California., 27s, Los Angeles.
- Koyuncu, İ., 1997. Membran Teknolojisinin Çevre Mühendisliğinde Kullanım Potansiyeli ve Ters Ozmoz İle Amonyum İyonu Giderimi. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 135 s, İstanbul,
- Noble, R. D., 1995. Membrane Separations Technology. Department of Chemical Engineering University of Colorado, CO 80309-0424, Elsevier Science B.W.
- Porter, M. C., 1986. Synthetic Membranes: Science Engineering and Applications. Reidal Publishing Company, CO 94566-3449. California.
- Schwietzer, P. A., 1979. Handbook Of Separation Techniques For Chemical Engineers, Mc Gray-Hill Book Company No:30, 522 s. New York.
- Scott, K., 1995. Handbook of Industrial Membrane. İn: R.W.Rousseau No:87, 618s. New York.

- Strohwald, J. J., Jacobs, E. P., 1992. An Investigation into of Systems. In Pretreatment of Seawater For Redosalition. Water Science And Technology. V.25,N.10.
- Topacık, D., Koyuncu, İ., 1996. Türkiye'deki Membran Proses Uygulamaları ve Karşılaşılan Güçlükler. Çevre'96, Türk Devletleri Arasında 3. İlmî İşbirliği Konferansı 10-12 Eylül 1996. Başkurdistan.
- Tuncer, T., 1989. Treatment Of Fluoride-Laden Wastewaters From Electronics Industry, O.D.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 130 s, Ankara.
- Turpie, D., Steenkamp, W. F., "Industrial Application of Formed-In-Place Membrane Ultrafiltration and Automed Membrane-Forming in The Treatment and Recycle of Rinse-Water During The Scoring Of Raw Wool. Water Science and Technology. V.25, N.10.
- Türkman, A., 1978. Florür Ölçme Teknikleri. O.D.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 132 s, Ankara.
- Zaidi, A., Simms, K., ve Kok, S., 1992. The Use Of Micro/Ultrafiltration For The Removal Of Oil And Suspended Solid From Oilfield Brines . Water Science and Technology.V.25,N.10.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ahmet Husrev YILDIZ  
Doğum Yeri : Bucak  
Doğum Yılı : 1975  
Medeni Hali : Bekar

### Eğitim ve Akademik Durumu:

Lise : 1989-1992 Bucak Lisesi  
Lisans : 1993-1997 S.D.Ü. Çevre Mühendisliği Bölümü

Yabancı Dil : İngilizce

İş Deneyimi : -



## EKLER

## EK-1. I. Aşama Deneş Sonuqları

Koagülant Madde	Dozlanan NaF Miktarı g/L	Koagülant Madde Dozajı g/L	Süzüntü Sıcaklığı °C	Süzüntü Debisi ml/s	Atıksu F <sup>-</sup> Miktarı mg/L	Atıksu pH	Süzüntü F <sup>-</sup> Miktarı mg/L	Süzüntü pH	Verim %
CaCO <sub>3</sub>	0,14	0,222	40	11	19,3	6,73	9,61	6,44	67,2
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	0,14	0,062	39	3,5	11,4	6,51	16,1	6,62	-29,2
Ca(OH) <sub>2</sub>	0,14	0,124	39	8,5	30,6	6,89	18,7	6,71	38,9
Ca(SO <sub>4</sub> ) <sub>4</sub>	0,14	0,288	39	8	26,2	6,82	16,0	6,64	69,0
AlCl <sub>3</sub>	0,14	0,404	40	5,1	36,2	6,94	8,91	6,45	75,4
Fe(SO <sub>4</sub> ) <sub>4</sub>	0,14	0,466	38,5	16,8	39,4	6,97	15,1	6,62	61,7
FeCl <sub>3</sub>	0,14	0,302	39	13	38	6,95	10,6	6,52	72,1

EK-2. II. Aşama Deneş Sonuları

Koagülant Madde	Dozlanan NaF Miktarı g/L	Toplam Koagülant Madde Dozajı g/L	Süzüntü Sıcaklığı °C	Süzüntü Debisi ml/s	Atıksu F <sup>-</sup> Miktarı mg/L	Atıksu pH	Süzüntü F <sup>-</sup> Miktarı mg/L	Süzüntü pH	Bulanıklık NTU	Verim %
CaCO <sub>3</sub>	0,14	0,536	24	17	27,4	6,85	13,1	6,37	-	69,3
Ca(SO) <sub>4</sub>	0,28	1,730	31	13	85,7	7,29	4,32	6,21	4	94,96
AlCl <sub>3</sub>	0,28	1,596	31	10	91,2	7,28	18,8	6,65	-	

## EK-3. III. Aşama Deneş Sonuçları

Koagülant Madde	Dozlanan NaF Miktarı g/L	Koagülant Madde Dozajı g/L	Süzüntü Sıcaklığı °C	Süzüntü Debisi ml/s	Atıksu F <sup>-</sup> Miktarı mg/L	Atıksu pH	Süzüntü F <sup>-</sup> Miktarı mg/L	Süzüntü pH	Bulanıklık NTU	Çamur Miktarı ml/L	Verim %
Ca(SO) <sub>4</sub>	0,28	1,741	22	9	87,1	7,30	3,94	6,16	1	11,39	94,96

EK-4. Daha Evvel Yapılan Florür Artım Çalışmaları İle Bu Çalışmada Elde Edilen Değerlerin Mukayesesi

Koagülant Madde	Koagülant Mikti g/L	Süre Dakika	İlk Florür Mikti mg/L	Artık Florür Mikti. mg/L
İşlenmiş Kemik	15,0	180	10	3,9
Trikalsiyum Fosfat	8,0	-	10	2,1
Alumina	5,0	240	10	1,8
Alum Konsantrasyonu	1,0	-	10	0,7
Alum ve Silika Konsantras.	1,0	-	10	0,6
Aktif Karbon	1,0	-	10	7,0
İyon Değiştirici Resinler	1,0	-	10	7,0
Kireç	0,4	-	10	2,5
Kalsiyum Tuzları	1-5	-	-	%83-96
Kalsiyum Sulfat(Alçı)	1,73	79-96	87,1	3,94
Oranlama ile	0,199	79-96	10	3,94