

**T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TERS OZMOS YÖNTEMİ İLE İÇME SUYU
ELDE EDİLMESİNİN ARAŞTIRILMASI**

Burak NAHARCI

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE TEKNOLOJİSİ ANABİLİM DALI**

BURSA 2007

**T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TERS OZMOS YÖNTEMİ İLE İÇME SUYU
ELDE EDİLMESİNİN ARAŞTIRILMASI**

Burak NAHARCI

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE TEKNOLOJİSİ ANABİLİM DALI**

BURSA 2007

T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TERS OZMOS YÖNTEMİ İLE İÇME SUYU
ELDE EDİLMESİNİN ARAŞTIRILMASI

BURAK NAHARCI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE TEKNOLOJİSİ ANABİLİM DALI

Bu tez 21 / 03 / 2007 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof.Dr.Kadir KESTİOĞLU
(Danışman)

Prof. Dr. Recep EREN
(Juri)

Yrd.Doç.Dr. Seval K. AKAL SOLMAZ
(Juri)

TERS OZMOS YÖNTEMİ İLE İÇME SUYU ELDE EDİLMESİNİN ARAŞTIRILMASI

ÖZET

Bu araştırmada ham sulardan ters ozmos yöntemi ile içme suyu elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda 2,5 bar'lık basınçlı hızlı kum filtresi (10 m/sa filtrasyon hızında) oluşturulmuştur. Bu filtreden sonra, 1 µm boyutundaki partikülleri tutabilecek kartuş filtre yerleştirilmiştir. Daha sonra içme suları ters ozmos ünitesinden geçirilmiştir. İkinci alternatif olarak hızlı kum filtresinden sonra aktif karbon + kartuş filtre + ters ozmos sisteminden içme suları geçirilmiştir. Üçüncü alternatif olarak hızlı kum filtresi + iyon değiştirme + kartuş filtre + ters ozmos uygulanmıştır. Dördüncü alternatif olarak hızlı kum filtresi + aktif karbon + iyon değiştirme + kartuş filtre + ters ozmos işlemleri uygulanmış ve giriş – çıkış suları analizlenerek, arıtılabilirlik olanakları ortaya konulmuştur. Bu çalışmalar sonucunda pH'da büyük bir değişiklik fark edilmemiştir. Dördüncü alternatifte en düşük iletkenlik değerine ulaşılmıştır (81,6 µs/cm). Her dört alternatifte de sertlik seviyeleri 2 Fr 'ın altına düşürülmüş ve ters ozmos sisteminden geçirilen yüksek iletkenlikteki ham suyun TS 266 değerlerinin altına ulaştığı ortaya konulmuştur. Tüm alternatifler TS 266 değerlerini sağladığından arıtılabilirliğin ekonomisi dikkate alınarak birinci alternatif düzeneğinin daha uygun olacağı kanaatine varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ters ozmos, membran, yer altı suyu, içme suyu

RESEARCH OF PRODUCING DRINKABLE WATER THROUGH REVERSE OSMOSIS

ABSTRACT

This research is aimed at producing drinkable water through reverse osmosis. For this purpose, a 2,5-bar compressed, fast sand filter (at 10 m/sec filtration speed) was formed, and then a cartridge filter was inserted, which is able to detain the particles of the size 1 μm . After that, drinkable waters were passed through reverse osmosis unit. As a second alternative, after fast sand filter, drinkable waters were passed through active carbon + filter cartridge + reverse osmosis. As a third alternative, fast sand filter + ion exchange+ filter cartridge + reverse osmosis was applied. As a fourth alternative, fast sand filter + active carbon + ion Exchange + filter cartridge + reverse osmosis operations were applied and inlet-outlet water analyses were done and possibilities of treatment were established. As a result of these studies no any significant change in pH was observed. At fourth alternative, the lowest conductivity rate (81,6 $\mu\text{s/cm}$) was reached to. At each of the 4 alternatives the hardness levels were lowered below 2 Fr and it was established that high-conductive raw water passed through reverse osmosis reached below the value TS 266. Since all alternatives satisfy the value TS 266, considering the economy of treatment, it was considered that 1st alternative assembly would be most favorable.

Keywords: Reverse osmosis, membrane, underground water, drinking water

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
İÇİNDEKİLER	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
TABLolar DİZİNİ	ix
1 GİRİŞ.....	1
2 KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
2.1 İçme Suları ve İçme Sularının Özellikleri.....	4
2.1.1 İçme Suyu Kalite Problemleri ve Elektriksel İletkenlik	5
2.2 İçme Suyu Kaynakları	16
2.2.1 Yüzeysel Sular	16
2.2.2 Yer altı Suları	17
2.3 İçme Sularının Arıtılması	21
2.3.1 İçme Suyu Arıtma Yöntemleri	22
2.3.1.1 Yüzeysel Sular için Arıtma Yöntemleri	27
2.3.1.2 Yer Altı Suları için Arıtma Yöntemleri	29
2.4 İçme Suyu Arıtımında Kullanılan Membran Filtrasyonu Yöntemleri	32
2.4.1 Mikrofiltrasyon ve Ultrafiltrasyon	37
2.4.2 Nanofiltrasyon	39
2.4.3 Ters Ozmos	41
2.5 Ters Ozmos Sistemlerinde Kullanılan Yarı Geçirgen Membranlar	45
2.5.1 Ters Ozmos Sistemlerinde Kullanılan Membran Materyali	45
2.5.1.1 Membran Karakteristikleri	51
2.5.2 İçme Suyu Arıtımında Kullanılan Ters Ozmos Membran Sistemleri	52
2.5.2.1 Boru Tipi Model Membranlar (Tübüler Model)	52
2.5.2.2 Spiral Sargılı Membranlar (Spiral – Wound Model)	54
2.5.2.3 Boşluklu Elyaf Membranlar (Hollow Fiber Modüller)	58
2.5.2.4 Plakalı Membranlar (Plate ve Frame Membran Modüller)	60

2.6 Ters Ozmos Membran Sistemlerinde Ön Arıtma Seçenekleri	62
2.6.1 Membranlar Üzerinde Çökelmeyi Minimize Etmek	66
2.6.2 Membran Kirlenmesini Minimize Etmek	69
2.7 Ters Ozmos Membranlarının Temizlenme Yöntemleri	71
2.7.1 İnorganik Kirleticilerin Temizlenmesi	72
2.7.2 Organik Kirleticilerin ve Biyolojik Organizmaların Temizlenmesi	73
2.8 Membran Filtrasyon Sistemlerinin Avantajları ve Dezavantajları	75
2.9 Yer Altı Sularından İçme Suyu Elde Edilmesinde Kullanılan Ters Ozmos Sistemleri	83
2.9.1 Düşük Basıncılı Ters Ozmos (Konut Tipi) Sistemleri	83
2.9.2 Yüksek Basıncılı Ters Ozmos (Ticari-Endüstriyel) Sistemleri	85
3 MATERYAL VE METOT.....	92
4 ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	102
KAYNAKLAR.....	123
EK 1: Ters Ozmos ile Su Arıtımına Örnek 1	127
EK 2: Ters Ozmos ile Su Arıtımına Örnek 2	133
EK 3: Kirleticiler İçin Kullanılan Temizleme Kimyasalları	141
TEŞEŞKÜR.....	142
ÖZGEÇMİŞ.....	143

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1: Nehir Ortamında Alınan Ham İçme Suyundan TS266 Değerinde İçme Suyu Elde Etmek İçin Uygulanan İçme Suyu Arıtma Tesisi Akım Şeması	27
Şekil 2.2: Katı Madde içeriği Az, Rengi Fazla Olan Kaynaklardan İçme Suyu Elde Etmek İçin Önerilen İçme Suyu Arıtma Tesisi Akım Şeması	28
Şekil 2.3: Barajlardan İçme Suyu Elde Etmek İçin Önerilen İçme Suyu Arıtma Tesisi Akım Şeması	28
Şekil 2.4: Ötrofik Göllerden İçme Suyu Elde Etmek İçin Önerilen İçme Suyu Arıtma Tesisi Akım Şeması	29
Şekil 2.5: Su Kalitesi İyi Olan Göllerden İçme Suyu Elde Etmek İçin Önerilen İçme Suyu Arıtma Tesisi Akım Şeması	29
Şekil 2.6 : Yer Altı Sularından Demir ve Mangan Giderimine Yönelik İçme Suyu Arıtım Akım Şeması	30
Şekil 2.7: Sert Yer Altı Sularından Tek Kademe Sertlik Giderme Yöntemi ile İçme Suyu Elde Edilen Akım Şeması	31
Şekil 2.8: Çok Sert Yeraltı Sularından Çift Kademe Sertlik Giderme Yöntemi İle İçme Suyu Elde Etme İçin Önerilen Arıtma Akım Şeması	31
Şekil 2.9: İyon Değiştirme Yöntemi İle Sertlik Gidermede Kullanılan Akım Şeması .	32
Şekil 2.10: Membran Filtrasyon Sistemi Tarihsel Gelişimi.....	33
Şekil 2.11: Membran Proseslerde Giriş ve Çıkış Akımları	34
Şekil 2.12: Patojen Giderimi için Filtrasyon Uygulama Rehberi.....	35
Şekil 2.13: İçme Sularında İstenmeyen Patojenler.....	35
Şekil 2.14: Dikey Yönlü Membran Filtrasyonu Su Akış Şeması.....	36
Şekil 2.15: Yatay Yönlü Membran Filtrasyonu Su Akış Şeması.....	37
Şekil 2.16: Mikrofiltrasyon Membranlarında Gözenek Büyüklüğü Dağılımı	38
Şekil 2.17: Doğal Ozmos İşlemi.....	42
Şekil 2.18: Ters Ozmos Sistemi.....	42
Şekil 2.19: Selülöz Asetat ve Selülöz Nitrat'tan Oluşan Membran Malzemeleri.....	46
Şekil 2.20: Naylon Membran Materyali.....	46
Şekil 2.21: Membran Yapısı ve Simetrisi.....	49
Şekil 2.22: İnce Film Kompozit Membran Yapısı.....	50
Şekil 2.23: Boru Tipi Membran Model Membran Konfigürasyonu	53
Şekil 2.24: Boru Tipi Membran Model Konfigürasyonu Plastik Yapı	54

Şekil 2.25: Spiral Sargılı Model Konfigürasyonu	56
Şekil 2.26: Spiral Sargılı Model Membran Kılıfı Şeması	57
Şekil 2.27: Boşluklu Elyaf Fiber Modüller	59
Şekil 2.28: Boşluklu Elyaf Fiber Mikro Fotoğraf Kesiti	59
Şekil 2.29: Plakalı Membran Modüller	61
Şekil 2.30: Sıcaklık ve pH'ın Fonksiyonu Olarak Silika Doymunluğu.....	68
Şekil 2.31: Nötr pH'da Silika Çözünürlüğü.....	68
Şekil 2.32: Ters ozmos, Ultrafiltrasyon ve Mikrofiltrasyon Arıtma Kabiliyeti	80
Şekil 2.33: Kirletici Boyutuna Bağlı Olarak Filtrasyon	81
Şekil 2.34: Düşük Basınçlı Ters Ozmos (Konut Tipi) Sistemler.....	84
Şekil 2.35: Düşük Basınçlı Ters Ozmos Sistemler Akış Diyagramı.....	84
Şekil 2.36: Çok Kademeli Model.....	85
Şekil 2.37: İki Kademeli Ters Ozmos Sistemine Bir Örnek.....	86
Şekil 2.38: Sudaki Kireç Yüzünden Tıkanmış Kartuş Filtre Seti	88
Şekil 2.39: Ortadan İkiye Ayrılmış Bir Ters Ozmos Membran Modülü	89
Şekil 2.40: Bir Tesiste Kurulu Ters Ozmos Membran Sistemi.....	90
Şekil 2.41: Ticari-Endüstriyel Yapıya Sahip Ters Ozmos Membran Sistemi ..	91
Şekil 3.1: Bursa Şehir Haritası Üzerinde Numune Alma Noktası Gösterimi	92
Şekil 3.2: Membran Kılıfı ve Membran	93
Şekil 3.3: Hidrofor Basınç Pompası	94
Şekil 3.4: Deney Çalışması Alternatif Akım Şeması 1.....	96
Şekil 3.5: Deney Çalışması Alternatif Akım Şeması 2.....	97
Şekil 3.6: Deney Çalışması Alternatif Akım Şeması 3.....	98
Şekil 3.7: Deney Çalışması Alternatif Akım Şeması 4.....	99
Şekil 4.1: Alternatif Akım Şemalarının Karşılaştırılması	107
Şekil 4.2: Deney İletkenlik Çalışması.....	109
Şekil EK 1.1: Laboratuvar Şartlarında Kurulmuş Deney Diyagramı.....	128
Şekil EK 1.2: İşletme Basıncının Florür Giderimine Etkisi.....	130
Şekil EK 1.3: Besleme Debisinin Florür Giderimine Etkisi.....	130
Şekil EK 1.4: Besleme Suyu pH'ının Florür Giderimine Etkisi.....	131
Şekil EK 1.5: Besleme Suyu Konsantrasyonunun Florür Giderimine Etkisi.....	131
Şekil EK 2.1: Farklı Besleme Kapasiteleri ve Besleme Suyu Kaliteleri İçin Yatırım Maliyeti Eğilimleri.....	139
Şekil EK 2.2: İşletme Maliyeti Dağılım Eğilimleri	140

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 2.1: İçme Suyu Kalite Problemleri Özeti	6
Tablo 2.2: İçme Suyu Standart Değerleri.....	15
Tablo 2.3: İçme Suyu Arıtma Yöntemleri Karşılaştırması.....	23
Tablo 2.4: pH 6,5’de Deklorlama için Sülfid Bileşiği Dozajı.....	48
Tablo 2.5: Membran Modüllerinin Karşılaştırılması.....	62
Tablo 2.6: Membran Kirlenmesini Minimize Etmek İçin Önerilen Besleme Suyu Karakteristiği	64
Tablo 2.7: Membran Takibi İçin Önerilen Su Kalite Takip Çizelgesi.....	65
Tablo 2.8: Hışır Oluşumunu Minimize Etmek İçin Önerilen Besleme Suyu Kalitesi	67
Tablo 2.9: Tipik Membran Sistemleri İçin Ön Filtrasyon İhtiyaçları.....	69
Tablo 2.10: Kimyasal Temizleme Malzemeleri.....	71
Tablo 2.11: Ters Ozmos ile Reddedilen İyonlar, Metaller, Organik Maddeler ve Pestisitler	76
Tablo 2.12: Membran Gözenek Çapları.....	77
Tablo 2.13: Değişik Araştırmacılar Tarafından Yapılan Ters Ozmos Deney Sonuçları	82
Tablo 2.14: Ters Ozmos Ünitesi Haftalık Kontrol Formu.....	87
Tablo 3.1: Membran Deneyinde Kullanılan Besleme Suyu Karakteristikleri	95
Tablo 4.1: Birinci Ön Arıtma Alternatifi Deney Sonuçları.....	103
Tablo 4.2: İkinci Ön Arıtma Alternatifi Deney Sonuçları	104
Tablo 4.3: Üçüncü Ön Arıtma Alternatifi Deney Sonuçları	105
Tablo 4.4: Dördüncü Ön Arıtma Alternatifi Deney Sonuçları	106
Tablo 4.5: Alternatif Akım Şemaları Deneyleri Süzüntü Sularının TS 266 İçme Suyu Standartlarına Göre Karşılaştırması	108
Tablo 4.6: İçme Suyu Arıtma Tesisi İlk Yatırım Maliyeti	119
Tablo 4.7: Ters Ozmos Sistemi İçin Kabul Edilen Teknik Veriler	120
Tablo 4.8: Maliyet Hesaplarında Kullanılacak Birim Fiyatları	120
Tablo 4.9: Yıllık Elektrik Maliyetleri	121
Tablo 4.10: Yıllık Kimyasal, Kartuş ve Membran Yenileme Maliyetleri	121

Tablo EK 1.1: Membran Deneyinde Kullanılan İşletim Karakteristikleri	128
Tablo EK 1.2: Membranla Arıtım Çalışmaları Giderim Karakteristikleri.....	132
Tablo EK 2.1: Yer altı Suyu Kompozisyon Değerlendirmesi.....	133
Tablo EK 2.2: Maksimum Su Kazanımında Yumuşatmanın Etkisi.....	135
Tablo EK 2.3: Proses Kompozisyon Değerlendirmesi.....	136
Tablo EK 2.4: Tesis Kapasitelerine Göre Ürün ve Konsantre Atıksu Akış Oranları..	137
Tablo EK 2.5: Ön Arıtma ve Membran Arıtma Tesisi Maliyet Değerlendirmesi.....	138
Tablo EK 2.6: Toplam İşletme Maliyeti.....	139
Tablo EK 2.7: Ters Ozmos Konsantre Atıksu Bertaraf Maliyet Değerlendirilmesi...	140
Tablo EK 3.1: Kirleticiler İçin Kullanılan Temizleme Kimyasalları	141

TERS OZMOS YÖNTEMİ İLE İÇME SUYU ELDE EDİLMESİNİN ARAŞTIRILMASI

1 GİRİŞ

Dünya'nın Genel Su Bütçesi : Tüm canlılar suya bağımlıdır ve su yaşam kaynağıdır. Suyun temel iki özelliği vardır. Bunlardan birincisi çözme, ikincisi ise taşıma özelliğidir. Yeryüzünün büyük bölümü, yaklaşık % 70'i su ile kaplıdır. Yerküredeki toplam 1,4 milyar km³ suyun %2,5'ini tatlı su oluşturmaktadır. Bunun 24,4 milyon m³'ü, yani yaklaşık üçte ikisi buzullarda bulunduğundan, karada ve tatlı sularda yaşayan canlılar için bu suyun yalnızca % 1 kadarı kullanılabilir durumdadır.

Yer altı suları ve topraktaki nem 10,7 km³ su barındırmaktadır. Tatlı su gölleri ve bataklıklar 0,1 milyon km³, tatlı suyun en iyi bilinen formu olan ırmaklarda ise toplam 0,002 milyon km³, yani toplam tatlı suyun 0,01'inden azı bulunmaktadır.

Tatlı suyun ana kaynağını, okyanus yüzeyindeki buharlaşmalar oluşturmaktadır. Her yıl ortalama 505 km³ su okyanuslardan buharlaşmaktadır. Bunun yanında, yılda 72.000 km³ suda kara yüzeylerinden buharlaşmaktadır. Buharlaşan suyun % 80'i yağış olarak okyanuslara dönmektedir. Kalan % 20 yani 119.000 km³ su karalara yağış olarak düşmektedir. Bunun da 47.000 km³'ü yeraltına inmektedir.

Buzullarda bulunan tatlı suyu saymazsak, kalan suyun % 20'si insanların ulaşamayacakları yerlerde bulunmaktadır. Kalan % 80'in çok büyük çoğunluğu insanların kullanımına uygun değildir. Yağışlar, seller ve akarsulardaki su, çoğu zaman insanların değerlendiremeyeceği durumda bulunmaktadır. Geriye kalan tatlı su yani toplam tatlı suyun % 0,08'i insanlar tarafından kullanılmaktadır.

Yeryüzündeki su döngüsü, kapalı bir sistemdir. Bu nedenle, bu oranlar kısa zamanda yıldan yıla büyük değişimler göstermemektedir. Ancak, yeryüzü bölgesel olarak ele alındığında, o yılki iklim durumuna bağlı olarak o bölgenin su bütçesi farklılık gösterebilmektedir. Bu nedenle su bütçesi her ülke ve bölge için çıkartılmaktadır ve su kaynaklarının planlanması buna göre yapılmaktadır (Bilim ve Teknik Dergisi, 2005).

Türkiye'nin Genel Su Bütçesi: Ülkemizde tatlı suyun büyük bölümünün kaynağını yağışlar oluşturmaktadır. Ülkemizde bir yılda düşen ortalama yağış 501 km³'tür. Bunun yanında, komşu ülkelerden ırmaklarla gelen su miktarı yaklaşık 7 km³'tür. Yıllık ortalama yağışın yarısından fazlası, yani 274 km³'ü buharlaşmayla atmosfere karışmaktadır. Geriye kalan suyun 158 km³'ü yüzey akışına, 69 km³'ü yer altı suyuna dönüşmektedir. Yer altı suyu, kaynaklarla kısmen yüzeye çıkarak yüzey akışı ile birleşmektedir. Komşu ülkelerden gelen akımla da birleşince, toplam yüzey akışı 193 km³ olmaktadır.

Yüzey akışının yaklaşık 8 km³'ü (% 4) buharlaşmaktadır. Kalanının 121 km³'ü (% 64) denizlere deşarj olmaktadır. 75 km³'ü ise (% 33) komşu ülkelere akmaktadır. Yer altı suyunun 11 km³'ü (% 16) komşu ülkelere akmaktadır. 30 km³'ü (% 44) denizlere boşalmaktadır.

Ülkemizdeki tüketebilir su kaynaklarına bakacak olursak: 193 km³'lük toplam yüzey akışının 98 km³'ü (% 49), 69 km³'lük yer altı suyunun da 12 km³'ü (% 17) tüketilebilir durumdadır (Bilim ve Teknik Dergisi, 2005).

Ülkemizde 1998 yılı itibari ile tüketilen 38,9 milyar m³ suyun 32,9 milyar m³'ü yerüstü suyundan, 6 milyar m³'ü ise yer altı suyundan karşılanmaktadır (Baykan, 2004).

Yerüstü suyundan tüketim miktarına göre sulama (% 82), içme-kullanma (% 10), sanayi (% 8) şeklinde olan sıralama, yer altı suyunda; içme-kullanma (% 39), sulama (% 37), sanayi (% 24) şeklinde gerçekleşmiş bulunmaktadır (Baykan, 2004).

Yeryüzünde kullanılacak suyun sınırlı olması ve teknolojinin ilerlemesiyle insanların su ihtiyaçlarının artmasından dolayı buzullardan ve deniz suyundan tatlı su eldesi çalışmaları uzun yıllardan beri devam etmekte , ancak çok pahalı olan bu yöntemlerden sınırlı olarak yararlanılabilmektedir. Su tüm özelliklerini hiçbir maddeninkine benzemeyen kendine özgü molekül yapısına borçludur (Güler ve Çobanoğlu, 1997).

Ülkemizde belediyelerimizin % 60'ı kuyu, % 35'i kaynak olmak üzere % 95'i ve nüfusunun %70'i yani ortalama 35 milyon insanımız içme suyu ihtiyacını yer altı suların dan, %5'i 15 milyon insanımız yüzey sularından arıtarak karşılamaktadır. Köylerimizin %98'i içme suyu ihtiyacını yeraltı sularından karşılamaktadır. Bunun

% 85'i kaynak %13'ü kuyu, % 2'si akarsu, baraj, göl ve göletlerden sağlamaktadır. Baraj ve göllerde biriken suların içilebilir ve kullanılabilir olması için temizlenmesi gerekir. Bu nedenle, su şehir şebekesine ulaşıncaya kadar çeşitli işlemlerden geçirilir. Bunlar; dinlendirme, havalandırma, çöktürme, süzme ve mikroplardan arındırma işlemleridir (Akpınar, 2005).

Ülkemizde yer altı sularımızın % 74'ü sulamada kullanılmaktadır. Çiftçimizin kendi imkanlarıyla yapmış olduğu sulama sistemleri için yaklaşık % 90 sanayi ve endüstride kullanılmak üzere fabrikalarımız su ihtiyaçlarını tahminen % 95 derin sondaj kuyularından karşılamaktadır. Bu nedenle yer altı sularına sahip çıkılması yediden yetmişe tüm halkımızın görevidir (Akpınar, 2005).

Unutulmamalıdır ki her yıl yaklaşık 5 milyon insanın sudan kapıldığı hastalıklardan öldüğüne ilişkin istatistikler, su arıtımı sonunda temiz ve sağlıklı su elde etmenin önemini göstermektedir (Bilim ve Teknik Dergisi, 2005).

Bu tez çalışmasında, içilebilir su elde etmek için büyük bir su kaynağı olan yer altı sularından, son yıllarda kullanım ağı genişleyen membran arıtma sistemlerinden, ters ozmos membran sistemi kullanılarak arıtılabilirlik çalışması yapılmıştır.

2 KAYNAK ARAŞTIRMASI

Sular kullanım amaçlarına ve kriterlerine göre sınıflandırılabilir. Ancak, kalite kriterleri kullanım amaçlarını da belirlediğinden kalite kriterlerinin suların sınıflandırılmasında esas alınması gerekir. Buradan kullanım amaçlarına göre suları; içme suları, rekreasyon suları, şifalı özellikleri bulunan sular ve sulama suyu şeklinde ayırabiliriz (Güler ve Çobanoğlu, 1997).

2.1 İçme Suları ve İçme Sularının Özellikleri

Güvenli ve uygun anti mikrobik maddeler haricinde hiçbir madde ilave etmeden şişelere veya başka kaplara doldurulmuş yada insan kullanımına direk sunulmuş, damak zevkine ve insan tüketimine uygun suya içme suyu denilmektedir. Kısaca insanlar için sağlık ve kalite yönünden içilebilir özelliklere sahip olan sulara içme suları yada içilebilir sular denilmektedir (Akpınar, 2005).

“İçme ve kullanma sularında istenilen ve istenmeyen vasıfları beş grupta toplamak mümkündür” (Eroğlu, 1995).

- a) Su, kokusuz, renksiz, berrak ve içimi lezzetli olmalıdır.
- b) Su hastalık yapan mikroorganizma ihtiva etmemelidir.
- c) Suda sağlığa zararlı kimyasal maddeler bulunmamalıdır.
- d) Su, kullanma maksatlarına uygun olmalıdır.
- e) Sular agresif olmamalıdır.

“Bu maddeleri ayrıntılı inceleyecek olursak;

a) Su, kokusuz, renksiz, berrak ve içimi lezzetli olmalıdır

Sularda fenoller, yağlar gibi suya kötü koku ve tat veren maddeler olmamalıdır. Sular renksiz, berrak ve içilebilecek sıcaklıkta olmalıdır. İçme suyu için en uygun sıcaklık 8 ile 12 °C'dir. Ayrıca sulardaki çözülmüş oksijen konsantrasyonu 5 mg/L'den daha büyük olmalıdır.

b) Su hastalık yapan mikroorganizma ihtiva etmemelidir

Suda bulunabilen bazı mikroorganizmalar çeşitli hastalıklara sebep olurlar. Bu çeşit hastalıklara “suyun sebep olduğu hastalıklar” denir. *Shigella dysenterial*, *Salmonella typhi*, *Vibrio cholera*, *Entamoeba histolytica*, *Çocuk felci virüsü*, *Hepatit virüsü*, *Su diyaresi virüsleri* gibi bazı virüsler sudan geçerek hastalık yaparlar.

c) Suda sağlığa zararlı kimyasal maddeler bulunmamalıdır

Bazı kimyasal maddeler zehirli tesir gösterirler. Arsenik, krom, kurşun, civa, selenyum zehirli maddelerdir. Bunun gibi sağlığa zararlı maddelerin içme sularındaki konsantrasyonları belli bir değerden fazla olmamalıdır. Bu değerler çeşitli standartlarla açıkça belirtilmiştir.

d) Su, kullanma maksatlarına uygun olmalıdır

Sular içme suyu ve sanayide kullanma suyu olarak kullanılabilirler. İçme suyu olarak kullanılması halinde sudaki demir ve manganez muhtevaları düşük olmalıdır. Demir, bilhassa yer altı sularında Fe^{+2} olarak, umumiyetle demir bikarbonat ($Fe(HCO_3)_2$) şeklinde bulunur. Fe^{+2} , oksijenle temas ederse sarı-lırmızı bir bileşik olan demir hidroksit şeklinde çökelir. Bu sebeple suyun tadı ve rengi değişir.

e) Sular agresif olmamalıdır

Suların agresifliği, serbest karbondioksit (CO_2) ile bikarbonat (HCO_3^-) iyonunun dengede olmamasından ileri gelir. Suların agresifliği, borularda korozyona sebep olur, boruların kısa zamanda harap olmalarına, dolayısı ile ilave masraflara yol açar. Ayrıca boruların aşınması halinde borudan ayrılan elementler suyun kalitesinin bozulmasına sebep olurlar” (Eroğlu, 1995).

2.1.1 İçme Suyu Kalite problemleri ve Elektriksel İletkenlik

Organik, inorganik ve kimyasal maddelerin gereğinden fazla içme sularında bulunması, suyun tadını, kokusunu, görünüşünü bozmakta, yüzeylerde çökeltiler, lekeler oluşturmakta ve görünmeyen bazı bileşikler ise insan sağlığına zararlı etkide bulunmaktadır. Bahsedilen tüm bu bileşiklerin belirtileri, kaynak ve sebepleri, sağlığa olan etkileri ve bu bileşiklerin sudan ayrılması için gerekli olan arıtma seçenekleri hakkında ayrıntılı bilgi Tablo 2.1’de verilmiştir (Kocher ve ark, 2006).

Tablo 2.1: İçme Suyu Kalite Problemleri (Kocher ve ark, 2006)

Problem	Belirti	Kaynak veya Sebep	Sağlık Riski	Arıtma Seçeneği
Sert su, Leke, Çökelti, Ev içi Tesisat Problemleri	Boru, bardak ve cihazlarda beyaz çökelti oluşumu, sabun köpüğünde azalma	Doğal sebeplerle kalsiyum ve magnezyum çökmesi	Genel olarak düşük miktarda toplam kalsiyum ve magnezyum ihtiyacını karşılar	İyon değişimi su yumuşatma
	Eşya üzerinde yeşil leke, suda açık mavi yeşil renk	Asidik su, pH=6,8'in altında sudaki yüksek karbondioksit veya çözülmüş oksijen içeriği, pirinç ve bakır tesisatlardaki reaksiyonlar	Leke bakır ve kurşuna işaret edebilir.	Kalsiyum karbonat filtresi, kireç soda beslemesi ile kum filtrasyonu
	Porselen eşyalarda, çamaşırlarda kırmızımsı-kahverengi leke	Çözülmüş demir	Bilinmeyen sağlık riski	İyon değişimi su yumuşatma, oksitleme filtreleri, kum filtresini takiben klorlama, ozonlama veya havalandırma
	Çamaşırlarda ve eşyalarda kahverengi-siyahımsı leke, su ve yemeklerde renk ve lezzet etkisi	Topraktaki doğal mangan çökeltisi, 0,05 mg/L'nin üstü demir ile kombine olarak mangan lekesine sebep olmaktadır	Bilinmeyen sağlık riski	İyon değişimi su yumuşatma, oksitleme filtreleri, kum filtresini takiben klorlama, ozonlama veya havalandırma
Sediment (Kum, Kil, Pas)	Çakıllı, kumluluk veya aşındırıcı kıvam	Doğal olarak kum partiküllerinin ve kilin çökmesi	Toprak / kil partiküllerine zararlı bileşik bağlanması	Kum filtrasyonu, Distilasyon

Tablo 2.1 : Tablo 2.1 Devamı

Problem	Belirti	Kaynak veya Sebep	Sağlık Riski	Arıtma Seçeneği
Tat	Tuzlu ve acı su, paslanmaz çelik lavabo çukurunda ve mutfak kaplarında siyahlaşma	Doğal olarak yüksek sodyum içeriği çökmesi	Düşük kan basıncı	Ters ozmos, Distilasyon
	Soda veya gazoz tadı, kaymak hissi	Yüksek toplam çözülmüş katı, alkalın	Direk sağlık etkisi yok, dezenfeksiyon ile engellenebilir	Ters ozmos, Distilasyon
Pestisitler	Sudaki keskim kimyasal kokusu (bazı bileşikler kokusuz olabilir)	Yer altı suyundaki çözülebilir pestisitler	Anemi, kansızlık veya diğer kan hastalıkları, üreme hastalıkları, kanser riski, mide, ciğer, böbrek problemleri	Aktif karbon filtrasyon, Ters ozmos, Distilasyon
Koku	Küfsü, topraksı, odunsu koku	Çoğunlukla zararsız organik maddeler	Yok	Aktif karbon filtre
	Klor kokusu	Aşırı klorlama	Sudaki klor, insan ve hayvanlar için zehirli değildir. Yüksek konsantrasyonları tadını kötüleştirir	Aktif karbon filtre
	Benzin veya yağ kokusu	Potansiyel yakıt tankı veya yer altı depolamadan su deposuna sızıntı, fabrikalardan araziye deşarj	Kirleticilere bağlı olarak anemi, kanser riski, karaciğer ve böbrek problemleri	Bazı durumlarda aktif karbon filtre
	Yanık yumurta kokusu	Çözülmüş hidrojen sülfür gazı,	Hidrojen sülfür gazının yüksek konsantrasyonları yanıcı ve zehirlidir	Oksitleme filtreleri, Aktif karbon filtre, veya bunu takiben klorlama,
	Yanık yumurta kokusu	Su içerisindeki sülfat indirgeyen bakterilerin varlığı	Bilinen sağlık riski yok	Aktif karbon filtreyi takiben klorlama

Tablo 2.1 : Tablo 2.1 Devamı

Problem	Belirti	Kaynak veya Sebep	Sağlık Riski	Arıtma Seçeneği
Koku	Yanık yumurta kokusu	Yumuşak su varlığında su ısıtılmasında magnezyum kareketi	Bilinen sağlık riski yok	Isıtıcıda magnezyum ile kabul edilebilir alüminyum yenilenmesi
	Deterjan kokusu veya suda köpürme	Septik tanklardan su kaynaklarına sızıntı	Bağırsaklarda rahatsızlık (ishal, kusma, şiddetli karın ağrısı)	Kaynağında giderme, Şok klorlama
	Metan gazı	Bataklık yakınlarındaki sığırlıklarda organik madde çürümesi, depolama alanları, petrol alanlarından akiferlere sızma	Soluma için gaz toksiktir ve patlayıcıdır	Geri pompalama, Ticari vb. de-havalandırma sistemleri
	Fenol (kimyasal) kokusu	Yer altı suyuna endüstriyel atık sızması	Bileşiklere bağlı olarak değişir	Kısa süreli aktif karbon filtrasyon (filtre kapasitesi kısa sürede dolar)
Bulanıklık	Bulanık su veya suda çökelen askıda katı maddeler	Kil, silt veya kum	Toprak/Kil partiküllerine zararlı bileşikler eklenmiş olabilir	Kum kapanları, Elek, Kum filtrasyonu
Suda siyah görünüş	Çamaşır veya eşyalarda kahverengimsi-siyahımsı leke, lavabo, su ve yemeklerde renk oluşumu	Topraktaki manganezin organiklerde doğal çökmesi, 0,05 mg/L manganezin üstü leke yapmakta ve demir ile kombine olmaktadır	Bilinen sağlık riski yok	İyon değişimi su yumuşatma, oksitleme filtreleri, kum filtresini takiben klorlama, ozonlama veya havalandırma
Demirden suyun kırmızımsı olması	Başlangıçta su berraktır, fakat ısıtma-pişirme esnasında rengi kırmızımsı olur, eşyalarda kırmızımsı leke yapmaktadır	Çözülmüş demirin doğal çökmesi	Bilinen sağlık riski yok	İyon değişimi su yumuşatma, oksitleme filtreleri, kum filtresini takiben klorlama, ozonlama veya havalandırma
	Su çekilirken suyun lekelenmesi	Çökelmiş demir	Bilinen sağlık riski yok	Oksitleme filtreleri

Tablo 2.1 : Tablo 2.1 Devamı

Problem	Belirti	Kaynak veya Sebep	Sağlık Riski	Arıtma Seçeneği
Demirden suyun kırmızımsı olması	Su çökeltirken kahverengimsi görünüşün gitmemesi	Organik (bakteriyel) demir	Bilinen sağlık riski yok	Aktif karbon filtreyi ve klorlamayı takiben şok klorlama
	24 saat bekleme sonunda kırmızımsı rengin olması	Koloidal demir	Bilinen sağlık riski yok	Aktif karbon filtreyi takiben klorlama
Sarı su	Filtrelerden veya yumuşatmadan sonra sarımsı bir renk olması	Turbalı topraktan geçiş sırasında eklenme, çürümüş bitkiler veya yakınlardaki yüzeysel suyun etkisi	Bilinen sağlık riski yok	Anyon değiştiriciler, Aktif karbon filtreyi takiben sürekli klorlama
Sudaki yüksek klor içeriği	Görünmeyen renkte, tatta ve kokudaki bileşikler	Aşırı tuz içeriği	Düşük kan basıncı	Distilasyon, Ters ozmos
Florür		Gübrelerin doğal çökelişi, alüminyum endüstrisi, yer altı suyuna katılan 2,0 mg/L'in üstünde florür	İyi bir diş sağlığı için optimum florür seviyesi 1,0 mg/L'dir. Fazlası dişlerde problem yaratır. Dişlerde sarımsı ve benekli lekeler oluşur.	Distilasyon, Ters ozmos
Nitrat		Yer altı suyuna yakınlardaki insan veya hayvan atıklarının sızması, gübrelerin doğal çökmesi	Kanda yetersiz oksijen taşınımı, cenin yada bebekte mavi bebek sendromu oluşumu	Distilasyon, Ters ozmos
Radon		Suda radyumun doğal olarak çözülmesi ile radon gazı çıkmaktadır	Kanser	De-havalandırma, Aktif karbon filtre
Kurşun		Evdeki lehim yada kurşun borular, doğal çökme erozyonu	Sinir sistemine, beyine, böbreğe ve kırmızı kan hücrelerine ciddi hasar verir	Ters ozmos, Distilasyon, Özel medyalı aktif karbon filtre
Bakır		Evlerdeki bakır tesisat, doğal çökme, odun koruyucu maddesi	Bulantı/Kusma, ishal, mide krampları	Özel medyalı aktif karbon filtre, Ters ozmos, Distilasyon

Tablo 2.1 : Tablo 2.1 Devamı

Problem	Belirti	Kaynak veya Sebep	Sağlık Riski	Arıtma Seçeneği
Diğer ağır metaller (çinko, kadmiyum)	Görünmeyen renkte, tatla ve kokudaki bileşikler	Endüstriyel atık kirliliği, düşük pH'lı suların sebep olduğu tesisatlardaki korozyon	Böbrek ve sinir sisteminde hastalık, kanda düzensizlik, bağırsaklarda düzensizlik	Ters ozmos, Distilasyon, Aktif karbon filtre, İyon değimi su yumuşatma (Bakır, çinko, kadmiyum)
Arsenik		Doğal çökeltme, cam, elektronik atık, çelik fırını	Kanser, zaman içinde yüz ve sinir sisteminde hasar	Ters ozmos, Distilasyon, Demir veya manganez katkılı adsorbant madde
Kloraminler		Mikropları kontrol etmede suya eklenerek kullanılan madde	Göz ve burunda tahriş, mide rahatsızlığı, anemi, diyaliz merkezlerinde kullanılamaz	Aktif karbon filtre
Dezenfeksiyonun Ara ürünü (Trihalometanlar)		İçme suyunda klorlama ara ürünleri, mikropları kontrol etmede suya eklenerek kullanılan madde	Kanser, ciğer, böbrek ve sinir sisteminde problemler	Aktif karbon filtre
Koliform Bakteri		Suya içerisinde insan veya hayvan atıklarının sızması	Bağırsaklarda rahatsızlık (Bulantı, kusma, ishal), Koliform bakteriler arasında zararlı diğer mikroplarda olabilir	Ultraviyole rasyasyon (UV) Sürekli klorlama, Distilasyon, Ozonlama
<i>Cryptosporidium</i>		İnsan veya hayvan atıklarının suya sızması, havasız ortamlı yüzeysel veya yer altı suyu	Bağırsaklarda rahatsızlık (Bulantı, kusma, ishal)	Mikron filtre ile aktif karbon bloklar, Ozonlama, Ters ozmos
<i>Giardia</i>		İnsan veya hayvan atıklarının suya sızması, havasız ortamlı yüzeysel veya yer altı suyu	Bağırsaklarda rahatsızlık (Bulantı, kusma, ishal)	Ultraviyole dezenfeksiyon, Sürekli klorlama, Ozonlama Mikron filtre ile aktif karbon bloklar,
Virüs		İnsan veya hayvan atıklarının suya sızması, havasız ortamlı yüzeysel veya yer altı suyu	Bağırsaklarda rahatsızlık (Bulantı, kusma, ishal)	Ultraviyole dezenfeksiyon, Sürekli klorlama, Ozonlama Ultra filtreler, Ters ozmos

İçme Sularında Elektriksel İletkenliğin Önemi

Elektriksel iletkenlik suyun elektrik akımını iletme yeteneğinin ölçüsüdür. Suyun iletkenliği (-) yüklü iyonlar; klorür, nitrat, sülfat, fosfat ve (+) yüklü katyonlar; sodyum, kalsiyum, magnezyum, demir, alüminyum gibi çözünmüş inorganik maddelerin varlığından etkilenir. Sudaki tuz konsantrasyonu arttığı zaman, elektriksel iletkenlik artar. Yağ fenol, alkol ve şeker gibi organik bileşikler elektrik akımını iyi iletmezler. Dolayısıyla bu maddeler suda düşük iletkenliğe sebep olurlar. İletkenlik sıcaklıktan da etkilenir; sıcak sular daha fazla iletkenliğe sahiptir. Bu nedenle iletkenlik standart bir sıcaklık için ifade edilir (25 °C). İletkenlik ölçüm cihazları sıcaklık düzeltmesi ve tam kalibrasyon gerektirir. Bu tür ölçüm cihazlarında suya batırılan proptaki iki elektrot arasına voltaj uygulanır. Sudaki direnç sebebiyle oluşan voltajdaki düşüş santimetredeki iletkenliği hesaplamak için kullanılır. Ölçüm cihazları algılayıcı tarafından ölçülen değeri santimetredeki μmho 'ya çevirir ve kullanıcı için sonuç gösterir (USEPA, 1997).

Ohm kanununa göre bir iletkenin iki ucu arasındaki potansiyel fark ile bu iletkenin geçen akım şiddeti arasında sabit bir oran vardır.

$$I = V_{AB} / R \quad (1)$$

Bu bağıntıda;

I: Akım şiddeti (Amper)

V_{AB} : Bir AB iletkeninin iki ucu arasındaki potansiyel farkı (V)

R: Direnç (Ohm)

1 cm^3 hacminde ve küp biçiminde olan bir iletkenin göstermiş olduğu elektriksel dirence o maddenin öz direnci (ρ) denilmektedir. Herhangi bir iletkenin direnci, uzunluğu (L) ile doğru, kesiti (A) ile ters orantılıdır. Bu iletkenin direnci;

$$R = \rho * (L/A) \quad (2)$$

yazılabilir.

(2) numaralı eşitliğin tersi yazılırsa :

$$(1/R) = (1/\rho)*(A/L) \quad (3)$$

bağıntısı elde edilir. Bu bağıntıda,

$$(1/R)= G \quad \text{ve} \quad (1/\rho)= G_S \quad (4)$$

ile gösterilirse;

$$G = G_S * (A/L) \quad (5)$$

bağıntısı elde edilir.

Bu bağıntıda;

G: İletkenlik (birim uzunluk başına Siemens),

G_S: Öz İletkenlik olarak verilmektedir.

Çözeltilerin öz iletkenliğine gelince, bunlar iletkenlik pilleri ile ölçülürler. Böyle bir pilde kenarı 1 cm olan platin siyahı ile kaplanmış iki elektrod 1 cm aralıkla yerleştirilmiş olup elektrotlar arasındaki hacim 1 cm³ tür. Bu durumda çözeltinin öz iletkenliğinin saptanabilmesi için pil sabitinin bilinmesi gerekmektedir. Bu sabit;

$$1/A = k \quad (6)$$

olarak verilir.

G_S için;

$$G_S = k * G \quad (7)$$

yazılabilir.

İletkenlik ölçümlerinin birimi, mho/cm veya Siemens olarak bilinmekte ve su analizlerinde $\mu\text{mho/cm}$ olarak kullanılmaktadır.

Bir çözeltinin eşdeğer iletkenliği (Λ);

$$\Lambda = V * G_S \quad (8)$$

olarak yazılabilir. Bu bağıntıda;

V: İçerisinde 1 eşdeğer gram çözünmüş madde bulunan çözeltinin hacmini gösterir ve aşağıdaki formülle hesaplanabilir.

$$V = 1000/C \quad (9)$$

Bu bağıntıda;

C: Normalite'dir.

(9) numaralı bağıntıyı (8) numaralı bağıntıdaki yerine koyarsak;

$$\Lambda = (1000/C) * G_S \quad (10)$$

bağıntısını elde ederiz.

Diğer yandan elektolit çözeltilerinin iletkenliği sıcaklık ile değişmekte olup aşağıdaki eşitlik ile bulunur:

$$G_t = G_{25^\circ\text{C}} [1 - 0,02 (t-25)] \quad (11)$$

Sonuç olarak iletkenlik G_t ($\mu\text{mho/cm}$);

$$G_t = (10^6 * k) / [R * (1-0,02)*(t-25)] \quad (12)$$

bağıntısı ile ifade edilir.

Bu bağıntıda;

$t = ^\circ\text{C}$ 'yi ifade etmektedir (Yaramaz, 1992).

Bazı iletkenlik ölçüm cihazları toplam çözünmüş madde ve tuzluluk ölçümü için kullanılabilir. Toplam çözünmüş madde konsantrasyonu mg/L olarak deneysel olarak belirlenmiş 0,55 ve 0,9 arasındaki faktörle iletkenlik sonuçlarının çarpılmasıyla hesaplanabilir. Ölçüm cihazları aynı zamanda sıcaklık da ölçerler ve otomatik olarak o sıcaklığa karşılık gelen iletkenlik okumasını yaparlar. İletkenlik arazide veya laboratuarda ölçülebilir. Çoğu zaman arazide toplanan örneklerin laboratuarda ölçülmesi daha iyidir. Bu yolla eş zamanlı olarak bir çok örnek toplanabilir (USEPA, 1997).

Damıtılmış suyun sahip olduğu elektriksel iletkenlik değeri 0,5 – 3 $\mu\text{mho/cm}$ arasındadır. İçme sularında 150 – 500 $\mu\text{mho/cm}$ arası iletkenlik olması istenmektedir (USEPA,1997).

İçme sularının renksiz, berrak olması, hastalık yapıcı organizmaları, zararlı kimyasal maddeleri ihtiva etmemesi ve agresif olmaması gerektiği belirtilmişti. Sularda bu şartları sağlamak ve suda bulması arzu edilmeyen maddelerin belirli bir seviyenin altında tutmak için çeşitli standartlar geliştirilmiştir (Eroğlu, 1995). İçme ve kullanma sularında bulunması ve bulunmaması gereken maddeler ve bu maddelerin standart değerleri TS 266 içme ve kullanma suları standardı ve Dünya Sağlık Teşkilatı (WHO) standartlarında verilmiştir (Tablo 2.2).

Tablo 2.2: İçme Suyu Standart Değerleri (Anonim, 2005)

Parametre	Birim	TS 266 Sular - İnsanı Tüketim Amaçlı Sular (Anonim, 2005)	Dünya Sağlık Teşkilatı (WHO) ¹⁾
Renk	Birim	< 20	< 15
Bulanıklık	NTU	< 1	< 5
Kurşun	mg/L	< 0,01	< 0,05
Arsenik	mg/L	< 0,01	< 0,05
Selenyum	mg/L	---	< 0,01
Kadmiyum	mg/L	< 0,005	< 0,005
Elektriksel İletkenlik	µs/cm	2500	---
Florür	mg/L	< 1,5	< 1,5
Nitrat	mg/L	< 50,0	< 50,0
Bakır	mg/L	< 2,0	---
Demir	mg/L	< 0,2	---
Mangan	mg/L	< 0,05	< 0,5
Çinko	mg/L	---	---
Sülfat	mg/L	< 250,0	< 250,0
Klorür	mg/L	< 250,0	< 250,0
Sodyum	mg/L	< 200,0	< 200,0
Toplam Organik Mad.Mik.	mg/L	< 3,5	< 2,0
Sertlik	mg/L	< 50	< 10
pH	---	6,5 – 9,5	6,5 – 8,5
Amonyak	mg/L	---	---
Nitrit	mg/L	---	---
Koliform Bakteri	adet/100 ml	---	---

1)www.iski.gov.tr

2.2 İçme Suyu Kaynakları

Suları kaynağından temin edebilme şekillerine göre iki grupta inceleyebiliriz:

- Yüzeysel sular (Dere, çay, nehir, göl, baraj vb.),
- Yeraltı suları

2.2.1 Yüzeysel Sular

“Ülkemizde deniz sularından içme suyu kaynağı olarak yararlanılmadığı için, akarsu, göl ve baraj rezervuarlarında biriken suların yüzeysel sular olarak tanımlıyoruz. Birçok yerde akarsular kanalizasyon atıkları da dahil olmak üzere, organik maddeler tarafından aşırı derecede kirletilmektedirler. Sanayi kentlerinde de yine akarsular organik ve inorganik maddelerle kirlenmektedir. Göl sularında akarsulara göre daha az bakteri bulunmaktadır. Göllerin ortalarından alınan sular, kıyılara yakın yerlerden alınan suların daha temizdir. Kısacası, yüzeysel suların kalitesi çoğunlukla düşüktür, çünkü kirli ve mikroplu olması yanında çok defa askıdaki katı maddeler içermesi nedeniyle bulanıktır. Genellikle suyu bir yerde bekleterek içindeki maddeleri çökeltmek ve güneşin renk giderme özelliğinden yararlanarak da rengini açmak suretiyle kalitesini düzeltmek mümkündür. Bekletmekle aynı zamanda suyun içindeki bakteriler, doğal ömürlerini tamamlayarak ölürler” (Güler ve Çobanoğlu, 1997).

“Sular kalitelerine göre yüksek kaliteli, az kirlenmiş, kirli ve çok kirlenmiş su olmak üzere dört sınıfta değerlendirilir.

1. Yüksek kaliteli sular (I. Sınıf)

- Yalnız dezenfeksiyon ile içme suyu olarak,
- Rekreatif amaçlar için (yüzme gibi vücut teması gerektirenler),
- Alabalık üretimi,
- Hayvan üretimi ve çiftlik ihtiyacı.

2. Az kirlenmiş sular (II. Sınıf)

- İleri veya uygun bir arıtma ile içme suyu olarak,

- Rekreatyonal amaçlar için,
- Balık üretimi (Alabalık hariç),
- Sulama suyu olarak,
- I. Sınıf sular dışında kalan diğer kullanımlar için,

3. Kirlenmiş sular (III. Sınıf)

Gıda, tekstil gibi kaliteli su gerektiren sanayiler hariç, uygun bir arıtmadan sonra sanayide kullanılabilir.

4. Çok kirlenmiş sular (IV. Sınıf)

Yukarıda açıklanan sular dışında kalan kalite olarak düşük kalitedeki sulardır” (Anonim, 1998).

2.2.2 Yer altı Suları

Yer altı suyu, kum, çakıl gibi dağınık taş birikintilerinin bulunduğu bir yerde örneğin bir vadi tabanında, alüvyonlu bir ovada yeri kazarak kuyu açarsak, bu açılmış yerin içinde su toplanır. Bu sular açılan deliğin veya oyuğun yanlarından buraya doğru olan sızıntılarla birikmiştir. Buna göre, bu suyun daha derinlere süzülüp akması, alttaki bir geçirimsiz tabaka tarafından engellenmiştir. Yerin içindeki bu suya yer altı suyu diyoruz (Botkin ve Keller, 1995). Başka bir deyişle, yer altı suyu, yer kabuğundaki geçirimli jeolojik ortamın doygun bölgesinde bulunan ve kıyıları, kaynakları, akarsu, göl ve deniz gibi su kütlelerini besleyen sudur (Brass ve ark, 1977).

Yer altı sularından yararlanma, insanoğlunun yeryüzünde var oluşu ile başlar. İlk insanlar bir yandan hayvanların su aramalarını görerek bir yandan da içgüdülerini kullanıp kendilerine gerekli suyu bulmağa çalışmışlardır.

Eski uygarlıkların yerleşmelerini akarsu ya da su kaynaklarının etrafında kurdukları görülür. Bol sulu bölgelerde tarım ve sanayinin geliştiği, bazen susuzluktan dolayı tarihte büyük göçlerin başladığı da bilinen bir gerçektir.

Eski İranlıların, Mezapotamyalıların, Mısırlıların ve Çinlilerin yer altı sularından yararlanmak için derin kuyular açtıkları, kilometrelerce uzunlukta kehrizler (tünel) kazdıkları bilinmektedir. Yusuf Peygamberin Kahire’de 90,5 m derinlikte som kaya içinde açtırmış olduğu kuyu sanat ve işçilik yönünden bugün de insanları hayran bırakmaktadır. Dikdörtgen kesitli bu kuyunun 50 metrelik ilk kısmı 5,50 x 7,30 m, 40 metrelik ikinci kısmı ise daha küçük boyutta (4 x 4 m) ayrı bir eksen üzerinde açılmıştır. Suyun 90,39 m derinlikten alınışı ilkel fakat pratik bir sistemle sağlanmıştır. Yakup Peygamberin kuyusunun da 46 m derinlikte, 2,30 m çapında olduğu, zamanla dolduğu ve kullanılmaz hale geldiği bilinmektedir.

Milattan önce 6. asırda Yunanlılar ve 3. asırda Romalılar, şehirlerinde çeşitli su yapıları inşa etmişlerdir. Bunlardan büyük bir kısmı günümüze kadar gelmiş bulunmaktadır.

Kurak ve yarı kurak bir bölge olan ülkemizde de yer altı sularından yararlanma düşüncesi çok eskidir. Bugün çeşitli yerlerde gördüğümüz yer altı suyu yapıları, kuyular, kehrizler bu düşüncüyü desteklemektedir. Türkler de yerleşik düzene geçtiklerinde, kuyular ve galeriler açmışlar; sarnıçlar, çeşmeler, sebiller ve bendler inşa etmişlerdir (Erguvanlı ve Yüzer, 1987). Cumhuriyetin ilanından sonra şehir ve köylerin su ihtiyacını karşılamak için yeraltı suyu araştırmaları yapılmış, bugünde araştırmalarla birlikte modern sondaj aletleriyle derin kuyular açılarak yer altı suyundan arazi derecede yararlanma yoluna gidilmiştir.

Yeraltı suları, insan sağlığını doğrudan ilgilendirdiği gibi değişik mühendislik hizmetlerini de çeşitli yönlerden ilgilendirir. Tarımla uğraşanlar, sulama ve hayvancılıkta, taban suyunun düşürülmesi ve verimsiz, çorak arazilerin yararlı hale getirilmesi açısından, inşaatla uğraşanlar, ternellerdeki deformasyonları doğurma, şevlerin, tünel ve yollardaki kazıların stabilitesini bozma ve betona zararlı etki yapma açısından, madenciler, verimi azaltma, ocağı boğma ve kazalara yol açma nedenlerinden dolayı yakından ilgilidir (Güler ve Çobanoğlu, 1997).

Yer altı suları kalitelerine göre üç sınıfta ele alınmıştır (Anonim, 1998)

1. Yüksek kaliteli yeraltı suları (I. Sınıf)

İçme suyu ve gıda sanayi olmak üzere her türlü amaç için kullanılabilen yer altı sularıdır. Gerekli görüldüğünde uygun bir dezenfeksiyon yapılabilir. Yalnızca

havalandırma ile gerekli oksijen sağlanıyorsa bu gibi sular da I. Sınıf yeraltı suyu olarak kabul edilebilir.

2. Orta kaliteli yer altı suları (II. Sınıf)

Bir arıtma işleminden sonra içme suyu olarak kullanılacak sulardır. Bu sular tarımsal su ve hayvan sulama suyu veya sanayide soğutma suyu olarak herhangi bir arıtma işlemine gerek duyulmadan kullanılabilir.

3. Düşük kaliteli yer altı suları (III. Sınıf)

Bu suların kullanım yeri, ekonomik, teknolojik ve sağlık açısından sağlanabilecek arıtma derecesi ile belirlenir.

İçinde bakteri bulunmayan suların önemli bir kısmı kaynaklardan ve derin kuyulardan gelmektedir. Suyun temizlik derecesi süzülmesi toprağın cinsine ve kalınlığına ve süzülen suyun kirlenme derecesine bağlıdır. Bununla birlikte yer altı sularında fazla miktarda erimiş mineral bulunması dezavantajdır.

Bakteri bakımından en güvenli sular, kum ve kumtaşı formasyonundan süzülen sulardır; çünkü bu formasyon çok iyi bir filtre görevi yapar. Kum ne kadar ince olursa filtre de o kadar iyi olacaktır. Çakıl depozitlerinden süzülen sular genellikle filtre olmazlar; kalker formasyonlarında ise yarı ve çatlaklar bulunabileceğinden bu formasyonlar, mikrop organizmalarca kirletilmiş suların daha hızlı ve daha uzak mesafelere taşınmasına neden olurlar (Güler ve Çobanoğlu, 1997).

Ülkemiz için Yer Altı Sularının Önemi: Yer altı sularına halk arasında kaynak suları adı da verilir. Bunlar yeraltındaki su seviyesinin bir şekilde yeryüzü ile kesiştiği noktalarda ortaya çıkarlar. Yer altı sularının başlıca özellikleri arasında şunları sayabiliriz:

- Yeraltı suları içinde jeolojik tabakalardaki madenleri eritmiş olduğundan içimi daha lezzetli ve damak tadı verir.
- Yer altı su hazneleri üstlerinde başka jeolojik katmanlar bulunduğundan doğrudan güneş ısıtımını ile temasta bulunmadığından buharlaşma kayıpları azdır. Bu bakımdan kurak ve yarı kurak bölgelerde yüzeysel biriktirme haznesi yapmak yerine yeraltında su biriktirme hazneleri inşa ederek buharlaşma kayıpları azaltılabilir.

- Yeraltı suları atmosferden kaynaklanacak kirlenmelere karşı da korunmalıdır. Bunların beslenme sahalarında endüstri ve yapılaşma gibi çalışmalara meydan verilmemesi halinde yer altı sularının kirlenmesine yol açar.
- Yüzeysel biriktirme hazneleri bir harp halinde ilk bombalanarak bir şehrin su temini boruları ve sistemine zarar verilerek halkın susuzluk çekmesine Halbuki yer altı suları sıkıntı zamanlarında kuraklık dahil bas vurulacak en güvenilir kaynaktır (Akpınar, 2005).

Yer Altı Suyu Kirliliği: Ülkemizde yer altı sularının kirlenmesine ; Tarımda aşırı ve bilinçsiz gübre kullanımı, sanayide maden, boya, tekstil, deri atık sularının dere ve ırmaklara arıtma yapılmadan bırakılması, bu suların da yer altı sularını beslemesi, yer altı suyu havzalarında kentleşme ve sanayileşmenin olması, petrol ürünleri sızıntıları (özellikle petrol istasyonlarının yere gömülü tanklarından meydana gelen sızıntılar), su taşıyan bir kısım formasyonların tas ocağı olarak kullanılması, yer altı suyu havzalarında kentleşme ve sanayileşmenin genişlemesi, yer altı suyu bulduran havzalarda sondaj tekniğine uygun olmayan oldukça fazla kuyunun açılması ve işletilmesi ile koruma alanlarının belirlenmemiş olması, Denize yakın akiferlerde deniz suyunun girişi, sulama amacıyla bilinçsiz ve aşırı su çekimi, dere yataklarından inşaat malzemesi alınması sonucu oluşan akifer tahribatı gibi nedenler yer altı sularının kirlenmesini artırmakta ve yer altı sularından daha az faydalanılmasına neden olmaktadır. Yer altı sularının kirlenme nedenleri, kirlenici kaynakların çeşitliliğine ve tipine bağlı olarak değişmekle birlikte Türkiye'de yeraltı suyu kirlenme nedenleri, doğal ve yapay nedenler olmak üzere iki ana grupta toplanabilir (Akpınar, 2005).

Doğal Nedenler:

- Kötu kaliteli akarsu, göl, bataklık etkileri: Kirlenmiş akarsu veya göllerin yer altı suyunu beslemesi halinde kirlilik oluşmaktadır.
- Jeolojik formasyonlardan kirlenme: Ülkemizde geniş alanlarda yayılım gösteren tuzlu, jipsli, anhidritli, borlu ve turbalı formasyonlar içerdikleri yüksek miktardaki iyonlar ve bu formasyonlarda tekniğine uygun olmayan kuyuların açılması nedenleriyle yeraltı suyu ve yüzey sularında limitlerini asan önemli miktarlarda nitrit, amonyum, metan gazı, tuzluluk ve sülfat kirliliği görülmektedir.

- Jeotermal alan etkileri: Jeotermal suların yeraltı suları ile girişimleri sonucu, tarımsal kullanımı olumsuz etkileyen bor kirlenmesi ortaya çıkmaktadır.
- Deniz suyu girişimi olarak sıralanabilir.

Türkiye'yi çevreleyen bir çok kıyı ovasında yer altı suları ya tamamen tuzlanmış veya tuzlanmaya başlamıştır.

Yapay Nedenler:

Bölgelere göre farklılık göstermekle birlikte, genellikle evsel ve sanayi atıkları ve tarımsal ilaç ile gübre kullanımınıdır (Akpınar, 2005).

2.3 İçme Sularının Arıtılması

İçme Suyu Arıtımının Amacı: İçme sularının arıtılmasında amaç, suyun kullanma maksatlarına uygun olarak TS 266 değerlerine getirilmesidir. Tabiatta mevcut su kaynakları, bazı istisnalar dışında içme, kullanma ve sanayi su ihtiyaçları için doğrudan doğruya kullanılmaya müsait değillerdir. Bu yüzden suların bir arıtma işleminden geçirilmesi gerekmektedir (Eroğlu, 1995).

Tabiatta mevcut su kaynakları bazı istisnalar dışında içme ve kullanma ihtiyaçları için doğrudan doğruya kullanmaya müsait değildir. Bu yüzden suların arıtma işleminden geçirilmesi gerekir. Dere, göl, baraj kaynak gibi yüzeysel su kaynakları ve yer altı sularından elde edilen ham su, içme suyu arıtma tesislerinde özelliklerinin gerektiği arıtma işlemlerinden geçirilerek, sağlık şartlarına ve Gıda Maddeleri Tüzüğü içme ve kullanma suyu standartlarına uygun hale getirildikten sonra şebekeye verilmektedir.

Su arıtımında temel gaye, insan sağlığının korunması hususu olmakla birlikte günümüzde suyun istenmeyen özelliklerinden arınmış sağlıklı şebeke hattı ile abonelere ulaştırılması da aynı derecede önem kazanmıştır. İçme suyu arıtma tesislerinde 3 temel prensip vardır: Suyun fiziksel ve estetik kalitesinin sağlanması, bulunması muhtemel zehirli veya sağlığa zararlı maddelerin giderilmesi, sudaki hastalık yapan (virüslerin, bakterilerin vb.) mikroorganizmaların etkisiz hale getirilmesidir.

2.3.1 İçme Suyu Arıtma Yöntemleri

İçme suyu arıtılmasında en mühim problemlerden biri ham suyun evsafına ve arıtılmış suyun kullanılma maksatlarına göre en uygun arıtma akım şemasının seçilmesidir. Ham suyun özellikleri, kaynaktan kaynağa çok büyük değişiklikler gösterebilir. Bazı kaynakların suları çok iyi vasıfta olup, basit bir dezenfeksiyon ile içme suyu şebekesine verilebilir. Kötü evsftaki su kaynaklarından alınan sularda ise biriktirme, hızlı karıştırma, yumaklaştırma, filtrasyon ve dezenfeksiyon gibi pek çok arıtma kısımlarını gerektirmektedir. Bundan dolayı, su kaynağında çeşitli parametreler uygun zaman aralıkları ve sayıda ölçülerek, kabul edilen içme suyu standartları ile karşılaştırılmalı ve hangi parametrelerin iyileştirilmesi gerektiği tespit edilmelidir. Bunu takiben arıtma kısımlarına ve akım şemasına karar verilmelidir (Eroğlu, 1995).

Suyun fiziksel ve estetik kalitesinin sağlanması, bulunması muhtemel zehirli veya sağlığa zararlı maddelerin giderilmesi, sudaki hastalık yapan (virüslerin, bakterilerin vb.) mikroorganizmaların etkisiz hale getirilmesi amacıyla çeşitli temel işlemler yapılmaktadır. Gaz transferi ve havalandırma, ızgaradan geçirme, mikro eleklerden geçirme, biriktirme, çöktürme, yüzdürme, suyun pH'ını ayarlama, hızlı karıştırma ve yumaklaştırma, filtrasyon, dezenfeksiyon, kimyasal stabilizasyon, adsorpsiyon, iyon değiştirme, kimyasal çöktürme, kaynatma, ters ozmos ve yumuşatma işlemlerini bu temel işlemler arasında sayabiliriz. Sayılan bu temel işlemler ile ilgili çalışma şekilleri, giderdiği maddeler ve işletme bakım koşulları hakkında bilgi Tablo 2.3'de verilmiştir.

Tablo 2.3: İçme Suyu Arıtma Yöntemleri Karşılaştırması (Kocher ve ark, 2006)

Arıtma Yöntemi	Çalışma Şekli	Giderdiği Maddeler	İşletme ve Bakım Konuları
Aktif Karbon Filtrasyon	Su medya arasından geçerken, aktif karbon partikül yüzeylerine adsorplanarak yapışmaktadır. Aktif karbon filtreler etkili olarak klorür, solvent, pestisit ve organik bileşikleri vb. gidermektedir.	Pestisiler, bir çok koku yapıcı madde, bakteri, demir, kurşun, radon, bazı diğer ağır metaller, kloraminler, trihalomethaneler. Ayrıca filtrelerde <i>Cryptosporidium</i> ve <i>Giardia</i> giderimide mümkündür.	Sistem düzenli olarak izlenmeli ve gerektiği durumlarda karbon kartuşlarının değiştirilmesi gerekmektedir.
Ters Ozmos	Kirletici parametrelerin basınçlı bir şekilde membranların mikroskobik gözeneklerinden geçmesi sağlanarak arıtımı gerçekleştirilir. Su molekülleri membran gözeneklerinden geçerken, kirletici parametreler bu gözeneklerden geçemezler.	Belirli tatları, bazı pestisitleri, klorür, florür, nitrat, kurşun, bakır ve diğer ağır metaller, arsenik, <i>Cryptosporidium</i> , virüsler.	Ters ozmos işleminden önce aktif karbon filtre veya sediment filtre ile ön arıtım yapılmalıdır. Ters ozmos membranlar düzenli kontrol edilmeli ve ürün suyu dezenfekte edilmelidir. Ters ozmos ünitelerinden büyük miktarda atıksu oluşmaktadır.
İyon Değişimi Su Yumuşatma	Su yumuşatma reçine yatakları arasından geçmektedir. Sudaki kalsiyum ve magnezyum, reçinedeki sodyum veya potasyum ile yer değiştirerek suyun sertliğinin giderilmesi sağlanmaktadır.	Sert su (kalsiyum ve magnezyum), çözülmüş demir, manganez ve uygun bir şekilde işletilirse kadmiyum, bakır ve çinko giderilebilir.	Reçine kapasitesi bittiği zaman yeniden rejenerasyon yapılmalıdır. Yumuşatıcı tipine bağlı olarak rejenerasyon kontrolü yapılmalıdır. Yumuşatma esnasında suda sodyum iyonu artışı olduğundan insanlara zarar vermemesi konusunda takibi yapılmalıdır.

Tablo 2.3: Tablo 2.3 Devamı

Arıtma Yöntemi	Çalışma Şekli	Giderdiği Maddeler	İşletme ve Bakım Konuları
Sediment Filtrasyonu	Su, filtre kağıdı ve sıkıştırılmış cam yünü gibi malzemelerde kaplı, içi kum filtresinden geçirilir. Bu geçiş sırasında askıda katı maddeler, kum, toprak ve diğer partiküllerin filtreden geçişine engel olunur.	Tortu, bulanıklık, kireç soda'dan önce gelirse asidik su, sürekli klorlama, ozonlama veya havalandırmadan önce olursa demir ve manganez giderimi.	Filtre tipine bağlı olarak, kartuşlar kirlendiği zaman yenilenmeli yada geri yıkama yapılarak temizlenmelidir.
Distilasyon	Buhar yaratacak kadar su ısıtılır. Arıtılmış su tekrar sıvılaştırılarak suyun arıtımı gerçekleştirilmiş olur. Kirleticiler ise ısıtma çemberinin içinde kalmakta veya kaynatılarak atmosfere verilmektedir.	Tortu, yüksek tuz içeriği, yüksek toplam çözünmüş katı maddeler, florür, nitrat, kurşun, bakır ve diğer ağır metaller, arsenik bakteri, eğer gaz menfezi ile donatılırsa pestisit giderimi	Distilasyon için enerji fiyatları kayda değer derecede yüksektir. Çökeltinin periyodik olarak temizlenmesi gerekmektedir. Kaynama noktasının altında bazı pestisit ve solventler arıtılacağı yerde, su ile birlikte buharlaşabilir ve distile suya karışabilmektedirler. Bazı üniteler bu bileşikleri atmosferde gidermek için gaz menfezine sahiptir. Distile edilmiş su gazsız içecek veya bebek maması tadında olabilir.

Tablo 2.3: Tablo 2.3 Devamı

Arıtma Yöntemi	Çalışma Şekli	Giderdiği Maddeler	İşletme ve Bakım Konuları
Havalandırma	Havalandırıcılar yardımı ile oksijenin suyun içine geçmesi sağlanır. Demir ve manganez gibi bileşiklerin oksitlenmesi sağlanır. Daha sonra bu bileşiklerin filtrelerde tutularak sudan ayrılması sağlanır.	Kum filtresini takiben olursa demir ve manganez giderimi, hidrojen sülfür gazı, metan gazı ve radon giderimi	Filtrelerin düzenli olarak yıkanması için havalandırma gereklidir. Havalandırmanın bakteri giderimi için kullanılması tavsiye edilmemektedir.
Ultrafiltrasyon, Mikrofiltrasyon, Nanofiltrasyon	Su, filtre malzemesi arasından geçirilir ve askıdaki partiküller filtre tarafından alı konulur. Partiküller filtre gözeneklerine bağlı olarak tutulur.	<i>Cryptosporidium</i> , <i>Giardia</i> , virüs	Filtre tipine bağlı olarak, membranlarda kirlilik meydana geldiği zaman, membranların yenilenmesi veya geri yıkamasının yapılması
Klorlama	Sudaki demir ve manganezi giderdiği gibi, bakteri ve diğer mikrobiyal bileşikleri gidermek için suya klor beslemesi yapılır.	Kum filtresini takiben çözülmüş demir ve manganez giderimi, çözülmüş hidrojen sülfür gazı, bakteri, <i>Giardia</i> , virüs	Klor, dezenfeksiyon için su ile yeterli temas süresine sahip olmalıdır. Bununla birlikte, klor dozu dikkatlice ayarlanmalıdır. Klor dozlaması pompa ile yapılıyorsa, pompanın kalibrasyonu yapılmalıdır. Klor toksiktir ve elle temasından kaçınılmalıdır. Fazla klor kanser riskini arttırabilmektedir. Klorlama ünitesinden sonra fazla klorun giderimi amacıyla aktif karbon ünitesi kurulması uygundur.

Tablo 2.3: Tablo 2.3 Devamı

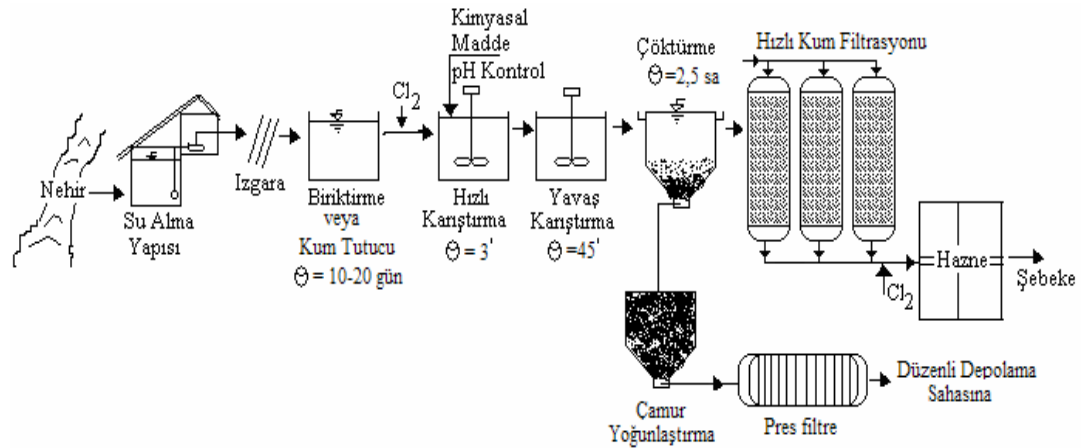
Arıtma Yöntemi	Çalışma Şekli	Giderdiği Maddeler	İşletme ve Bakım Konuları
Ultraviyole Radyasyonu (UV)	Su, sistemden geçerken özel üretilmiş UV lambaların yaydığı UV ışınları ile temas eder. Bu şekilde bakteri ve diğer mikrobiyal bileşiklerin giderimi yapılmış olur.	Bakteri, <i>Giardia</i> , virüs	Sistemde tortu oluşması ve alg büyümesi gibi problem oluşabilmektedir. Bu yüzden sistem düzenli olarak temizlenmelidir. Bulanıklık fazla ise, veya su bulanık ise UV ışınları organizmaları öldüremeyebilir. UV sistemine girmeden önce suyun bulanıklığının giderilmesi gerekmektedir.
Ozonlama	Suya girişte özel üretilmiş saf oksijenden üretilmiş ozon gazı verilir ve karıştırılır. Ozonlama ile bakteri ve diğer mikrobiyal patojenlerin yok edilmesi ve demir ve manganezin oksitlenmesi sağlanır.	Bakteri, <i>Cryptosporidium</i> , <i>Giardia</i> , virüs, kum filtresi ile kombine olarak çözülmüş demir ve manganez,	Arıtılmış sudaki ozon miktarı ve bakteriyel testler düzenli olarak kontrol edilmelidir. Ancak bu şekilde sistem verimli bir şekilde işletilebilir. Havanın neminin alınması gerekmektedir. Ozon toksik bir gazdır ve dikkatli olunması gerekmektedir. Ozonlama ekipmanları pahalı ekipmanlardır.

Yukarıda karşılaştırmaları verilen bu tüm arıtma yöntemleri, tek başlarına bir içme suyunu arıtma için yeterli değildir ve arıtmada limitlidir.. Bu sebeple bu arıtma sistemlerinin bir kaçından veya tümünden faydalanılarak meydana gelen ve birbirini tamamlayan sistemler kullanılması en uygun düşüncedir. İçme suyu arıtımında en çok kullanılan arıtma akım şemaları yüzeysel sular ve yer altı suları için ayrı ayrı verilmiştir.

2.3.1.1 Yüzeysel Sular için Arıtma Yöntemleri

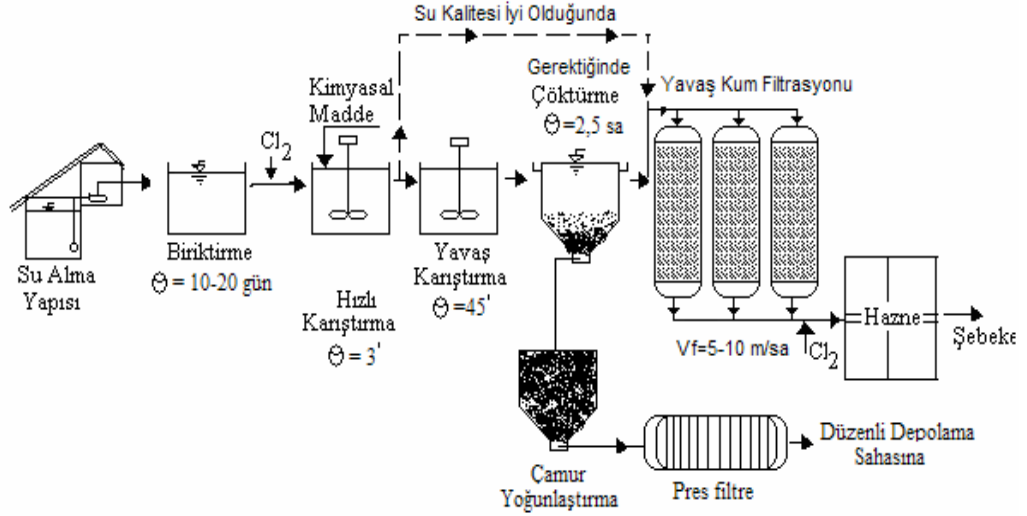
Yüzeysel sular için arıtma sistemi, su kalitesi ve kalitedeki oynamalar ile değişmektedir. Aşağıda değişik kirlilik gruplarındaki suların arıtma akım şemaları ve açıklamaları verilmiştir.

1- Yüksek seviyede AKM içeren , bulanık ve mevsimlere göre kil içeriği ve rengi değişen nehir sularından TS 266 değerinde içme suyu elde etmek için önerilen akım şeması Şekil 2.1’de verilmiştir (Kestioğlu, 2007).



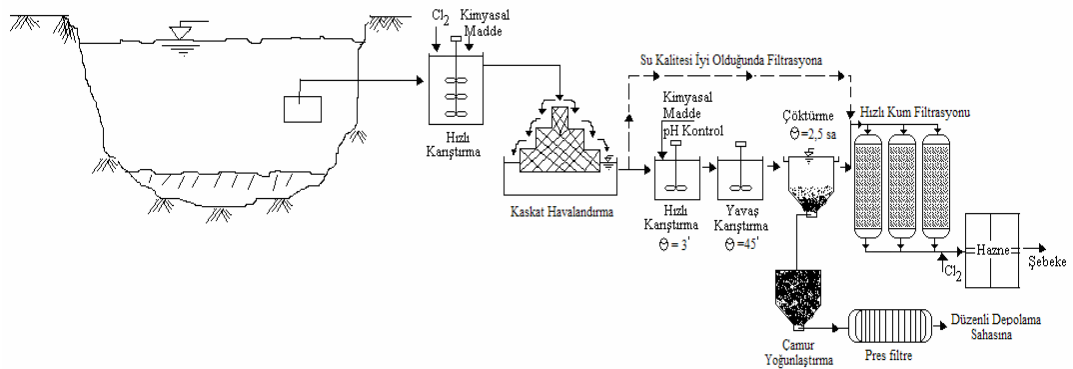
Şekil 2.1: Nehir Ortamında Alınan Ham İçme Suyundan TS266 Değerinde İçme Suyu Elde Etmek İçin Uygulanan İçme Suyu Arıtma Tesisi Akım Şeması (Kestioğlu, 2007)

2- Katı madde içeriği az, rengi fazla olan kaynaklardan içme suyu elde etmek için önerilen akım şeması Şekil 2.2’de verilmiştir (Kestioğlu, 2007).

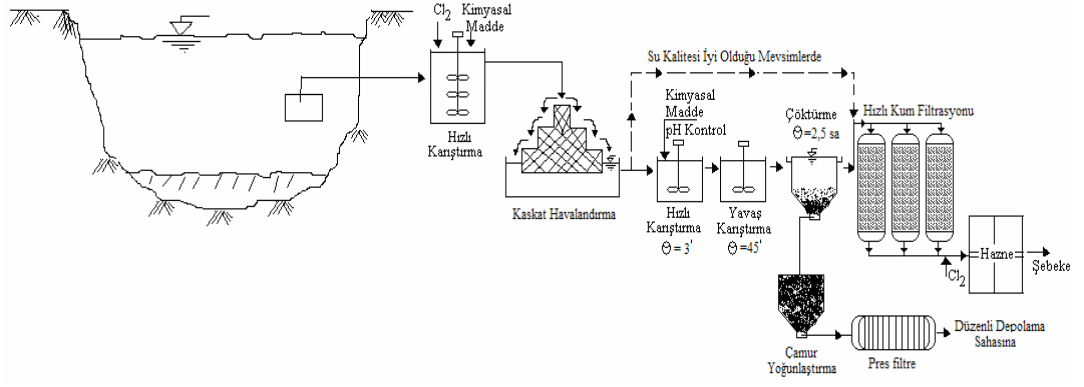


Şekil 2.2: Katı Madde içeriği Az, Rengi Fazla Olan Kaynaklardan İçme Suyu Elde Etmek İçin Önerilen İçme Suyu Arıtma Tesisi Akım Şeması (Kestioğlu, 2007)

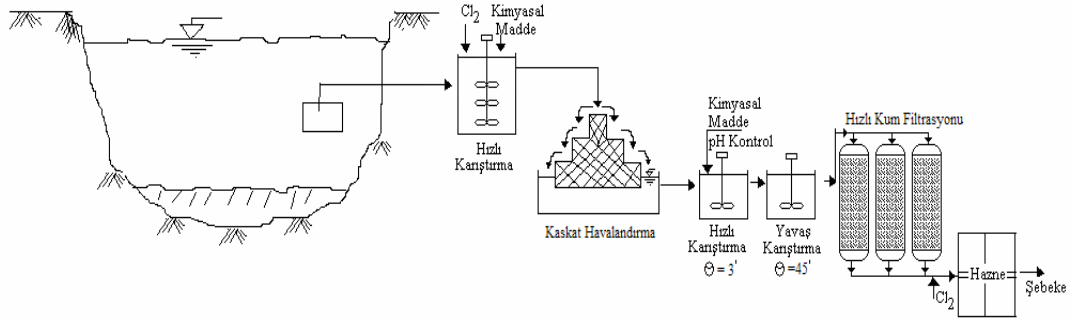
3- Barajlardan içme suyu elde edilirken uygulanan akım şeması Şekil 2.3’de, ötrofik göllerden içme suyu elde edilirken uygulanan akım şeması Şekil 2.4’de ve su kalitesi iyi olan göllerden içme suyu elde edilirken uygulanan akım şeması ise Şekil 2.5’de verilmiştir.



Şekil 2.3: Barajlardan İçme Suyu Elde Etmek İçin Önerilen İçme Suyu Arıtma Tesisi Akım Şeması (Kestioğlu, 2007)



Şekil 2.4: Ötrofik Göllerden İçme Suyu Elde Etmek İçin Önerilen İçme Suyu Arıtma Tesisi Akım Şeması (Kestioğlu, 2007)

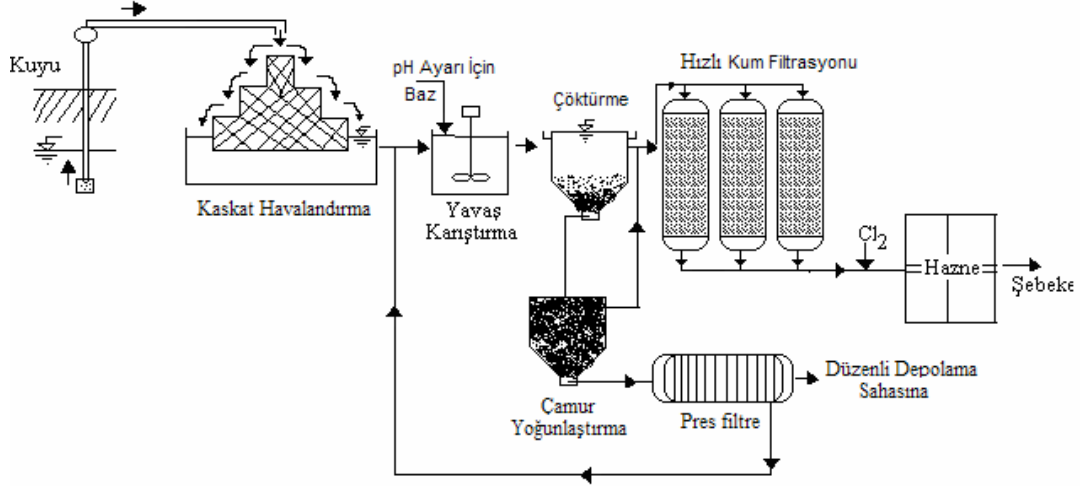


Şekil 2.5: Su Kalitesi İyi Olan Göllerden İçme Suyu Elde Etmek İçin Önerilen İçme Suyu Arıtma Tesisi Akım Şeması (Kestioğlu, 2007)

2.3.1.2 Yer Altı Suları için Arıtma Yöntemleri

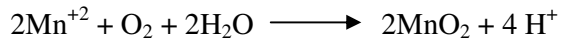
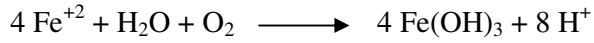
Yüzeysel sular için arıtma sistemi, su kalitesi ve kalitedeki oynamalar ile değişmektedir. Aşağıda yer altı sularının arıtımında en çok kullanılan yöntemler ve akım şemaları verilmiştir.

1- Yer altı sularından Demir(Fe^{+2}) ve Mangan (Mn^{+2}) giderimine yönelik içme suyu arıtım akım şeması Şekil 2.6'da verilmiştir.

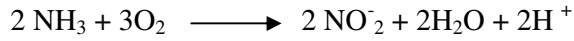


Şekil 2.6: Yer Altı Sularından Demir ve Mangan Giderimine Yönelik İçme Suyu Arıtım Akım Şeması (Kestioğlu, 2007)

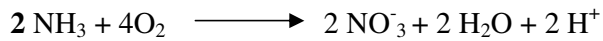
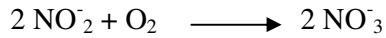
Havalandırma anında meydana gelen reaksiyonlar;



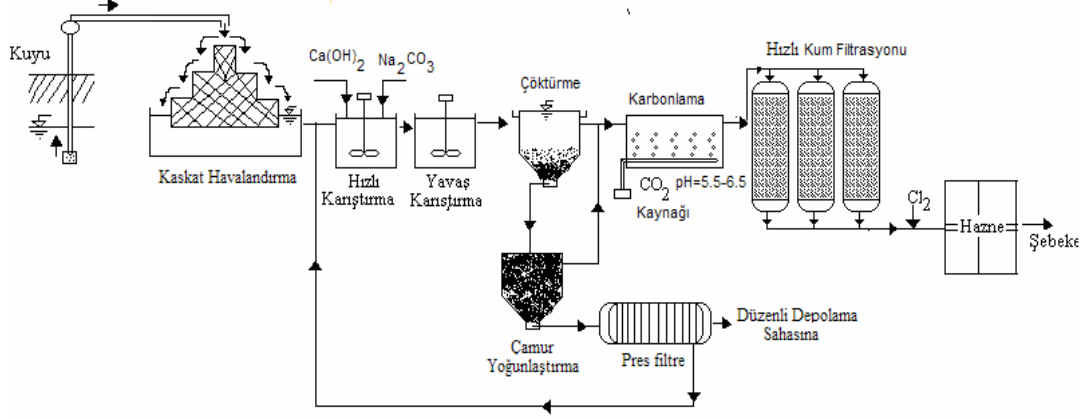
Nitrosomanas



Nitrobakter

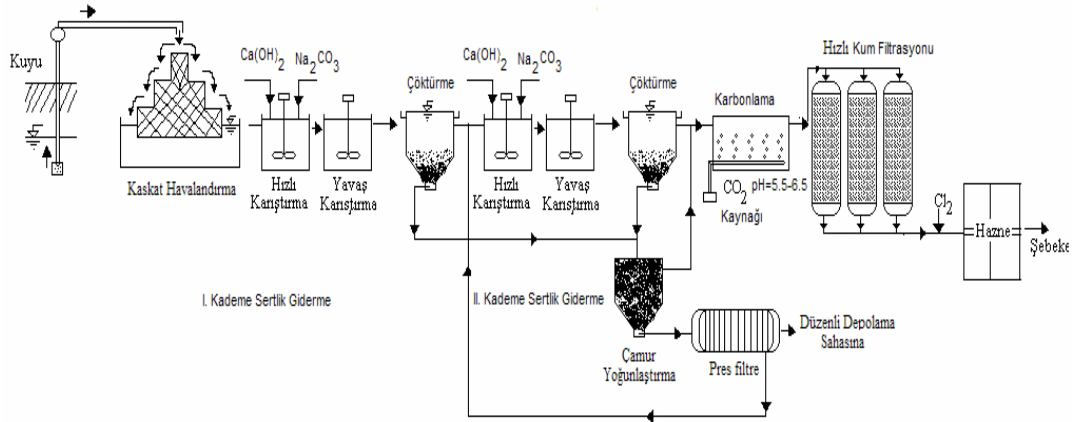


2- Sert yer altı sularından tek kademe sertlik giderme yöntemi ile içme suyu elde edilen akım şeması Şekil 2.7’de verilmiştir.



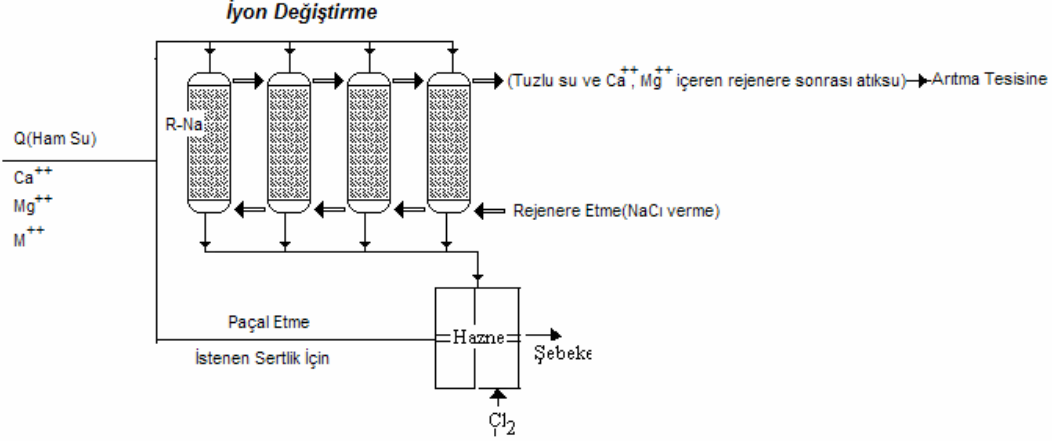
Şekil 2.7: Sert Yer Altı Sularından Tek Kademe Sertlik Giderme Yöntemi ile İçme Suyu Elde Edilen Akım Şeması (Kestioğlu, 2007)

3- Çok sert yeraltı sularından çift kademe sertlik giderme yöntemi ile içme suyu elde etme için önerilen arıtma akım şeması Şekil 2.8’de verilmiştir.



Şekil 2.8: Çok Sert Yeraltı Sularından Çift Kademe Sertlik Giderme Yöntemi ile İçme Suyu Elde Etme İçin Önerilen Arıtma Akım Şeması (Kestioğlu, 2007)

4- İyon değiştirme yöntemi ile sertlik gidermede kullanılan akım şeması Şekil 2.9’da verilmiştir.

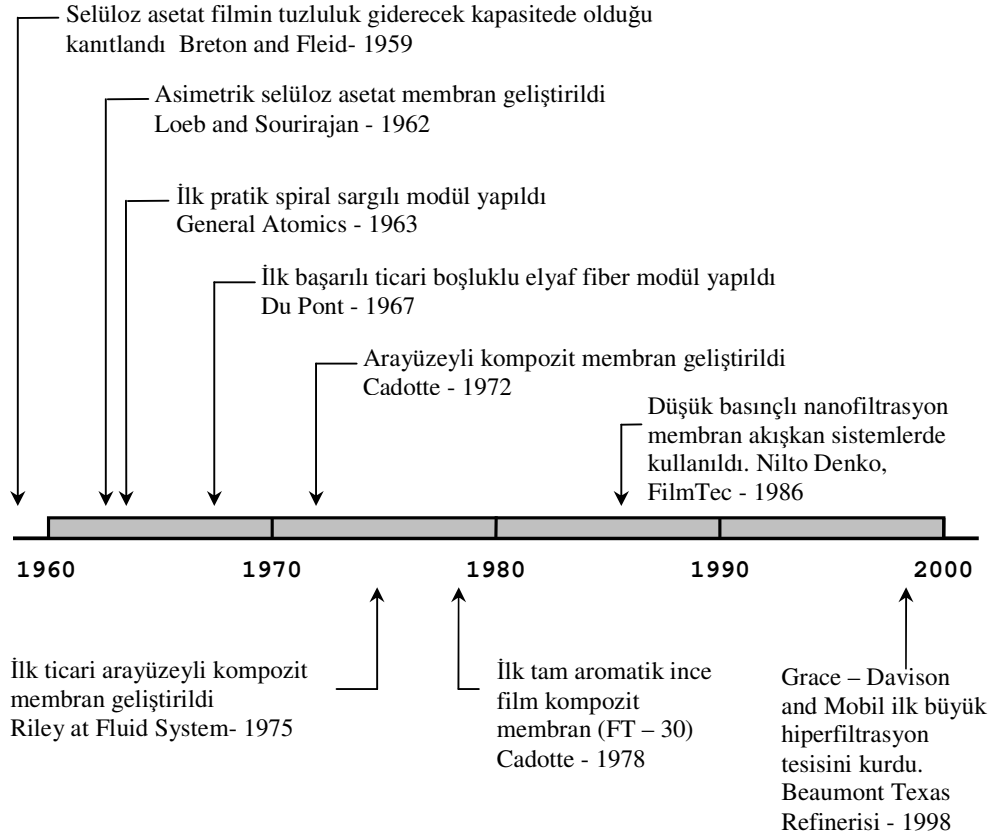


Şekil 2.9: İyon Değiştirme Yöntemi İle Sertlik Gidermede Kullanılan Akım şeması (Kestioğlu, 2007)

2.4 İçme Suyu Arıtımında Kullanılan Membran Filtrasyonu Yöntemleri

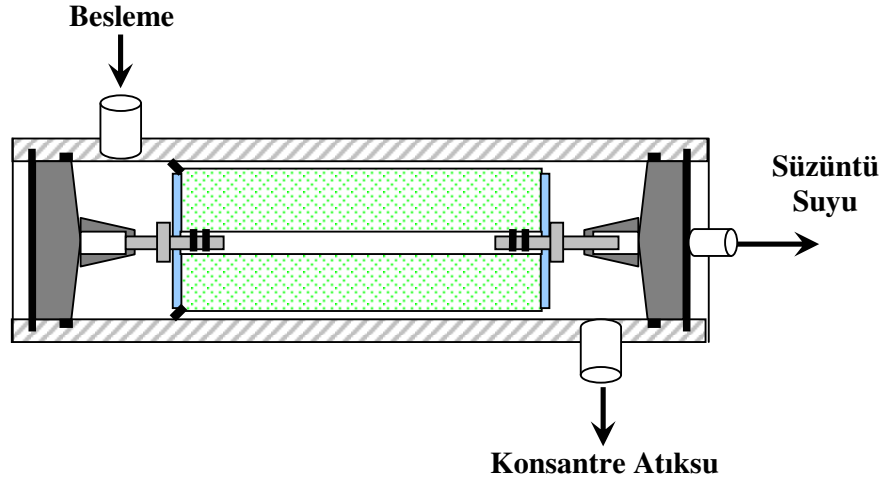
“Su arıtımında filtrasyon tekniği değişik metotlar kullanılarak yapılır. Hızlı kum filtrasyonu, yavaş kum filtrasyonu, basınçlı kum filtrasyonu gibi filtrasyon sistemleri geleneksel sistemlerdir ve genel olarak sudaki AKM giderimi için kullanılmaktadırlar. Kum filtrelerinin gözenek çaplarının 60 µm olmasından dolayı koloidal büyüklükteki tanecikler (0.001 – 0.1 µm), bakteriler (0,1 – 1 µm) ve küçük demir ve alüminyum yumaklar (20 – 30 µm) bu gözeneklerde tutulamazlar” (Kestioğlu ve Şen, 2003).

Membran ayırma prosesleri oldukça yeni arıtım metotlarındandır. 25 yıl öncesine kadar membran filtrasyonunun teknik açıdan kullanılabileceği düşünülmemekte idi. Bugün ise membran filtrasyon sisteminin çok geniş uygulama alanları vardır ve hala da sistem gelişerek büyümektedir (Mulder, 2003). Şekil 2.10’da membran filtrasyon sisteminin tarihsel gelişimi üzerine bilgi verilmiştir.



Şekil 2.10: Membran Filtrasyon Sistemi Tarihsel Gelişimi (Baker, 2004)

Membran filtrasyon sistemi ise yüksek basınçta yarı geçirgen membranlar arasından suyun geçirilmesi ile istenmeyen maddelerin filtre edilmesi işlemidir. Membran sistemleri, su kalitesini iyileştirmek amacı ile uygulanmaktadır. Bu tip teknolojiler membran bariyer sistemini kullanılırlar ve aralarından suyun geçişine izin verirler, kirleticilerin geçişine ise izin vermezler (Mulder, 2003). Membrandan geçen akım iki kısma ayrılır. Bunlar, membrandan geçen ve membrandan geçmeyen akımdır. Membrandan geçen akım süzüntü, geçmeyen akım ise konsantre akım olarak adlandırılır. Buların şematik gösterimi Şekil 2.11'de gösterilmiştir (Mulder, 1991).



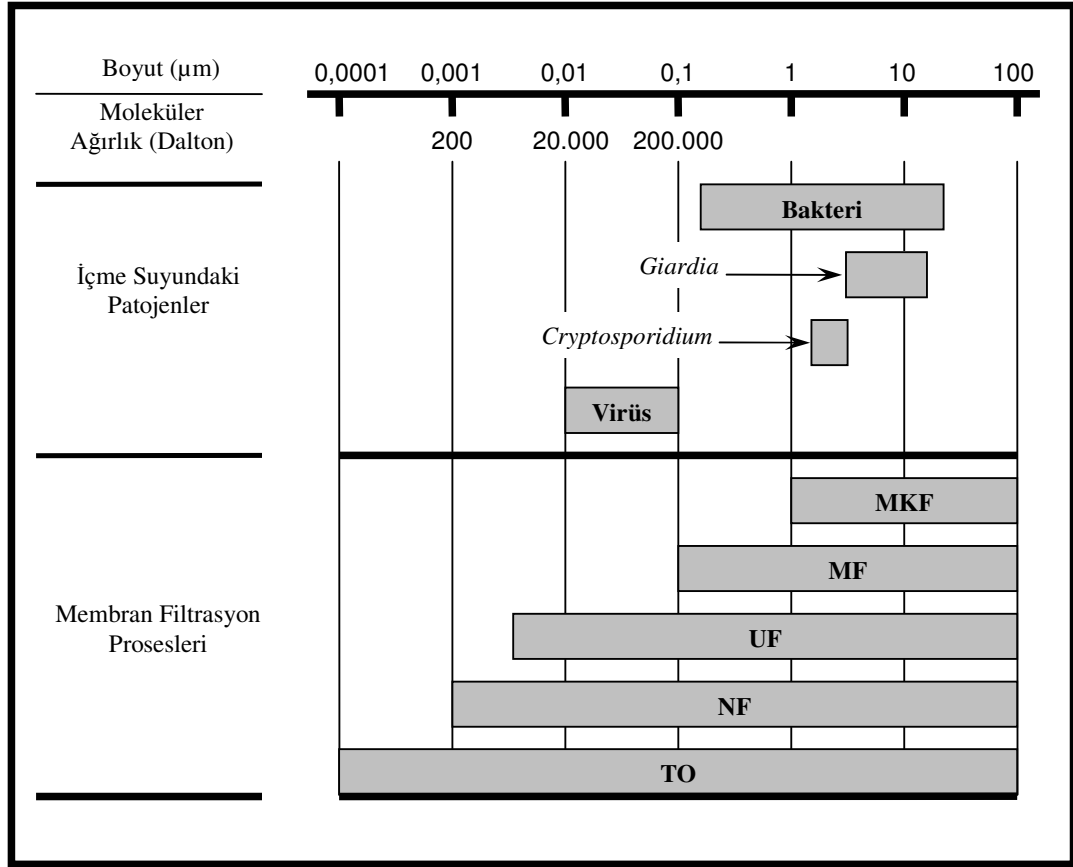
Şekil 2.11: Membran Proseslerde Giriş ve Çıkış Akımları (Mulder, 1991)

Su arıtımında membran filtrasyonundan oluşan birkaç çeşit arıtma prosesi bulunmaktadır. Membran prosesleri arasında mikrofiltrasyon, ultrafiltrasyon, nanofiltrasyon, ters ozmos, membran kartuş filtrasyonu, elektrodializ, membran elektroliz, difüzyon dializ vb. sistemler bulunmaktadır. Bu sistemler arasında en çok kullanılanları mikrofiltrasyon, ultrafiltrasyon, nanofiltrasyon ve ters ozmos membran sistemleridir (Mulder, 2003, Allgeier, 2003).

Bir membran filtrasyon prosesi iki temel kriter ile tanımlanabilir.

- 1- Filtrasyon sistemi lifsiz, bariyerli ve en az 1 mikron'dan (μm) büyük partikülleri giderecek şekilde, basınç yada vakum sistemli olmalıdır.
- 2- Proses, hedef alınan organizmaları ve kirleticileri verimli bir şekilde giderebilme yeteneğine sahip olmalıdır (Allgeier, 2003).

Membran filtrasyon sistemler Şekil 2.12'de boyutları gösterilen ve içme sularında bulunması istenilmeyen patojenleri (Şekil 2.13) giderme yeteneğine sahip olmalıdır. Şekil 2.12 virüslerin, bakterilerin, *Cryptosporidium* ve *Giardia*'nın hangi membran filtrasyon sistemi ile giderilebileceğini göstermektedir. Anlaşılan gerçek şudur ki nanofiltrasyon ve ters ozmos membran sistemleri ve bazı ultrafiltrasyon sistemleri, patojenleri, çözülmüş maddeleri ve büyük makro molekülleri gidermede çok etkilidir.

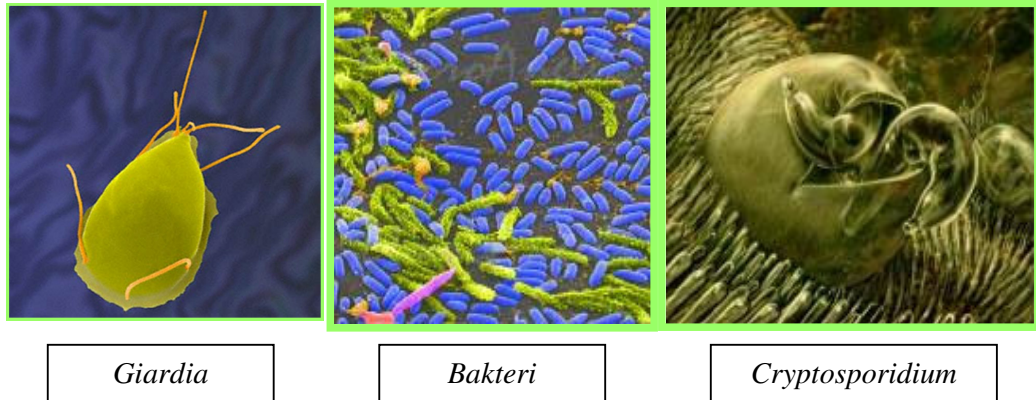


MKF: Membran Kartuş Filtrasyon
 UF : Ultrafiltrasyon

MF : Mikrofiltrasyon
 NF : Nanofiltrasyon

TO : Ters Ozmos

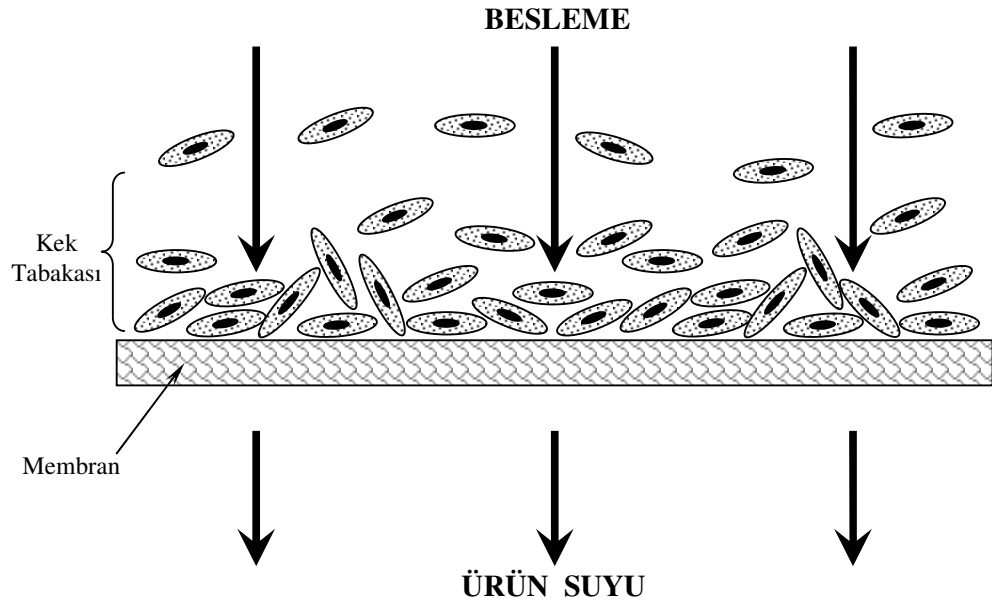
Şekil 2.12: Patojen Giderimi için Filtrasyon Uygulama Rehberi (Allgeier, 2003)



Şekil 2.13: İçme Sularında İstenmeyen Patojenler²⁾.

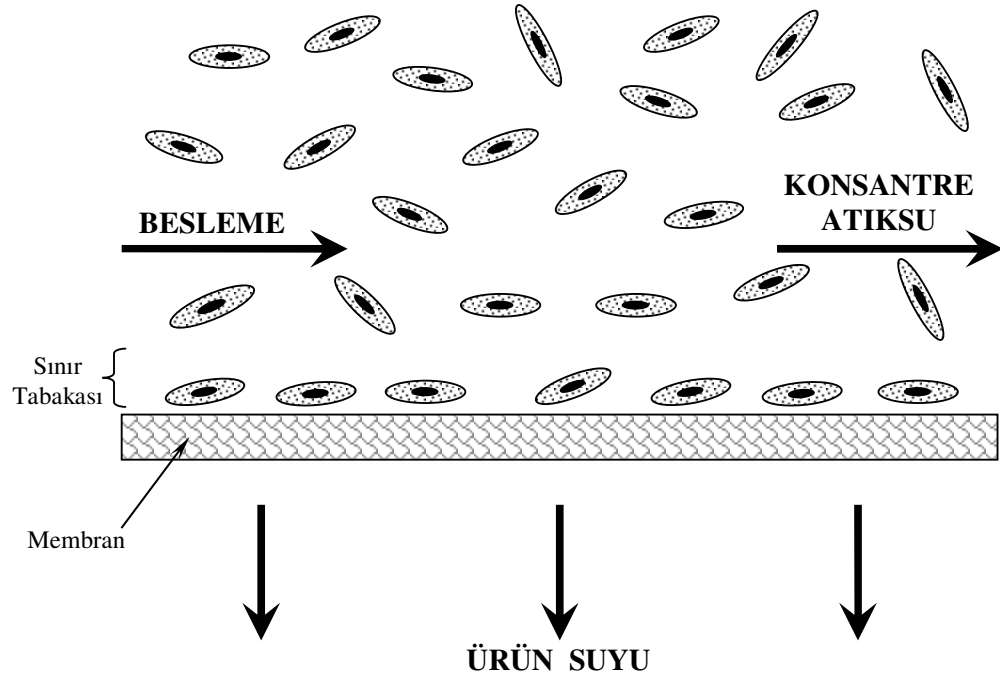
²⁾www.mnawwa.org/councils/research/Membrane%20Applications%20Presentation.ppt

Geleneksel filtrasyon sistemleri ve çoğu mikrofiltrasyon ve ultrafiltrasyon membran sistemleri ile nanofiltrasyon ve ters ozmos sistemlerinin su akışları arasında farklar bulunmaktadır. Mikrofiltrasyon ve ultrafiltrasyon membran arıtma sistemlerinde, besleme su akışı, membranlara dik olarak olmaktadır (Şekil 2.14). Sisteme giren besleme suyunun tamamı, kirlenici parametreleri membranın ön yüzeyinde bırakarak arıtılmış olarak membrandan geçer. Fakat membranın ön yüzeyinde zamanla kek tabakası oluşacak ve buda sistemin verimini olumsuz etkileyecektir. Özellikle çoğu mikrofiltrasyon ve ultrafiltrasyon membran sistemlerinde bu olumsuzluğu gidermek için, düzenli periyotlarda membranların geri yıkama işlemleri yapılmaktadır (Allgeier, 2003).



Şekil 2.14: Dikey Yönlü Membran Filtrasyonu Su Akış Şeması (Allgeier, 2003)

Membran filtrasyon sistemlerinin çoğunluğunda ve özellikle nanofiltrasyon ve ters ozmos membran sistemlerinde kullanılan su akışı ise yatay yönlüdür (Şekil 2.15). Bu sistemde besleme suyu membranlara paralel olarak basınçlı şekilde verilir. Ürün suyu yarı geçirgen membrandan geçerken, kirlenici parametreler membranın ön yüzeyinde kalır. Suyun membranlara paralel yönde hareket etmesinden dolayı membranların ön yüzeylerinde kek tabakası oluşmaz ve kirlenici parametreler sürüklenip giderler (Allgeier, 2003).



Şekil 2.15: Yatay Yönlü Membran Filtrasyonu Su Akış Şeması (Allgeier, 2003)

2.4.1 Mikrofiltrasyon ve Ultrafiltrasyon

Membran filtrasyon sistemi denilince ilk akla gelen ve en çok kullanılan sistemlerden ikisi mikrofiltrasyon ve ultrafiltrasyondur. Mikrofiltrasyon ve ultrafiltrasyon membran gözenek çaplarına göre ve askıda veya koloidal partikülleri giderme yeteneklerine göre karakterize edilirler. Bununla birlikte bütün membran filtrasyon sistemleri farklı gözenek çaplarına sahiptir ve bu, membran materyaline ve yapılışına göre değişmektedir (Allgeier, 2003).

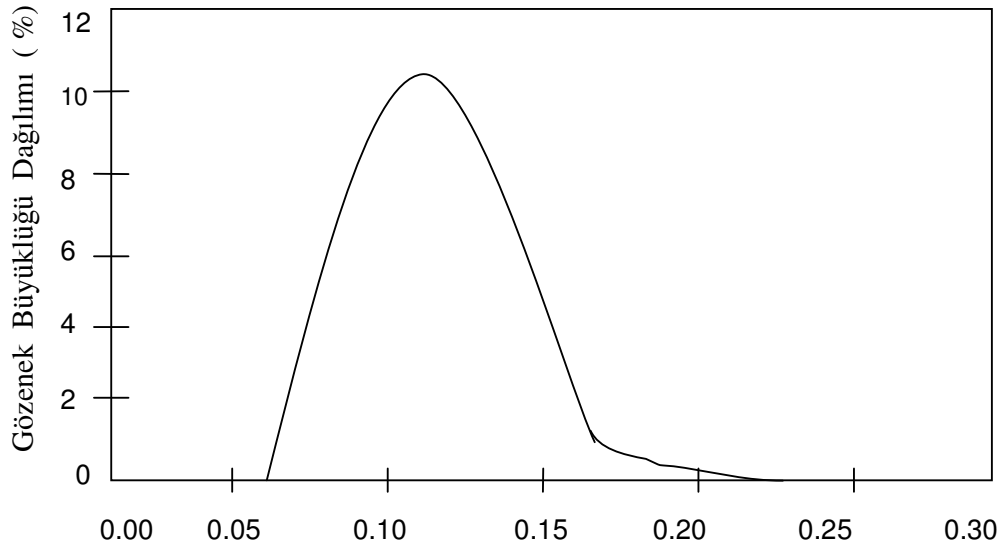
Mikrofiltrasyon genel bir ifadeyle $0.6 \mu\text{m}$ 'dan daha büyük partikülleri tutmak amacıyla kullanılır. Mikrofiltrasyon membranların gözenek çapları genellikle $0,1-0,2 \mu\text{m}$ (normal gözenek çapı $0,1 \mu\text{m}$) arasında olmakla beraber gözenek çaplarının $10 \mu\text{m}$ 'ye kadar olacak şekilde kullanılabilir. Mikrofiltrasyonda membranın besleme ve ürün suyu yanları arasındaki basınç farkı $0-2 \text{ bar}$ arasındadır (Anonim, 2003a).

Ultrafiltrasyon için gözenek çapları genellikle 0,01–0,05 μm (normal olarak 0,01 μm) arasında veya daha düşük seviyededir (Allgeier, 2003). Ultrafiltrasyonda membranın besleme ve ürün suyu yanları arasındaki basınç farkı 10 bara arasındadır (Anonim, 2003a).

Bazı ultrafiltrasyon membranları, büyük organik makromolekülleri alıkoyma yeteneğine sahiptirler (Allgeier, 2003).

Bir partikülün membranda tutulup tutulmaması, işletme şartları yanında herşeyden önce partikülün büyüklüğü ve yapısı ile membran porlarının büyüklüğü ve yapısına bağlıdır.

Mikrofiltrasyon membranları “Nominal Por Çapı” ile karakterize edilirler. Nominal Por Çapı, por büyüklüğü dağılımında en çok sayıda bulunan por büyüklüğüdür. Şekil 2.16’da 0.1 μm nominal por çapına sahip, kullanımı yaygın bir mikrofiltrasyon membranının por dağılımı görülmektedir (Anonim, 2003a).



Şekil 2.16: Mikrofiltrasyon Membranlarında Gözenek Büyüklüğü Dağılımı (Anonim, 2003a)

Por büyüklüğünün uygunluğundan dolayı Mikrofiltrasyonda asimetric membranlara esas olarak ihtiyaç duyulmaz. Bu yüzden mikrofiltrasyon membranlarının büyük çoğunluğu simetric yapıdadır.

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

- 1) Yüksek Hızlar : Membran yüzeyinde geri dönüşsüz olarak birikme olduğunda, sıvı akış hızının artırılması süzüntü miktarını artırabilir. Fakat bu durumda proses için gerekli enerji miktarında artış görülür.
- 2) Ürün Suyu ile Ters Yıkama : Membran üzerinde birikme tabakası oluştuğunda süzüntü tarafında kısa süreli basınç yükseltilerek, süzüntü tarafından besleme yönüne doğru akış yönü değişikliği gerçekleştirilir. Bu işlem için membranın süzüntü tarafı da basınca dayanıklı olmalıdır (Anonim, 2003a).

2.4.2 Nanofiltrasyon

Nanofiltrasyon çözülmüş bileşikleri gidermede, yumuşatma amacıyla ve en çok kullanılan yöntemler arasında bulunmaktadır (Allgeier, 2003). Nanofiltrasyon ortalama 1 nanometre (10 Angstrom) ölçüsünde olan partiküllerin arıtılması için özel dizayn edilmiş yarı geçirgen membrandan oluşmuştur. Nanofiltrasyon membranların süzme kapasiteleri, ihtiyaç duyduğu basınç v.b. özellikler açısından ultrafiltrasyon ve ters ozmos proseslerin arasında yer alır. Moleküler ağırlığı 200–400'den büyük organik moleküller nanofiltrasyon sisteminde membranlar arasından geçemezler (Öztürk, 2005).

Nanofiltrasyon, özellikle sulu çözeltilerdeki organik maddelerin giderilmesi amacıyla kullanılır. Ters ozmosda 150 D (kg/kmol) değerinden daha büyük molekül ağırlıklı organik maddeler tutulabilir. Bu ayırma sınırı (MWCO) nanofiltrasyon membranları için 200 D (kg/kmol) değerinin üstündedir.

Nanofiltrasyon kavramı, 200 kg/kmol molekül ağırlığı ve buna ait 1 nanometre (10 angstrom) büyüklük ile ilgilidir.

Nanofiltrasyon membranlarının önemli ve farklı bir özellikleri iyon seçici olmalarıdır. Bir değerlikli iyonlar membrandan büyük oranda geçerler. Fakat sülfat ve karbonat gibi iki değerlikli iyonlar önemli oranda tutulurlar. Bir tuzun nanofiltrasyon membranından geçebilirliği önemli oranda anyonun değerliğine bağlılık gösterir.

Son zamanlarda yapılan araştırmalara göre nanofiltrasyon membranlarında tutulma aşağıdaki sıraya göre artmaktadır:

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

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

Buna göre örnek olarak bakır, kalsiyuma göre daha çok, kalsiyum da sodyuma göre daha çok tutulmaktadırlar.

Nanofiltrasyon membranlarının bu seçimliliği, membrandaki negatif yük gruplarından kaynaklanmaktadır. Bunlar elektrostatik etkileşimlerle çok değerlikli anyonların membrandan geçişini engellemektedirler. Buradaki yk gruplarına örnek olarak $-COOH$ veya $-SO_3H$ verilebilir.

Membran retiminde bu yük grupları aşağıdaki yollarla oluşturulur:

- 1) Membran polimeri kimyasal işlemlere sokularak
- 2) Yüklü bir polimer ilave edilerek
- 3) Yüklü bir monomer polimerize edilerek

Nanofiltrasyon Membranlarının Kullanım Alanları :

Nanofiltrasyon membranlarının özellikleri, aşağıdaki tipik kullanım alanlarını oluşturmaktadır:

- 1) Bir değerlikli iyonlar geçerken çok değerlikli anyonların tutulması :
 - Proses ve içme sularının yumuşatılması.
 - İyon değerştirici veya ters ozmos tesisleri için ön arıtma olarak.
- 2) Bir değerlikli tuzlar geçerken organik bileşiklerin tutulması :
 - İçme suyu arıtımı
 - Tekstil ve kağıt endüstrisi atıksularının renk giderimi
 - Peyniraltı suyundan laktoz ve proteinlerin tutulması
 - Tensid içeren atıksulardaki tuzların giderimi

3) Sulu çözeltilerdeki düşük ve yüksek moleküllü maddelerin birbirinden ayrılması :

- Şarabın alkolünün giderimi
- Biyolojik arıtma basamağından önce, atıksudaki zor parçalanmış maddelerin ayrılması

Nanofiltrasyon Membranlarının Ayırma Mekanizmaları

Organik bileşiklerin elektrikçe nötral sulu çözeltileri sözkonusu olduğunda nanofiltrasyon membranlarındaki akı ve seçicilik, RO (Ters Ozmoz) membranları için geliştirilmiş olan “Çözünme-Difüzyon Modeli” ile açıklanabilir ve bu modelden çıkarılan eşitliklere uyar.

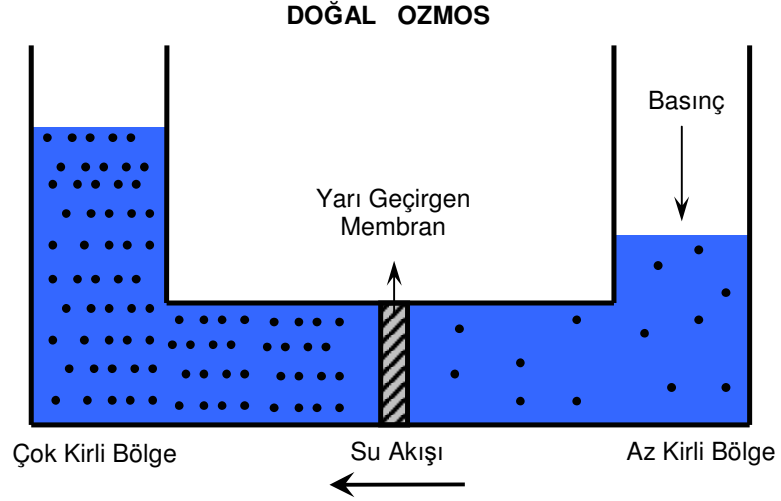
Fakat iyonik çözeltiler için NF membranları kullanıldığında durum değişir. Ters Ozmoz’dan farklı olarak burada NF membranlarındaki negatif yüklerden kaynaklanan elektriksel etkiler ortaya çıkar. Özellikle bir ve iki değerlikli anyonların tutulma oranları büyük farklılıklar gösterir.

Bu nedenlerle NF membranlarının, iyonik çözeltiler için modellenmesi ters ozmoz membranlarına göre çok daha karmaşıktır. “Çözünme-Difüzyon Modeli” bu etkileri modelleyemez. Burada “Mikroporlu Membran Modeli,, daha başarılıdır (Porlu UF-Membran Modeli ile karıştırılmamalıdır). Ultrafiltrasyonda olduğu gibi nanofiltrasyonda da teknik boyuttaki uygulamalardan önce ön denemeler yapılması gerekir (Anonim, 2003a).

2.4.3 Ters Ozmos

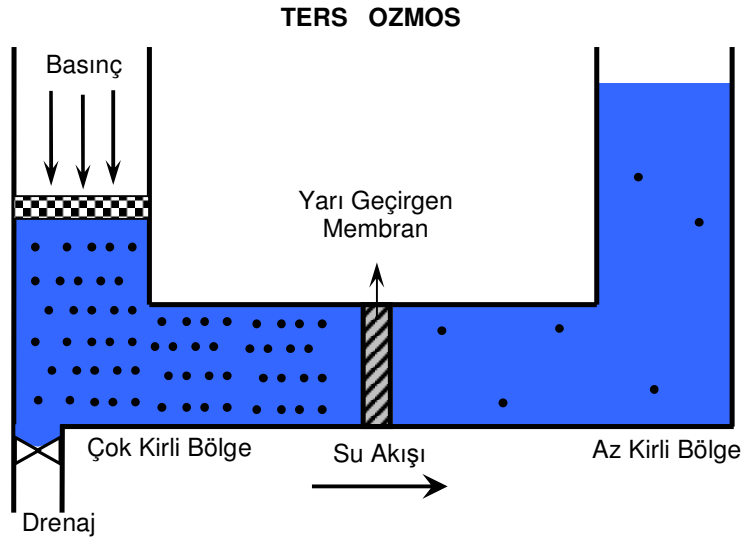
Su oda sıcaklığında (20-30 °C) doğadaki en küçük sıvı moleküllü maddelerden biridir. Ters ozmos sistemler özellikle suda çözünür halde bulunan sudan daha büyük moleküllü maddeleri reddeder. Ters ozmos sistemlerindeki yarı geçirgen membran suda çözünür halde bulunan safsızlıkları tutabilir. Ters ozmos işlemini tanımlamadan önce ozmos olayını anlamak gereklidir. Suda farklı miktarda çözülmüş maddeler içeren iki farklı konsantrasyondaki çözelti yarı geçirgen bir membranla ayrıldığı zaman ozmos olayı gerçekleşir. Bazı maddeler membran arasından geçerken bazıları reddedilir. Suda çözülmüş halde bulunan maddelerin ozmotik basıncı, seyreltik bölgeden konsantre

bölgeye suyu geçirerek suyun seyrelmesine neden olur (Şekil 2.17). Membranın iki tarafında çözeltilerin konsantrasyonu eşit olunca geçiş durur (Öztürk, 2005).



Şekil 2.17: Doğal Ozmos İşlemi (Öztürk, 2005)

Ters ozmos işleminde ise konsantre bölgeye basınç uygulanarak ozmos işlemi tersine çevrilir. Yeterli basınç altında su konsantre bölgeden seyreltik bölgeye yarı geçirgen membran arasından geçer (Şekil 2.18).



Şekil 2.18: Ters Ozmos Sistemi (Öztürk, 2005)

Ters ozmos sistemlerinde pompalama kapasitesi ve işletme basınçları için gerekli enerji 2.4 ila 4.5 kWh/m³ ve besleme suyu akış hızı 1.2-76.2 cm/sn arasında değişir. Plakalı membran sistemler yüksek, boşluklu elyaf fiber modeller düşük hızlarda çalışırlar. Membran yüzeyinde konsantrasyon polarizasyonunu minimize etmek için türbülans akım gereklidir.

Ters ozmos filtrasyon kapasitesi, membran özelliğine, besleme suyu sıcaklığına, işletme basıncına, bertaraf edilecek çözünmüş maddeye ve sistemin konfigürasyonuna bağlı olarak değişmektedir (Öztürk, 2005).

Ters ozmosun çözünmüş organikleri gidermedeki avantajı, diğer demineralizasyon tekniklerinden daha az seçici olmasıdır (Metcalf&Eddy, 1991).

Ters ozmos sistemlerinde, sisteme beslenen suyun konsantrasyonunun düşmesi halinde elde edilecek ürün suyu kalitesi de daha iyi olacaktır. Başka bir deyişle, sistem ne kadar az bir verimle işletilirse, o kadar iyi kaliteli ürün suyu temin edilir. Bazı uygulamalarda, daha kaliteli ürün suyunun ekonomik değeri atılan suyun maliyetine oranla daha düşük kalabilir. Bu durumda daha yüksek verimle biraz daha kötü kalitede su üretmek tercih edilebilir. Bunun bir örneği RO ürün suyunun bir sonraki aşamada deiyonize edildiği uygulamalardır (Anonim, 2006d).

Bir RO sisteminden çıkan ürün suyu hattı mutlaka atmosferik basınca sahip olup ürün suyu genellikle serbest yüzeyli bir rezerv tankında depolanır. Genellikle ürün suyu hattındaki akış kontrolü vana yardımıyla yapılamaz (vana öncesine bir basınç emniyet vanası monte edilmesi durumu hariç). Bu durum şu şekilde açıklanabilir; suyun membrandan geçmesini sağlayan güç sistemdeki yüksek basınçtır ve membranın her iki tarafında basıncın eşit olması durumunda sistemde bir su akışı olamaz. Eğer herhangi bir nedenle sistem çalışırken ürün suyu hattı kapanırsa, membranın ürün tarafındaki basınç pompa basıncına eşit olana dek yükselecektir. Ürün suyu hattı borulamasının yüksek basınca dayanabileceği varsayılsa bile, bu durumda membrandan herhangi bir su geçişi olmayacaktır. Gerçekte, ürün suyu hattındaki plastik boru ve hortumlar zaten bu derecede yüksek basınca dayanıklı değildir (Anonim, 2006d).

Ters Ozmos Membran Sistemlerinde Oluşan Atıksu Yüzdesi

Su içerisinde bulunan kirlleticilerin ters ozmos sisteminde reddedilme yüzdesi elde edilen (arıtılan) suyun kalitesini tarif eder. Reddetme oranı, besleme suyunda bulunan çözünmüş maddelerin ürün suyundaki çözünmüş maddelerin konsantrasyonuna oranıdır.

Çözünmüş maddenin reddedilmesi:

- Kullanılan membranlara,
- Geri kazanmaya,
- İşletme şartlarına,
- Besleme suyu konsantrasyonuna,
- pH ve sıcaklığa,
- Çözünmüş maddelerin içindeki kimyasalların değerliklerine,
- Ve diğer faktörlere bağlı olarak değişmektedir.

Genel olarak daha yüksek oranda geri kazanma, beslenen sudan daha yüksek oranda ürün suyu elde etmek demektir.

Çoğu evlerde ve işyerlerindeki ters ozmos sistemlerinde beslenen suyun ancak % 20-30'u arıtılmış su olarak elde edilmektedir. Ters ozmos sistemlerini daha yüksek oranda çalıştırmak mümkündür. Bu durumda membran ömrünün kısılacığı unutulmamalıdır.

Reddetme akıntısında debi regülatörü, uygun şekilde ayarlanmalıdır. Besleme suyu debisi azsa geri kazanma oranı yüksektir. Eğer membranlar üzerinde oluşan kirlilikler (gözeneklerin tıkanması) giderilmemişse ters ozmos sistemi hızlı şekilde kirlenir. Besleme suyu debisi artırılırsa geri kazanma oranı düşer ve çok fazla miktarda reddedilen su kanalizasyona gider (Öztürk, 2005).

Ters ozmos üniteleri % 50-70 verim ile çalışırlar. Besleme suyunun ortalama % 60'ı ürün suyu, % 40'ı atıksu olarak oluşmaktadır (Udeh, 2004).

2.5 Ters Ozmos Sistemlerinde Kullanılan Yarı Geçirgen Membranlar

2.5.1 Ters Ozmos Sistemlerinde Kullanılan Membran Materyali

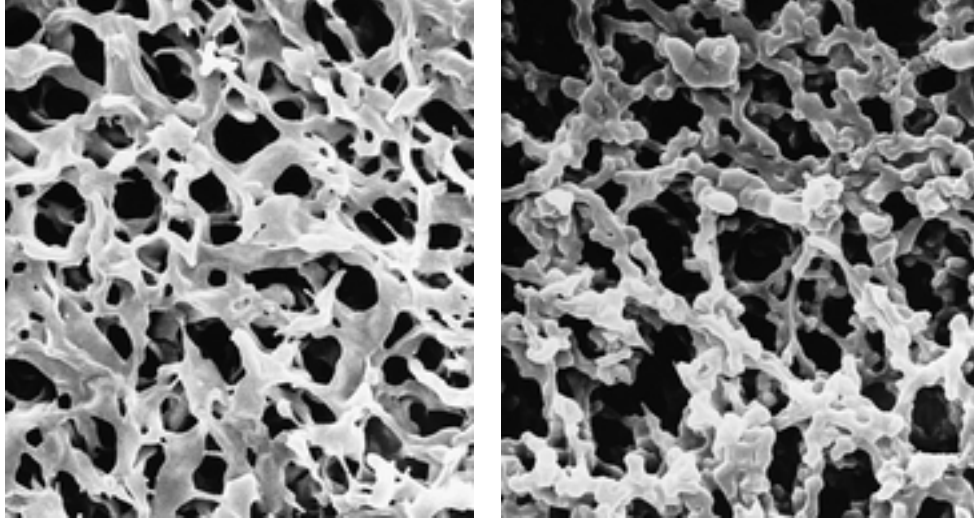
Besleme suyunun asiditesi, sertliği, pH'ı, sıcaklığı, çözünmüş toplam madde ve klor miktarı ters ozmos için membran seçimini etkiler (Öztürk, 2005).

Membran materyali seramik veya metalik membranlar içerisine sentetik polimer veya bunun diğer formlarının eklenmesi ile imal edilmiştir. Son zamanlarda içme suyu arıtımında kullanılan bütün membranlar, polimerik materyalden yapılmıştır. Bunun sebebi bu materyalin daha ucuz ve daha etkili olmasıdır (Allgeier, 2003).

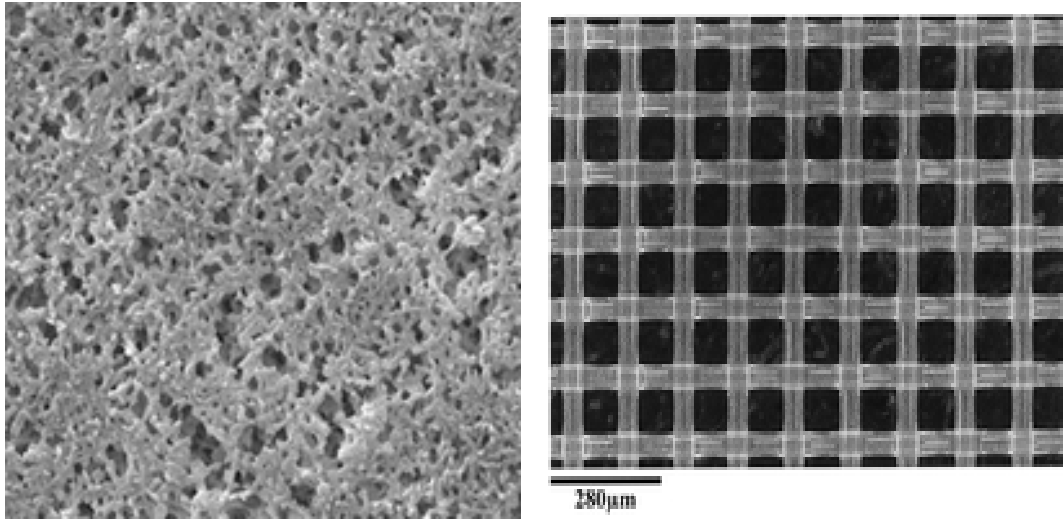
Membran materyal özellikleri, filtrasyon sistemi dizayn ve işletilmesinde kayda değer bir etki göstermektedir. Örnek olarak: polimerden yapılmış membranlar, içme suyu arıtımında sıkça kullanılan oksidantlara karşı tepki göstermektedir. Bu sebeple bu tarz materyalin kullanıldığı arıtma sistemlerinde klorlu besleme suyu kesinlikle kullanılmamalıdır (Allgeier, 2003).

Membran olarak selüloz asetat (CA), selüloz tri asetat (CDA), poliamid (PA), diğer aromatik poliamitler, poliüretanlar ve polieter amitler kullanılmaktadır. İnce film kompozit (TFC) membranlar bir çok farklı malzemelerden oluşan değişik polimerlerden elde edilir (Öztürk, 2005).

Membran sistemlerinde kullanılan selüloz asetat ve selüloz nitrat'tan oluşan membran malzemeleri Şekil 2.19'da ve naylon membran materyalinden oluşan membran malzemesi ise 2.20'de gösterilmiştir.



Şekil 2.19: Selülöz Asetat ve Selülöz Nitrat'tan Oluşan Membran Malzemeleri ³⁾



Şekil 2.20: Naylon Membran Materyalinden Oluşan Membran Malzemeleri ³⁾

3) http://www.millipore.com/catalogue.nsf/webvirtual?open&search_criteria=ftsearch=membranes

Selüloz asetat (CA) membranlar, daha fazla asetil grubu içerir. Daha fazla çözülmüş maddeyi reddeder. Daha düşük su değişimine sahiptir. CA membranlar daha ucuzdur. Besleme suyunda serbest klor konsantrasyonu 1 mg/L kadar olduğu zaman dahi kullanılabilir. Sürekli klorlama yapılan sistemlerde CA membranların kullanılması tavsiye edilir. CA membranlar, biyolojik hücumlara uğrayarak daha kısa sürede hidrolize uğrayabilir. CA membranlar hidrofilik özelliktedir. Dolayısıyla daha az kirlenme meylindedir. CA membranlar, çok düşük veya yüksek pH'larda hızlı bir şekilde selüloza ve asetik asite dönüşür. Hidroliz olayı besleme suyunun sıcaklığının artması veya optimum pH 6 ila 8 'nin altında veya üstünde hızlanır. Optimum pH aralığını muhafaza etmek için besleme suyunun pH, bu ünitelerde muhafaza edilmelidir. CA membranlar takriben 30 °C gibi düşük sıcaklıklı sularda kullanılabilir (Öztürk, 2005).

CA membranlar bakterilere karşı dayanıklı olmadığı halde CTA membranlar bakterilere karşı dayanıklıdır. CTA membranlar pH 4.5 ila 8 arasında kullanılır. CTA membranların kullanıldığı sularda klor önceden bertaraf edilmelidir. Bu tür işletmelerde klorü gidermek için ya aktif karbon veya sodyum meta bisülfid kullanılır. Mümkünse kimyasal madde ilavesinden kaçınılır. Çünkü ilave edilen kimyasal maddeler membranlar üzerinde bakteri büyümesine katkıda bulunur. Piyasada en fazla kullanılan membranlardan biridir (Öztürk, 2005).

İnce film kompozit (TFC) membranlar, klora veya diğer oksidantlara maruz kaldıklarında bozunurlar. TFC membranlar mikrobiyolojik etkiye karşı dayanıklıdır. Yüksek pH'larda (9'dan daha büyük değerlerde) kullanılabilir. Bu membranlar pH 4 ila 11 arasında ve 45 °C gibi yüksek sıcaklıklarda hidrolize uğramadan en iyi şekilde çalıştırılabilir. TFC membranlar pahalı oldukları halde çok kuvvetli ve kararlıdır. Yüksek miktarda çözülmüş maddeleri reddetme meylindedir (> %99). 1500- 2000 mg/lt. toplam çözülmüş katı madde içeren suları TFC membranlarla arıtmak mümkündür. TFC membranlar, klorlu sularda hızlı bir şekilde bozulur. Eğer ön filtrasyonla (aktif karbon gibi) klor giderilirse daha sağlıklı olarak kullanılır (Tablo 2.4). TFC membranlar suda çözülmüş katı maddeleri daha yüksek reddetme oranına sahiptir. Bir işletmede fazla miktarda arıtılmış suya ihtiyaç varsa TFC membranların kullanılması tavsiye edilir. TFC membranlar, genel olarak CTA membranlardan daha uzun ömürlüdür (Öztürk, 2005).

Tablo 2.4: pH 6,5’de Deklorlama için Sülfid Bileşimi Dozajı (Öztürk, 2005)

Bileşikler	Stokiyometrik Dozaj (ppm/ppm klor)
Sülfid (SO_3^{2-})	1,77
Bisülfid (HSO_3^-)	1,46
Sodyum metabisülfid ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$)	0,7

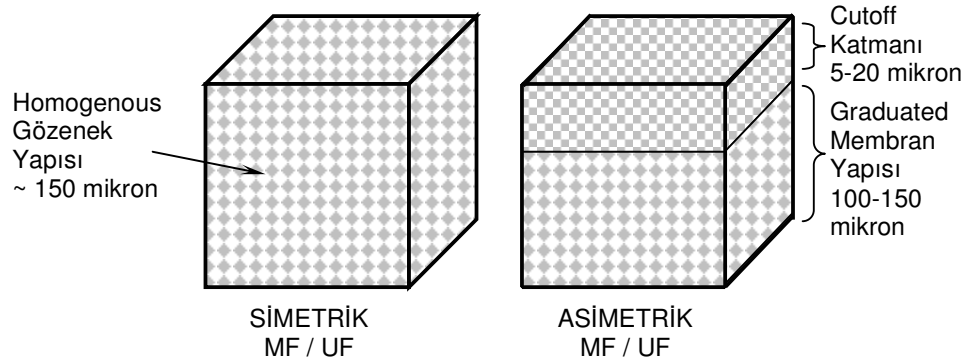
Sülfanatlı polisülfana (SPS)’den yapılmış membranlar, klorla karşı toleransı daha yüksek (CTA gibi) ve daha yüksek pH seviyelerinde (TFC’e benzer) kullanılabilir. Fakat CTA kadar düşük maliyetli ve TFC’nin performansı kadar yüksek değildir. Eğer besleme suyunun sertliği düşük, pH yüksek veya nitrat (NO_3^-) konsantrasyonu yüksekse ters ozmos sistemlerde SPS membranların kullanılması tavsiye edilir. Özellikle yüksek miktarda kaliteli su ihtiyacı olan gıda ve içecek sanayinde geniş olarak kullanılmaktadır. SPS membranlar yağ, gres, katı yağlar ve polar solventli sulara karşı toleranslı değildir (Öztürk, 2005).

Piyasalarda en fazla kullanılan membranlar CTA ve TFC’dir. CTA membranlar, sadece 5 µm sediment ön filtrasyonu kullanılmak şartı ile atıksu arıtımında kullanılabilir (Öztürk, 2005).

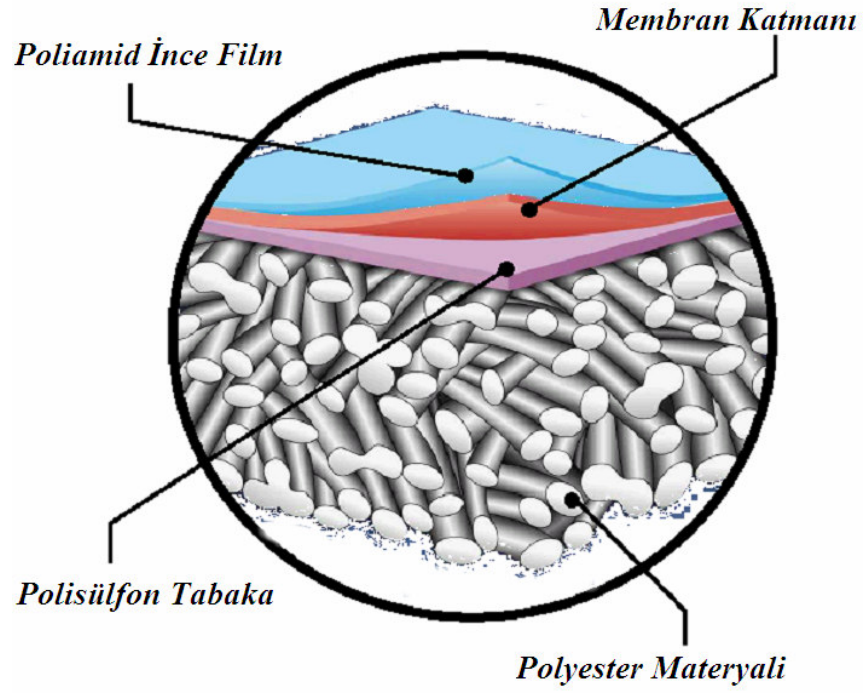
Mikrofiltrasyon ve ultrafiltrasyon membranlar, selüloz asetat, polyvinylidene fluoride, polyacrylonitrile, polypropylene, polysulfone, polyethersulfone veya diğer polimerlerden imal edilmişlerdir. Bu membran materyalleri arasındaki farklar yüzey alanları, suyu itme dereceleri, pH ve oksidant toleransı, güç ve esnekliklerinin farklı oluşudur. Nanofiltrasyon ve ters ozmos membranlar genellikle selüloz asetat, poliamid materyal veya bunların türevlerinden imal edilirler. Bu materyallerinde kendi aralarında avantaj ve dezavantajları vardır. Selülozik membranlar dar bir pH aralığında (4 -8) işletilmelidir ve yüksek seviyede oksidanta maruz bırakılmamalıdır. Genel olarak, örneğin: besleme suyundaki 0,5 mg/L klorür dozajı ile membranlara zarar vermeden biyolojik kirlenme önlenmiş olur. Poliamid membranlar, daha geniş pH aralığında işletilebilirler, fakat biodegradasyonla karşı maruz bırakılmamalıdır. Poliamid membranlar güçlü oksidantlara karşı çok az toleranslı, zayıf oksidantlara karşı ise toleranslı bir yapıya sahiptir. Poliamid membranlar, nanofiltrasyon ve ters ozmos uygulamasında daha düşük basınç uygulamaları ile işletilebilmektedir (Allgeier, 2003).

Membran üretiminde sıkça kullanılan üç tip yapı bulunmaktadır: simetrik, asimetrik ve kompozit. Genellikle mikrofiltrasyon ve ultrafiltrasyon membranlar için kullanılan membran kesit diyagramları ile farklı simetrisi Şekil 2.21’de gösterilmiştir (Allgeier, 2003). Nanofiltrasyon ve ters ozmos membran yapılarının ayrıntılı şeması Şekil 2.22’de verilmiştir. Simetrik membranlarda tek materyal (homogenous), kompozit membranlarda farklı materyaller (heterogeneous) kullanılmaktadır. Asimetrik membranlarda hem homogenous hem de heterogeneous yapı kullanılmaktadır (Allgeier, 2003).

Simetrik membranlarda kesit gözenek yapısı ve yoğunluğu üniform bir yapıya sahiptir. Asimetrik membranlarda membran materyali yoğunluğu kesit alanları arasında farklılık göstermektedir. Nanofiltrasyon ve ters ozmos membranlar tipik olarak asimetrik veya kompozit yapıya, mikrofiltrasyon, ultrafiltrasyon ve membran kartuş filtre simetrik veya asimetrik yapıya sahiptirler (Allgeier, 2003).



Şekil 2.21: Membran Yapısı ve Simetrisi (Allgeier, 2003).



Şekil 2.22: İnce Film Kompozit Membran Yapısı⁴⁾

4) www.gewater.com

2.5.1.1 Membran Karakteristikleri

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

Sıcaklığa Dayanıklık: Sıcaklık plastik malzemenin performansını etkileyen başlıca faktördür. Özellikle yüksek sıcaklıklı endüstriyel ayırma proseslerinde, kullanılacak malzemeye dikkat edilmelidir. 0 °C’den 82 °C’ye kadar olan sıcaklıklarda membran teknolojisi kullanılabilir. Ters ozmos sistemi, ultrafiltrasyon’a göre daha hassastırlar. En çok kullanılan membran türü olan ve maliyeti diğerlerine göre daha düşük olan selüloz asetat membranlarının 35-40 °C’ye kadar dayanıklılığı vardır. Diğer bir membran türü olan seramik membranlara uygulanan sıcaklık, 800 °C’ye kadar çıkabilmektedir” (Koyuncu, 1997).

Kimyasal Uygunluk: Membran polimerleri kimyasal olarak çözültüye uygun ve dayanıklı olmalıdır. Çözelti içindeki kimyasal maddelere göre, membranda performans düşüklüğü meydana gelebilir. Selüloz asetat membranları özellikle kloro karşı dayanıksızdırlar. Bu sebepten bu tip membranların besleme suyunda klor olmamalıdır. Ayrıca suyun pH’ı belli aralıklarda olmalıdır” (Koyuncu, 1997).

Basınca Dayanıklılık: Her bir membran türü için ayrı basınçlar uygulanmaktadır. En düşük basınç mikrofiltrasyonda (< 2 bar) tatbik edilmektedir. Daha sonra ultrafiltrasyonda (1-8 bar), nanofiltrasyon (10-30 bar), en son olarak da ters ozmos da (10-100 bar) basınç uygulanmaktadır. Normalden yüksek basınç uygulamaları, membranların yapılarını bozmaktadır” (Koyuncu, 1997).

pH’a Dayanıklılık: Asitlik ve bazikliğin bir belirtisi olan pH, membranların ömrü açısından önemlidir. Genelde kullanılan pH aralığı 2-8 ’dir. Selüloz asetat membranları pH’a çok hassastırlar. Yüksek pH’larda membran kullanımı sınırlıdır” (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 özelliklerine sahip olmak ve düşük maliyet gerektirmelidir” (Koyuncu, 1997).

2.5.2 İçme Suyu Arıtımında Kullanılan Ters Ozmos Membran Sistemleri

Membran filtrasyon teknolojisinin gelişmesi ile membranlar için kullanılan materyaller ve yöntemlerde de gelişmeler olmuştur. Bu gelişmeler doğrultusunda su arıtımında halihazırda dört ana tipte basınçlı membran filtrasyon konfigürasyonu kullanılmaktadır (Morris, 1999). Bunlar, boru tipi, boşluklu elyaf, spiral sargılı ve plaka membranlardır (Öztürk, 2005).

Ters ozmos sistemlerinde kullanılan çoğu yarı geçirgen membranlar, asimetric yoğunluklu cast polimer filmlerdir. Yani çok ince yoğunluklu bir bariyer tabakasına sahiptir. Bu tabaka 2.5 cm kalınlıkta daha gözenekli substrate ile desteklenir. Su, gözenek çapı 0.0001 μm olan membran arasından geçer. İnsan saçının çapı 100 μm olduğu unutulmamalıdır (Öztürk, 2005).

Membran filtrasyon sisteminde kullanılan birkaç farklı tipte membran materyali ve modülleri bulunmaktadır. Genel olarak mikrofiltrasyon ve ultrafiltrasyonda boşluklu elyaf fiber membranlar, nanofiltrasyon ve ters ozmosda ise spiral sargılı membranlar kullanılmaktadır. Membran kartuş filtrasyon sisteminde, kartuş filtrasyon cihazı içerisine yassı membran tabakaları konfigüre edilir. Boşluklu elyaf, spiral sargılı ve kartuş filtre için membran maddesinin malzemesi büyük önem taşımaktadır (Allgeier, 2003).

2.5.2.1 Boru Tipi Model Membranlar (Tübüler Model)

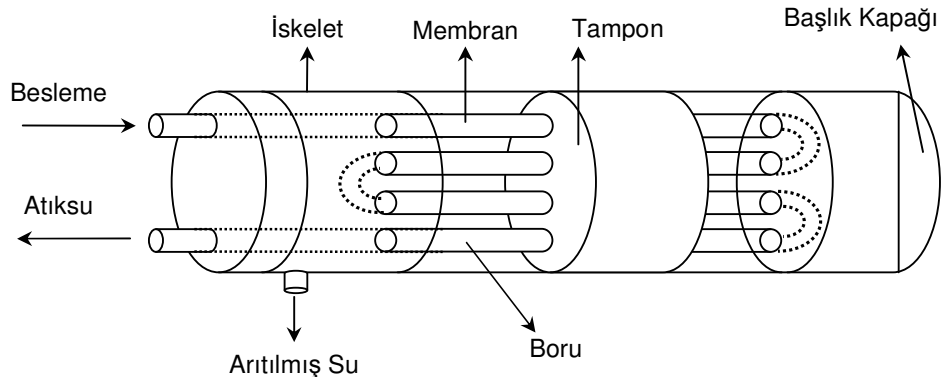
1965’li yıllarda ortaya çıkmıştır. 0.7-2.5 cm çaplarında ve 0.6-6.4 m uzunluklarında, küçük boruların büyük sağlam borular içine yerleştirilmesi ile oluşturulur. Gözenekli tüpün iç tarafı membranla kaplanmıştır. Şekil 2.23’de gösterildiği üzere, akışkana basınç uygulanır. Uygulanan bu basınç sonucu, basınçlı besleme suyu, membranın veya membran film iç tarafından girip gözenekli tüp arasından çıkarak arıtılmış su elde edilir. Konsantre kısım, ortadaki borudan toplanır. Delikli yapı membrandan geçen suyun toplanmasını sağlar. Membran genelde 1.3 cm çapındadır (Anonim, 2003a).

Boru tipi 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 oluşturularak, tıkanma minimuma indirilebilmektedir. Bu maksatla, burada 2-6 m/s arasında değişen hızlar uygulanmaktadır. 1.25-2.5 cm iç çapında ve 150-610 cm boyutlarında üretilir. Her bir tüp boru için, debisi 15-60 L/dak'dır. Membran malzemesine bağlı olarak boru membran maliyeti, \$ 90-700/m² arasında değişmektedir (Anonim, 2003a).

Dizaynı basit ve kolaydır. Üniversitelerde araştırma amacı ile boru tipi membran modeller kullanılmaktadır. Çünkü bu modellerle Reynold sayısını hesaplamak ve kütle transfer sabitleri hakkında teori kurmak kolaydır. Boru tipi membran modeller, türbülanslı şartlarda çalıştırıldığı için zamanla kirlenmeye karşı bir dereceye kadar dayanıklıdır. (Öztürk, 2005).

Fakat küçük kapasiteli endüstride kullanılabilir. Boru tipi elemanlar birim hacim başına küçük membran alanına sahiptir. Boru tipi membran modeller yüksek oranda askıda katı madde giderme yeteneğine sahiptir (Morris, 1999). Boru tipi membran modellerin en büyük dezavantajları, çok yer gerektirmesidir. Membranların değişimi oldukça zor ve zaman alabilir. Büyük kapasiteliler çok enerji tüketir. Geniş iç hacminden dolayı temizlemek zor ve zahmetlidir. Mekanik yada kimyasal yollar ile membran temizlenmesi yapılabilir. Boru tipi membranlar akış şartlarına göre plastik veya paslanmaz çelik olarak kullanılabilirler (Şekil 2.24) (Morris, 1999). Boru tipi membran dizaynını değiştirmek zor ve maliyetlidir (Öztürk, 2005).



Şekil 2.23: Boru Tipi Model Membran Konfigürasyonu (Morris, 1999)



Şekil 2.24: Boru Tipi Membran Model Konfigürasyonu Plastik Yapı⁵⁾

2.5.2.2 Spiral Sargılı Membranlar (Spiral – Wound Model)

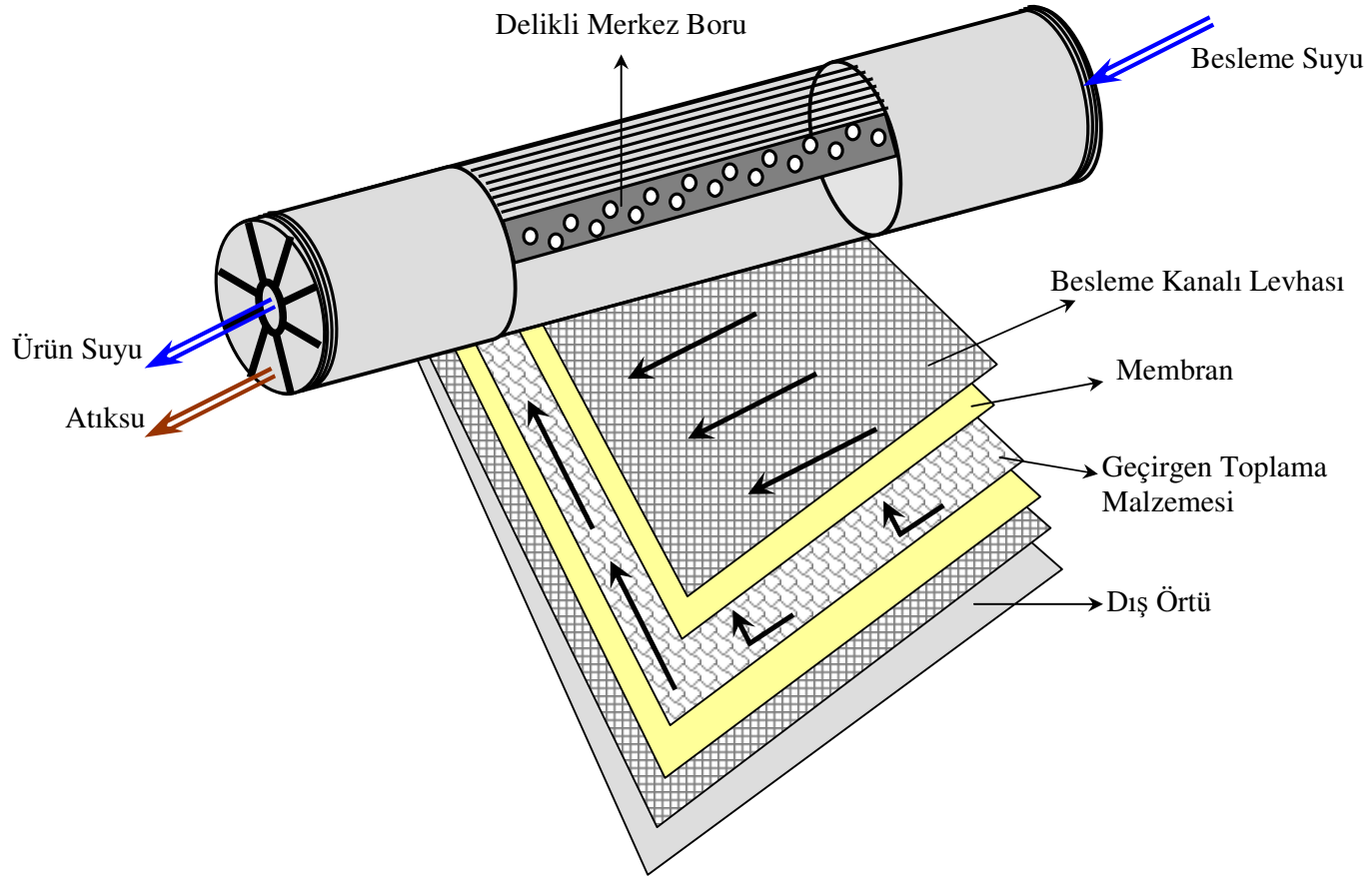
Spiral sargılı membranlar, plaka membranlarının daha geliştirilmiş bir halidir. Bu düzenleme şekli ile, plaka membranlarının bir çok dezavantajı ortadan kaldırılmıştır. Böylece kullanımı artmıştır. 1966-67'li yıllarda ortaya çıkmıştır. Özellikle su üretiminde boru tipi membranların yerini almıştır (Anonim, 2003a).

Bir zarf oluşturulmak üzere üç tarafı sızdırmaz yapılarak kapatılmış gözenekli destek levha ile ayrılmış iki düz tabaka membrandan ibarettir. Dördüncü tarafı ise artırılmış suyu toplamak üzere gözenekli plastik boruya yapışık olarak bağlanmıştır. Bu membran zarflan iki veya daha fazlası, artırılmış suyu toplayan gözenekli tüpe yapıştırılır ve spiral şekilde yuvarlanır. Spiral sargılı model, jölemsi bir ruloya benzer (Şekil 2.25). Bu sayede boru tipi membranlara göre yüzey alanı bakımından büyük

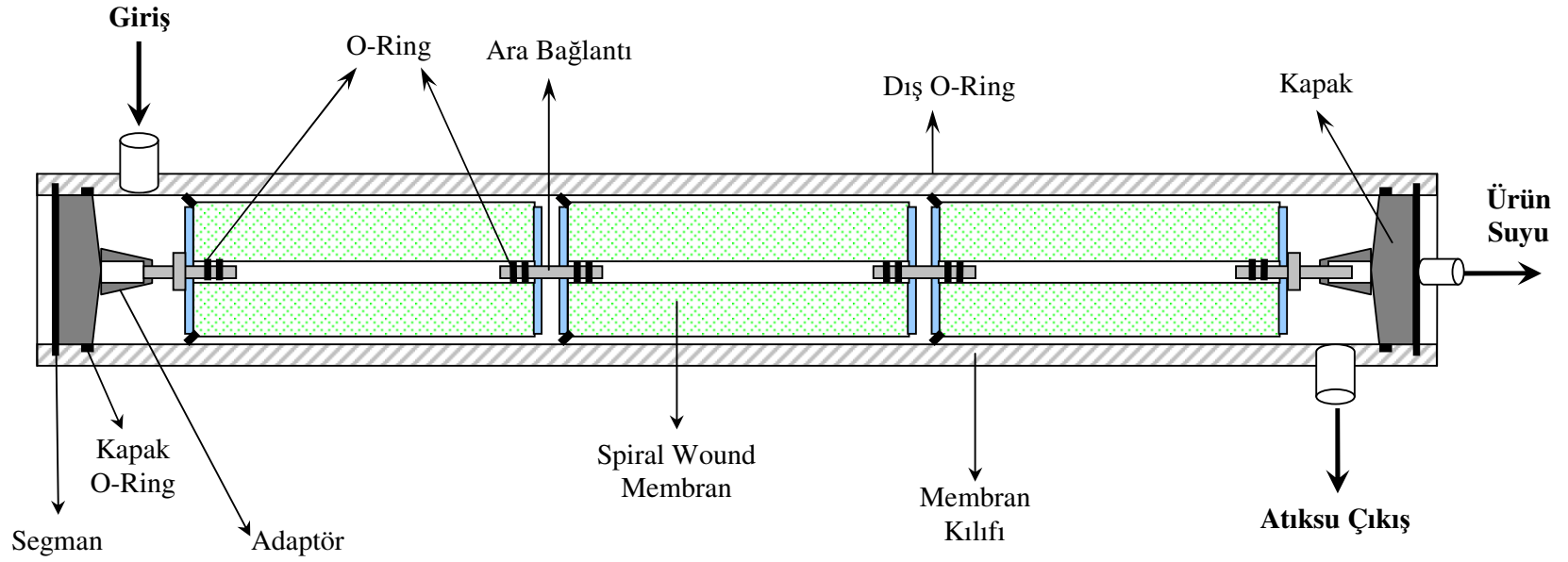
5) www.mnawwa.org/councils/research/Membrane%20Applications%20Presentation.ppt

avantaj elde edilmiş olur (Morris, 1999). Rulo halindeki membran ve delikli yapı, 5, 10, 20, 40 cm'lik standart çap ve 15-150 cm uzunluğunda imal edilir. Membran alanı çapa bağlı olarak 15 m²'ye kadar çıkabilir (Bunlar modele ve üreticiye bağlı olarak değişir). Spiral sargılı modellerin yoğunluğu 300-1000 m²/m³ arasında değişir. Membranlar, membran kabı içine tek bir modül oluşturabilmek için, sayıları 2 ile 6 arasında değişen miktarda yerleştirilir. Membran kabı fiberglas, PVC veya paslanmaz çelik olabilir. Bir membran kullanıldığında geri kazanım %30 civarında iken, modül tasarımı ile bu oran % 90 mertebesine artırılabilir. Bu membran alanının artmasından kaynaklanmaktadır (Anonim, 2003a). Spiral modüllerin çoğu, genel olarak fiber glas kaptaki seri olarak bağlanır (Şekil 2.26). Destek tabakaları, basınç düşüşünü minimize etmek ve daha yüksek paketleme yoğunluğu elde etmek için dizayn edilir. Yüksek basınç kararlılığındadır. Ayrıca spiral sargılı modüller, türbülanslı iletirmek için ekipman destekleri ile dizayn edilir. Böylece membrana karşı kütle transferi artırılabilir. Son zamanlarda geliştirilen modeller yüksek yüzey alanına sahip olduğu için endüstriyel amaçlıda kullanılmaktadır. Son zamanlarda içecek ve kağıt sanayinde geniş olarak kullanılmaktadır. Spiral sargılı modelleri yüksek sıcaklıklarda ve ekstrem pH'larda kullanmak mümkündür. Son zamanlarda bu modelde hızlı bir gelişme gözlenmektedir (Öztürk, 2005).

Membran için, selüloz asetat, poliamid, ve kompozit poliamid malzemeler kullanılmaktadır (Anonim, 2003a).



Şekil 2.25: Spiral Sargılı Model Konfigürasyonu (Morris, 1999)



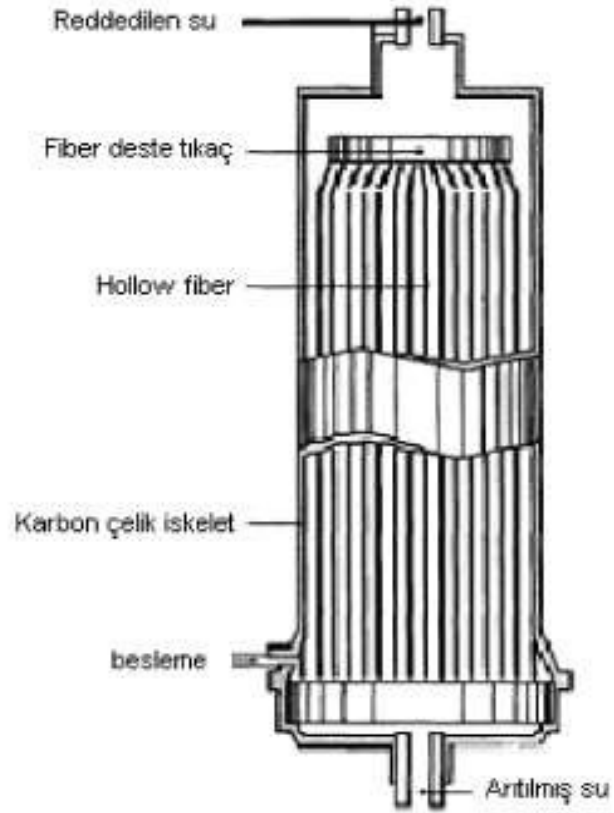
Şekil 2.26: Spiral Sargılı Model Membran Kılıfı Şeması (Morris, 1999)

2.5.2.3 Boşluklu Elyaf Membranlar (Hollow Fiber Modüller)

İlk kullanım 1969'da olmuştur. İnsan saçı çapında borucuklar halinde üretilirler. Besleme suyu dağıtım borusunu saran binlerce elyafın oluşturduğu bir yığın halindedir. Bu yığılı tabaka basınçlı bir fiberglas, PVC ve paslanmaz çelikten yapılmış kap içine yerleştirilir. Temiz su, içteki bölmede toplanır. Bu membranlarda, iç çap ile dış çap oranı 2:1 dir (Anonim,2003a). Boru tipi membran modellerde olduğu gibi su beslemesi genellikle fiberin iç tarafından aşağı doğru yapılır (Şekil 2.27). Deste içine her bir saç gibi olan fiberler U şeklinde yerleştirilir ve her iki ucu, epoksi reçine destek tıkaçla tutulmaktadır (Öztürk, 2005).

Ultrafiltrasyon için üretilen boşluklu elyaf membranlar, selüloz olmayan polimerik membranlar ile oluşturulurlar. Her bir delikli elyafın çapı 0.19-1.25 mm arasında değişir. Kalınlığı ise 200 µm arasındadır. İşletme sıcaklığı 75-80 °C'ye kadar çıkabilir. Modül çapı 10-20 cm ve membran alanı 4.7-7.8 m² arasında değişir. Membrana verilecek suda büyük çaplı partiküllerin olmaması lazımdır. Bu sebepten, 50-100 µm çaplı partiküllerin tutulması için ön arıtmaya ihtiyaç vardır. Bu membranlar tıkanmaya karşı hassastırlar. Bunun yanında geri yıkama yapılabilir. İşletme hızı 0.5-2.5 m/s arasında değişir. Membran yenileme maliyeti yüksektir. 7.5 cm çaplı modüllerin maliyeti \$ 600/7.5 cm dir. Yenileme maliyeti \$ 200-300/ m² dir (Anonim, 2003a).

Boşluklu elyaf fiber modüllerde kapiller özellikli olanlar 600-1200 m²/m³, fiber olanların ise 30.000 m²/m³ kadar yüksek paketleme yoğunluğuna sahiptir. Boşluklu elyaf fiber modeller model hacmi başına diğerlerine göre daha yüksek membran yüzey alanına ve kapasiteye sahiptir. Boşluklu elyaf fiber modül mikro fotoğraf kesiti Şekil 2.28'de verilmiştir. Belli performans kapasitesi için boyutları diğer modüllerden çok daha küçüktür. Boşluklu elyaf fiber modeller diğer modellerden düşük işletme maliyetine sahiptir. Dolayısıyla spiral sargılı modellere göre daha kısa sürede tıkanır veya kirlenir (Öztürk, 2005).



Şekil 2.27: Boşluklu Elyaf Fiber Modüller (USEPA, 1996)



Şekil 2.28: Boşluklu Elyaf Fiber Mikro Fotoğraf Kesiti ⁶⁾

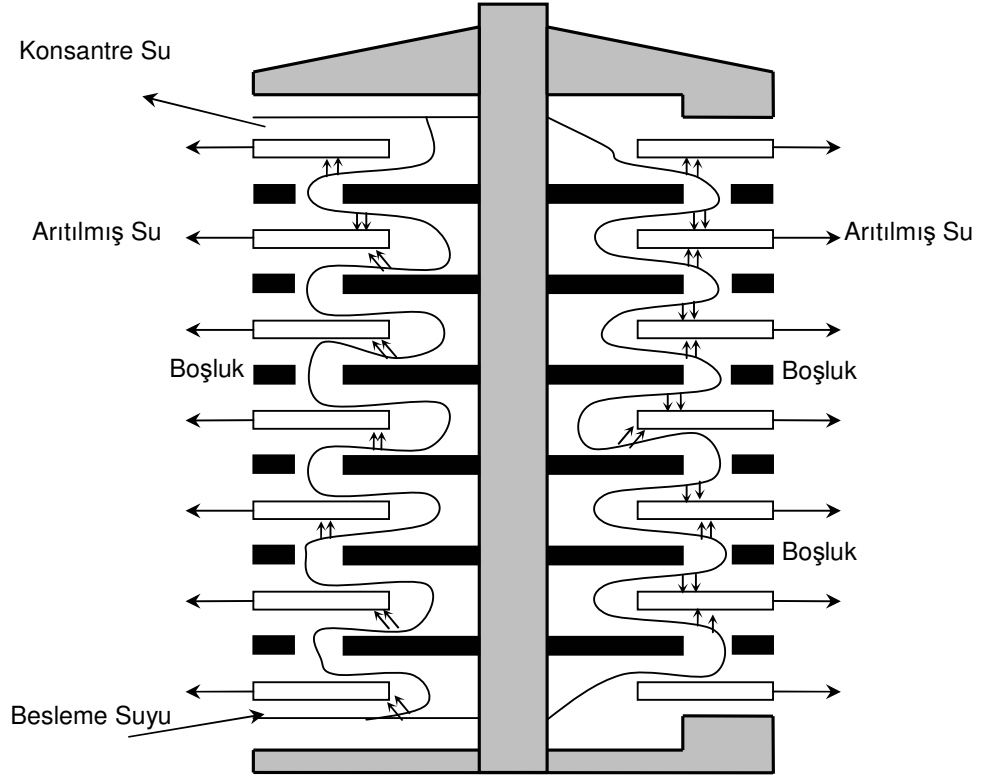
6) www.mnawwa.org/councils/research/Membrane%20Applications%20Presentation.ppt

2.5.2.4 Plakalı Membranlar (Plate ve Frame Membran Modüller)

Bu düzenleme şekli 1966'da ABD'de ortaya çıkmıştır. Membran büyük dairesel plakalar arasına yerleştirilerek oluşturulmuştur. Yapıları, plaka çerçeve pres filtrelerine benzerlik gösterir (Anoni, 2003a).

Dairesel veya kare plakalar arasına sandwich edilmiş membranlardır. Plakalı membran modüllerde, ara levhalar ile destekleyiciler arasına düz tabaka membranlar yerleştirilir. Yapısı basittir. Destekleyiciler, besleme suyu için akış kanalı oluşturur. Besleme suyu düz tabakadan akarak bir tabakadan diğerine geçer. Son yıllarda yeni modellerde paketleme yoğunluğu artırılmıştır (Şekil 2.29). Daha fazla besleme suyu verildiğinden dolayı daha fazla suyu geri kazanmak mümkündür. Dolayısıyla daha sık aralıklarla tıkanmaya neden olur. Yoğunluğu $100-400 \text{ m}^2/\text{m}^3$ arasında değişir. Son yıllarda geliştirilen yeni modellerde % 25 çözülmüş katı madde içeren suları arıtan modeller geliştirilmiştir. İşletme basıncı 4500 psi'a kadar çıkarılabilmektedir (Öztürk, 2005). Bu modeller metal kaplama sanayinde oluşan atık sulardan metallerin geri kazanılmasında da kullanılmaktadır (Mulder, 2003), (Öztürk, 2005).

Ağır, iri ve işletilmesi zordur. Membranların değiştirilmeleri problemlidir. Bundan dolayı ABD'de kullanımları kaldırılmıştır. Avrupa'da Danimarka ve Almanya'da hala üreticileri vardır. Herbir plaka 0.5-1 mm kalınlığındadır. Kanal uzunluğu 6-60 cm arasında değişir. Uzunlamasına modüllerde akım bütün kanallara paralel olarak akar ($\sim 2 \text{ m/s}$). 30 plaka ile basınçta 10 bar'lık bir azalma belirlenmiştir (Anonim, 2003a).



Şekil 2.29: Plakalı Membran Modüller (USEPA, 1996)

Membran fiyatı, selüloz asetat membranlar için ABD'de \$100/m², selüloz olmayan RO membranları için \$ 200/m² ve polisülfone membranları için ise \$ 120 /m² değerleri verilmiştir.

Ters ozmos membran konfigürasyonu uygulamasında kullanılan modellerin mukayesesi Tablo 2.5'de verilmiştir.

Tablo 2.5: Membran Modüllerinin Karşılaştırılması (Wagner, 2001)

Membran Modüllerinin Karşılaştırılması							
	Spiral Sargılı Element	Boru Tipi Yüksek Bedel Düşük Bedel		Plakalı Membran	Boşluklu Elyaf Geniş Fiber Sistem	Boşluklu Elyaf Fiber	Seramik
Membran Yoğunluğu (m ² /m ³)	Yüksek	Düşük		Orta	Orta	Çok yüksek	Düşük
Tesis Yatırımı	Düşük	Yüksek	Düşük	Yüksek	Çok yüksek	Orta	Çok yüksek
Kirlenmeye Eğilim	Orta	Düşük		Orta	Düşük	Çok yüksek	Orta
Temizlenebilirlik	İyi	İyi		İyi	Düşük	Yok	İyi
Değişken Maliyet	Düşük	Yüksek	Düşük	Orta	Orta	Düşük	Yüksek
Membran Değiştirme	Hayır	Evet	Hayır	Evet	Hayır	Hayır	Evet
Debi Talebi	Orta	Yüksek	Orta	Orta	Yüksek	Düşük	Çok Yüksek
Ön Filtre Diğer Talepler	≤50 µm. Fiberler Yok	Elek		≤100 µm. Birkaç Fiber	≤100 µm. Birkaç Fiber	≤ 5 µm. Aşırı Önartım	Elek

2.6 Ters Ozmos Membran Sistemlerinde Ön Arıtma Seçenekleri

Ters ozmos membranlarının zarar görmemesi için ve tam bir arıtım yapabilmek için membran ünitesinden önce kartuş filtre ve/veya aktif karbon filtre ile ön arıtım yapılması gerekmektedir. Bu sayede membranların uzun süreli kullanımında problem yaşanmaz (Udeh, 2004).

İyi dizayn edilmiş ön arıtma sistemleri ile membranların gözeneklerinin tıkanması azaltılarak membranların ömrünün uzatılması sağlanabilir. Bulanıklık verici askıda katı maddeler membranlara ulaşmadan önce besleme suyundan giderilmelidir. Besleme suyunda bulanıklık sürekli kontrol edilmelidir. Bulanıklık seviyesi limitleri aşarsa sistemin çalışması durdurulmalıdır. Silt ve kil gibi askıda katı maddeler

membranlarda tutulduğu zaman membranların gözenekleri tıkanır ve kanallamalar oluşur. Arıtılmış suya zarar verir.

Çamur yoğunluk indeksi (SDI) besleme suyu kalitesinin belirlenmesinde anahtar indikatörüdür. SDI suyun askıda katı madde ile kirlenme potansiyelinin genel indikatörüdür. SDI artarken kirlenme potansiyeli de artar. SDI deney sonucu elde edilen değerleri, membran üretici firmaları tarafından verilmelidir. Çoğu membran üreticileri SDI'si 5'den küçük olmasını isterken bazıları da 4'den küçük olmasını ister.

Besleme suyunda bulanıklık değerlerinin, sınır değerlerini karşılaması tavsiye edilir. SDI ile bulanıklık arasında bir ilişki olduğu unutulmamalıdır. Bulanıklık yüksek olduğu zaman SDI 'de genelde yüksektir. Düşük bulanıklı suların SDI 'i 5'den daha büyük olanlar vardır.

Besleme suyunda çözünür halde bulunan demir ve mangan ters ozmos membran yüzeyinde okside olabilir ve askıda katı madde olarak çökebilir. Daha ileri olarak metallerin oksidasyonu, membranların bozunmasına neden olan oksidasyonu hızlandırır.

Hidrojen sülfür koloidal kükürte kolayca okside olduğundan askıda katı madde haline dönüşebilir. Besleme suyundaki hidrojen sülfür klorla reaksiyona girerek kükürtün serbest hale geçerek çökmesine neden olur. Sudaki çözünmüş oksijenin hidrojen sülfürle reaksiyonu, klorla olan reaksiyon kadar hızlı değildir. Koloidal kükürt yapışkandır ve bu yüzden membran yüzeyinden gidermek zordur. Kuyu sularında hidrojen sülfür olabileceği unutulmamalıdır.

Besleme suyunda organik madde miktarı (TOK) olarak ölçülür. Organik maddelerin membran üzerinde birikmesi mikrobiyal kirlenmeye neden olur. Organik maddeler kontrol edilerek mikrobiyal kirlenme potansiyeli düşük seviyede tutulmalıdır. Organik maddeler mikroorganizmaların büyümesi için besi maddesi olarak kullanılır. Membran yüzeyinde kirlenmeyi minimize etmek için önerilen besleme suyu karakteristiği Tablo 2.6'da verilmiştir.

Membran sistemlerinin verimli çalışmasını istiyorsak, bazı parametrelerin düzenli olarak kontrol edilmesi gerekmektedir. Kontrol edilmesi gereken parametreler ve kontrol edilme sıklıkları Tablo 2.7'de verilmiştir.

Tablo 2.6: Membran Kirlenmesini Minimize Etmek İçin Önerilen Besleme Suyu Karakteristiği (Öztürk, 2005)

Parametreler	Değerler
SDI is	<5 (bazı üreticiler <4 olmasını ister)
Bulanıklık	< 1 NTU*
Demir (Fe ⁺²) **	< 0.05 mg/L
Mangan (Mn ⁺²)	<0.5 mg/L
Hidrojen Sülfid (HSO ₃ ⁻)	<0.1 mg/L
Organikler	<10 mg TOC/L

* Bazı membran üreticileri bulanıkların 0.2 NTU dan küçük olmasını ister.

**pH >7.0 ve 5-10 mg/L çözülmüş oksijen de, düşük pH ve daha düşük oksijen seviyesinde daha yüksek demir seviyeleri tolere edilebilir.

Tablo 2.7: Membran Takibi İçin Önerilen Su Kalite Takip Çizelgesi (Allgeier, 2003).

Parametre	Mikrofiltrasyon ve Ultrafiltrasyon			Nanofiltrasyon ve Ters Ozmos		
	Besleme	Konsantre Atıksu	Ürün Suyu	Besleme	Konsantre Atıksu	Ürün Suyu
Genel Su Kalite Parametreleri						
Alg	H		H	H		
Renk	H	A	H	H	A	H
HPC	A		A	A		A
Partikül Sayısı	S		S			
pH	G	H	H	S	H	H
SDI				H		
Tat ve Koku	A	A	A	A	A	A
Sıcaklık	S			S		
TOK	H	A	H	H	A	H
Toplam Koliform	H		H	H		
TSS	A	A	A			
Bulanıklık	S	A	S	S		H
UV-254	H	A	H	H		H
Çözülmüş Maddeler						
Alkalinite	H	A	H	H	H	H
Baryum				H	H	H
Sertlik			A	H	H	H
Demir	H			H	H	H
Manganez	H			H	H	H
Silika				H	H	H
Sülfat	H			H	H	H
TDS			A	S	H	S
Dezenfeksiyon Yan Ürün Örnekleme Dağılım Sistemleri						
HAAs			A			A
TTHMs			A			A

A: Aylık --- H: Haftalık --- G: Günlük --- S: Sürekli

2.6.1 Membranlar Üzerinde Çökelmeyi Minimize Etmek

Ters ozmos membranlar üzerinde kireç vb. oluşum potansiyelini minimize etmek için besleme suyunda pullanma oluşturuvcu türlerin kimyasal veya iyon değiştirme teknikleriyle giderilmesi gerekir.

Sodyum zeolit gibi iyon değiştirici kullanılarak su içerisinde bulunan ve sertliğe neden olan iki değerlikli (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Ba^{+2} , Sr^{+2} , Fe^{+2}) gibi maddeler iyon değiştirme prosesi ile giderilebilir. Besleme suyundaki sertlik verici maddeler sodyum ile yer değiştirirler. Dolayısıyla iyon değiştirme işleminden sonra elde edilen sudaki sodyumun konsantrasyonu artar. Ters ozmos membranlar üzerinde iki değerlikli metal iyonlarına göre tek değerlikli metal iyonlan daha az tutulduğundan dolayı membran üzerinde daha az pullanma ve membran gözeneklerinde tıkanma olur.

Asitler, ters ozmos membranlar üzerinde kalsiyum karbonat oluşturma potansiyelini azaltır. Ters ozmos reddetme suyu için gerekli asit miktarı LSI veya SDSI ile tespit edilir. Antiscalant kullanılması halinde ters ozmos reddetme suyunun LSI sinin birden veya SDSI sının 0.5 den küçük olması için gerekli asit miktarı tespit edilmelidir. Antiscalant kullanılmadan asitle bu işlem yapılacaksa ters ozmos reddetme suyunun $\text{LSI} < 0$ olması istenir (Tablo 2.8).

Tablo 2.8 ters ozmos üzerinde hışır oluşumunu minimize etmek için genel bir kural vermektedir. LSI (Langelier Saturation Index) kalsiyum karbonat skalası oluşturma potansiyelini tesbit etmek için kullanılır. Fosfat gibi antiskalant kullanıldığı zaman $\text{LSI} < 1$ olabilir. Eğer antiskalant kullanılmıyorsa $\text{LSI} < 0$ olmalıdır. LSI tipik olarak toplam çözünmüş madde miktarı (TDS) < 5000 mg/l olan sulara uygulanır. Besleme suyunda toplam çözünmüş katı madde > 5000 mg/l olduğu zaman Stiff ve Davis Saturation Index (SDSI) kullanılır. Antiskalant kullanıldığı zaman $\text{SDSI} < 0.5$ olmalıdır.

Baryum ve stronsiyum maddeleri çözünlüğü en düşük maddelerdir. Hışır oluşumunu minimize etmek için besleme suyu kalitesi Tablo 2.8'de verilmiştir.

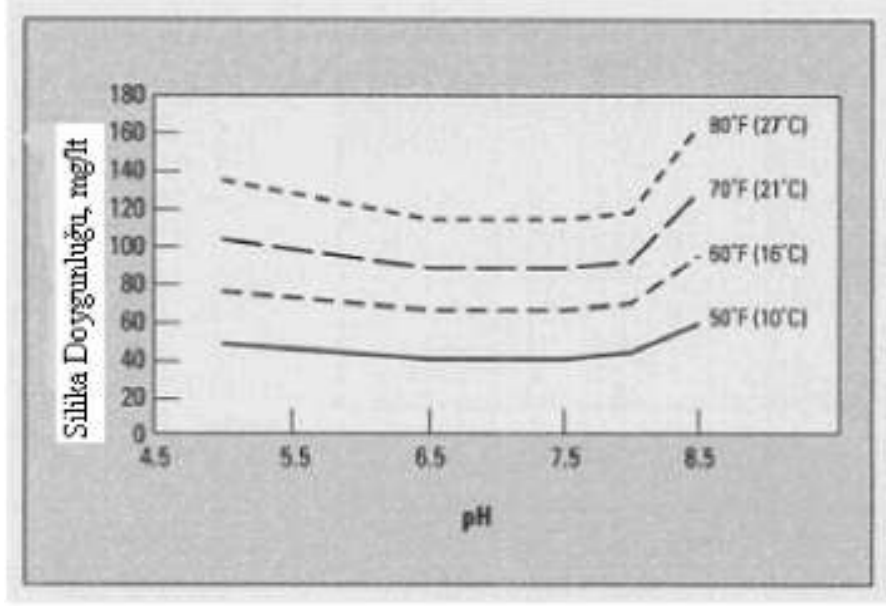
Tablo 2.8: Hışır Oluşumunu Minimize Etmek İçin nerilen Besleme Suyu Kalitesi (ztrk, 2005)

Hışır Oluşumunu Minimize Etmek İçin nerilen Besleme Suyu Kalitesi	
Parametreler	Değerler
LSI (TDS < 5.000 mg / L)	< 1,0 antiscalantlı < 0 antiscalantsız
SDSI (TDS > 5.000 mg/L)	< 0,5 antiscalantlı < 0 antiscalantsız
Baryum (Ba ⁺²)	< 0,05 mg/L
Stronsiyum (Sr ⁺²)	< 0,1 mg/L
Silika, reaktif	60 – 150 mg/L

Asitleştirme işleminde genellikle sülfirik asit kullanılır. Kalsiyum karbonat oluşturma potansiyelini azaltmak için sülfirik asit kullanılması durumunda sülfat esaslı pullanma oluşturma potansiyeli artar. Eğer sülfirik asit ilavesiyle sülfat pullanma oluşumu artıyorsa HCl asidi uygulaması daha uygundur.

Antiscalantlar, başlıca karbonat ve sülfat esaslı pullanma oluşumunu minimize etmek için ters ozmos besleme suyuna ilave edilir. Antiscalantlar, fosfat ve acylates (sodyum hekza meta bi sülfit gibi) içerir. Bu maddeler engelleme yolu ile pullanma oluşumunu minimize eder. Antiscalantlar, tek başına kullanıldığı gibi kalsiyum karbonat (CaSO₄), kalsiyum sülfat (CaSO₄), stronsiyum sülfat (SrSO₄), baryum sülfat (BaSO₄) pullanması oluşumunu minimize etmek için asitle birlikte kullanılabilir (Nitro Denko, 2003).

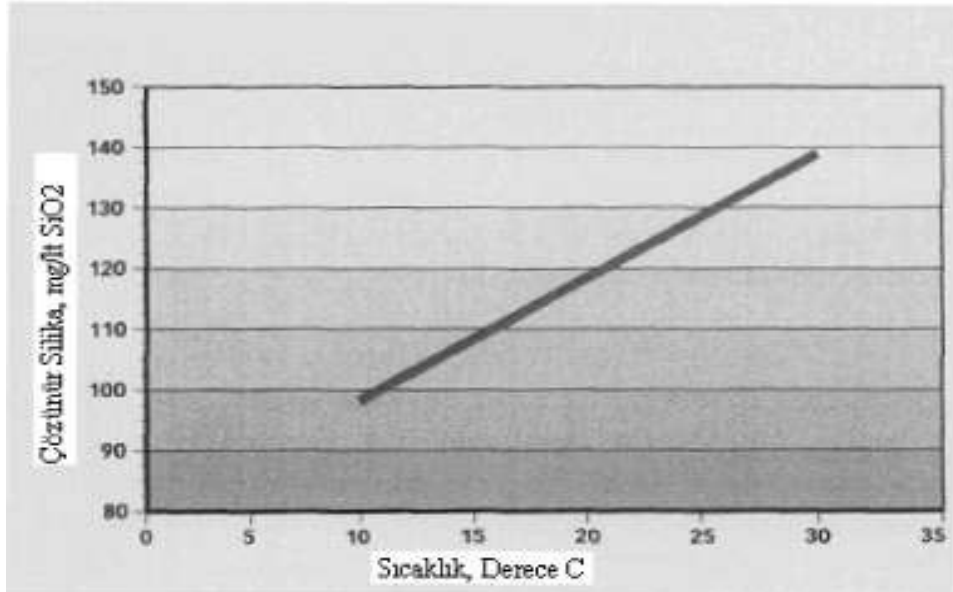
Membran yüzeyinde silika kirlenmesi ile membran gözenekleri tıkanır ve su geçişi azalır. Son zamanlarda silika pullanmasının oluşumunu minimize etmek için yeni kimyasallar kullanılmaktadır. Bu maddeler ters ozmos konsantratında takriben 200 ppm kadar silika konsantrasyonlarında silika pullanma oluşumunu etkili bir şekilde önlemektedir. Verimlilik beslenen sudan suya değişir. Silikanın suda znrlğ suyun pH'a ve sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir. Spesifik işletme şartlarında doğunluk konsantrasyonunu tespit etmek için şekil 2.30 kullanılabilir.



Şekil 2.30: Sıcaklık ve pH'ın Fonksiyonu Olarak Silika Doygunluğu (Öztürk, 2005)

Sertlik giderme esnasında magnezyum sertliği de gideriliyorsa silika magnezyum hidroksit çökeleği üzerinde adsorplanır. Silika çöktürülmesi suya alüminyum hidroksit ilavesi ile de başarılabilir.

Nötr pH'da silika çözünürlüğünün sıcaklığa bağlı olarak değişimi Şekil 2.31'de verilmiştir.



Şekil 2.31: Nötr pH'da Silika Çözünürlüğü (Öztürk, 2005)

Antiscalant dozajları, ters ozmos besleme suyunda pullanma oluşturma potansiyeline bağlı olarak 2 ila 10 ppm arasında değişir.

Ters ozmos membranlar, ters ozmos kimyasallarının % 99'unu reddeder. Antiscalant içeren ters ozmos reddetme suyunun bozulması genel olarak problem değildir. Fosfat içeren antiscalantlı reddetme sularının soğutma kulesinde soğutma suyu olarak kullanılmasında bir mahsur yoktur.

2.6.2 Membran Kirlenmesini Minimize Etmek

Besleme suyundaki askıda katı maddeleri, organik maddeleri ve mikroorganizmaları azaltmak için ters ozmos işleminden önce çeşitli teknikler kullanılır. Bunlar, mekanik ve kimyasal metotlardır. Hidrojen sülfür içeren bir suyun hem mekanik hem de kimyasal olarak arıtılması gereklidir.

Membran sistemlerinin kirlenmesini önlemek için kullanılan bazı ön arıtma sistemleri Tablo 2.9'da verilmiştir.

Tablo 2.9: Tipik Membran Sistemleri İçin Ön Filtrasyon İhtiyaçları (Allgeier, 2003).

Membran Sistemi		Ön Filtrasyon İhtiyacı	
Kategori	Konfigürasyon	Boyut (μm)	Tip
Membran Kartuş Filtrasyonu (MKF)	Kartuş	300 – 3.000	Süzgeç, Torba Filtre
Mikrofiltrasyon (MF) Ultrafiltrasyon (UF)	Boşluklu Elyaf Fiber, Dıştan içe	100 – 300	Süzgeç, Torba Filtre
	Boşluklu Elyaf Fiber İçten dışa	300 – 3.000	Süzgeç, Torba Filtre
Nanofiltrasyon (NF), Ters Ozmos (TO)	Spiral Sargılı	5 - 20	Kartuş Filtre

Besleme suyundaki askıda katı maddeleri gidermek için filtrasyon metodu kullanılabilir. Filtre yüzeyinde 5 μm çapına kadar büyüklükteki katyonik ve anyonik iyonlan tutulabilir. Filtre ünitesindeki basınç farkı 15 psi (103 kPa) ulaştığında filtre

değiştirilmelidir. Filtrasyon, doğal akış ve basınçta veya üst akış konfügrasyonu ile başarılıdır. Tek ortamlı doğal çekişli veya basınç filtreleri için tipik servis debileri 120-180 lt/m³, multimedya yerçekimi ve basınç filtreleri için 240-320 lt/m³ ve üst akış filtreleri için 200-400 lt/m³ dir.

Tüm ters ozmos sistemler yüksek basınçlı ters ozmos besleme pompalarının emme tarafında kartuş filtre ile donatılmıştır. Bu filtreler filtre ortamından veya zeolit reçinesinden gelen büyük partikülleri tutmak için kullanılır. Kartuş filtreler, askıda katı maddeleri ters ozmos besleme suyunda çökelmiş maddeleri giderme meylinde değildir. Kartuş filtrelerle besleme suyu içindeki boyutu 10-20 µm olan partikülleri tutmak mümkündür. Temizleme işlemi esnasında kartuş filtre üzerindeki basınç değişimi sürekli izlenmelidir. Kartuş filtre üzerindeki basınç düşüşü 10-15 psi'a ulaştığında kartuşlar temizlenmeli veya değiştirilmelidir.

Besleme suyundaki çözünür haldeki demir ve manganı gidermek için filtrasyon maddesi olarak mangan yeşil kum maddesi kullanılır. Mangan yeşil kumu, glauconite den elde edilmiş bir filtre ortamında kullanılır. Glauconite demir, potasyum, deniz orijinli alümino-silikat malzemeleri içerir.

Mangan yeşil kum filtrasyonunun en genel metodu sürekli rejenerasyonu olarak bilinir. Bu metot kullanılarak demir ve mangan gibi metaller okside edilerek çözünür olmayan forma dönüştürülür ve mangan yeşil kum yatakta çöktürülür. Demir ve manganın oksidasyonu, potasyum permanganatın enjeksiyonunu izleyen klor enjeksiyonu ile başarılıdır. Eğer besleme suyunda demir 1 mg/L'nin altında ve mangan yok ise klorla oksidasyon yeterlidir.

Besleme suyu içerisinde bakiye klor ve organik madde var ise aktif karbon kullanılarak bu maddeleri gidermek mümkündür. % 95 verimlilikte organik kirleticileri absorpsiyon metodu ile giderilir. Gerçekte klorun % 100, katalitik olarak tahrip edilebilir. Organik yükleme, 5-15 kg organik madde / 100 kg aktif karbondur. Klor yükleme gerçekte sonsuzdur. Aktif karbon doyunluk noktasına ulaştığında yenisi ile yer değiştirilmelidir. Asit, kostik veya solventler kullanılarak aktif karbonun rejenerasyonu oldukça sınırlı gerçekleştirilebilir. Su buharı ile karbon filtre üzerinde mikro organizma büyümesini önlemek mümkündür. Organik maddelerin bertarafı ise mümkün değildir.

Ters ozmos besleme suyunda ön arıtma için aktif karbon kullanılmasının dezavantajı aktif karbon mikroorganizmaların büyümesi için yataklık görevi görebilir. Aktif karbon partiküller üzerinde biriken organik maddeler, mikroorganizmalar için besi maddesi olarak kullanılabilir. Karbon filtre üzerinde mikroorganizmaların büyümesi sonucu filtre boruları mikroorganizmalarla kirlenebilir. Filtredeki aktif karbon tanecikleri o kadar küçük ki bu tanecikler kartuş filtreler arasından geçebilir. Bu ince karbon tanecikler membran üzerinde birikerek gözeneklerin tıkanmasına neden olabilir.

Ters ozmos dan önce deklorlama için sodyum metabisülfid veya aktif karbon kullanılabilir.

2.7 Ters Ozmos Membranlarının Temizlenme Yöntemleri

Ters ozmos membran sistemi ile su arıtımında, membran kirlenmesine karşı kullanılacak kimyasallar ve etki ettikleri kirleticiler hakkında bilgi Tablo 2.10'da, ayrıntılı tablo ise EK 3'de verilmiştir.

Tablo 2.10: Kimyasal Temizleme Malzemeleri (Allgeier, 2003).

Kategori	Ortak Kullanılan Kimyasallar	Hedefteki Bileşikler
Asit	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sitrik Asit ▪ Hidroklorik Asit (HCl) 	İnorganik Maddeler
Baz	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kostik (NaOH) 	Organik Maddeler
Oksidantlar/ Dezenfektanlar	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sodyum Hipoklorit (NaOCl) ▪ Klorür (Cl₂) Gazı ▪ Hidrojen Peroksit 	Organik Maddeler, Biyofilm
Surfactants	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Various 	Organik Maddeler, İnört Partiküller

Bu tabloda verilen bilgileri daha ayrıntılı inceleyecek olursak;

2.7.1 İnorganik Kirleticilerin Temizlenmesi

Membran yüzeyinde biriken inorganik kirleticileri gidermek için kullanılan temizleme çözeltileri ya düşük pH yada chelation kullanmak için dizayn edilir. Bu temizleme kademeleri detaylı olarak aşağıda verilmiştir.

Düşük pH'larda bir çok inorganik kirleticileri asidik çözeltilerde çözüldüğünden dolayı düşük pH'lı temizleme çözeltisi membranları temizlemek için faydalı olarak kullanılır. Kirleticilerin tam olarak çözünmemesine rağmen katı çökelekler kısmen çözülebilir. Membran yüzeyinden bu maddelere giderilebilir.

HCl asidi temizleme çözeltisinin pH'ını düşürmek için sık aralıklarla kullanılır. Artan sülfat konsantrasyonu, çözünür olmayan sülfat tortuları oluşturacağından dolayı sülfürik asit (H_2SO_4) kullanımında dikkatli olunmalıdır. HF asit, silika polimerizasyonundan ileri gelen kirlenmeyi çözmek için kullanılır. HF aşırı derecede zararlı ve dikkatli kullanılması gerekli bir asidik maddedir.

Her membran tipi için hangi pH aralığında çalışılacağına dair bir sınırlama getirilmiştir. Bu limitler temizleme çözeltisinin sıcaklığına bağlı olarak da değişir. Üretici firmalardan bunlarla ilgili bilgi alınmalıdır.

Chelating agents : Bu kimyasal maddeler bünyelerinde çok iyonlu yapı bulundurur. Bu negatif bölgeler inorganik kirleticilerdeki pozitif iyonları bağlayan elektrik yüklü saldırganlar gibi hareket ederler. Chelating agents tam olarak kirleticideki katı yapısından dolayı pozitif iyonları çekerler. Böylece maddelerin su fazına geçmesine neden olurlar. İki genel chelating agents, sitrik asit ($C_6H_8O_7$) ve EDTA (etilen diamin tetra asetik asit ($CH_2N(CH_2OOH_2)$)) dir. Sitrik asit, demir bertarafında, EDTA ise Ca^{+2} , Ba^{+2} , Sr^{+2} gibi iyonları bertaraf etmek için kullanılır. EDTA'nın %1 lik çözeltisi yeterlidir. Chelation meydana gelirken chelating molekülleri üzerinde negatif bölgeleri iyonize olmuş olarak kalmasını garanti etmek için yüksek pH aralığında çalışılır.

Süre: İnorganik maddelerin membran üzerinden sökülüp alınabilmesi için yeterli temas süresi gereklidir. Bu basittir. Fakat aceleye getirilmemelidir. Temizleme süresi birkaç gün olabilir.

Sıcaklık: İnorganik kirleticilerin membran üzerinden bertarafı ile ilgili reaksiyonlar temizleme çözeltisinin sıcaklığı yükseldiği zaman çok daha hızlı gerçekleşir. Üretici

firmanın membran için tavsiye ettiği sıcaklık şartları aşılmamalıdır. Özellikle düşük pH çözeltileri kullanılmışsa buna dikkat etmek gerekir. Sıcaklık limitleri, pH extremlerinde genel olarak oldukça düşüktür.

2.7.2 Organik Kirleticilerin ve Biyolojik Organizmaların Temizlenmesi

Organik kirlenmenin bertarafı aşağıda özetlendiği gibi yüksek pH ile katkısız deterjan bileşimi kullanımı ile başarılabilir.

Yüksek pH, organik bileşik içeren birçok doğal maddeler (karboksil asit grupları gibi) içerir. Düşük veya nötr pH'larda bu gruplar net yükü olmama sonucu hidrojen iyonu içerir. Bununla birlikte yüksek pH'larda hidrojen iyonu ayrışır ve negatif yüklü iyon oluşur. Bu yük oluşumu organik maddeleri daha çok suyu seven yapıya dönüştürür.

Yüksek pH'daki temizleme çözeltisi membranı kendi kendine değiştirecektir. Membran üzerindeki asit grupları yüksek pH'larda kendi kendine ayrışır. Daha fazla hidrofilik membran oluşur. Buda kirleticilerin kimyasal yapısına bağlı olarak membran temizlemeye yardımcı olur.

Sodyum hidroksit (NaOH) temizleme çözeltisinin pH'ını ayarlamak için kullanılır. Mümkünse yüksek pH'larda membranları temizleme de deiyonize su kullanılmalıdır. Musluk suyu fazla miktarda kalsiyum ve bikarbonat içerebilir. Bu ise pH yükseldiği zaman kalsiyum karbonat olarak çökelmeye neden olur.

Katkısız deterjanlar (sodyum dodesil sülfat gibi), çamaşırhane gibi yerlerde membran temizlemede kullanılır. Deterjanların bir ucu çok hidrofilik diğer ucu ise çok hidrofobiktir. Bu demektir ki deterjanlar, su ile reaksiyona girmeyen organik maddeleri çözmek için gidip gelme gibi hareket eder.

Bir çok jenerik deterjanlar membran temizleme amacı ile kullanılır. Bununla beraber çamaşırhanede kullanılan formilasyonu ters ozmosda kullanılmamasına dikkat edilmelidir. Çünkü çamaşırhanede kullanılan deterjanlar oksitleyici içerir. Oksitleyiciler ince film kompozitlerin (polamidleri) üzerinde zararlı etki meydana getirir. Ayrıca temizleme çözeltisinde aşırı konsantrasyonda deterjan kullanılması mevcut kirlenme problemini zorlaştırır. Deterjan konsantrasyonu %1 ile %5 olmalıdır.

Bazı organik maddelerin membran yüzeyinde birikmesi ile biyolojik kirlenme başlar. Bu kirlenme koku ve tat problemine neden olur. Mikrobiyal organizmaları tahrip edici maddeler, bazı hallerde biyolojik organizmalar organik kirlenmelerde olduğu gibi yüksek pH'lı deterjan çözeltisi ile bertaraf edilir. Biyolojik organizmalar, elbette organik bileşiklerden oluşmuştur. Bununla beraber mikroorganizmaların defans mekanizmalarından dolayı membran sistemi üzerinde bunları gidermek bazı ekstra yardımlar gerektirir.

Mikrobiyal organizmaları tahrip edici kimyasallar organizmaları öldürmek ve membran üzerindeki biyokütleyi ve besleme yüzeyi materyalini kırmak için kullanılır. Mikro organizmaları bertaraf edici maddeler hidrojen peroksit, sodyum hipoklorür, ozon, sodyum bisülfid, bakir sülfat, formaldehit, UV.'dir. Hidrojen peroksit veya sodyum hipokloritin zayıf çözeltileri belli hallerde kullanılabilir. Bu maddeler çok kuvvetli oksitleyici olduklarından membranlara (poliamid gibi) zarar verebileceğinden dolayı dikkatli kullanılmalıdır.

Temizleme çözeltisinde çözünmeyen bir çok biyolojik kirlenmeyi durdurmak için yüksek pH'lı çözeltiler kullanılmaktadır. Bu yüzden yüksek pH'lı çözeltilerde akış oldukça önemlidir. Yeterli akış membran yüzeyindeki kirleticileri karıştırmak için mevcut olmalıdır.

Düşük pH'larda çalışan temizleyiciler olduğu gibi yüksek pH'larda kullanılan temizleyicilerde vardır. Üreticilerin tavsiyelerine uymak gereklidir.

Membran üzerinde kirlenmeyi minimize etmek için ters ozmos sisteminin sürekli çalışması tavsiye edilir.

2.8 Membran Filtrasyon Sistemlerinin Avantajları ve Dezantajları

Ülkemizde Devlet Su İşleri tarafından yaptırılan ve bugün hizmet veren arıtma tesislerinin tamamı konvansiyonel tipte olup şu ünitelerden oluşmaktadır: Havalandırma, pıhtılaştırma (koagülasyon), yumaklaştırma (flokülasyon), durultma, filtrasyon, temas tankı ve arıtılmış su tankı, çamur uzaklaştırma sistemi, servis üniteleri (Su Dünyası Dergisi, 2003). Bir içme suyu arıtma tesisi için arıtma ünitelerinin sayısının fazla olması bir çok problemi beraberinde getirmektedir. Bu problemler arasında maliyetlerdeki artış, kimyasal sarfiyatlarındaki artış, işletme ve bakım zorlukları, gerekli tesis yerleşim alanı ihtiyacındaki artış sayılabilir.

İçme suları arıtma tesislerinde en çok kullanılan arıtma ünitelerinden olan kum filtrelerinde, gözenek çaplarının 60 μm olmasından dolayı, koloidal büyüklükteki tanecikler (0.001 – 0.1 μm), bakteriler (0,1 – 1 μm) ve küçük demir ve alüminyum yumaklar (20 – 30 μm) bu gözeneklerde tutulamazlar (Kestioğlu ve Şen, 2003). Bu sebeple giderilemeyen bu maddelerin bertarafı için ek arıtma ünitelerinin kullanılması zorunlu olmaktadır. Arıtım aşamasında kullanılacak her bir ek ünite, ek yatırım ve işletme maliyeti anlamına gelmektedir.

Membran arıtma sistemlerinde ise daha basit bir ön arıtma gerekmektedir. Ön arıtmadan geçen su direk membran sisteminde arıtmaya tabi tutulur. Membran arıtma sistemlerinde kullanılan kimyasal miktarı, geleneksel arıtma sistemlerine göre çok azdır. Membran sistemlerinin kullanıldığı tesisler için gerekli yerleşim alanı gereksinimi düşüktür. Membran filtrasyon sistemlerinin ilk yatırım maliyetleri yüksektir.

Membran filtrasyon sistemleri ile suları verimli bir şekilde arıtırken, hastalık yapıcı mikroorganizmaların ürün suyuna geçişine de izin verilmemiş olur. Tablo 2.11'den de anlaşılacağı üzere sulara bulunan kirletici parametreler membran filtrasyon arıtma yöntemleri ile % 99'lara varan oranlarda arıtılabilmektedir (Öztürk, 2005). Bu sebeple son yıllarda içme ve kullanma suyu temini için en çok tercih edilen arıtma yöntemlerinden başında, membran filtrasyon sistemleri gelmektedir. Yapmış olduğumuz yer altı sularından içme suyu elde etme arıtılabilirlik çalışmasında membran filtrasyon sistemleri kullanılmıştır.

Tablo 2.11: Ters Ozmos ile Giderilen İyonlar, Metaller, Organik Maddeler ve Pestisitler (Öztürk, 2005)

Anyonlar, Katyonlar, Organikler, Pestisitler	Giderme (%)	Anyonlar, Katyonlar, Organikler, Pestisitler	Giderme (%)
Alüminyum	97-98	Nikel	97-99
Amonyum	85-95	Nitrat	93-96
Arsenik	94-96	Fosfat	99+
Bakteriler	99+	Polifosfatlar	98-99
Bikarbonat	95-96	Potasyum	92
Bromür	93-96	Pirojen	99+
Kadmiyum	96-98	Radyoaktivite	95-98
Kalsiyum	96-98	Radyum	97
Klorür	94-95	Selenyum	97
Kromat	90-98	Silika	85-90
Krom	96-98	Silikat	95-97
Bakır	97-99	Gümüş	95-97
Siyanür	90-95	Sodyum	92-98
Ferro siyanür	98-99	Sülfat	99+
Florür	94-96	Sülfid	96-98
Demir	98-99	Çinko	98-99
Kurşun	96-98	Virus *	99+
Magnezyum	96-98	Insecticides *	97
Mangan	96-98	Deterjanlar *	97
Qva	96-98	Herbicides *	97
% TÇM	95-99	Bor	50-70
Tiosülfat	96-98	Borat	30-50
Selenyum	90-95		

* Bu değerler tahmini değerlerdir.

Membran filtrasyon sistemleri içerisinde mikrofiltrasyon, ultrafiltrasyon, nanofiltrasyon ve ters ozmos bulunmaktadır. Membran filtrasyon sistemlerinde kullanılan membran gözenek çapları arasındaki farklar Tablo 2.12’de verilmiştir.

Tablo 2.12: Membran Gözenek Çapları (Wagner, 2001).

Ortalama Gözenek Çapları (Mikron)	
Mikrofiltrasyon Membran	0,1 – 5
Ultrafiltrasyon Membran	0,01 – 0,1
Nanofiltrasyon ve Ters Ozmos Membran	0,001 (Teorik)

Mikrofiltrasyon genel bir ifadeyle 0.6 μm ’dan daha büyük partikülleri tutmak amacıyla kullanılmaktadır. Ultrafiltrasyon için gözenek çapları genellikle 0,01–0,05 μm (normal olarak 0,01 μm) arasında veya daha düşük seviyededir (Allgeier, 2003).

Nanofiltrasyon çözünmüş bileşikleri gidermede, yumuşatma amacıyla ve en çok kullanılan yöntemler arasında bulunmaktadır (Allgeier, 2003). Nanofiltrasyon, özellikle sulu çözeltilerdeki organik maddelerin giderilmesi amacıyla kullanılır.

Nanofiltrasyon membranlarının önemli ve farklı bir özellikleri iyon seçici olmalarıdır. Bir değerlikli iyonlar membrandan büyük oranda geçerler. Fakat sülfat ve karbonat gibi iki değerlikli iyonlar önemli oranda tutulurlar.

Nanofiltrasyon membranlarının özellikleri, aşağıdaki tipik kullanım alanlarını oluşturmaktadır:

- 1) Bir değerlikli iyonlar geçerken çok değerlikli anyonların tutulması :
 - Proses ve içme sularının yumuşatılması.
 - İyon değiştirici veya ters ozmos tesisleri için ön arıtma olarak.
- 2) Bir değerlikli tuzlar geçerken organik bileşiklerin tutulması :
 - İçme suyu arıtımı
 - Tekstil ve kağıt endüstrisi atıksularının renk giderimi
 - Peyniraltı suyundan laktoz ve proteinlerin tutulması
 - Tensid içeren atıksulardaki tuzların giderimi

3) Sulu çözeltilerdeki düşük ve yüksek moleküllü maddelerin birbirinden ayrılması :

- Şarabın alkolünün giderimi
- Biyolojik arıtma basamağından önce, atıksudaki zor parçalanmış maddelerin ayrılması

Ters ozmos işleminde kullanılan membranların gözenek çapları 0.1 nm ile 1.5 nm arasında değişir (Öztürk, 2005). Diğer membran filtrasyon sistemleri, gözenek çaplarının ters ozmos membran sisteminden daha büyük olmasından dolayı, ters ozmos membran sistemi kadar hassas değildir.

Ters ozmos sistemleri, su kalitesini iyileştirmek amacı ile uygulanmaktadır.

Ters ozmos sistemleri ile,

- Çok tuzlu deniz suyunu veya hafif tuzlu suyu, içme suyuna dönüştürmek,
- Endüstriyel işletmelerde çözünmüş tuzları geri kazanmak,
- Sanayide ve içme suyunda istenen kalitede su elde etmek,
- Buhar kazanlarında kazan taşı oluşumunu önlemek,
- Sulardaki sertliği gidermek,
- Atık suları arıtmak,
- Konsantre meyve suyu ve salça elde etmek,
- Toksik maddeleri ve mikroorganizmaları bertaraf etmek,
- Kimyasal işletmelerde daha kaliteli su kullanmak

amacı ile geniş olarak kullanılmaktadır. Özellikle içme suyunda koku, tat, renk, çözünmüş maddeleri ve sertliği gidermek amacı ile ters ozmos işlemi son yıllarda geniş bir şekilde kullanılmaktadır (Öztürk, 2005).

Ters ozmos, ultrafiltrasyon ve mikrofiltrasyon membran sistemleri arıtma kabiliyetleri arasındaki farklar Şekil 2.32'de gösterilmiştir.

Ters ozmos sistemleri, laboratuvarlar, kozmetik ve ilaç sanayi, akü üretimi, diyaliz merkezleri, fotoğrafçılık endüstrisi, batarya sanayi, buz yapımı, metal kaplama sanayi, hemodiyaliz, biomedikal uygulamalar, alkolsüz ve alkollü içecek sanayi, cam sanayi,

elektronik sanayi, tekstil sanayi, hastanelerde işletme suyu ve son yıllarda ise daha kaliteli içme suyu üretiminde uygulanmaktadır. Son zamanlarda atık su arıtımında (bitkisel yağ sanayi ve tekstil atık suları gibi) ve metal sanayinde bazı metallerin geri kazanılmasında ve konsantre meyve suyu, asetik asit, fosforik asit, salça gibi maddelerin konsantre olarak elde edilmesinde kullanılmaktadır (Öztürk, 2005).

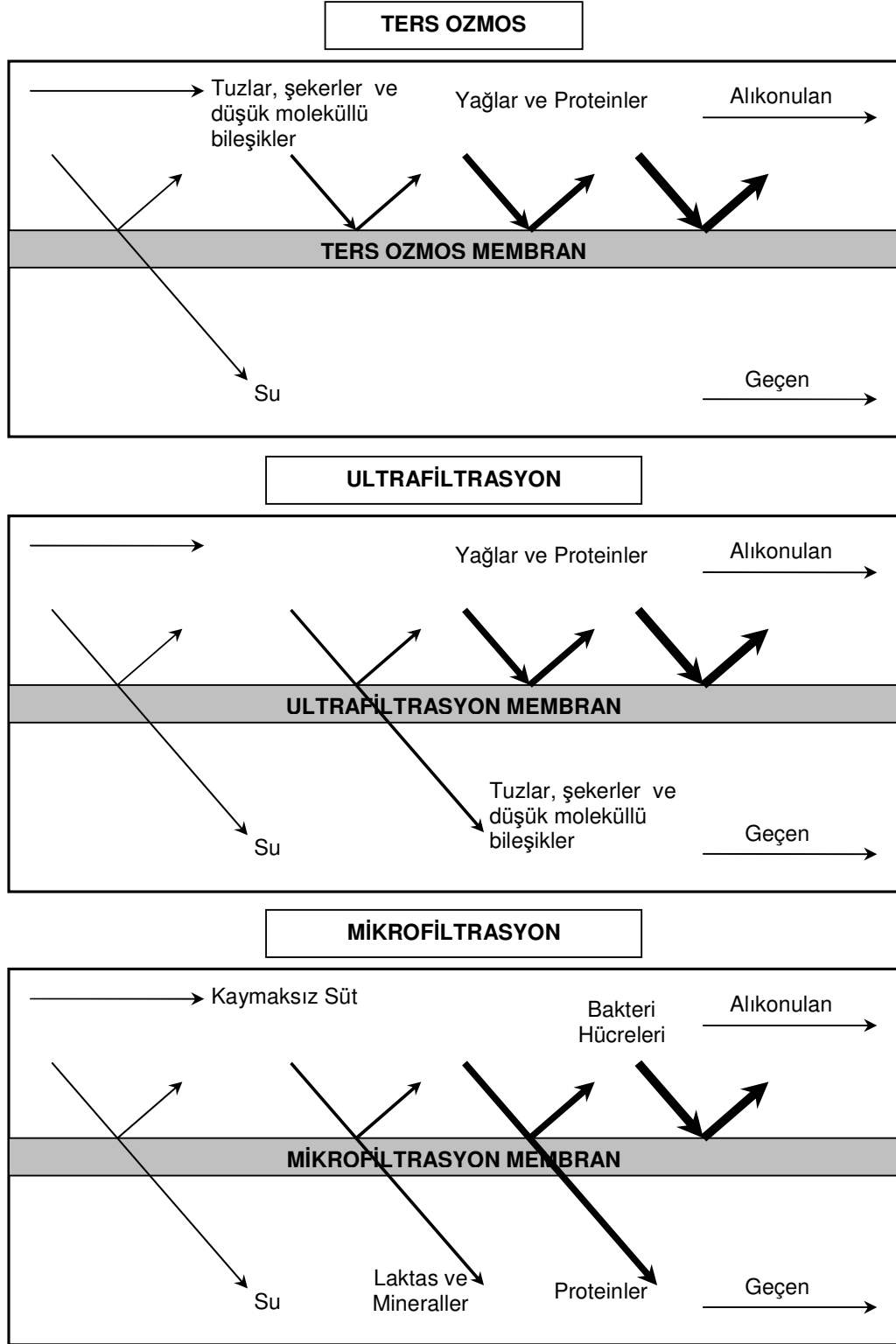
Ters ozmosla su içersinde düşük moleküllü halde bulunan, mikrofiltrasyon ve ultrafiltrasyon ile giderilemeyen, anyon ve katyon gibi iyonlan gidermek mümkündür (Şekil 2.33) (Wagner, 2001). Ters ozmos ile, belli moleküllü organik kirleticileri, bazı deterjanları ve spesifik pestisitleri gidermekte mümkündür. Çok küçük molekül ağırlıklı organik maddeleri ters ozmos ile gidermek mümkün değildir (Öztürk, 2005). Ters ozmos sistemler sulardaki tüm maddeleri gidermez. Karbon dioksit gibi gazlar yanında etanol gibi sıvıları ters ozmos membran arasından reddedilmeden geçer. Ters ozmos sistemlerde bazı organik maddeleri (tri halo metanlar, pestisitleri ve diğer VOC'ları) etkili olarak bertaraf etmek mümkün değildir (Öztürk, 2005).

Ters ozmos sistemlerle mikrobiyal canlıları gidermek mümkün olmasına rağmen sadece mikrobiyal olarak emniyetli suların beslenmesi tavsiye edilir. Bununla beraber, bazı ters ozmos sistemler, yüzeysel sularda bulunan ve su ile taşınan protozoan cysts (crytosporidium ve giardia) bertaraf etmek için kullanılır.

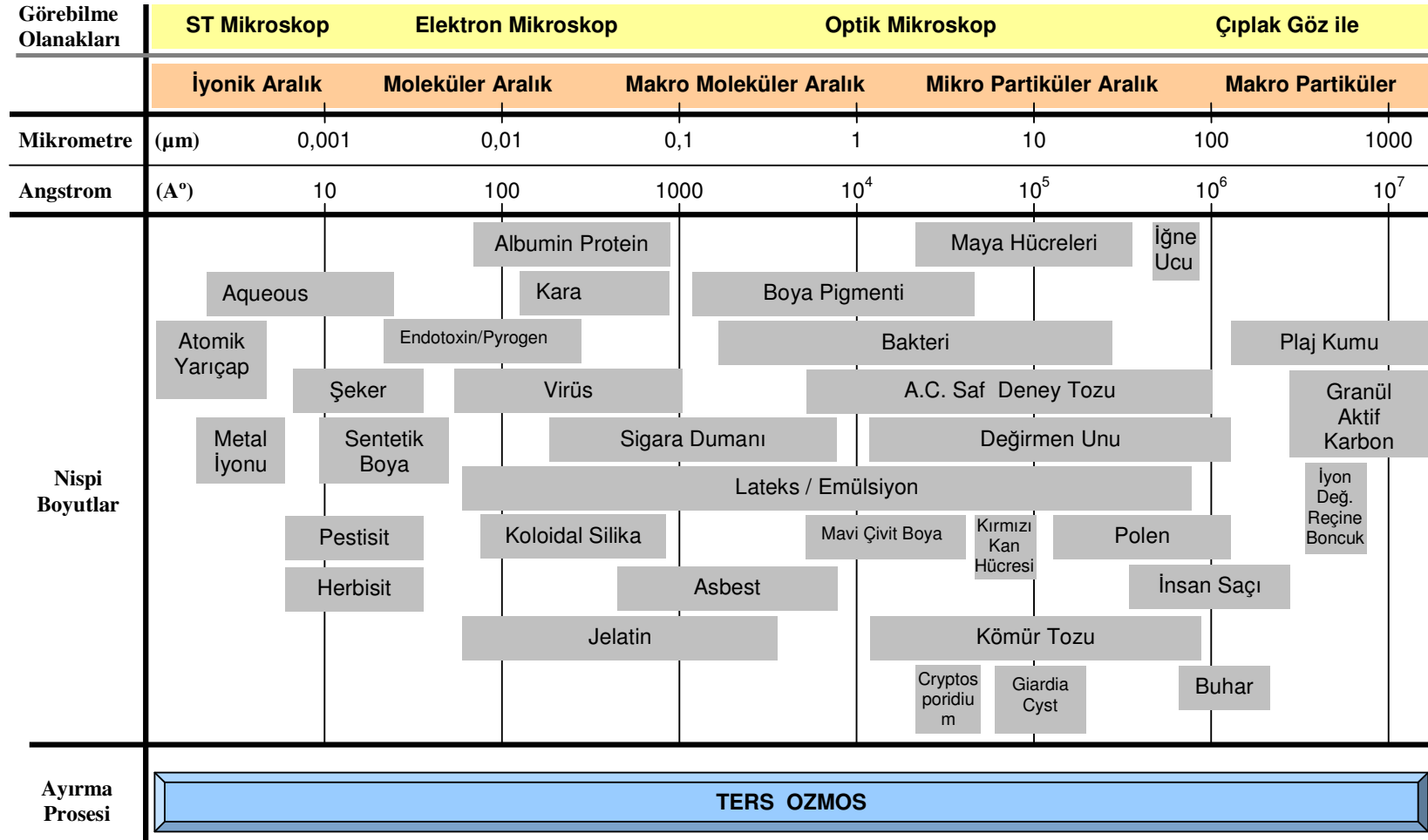
Tablo 2.13'de ise değişik araştırmacılar tarafından yapılmış ters ozmos deney sonuçları verilmiştir. Arıtım sonuçlarından da anlaşılabilceği üzere arıtım yüzdeleri çok yüksektir. İstenmeyen parametrelerde % 99'lara varan oranlarda arıtmalar gerçekleşmiştir. Diğer arıtım yöntemleri ile kombine edilmesi halinde çok yüksek kalitede su elde edilebileceği aşıkardır.

Ayrıca ters ozmos, ultrafiltrasyon ve mikrofiltrasyon membran sistemleri ile reddedilen kirleticiler ve aralarındaki farklar Şekil 6'da verilmiştir (Öztürk, 2005).

Tüm bu veriler ışığında yer altı sularından içme suyu elde etme çalışmasında kullanılabilcek en iyi membran filtrasyon sistemi olarak ters ozmos membran sisteminini söyleyebiliriz. Bu sebeple yer altı sularından içme suyu elde etme çalışmasında ters ozmos membran sistemi kullanılmıştır.



Şekil 2.32: Ters ozmos, Ultrafiltrasyon ve Mikrofiltrasyon Arıtma Kabiliyeti (Öztürk, 2005)



Şekil 2.33: Kirlenici Boyutuna Bağlı Olarak Filtrasyon (Wagner, 2001)

Tablo 2.13: Değişik Araştırmacılar Tarafından Yapılan Ters Ozmos Deney Sonuçları

Parametre	Birim	Hasnain ve Alajlan, 1998			Arora ve ark., 2004			Schoeman ve ark., 2000			NSF International, 2001a			NSF International, 2001b		
		Giriş	Çıkış	% Arıtım	Giriş	Çıkış	% Arıtım	Giriş	Çıkış	% Arıtım	Giriş	Çıkış	% Arıtım	Giriş	Çıkış	% Arıtım
Elektriksel İletkenlik	µs/cm	8900	230	97,4	---	---	---	---	---	---	780,8	9,62	98,8	775,2	8,63	98,9
pH	---	7,3	6,0	---	8,8	6,7	---	10	6	---	7,31	5,94	---	7,33	5,55	---
Sertlik	Fr	285	2,0	99,3	98,6	31,8	67,8	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Kalsiyum	mg/L	722	4,0	99,5	227,7	67,0	70,5	49,0	0,8	98,4	---	---	---	---	---	---
Magnezyum	mg/L	254	2,4	99,1	101,3	31,6	68,8	11,0	0,2	98,2	39,5	< 0,1	99,8	39,6	< 1,0	97,5
Demir	mg/L	---	---	---	2,1	0,25	88	0,3	0	100	1,68	<0,02	98,8	0,225	<0,02	91,1
Sülfat	mg/L	---	---	---	580	54,0	90,7	2887	49	98,3	284,0	< 20	93,0	288,0	< 20	93,1
Nitrat	mg/L	45	4,6	89,8	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Klorür	mg/L	1562	57	96,4	1974	395,0	80	272	14	94,9	5,5	< 3,0	46	5,5	< 3,0	46

2.9 Yer Altı Sularından İçme Suyu Elde Edilmesinde Kullanılan Ters Ozmos Sistemleri

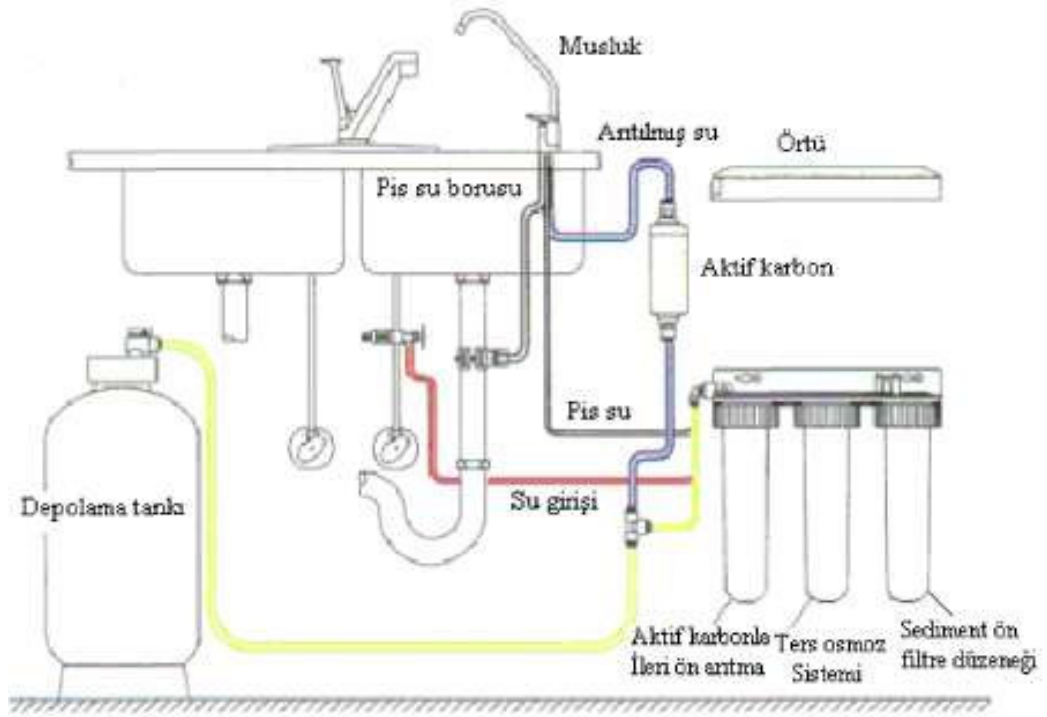
2.9.1 Düşük Basıncı Ters Ozmos (Konut Tipi) Sistemleri

Düşük basınçlı sistemler, 100 psi'den daha düşük su besleme basınçlı sistemlerdir. Evlerde kullanılan sistemler 50-70 psi basınçta çalışırlar. Bu sistemler mutfakta su besleme sistemine uygulanabilir. Bu sular evlerde genel olarak içme ve yemek pişirme suyu olarak kullanılır. Tezgah üstü sistemler, atmosferik basınçta muhafaza edilen basınçsız su depolama tanklarına sahiptir. Lavabo altı üniteler ise tank dolarken su basıncının arttığı basınçlı akümülatör depolama tankına sahiptir (Şekil 2.34 – 2.35). Bu, lavabo altı depolama tankından musluğa suyu getirmek için yeterli basıncı sağlar. Ne yazık ki bu verimliliği azaltan membrana karşı geri basınç oluşturur. Bu üniteler, gerektiği yerde artırılmış su kullanan pompalı basınçsız tanklar kullanılarak önlenebilir.

Düşük basınçlı ev sistemleri 30 ile 100 litre/gün su kapasitelerine sahiptir. Besleme suyu % 95 oranında artırılabilir. Şehir şebeke basıncıyla çalışan ev sistemleri 10 litrelik deposunu ortalama 2 ila 6 saat arasında doldurmaktadır (Kneen, ve ark, 2005). Düşük basınçlı ev sistemlerinin bakımı genel olarak kirlenen kartuş yada aktif karbon filtrenin değiştirilmesi ile gerçekleşir. Besleme suyunun kirliliğine göre kartuş filtreler ve aktif karbon filtreler yılda bir veya iki kere değiştirilmelidir.



Şekil 2.34: Düşük Basıncılı Ters Ozmos (Konut Tipi) Sistemler (Öztürk, 2005)

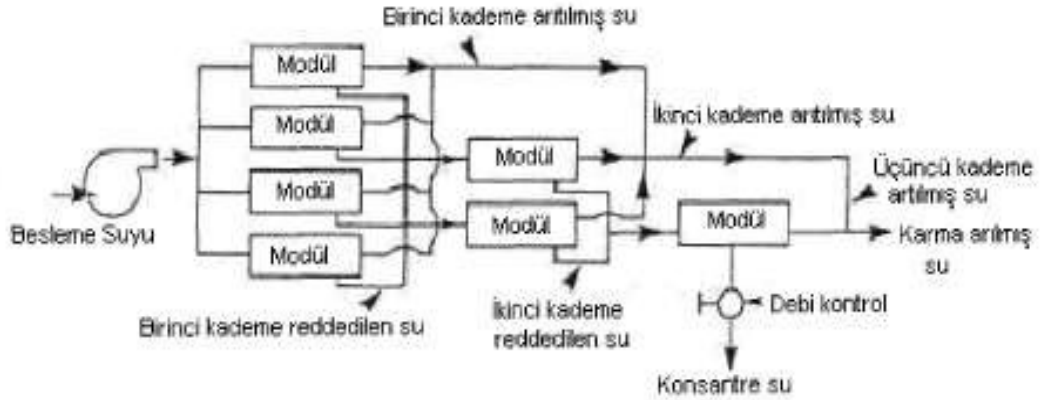


Şekil 2.35: Düşük Basıncılı Ters Ozmos Sistemler Akış Diyagramı (Öztürk,2005)

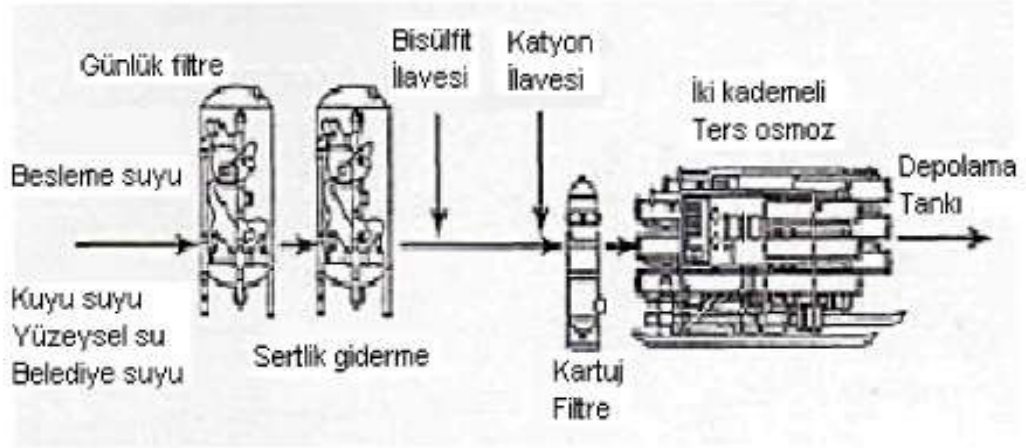
2.9.2 Yüksek Basıncılı Ters Ozmos (Ticari-Endüstriyel) Sistemleri

Yüksek basınçlı sistemler seçilen membran tipine ve arıtılacak suyun durumuna (kirlenici konsantrasyonuna, pH, sıcaklığa) bağlı olarak 100 psi ile 1000 psi arasında basınçta çalışır. 1100 ppm çözünmüş madde içeren bir suyu arıtmak için 200 psi basınç gereklidir. Bu sistemler yüksek kalitede su kullanan endüstriyle ve ticari işletmeler kullanılır.

Çoğu ticari endüstriyel sistemler gerekli su kalitesini temin etmek için paralel düzenlenmiş çok kademeli membranlar kullanırlar. Birinci kademede membrandan geçirilen su ikinci ve üçüncü kademeden geçirilerek istenen kalitede su elde edilir (Şekil 2.36). Kuyu suyu, yüzeysel su ve belediye suyunun iki kademeli ters ozmos sistemi ile arıtımına bir örnek Şekil 2.37'de verilmiştir.



Şekil 2.36: Çok Kademeli Model (Öztürk, 2005)



Şekil 2.37: İki Kademeli Ters Osmoz Sistemine Bir Örnek (Öztürk, 2005)

Tablo 2.14’de ticari-endüstriyel sistemlerde kurulu ters osmos sistemlerinin osmos cihazı haftalık kontrol formu verilmiştir. Bu kontrol formunun amacı, cihazın sağlıklı çalışmasını sağlamaktır.

Dikkat edilmesi gereken en önemli bölüm fark basınçlarıdır. Kartuş filtre fark basıncı 10 psi’i geçtiği zaman, kartuş filtrelerin kirlendiği anlaşılmaktadır ve değiştirilmesi gerekmektedir. Eğer kartuş filtre fark basınçları takibi düzenli yapılmaz ve kartuşlarda aşırı kirlenme meydana gelirse, membran sistemi hasara uğrayabilir. Şekil 2.38’de bir işletmede kireç ile tıkanmış bir kartuş filtre seti verilmiştir.



Şekil 2.38: Sudaki Kireç Yüzünden Tıkanmış Kartuş Filtre Seti (Anonim, 2006a)

Membranlar arasındaki fark basıncı dikkatle izlenmelidir. Fark basınçlardaki artış membranların tıkanma eğiliminde olduğunu gösterir. Bu yüzden ya basınçlar yeniden ayarlanmalıdır yada membranların kimyasal ile yıkanması gerekmektedir. Bir işletmede bu basınç farklarının izlenmesi düzenli yapılmadığından, membran modülleri yüksek basınca maruz kalmakta ve membranlar yarılmaktadır. Şekil 2.39’da yüksek basınca maruz kalmış ve ortadan ikiye ayrılmış bir ters ozmos membran modülü görülmektedir.



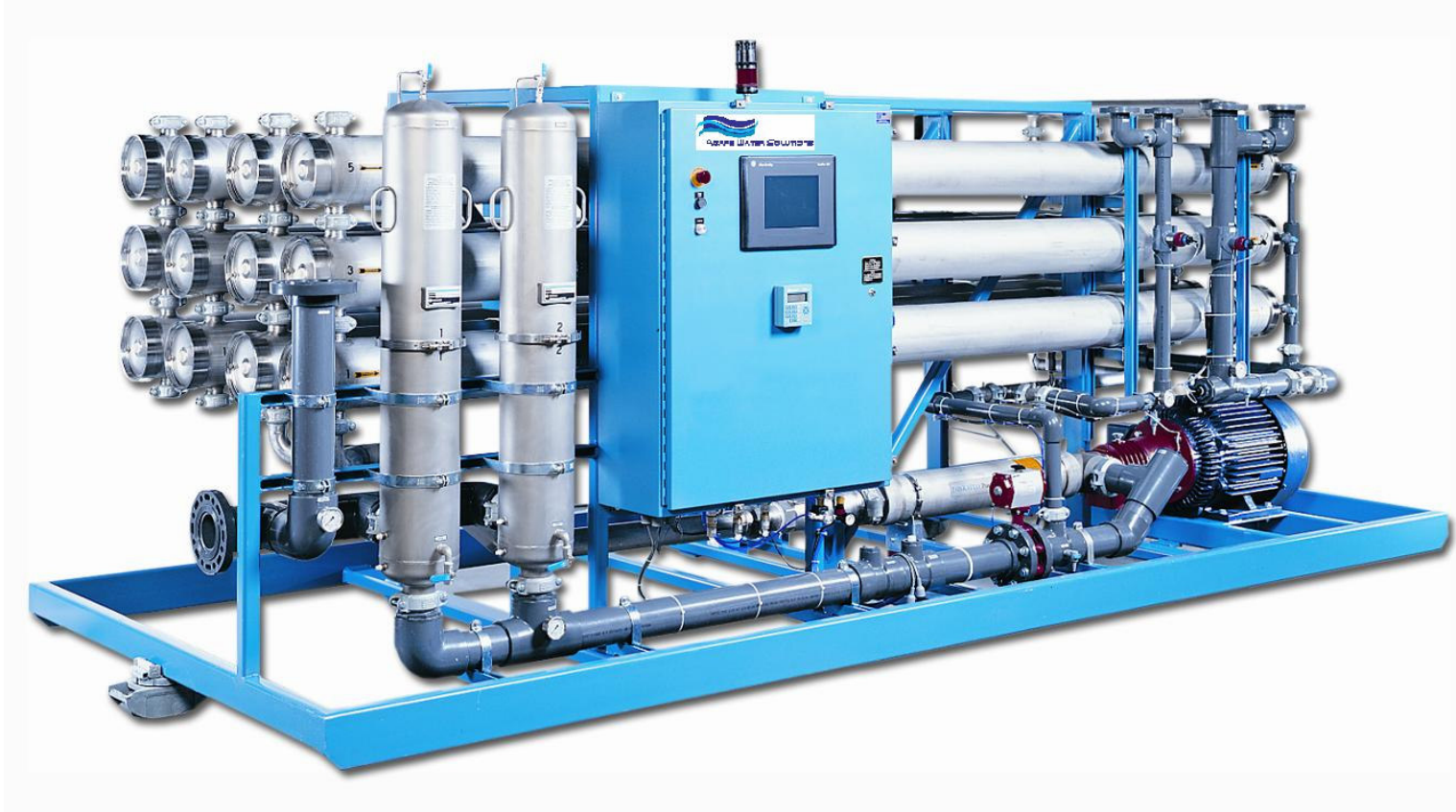
Şekil 2.39: Ortadan İkiye Ayrılmış Bir Ters Ozmos Membran Modülü (Anonim, 2006b)

Yüksek basınçlı endüstriyel tesislerde 50 litre/gün'den başlayıp binlerce litre/gün kapasiteli ters ozmos sistemleri kullanılmaktadır. Bu sistemlerde sular % 95 verimlilikte arıtılabilmektedir. Bu sistemler düşük basınçlı sistemlerden çok daha geniş ve daha komplike tesislerdir. Ek 1 ve Ek 2'de ters ozmos membran sistemi kurulmuş tesisler ile ilgili veri ve bilgiler örnek olarak verilmiştir. Ayrıca Şekil 2.40 ve 2.41'de endüstriyel tesislerde kurulu bulunan ters ozmos membran sistemlerinin resmine yer verilmiştir.



Şekil 2.40: Bir Tesiste Kurulu Ters Ozmos Membran Sistemi ⁷⁾

7) www.mnawwa.org/councils/research/Membrane%20Applications%20Presentation.ppt



Şekil 2.41: Ticari-Endüstriyel Yapıya Sahip Ters Ozmos Membran Sistemi ⁸⁾

8) <http://www.agapewater.com/ReverseOsmosisSystems.htm>

Arıtılabilirlik çalışmasında kullanılan ve Şekil 3.2’de gösterilen membran ve membran kılıfı özellikleri aşağıdaki gibidir:

- Aquamatch marka membran kılıfı kullanılmıştır.
- Filmtech marka membran kullanılmıştır.
- Spiral sargılı konfigürasyona sahiptir.
- Membran malzemesi, ince film poliamid kompozit membrandır.
- Ortalama membran alanı $1,2 \text{ m}^2$ ’dir.
- Membran boyutları 61 mm x 533 mm, kuru ağırlığı 0,5 kg’dır.
- Membran başına maksimum basınç kaybı 13 psi (0,9 bar) ’dır.
- Maksimum işletme basıncı 100 psi (6,9 bar) ’dır.
- Maksimum işletme sıcaklığı $45 \text{ }^\circ\text{C}$ ’dir.



Şekil 3.2: Membran Kılıfı ve Membran

Şekil 3.3’de gösterilen ve artırılabilirlik çalışmasında kullanılan hidrofor basınç pompası özellikleri aşağıdaki gibidir:

- 0,5 HP motor gücü
- 0,368 kW
- 220 V – 50 Hz
- 1,8 – 2,5 bar basınç ayarı
- Basınçlandırma tankı 24 L
- Pirinç gövde
- Yatay yönlü basınç pompası kullanılmıştır.

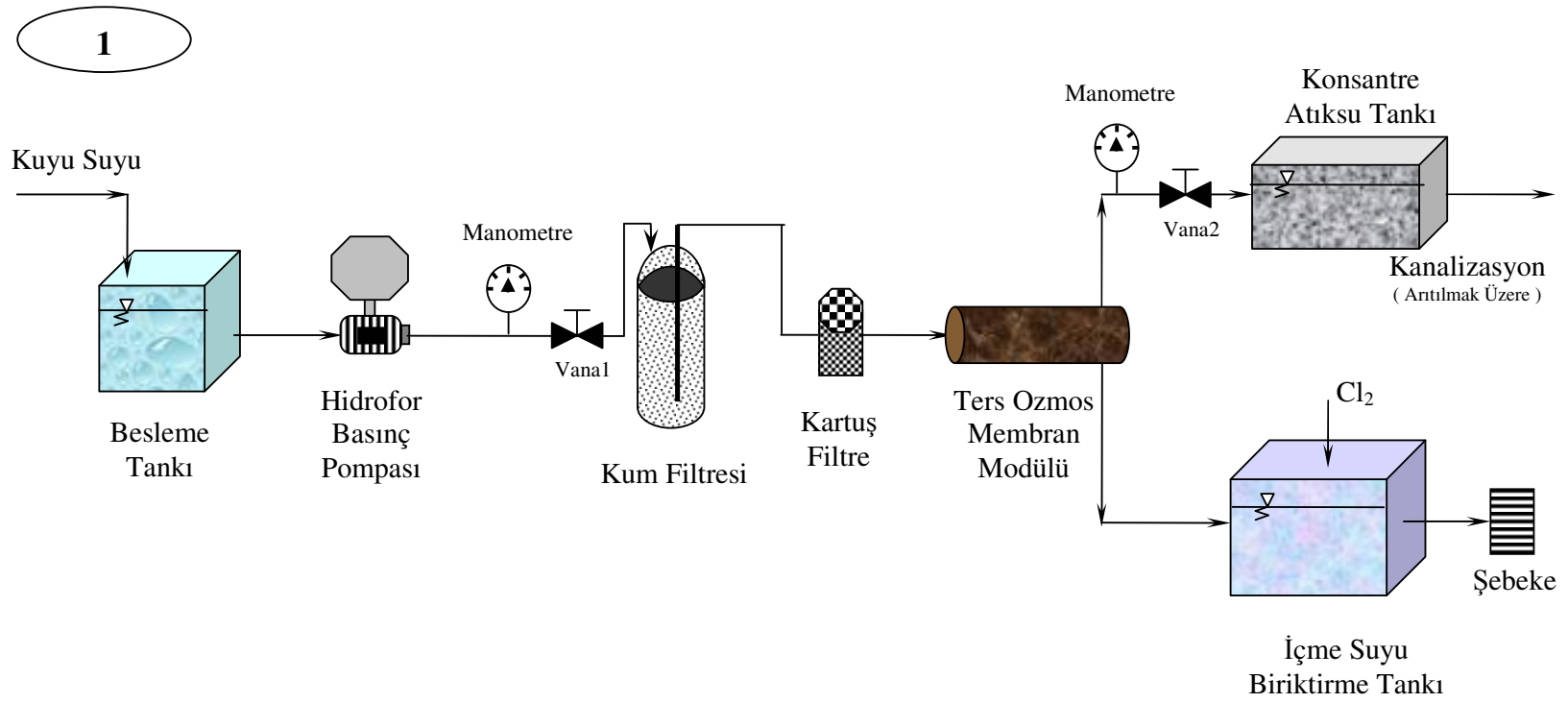


Şekil 3.3: Hidrofor Basınç Pompası

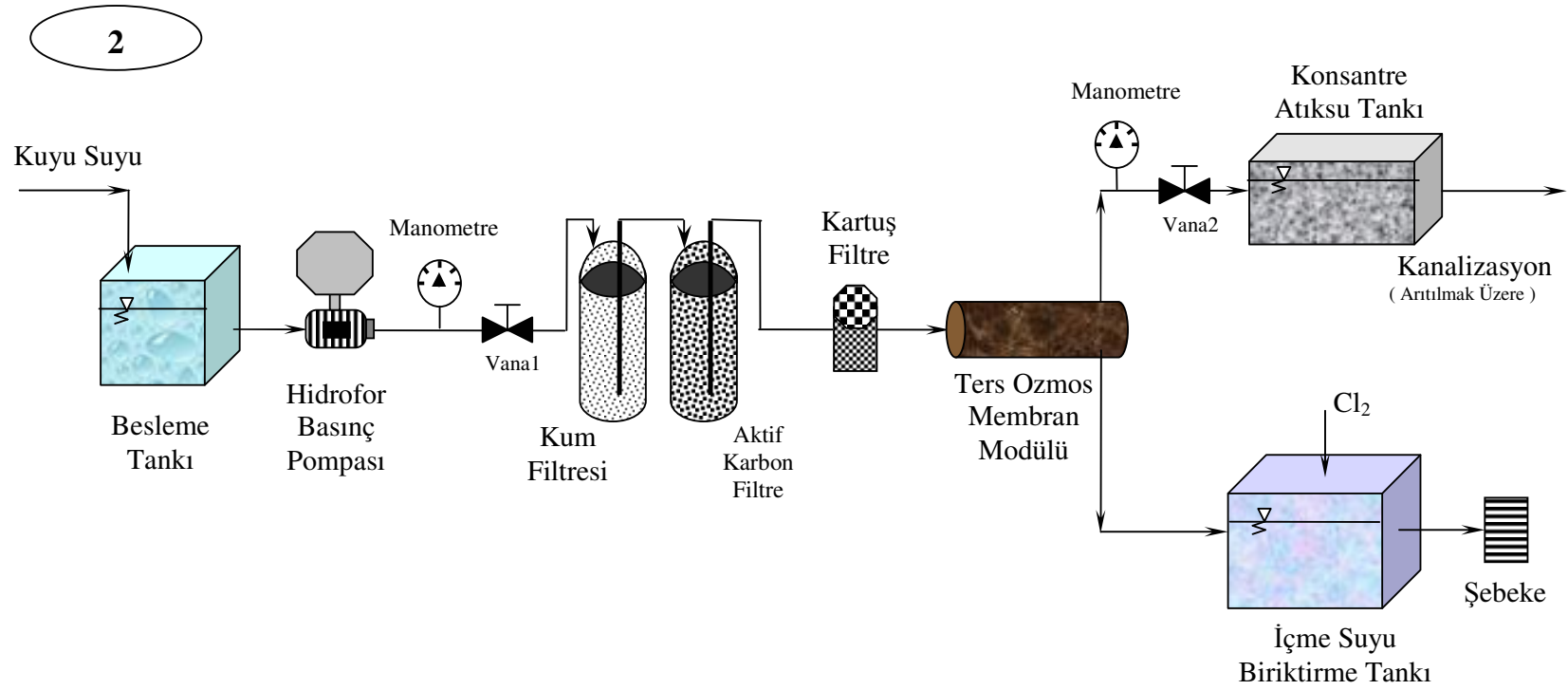
Şekil 3.4, 3.5, 3.6 ve 3.7’de bu çalışma için kurulmuş ve kullanılmış alternatif deney akım şemaları gösterilmiştir. Başlangıç olarak gerekli ölçümleri yapılmış besleme suyu hazırlanmıştır. Basınç, basınç ayar vanaları ile (Vana 1 ve Vana 2) kontrol edilmiştir. Konsantrasyon atıksu ve süzöntü suyu örnekleri ayrı ayrı toplanmış ve gerekli parametrelerin ölçümleri yapılmıştır. TS 266’da belirtilen standartlara uygun olarak numuneler alınmıştır. Sıcaklık ve elektriksel iletkenlik parametreleri JENWAY Conductivity Meter 4310 cihazı ile, pH parametresi Metrohm 704 pH Meter ile, sertlik parametresi ise kalsiyum ve magnezyum iyonlarının formül hesabı üzerinden yapılmıştır. Diğer parametreler için ise alınan su örneklerinin laboratuarda analizleri yapılmıştır. Membran deneyinde kullanılan besleme suyu işletim karakteristikleri Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1: Membran Deneyinde Kullanılan Besleme Suyu Karakteristikleri

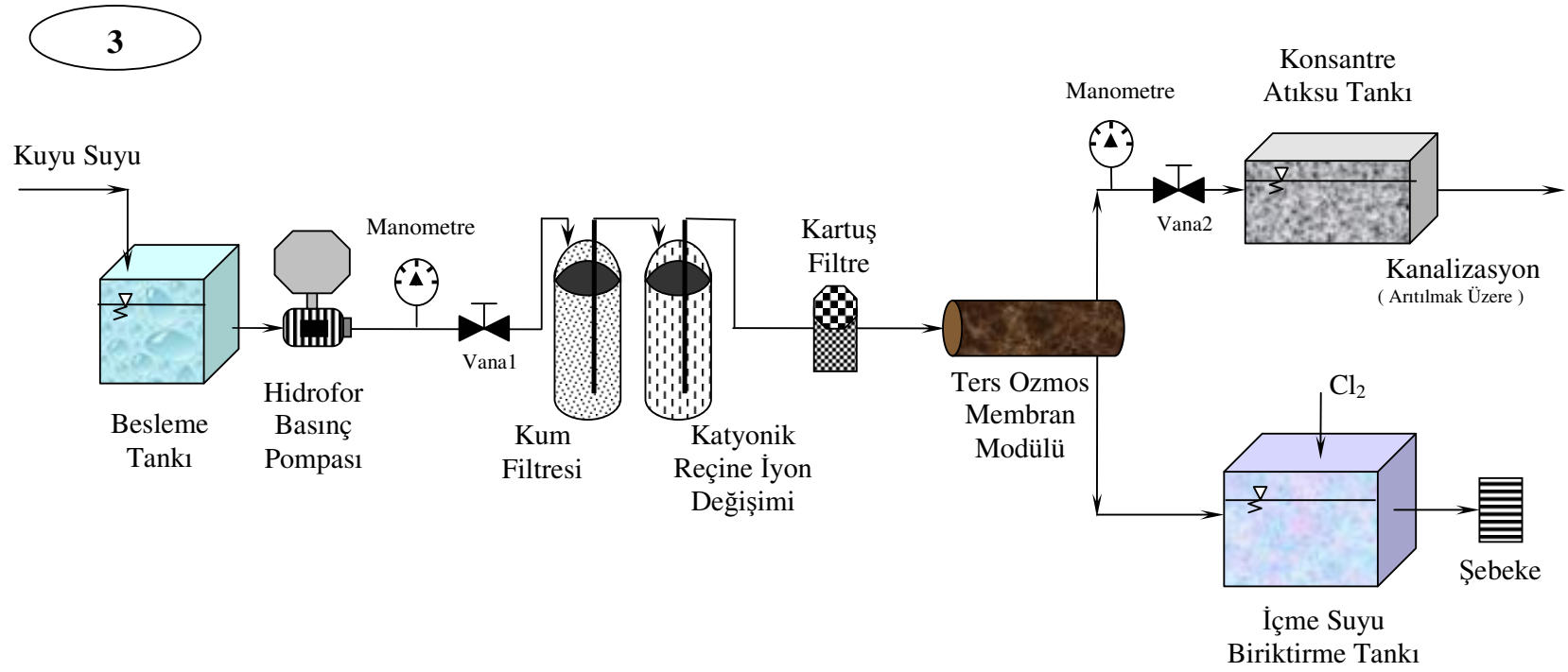
Parametre	Birim	Besleme Suyu
E. İletkenlik	$\mu\text{s}/\text{cm}$	1686,00
pH	---	7,73
Sıcaklık	$^{\circ}\text{C}$	24,00
Sertlik	$^{\circ}\text{Fr}$	14,40
Kalsiyum (Ca^{+2})	mg/L	48,00
Magnezyum (Mg^{+2})	mg/L	6,00
Sülfat (SO_4^{-2})	mg/L	362,60
Klorür (Cl^{-})	mg/L	289,50
AKM	mg/L	64,00
Sodyum (Na^{+})	mg/L	465,00
Potasyum (K^{+})	mg/L	2,20



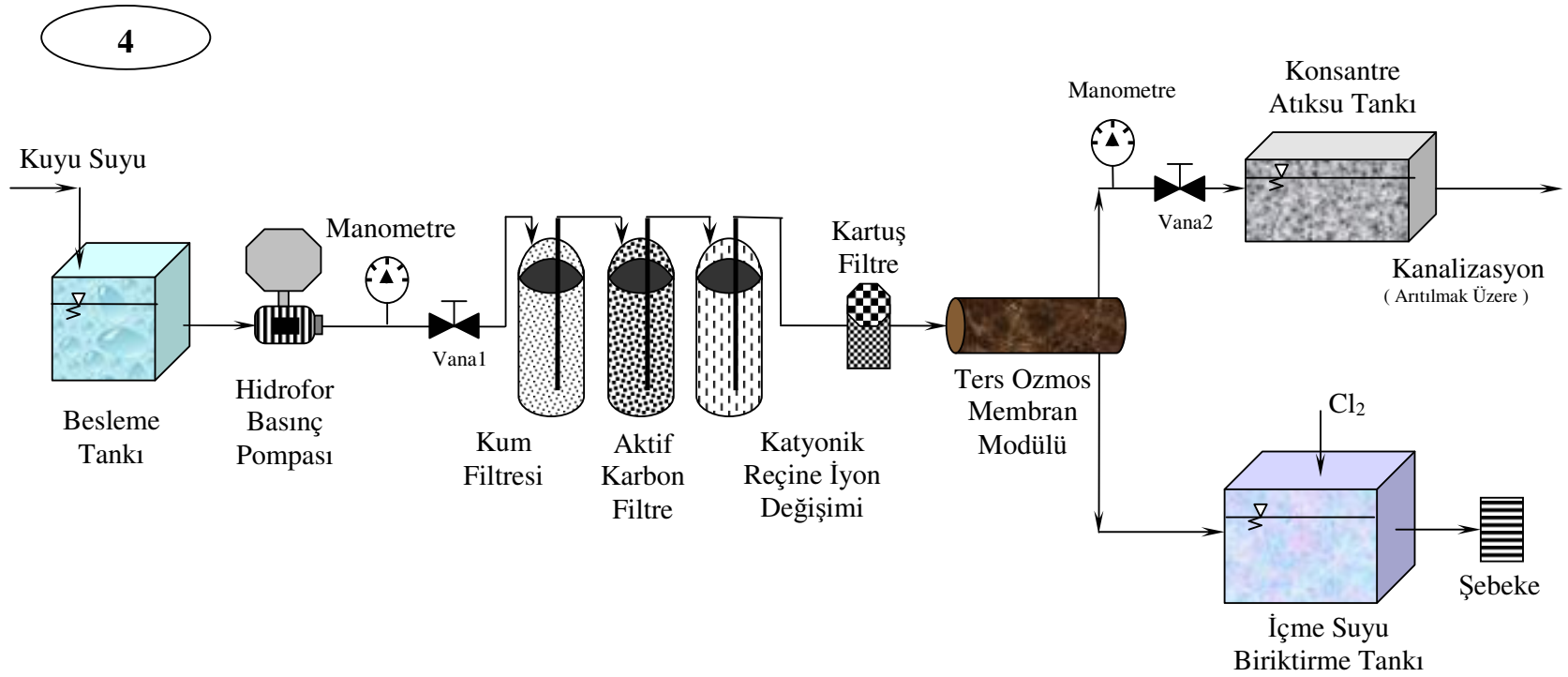
Şekil 3.4: DeneY Çalışması Alternatif Akım Şeması 1



Şekil 3.5: Deneç Çalışması Alternatif Akım Şeması 2



Şekil 3.6: DeneY Çalışması Alternatif Akım Şeması 3



Şekil 3.7: Deneysel Çalışma Alternatif Akım Şeması 4

Deney İçin Yapılan alışmalar

Yer altı suyundan ters ozmos membran sistemi kullanılarak içme suyu elde edilmesi çalışması için yapılan deneyin akışı, aşağıda adım adım verilmiştir:

A – Besleme Suyunun Hazırlanması

- 1- Deney çalışmasının yapılması için gerekli olan besleme suyu, TS 266'da belirtilen standartlara uygun olarak sahada bulunan kuyudan alınarak, 30'ar litrelik 4 adet ve 45 litrelik 1 adet olmak üzere toplam 165 litre ham su tankına dolduruldu.
- 2- Bursa Uludağ Üniversitesi evre Mühendisliği Bölümü laboraturunda, çalışma öncesi besleme suyunda bulunan kirletici parametrelerden elektriksel iletkenlik ve sıcaklık, JENWAY Conductivity Meter 4310 cihazı ile, pH ölçümü Metrohm 704 pH Meter ile, diğer parametreler için ise ölçümler laboratuarda yapıldı (Tablo 3.1).

B – Ön Arıtma

- 1- Ters ozmos membran arıtımı öncesi 4 ön arıtma alternatifinde de askıda katı maddelerin membran performansına olumsuz etki etmesini engellemek için besleme suyu kum filtresinden geçirildi. Kum filtresi filtrasyon hızı 10 m/sa olarak uygulanmıştır.
- 2- İkinci ön arıtma alternatifinde kum filtresini takiben ham su aktif karbon filtreden geçirildi. Aktif karbon filtrenin ters ozmos sisteminden önce konmasının sebebi ham suda gelecekte olabilecek klor sebebi ile membranların zarar görmesini engellemektir.
- 3- Üçüncü ön arıtma alternatifinde kum filtresini takiben katyonik reçineli (R-Na⁺) iyon değişimi yumuşatma sistemi konulmuştur. Katyonik reçineli yumuşatma sisteminin amacı ham suyun yüksek sertliğe çıkması halinde, membran sisteminin ömrünü uzatmak için kalsiyum ve magnezyum iyonlarının tutulmasıdır.

- 4- Dördüncü ön arıtma alternatifinde kum filtresini takiben hem aktif karbon filtre hem de katyonik reçineli (R-Na⁺) iyon değişimi yumuşatma sistemi kurulmuştur. Yüksek klor ve yüksek sertlikte su girişi olduğu durumlarda kullanılabilecek ön arıtma sistemidir.
- 5- Tüm ön arıtma alternatiflerinden sonra, membran sisteminde tıkanıklılık olmasını engellemek ve membran sisteminin ömrünü uzatmak için, besleme suyu 1 mikronluk kartuş filtreden geçirildi.

C – Ters Ozmos Deneyi

- 1- Ön arıtmadan geçen su, hidrofor basınç pompası yardımı ile manometreden okunarak ve konsantre atıksu hattında bulunan vana yardımı ile ayarlanarak membrana giriş basıncı 1,8 – 2,5 bar arası olacak şekilde ayarlandı.
- 2- Basıncı ayarlanan besleme suyu membran sisteminden geçirilerek arıtımı gerçekleştirildi.
- 3- Konsantre atıksu, konsantre atıksu tankına alındı ve buradan kanalizasyon sistemine verildi.
- 4- Elde edilen süzüntü suyu ise, süzüntü suyu toplama tankına alındı. Süzüntü suyunda bulunan kirletici parametrelerden elektriksel iletkenlik ve sıcaklık ölçümleri JENWAY Conductivity Meter 4310 cihazı ile, pH parametresi Metrohm 704 pH Meter ile yapıldı. Diğer parametreler için standartlara uygun olarak numune alındı ve laboratuarda ölçümleri yapıldı.

4 ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Membran sisteminde arıtımı gerçekleŐtirilen yer altı suyu örneğinden, ön arıtma alternatiflerine göre elde edilen deney sonuçları Tablo 4.1, 4.2, 4.3 ve 4.4'de verilmiştir. Şekil 4.1'de tüm arıtma alternatiflerinin bir arada gösterimi ve Tablo 4.5'de ise tüm arıtma alternatiflerinden elde edilen ters ozmos membran sznt suyu karakterizasyonlarının, TS 266 içme suyu standartlarına göre karşılaştırması verilmiştir.

Tablo 4.1: Birinci Ön Arıtma Alternatifi Deney Sonuçları

Parametre	Birim	Besleme Suyu	Kum Filtresi Çıkış	Ters Ozmos Membran Süzüntü Suyu	Ters Ozmos Membran Konsantre Atıksu	% Giderim
Debi	L/sa	2,8		0,88	1,92	
Verim	%			30,00	70,00	
E. İletkenlik	$\mu\text{s/cm}$	1686,00		143,70	2370,00	91,48
pH	---	7,73		7,58	8,06	
Sıcaklık	$^{\circ}\text{C}$	24,0		24,70	24,40	
AKM	mg/L	48,00	21,00	0,00		100,00
Sertlik	$^{\circ}\text{Fr}$	14,40		1,50		89,58
Kalsiyum (Ca^{+2})	mg/L	48,00		3,90	62,60	91,88
Magnezyum (Mg^{+2})	mg/L	6,00		< 1,00	7,00	95,00
Sodyum (Na^{+})	mg/L	465,00		31,00	800,00	93,33
Potasyum (K^{+})	mg/L	2,20		< 0,10	3,30	95,45
Sülfat (SO_4^{-2})	mg/L	362,60		107,1	483,4	70,46
Klorür (Cl^{-})	mg/L	289,50		23,63	292,46	91,84

Tablo 4.2: İkinci Ön Arıtma Alternatifi Deney Sonuçları

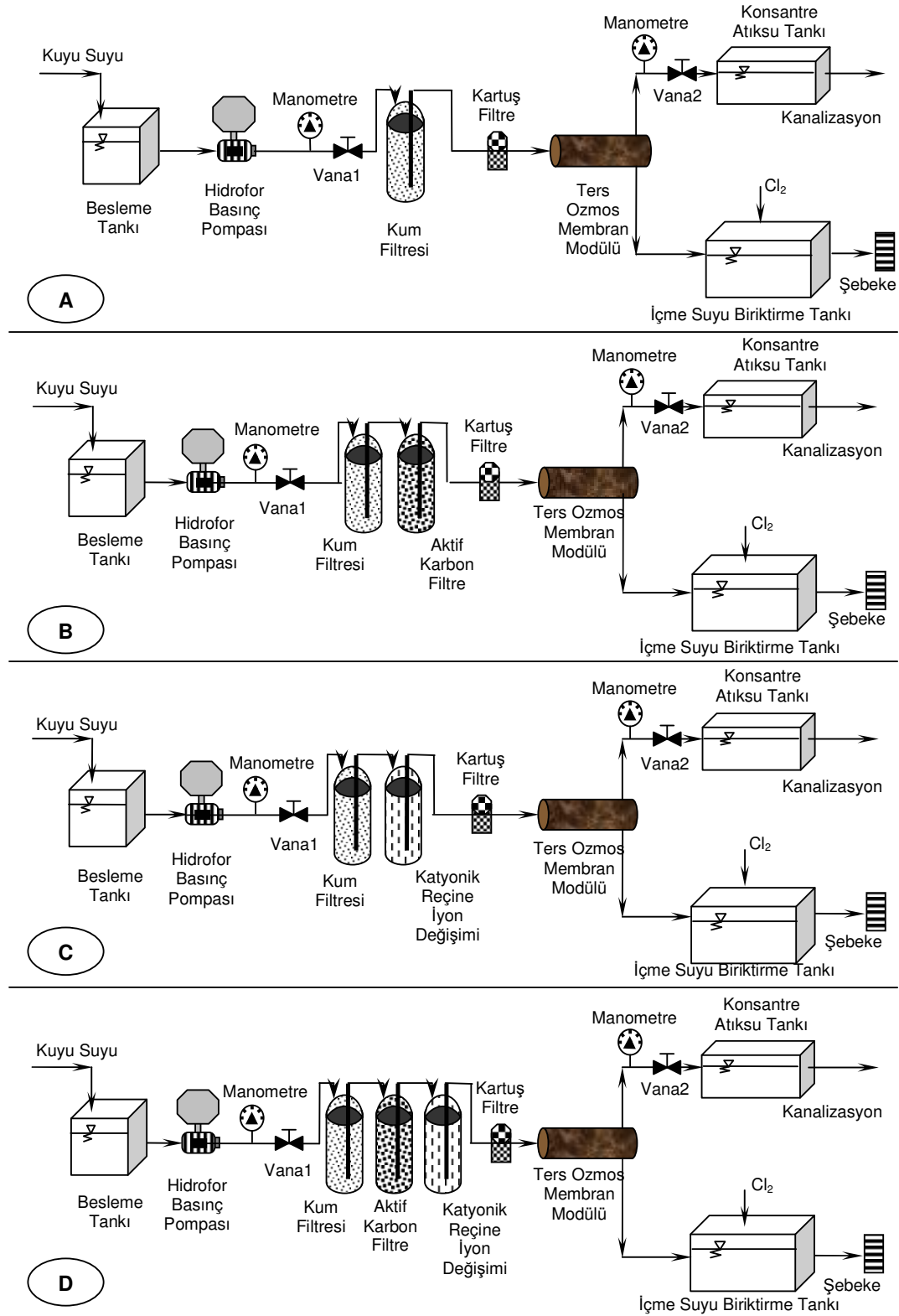
Parametre	Birim	Besleme Suyu	Kum Filtresi Çıkış	Aktif Karbon Filtre Çıkış	Ters Ozmos Membran Süzüntü Suyu	Ters Ozmos Membran Konsantre Atıksu	% Giderim
Debi	L/sa	4,6			1,00	3,60	
Verim	%				22,00	78,00	
E. İletkenlik	$\mu\text{s/cm}$	1686,00			106,50	2090,00	93,68
pH	---	7,73			7,68	8,41	
Sıcaklık	$^{\circ}\text{C}$	24,0			22,80	22,80	
AKM	mg/L	48,00	21,00	9,00	0,00		100,00
Sertlik	$^{\circ}\text{Fr}$	14,40			1,00		93,06
Kalsiyum (Ca^{+2})	mg/L	48,00			3,60	61,50	92,50
Magnezyum (Mg^{+2})	mg/L	6,00			< 1,00	6,50	95,00
Sodyum (Na^{+})	mg/L	465,00			25,40	650,00	94,54
Potasyum (K^{+})	mg/L	2,20			< 0,10	2,60	95,45
Sülfat (SO_4^{-2})	mg/L	362,60			57,70	523,00	84,09
Klorür (Cl^{-})	mg/L	289,50			17,72	293,42	93,88

Tablo 4.3: Üçüncü Ön Arıtma Alternatifi Deney Sonuçları

Parametre	Birim	Besleme Suyu	Kum Filtresi Çıkış	Yumuşatma Çıkış	Ters Ozmos Membran Süzüntü Suyu	Ters Ozmos Membran Konsantre Atıksu	% Giderim
Debi	L/sa	4,79			1,10	3,69	
Verim	%				23,00	77,00	
E. İletkenlik	$\mu\text{s/cm}$	1686,00			108,80	1955,00	93,55
pH	---	7,73			7,59	8,11	
Sıcaklık	$^{\circ}\text{C}$	24,0			23,80	22,60	
AKM	mg/L	48,00	21,00		0,00		100,00
Sertlik	$^{\circ}\text{Fr}$	14,40		-----	0,00		100,00
Kalsiyum (Ca^{+2})	mg/L	48,00		< 1,00	0,00	< 1,00	98,00
Magnezyum (Mg^{+2})	mg/L	6,00		< 1,00	0,00	< 1,00	95,00
Sodyum (Na^{+})	mg/L	465,00		520,00	25,50	570,00	94,52
Potasyum (K^{+})	mg/L	2,20		1,80	< 0,10	1,8	95,46
Sülfat (SO_4^{-2})	mg/L	362,60			49,40	542,80	86,38
Klorür (Cl^{-})	mg/L	289,50			17,72	298,37	93,88

Tablo 4.4: Dördüncü Ön Arıtma Alternatifi Deney Sonuçları

Parametre	Birim	Besleme Suyu	Kum Filtresi Çıkış	Aktif Karbon Filtre Çıkış	Yumuşatma Çıkış	Ters Ozmos Membran Süzöntü Suyu	Ters Ozmos Membran Konsantre Atıksu	% Giderim
Debi	L/sa	4,85				1,05	3,80	
Verim	%					22,00	78,00	
E. İletkenlik	$\mu\text{s/cm}$	1686,00				81,60	2152,00	95,16
pH	---	7,73				7,59	8,23	
Sıcaklık	$^{\circ}\text{C}$	24,0				20,30	21,20	
AKM	mg/L	48,00	21,00	9,00		0,00		100,00
Sertlik	$^{\circ}\text{Fr}$	14,40			---	0,00		100,00
Kalsiyum (Ca^{+2})	mg/L	48,00			< 1,00	0,00	< 1,00	98,00
Magnezyum (Mg^{+2})	mg/L	6,00			< 1,00	0,00	< 1,00	95,00
Sodyum (Na^{+})	mg/L	465,00			532,00	17,50	618	96,24
Potasyum (K^{+})	mg/L	2,20			1,90	< 0,10	1,90	95,46
Sülfat (SO_4^{-2})	mg/L	362,60				42,70	568,60	88,22
Klorür (Cl^{-})	mg/L	289,50				17,72	305,28	93,88



A: Alternatif Akım Şeması 1 B: Alternatif Akım Şeması 2 C: Alternatif Akım Şeması 3 D: Alternatif Akım Şeması 4

Şekil 4.1: Alternatif Akım Şemalarının Karşılaştırılması

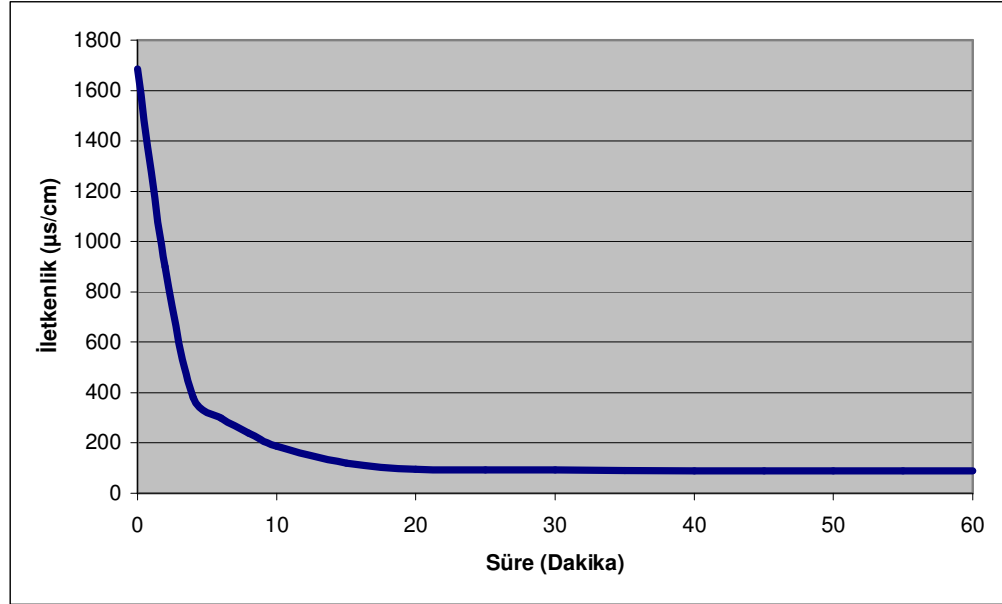
Tablo 4.5: Alternatif Akım Şemaları Deneyleri Süzüntü Sularının TS 266 İçme Suyu Standartlarına Göre Karşılaştırması

Parametre	Birim	Besleme Suyu	1. Alternatif Ters Ozmos Membran Süzüntü Suyu	2. Alternatif Ters Ozmos Membran Süzüntü Suyu	3. Alternatif Ters Ozmos Membran Süzüntü Suyu	4. Alternatif Ters Ozmos Membran Süzüntü Suyu	TS 266 İçme Suyu Standartları
Verim	%		30,00	22,00	23,00	22,00	
E. İletkenlik	$\mu\text{s/cm}$	1686,00	143,70	106,50	108,80	81,60	< 2500,00
pH	---	7,73	7,58	7,68	7,59	7,59	7,0 – 8,5
Sıcaklık	$^{\circ}\text{C}$	24,0	24,70	22,80	23,80	20,30	
AKM	mg/L	48,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Sertlik	$^{\circ}\text{Fr}$	14,40	1,50	1,00	0,00	0,00	< 50,00
Kalsiyum (Ca^{+2})	mg/L	48,00	3,90	3,60	0,00	0,00	< 100,00
Magnezyum (Mg^{+2})	mg/L	6,00	< 1,00	< 1,00	0,00	0,00	< 50,00
Sodyum (Na^{+})	mg/L	465,00	31,00	25,40	25,50	17,50	< 175,00
Potasyum (K^{+})	mg/L	2,20	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 12,00
Sülfat (SO_4^{-2})	mg/L	362,60	107,1	57,70	49,40	42,70	< 250,00
Klorür (Cl^{-})	mg/L	289,50	23,63	17,72	17,72	17,72	< 250,00

Bu çalışmalar sonucunda pH'da büyük bir değişiklik fark edilmemiştir. Dördüncü alternatifte en düşük iletkenlik değerine ulaşılmıştır (81,6 $\mu\text{s/cm}$). Her dört alternatifte de sertlik seviyeleri 2 FR'ın altına düşürülmüş. Yukarıdaki tablolardan da anlaşılacağı üzere yapılan ters ozmos arıtılabilirlik deneyleri sonrası, 4 değişik ön arıtma alternatifine göre elde edilen süzöntü suları, incelenen parametreler yönünden TS 266 içme ve kullanma suyu kriterlerine uygundur ve elde edilen bu suyun içilmesinde herhangi bir mahsur yoktur.

Elde ettiğimiz süzöntü sularının karakterizasyonlarını ve arıtma alternatiflerini karşılaştırdığımızda, maliyet açısından Şekil 3.4'de gösterilen birinci alternatif akım şemasının, bu tip yer altı sularında kullanılabileceği anlaşılmaktadır. Diğer tüm arıtma alternatiflerinde ek üniteler olması sebebi ile maliyetler artmaktadır.

Şekil 4.2'de ters ozmos deney çalışması sırasında laboratuarda takibi yapılan elektriksel iletkenlik artım grafiği verilmiştir. Grafikten de anlaşılacağı üzere yaklaşık % 91'lik bir artım gerçekleşmiştir.



Şekil 4.2: Ters Ozmos Deneyi İletkenlik Çalışması

Aritma işleminde işletme basıncının mümkün olduğunca yüksek tutulmasının sebebi daha rahat bir su akışının olmasını sağlamak ve dolayısı ile istenmeyen maddelerin membranlar yardımı ile giderilmesini kolaylaştırmaktır. Yapılan arıtma çalışması sonucunda, süzüntü suyu karakterizasyonu açısından istenilenin üstünde kalitede su elde edilmiştir. Elde edilen süzüntü suyu, hazır şişelenmiş sular kadar kalitelidir. Ölçülen parametrelerde % 90'ların üstünde bir arıtım gerçekleşmiştir. Tablo 2.13'den de anlaşılacağı üzere Hasnain ve Alajlan, 1998, Arora ve ark., 2004, Schoeman ve ark., 2000, NSF International, 2001a ve NSF International, 2001b çalışmalarında; elektriksel iletkenlik için % 97,4 - % 98,9, sertlik için % 67,8 - % 99,3, sülfat için % 90,7 - % 98,3, nitrat için % 89,8 ve klorür için % 46 - % 96,4 arasında bir arıtım sağlamışlardır. Yapmış olduğumuz yüksek iletkenliğe sahip yer altı suyundan ters ozmos yöntemi kullanılarak içme suyu elde etme çalışmasında ise, bu arıtım oranları elektriksel iletkenlik için % 91, kalsiyum için % 92, magnezyum için % 95, sülfat için %70, klorür için % 92, sodyum için % 93, potasyum için % 95 ve AKM için % 100'lük bir arıtım gerçekleşmiştir.

Bursa iline içme suyu sağlayan Dobruca yüzeysel su kaynağı içme suyu arıtma tesisi geleneksel arıtma ünitelerinin kombinesinden meydana gelmektedir. İçme suyu arıtma tesisinden çıkan ürün suyu karakterizasyonu açısından TS 266 içme ve kullanma su standartlarına uygunluk göstermektedir. Dobruca içme suyunda sertlik derecesi 19,3 Fr derecesine sahiptir ve su, içme ve kullanma maksadı olarak orta sertlikte bulunmaktadır. Elektriksel iletkenlik değeri 384 $\mu\text{s/cm}$ 'dir⁸⁾. Her ne kadar elektriksel iletkenlik üst sınırı 2500 $\mu\text{s/cm}$ olmasına rağmen içme sularında en iyi tadı almak için olması istenen değer Avrupa Topluluğu içme suyu standartlarında olduğu gibi 400 $\mu\text{s/cm}$ 'in altıdır¹⁰⁾.

Elektriksel iletkenlik için içme ve kullanma suyu yönetmelik standart üst değeri 2500 $\mu\text{s/cm}$ 'dir. Besleme suyundaki elektriksel iletkenlik değeri 1686 $\mu\text{s/cm}$, standartlar içerisinde olmasına rağmen içme sularında olması istenen değerden çok yüksektir. Hazır şişelenmiş sularda elektriksel iletkenlik değerleri ortalama 30-60 $\mu\text{s/cm}$ arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Bu çalışmada elde edilen ürün suyunda elektriksel iletkenlik

10) <http://www.buski.gov.tr/album/showp.asp?padid=215&paid=7#show>

değeri 80-140 $\mu\text{s}/\text{cm}$ arasındadır. İçme sularında 150 – 500 $\mu\text{mho}/\text{cm}$ arası iletkenlik olması istenmektedir (USEPA,1997).

Yapmış olduğumuz arıtılabilirlik çalışmasında membran sisteminden çıkan süzüntü suyunda, olması gereken bazı parametrelerin gereğinden az olduğu göze çarpmaktadır. Bu hali ile su sağlık açısından gerekli Ca^{+2} gibi bazı parametreleri yeterince içermediği görülmektedir.

İçme sularında 30 Fr sertliğinden yukarı değerler çok sert su olarak, 7,5 Fr sertliğinden düşük değerler ise yumuşak su olarak tanımlanmaktadır (Samsunlu , 1999). Orta sertlikte sayılabilecek 14,4 Fr sertlikte su membrandan geçtiğinde yaklaşık $< 1,0$ Fr sertlikte su çıkmaktadır. $< 1,0$ Fr sertliğindeki su istenen tadı vermeyebilir. Gerekli parametrelerin suya dışarıdan ilavesi ile su sertliği 5-6 Fr'a ayarlanabilir.

Elde edilen süzüntü suyu, içime ve kullanıma sunulmadan, önlem almak amacı ile süzüntü suyu toplama tankına klorlama, ozonlama gibi dezenfeksiyon yöntemleri uygulanmalıdır. Bunun sebebi elde edilen içme suyunun dağıtım sistemine verilmeden veya şişelenmeden önce depoda beklemesinden kaynaklanabilecek mikroorganizma üremesi engellemek olduğunu söyleyebiliriz.

ÖRNEK ARITMA TESİSİ DİZAYNI VE MALİYET HESABI

Örnek olarak Şekil 3.4'deki birinci alternatif akım şeması kullanılarak, 80 m³/gün besleme debisine sahip yer altı suyu kaynağından, içme suyu elde etmek için yapılacak olan arıtma tesisi için elde edilmiş veriler aşağıda verilmiştir. Pompa seçiminde, pompa satışı yapan firmalar ile görüşülmüş ve uygun pompalar seçilmiştir. Basınçlı kum filtreleri seçiminde, kum filtresi satan su arıtma firmaları ile görüşülmüş ve uygun kum filtresi seçimi yapılmıştır. Aynı şekilde ters ozmos arıtım ünitesi için de, ters ozmos arıtım sistemleri satışı yapan firmalar ile görüşülmüş ve uygun sistemler seçilmiştir.

Ekipman Teknik Bilgileri

HAM SU DEPOSU

Genel Bilgiler

Adet : 1 Servis
Kapasite / Adet : 30 m³

SİSTEM BESLEME HİDROFORU

Genel Bilgiler

Adet : 1
Tavsiye Edilen Min. Kapasite : 2 x 4 m³/sa, 4-6 bar
Pompa Sayısı : 2 (1 servis / 1 yedek)

TAM OTOMATİK ÇOK KATMANLI KUM FİLTRESİ-Zaman Kontrollü

Genel Bilgiler

Adet : 1 (1 Servis)
Debi : 4 m³/sa
Marka : *2850 Fleck Kontrol Vanalı*
Filtre kesit hızı : 19 m/sa
İşletme basıncı : 2-8 bar
Basınç Kaybı : 1 bar
Filtrasyon Hassasiyeti : ≥ 20 mikron

Ters Yıkama Süresi : 15 –20 dak
Ters Yıkama Debisi / Adet : 6,6 m³/sa

Tank

Adet : 1
Tank Ebadları : 53 cm (Çap)
Tank Kesit Alanı : 0,22 m²
Tank Malzemesi : FRP Kompozit (Fiberglass takviyeli polipropilen)

Medya

: 250 kg (Toplam)
Antrasit : 75 kg
Kum : 75 kg
Dereceli çakıl (3 tip) : 100 kg
Medya Markası : Antrasit Markası - *Aquatechnik*
: Kum ve Çakıl Markası – *Yerli*

Dizayn Kriterleri

Yatak Yüksekliği : 85 cm
Kesit Hızı : 19 m/sa
Yatak Genleşmesi : %40

Kontrol Vanası

: Servis ve ters yıkama işlemlerini otomatik olarak gerçekleştirecek kontrol vanası
Adet : 1
Marka : *2850 Fleck Kontrol Vanalı*
Giriş / Çıkış Bağlantı Çapı : 1 ½” / 1 ½”

Distribütör Sistemi

: Suyu medyaya tam olarak dağıtmak ve filtrelenmiş suyu tankın altından toplamak için kullanılır.

- Tekli üst distribütör
- Tekli alt lateral

Elektrik Bilgileri

Elektrik İhtiyacı : 220 V/ 50 Hz / 1 Ph

OTOMATİK ANTISKALANT DOZAJ ÜNİTESİ**Genel Bilgiler**

Adet : 1 (1 Servis)
Dozlanacak Kimyasal : Permatreat 191 Antiskalant
Tipi : %100 Sıvı

Pompa

Adet : 1 (1 Servis)
Pompa Tipi : Otomatik diyafram dozaj pompası
Maksimum Kapasite : 3.47 L/sa
Max. Çalışma basıncı : 7 bar

Solüsyon Tankı

Adet : 1 Servis
Malzemesi : Polietilen
Hacmi : 100 L
Markası : *Yerli*

Kontrol Ekipmanı

Adet : 1 Servis
Kontrol Ekipmanı : Seviye Çubuğu

TFZ SERİSİ REVERSE OSMOSİS CİHAZI**Genel Bilgiler**

Adet : 1
Debi : 60 m³/gün
Giriş Basıncı : Min. 3-5 bar
Verim : % 60
Kimyasal Arıtım : % 95 – 99

Kartuş Filtre

Adet	: 1
Gövde Malzemesi	: SS 304 Paslanmaz Çelik
Kartuş tipi	: Polipropilen sarım
Kartuş Modeli	: 10", 5 Micron
Kartuş Adedi	: 4

Yüksek Basınç Pompası

Adet	: 1
Çalışma Basıncı	: Maksimum 20 bar
Pompa Tipi	: Dikey- Santrifüj
Pompa Malzemesi	: SS 304 Paslanmaz Çelik
Elektrik	: 380 V / 50 Hz / 3 Ph

Membran Kılıfı

Adet	: 3
Tipi	: 4'lü membran kılıfı
Malzeme	: FRP
Dizilim	: 2 / 1

Membran

Adet	: 12
Membran Çapı	: 4"
Membran Boyu	: 40"
Membran Tipi	: TFC Spiral Sarım

<u>Sase</u>	: SS 304 Paslanmaz Çelik
--------------------	--------------------------

Enstrümantasyon**Manometre**

Adet	: 6
------	-----

TDS Monitorü&Sensörü (Ürün Hattı)

Adet	: 1
------	-----

Alçak Basınç Şalteri

Adet : 1

Yüksek Basınç Şalteri

Adet : 1

Debi Monitörü ve Sensörü

Monitör / Adet : 1

Sensör / Adet : 2

Vanalar

Elektrik Aktüatörlü Kelebek Vana / Adet : 1

Numune Musluğu / Adet (Her Membran Kılıfı Çıkışında) : 3

Globe Vana / Adet (Yüksek Basınç Pompası Çıkışı ve Drenaj hattında) : 2

Küresel Vana / Adet : 2

Çek Vana / Adet : 1

Solenoid Vana / Adet : 1

Borulama – Alçak Basınç

Malzeme : PN 16 PVC Boru ve Fittings

Borulama – Yüksek Basınç

Malzeme : SCH5 Normu SS 304 Paslanmaz Çelik Boru ve Fittings

TERS OZMOS SİSTEMİ KONTROL PANOSU

Su Arıtma sistemi kontrol panosu, sistemin çalışma prensibini ve ekipmanlarını kontrol edecektir. Ana kontrol panosunda bu amaçla endüstriyel tip bir PLC (Programable Logic Controller) kullanılmaktadır.

Genel Bilgiler:

- IP54 koruma sınıfı
- Elektrostatik fırın boyalı
- Şaseye monteli duvar tipi veya ayaklı tip pano
- Elektrik Beslemesi: 380V/50Hz/ 3Ph

Pano içi malzemeleri:

- Mını PLC (max 16 input / 12 output
- Hafıza Modülü (Elektrik Kesintisi için)
- Güç Kaynağı

- Yüksek basınç ve yıkama pompaları güç devresi elemanları (Motor koruma şalteri, kontaktör vb.)

Kapak üzerindeki malzemeler:

- Devre Kesici Ana Şalter
- Faz Gösterge Lambaları
- Çalışma Saati
- İletkenlik Analizörü
- Debi Analizörü
- Acil stop butonu
- Sistem kumanda butonları
- Sistem durum ve ikaz lambaları
- Yüksek Basınç Pompası açma/kapama anahtarı
- Kumanda açma/kapama anahtarı

TERS OZMOS YIKAMA ÜNİTESİ

Genel Bilgiler

Adet	: 1
Debi	: 55 m ³ /gün
Basıncı	: Min. 3-5 bar
Çıkış Bağlantı Çapı	: ½" (Hortum Rekoru ile)

Kartuş Filtre

Adet	: 1
Gövde Malzemesi	: Plastik
Kartuş Modeli	: 20", 5 Micron
Kartuş Adedi	: 1

Yıkama Pompası

Adet	: 1
Çalışma Basıncı	: 3-5 bar
Pompa Tipi	: Santrifüj
Pompa Malzemesi	: Döküm Gövde – Paslanmaz Çelik İç Aksam

Yıkama Tankı*

Hacim : 185 lt

Sase : SS 304 Paslanmaz Çelik**Enstrümantasyon****Manometre**

Adet : 1

Vanalar

Küresel Vana : 1 tkm (Pompa emiş, geri devir ve tank tahliye)

Elektrik

Motor Direkt Starter, Fiş ve Priz dahil : 1

SÜZÜNTÜ SUYU DEPOSU**Genel Bilgiler**

Adet : 1 Servis

Kapasite : 50 m3

OTOMATİK KLORLAMA ÜNİTESİ**Genel Bilgiler**

Adet : 1 (1 Servis)

Dozlanacak Kimyasal : Sodyum Hipoklorit

Tipi : %12 Sıvı

Pompa

Adet : 1 (1 Servis)

Pompa Tipi : Otomatik diyafram dozaj pompası

Maks. Kapasite : 3,47 Lt/saat

Max. Çalışma basıncı : 7 bar

Solüsyon Tankı

Adet	: 1 Servis
Malzemesi	: Polietilen
Hacmi	: 100 Lt

Kontrol Ekipmanı

Adet	: 1 Servis
Kontrol Ekipmanı	: Seviye Çubuğu

80 m³/gün besleme debisine sahip, % 60 - 65 verim ile çalışan içme suyu arıtma tesisi ilk yatırım maliyeti Tablo 4.6'da verilmiştir.

Tablo 4.6: İçme Suyu Arıtma Tesisi İlk Yatırım Maliyeti

MALZEME	FİYAT
Ham Su Deposu	350 € + KDV
Otomatik Çok Katmanlı Kum Filtresi	1.500 € + KDV
Otomatik Antiskalant Dozaj Ünitesi	425 € + KDV
Ters Ozmos Sistemi	16.500 € + KDV
Membran Yıkama Ünitesi	950 € + KDV
Otomatik Klor Dozaj Ünitesi	425 € + KDV
Süzüntü Suyu Toplama Tankı	450 € + KDV
TOPLAM	20.600 € + KDV

Ters ozmos sistemi için kabul edilen teknik veriler Tablo 4.7'de, maliyet hesaplarında kullanılan birim fiyatları ise Tablo 4.8'de verilmiştir.

Tablo 4.7: Ters Ozmos Sistemi İçin Kabul Edilen Teknik Veriler

Parametre	Birim	Değer
Toplam Ürün Suyu Kapasitesi	m ³ /gün	50
Sistem Verimi	%	60
Yıllık İş Günü	gün/yıl	360
Ham Su Kaynağı		Kuyu Suyu
Ham Su Maksimum İletkenlik Değeri	µs/cm	2000

Tablo 4.8: Maliyet Hesaplarında Kullanılacak Birim Fiyatları

Parametre	Birim	Fiyat
Elektrik Birim Fiyatı	€ / kWsaat	0,065
Sodyum Hipoklorit Birim Fiyatı (%12'lik Sıvı)	€ / kg	0,16
Antiskalant Birim Fiyatı (% 100'lük Sıvı)	€ / kg	8,00
Kartuş Filtre Birim fiyatı (10", 5 mikron)	€ / adet	2,00
Membran Birim Fiyatı (4" x 40")	€ / adet	290,00

NOT: Personel giderleri, atılan suyun maliyeti işletme maliyetlerine dahil edilmemiştir. elektrik sarfiyatları hesabı için üretici firma tarafından verilen pompa çalışma eğrileri kullanılmıştır.

Ters ozmos içme suyu arıtma sistemi için elde edilen yıllık elektrik işletme maliyetleri Tablo 4.9'da, yıllık kimyasal, kartuş ve membran yenileme maliyetleri ise Tablo 4.10'da verilmiştir.

Tablo 4.9: Yıllık Elektrik Maliyetleri

Ekipman	Adet	Çalışma Süresi (saat/gün)	Pompa Gücü (kW)	Yıllık Harcanan Güç (kWsaat)	m ³ Süzüntü Suyu İçin Elektrik Maliyeti
Sistem Besleme Hidroforu	1	24	1,1	9.504,00	0,03432
Dozaj Pompaları	2	24	0,2	3.456,00	0,01248
Yüksek Basınç Pompası	1	24	5,5	47.520,00	0,17160
Toplam Yıllık Harcanan Elektrik				50.976,00	
Yıllık Elektrik Maliyeti (€)				3,312	
m ³ Süzüntü Suyu İçin Elektrik Maliyeti (€)					0,184

Tablo 4.10: Yıllık Kimyasal, Kartuş ve Membran Yenileme Maliyetleri

Parametre	Dozaj (kg/gün) - Adet	Yıllık Masraf (€/yıl)	m ³ Süzüntü Suyu İçin Kimyasal / Kartuş / Membran Maliyeti
Sodyum Hipoklorit Sarfiyatı	1 kg/gün	58	0,005
Antiskalant	1,13 kg/gün	3.254	0,181
Kartuş Filtre *	4 adet	69	0,004
Membran **	12 adet	1.160	0,064
Yıllık Kimyasal, Kartuş ve Membran Yenileme Maliyeti (€ / yıl)		4.541	
m ³ Süzüntü Suyu İçin Kimyasal, Kartuş ve Membran Yenileme Maliyeti (€ / yıl)			0,249

* Kartuş filtre değişim süresi 6 hafta kabul edilmiştir.

** RO membranları değişim süresi 3 yıl kabul edilmiştir.

Tablo 4.9 ve Tablo 4.10'daki veriler ışığında yıllık ters ozmos sistemi işletme maliyetinin 7.854 € olduğu, m³ süzüntü suyu için işletme maliyetinin ise 0,44 € olduğu anlaşılmaktadır.

45.000 m³/gün ve 80.000 m³/gün besleme debili yer altı suyundan ters ozmos membran sistemi kullanılarak yapılan bir arıtılabilirlik çalışmasında yatırım maliyetleri 1,09 \$/m³ ila 1,25 \$/m³ arasında bulunmuştur. İşletme maliyetleri ise 0,43 \$/m³ ila 0,88 \$/m³ arasında bulunmaktadır (Schoeman ve ark, 2000). Yapmış olduğumuz çalışmada ise dolar bazında yatırım maliyeti 1,7 \$/m³, işletme maliyeti ise 0,57 \$/m³ çıkmıştır. Sonuçlar birbirine benzerlik göstermektedir.

Ülkemizde m³ bazında su satışlarının ortalama 1,6 € (3 YTL) civarında olduğunu düşünürsek 50 m³/gün kapasiteli bir arıtma tesisinden yılda 29.200 € kazanç sağlamak mümkündür. Ters ozmos içme suyu arıtma tesisi yatırım ve işletme maliyeti toplamı yıllık 33.600 €'dur. İçme suyu arıtma tesisinden elde edilen suyun satışı ile arıtma tesisi kendini 14 ay gibi bir sürede amorti edecektir.

Tercih edilen içme suyu arıtma tesisi, klasik içme suyu arıtma tesislerine yüksek kurulum ve işletme maliyetlerine sahiptir. Bu sebeple büyük kapasitelerde kurulması günümüz şartlarında zor gözükmektedir. Kendisini kısa sürede amorti edebilecek olması sebebi ile, şehir şebekesinin ulaşamadığı bölgelerde, küçük yerleşim bölgelerinde, otellerde vb. kurulması mümkün gözükmektedir.

KAYNAKLAR

- AKPINAR, K., 2005. Dünyada ve Türkiye’de Suyun Kullanımı ve Geleceğimiz için Önemi, Sağlık Bakanlığı Temel Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü Hizmet İçi Eğitimi, Kasım, Yalova.
- ALLGEIER, S. 2003. Membrane Filtration Guidance Manual. Office of Water, United States Environmental Protection Agency.
- ANONİM, 1974. Gıda Maddeleri Tüzüğü – İçme ve Kullanma Sularının Nitelikleri, 17.06.1974 Tarih ve 14918 Sayılı Resmi Gazete.
- ANONİM, 1998. Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği, 4 Eylül 1988 Tarih ve 19919 Sayılı Resmi Gazete.
- ANONİM, 2003a, Su ve Atıksu Arıtımında Membran Teknolojileri, Çevre Teknolojisi Bilgi Hizmetleri (dönenceçevre).
- ANONİM, 2003b, İçilebilir Nitelikteki Suların İstihsalı, Ambalajlanması, Satışı Ve Denetlenmesi Hakkında Yönetmelik, T.C Sağlık Bakanlığı Temel Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Çevre Sağlığı Daire Başkanlığı Su Güvenliği Ve Sağlığı Şube Müdürlüğü.
- ANONİM, 2005, TS 266, Sular-İnsani Tüketim Amaçlı Sular, TSE, Ankara.
- ANONİM, 2006a. Eskişehir’de Özel Bir İşletme.
- ANONİM, 2006b. Kahramanmaraş’da Özel Bir İşletme.
- ANONİM, 2006c. FILMTEC Membranes, DOW (Trademark of The Dow Chemical Company), www.filmtec.com.
- ANONİM, 2006d. Aquamatch Türkiye Su ve Atıksu Arıtım Sistemleri, Ters Ozmos Sistemi İşletme ve Bakım Kılavuzu.
- ARORA, M., R.C.MAHESHWARI, A.GUPTA and S.K.JAIN. 2004. Use of membrane technology for potable water production. Centre for Rural Development and Technology, Indian Institute of Technology, New Delhi, India.
- AQUAMATCH Türkiye, 2006, Su ve Atıksu Arıtım Sistemleri, Reverse Osmosis Sistemi İşletme ve Bakım Kılavuzu.
- BAKER, R.W. 2004. Membrane Technology and Applications. Second Edition, Wiley Publishers, England.
- BAYKAN, A.R. 2004. Türkiye Çevre Atlası. T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı ÇED ve Planlama Genel Müdürlüğü, Çevre Envanteri Dairesi Başkanlığı, Ankara.

BİLİM ve TEKNİK DERGİSİ, 2005. Bilim ve Teknik Süreli Yayın Dergisi, Yeni Ufuklara: SU Eki, Kasım Sayısı.

BOTKIN , D. ve E. KELLER, 1995. Environmental Science, John Wiley Sons New York, USA.

BOZDAĞ, Ş., İ.ÇOBANOĞLU, H. KUMSAR ve D.ÇOBANOĞLU. 2006. Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) Kullanılarak Adana İli Yerleşim Alanının Hidrojeolojik Özellikleri ve Su Kalitesinin Değerlendirilmesi. Pamukkale Üniversitesi Bilgi Teknolojileri Kongresi IV, Akademik Bilişim 2006.

BRASS, H.J., M.J., WEISNER, B.A., KINGSLEY, 1977. The National Organic Monitoring Survey,: A Sampling Group Analysis Purgeable Organic Compounds In: Drinking Water Quality Enhancement Through Source Protection, Pojasek RB.(ed), Ann Arbor Science, Ann Arbor.

ERGUVANLI, K. ve E. YUZER, 1987. Yer altı suları Jeolojisi (Hidrojeoloji), İstanbul Teknik Üniversitesi, Yayın No:23, İstanbul.

EROĞLU, V. 1995. Su Tasfiyesi, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.

GÖZENÇ, S., E.GÜMÜŞ ve G.ERTİN. 1998. Türkiye Coğrafyası. Anadolu Üniversitesi Açıköğretim Fakültesi İlköğretim Öğretmenliği Lisans Tamamlama Programı, Anadolu Üniversitesi.

GÜLER, Ç. ve Z. ÇOBANOĞLU, 1997. Su Kalitesi, Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi No: 43, Birinci Baskı, Ankara.

HASNAIN, S.M. and S.A.ALAJLAN. 1998. Coupling of PV-powered RO Brackish Water Desalination Plant with Solar Stills. Desalination 116.

KESTİOĞLU, K. ve M.ŞEN. 2003. Su ve Atıksu Arıtımında Fiziksel Temel İşlemler. Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Bursa.

KESTİOĞLU, K. 2007. İçme Sularının Arıtılması Ders Notları, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Bursa.

KNEEN, B., A.LEMLEY and L.WAGENET. 2005. Reverse Osmosis Treatment of Drinking Water. Water Conditioning & Purification, <http://www.wcponline.com/NewsView.cfm?pkArticleID=3139&KW=reverse%20osis>.

KOCHER, J., B. DVORAK, S. SKIPTON, 2006. Drinking Water Treatment: An Overview, University of Nebraska Lincoln Extension EC703, USA.

KOYUNCU, İ. 1997, Membran Teknolojisinin Çevre Mühendisliğinde Kullanım Potansiyeli ve Ters Ozmos ile Amonyum İyonu Giderimi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Metcalf&Eddy. 1991. Wastewater Engineering Treatment Disposal Reuse, Third Edition, M.C. Graw Hill, California, USA.

MORRIS, S. 1999. PCI Membrane Systems. Water Quality Products, March, United Kingdom.

MULDER, M. 1991. Basic Principles of Membrane Technology, Kluwer Academic Publishers, Netherlands.

MULDER, M. 2003. Basic Principles of Membrane Technology. Second Edition, Kluwer Academic Publishers, Netherlands.

NITTO DENKO, 2003, Chemical Pretreatment for RO and NF, Technical Application Bulletin No. 111 Revision B, (www.membranes.com)

NSF International. 2001a. Environmental Technology Verification Report – Removal of Arsenic in Drinking Water, KOCH Membrane Systems TFC-ULP4 Reverse Osmosis Membrane Module Park City, UT, U.S. Environmental Protection Agency. USA.

NSF International. 2001b. Environmental Technology Verification Report – Removal of Arsenic in Drinking Water, Hydranautics ESPA2-4040 Reverse Osmosis Membrane Element Module, U.S. Environmental Protection Agency. USA.

ÖZTÜRK, M. 2005, Ters Ozmos Sistemlerle Suların Arıtımı. Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Ders Notları.

SAMSUNLU, A. 1999. Çevre Mühendisliği Kimyası, Samsun Ondokuz Mayıs Üniversitesi Çevre Teknolojileri Merkezi Yayınları, Samsun.

SCHOEMAN, J.J. and A.STEYN. 2000. Investigation into alternative water treatment Technologies for the treatment of underground mine water discharged by Grootvlei Proprietary Mines Ltd into the Blesbokspruit in South Africa. CSIR Environmentek, South Africa.

Su Dünyası Dergisi, 2003, Türkiye’de ve Dünyada İçme Suyu Kullanımı ve Arıtma Teknolojisi, Devlet Su İşleri Vakfı Aylık Dergisi, Aralık 5.Sayı, s:32-34.

WAGNER, J. 2001. Osmonics Membrane Filtration Handbook, Practical Tips and Hints. Osmonics Company, Second Edition.

UDEH, P.J. 2004. A Guide to Healty Drinking Water: All You Need to about the Water You Drink. iUniverse Publishers, USA.

USEPA, 1996. Reverse Osmosis Process, Capture Report, www.epa.org.

USEPA, 1997, Volunteer Stream Monitoring: A Methods Manual, Office of Water 4503F, Monitoring Water Quality, United States Environmental Protection Agency, November.

YARAMAZ, Ö. 1992, Su Kalitesi, Yayın No:14, Ege Üniversitesi Basımevi, Bornova, İzmir.

http://www.millipore.com/catalogue.nsf/webvirtual?open&search_criteria=ftsearch=membranes

<http://www.mnawwa.org/councils/research/Membrane%20Applications%20Presentation.ppt>

<http://www.agapewater.com/ReverseOsmosisSystems.htm>

<http://www.gewater.com>, Osmonics Company.

<http://www.buski.gov.tr/album/showp.asp?padid=215&paid=7#show>

<http://www.iski.gov.tr>

EK 1: Ters Ozmos ile Su Arıtımına Örnek 1

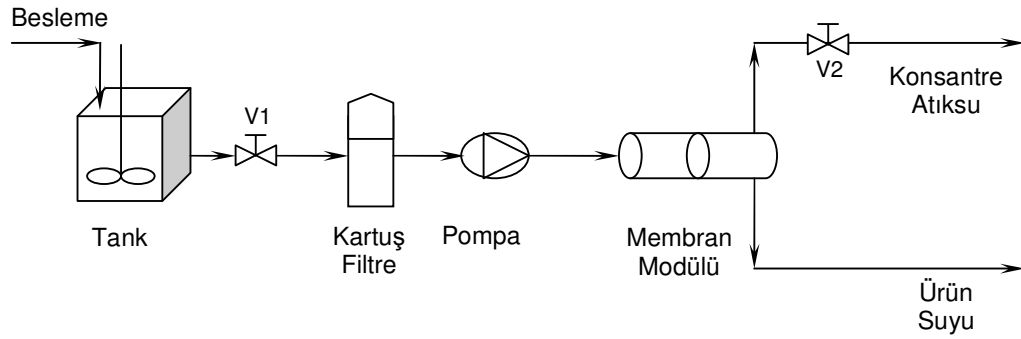
Hindistanda kırsal ve kentsel alanlardaki en büyük su kaynağı yer altı sularıdır. İçilebilir suyun kalitesi halk sağlığı açısından çok büyük önem taşıdığından düzenli olarak örnekler toplanmakta ve kontrol edilmektedir. Yer altı suyundaki en büyük problem aşırı florür içeriği, yüksek tuzluluk seviyesi, aşırı demir, arsenik ve nitrat içeriğidir. Güvenli su kaynaklarının bulunmasının güç olması yüzünden bu tip yer altı sularının arıtılmasında yeni ve alternatif arıtma yöntemlerinin araştırılmasını zorunlu kılmaktadır. Hindistan'ın birçok şehrinde yer altı suyundaki florür insan sağlığına ve fizyolojik aksiyonlarda hasara sebep olmaktadır. İçilebilir sudaki yüksek konsantrasyonda florür özellikle diş ve iskelet yapısında sorunlara neden olmaktadır. Birçok florür giderme metodunun dezavantajı: yüksek ilk yatırım maliyeti, düşük hassasiyet, düşük kapasite ve karışık veya pahalı rejenerasyon olarak sayabiliriz. Kimyasal kullanmaksızın su arıtımı için en iyi yöntem ters ozmos membran sistemidir. Birçok tesiste ters ozmos membran sistemi atıksu arıtımında, deniz suyu arıtımında ve yer altı suyu arıtımında kullanılmaktadır. Bu teknoloji istenmeyen çözünmüş maddeleri içeren, içilebilir su kaynaklarını arıtmada kullanılacak en iyi yöntemlerden biridir.

Bu metot ters ozmos membran sistemi prensibine göre çalışır. Normal ozmos olayında, tuz veya şeker ile konsantrasyonu yoğunlaştırılmış suyu yarı geçirgen bir membrandan geçirdiğimizde, yarı geçirgen membranın bir tarafında temiz su, diğer tarafında ise konsantrasyonu daha da yoğunlaşmış tuzlu veya şekerli su karışımı bulunmaktadır.

Ters ozmos membran sistemi deneylerinde ince-film poliamid kompozit membran spiral sargılı konfigürasyonu içerisine yerleştirilerek yerine getirilmiştir. Suyun membrana girmesinden önce 20 mikron gözenek çapına sahip kartuş filtreli ön arıtma sistemi kullanılmıştır. Şekil EK 1.1'de laboratuvar şartlarında kurulmuş ve kullanılmış deney diyagramı gösterilmiştir. Deneylerde 2,5 – 10,0 mg/L sodyum florür çözeltisi kullanılmıştır. Başlangıçta distile edilmiş suda yeterli miktarda sodyum florür çözültülerek besleme suyu hazırlanmıştır. Basınç, basınç ayar vanası ile kontrol edilmiştir. Konsantre atıksu ve ürün suyu örnekleri ayrı ayrı toplandı ve her bir örneğin sıcaklık, elektriksel iletkenlik ve florür konsantrasyonları ölçümleri yapıldı. Membran deneyinde kullanılan işletim karakteristikleri Tablo EK 1.1'de verilmiştir.

Tablo EK 1.1: Membran Deneyinde Kullanılan İşletim Karakteristikleri

Parametre	Değer
Membran alanı, m ²	0,323
Yüksek sıcaklık dengesi, °C	45'e kadar
Geniş pH işletme aralığı	2 – 11
İşletme basıncı aralığı, bar	10,0'a kadar
Silika reddi	Yüksek
TDS reddi	Yüksek
Ürün suyu akış hızı	~ 0,92 x 10 ⁻⁶
Hidroliz	Yok



Şekil EK 1.1: Laboratuvar Şartlarında Kurulmuş Deney Diyagramı

İşletme Basıncının Etkisi

İşletme basıncı 0,5 – 10,0 bar arasında değişmektedir. İşletme basıncındaki değişim ürün suyu akış hızına etki etmektedir. İşletme basıncının artması ile doğru orantılı olarak ürün suyu hızı ve debisinde de bir artış olmaktadır.

Besleme Suyu Akış Hızının Etkisi

Besleme suyu akış hızı, su içerisinde bulunan bütün parametrelerin geçiş özelliğine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Ozmotik basıncın artması ile besleme suyu akış hızı da artmaktadır. Bununla birlikte besleme suyu akış hızının artması, istenmeyen parametrelerin sudan ayrılmasını kolaylaştırmaktadır.

Besleme pH'ının Etkisi

Membran ayırma performansına pH'ın etkisini değerlendirecek olursak, besleme suyu pH ayarının 3,5 ila 8,0 arasında olması istenmeyen parametrelerin sudan ayrılması için uygundur. Diğer şartlar arasında besleme konsantrasyonu, akış hızı, sıcaklık ve basınç'ı sayabiliriz. Membran ayırma prosesinde pH, hidrasyon ve absorpsiyon kapasitelerini önemli ölçüde etkilemektedir.

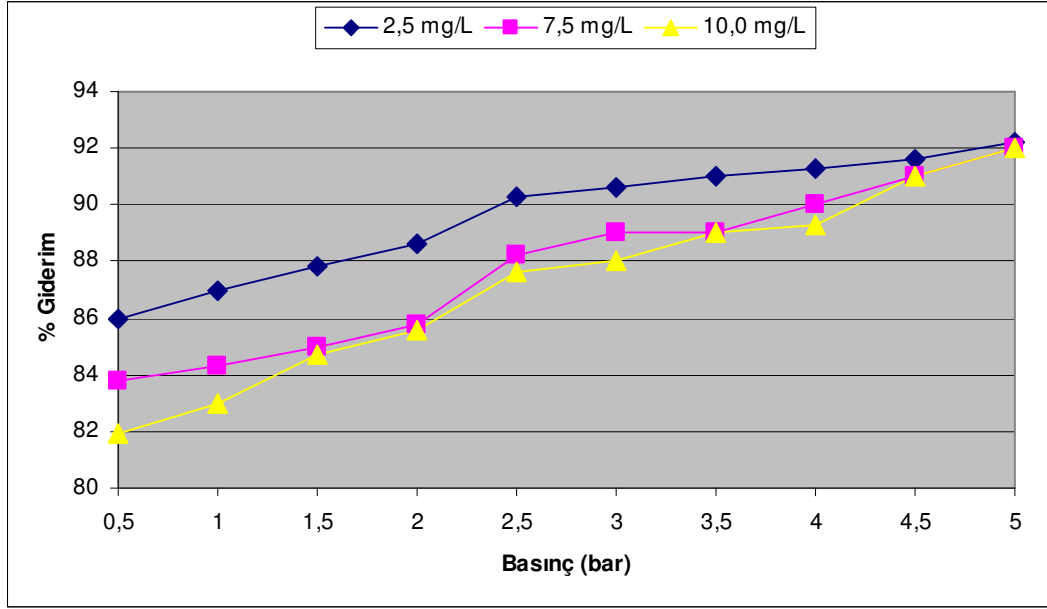
Besleme Konsantrasyonunun Etkisi

Besleme suyu konsantrasyonu diğer parametreler ile birlikte değişiklik göstermektedir. Besleme suyu konsantrasyonu, ürün suyu akış hızını ve membran tarafından istenmeyen maddelerin reddini etkilemektedir.

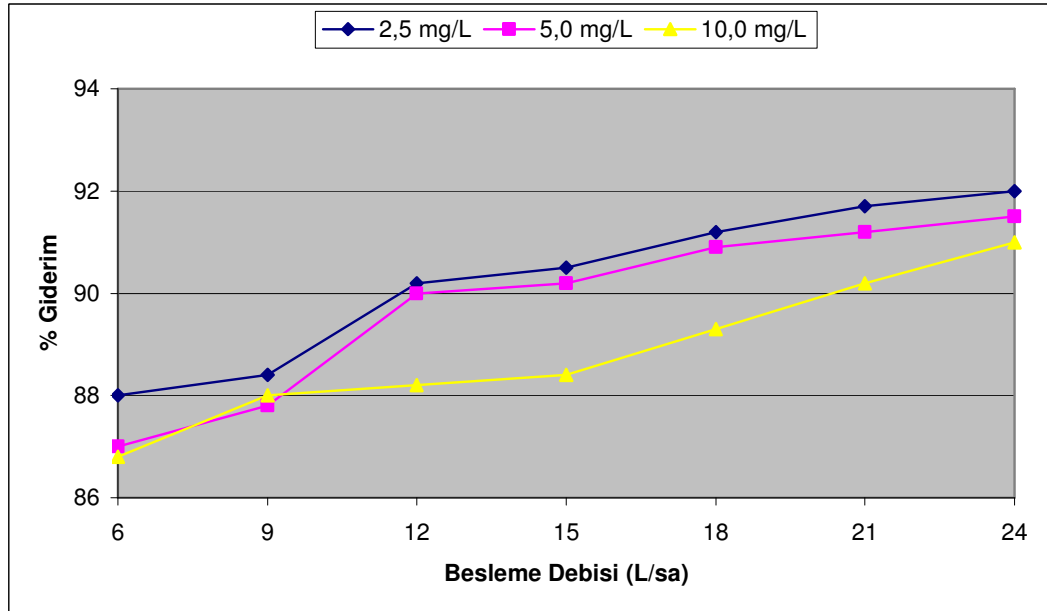
Bütün bu parametrelerin optimizasyonundan sonra, Gurgaon'daki üç köyden (Farrukhnagar, Wazirpur ve Mevka) örnekler toplandı ve optimum işletme şartlarında ters ozmos membran sisteminde arıtıldı. Fiziko-kimyasal analizler APHA standartlarına göre yapılmıştır.

Sonuçlar

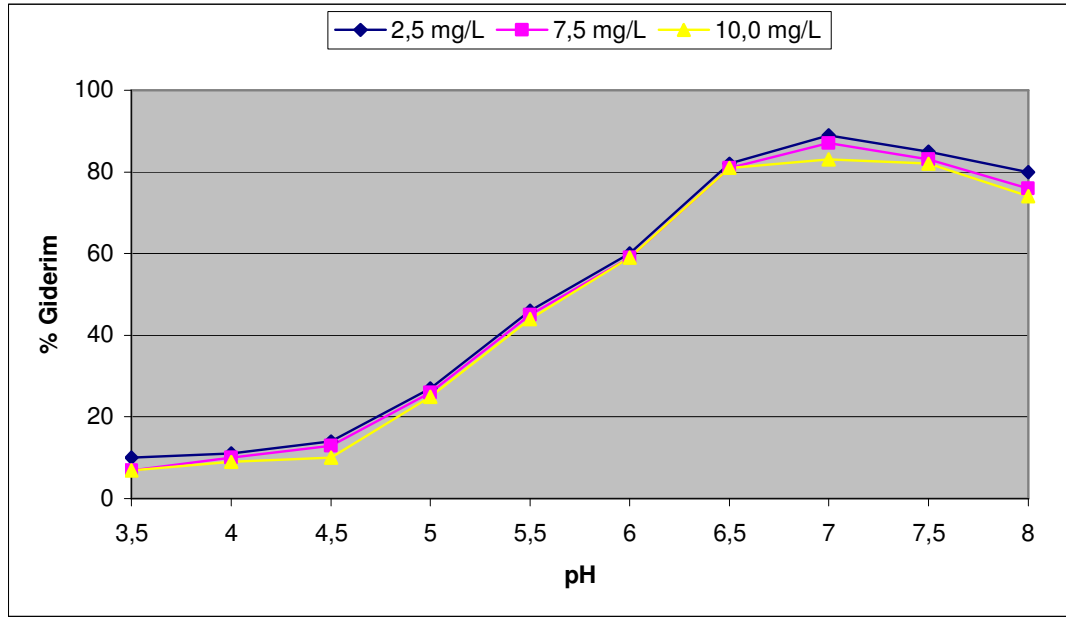
İşletme parametrelerinin (işletme basıncı, besleme akış hızı, pH ve besleme konsantrasyonu), membranın florür giderimine yaptıkları etkiler Şekil EK 1.2, EK 1.3, EK 1.4 VE EK 1.5'de gösterilmiş ve membranla arıtım çalışmaları giderim karakteristikleri Tablo EK 1.2'de verilmiştir (Arora ve ark., 2004).



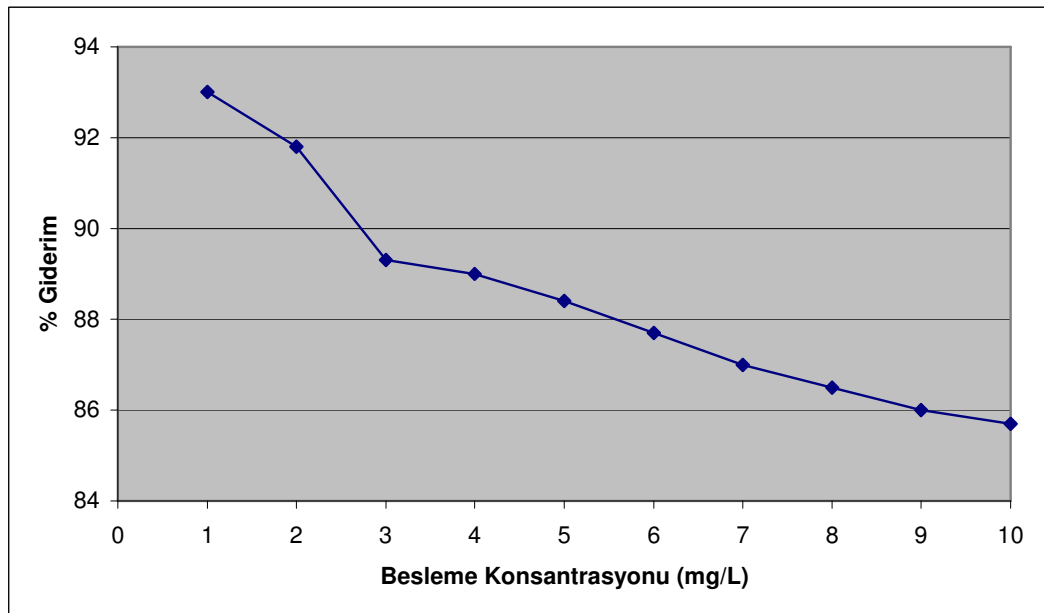
Şekil EK 1.2: İşletme Basıncının Florür Giderimine Etkisi
(besleme debisi: 250 ml/dak, sıcaklık: 25°C ve pH: 7,0)



Şekil EK 1.3: Besleme Debisinin Florür Giderimine Etkisi
(basınç: 2 bar, sıcaklık: 25°C ve pH: 7,0)



Şekil EK 1.4: Besleme Suyu pH'ının Florür Giderimine Etkisi
(besleme debisi: 250 ml/dak, basınç: 2 bar ve sıcaklık 25°C)



Şekil EK 1.5: Besleme Suyu Konsantrasyonunun Florür Giderimine Etkisi
(besleme debisi: 250 ml/dak, basınç: 2 bar, sıcaklık 30°C ve pH: 7,0)

Tablo EK 1.2: Membranla Arıtım Çalışmaları Giderim Karakteristikleri
(Besleme debisi: 130 ml/dak, pH: 7,0)

Basınç (bar)	Su Giderimi (%)	% Giderim (Na⁺)	% Giderim (F⁻)
0,5	10,0	61,8	75,5
1,0	16,9	77,7	86,8
1,5	20,0	82,8	89,5
2,0	24,0	85,1	90,2
2,5	29,2	87,0	90,4
3,0	31,5	86,5	90,9
4,0	36,9	89,2	91,4
5,0	43,1	91,1	92,0
6,0	50,4	91,8	92,5
7,0	55,0	92,5	92,9
8,0	61,5	93,1	93,7
9,0	67,7	93,5	94,9
10,0	72,3	94,1	96,1

EK 2: Ters Ozmos ile Su Arıtımına Örnek 2

Grootulei Proprietary Mines Ltd. şirketi günde 80.000-100.000 m³ yer altı suyu çıkarıp kullanmaktadır. Bu su düşük kalitededir. Tablo EK 2.1’de de görüleceği gibi su yüksek konsantrasyonda çözünmüş madde içermektedir. Bu özellikteki su aynı zamanda su ekolojisine zarar vermektedir.

Tablo EK 2.1: Yer altı Suyu Kompozisyon Değerlendirmesi

Bileşimde Bulunan Madde	Birim	Değer
Çözünmüş Tuzlar (TDS)	(mg/L)	2.700-3.800
Manganez	(mg/L)	8
Sülfat	(mg/L)	1.700-2.300
Kalsiyum	(mg/L)	240-340
Magnezyum	(mg/L)	150-200
Sodyum	(mg/L)	270-320
Klorür	(mg/L)	190-240

Bu tip yer altı suyunu arıtmada kullanılacak yöntemler arasında ters ozmos, elektrodiyaliz ve iyon değişimini sayabiliriz.

Bu çalışmanın amacı bu yer altı suyunun arıtılmasında ekonomik olan çözümü bulmaktır.

Ters Ozmos Sistemi

Önerilen tesis 4 ana aşama içermektedir. a) Ön arıtma, b) Ana arıtım, c) Son arıtma, d) Konsantre atıksu arıtım

Ön Arıtma

Havalandırma Tankı: Ham su havalandırma tankına alınır. Havalandırma tankının amacı sodyum hipoklorit veya klor gazı ile ferrous iyonlarının, ferric iyonlarına okside edilmesidir.

Kireç-Soda Ekleme Tankı: Reaksiyon tankında belirli bir dozda kireç-soda eklemesi yapılır. Kireç-soda yönteminin amacı kalsiyumun, kalsiyum karbonat olarak çöktürülmesini sağlamaktır. Ayrıca kireç-soda eklenmesi demir, magnezyum ve alimünyumun da çökeltilmesine yardımcı olur. Soda eklenmesi ile silika ve baryum da indirgenebilir.

Flokülasyon Tankı: Bu aşamada uygun flokülant dozaj ve tipine deneysel olarak karar verilir ve bu uygun dozaj ve flokülant tipi arıtım aşamasında uygulanır. Buradaki amaç askıdaki partiküllerin floklaşmasını sağlamaktır.

Çökeltme Tankı: Floklaşmış partiküller çökeltme tankında çökelerler. Sıyırıcı mekanizma ile çökelmiş partiküller alt tarafta toplanır ve buradan başka bir tanka alınır.

Sülfürik Asit Ekleme: Sülfürik asit eklenerek yüksek olan pH değeri ters ozmos membran sistemine girmeden 7,5-8,0 aralığına düşürülür. Bu ters ozmos membran sisteminin sağlıklı çalışması için kimyasal bir gereksinimdir.

Kum Filtresi: Kum filtresi ünitesinde, önceki arıtım ünitelerinde çökeltilemeyen, yüzen süpernatant katı maddeler, floklaşmış partiküller tutulur.

Çamur Susuzlaştırma Ünitesi: Havalandırma tankından ve çökeltme tankından gelen çamur, çamur toplama tankında biriktirilir. Bu çamur filtre pres kullanılarak susuzlaştırılır. Filtre presten elde edilen çamur keki bertaraf tesislerine (düzenli depolama tesisleri) transfer ettirilir. Filtrat kısmı ise havalandırma tankına gönderilir.

Membran Tesisi Besleme Tankı: Kum filtresinden filtre edilmiş su, membran besleme tankına alınır. Ters ozmos membran sistemi için filtre edilmiş suyun kalitesi yeterli değilse, filtrelenmiş su tekrar havalandırma tankına gönderilir.

Ana Arıtım

Ters ozmos membran tesisi, modüler membran ünitelerinden oluşmaktadır. Antiscalant dozajı, iki kademe kartuş filtre aşamasından önce, su ters ozmos membran sistemine girmeden dozlanır. Arıtmaya hazır olan su membranlar arasından yüksek basınçla geçirilerek arıtımı gerçekleştirilir.

Son Arıtım

Ters ozmos membran sisteminden çıkan ürün suyu ürün suyu depolama tankına alınır. Kireç (son pH düzeltme için) ve sodyum hipoklorit veya ozon gazı (dezenfeksiyon için), eğer gerekli ise ürün depolama tankında dozlanır.

Konsantre Atıksu Arıtım

Ters ozmos membran sisteminden çıkan konsantre atıksu, atıksu depolama tankına alınır. Konsantre atıksu, bertaraf için buharlaştırma havuzlarına pompalanır. Buharlaştırma yöntemi yüksek ilk yatırım ve işletme maliyeti getirmektedir.

Su Kazanımı

Ters ozmos membran sistemi ile su kazanımı, orta ve kötü halli sular halindeki durumu, kalsiyum ve sülfat yüzünden antiscalant kullanımı ile yaklaşık % 50'lerle sınırlıdır. Her durumda antiscalant kullanarak, farklı kireç-soda yumuşatma deneyleri sonucu elde edilen kazanım oranları Tablo EK 2.2'de özetlenmiştir. Kabul edilebilir asit ve antiscalant tüketimi ile elde edilen en yüksek kazanım (% 85), pH=9'luk kireç ve pH=10'luk soda ile pH=8 ayarında elde edilmiştir.

Tablo EK 2.2: Maksimum Su Kazanımında Yumuşatmanın Etkisi

	pH Değeri	Maksimum Kazanım (%)	Yorum
pH'ı 8 Kireç	---	48	Düşük kazanım
pH'ı 9 Kireç	---	35	Düşük kazanım
pH'ı 9 Soda	7,5	65	Düşük kazanım
pH'ı 10 Soda	6,5	85	Yüksek asit tüketimi
pH'ı 10,5 Soda	6,5	85	Çok yüksek asit tüketimi
pH'ı 8 Kireç ve pH'ı 10 Soda	8	80	Kabul edilebilir asit tüketimi
pH'ı 9 Kireç ve pH'ı 10 Soda	8	85	Yüksek kazanım, Kabul edilebilir asit tüketimi

Proses Kompozisyonun Değerlendirilmesi

Tablo EK 2.3'de besleme suyu, ters ozmos membran sistemi ürün suyu ve ters ozmos membran sistemi konsantre atıksu kompozisyonları verilmiştir. Üç çalışmada da içilebilir kalitede su elde edilmiştir. Ters ozmos membran sistemi ürün suyunda çok düşük seviyede TDS (yaklaşık 100 mg/L ve altı) elde edilmiştir.

Tablo EK 2.3: Proses Kompozisyon Değerlendirmesi

Bileşimde Bulunan Madde (mg/L)	İyi Su			Orta Su			Kötü Su		
	Ters Ozmos Giriş	Ters Ozmos Ürün	Ters Ozmos Atık	Ters Ozmos Giriş	Ters Ozmos Ürün	Ters Ozmos Atık	Ters Ozmos Giriş	Ters Ozmos Ürün	Ters Ozmos Atık
Ca	20	0,4	132	38	0,7	262	49	0,8	326
Mg	4,5	0,1	30	6,5	0,1	45	11	0,2	73
Na	650	16	4327	1250	35	8756	1450	35	10217
K	21	1	135	23	1,2	154	35	1,5	227
pH	10	6,1	8,2	10	6,5	8,3	10	6	9
Alkalinite	5	2,1	325	254	20	3574	178	12	2422
Cl	178	7	1317	178	15	2750	272	14	2838
SO ₄	1207	24	7587	2328	41	12730	2887	49	16920
F	0,1	0	0,6	0,2	0	1,3	0,3	0	2
SO ₂	1	0	5,5	3	0,1	20	5	0,1	20
TDS	2100	51	13860	4130	113	28292	4920	113	32590

Akış Oranları

İki farklı kapasite için ters ozmos membran sistemi ürün ve konsantre atıksu akış oranları Tablo EK 2.4'de verilmiştir. Su kazanımı yaklaşık % 85 düzeyindedir. Bununla birlikte yaklaşık % 15 oranında konsantre atıksu oluşmaktadır.

Tablo EK 2.4: Tesis Kapasitelerine Göre Ürün ve Konsantre Atıksu Akış Oranları

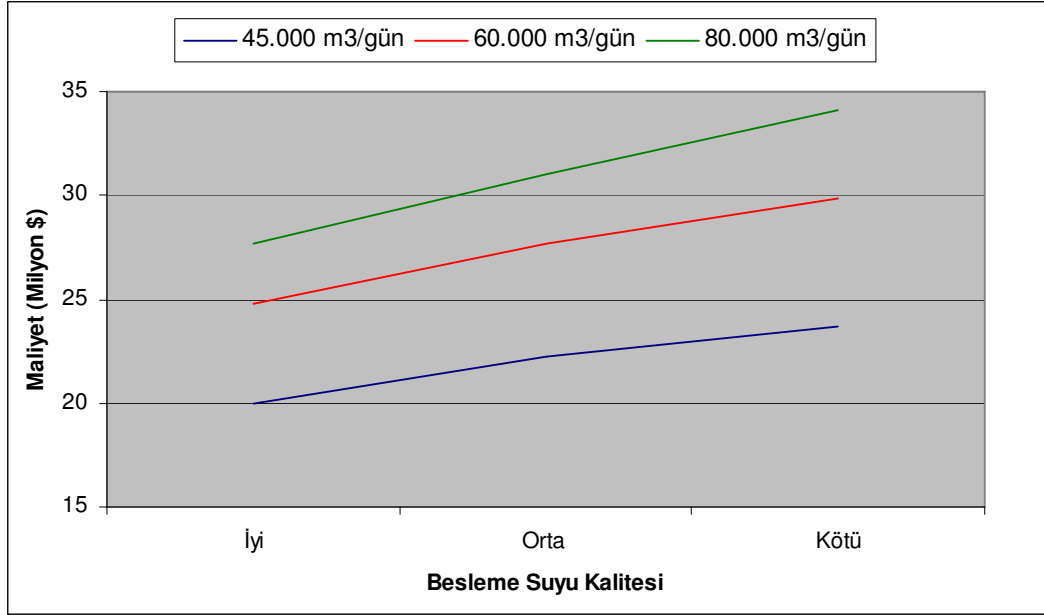
Besleme (m³/gün)	Ürün (m³/gün)	Konsantre Atıksu (m³/gün)	% Kazanım
80.000	68.000	12.000	85
45.000	38.250	6.750	85

Maliyet Değerlendirilmesi

Yatırım Maliyeti Değerlendirilmesi: Ön arıtma ve ters ozmos membran sistemi tesisi 1.sınıf yatırım maliyeti değerlendirmesi (\pm % 30), Tablo EK 2.5 ve Şekil EK 2.1'de (1996 fiyatları kullanılmıştır) gösterilmiştir. Ön arıtma tesisi toplam tesis yatırım maliyetinin yaklaşık % 44'ünden oluşmaktadır. 80.000 m³/gün'lük ters ozmos membran sistemi yatırım maliyeti orta ve kötü kalitedeki sular için sırasıyla 17,00 M \$ ve 19,80 M \$'dır. 65.000 m³/gün'lük ters ozmos membran sistemi yatırım maliyeti ise iyi, orta ve kötü kalitedeki sular için sırasıyla 11,60 M \$, 12,90 M \$ ve 14,10 M \$'dır.

Tablo EK 2.5: Ön Arıtma ve Membran Arıtma Tesisi Maliyet Değerlendirmesi

Parça	Maliyet (Milyon \$) Kapasite (80.000 m ³ /gün)		Maliyet (Milyon \$) Kapasite (45.000 m ³ /gün)		
	Orta	Kötü	İyi	Orta	Kötü
Ön arıtma tesisi mekanik ekipman	20,7	9,6	5,6	6,2	6,9
Ters Ozmos tesisi mekanik ekipman	11,3	12,5	7,3	8,1	8,9
Elektik ve bilgisayar donanımı	4,1	4,5	2,6	2,9	3,2
Yapı ve inşaat	2,8	3,1	1,8	1,2	2,2
Mühendislik hizmeti (Mühendislik servisini ve elektriksel, yapısal inşaat, mekanik, proses dizaynını içerir)	3,6	4,0	3,0	2,6	2,8
Ön ve genel hazırlık	1,2	1,3	0,75	0,89	0,93
Toplam	31,8	35,0	20,4	22,7	24,0
Ön arıtma tesisi turn-key	13,9	15,2	8,9	9,8	10,9
Ters Ozmos tesisi turn-key	17,0	19,8	11,6	12,9	14,1
Toplam	31,9	35,0	20,5	22,7	25,0

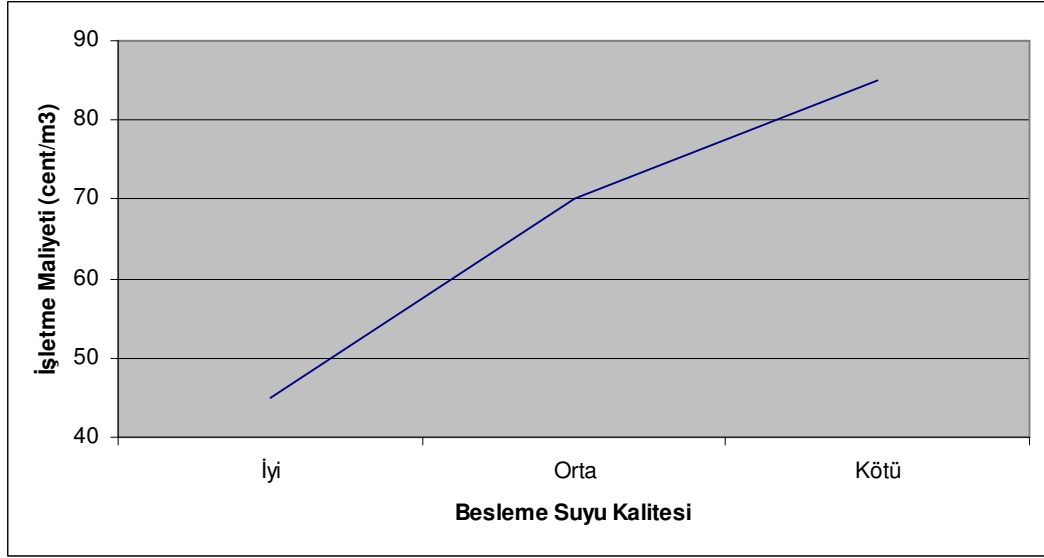


Şekil EK 2.1: Farklı Besleme Kapasiteleri ve Besleme Suyu Kaliteleri İçin Yatırım Maliyeti Eğilimleri

İşletme Maliyeti Değerlendirilmesi: 45.000 m³/gün besleme kapasitesi ve % 85 kazanç için 1.sınıf işletme maliyet değerlendirmesi (\pm % 30), Tablo EK 2.6'da ve Şekil EK 2.2'de özetlenmiştir. Toplam işletme maliyetleri dikkate alındığında iyi, orta ve kötü kalitedeki sular için sırasıyla 43,00 M \$, 70,80 M \$ ve 88,10 M \$'dır.

Tablo EK 2.6: Toplam İşletme Maliyeti (45.000 m³/gün Kapasite ve % 85 Kazanç)

Parça	İşletme Maliyeti (cent/m ³)		
	İyi	Orta	Kötü
Elektrik ve kimyasallar	34,5	61,2	78,4
Ekipman ve yeni membranlar	6,2	6,3	6,4
Laboratuvar ve işçilik	3,3	3,3	3,3
Toplam	43,0	70,8	88,1



Şekil EK 2.2: İşletme Maliyeti Dağılım Eğilimleri

Konsantre Atıksu Bertaraf Maliyetleri: Ters ozmos membran sistemi konsantre atıksu bertaraf maliyetleri Tablo EK 2.7’de özetlenmiştir. Okyanus bertarafı (75,3 M \$) ve seri(lined) buharlaştırma havuzları (32,0 M \$, 46,2 M \$ ve 57,1 M \$) çok yüksek maliyetli bertaraf sistemleri olarak gözükmektedir. Buna karşın sprey buharlaştırma (10,2 M \$, 14,7 M \$ ve 18,0 M \$) ve seriolamayn(unlined) buharlaştırma havuzları (7,6 M \$, 11,1 M \$ ve 13,6 M \$) daha ucuz bertaraf yöntemleri olarak göze çarpmaktadır (Schoeman ve ark., 2000).

Tablo EK 2.7: Ters Ozmos Konsantre Atıksu Bertaraf Maliyet Değerlendirilmesi (M \$)

Bertaraf Tipi	Konsantre Atıksu (m ³ /gün)		
	6.750 ^a	9.750 ^b	12.000 ^c
Buharlaştırma havuzları (unline(seri olm))	7,6	11,1	13,6
Buharlaştırma havuzları (line(seri))	32,0	46,2	57,1
Sprey buharlaştırma ^f	10,2	14,7	18,0
Okyanus bertarafı			75,3

a – 45.000 m³/gün besleme, % 85 Kazanç

b – 80.000 m³/gün besleme, % 85 Kazanç

c – 65.000 m³/gün besleme, % 85 Kazanç

EK 3: Kirleticiler İçin Kullanılan Temizleme Kimyasalları

Tablo EK 3.1: Kirleticiler İçin Kullanılan Temizleme Kimyasalları (Anonim, 2006c)

Kirleticiler	Temizleyici Kimyasal					
	% 0,1'lik (A) NaOH ve pH 12, maks. 35°C veya % 1,0'lik (A) Na ₄ EDTA ve pH 12, maks. 35°C	% 0,1'lik (A) NaOH ve pH 12, maks. 35°C veya % 0,025'lik (A) Na-DDS ve pH 12, maks. 35°C	% 0,2'lik (A) HCl, 25°C ve pH 1-2	% 1,0'lik (A) Na ₂ S ₂ O ₄ , 25°C ve pH 5	% 0,5'lik (A) H ₃ PO ₄ , 25°C ve pH 1-2	% 1,0'lik (A) NH ₂ SO ₃ H, 25°C ve pH 3-4
İnorganik Tuzlar (CaCO ₃)	-----	-----	Tercih Edilen	Alternatif	Alternatif	-----
Sülfat Hışırı (CaSO ₄ , BaSO ₄)	Tercih Edilen	-----	-----	-----	-----	-----
Metal Oksitler (Demir)	-----	-----	-----	Tercih Edilen	Alternatif	Alternatif
İnorganik Kolloidler (Silt)	-----	Tercih Edilen	-----	-----	-----	-----
Silika	Alternatif	Tercih Edilen	-----	-----	-----	-----
Biyofilm	Alternatif	Tercih Edilen	-----	-----	-----	-----
Organikler	Alternatif	Tercih Edilen	-----	-----	-----	-----

(A): Karışımdaki aktif maddenin ağırlıkça yüzdesi

Na-DDS: Sodyum dodesil sülfat

NH₂SO₃H: Sülfamik asit

TEŐEKKÜR

Yer altı sularından ters ozmos yöntemi kullanılarak içme suyu elde etmesi çalışmasında, bana her türlü teknik malzeme yardımında bulunan ve teknik destek veren Aquamatch Türkiye Ankara çalışanlarından, Teknik Müdür Durmuş YERLİ ve Saha Mühendisi Erdem SAMANCI'ya, benden bilgi ve birikimini esirgemeyen Prof. Dr. Kadir KESTİOĞLU'na ve Araş. Gör. Melike YALILI'ya, bana maddi ve manevi tüm desteklerini veren sevgili aileme ve kardeşim Abdulah NAHARCI'ya teőekkürü bir borç bilirim.

ÖZGEÇMİŞ

1980 Adana doğumludur. Orta öğretimini Bursa Osmangazi Lisesi'nde tamamladıktan sonra 1997 yılında Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümüne girmiştir. Öğrenimini başarı ile tamamladıktan sonra 2003 yılında Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Bölümünde Yüksek Lisans yapmaya başlamıştır. Paket atıksu arıtımı ve membran sistemleri üzerine Ankara'da özel bir şirkette, gerek yurtiçi gerekse yurtdışında bir çok görevde bulunmuştur.