

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DENİZ SUYUNDAN TATLI SU ÜRETİMİNİN TEKNİK  
VE EKONOMİK ETÜDÜ**

Makina Mühendisi Erkan AKDEMİR

**F.B.E. Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Enerji Makinaları Programında  
Hazırlanan**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Tez Danışmanı: Dç. Dr. Şükrü BEKDEMİR

**İSTANBUL, 2009**

## İÇİNDEKİLER

|  | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| SİMGE LİSTESİ .....  | v            |
| KISALTMA LİSTESİ .....   | vi           |
| ŞEKİL LİSTESİ .....  | vii          |
| TABLO LİSTESİ .....  | ix           |
| ÖNSÖZ.....   | xi           |
| ÖZET .....   | xii          |
| ABSTRACT .....   | xiii         |
| 1 GİRİŞ.....   | 1            |
| 1.1 Dünya'nın Genel Su Bütçesi .....   | 1            |
| 1.2 Türkiye'nin Genel Su Bütçesi .....   | 4            |
| 2 SU PROBLEMİNE GENEL BİR BAKIŞ.....   | 6            |
| 2.1 İçme Suyu Kalite problemleri ve Elektriksel İletkenlik .....               | 7            |
| 2.2 İçme Suyu Kaynakları .....   | 15           |
| 2.2.1 Yüzeysel Sular .....   | 15           |
| 2.2.2 Yer Altı Suları .....  | 16           |
| 2.2.3 Ülkemiz için Yer Altı Sularının Önemi.....                               | 18           |
| 2.2.4 Yer Altı Suyu Kirliliği .....  | 19           |
| 3 DENİZ SUYUNUN ÖZELLİKLERİ VE İÇME SUYU KALİTESİ<br>BAKIMINDAN TUZLU SU ..... | 21           |
| 3.1 İçme Suyu Kalitesi Bakımından Deniz Suyu .....                             | 21           |
| 3.2 Deniz Suyunun Özellikleri .....  | 24           |
| 3.2.1 Deniz Suyunun Tuzluluğu .....  | 24           |
| 3.2.2 Deniz Suyunun Sıcaklığı .....  | 25           |
| 3.2.3 Deniz Suyunun Yoğunluğu .....  | 26           |
| 3.2.4 Deniz Suyunun Optik Özellikleri .....                                    | 27           |
| 3.2.5 Deniz Suyundaki Gazlar .....   | 28           |
| 3.3 Denizlerdeki Akıntı Hareketleri .....                                      | 29           |
| 3.4 Sahil Sularının Kalite Kriterleri .....                                    | 29           |
| 3.5 Kirlenmenin Deniz Canlıları Üzerindeki Etkileri .....                      | 32           |
| 4 TUZLU SUDAN TATLI SU ÜRETİMİ .....   | 34           |
| 4.1 Tuzlu Su Kaynakları .....  | 36           |
| 4.1.1 Deniz Suyu .....   | 37           |
| 4.1.2 Acı Su .....   | 37           |
| 4.1.2.1 Yeraltı Suları.....  | 37           |
| 4.1.2.2 Nehir Ağızları .....   | 37           |

|         |  |     |
|---------|--|-----|
| 4.1.2.3 | Tuzlu Nehirler Ve Göller .....   | 38  |
| 4.1.2.4 | Atık Sular .....   | 38  |
| 4.2     | Tuz Ayırma Tesisleri İçin Materyaller .....  | 38  |
| 4.3     | Tuz Ayırma Tesislerinin Genel Özellikleri .....  | 40  |
| 4.3.1   | Deniz Suyunun Dönüşümü .....   | 41  |
| 4.3.2   | Acı Suyun Dönüşümü .....   | 42  |
| 5       | TUZLU SUDAN TATLI SU ÜRETİM YÖNTEMLERİ .....   | 44  |
| 5.1     | Buharlaştırma .....  | 44  |
| 5.1.1   | Güneş İle Buharlaştırma .....  | 44  |
| 5.1.2   | 5.1.2 Güneş Havuzu.....  | 45  |
| 5.1.3   | Dik Borulu Buharlaştırma (LTV).....  | 46  |
| 5.1.4   | Çok Kademeli Ani Damıtma (MSF) .....   | 47  |
| 5.1.5   | Çok Etkili Damıtma (MED) .....   | 53  |
| 5.1.6   | Buhar Kompresyonlu Damıtma.....  | 54  |
| 5.2     | Dondurma .....   | 55  |
| 5.2.1   | Soğutucu Olarak Su Buharı .....  | 56  |
| 5.2.2   | Direkt Temaslı Soğutucular .....   | 58  |
| 5.2.3   | Basınçlı Dondurma Prosesi .....  | 58  |
| 5.2.4   | Hidrate Donma Prosesleri.....  | 58  |
| 5.3     | İyon Değişimi .....  | 59  |
| 5.4     | Ekstraksiyon (Ayrıştırma) .....  | 63  |
| 5.5     | Membran Filtrasyon Yöntemleri .....  | 64  |
| 5.5.1   | Ters Osmos .....   | 68  |
| 5.5.1.1 | Ters Osmos Membran Sistemlerinde Oluşan Atık Su Yüzdesi.....   | 71  |
| 5.5.1.2 | Tuz Giderilmesinde Ters Osmozun Kullanımı.....   | 72  |
| 5.5.1.3 | Yarı Geçirgen Zarlar Ve Modüller .....   | 72  |
| 5.5.1.4 | Ters Osmos Problemleri .....   | 73  |
| 5.5.2   | Mikrofiltrasyon ve Ultrafiltrasyon.....  | 74  |
| 5.5.3   | Nanofiltrasyon .....   | 75  |
| 5.5.3.1 | Nanofiltrasyon Membranlarının Kullanım Alanları.....   | 77  |
| 5.5.3.2 | Nanofiltrasyon Membranlarının Ayırma Mekanizmaları.....  | 77  |
| 5.5.4   | Elektrodiyaliz.....  | 78  |
| 5.6     | İçme Suyu Arıtma Yöntemlerinin Karşılaştırılması.....  | 80  |
| 6       | TUZ AYIRMA TESİSLERİNDE GENEL MALİYETLER.....  | 90  |
| 6.1     | Acı Su .....   | 91  |
| 6.2     | Deniz Suyu .....   | 94  |
| 6.3     | Yükleme Faktörünün Maliyet Üzerine Etkisi .....  | 96  |
| 6.4     | Enerji Kullanımının Maliyete Etkisi.....   | 97  |
| 7       | TUZ AYIRMA TESİSLERİNİN EKONOMİK ANALİZİ.....  | 101 |
| 7.1     | Ters Osmoz Sistemi İle İyon Değişimi Sisteminin Ekonomik Karşılaştırılması                                   | 101 |
| 7.1.1   | İlk Yatırım Maliyetleri Hesabı .....   | 101 |
| 7.1.2   | İşletme Maliyetleri Hesabı .....   | 102 |
| 7.1.3   | Amortizasyon Karşılaştırma Hesabı .....  | 106 |
| 7.2     | Mey İçki Firmasına Kurulmuş Olan 500m <sup>3</sup> /Gün Kapasiteli UF+RO Sisteminin Maliyet Analizleri ..... | 107 |
| 7.2.1   | 500 Ton Kapasiteli UF+RO Sistemi İlk Yatırım Maliyeti Hesabı.....  | 108 |

|         |  |     |
|---------|--|-----|
| 7.2.1.1 | Ultra Filtrasyon Tesisi Ve Ekipmanları .....                               | 108 |
| 7.2.1.2 | Ters Osmoz Tesisi Ve Ekipmanları.....                                      | 109 |
| 7.2.2   | 500 Ton Kapasiteli UF+RO Sistemi İşletme Ve Bakım Maliyetleri Hesabı ..... | 114 |
| 8       | SONUÇ.....   | 125 |
|         | KAYNAKLAR.....   | 127 |
|         | ÖZGEÇMİŞ.....  | 132 |

## SİMGE LİSTESİ

|              |   |
|--------------|---|
| $\Delta t$   | Yüzeyler arası sıcaklık farkı   |
| $\Delta T$   | Isı akım oranı  |
| $\Sigma L$   | 5 Yıl boyunca toplam işletme maliyetleri  |
| $\Sigma M$   | Toplam ilk kurulum maliyeti   |
| $\Sigma m$   | 1 m <sup>3</sup> Suyun Elde Edilmesindeki Toplam Maliyet                                    |
| $\Sigma \nu$ | 5 Yıl boyunca üretilen toplam tatlı su miktarı  |
| A            | Yatırılan anapara   |
| $C_k$        | Her yıl ödenecek olan sabit ilk yatırım maliyeti taksiti                                    |
| $I_k$        | Çekilen kredi miktarı   |
| i            | Faiz oranı  |
| $M_{RO}$     | Ters Osmoz ilk kurulum maliyeti   |
| $M_{UF}$     | Ultra Filtrasyon ilk kurulum maliyeti   |
| $m_1$        | 1 m <sup>3</sup> Suyun elde edilmesindeki toplam maliyet içerisindeki ilk yatırım maliyeti  |
| $m_2$        | 1 m <sup>3</sup> Suyun elde edilmesindeki toplam maliyet içerisindeki işletmebakım maliyeti |
| n            | Geri ödeme süresi   |
| R            | Ortalama geri ödeme   |
| $t_w$        | Amortisman süresi   |
| u            | Isı transfer katsayısı  |

## KISALTMA LİSTESİ

|       |   |
|-------|---|
| ED    | Elektrodializ                                   |
| gpd   | Günde galon cinsinde üretilen su miktarı        |
| IE    | İyon Değişimi                                   |
| İSİGM | İstanbul Sular İdaresi Genel Müdürlüğü          |
| İSKİ  | İstanbul Su ve Kanalizasyon İşleri              |
| LTV   | Dik Borulu Buharlaştırma                        |
| MEB   | Çok Etkili Kaynatma                             |
| mgd   | Günde milyon galon cinsinde üretilen su miktarı |
| MEE   | Çok kademeli Buharlaştırma                      |
| MSF   | Çok Kademeli Ani Damıtma                        |
| MVC   | Mekanik Buhar Kompresyonlu Damıtma              |
| OSW   | Tuzlu Su Ofisi                                  |
| ppm   | Milyonda Partikül Miktarı                       |
| PR    | Performans Oranı                                |
| RO    | Ters Ozmos                                      |
| TEDAŞ | Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi         |
| TDS   | Toplam Çözünmüş Madde Miktarı                   |
| UF    | Ultra Filtrasyon                                |
| VC    | Buhar Kompresyonlu Damıtma                      |

## ŞEKİL LİSTESİ

|  | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| Şekil 3.1 Deniz suyunun kimyasal bileşenleri.....  | 23           |
| Şekil 3.2 Haloklin tabakası.....   | 25           |
| Şekil 3.3 Termoklin tabakası .....   | 26           |
| Şekil 5.1 Güneş Buharlaştırması Prosesinin Şematik Resmi .....   | 45           |
| Şekil 5.2 Dik Borulu Buharlaştırma (LTV) prosesinin basitleştirilmiş diyagramı .....   | 47           |
| Şekil 5.3 Çok Kademeli Ani Damıtma.....  | 48           |
| Şekil 5.4 Çok kademeli ani damıtma prosesi .....   | 49           |
| Şekil 5.5 11365 m <sup>3</sup> /gün kapasiteli bir tuz giderme tesisi .....  | 52           |
| Şekil 5.6 Buhar Kompresyonlu Damıtma Prosesinin Şematik Görünüşü.....  | 54           |
| Şekil 5.7 Zarchin Colt dondurma prosesi .....  | 57           |
| Şekil 5.8 Katyon, Anyon ve Adsorbsiyon Reaksiyonları.....  | 60           |
| Şekil 5.9 İyon Değiştirici Üzerinde Dolaşan Suyun Şematik Resmi .....  | 61           |
| Şekil 5.10 Tuz Giderme Yöntemlerine Ait Yatırım Maliyetleri .....  | 62           |
| Şekil 5.11 Tuz Giderme Yöntemlerine Ait Toplam üretim Maliyetleri .....  | 62           |
| Şekil 5.12 Membran Filtrasyon Sistemi Tarihsel Gelişimi .....  | 64           |
| Şekil 5.13 Membran Proseslerde Giriş ve Çıkış Akımları .....   | 65           |
| Şekil 5.14 Patojen Giderimi için Filtrasyon Uygulama Rehberi.....  | 67           |
| Şekil 5.15 İçme Sularında İstenmeyen Patojenler.....   | 67           |
| Şekil 5.16 Dikey Yönlü Membran Filtrasyonu Su Akış Seması .....  | 67           |
| Şekil 5.17 Yatay Yönlü Membran Filtrasyonu Su Akış Seması .....  | 68           |
| Şekil 5.18 Doğal Ozmos İşlemi.....   | 69           |
| Şekil 5.19 Ters Ozmos Sistemi .....  | 69           |
| Şekil 5.20 Spiral sarmal ters ozmos modülü .....   | 73           |
| Şekil 5.21 Lif şeklindeki ters ozmos modülü .....  | 73           |
| Şekil 5.22 Mikrofiltrasyon Membranlarında Gözenek Büyüklüğü Dağılımı.....  | 75           |
| Şekil 5.23 Elektrodializ zarlarında temel iyon değişimi ve su akışı.....   | 79           |
| Şekil 5.24 Dünyada ve Amerika’da Deniz Suyundan Arıtım Yapan Tesislerin<br>Kullandıkları Proses Tiplerine Göre Dağılımları ..... | 87           |
| Şekil 5.25 Amerika’daki Tuzdan Arındırma Tesislerin Kullanım<br>Amaçlarına Göre Dağılımları .....                                | 88           |
| Şekil 6.1 Toplam Kapasitesine Göre Değişen m <sup>3</sup> /gün Başına Düşen İlk Yatırım Maliyeti                                 | 93           |
| Şekil 6.2 m <sup>3</sup> /gün başına sent olarak toplam su maliyeti .....  | 93           |

|           |   |     |
|-----------|---|-----|
| Şekil 6.3 | Çok Kademeli Ani Damıtma Tesisinin Kapasitesine Göre Toplam<br>İlk Yatırım Maliyeti Karşılaştırması ..... | 95  |
| Şekil 7.1 | Ters Osmoz Sistemi Şematik Tasarımı .....   | 102 |
| Şekil 7.2 | İyon Değişimi Tesisi Şematik Tasarımı .....   | 102 |

## TABLO LİSTESİ

|   |     |
|---|-----|
| Tablo 1.1 Yeryüzündeki Önemli Su Stokları .....   | 2   |
| Tablo 1.2 Ülkelere Göre Yıllık Sektörel Su Kullanımı .....  | 3   |
| Tablo 2.1 İçme Suyu Kalite Problemleri .....  | 9   |
| Tablo 2.2 İçme suyu standart değerleri .....  | 14  |
| Tablo 3.1 Dünya Üzerindeki Çeşitli Denizlerin Tuzluluk Oranları .....   | 22  |
| Tablo 3.2 Kullanılmış Su Deşarjı Yapılan Denizler İçin Fiziksel Ve Kimyasal Kalite<br>Kriterleri .....                                      | 31  |
| Tablo 3.3 Çeşitli Ülkelerin Koliform Standartları .....   | 32  |
| Tablo 5.1 İçme Suyu Arıtma Yöntemleri Karşılaştırması .....   | 81  |
| Tablo 5.2 Dünyada En Çok Kullanılan Deniz Suyundan Arıtma Yapan<br>Proseslerinin Birbirleri İle Karşılaştırılması .....                     | 85  |
| Tablo 5.3 Dünyada En Çok Kullanılan Acı Sudan Arıtma Yapan Proseslerinin<br>Birbirleri İle Karşılaştırılması .....                          | 86  |
| Tablo 5.4 2000 Yılındaki Körfez Ülkelerinin Tuzdan Arındırma Tesislerinin<br>Dünya Üzerindeki Toplam Kapasite İle Karşılaştırılmaları ..... | 94  |
| Tablo 6.1 Değişik yükleme faktörlerinin toplam su maliyetine etkisi .....   | 97  |
| Tablo 6.2 Çalışma Şekilleri Açısından Termal Ve Membran Teknolojilerinin<br>Karşılaştırılması .....   | 98  |
| Tablo 6.3 Enerji Sarfıyatları Açısından Termal Ve Membran Teknolojilerinin<br>Karşılaştırılması .....                                       | 99  |
| Tablo 6.4 100.000 m <sup>3</sup> /gün Kapasiteli Çeşitli Tuzdan Arındırma Proseslerinin Toplam<br>Ürün Maliyetleri .....                    | 100 |
| Tablo 7.1 Tesislerin İlk Yatırım Maliyetleri USD cinsinden .....  | 103 |
| Tablo 7.2 Tesislerin yıllık işletme maliyetleri USD cinsinden .....   | 104 |
| Tablo 7.3 Tesislerin işletme gelir ve giderlerinin enflasyon ilaveli karşılaştırması .....  | 105 |
| Tablo 7.4 Ters osmoz ve iyon değişimi tesisleri hesap akış tablosu .....  | 106 |
| Tablo 7.5 Ters osmoz ve iyon değişimi tesisleri amortizasyon hesabı karşılaştırması .....   | 106 |
| Tablo 7.6 Ultra Filtrasyon sistemi ilk yatırım maliyetleri .....  | 113 |
| Tablo 7.7 Ters osmoz sistemi ilk yatırım maliyetleri .....  | 113 |
| Tablo 7.8 Sistemin Toplam Yıllık İşletme Maliyetleri .....  | 118 |
| Tablo 7.9 Sistemin Kar Zarar Analizi .....  | 119 |

|  |     |
|--|-----|
| Tablo 7.10 Sistemin Kredi Faizi Ve Enflasyon Dahil Kar Zarar Analizi.....  | 120 |
| Tablo 7.11 Üretilen Tatlı Suyun Tuzlu Kaynağına Ve Kapasiteye Göre Maliyetlerinin Karşılaştırması.....                                   | 122 |
| Tablo 7.12 Üretilen Tatlı Suyun Tuzlu Kaynağına Ve Kullanılan Enerji Kaynağına Göre Maliyetlerinin Karşılaştırması .....                 | 122 |
| Tablo 7.13 Üretilen Tatlı Suyun Maliyetlerinin Kullanılan Proses Şekli Ve Tesis Kapasitesine Göre Değişiminin Karşılaştırması.....       | 123 |
| Tablo 7.14 Üretilen Tatlı Suyun Maliyetlerinin Kullanılan Tuzlu Su Çeşidine Ve Tesis Kapasitesine Göre Değişiminin Karşılaştırması ..... | 124 |

## ÖNSÖZ

Tarih boyunca insanoğlu yenilikler peşinde koşmuş ve teknolojik gelişmeler birbirini takip etmiştir. Özellikle doğadaki olayları denetleyebilmek ve bunlardan yararlanabilmek için yüzyıllardır süregelen bir uğraş verilmiştir.

İnsan yaşamı için gerekli olan temiz su kaynakları, hızlı endüstrileşme ve nüfus artışı nedeniyle hızla azalmaktadır. Temiz su elde edebilmek için dünyanın dörtte üçünü kaplayan denizlerden faydalanılması, gelecekte kaynak sıkıntısının çekilmesini önleyecektir. Deniz suyundan tatlı su elde edilmesinde kullanılan çok çeşitli yöntemler vardır. Büyük kapasiteler için güneş enerjisinden yararlanma daha ufak kapasitelerde ise iyon değişimi ve özellikle ters osmoz en ekonomik yöntemlerdir.

Bana tezim olan ‘Deniz Suyundan Tatlı Su Üretiminin Teknik Ve Ekonomik Etüdü’ konusunu öneren, destekleyen ve yardımlarını esirgemeyen sayın hocam Doç.Dr.Şükrü BEKDEMİR’e en içten teşekkürlerimi bir borç bilirim.

## ÖZET

Nüfus artışı, sanayileşme ve etkin tarım faaliyetlerinin, dünyanın kısıtlı yeraltı ve yerüstü kaynaklarını tükettiği ve çevre sorunlarını arttırdığı bir gerçektir. Sanayileşme ve gelişme hamlelerine paralel olarak ülkemizde de kaynak tüketimi hızla artmaktadır. Dünyada ve ülkemizde su kaynaklarının giderek tükenmesi ve mevcut su kaynaklarının kullanılamayacak duruma gelmesi, su temini konusunu ön plana çıkarmaktadır. Özellikle, su gibi doğal bir kaynağın geriye dönülemeyecek bir şekilde tüketilmesine engel olmak için bekleyecek zamanın olmaması, insanoğlunu bu kaynakları koruyacak ve kurtaracak teknolojileri kullanmaya ve geliştirmeye mecbur kılmaktadır. Bu çalışmada, deniz suyunun tuzunun giderilerek, içme ve kullanım suyu eldesi amacıyla kullanılan yöntemler teknik ve ekonomik olarak incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Tuz giderme, Ters osmoz, Elektrodializ, İyon değişimi, Ekonomik analiz.

## **ABSTRACT**

Significant increase in population, industrialization and some agricultural activities are using up limited resources of the world. It is obvious that, the increase of consumption is mainly caused by environmental problems. Turkey is a newly industrialized and developing country, so consumption of resources is also increasing in our country everyday. Therefore, we have to use and develop some technologies that can save and protect these limited resources. Especially, water which is one of the most important needs of human being, should be protected and unconsciously usage of water should be avoided. In this paper, acknowledgement is given on widely used methods of desalination, and evaluation of economic and technical feasibility of these methods is made.

**Key Words:** Desalination, Reverse osmosis, Electrodialysis, Economical analysis.

## 1.GİRİŞ

### 1.1 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 km<sup>3</sup> suyun %2,5'ini tatlı su oluşturmaktadır. Bunun 24,4 milyon km<sup>3</sup>'ü, yani yaklaşık üçte ikisi buzullarda bulunduğundan, karada ve tatlı sularda yaşayan canlılar için bu suyun yalnızca % 1 kadarı kullanılabilir durumdadır. (Water Science And Technology Board, 2008)

Yeraltı suları ve topraktaki nem 10 milyon km<sup>3</sup> su barındırmaktadır. Tatlı su gölleri ve bataklıklar 0,1 milyon km<sup>3</sup>, tatlı suyun en iyi bilinen formu olan ırmaklarda ise toplam 0,002 milyon km<sup>3</sup>, yani toplam tatlı suyun 0,01'inden azı bulunmaktadır. (Water Science And Technology Board, 2008)

Tatlı suyun ana kaynağını, okyanus yüzeyindeki buharlaşmalar oluşturmaktadır. Her yıl ortalama 505.000km<sup>3</sup> su okyanuslardan buharlaşmaktadır. Bunun yanında, yılda 72.000km<sup>3</sup> suda kara yüzeylerinden buharlaşmaktadır. Buharlaşan suyun % 80'i yağış olarak okyanuslara dönmektedir. Kalan % 20 yani 119.000km<sup>3</sup> su karalara yağış olarak düşmektedir. Bunun da 47.000km<sup>3</sup>'ü yeraltına inmektedir. (Water Science And Technology Board, 2008)

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. (Water Science And Technology Board, 2008)

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).

| Bulunduğu yer                  | Miktar ( $10^6 \text{ km}^3$ ) | Dünya üzerindeki su yüzdesi |
|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| Okyanuslar                     | 1338                           | 96,5                        |
| Buzullar ve kalıcı karlar      | 24,1                           | 1,74                        |
| Yer altı suları (acı ve tuzlu) | 12,9                           | 0,94                        |
| Yer altı suları (tatlı)        | 10,5                           | 0,76                        |
| Buzul topraklar                | 0,3                            | 0,022                       |
| Tatlı su gölleri               | 0,091                          | 0,007                       |
| Tatlı su nehirler              | 0,002                          | 0,0002                      |

Tablo 1.1 Yeryüzündeki Önemli Su Stokları (Water Science And Technology Board, 2008)

|                        |      | Toplam Su Sarfıyatı  | Evsel Kullanım | Endüstriye Kullanım | Tarımsal Kullanım | Evsel Kullanım           | Endüstriye Kullanım      | Tarımsal Kullanım        |
|------------------------|------|----------------------|----------------|---------------------|-------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Ülkeler                | Yıl  | km <sup>3</sup> /yıl | (%)            | (%)                 | (%)               | m <sup>3</sup> /kişi/yıl | m <sup>3</sup> /kişi/yıl | m <sup>3</sup> /kişi/yıl |
| Japonya                | 2000 | 88,49                | 20             | 18                  | 62                | 136                      | 123                      | 431                      |
| Türkiye                | 2001 | 39,78                | 15             | 11                  | 74                | 80                       | 59                       | 404                      |
| Avusturya              | 1999 | 3,67                 | 35             | 64                  | 1                 | 157                      | 286                      | 4                        |
| Belçika                | 1998 | 7,44                 | 13             | 86                  | 1                 | 95                       | 610                      | 9                        |
| Danimarka              | 2002 | 0,67                 | 32             | 26                  | 42                | 40                       | 32                       | 52                       |
| Fransa                 | 2000 | 33,16                | 16             | 74                  | 10                | 86                       | 408                      | 54                       |
| Almanya                | 2001 | 38,01                | 12             | 68                  | 20                | 57                       | 312                      | 91                       |
| Yunanistan             | 1997 | 8,7                  | 16             | 3                   | 81                | 128                      | 25                       | 630                      |
| İtalya                 | 1998 | 41,98                | 18             | 37                  | 45                | 131                      | 265                      | 326                      |
| Hollanda               | 2001 | 8,86                 | 6              | 60                  | 34                | 33                       | 326                      | 184                      |
| İspanya                | 2002 | 37,22                | 13             | 19                  | 68                | 116                      | 160                      | 588                      |
| İsveç                  | 2002 | 2,62                 | 37             | 54                  | 9                 | 109                      | 161                      | 26                       |
| İsviçre                | 2002 | 2,52                 | 24             | 74                  | 2                 | 84                       | 257                      | 7                        |
| İngiltere              | 1994 | 11,75                | 22             | 75                  | 3                 | 43                       | 148                      | 6                        |
| Rusya                  | 2000 | 76,68                | 19             | 63                  | 18                | 100                      | 34                       | 95                       |
| Kanada                 | 1996 | 44,72                | 20             | 68                  | 12                | 271                      | 952                      | 163                      |
| Çin                    | 2000 | 549,76               | 7              | 26                  | 67                | 27                       | 107                      | 281                      |
| Brezilya               | 2000 | 59,3                 | 20             | 18                  | 62                | 65                       | 57                       | 196                      |
| Birleşik Arap Emirliği | 2000 | 2,3                  | 23             | 9                   | 68                | 118                      | 44                       | 349                      |
| ABD                    | 2000 | 477                  | 13             | 46                  | 41                | 203                      | 736                      | 660                      |

Tablo 1.2 Ülkelere Göre Yıllık Sektörel Su Kullanımı (World's Water Org.,2006).

## 1.2 Türkiye'nin Genel Su Bütçesi:

Ülkemizde tatlı suyun büyük bölümünün kaynağını yağışlar oluşturmaktadır. Ülkemizde bir yılda düşen ortalama yağış  $501\text{km}^3$ 'tür. Bunun yanında, komşu ülkelerden ırmaklarla gelen su miktarı yaklaşık  $7\text{km}^3$ 'tür. Yıllık ortalama yağışın yarısından fazlası, yani  $274\text{km}^3$ 'ü buharlaşmayla atmosfere karışmaktadır. Geriye kalan suyun  $158\text{km}^3$ 'ü yüzey akısına,  $69\text{km}^3$ 'ü yeraltı suyuna dönüşmektedir. Yeraltı suyu, kaynaklarla kısmen yüzeye çıkarak yüzey akısı ile birleşmektedir. Komşu ülkelerden gelen akımla da birleşince, toplam yüzey akısı  $193\text{km}^3$  olmaktadır. (Bilim Teknik Dergisi, 2005)

Yüzey akısının yaklaşık  $8\text{km}^3$ 'ü (% 4) buharlaşmaktadır. Kalanının  $121\text{km}^3$ 'ü (% 64) denizlere deşarj olmaktadır.  $75\text{km}^3$ 'ü ise (% 33) komşu ülkelere akmaktadır. Yeraltı suyunun  $11\text{km}^3$ 'ü (% 16) komşu ülkelere akmaktadır.  $30\text{km}^3$ 'ü (% 44) denizlere boşalmaktadır (Bilim Teknik Dergisi, 2005).

Ülkemizdeki tüketebilir su kaynaklarına bakacak olursak:  $193\text{km}^3$ 'lük toplam yüzey akısının  $98\text{km}^3$ 'ü (% 49),  $69\text{km}^3$ 'lük yeraltı suyunun da  $12\text{km}^3$ 'ü (% 17) tüketilebilir durumdadır (Bilim ve Teknik Dergisi, 2005).

Ülkemizde 1998 yılı itibari ile tüketilen  $38,9$  milyar  $\text{m}^3$  suyun  $32,9$  milyar  $\text{m}^3$ 'ü yerüstü suyundan,  $6$  milyar  $\text{m}^3$ 'ü ise yeraltı suyundan karşılanmaktadır (Baykan, 2004). Yerüstü suyundan tüketim miktarına göre sulama (% 82), içme-kullanma (% 10), sanayi (% 8) şeklinde olan sıralama, yeraltı 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 içme suyu ihtiyacını yeraltı sularından, %5'i 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 (Akpinar, 2005).

Ülkemizde yeraltı sularımızın % 74'ü sulamada kullanılmaktadır. Çiftçimizin kendi imkânlarıyla yapmış olduğu sulama sistemleri için yaklaşık % 90 sanayi ve endüstride kullanılmak üzere fabrikalarımız su ihtiyaçlarını tahminen % 95 derin sondaj kuyularından karşılamaktadır. Bu nedenle yeraltı sularına sahip çıkılması yediden yetmişe tüm halkımızın görevidir (Akpinar, 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 çalışmada deniz suyundan tatlı su elde edilmesinin çeşitli yöntemleri ve kullanılan bu örnek sistemlerin ilk yatırım ve işletme maliyetleri incelenecektir.

## 2. SU PROBLEMİNE GENEL BİR BAKIŞ

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).

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, 2008).

- Su, kokusuz, renksiz, berrak ve içimi lezzetli olmalıdır.
- Su hastalık yapan mikroorganizma ihtiva etmemelidir.
- Suda sağlığa zararlı kimyasal maddeler bulunmamalıdır.
- Su, kullanma maksatlarına uygun olmalıdır.
- Sular içimi uygun ve yumuşak olmalıdır.

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. (Eroğlu, 2008)

**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. (Eroğlu, 2008)

**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. (Eroğlu, 2008)

**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 yeraltı sularında  $Fe^{+2}$  olarak, umumiyetle demir bikarbonat ( $Fe(HCO_3)_2$ ) şeklinde bulunur.  $Fe^{+2}$  oksijenle temas ederse sarı-kırmızı bir bileşik olan demir hidroksit şeklinde çöker. Bu sebeple suyun tadı ve rengi değişir. (Eroğlu, 2008)

**e) Sular içimi uygun ve yumuşak olmalıdır:**

Suların sertliği, serbest karbondioksit ( $CO_2$ ) ile bikarbonat ( $HCO^{-3}$ ) iyonunun dengede olmamasından ileri gelir. Suların sertliği, 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, 2008)

## 2.1 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, J. Dvorak, B. Skipton, S. 2006)

Tablo 2.1: İçme Suyu Kalite Problemleri (Kocher, J. Dvorak, B. Skipton, S. 2006)

| Problem  | Belirti  | Kaynak ve Sebep   | Sağlık Riski  | Arıtma Seçeneği   |
|--|--|---|---|---|
| <b>Sert su, leke çökelti, ev içi tesisat problemleri</b> | 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 filtre, 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 |
| <b>Sediment (kum, kil, pas)</b>                          | Çakıllı kumluluk veya aşındırıcı kıvam   | Doğal olarak kum partiküllerinin ve kilin çökmesi   | Toprak/kil partiküllerine zararlı bileşik bağlanması                          | Kum filtrasyonu, distilasyon  |

| Problem            | Belirti   | Kaynak ve Sebep  | Sağlık Riski  | Arıtma Seçeneği  |
|--------------------|---|--|---|--|
| <b>Tat</b>         | Tuzlu ve acı su, paslanmaz çelik lavabo çukurunda ve mutfak kaplarında siyahlaşma | Doğal olarak yüksek sodyum içeriği çökmesi   | Düşük kan basıncı   | Ters osmoz, distilasyon  |
|                    | Soda veya gazoz tadı, kaymak hissi  | Yüksek toplam çözünmüş katı, alkalın   | Direk sağlık etkisi yok, dezenfeksiyon ile engellenebilir   | Ters osmoz, distilasyon  |
| <b>Pestisitler</b> | Sudaki keskin 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 osmoz, distilasyon                       |
| <b>Koku</b>        | 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  | Çözünmüş 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 Devamı

| <b>Problem</b>                          | <b>Belirti</b>  | <b>Kaynak veya Sebep</b>  | <b>Sağlık Riski</b>   | <b>Arıtma Seçeneği</b>  |
|---|---|---|---|---|
| <b>Koku</b>                             | Yanık yumurta kokusu  | Yumuşak su varlığında su ısıtılmasında magnezyum hareketi   | 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, Sok klorlama  |
|   | Metan gazı  | Bataklık yakınlardaki sığıklarda organik madde çürümesi, depolama alanları, petrol alanlarından kiferlere 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)                                     |
| <b>Bulanıklık</b>                       | Bulanık su veya suda çökelen askıda katı maddeler   | Kil, silt veya kum  | Toprak/Kil partiküllerine zararlı bileşikler eklenmiş olabilir  | Kum kapanları, Elek, Kum filtrasyonu  |
| <b>Suda siyah görünüş</b>               | 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 |
| <b>Demirden suyun kırmızımsı olması</b> | Başlangıçta su berraktır, fakat ısıtma-pişirme esnasında rengi kırmızımsı olur, eşyalarda kırmızımsı leke yapmaktadır | Çözünmüş 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 Devamı

| Problem                          | Belirti  | Kaynak veya Sebep   | Sağlık Riski   | Arıtma Seçeneği  |
|----------------------------------|--|---|--|--|
| Demirden suyun kırmızımsı olması | Su çökeltilirken kahverengimsi görünüşün gitmemesi           | Organik (bakteriyel) demir  | Bilinen sağlık riski yok   | Aktif karbon filtreyi ve klorlamayı takiben sok 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 osmoz  |
| 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 osmoz  |
| 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 osmoz  |
| Radon                            |  | Suda radyumun doğal olarak çözülmesi ile radon gazı çıkmaktadır                                     | Kanser   | De-havalandırma, Aktif karbon filtre                                 |
| Kursun                           |  | Evdeki lehim yada kursun borular, doğal çökme erozyonu  | Sinir sistemine, beyine, böbreğe ve kırmızı kan hücrelerine ciddi hasar verir  | Ters osmoz, 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 osmoz, Distilasyon            |

Tablo 2.1 Devamı

| Problem   | Belirti   | Kaynak veya Sebep   | Sağlık Riski   | Arıtma Seçeneği   |
|---|---|---|--|---|
| <b>Diğer ağır metaller (çinko, kadmiyum)</b>    | Görünmeyen renkte, tatta ve kokudaki bileşikler | Endüstriyel atık kirliliği, düşük pH'lı suların sebep olduğu tesisatlardaki korozyon          | Böbrek ve sinir sisteminde hastalık, kanda düzensizlik, bağırsaklarda düzensizlik                                  | Ters osmoz, Distilasyon, Aktif karbon filtre, iyon değişimi su yumuşatma (Bakır, çinko, kadmiyum) |
| <b>Arsenik</b>                                  |   | Doğal çökeltme, cam, elektronik atık, çelik fırını  | Kanser, zaman içinde yüz ve sinir sisteminde hasar   | Ters osmoz, Distilasyon, Demir veya manganez katkılı adsorbant madde                              |
| <b>Kloraminler</b>                              |   | Mikropları kontrol etmede suya eklenerek kullanılan madde                                     | Göz ve burunda tahriş, mide rahatsızlığı, anemi, diyaliz merkezlerinde kullanılmaz                                 | Aktif karbon filtre   |
| <b>Dezenfeksiyon Ara ürün (Trihalometanlar)</b> |   | İçme suyunda klorlama ara ürünleri, mikropları kontrol etmede suya eklenerek kullanılan madde | Kanser, ciğer, böbrek ve sinir sisteminde problemler   | Aktif karbon filtre   |
| <b>Koliform Bakteri</b>                         |   | Suya içerisine insan veya hayvan atıklarının sızması  | Bağırsaklarda rahatsızlık (Bulantı, kusma, ishal), Koliform bakteriler arasında zararlı diğer mikroplarda olabilir | Ultraviyole rasyasyon (UV) Sürekli klorlama, Distilasyon, Ozonlama                                |
| <b>Crypto-sporidium</b>                         |   | 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 osmoz                                      |
| <b>Giardia</b>                                  |   | 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,     |
| <b>Virüs</b>                                    |   | 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 osmoz                 |

Tablo 2.1 Devamı

Aşağıda İSKİ’den alınmış içilebilir bir suyun içindeki iyon değerlerini tablosu yer almaktadır.

| <b>Parametre</b>           | <b>Birim</b> | <b>TS 266<br/>Sular - İnsanî<br/>Tüketim Amaçlı<br/>Sular (Anonim,<br/>2005)</b> | <b>Dünya Sağlık<br/>Teşkilatı<br/>(WHO) 1)</b> |
|----------------------------|--------------|--|--|
| Renk                       | Birim        | < 20   | < 15   |
| Bulanıklık                 | NTU          | < 1  | < 5  |
| Kursun                     | 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<br>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  | ---  | ---  |

Tablo 2.2 İçme suyu standart değerleri (Anonim, 2005)

## 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 dâhil 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 sulardan 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.

#### a) Yüksek kaliteli sular (I. Sınıf)

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

**b) Az kirlenmiş sular (II. Sınıf)**

- İleri veya uygun bir arıtma ile içme suyu olarak,
- Rekreatyonsal amaçlar için,
- Balık üretimi (Alabalık hariç),
- Sulama suyu olarak,
- I. Sınıf sular dışında kalan diğer kullanımlar için,

**c) Kirlenmiş sular (III. Sınıf)**

Gıda, tekstil gibi kaliteli su gerektiren sanayiler hariç, uygun bir arıtmadan sonra sanayide kullanılabilir. (Güler ve Çobanoğlu, 1997)

**d) 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 tas 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, yeraltı suyu, yerkabuğundaki geçirimli jeolojik ortamın doygun bölgesinde bulunan ve kıyıları, kaynakları, akarsu, göl ve deniz gibi su kütlelerini besleyen sudur (Brass ve ark, 1977).

Yeraltı sularından yararlanma, insanoğlunun yeryüzünde var oluşu ile baslar. İlk insanlar bir yandan hayvanların su aramalarını görerek bir yandan da içgüdülerini kullanıp kendilerine gerekli suyu bulmaya çalışmışlardır. (Güler ve Çobanoğlu, 1997)

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. (Güler ve Çobanoğlu, 1997)

Eski İranlıların, Mezopotamyalıların, Mısırlıların ve Çinlilerin yer altı sularından yararlanmak için derin kuyular açtıkları, kilometrelerce uzunlukta kehrizler (tünel) kazdıkları bilinmektedir. Yusuf Peygamberin Kahire’de 90,5m derinlikte som kaya içinde açtırmış olduğu kuyu sanat ve işçilik yönünden bugün de insanları hayran bırakmaktadır. Dikdörtgen kesitli bu kuyunun 50 metrelik ilk kısmı 5,50x7,30m, 40 metrelik ikinci kısmı ise daha küçük boyutta (4x4m) ayrı bir eksen üzerinde açılmıştır. Suyun 90,39m derinlikten alınışı ilkel fakat pratik bir sistemle sağlanmıştır. Yakup Peygamberin kuyusunun da 46m derinlikte, 2,30m çapında olduğu, zamanla dolduğu ve kullanılmaz hale geldiği bilinmektedir. (Güler ve Çobanoğlu, 1997).

Milattan önce 6. asırda Yunanlılar ve 3. asırda Romalılar, şehirlerinde çeşitli su yapıları inşa etmişlerdir. Bunlardan büyük bir kısmı günümüze kadar gelmiş bulunmaktadır. (Güler ve Çobanoğlu, 1997).

Kurak ve yarı kurak bir bölge olan ülkemizde de yeraltı sularından yararlanma düşüncesi çok eskidir. Bugün çeşitli yerlerde gördüğümüz yeraltı suyu yapıları, kuyular, kehrizler bu düşüncüyü desteklemektedir. Türkler de yerleşik düzene geçtiklerinde, kuyular ve galeriler açmışlar; sarnıçlar, çeşmeler, sebiller ve bentler inşa etmişlerdir (Güler ve Çobanoğlu, 1997).

Cumhuriyetin ilanından sonra şehir ve köylerin su ihtiyacını karşılamak için yeraltı suyu araştırmaları yapılmış, bugünde araştırmalarla birlikte modern sondaj aletleriyle derin kuyular açılarak yeraltı suyundan azami derecede yararlanma yoluna gidilmiştir. (Güler ve Çobanoğlu, 1997).

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, sevlerin, tünel ve yollardaki kazıların stabilizesini bozma ve betona zararlı etki yapma açısından, madenciler, verimi azaltma, ocağı boğma ve kazalara yol açma nedenlerinden dolayı yakından ilgilidir (Güler ve Çobanoğlu, 1997).

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

**a) Yüksek kaliteli yeraltı suları (I. Sınıf)**

İçme suyu ve gıda sanayi olmak üzere her türlü amaç için kullanılabilen yeraltı sularıdır. Gerekli görüldüğünde uygun bir dezenfeksiyon yapılabilir. Yalnızca havalandırma ile gerekli oksijen sağlanıyorsa bu gibi sulara I. Sınıf yeraltı suyu olarak kabul edilebilir. (Güler ve Çobanoğlu, 1997)

**b) Orta kaliteli yeraltı 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. (Güler ve Çobanoğlu, 1997)

**c) Düşük kaliteli yeraltı 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 süzüldeğü toprağın cinsine ve kalınlığına ve süzölen suyun kirlenme derecesine bağılıdır. Bununla birlikte yeraltı sularında fazla miktarda erimiş mineral bulunması dezavantajdır. (Güler ve Çobanoğlu, 1997)

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

**2.2.3 Ülkemiz için Yer Altı Sularının Önemi:**

Yeraltı sularına halk arasında kaynak suları adı da verilir. Bunlar yeraltındaki su seviyesinin bir şekilde yeryüzü ile kesiştiğı noktalarda ortaya çıkarlar. Yeraltı sularının başlıca özellikleri arasında şunları sayabiliriz: (Akpınar, 2005).

- Yeraltı suları içinde jeolojik tabakalardaki madenleri eritmiş olduğundan içimi daha lezzetli ve damak tadı verir.

- Yeraltı su hazneleri üstlerinde başka jeolojik katmanlar bulunduğundan doğrudan güneş ısınımı 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 verilmesi halinde yeraltı 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).

#### **2.2.4 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 taş ocağı olarak kullanılması, yer altı suyu havzalarında kentleşme ve sanayileşmenin genişlemesi, yer altı suyu bulunduran havzalarda sondaj tekniğine uygun olmayan oldukça fazla kuyunun açılması ve işletilmesi ile koruma alanlarının belirlenmemiş olması, denize yakın akifelerde 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. Yeraltı sularının kirlenme nedenleri, kirleticiler kaynağının 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).

## 1. Doğal nedenler

- Kötü kaliteli akarsu, göl, bataklık etkileri: Kirilenmiş akarsu veya göllerin yeraltı 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 birçok kıyı ovasında yeraltı suları ya tamamen tuzlanmış veya tuzlanmaya başlamıştır. (Akpınar, 2005).

## 2. Yapay Nedenler

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

### 3. DENİZ SUYUNUN ÖZELLİKLERİ VE İÇME SUYU KALİTESİ BAKIMINDAN TUZLU SU

#### 3.1 İçme Suyu Kalitesi Bakımından Deniz Suyu

Dünyanın giderek büyüyen bir sorunu olan içme suyu sıkıntısının giderilmesinde çeşitli yollar vardır. Bunlardan bazıları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Can, M., Etemoğlu, A.B. ve Avcı, A. 2002);

- Tutumlu ve ölçülü bir su sarfiyatı,
- Yağmur sularının biriktirilip kullanıma sunulması,
- Su fazlası olan bölgelerden, su kıtlığı çekilen bölgelere suyun transferinin sağlanması (örneğin yük gemileri ile büyük buz dağlarının kutup bölgelerinden su kıtlığı çekilen bölgelere taşınması gibi),
- Deniz suyu veya az tuzlu olan yeraltı sularının tuzlarının, çeşitli yöntemlerle giderilmesi.

Dört yüzyıl öncesine ait eski çağ denizlerinden ve yağmurlarından oluştuğu söylenen fosil su rezervlerinin çıkarılmasının dünya üzerinde yaşanan su kıtlığına bir çözüm getirip getiremeyeceği bilim adamları arasında hala bir tartışma konusudur. Magmaya çok yakın bölgelerdeki bu rezervlerin yüksek mineral içeriğinden dolayı bu suların içilebilir hale getirilmesi için yüksek maliyetli değişik tekniklere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durum fosil su rezervlerinin cazibesini azaltmaktadır. Libya fosil su rezervleri bakımından dünyanın en zengin ülkelerinden biridir ve bu rezervlerin bulunduğu bölgelerde bilim adamları çok yönlü denemeler yapmaktadırlar. Fosil su rezervlerinin gelecekte su kıtlığına alternatif bir çözüm olarak getirilmesi hiç de uzak değildir. Buz dağlarının kutup bölgelerinden uzak bölgelere taşınması şu günlerde bir ütopyadan ileri gidemez. Taşıma maliyeti bu seçeneğin olabilirliğini azaltmaktadır. Ama bazı durumlarda bir yerden başka bir yere nakledilmesi tuzlu sudan tatlı su üretme yöntemlerinden daha ucuza gelebilmektedir. Örneğin Ege denizinde ana karaya yakın birçok adanın içme suyu ihtiyacı bu şekilde karşılanmaktadır (Can, M., Etemoğlu, A.B. ve Avcı, A. 2002).

Deniz suyundan tatlı su elde edilmesi yüksek maliyetlere ihtiyaç duyduğu için, bu gibi çözümlere gerek olup olmadığının çok iyi bir şekilde analizi ve fizibilitesi gerekmektedir. Bu araştırma tuz giderme yöntemlerinden faydalanılarak deniz suyundan tatlı su elde edilmesi konusunu incelenmiştir. Aşağıda deniz suyunun içeriğinden bahsedilmiş ve deniz suyunu oluşturan bileşikler detaylı bir şekilde incelenmiştir. Dünya üzerindeki denizlerin tuz içeriği yüzde olarak % 0,7 ile % 4,3 arasında değişmektedir (Tablo 3.1) (Can, M., Etemoğlu, A.B. ve Avcı, A. 2002).

| Denizler            | Tuz konsantrasyonu (%) |
|---------------------|------------------------|
| Standart Deniz suyu | 3,5                    |
| Baltık Denizi       | 0,7                    |
| Hazar Denizi        | 1,3                    |
| Pasifik Okyanusu    | 3,4                    |
| Atlantik Okyanusu   | 3,6                    |
| Kızıl Deniz         | 4,3                    |
| Basra Körfezi       | 4,3                    |
| Karadeniz           | 1,8                    |
| Marmara Denizi      | 2,2                    |
| Ege Denizi          | 3,8                    |
| Akdeniz             | 4,3                    |

Tablo 3.1 Dünya Üzerindeki Çeşitli Denizlerin Tuzluluk Oranları (Can, M., Etemoğlu, A.B. ve Avcı, A. 2002)

Denizden denize tuz içeriği büyük ölçüde farklılık gösterir. Denizlere olan tatlı suyun akışına bağlı olarak tuz içeriği yüksek ya da az olabilmektedir. Yukarıdaki tablodan bu durum çok daha iyi anlaşılabilir (Can, M., Etemoğlu, A.B. ve Avcı, A. 2002).

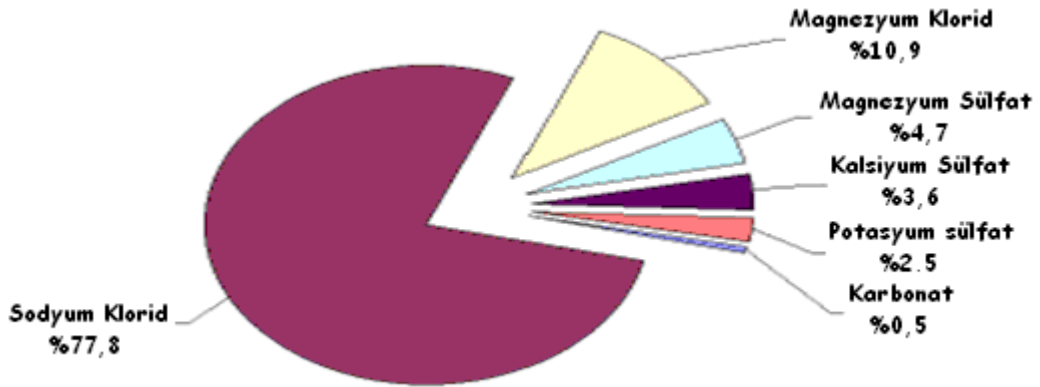
Karadeniz, Marmara ve Ege Denizi ile Akdeniz'e göre daha az tuzlu bir denizdir. Bunda Karadeniz'e dökülen Tuna, Bug, Dinyester, Dinyeper, Don, Kızılırmak gibi büyük ırmaklarında payı vardır (Can, M., Etemoğlu, A.B. ve Avcı, A.2002).

İstanbul ve Çanakkale boğazları aracılığı ile Karadeniz ve Ege Denizi arasında su alışverişi sağlayan Marmara Denizinin yüzey suları Ege ve Akdeniz'e göre daha az Karadeniz'e göre ise daha tuzludur. 15-20m derinlikte yüzey katmanında %2,2 olan tuzluluk oranı 30m de %3,7 ye 150m de ise %3,85 e ulaşır (Can, M., Etemoğlu, A.B. ve Avcı, A.2002).

Ege Denizinin Karadeniz ve Marmara'dan daha tuzlu olmasının nedeni, Karadeniz ve Marmara'dan gelen yüzey sularının Ege Denizinde saatte 2km yi aşan bir üst akıntı oluşturmasıdır. Bu üst akıntı Yunanistan kıyılarını izleyerek güneyde Akdeniz'e ulaşır. Tuzluluk oranı genelde %3,8 olan Ege Denizinin batı kesimindeki suların daha az tuzlu olmasının nedeni budur (Can, M., Etemoğlu, A.B. ve Avcı, A.2002).

Akdeniz kavurucu yaz günlerinde buharlaşma ile yitirdiği suyun pek azını akarsu ve yağışlarla geri alabildiği için denizin tuzluluğu giderek artmaktadır. Akdeniz'in tuzluluk şu an %4,4 olarak tahmin edilmektedir (Can, M., Etemoğlu, A.B. ve Avcı, A.2002).

Deniz suyunun bileşenleri aşağıdaki şemada açık olarak ifade edilmiştir. ( Şekil 3.1 )



Şekil 3.1 Deniz Suyunun Kimyasal Bileşenleri (Eren H. ve Batur B. 2003)

Deniz suyu normalde doğada mevcut bulunan bütün elementleri içermektedir. Denizlerde organik ve inorganik olarak bulunan bu bileşimler, deniz suyunun tuzunu gideren sistemlerde birçok probleme sebebiyet vermektedir (Janisch, 1994). Bu sistemlerde zamanla oluşan yosun tabakalarının yanı sıra yine bu sistemlerin iç çeperlerinde meydana gelen tortu

halindeki kabuklaşma başlıca problemlerdendir. Sistem içinde artan sıcaklık tuz çözünme kabiliyetin azaltır ve bu durum çökelmeye neden olur (Künzel, 1989).

Çökeltme oluşumunun yüksek sıcaklıklarda meydana gelmesi sebebiyle çalışma sıcaklığının maksimum  $120^{\circ}C$  de tutulması çökeltme oluşumunu engelleme açısından faydalıdır. Tüm bunların dışında kabuk oluşumunu engelleme açısından çare olarak kabuk oluşumunu engelleyici ek dozlama ve mekanik temizleme işlemleri uygulanabilir (Künzel, 1989).

Mantar, bakteri yada yosun oluşumunun engellenmesi için bakır tuzunun yada başka bir deyişle Hipoklorit'in ( $NaOCl$ ) kullanılması şarttır. Basit buharlaştırıcı damıtma sistemlerinde düzenli bir tuz alış verişi çok önemlidir. Özellikle Ters Osmos sistemlerinde, tesiste oluşabilecek problemlerin ortadan kaldırılabilmesi için bir ön işlem mutlaka gereklidir. İşlenmemiş suyun kimyasal ön hazırlığından vazgeçilmesi halinde istenilmeyen oluşumların filtrasyonu için kum, quartz ve aktif karbon filtreler kullanılmalıdır (Künzel, 1989).

### 3.2 Deniz Suyunun Özellikleri

Atık suların denize deşarjında, alıcı ortam olan deniz suyu büyük önem taşır. Deniz suyu çeşitli tuzlar, gazlar, çözünmüş ve askıda organik ve inorganik özellikleri içerir (Can, M., Etemoğlu, A.B. ve Avcı, A.2002).

#### 3.2.1 Deniz Suyunun Tuzluluğu

Deniz suyunun tuzluluğunu oluşturan belli başlı erimiş tuzlar sırasıyla klor, sodyum, sülfatlar, magnezyum, kalsiyum, potasyum, bikarbonat ve bromdur. Bilinen tüm elementler deniz suyunda mevcuttur. Fakat bunların büyük kısmı çok az miktardadır. İçindeki brom ve iyotların klor ile değiştirildiği 1kg sudaki toplam klor, iyot ve bromun gram olarak miktarına tuzluluk denir ve aşağıdaki formülle hesaplanır (Can, M., Etemoğlu, A.B. ve Avcı, A.2002).

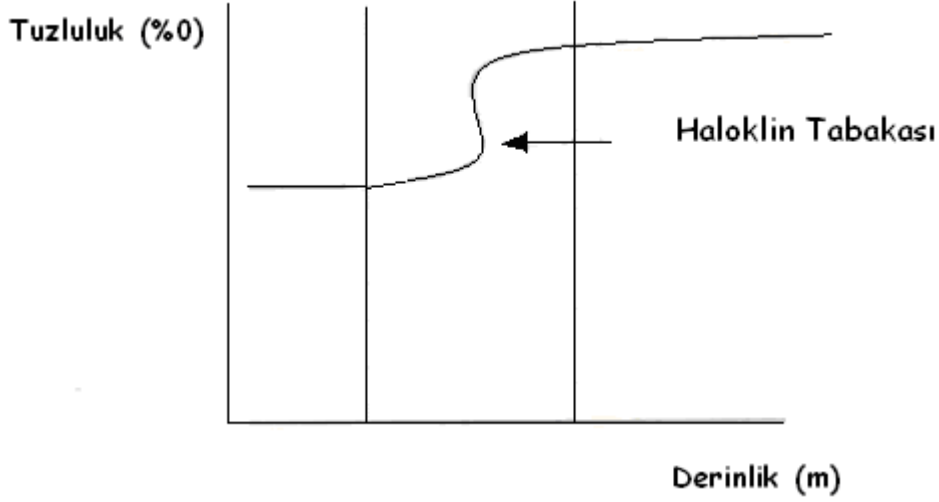
$$S = 0,03 + 1,805 Cl \quad (3.1)$$

S = % olarak tuzluluk oranı

Cl = 1 litre tuzlu su içindeki klorun kütlesi (gr)

Son zamanlarda daha pratik ve güvenilir olduğu için tuzluluk tayini elektriksel iletkenlik ölçüm aletleri ile yapılmaktadır (Can, M., Etemoğlu, A.B. ve Avcı, A.2002).

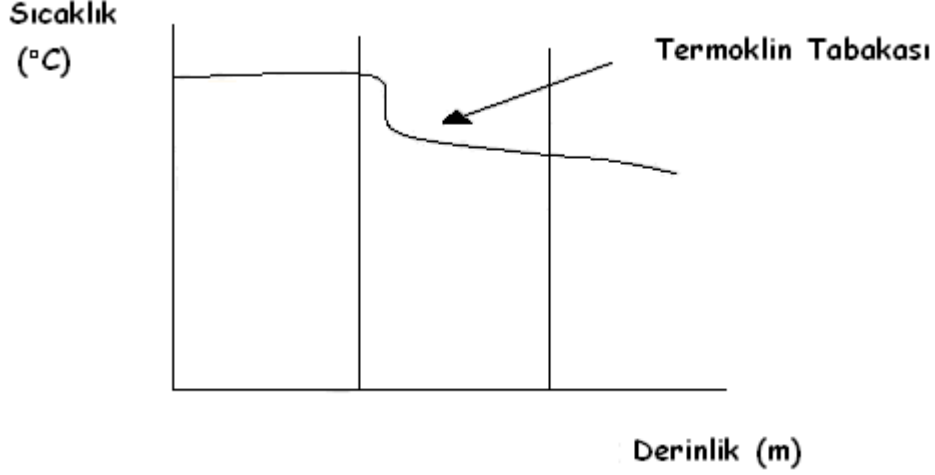
Tuzluluk denizlerde genel olarak derinlik arttıkça artar fakat bu artış miktarı büyük değildir. Yazın ise buharlaşma nedeniyle tuzluluk artışı yüzeye doğrudur. Okyanuslarda tuzluluk oranı %3,4 ila 3,8 arasında değişmektedir. Tuzluluğun derinlere göre diğer kısımlara nazaran değiştii bölgeye haloklin tabakası denir . ( Şekil 3.2 )



Şekil 3.2 Haloklin Tabakası (Can, M., Etemoğlu, A.B. ve Avcı, A.2002)

### 3.2.2 Deniz Suyunun Sıcaklığı

Deniz yüzeyinde ve yüzeye yakın yerlerde su sıcaklığı hem mevsimlik hem de günlük değişim gösterir. Su derinliğinin az olduğu kıyı kesimi dışında, deniz tabanına yakın bölgelerde su sıcaklığı kayda değer bir değişiklik göstermez. Suyun yüzeyi ile deniz tabanı arasında sıcaklığın derinliğe göre diğer tabakalara nazaran çok daha hızlı olarak değiştii bölgeye termoklin tabakası denir. ( Şekil 3.3 ) (Can, M., Etemoğlu, A.B. ve Avcı, A.2002).



Şekil 3.3 Termoklin Tabakası (Can, M., Etemoğlu, A.B. ve Avcı, A.2002)

Termoklin bölgesinin üzerinde yer alan su tabakasının sıcaklığı yazın dipteki tabakanın sıcaklığından daha fazladır. Kış mevsiminde ise yaz aylarındaki tersi bir durum gözlenir (Can, M., Etemoğlu, A.B. ve Avcı, A. 2002.).

Denizlerde üç çeşit termoklin bulunur. Birincisi daimidir ve oldukça derinlerde oluşur. İkincisi mevsimlidir, ilkbaharda oluşur ve sonbaharın sonunda ortadan kalkar, üçüncüsü ise gündüzdür ve sabah oluşup akşam ortadan kalkar (Can, M., Etemoğlu, A.B. ve Avcı, A.2002).

### 3.2.3 Deniz Suyunun Yoğunluğu

Yoğunluk deniz suyunda tabakalaşmaya ve akıntıların oluşmasına etki eden önemli bir faktördür. Denize genellikle dipten deşarj edilen atık suların yoğunluğu deniz suyuna nazaran daha düşük olduğundan yüzeye doğru yükselirler ve deniz suyuyla karışarak seyrelirler. Bu arada mevcut tabakalaşmaya göre yüzeye çıkarlar yada belli bir derinlikte kalırlar (Can, M., Etemoğlu, A.B. ve Avcı, A.2002).

Deniz suyunun yoğunluğu; basınca, tuzluluğa ve su sıcaklığına bağlı olarak değişiklik gösterir ve  $4^{\circ}C$  deki yoğunluğu  $1000 \text{ kg/m}^3$  olan saf sudan daha fazladır. Deniz suyunun yoğunluğunu osinografide ve ilgili diğer bilim dallarında osinografik yoğunluk (yoğunluk faktörü),  $\rho_t$  birimi kullanılarak gösterilir (Can, M., Etemoğlu, A.B. ve Avcı, A.2002).

$$\rho = (\rho_t - 1) \times 10^3 \quad (3.2)$$

denklemlerle tanımlanır. Burada;

$$\rho = t^\circ C \text{ deki deniz suyu yoğunluğu } (g/m^3)$$

$$\rho_t = t^\circ C \text{ deki osinografik yoğunluğu } (kg/m^3)$$

Yoğunluk, tuzluluk ve sıcaklık değişimlerine bağlı olarak derinlikle değişir. Genellikle az yoğun bir üst tabaka ve tabanda da yoğun bir alt tabaka mevcuttur. Bu iki tabaka arasında yoğunluğun derinliğe göre hızla değiştiği kısma piknoklin tabakası denir (Can, M., Etemoğlu, A.B. ve Avcı, A.2002).

### 3.2.4 Deniz Suyunun Optik Özellikleri

Deniz suyunun askıda organik ve inorganik maddeler ile çözünmüş, organik maddeler deniz suyuna bazı optik özellikler verir. Işık deniz suyunda emilmek ve dağılmak suretiyle kaybolur. Bu kaybolmada özellikle çözünmüş organik maddeler etken olmaktadır. Işıktan daha ziyade kırmızı ve sarı renkler emilerek deniz suyu mavi renkte görünür (World Water and Enviromental Engineering,1993).

Güneş ışığının ulaşabildiği derinlik suyun kalitesini gösterir ve genellikle 30cm çapında beyaza boyanmış Secchi diski adı verilen bir alet yardımıyla tayin edilir. ‘Secchi diski derinliği’ ile tabir edilen bu derinlik sarkıtılan diskin görüldüğü son noktadaki su derinliğidir ve suyun bulanıklığı arttıkça azalır (World Water and Enviromental Engineering,1993).

Ayrıca denize daldırılmış ışık kaynaklarıyla veya fotoelektrik kabinlerle de ölçüm yapılmaktadır. Elde edilen sonuçlar yutma katsayısı adı verilen bir parametre ile gösterilir, bu katsayı birim derinlikteki ışık enerjisi azalmasını yansıtır (World Water and Enviromental Engineering,1993).

### 3.2.5 Deniz Suyundaki Gazlar

Deniz suyunda atmosferde bulunan gazların tamamı vardır. Bunların arasında en önemlileri karbondioksit, oksijen, hidrojen Sülfür ve azottur. Deniz suyunda erişim gazlardan, canlıların yaşaması için gerekli oksijenin çözünebilirliği, artan sıcaklık ve yoğunlukla azalmaktadır. Oksijen suya atmosferle temas ve alglerin fotosentezi sonucu geçer. Standart şartlarda oksijen doygunluk konsantrasyonu KD aşağıdaki bağıntıdan hesaplanabilir (World Water and Enviromental Engineering,1993).

$$KD = (475 - 2.65T) / (33.5 + S) \quad (3.3)$$

Burada;

T= Deniz Suyu sıcaklığı (°C)

S= Yüzde olarak tuzluluk oranı (%)

KD= Çözünmüş oksijen doygunluğu konsantrasyonu (mg/l) dur.

Deniz suyunda çözünmüş oksijen konsantrasyonu ml/l veya mg/l olarak ifade edilmektedir. Genellikle çözünmüş oksijen deniz yüzeyinde doygunluk konsantrasyonu civarındadır. Ancak fiziksel ve biyolojik faktörler yüzünden sapmalar meydana gelebilir. Alglerin fotosentez yoluyla oksijen üretmeleri oksijen miktarını arttırabilir. Yüzeyden deniz tabanına doğru çökelen organik maddelerin bakteriler tarafından oksitlenmesi ile sudaki oksijen miktarı azalır (World Water and Enviromental Engineering,1993).

Çözünmüş oksijenin var olması için derindeki suların tazelenmesi hayati öneme sahiptir. Aksi takdirde Sülfür oluşması ile ortam, canlılar için toksik hale gelebilir. Sülfür değişmeyen hareketsiz suların mevcut olduğu denizlere ait bir özelliktir, organik maddelerin çözünmesi ile oluşur. Bu nedenle Sülfür sadece derin sularda bulunur ve yüzeyde bulunmaz.

Denizlerde mevcut azot miktarı oksijenden fazladır ve doyma sınırı oksijenin ki gibi sıcaklığa ve tuzluluğa bağlı olarak değişir. Bununla beraber denizlerdeki esas azot, nitratlar şeklinde bulunur (World Water and Enviromental Engineering,1993).

### 3.3 Denizlerdeki Akıntı Hareketleri

Denize atık su deşarjlarının projelendirilmesinde bölgedeki akıntıların yön ve hızlarının ölçülmesi gereklidir. Akıntı mevcut olmaması halinde atık su deşarj edildiği bölgede birikecek ve giderek çok yüksek bir yoğunluğa ulaşacaktır. Böyle bir durum suyun genellikle hareketsiz olduğu koy ve körfezlerde söz konusudur. Açık deniz kıyılarında ise genellikle rüzgarın gel-git olayının ve diğer faktörlerin meydana getirdiği akıntılar mevcuttur (World Water and Enviromental Engineering,1993).

Genellikle yüzey civarında azami değere ulaşan akıntı hızı derinliğe bağlı olarak değişebilir. Akıntı yönleri de zamana ve mekana göre değişmektedir. Atık su deşarj noktasındaki deniz suyu yoğunluk profiline göre ya deniz yüzeyine çıkar ya da denize batmış bir atık su deniz suyu karışım bölgesi oluşur. Eğer atık su yüzeye çıkarsa yüzey akıntıları önemlidir. Aksi halde atık suyun yükselebildiği derinlikteki akıntıların yön ve hızlarının tespiti gerekir. Akıntılar, atıkların seyreltilerek deşarj noktasından uzaklaştırılmasında önemli rol oynarlar. Hakim akıntı yönü kıyıya doğru ise deşarj edilen atıkların sahile ulaşacağı zamanın tayini önem kazanır (World Water and Enviromental Engineering,1993).

### 3.4 Sahil Sularının Kalite Kriterleri

Atık suların denize deşarjının projelendirilmesinde, göz önünde bulundurulması gereken en önemli husus denizden yararlanmadır. Genellikle denize giren halkın bulaşıcı hastalıklara yakalanmaması ve deniz ürünlerinin miktar ve niteliklerinin korunması ön planda tutulmalıdır. Kıyıların estetik açıdan bozulmaması da önemlidir. İnsanların bu amaçları gerçekleştirmeleri için deniz suyu ile ilgili kalite standartlarına ihtiyaçları vardır (Güler Ç. ve Z. Çobanoğlu, 1997).

Yüzme amacı ile kullanılan bir su insan vücudu ile doğrudan doğruya veya suyun yutulması ile temas eder. Dolayısıyla bu tür sularda kirlilik ne kadar artarsa yüzücü için de sağlığının riski o derece artar. Birçok hastalık insanlara bu şekilde bulaşabilir. Evsel atık sularda hastalıklara yol açan patojen mikropların sayısı oldukça azdır. Bu nedenle su kalitesi standartları hastalığa sebep olmayan fakat sayıları fazla olan koliform mikroorganizmalarına dayandırılmaktadır. Günümüzde yaygın olarak kullanılan bakteriyolojik kalite standartları, koliform ve koliform grubu organizmalarda insan ve hayvan bağırsaklarında yaşayan

Escherichia Coli mikroorganizmalarına dayanmaktadır. Ancak bazı koliform grubu mikroorganizmalar toprak, bitki ve suda da üremektedirler (Güler Ç. ve Z. Çobanoğlu, 1997).

Hastalığa sebep olan patojenlerin çoğu insan ve hayvanların sindirim sistemlerinden atıldıktan hemen sonra ölürlür. Fakat bazı türler istisna teşkil ederler. Örneğin kolera mikrobu deniz suyunda 81 gün yaşamıştır. Hastalığa yol açmayan bakterilerde patojenler gibi deniz suyunda yok olmaktadır. Bir araştırmaya göre evsel atık suda ki tüm organizmaların %80 i deniz suyunda ½ saat içinde yok olmuştur (Güler Ç. ve Z. Çobanoğlu, 1997).

Bakteriler dışında zehirli ve yüzücü maddeler, yağ, renk, bulanıklık, koku üreten maddeler ve birikebilen maddelerde su kalitesi açısından önemlidir. Doğrudan temas edilmeyerek kullanılan sularda bile halkın sağlığı ve estetik görünüm önem taşıdığından yukarıdaki kirlilik parametrelerine dikkat edilmelidir (Güler Ç. ve Z. Çobanoğlu, 1997).

Türkiye’de 4 Eylül 1988 yılında yürürlüğe giren ‘Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği’ nde deniz ve kıyı suları, kullanım amaçlarına göre üç sınıfa ayrılmıştır. Birinci sınıf sular su ürünleri üretimini, ikinci sınıf sular rekreasyonu, üçüncü sınıf sular ise ticari endüstriyel ve diğer kullanım amaçlarını kapsamaktadır. Birinci sınıf sular için 1380 sayılı Su Ürünleri Kanunu deşarj limitleri geçerlidir. İkinci ve üçüncü sınıf sular içinse ayrı ayrı kalite kriterleri verilmiştir. Ancak bütün kıyı ve deniz sularının sağlıklı bir biçimde muhafazası için deniz sularının genel kalite kriterlerine uyması şart koşulmuştur (Güler Ç. ve Z. Çobanoğlu, 1997).

Türkiye ve diğer bazı ülkelerdeki kullanılmış su deşarj yapılan denizlerle ilgili fiziksel ve kimyasal su kalitesi kriterleri Tablo 3.2 de yine çeşitli ülkelere sahil suları için uygulanan bakteriyolojik kalite standartları da Tablo 3.3 de verilmiştir. Su kirliliği kontrol yönetmeliğinde T parametresi ile minimum ilk seyrelme deşarj uzunluğu içinde kriterler getirilmiştir (Güler Ç. ve Z. Çobanoğlu, 1997).

| Ülke                              | Yugoslavya       | ABD<br>(California)  | Japonya | Rusya | Türkiye |
|-----------------------------------|------------------|--|---------|-------|---------|
| Parametre                         |                  |  |         |       |         |
| Yağ, Gres                         | Hiç<br>0,01 mg/l | 10 mg/m <sup>2</sup> (%50)<br>20 mg/m <sup>2</sup> (%90)   |         | Hiç   |         |
| Yüzücü<br>Madde mg/m <sup>2</sup> | Yok              | 1,0 mg/m <sup>2</sup> (%50)<br>1,5 mg/m <sup>2</sup> (%90) | Hiç     |       | Hiç     |
| PH                                | 6,5-8,5          | 0,2  | 7,8-8,3 |       | 6-9     |
| BOI (mg/l)                        | 2 (I)<br>4 (II)  |  |         |       |         |
| Ç.O (mg/l)                        | 6 (I)<br>5 (I)   | %10  | %6      | 6     | %90     |
| T (°C)                            | 28<br>38         |  |         |       |         |
| Fenol                             | 0,001            |  |         |       | 0,001   |
| Cu (mg/l)                         | 0,01             |  | Hiç     |       | 0,01    |
| Hg (mg/l)                         | 0,00             |  |         |       | 0,004   |
| Pb (mg/l)                         | 0,05<br>0,1      |  | 0,1     |       | 0,1     |
| Cr <sup>6</sup> (mg/l)            | 0<br>0,5         |  | 0,05    |       | 0,1     |
| Zn (mg/l)                         | 0,01<br>0,1      |  |         |       |         |
| N <sub>1</sub> (mg/l)             | 0,001            |  |         |       | 0,1     |
| Cd (mg/l)                         | 0,00             |  | 0,01    |       | 0,01    |
| As (mg/l)                         | 0,05             |  | 0,05    |       | 0,1     |
| CN (mg/l)                         | 0,01<br>0,5      |  | Hiç     |       |         |

Tablo 3.2 Kullanılmış Su Deşarjı Yapılan Denizler İçin Fiziksel Ve Kimyasal Kalite Kriterleri(Güler Ç. ve Z. Çobanoğlu, 1997)

| ÜLKE               | ORGANİZMA TÜRÜ     | Koliform (EMS) /100ml |      |     |       |
|--------------------|--------------------|-----------------------|------|-----|-------|
|                    |                    | %50                   | %80  | %90 | %95   |
| AET Üyeleri        | Toplam Koliform    | 500                   |      |     | 10000 |
|                    | Fekal Koliform     |                       |      |     | 2000  |
|                    | Fekal Streptococci |                       | 1000 |     |       |
| ABD ( California ) | Koliform           | 230                   | 1000 |     |       |
| Danimarka          | E.Koli             |                       | 100  |     | 1000  |
| Japonya            |                    |                       | 1000 |     |       |
| Hollanda           |                    | 100-1000              |      |     |       |
| Rusya              |                    | 1000                  |      |     |       |
| İsveç              |                    | 100                   |      |     |       |

Tablo 3.3 Çeşitli Ülkelerin Koliform Standartları (Güler Ç. ve Z. Çobanoğlu, 1997)

### 3.5 Kirlenmenin Deniz Canlıları Üzerindeki Etkileri

Denizlerdeki mikroskobik ön üreticiler olan alglerden başlayarak balıklara uzanan bir besin zinciri ve üretkenlik mevcuttur. Algler genellikle yüzeyden güneş ışığının derinliklere kadar olan tabakada fotosentez yoluyla ihtiyaçlarını karşılarlar ve ürerler. Algler besin zincirinde hemen üstte yer alan küçük deniz hayvanlarına besin teşkil ederler. Balıklar ve diğer hareketli canlılar bunları yiyerek beslenirler (Güler Ç. ve Z. Çobanoğlu, 1997).

Balık türleri su sıcaklığına, basınca, sudaki oksijen konsantrasyonuna ve derinliğe bağlı olarak değişiklik gösterirler. Balıkları üretkenliği genel olarak alglerinkine bağlıdır. Algler ise ışık şiddetine ve besin maddelerinin (karbon, azot, fosfor) konsantrasyonuna bağlı olarak ürerler. Özellikle organik atık sularının deşarjı ile deniz suyundaki besin maddeleri konsantrasyonu artar. Yarı kapalı körfezlerde ve açık denizler de alg üremesine bağlı problemler doğabilir. Alglerin aşırı üremesi ile ekolojik dengenin bozulması ve ötrifikasyon olayı meydana gelir (Güler Ç. ve Z. Çobanoğlu, 1997).

Tür çeşitliliği deniz suyunun kirlilik derecesi ile ilgilidir. Tropikal denizlerde çeşitlilik fazladır. Kirlenmiş körfezlerde ise tür çeşitliliği azalmakta buna karşı birkaç dayanıklı türden çok sayıda canlıya rastlanılmaktadır. Herhangi bir atık suyun denize deşarjı söz konusu olunca en iyisi deşarja başladıktan sonra ve önce endeks değerleri karşılaştırılarak atık suyun deniz ortamına etkisinin gözlenmesidir (Güler Ç. ve Z. Çobanoğlu, 1997).

Denizdeki canlılar için önemli bir parametre de çözülmüş oksijendir (Ç.O). Sudaki Ç.O seviyesi suyun kalitesini göstermesi açısından da önemlidir. Organik kökenli atıkların deşarjı bakterilerin bu atıkları parçalarken oksijen tüketmeleri sonucu sudaki Ç.O konsantrasyonunun azalmasına yol açmaktadır. Balıkların düşük Ç.O seviyelerine duyarlı balık türlerine ve yumurtadan itibaren balıkların içinde bulunduğu değişim basamaklarına göre değişmektedir. Ayrıca solunum, beslenme, hareket, büyüme ve üreme fonksiyonları da düşük oksijen seviyelerinden etkilenmektedir. Birçok türün gelişmiş balıkları Ç.O seviyesi 3mg/lt nin üzerinde olduğu sürece yaşamlarını sürdürebilmektedirler. Bununla birlikte çoğu balık türleri içinde 5mg/lt Ç.O gereklidir (Güler Ç. ve Z. Çobanoğlu, 1997).

Açık denizlerde Ç.O seviyesinin 5mg/lt seviyesi altına düşmesi söz konusu değilken körfez ve haliçlerde aşırı kirlenme neticesinde bu değer 1mg/lt nin bile altına düşebilmektedir. Bazı balık türlerinin haliçlerde yumurtladıkları, bir kısmı da buralarda yaşadıkları için sudaki Ç.O seviyeleri önem kazanmaktadır. Sudaki karbondioksit konsantrasyonu ve su sıcaklığı da canlıların oksijen gereksinimini etkilemektedir. Su sıcaklığının 10°C lik bir artış oksijen ihtiyacını 2-3 kat artırmaktadır (Güler Ç. ve Z. Çobanoğlu, 1997).

Kabuklu deniz hayvanları ve balık larvaları kirlenmeye karşı diğer deniz canlılarından daha duyarlıdır. Eko sistemde meydana gelen değişimlerden de çok çabuk etkilenirler. Atık suda bulunan bakteri ve virüsler midye, istiridye türündeki kabuklu deniz hayvanlarında toplanıp birikebilirler. Kolera, hepatit gibi birçok salgın hastalık da kabuklu deniz hayvanları aracılığı ile yayılabilir. Bu canlılar genel taşıyıcılarıdır (Güler Ç. ve Z. Çobanoğlu, 1997).

Deniz deşarjlarında suya verilen ağır metallerde deniz canlılarını etkilemektedir. Özellikle kadmiyum ve civanın deniz canlılarına etkisi giderek önemli boyutlara ulaşmıştır. Kirlenmiş körfez ve koylarda yakalanan balıklarda yüksek miktarda civaya rastlanmaktadır. Özellikle balıklar bünyelerine aldıkları civa miktarını binlerce kez arttırabilirler. Yine bazı deniz canlıları sudan aldıkları kadmiyumu 4500 kez daha büyük değerlere ulaştırabilirler. Ağır metalleri biriktirebilen bu balıklar bu metallerin radyo izotopların da aynı şekilde bünyelerinde tutabilirler (Güler Ç. ve Z. Çobanoğlu, 1997).

#### 4. TUZLU SUDAN TATLI SU ÜRETİMİ

Tuzunu ayırarak deniz suyundan veya acı sudan tatlı su üretilmesi olasılığı, tatlı su arzına yeni bir boyut getirmektedir. Bu, denize sınırı olan alanlar için su kaynağına limitsiz ve taşıma maliyeti olmayan hammadde sağlamaktadır (Kirk ve Othmer, 1970; Ed.Bipin, 1988).

Suyun, diğer materyallerden büyük farkları vardır. Ürün değeri düşüktür, fakat ihtiyaç duyulan miktar çok büyüktür. Bu yüzden ürünün birim satış fiyatına göre, tesis maliyetinin çok büyük olacağı beklenebilir. Aslında üretim ekipmanı için sermaye maliyeti diğer proses endüstrileriyle karşılaştırıldığında, büyük bir kısmını oluşturur (Kirk ve Othmer, 1970; Ed.Bipin, 1988).

Tatlı su probleminin bu yeni çözümü için bazı sıkıntılar vardır. Bu problemler, ana programın kimyasal bir değişiklikten ziyade bir ayrıştırma olduğu, temel ve basit materyallerin kimyasal, termal veya elektrik enerjisi yardımıyla değerli ürünlere çevirme işleminde karşılaşılan tüm problemlerdir (Kirk ve Othmer, 1970; Ed.Bipin, 1988).

Tuz ayırma, artan nüfusumuzun en büyük problemlerinden biri olmuştur. Su kıtlığı dünyanın az gelişmiş, fakir ve kurak iklime sahip iklimine sahip birçok ülkesinde vardır (Kirk ve Othmer, 1970; Ed.Bipin, 1988).

Kimyagerler sudaki anlık iyonlaşmayı durdururlarsa tuzun çözülmeyeceğini ve suda çökeleceğini bilmektedirler. Mühendisler, hesaba katmayı sevdikleri tersine döndürülebilir proseslerden birini çalıştırabileceklerini bilselerdi, suyu, buharlaşmanın termal maliyetinin 50'de birinden daha az maliyetle tuzdan ayırabilirlerdi (Kirk ve Othmer, 1970; Ed.Bipin, 1988).

Bu idealleştirilmiş kimyasal ve termodinamik kavramları göz önüne almadan, kimyagerler ve mühendisler suyun özelliklerinin ve onun tuzlu solüsyonlarının çeşitleri bazında yüzlerce proses önermişlerdir. Bunların en iyilerinin ard arda endüstrileşmesi, üretilen suyun maliyetini, 15 yıl önceki maliyetlerin çok küçük bir bölümüne düşürmüştür. Fark yüzdesi her yıl daha da azalmaktadır. Kitaplar, yüzlerce makaleler ve patentler, her yıl araştırmalar için milyonlarca doların harcandığını belirtmektedir. Bu konuda araştırma ve mühendislik gelişmelerinde en aktif kuruluş Amerikan İçişlerinin Tuzlu Su Ofisidir (OSW). OSW'nin yöneticisi 'Gelecek yıllarda daha iyi proseslerin ortaya çıkması olasıdır, fakat teknoloji en azından artan inşaat masraflarıyla başa baş gitmek için sıkı ve hızlı çalışmak

zorundadır' demiştir. İnşa masrafları her yıl %4-6 oranında artmaktadır. (Kirk ve Othmer, 1970; Ed.Bipin, 1988).

Birçok proses yoluyla tuzlu sudan tatlı su elde edilebilir. Bunlardan ikisi;

- Tatlı suyun deniz suyundan ayrılarak deniz suyunun daha düşük hale getirilmesi (Tuzdan Su Eldesi).
- Tuzun veya daha konsantre olan tuzlu suyun deniz suyundan ayrılmasıyla deniz suyunun kabul edilen seviyeye kadar konsantrasyonunun düşürülmesidir (Sudan Tuz Eldesi).

Ancak, ayırma mekanizması her zaman su moleküllerinin ayrışmasından daha çok enerji gerektirir. Buharlaşmada, ayırma ile aynı oranda buhar yapmak için gizli ısı, dondurmada ise donma esnasında buz yapmak için gizli ısı vardır. Suyun tuzdan ayrılmasında gereken teorik termodinamik enerji, tuz suyun ısından oldukça küçüktür. 35000 ppm tuz içeren deniz suyundan başlayarak, kuru tuz üretilirse gereken enerji  $1\text{m}^3$  için 9kWh'tır. Eğer buharlaştırma çok uzun sürmezse gerekli enerji büyük miktarda düşürülebilir.  $1\text{m}^3$  deniz suyundan  $0,5\text{m}^3$  tatlı su ve istenilen konsantrasyonun 2 katı tuz konsantrasyonuna sahip  $1\text{m}^3$  tatlı su üretmek için gereken enerji sadece 1,27kWh'tır. Fakat tuz üretilmesi için bu deniz suyunun 2 katı hacmi ele alınabilirdi. Sonsuz büyük hacimde deniz suyu kullanılarak enerji ihtiyacı  $1\text{m}^3$  için 0,43kWh'a indirilebilir. Bununla beraber, ayırıcımada gerekli olan pompalama ve bazı kimyasal işlemler, ham deniz suyunun ele alınmasında pahalı olmaktadır. İşlenen deniz suyunun miktarı düşükçe ve alınan tatlı suyun yüzdesel oranı arttıkça bu maliyetler düşer ve termodinamik ayırma maliyetleri yükselir. Verimsizliğin enerji maliyetlerindeki değerleri, sıcaklık değişimleri ile orantılı olarak değişmez (Clawson ve Landsberg, 1972).

Bu faktörleri dengelemek, deniz suyunun tuzdan arındırılmasındaki en ekonomik oranı verir. Her üretilen birim tatlı suya karşılık 2-3 katı besleme suyu sisteme verilmeli veya acı su buharlaştırıldığında 1 birim tatlı su üretilmesi için 3-8 katı arasından besleme suyu sisteme verilmelidir. Genelde acı su sınırlı miktarda mevcuttur ve konsantre edilmiş tuzlu suyun elden çıkarılması büyük problem olabilir. Bu yüzden ürünün acı su beslemesi kullanılmasıyla elde edilmesi salamura suyunun deşarjında bazı problemlere yol açabilir (Clawson ve Landsberg, 1972).

Deniz suyunda ortalama 35000ppm çözünmüş katı madde vardır. Bu oran sıcak Kızıldeniz’de daha yüksek, nehirler tarafından beslenen soğuk Karadeniz’de daha düşüktür. Bu katı maddeler kuru olarak ayrılıp geldikleri yer olan kara yığınlarına eklenirse çok büyük miktarlara ulaşırlar. En önemli dört metal; Sodyum, Magnezyum, Kalsiyum, Potasyum ve onların birleşmiş iyonları; Kloridler, Sülfatlar, Bikarbonatlar ve Bromidler çok büyük miktarlarda mevcuttur. Amerika’da ve diğer ülkelerde güneşin deniz suyunu buharlaştırması ile tortu halinde tuz meydana gelir. Tuz ayırma fabrikalarında tuzlu suyu fosforlu bileşikler ve amonyak eklenerek magnezyum çökertilebilir. Böylelikle kullanılan kimyasalların değerinden biraz daha yüksek değerde suni gübre için karışık tuz hazırlanabilir (Clawson ve Landsberg, 1972).

Leonardo De Vinci 500 yıl önce şöyle demiştir: ‘Deniz suyu, mineralleri toplayan kaynaklardan gelir ve bu çözülmemiş maddeleri, nehirleri oluşturan bulutların asla kaldıramadığı okyanuslara taşır. Bu yüzden deniz suyu şu anda eskiden olduğundan daha tuzludur’. Bu artan tuzluluk, yeryüzünün yaşının tahmininde baz alınmaktadır. Günümüzde, deniz suyu, Leonardo’nun zamanından çok daha yüksek konsantrasyonda magnezyum, bakır, altın, uranyum ve hemen hemen tüm metalleri içerir (Clawson ve Landsberg, 1972).

Özellikle çok endüstrileşmiş ve materyallerini bol bol kullanabilen ülkeler kadar gelişmemiş olan alanlardan nüfusun yükselmesi, insanların ihtiyaç ve isteklerinin artmasıyla su gereksinimi daha da büyüyecektir. Önümüzdeki birkaç yıl içinde tatlı su üretimi hızla artacak,  $90 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{gün}$  değerinin de üstüne çıkacaktır. Genelde üretilen tatlı suyun 2 katı deniz suyu işlenmektedir, böylece dışarı akan tuzlu suyun katı maddelerin konsantrasyonu ikiye katlanır. (Clawson ve Landsberg, 1972).

#### **4.1 Tuzlu Su Kaynakları**

Tuzlu suları, yaklaşık 35000ppm toplam çözünmüş katı (TDS) içeren seyreltilmemiş deniz suyu ve 1000ppm’den 10000-15000ppm’e kadar TDS az tuzlu suları kapsar. Az tuzlu sular geniş bir şekilde yüksek mineral içerikli yer altı suları ve seyreltilmiş deniz suyunu kapsar (Spiegler, 1962).

#### 4.1.1 Deniz Suyu

Deniz suyu bol olması itibarı ile kullanımda avantaj sağlar. Deniz suyu, büyüklüğü ve dönüştürülmüş deniz suyunu (seyreltilmiş yada seyreltilmemiş) kullanan kişilerin sahillere yerleşiminin önemi ve neredeyse sınırsız kaynak sağlanabilmesi nedeniyle su kaynağı olarak önemlidir. Sudan tuz giderme proseslerinin sağlanabilirliği su kaynaklarına yaklaşımı kesinlikle etkilemektedir. Şu anda kıyısız yerleşim okyanusu potansiyel tatlı su kaynağı olarak göz önünde bulundurulabilmektedir. Böyle bir yaklaşım bir nesil önce hayal gibi görünmekteydi (Spiegler, 1962).

#### 4.1.2 Acı Su

Acı su kaynakları deniz suyundan daha az bilinmektedir. Acı sular Kuzey Amerika ve diğer kıta kara alanlarına geniş bir şekilde dağılmıştır. Düşük mineral içerikleri nedeniyle acı ve yüksek mineral içerikli suları arıtmak deniz suyundan daha ucuzdur. Acı sular nehir ağzları, nehirler, göller ve belirli atık sularda olduğu kadar yeraltında da bulunur. Acı su kaynaklarına aşağıda değinilmiştir (Spiegler, 1962).

##### 4.1.2.1 Yeraltı Suları

En yaygın olarak elde edilebilen ve pek çok açıdan daha çok istenen acı su kaynağı yer altı sularıdır. Acı yer altı su rezervleri ABD, Kanada, Meksika, Batı ve Güney Amerika gibi dünyanın pek çok yerinde bulunmaktadır. Amerika'daki karaların yarısından fazlasının altında 1000-3000ppm arasında toplam çözünmüş katı içeriği olan tuzlu su bulunmaktadır. Pek çok yer altı sularıyla birlikte, tuzlu yer altı sularının da ham su kaynakları olarak birçok özelliği vardır (Spiegler, 1962).

##### 4.1.2.2 Nehir Ağzları

Bazı büyük nehirlerin ağzları birkaç kilometreye kadar genişler ve acı su kaynağı olarak görülür. Pratik su uzaklaştırma prosesleri suyla ilgili mühendislere nehir ağzı suyu problemleriyle uğraşmada yeni bir serbestlik vermektedir. Eskiden tuzun uzaklaştırılması için

masraf yapmaktan kaçınılırdı. Günümüzde, tuz önceden tahmin edilen maliyetlerle uzaklaştırılabilen bir kirlilik olarak düşünülebilir (Spiegler, 1962).

#### 4.1.2.3 Tuzlu Nehirler Ve Göller

Başlıca nehir ve büyük göllerin çok azı doğal olarak tuzlu yada acıdır. ABD'deki bazı örnekler Arkansas, Red, Pecos ve Kolorado nehirlerinin bazı kısımları ile Red nehrindeki Texama gölüdür. Bu akarsuların bazılarındaki tuzluluğu, doğal tuz kirliliği kaynaklarının kontrolüyle azaltmak için girişimler yapılmıştır (Spiegler, 1962).

#### 4.1.2.4 Atık Sular

Suyun başlıca üç kullanımı mineral içeriğinde önemli miktarda artışlara neden olur. Bu kullanım alanları; sulama, endüstriyel soğutma ve şehir içi kullanımıdır. Şehir içi kullanımdan alınan atık suların çözünmüş katı madde içeriğinde artışlar olmaktadır (Baron vd, 1994 Chow vd, 1995).

### 4.2 Tuz Ayırma Tesisleri İçin Materyaller

Çok yakında  $1m^3$ 'ü 0,22 dolara günlük olarak üretilecek olan suyun  $10^6 m^3$  suyu, günlük 220.000 dolar harcama getirecektir. Bu, temel olarak 2 madde için harcanacaktır, enerji ve sermaye maliyetleri, yani faiz, amortisman, yıpranma, ekipman ve içindeki materyallerin eskimesi ve aşınmasına bağlı değiştirme giderleri. İşgücü maliyeti ve tüketilen materyallerin (işlemede kullanılan kimyasallar ve iyon alışverişi reçinesi, zar vb.) maliyeti nispeten küçük maliyet kalemleri olacaklardır (Marinos vd, 1991).

Proseslerin dizaynında ilk amaç, maliyetlerin minimize edilmesi ve böylece termal ve mekanik enerjinin, ekipmanın ve yapım için gerekli materyallerin miktarlarının azaltılmasıdır. Birçok prosesin optimizasyonu çalışmalarında, enerji maliyetleri düşerken, ekipman maliyetleri artar veya tam tersi olur. Her zaman olduğu gibi ekonomik denge

bulunmalıdır. Günümüz şartları altında enerji maliyeti ve ekipmana ait sermaye maliyetlerine bağlı maliyet hemen hemen eşit olduğunda su maliyeti en düşüktür (Marinos vd, 1991).

Fabrikalara ve ekipman için materyallere yapılan yıllık harcamanın 5 milyar doları; mühendislik, fabrikasyon, nakliyat, inşaat vb. ile en az %50 olarak sayılmalıdır. Ekipman için kullanılan materyallerin şimdiye kadar en büyük miktarı özellikle deniz suyu tarafından en az korozyona uğrayan metaller, örneğin bakır, nikel ve alaşımları için olacaktır. Bunlar dünyadaki en bol veya çok ucuz kaynaklar değildir. Titanyum başarıyla kullanılmasına rağmen maliyeti yüksektir (Popkin, 1968).

Metallerin yanı sıra ekipman yapımında diğer birçok materyal de kullanılır. Beton yalnızca yapılarda kullanılmaz. Ekipmanların daha geniş ve daha büro tipi dizaynlarında, büyük gemilerde ve işlem ünitelerinin bina iskeletlerinde, tank, boru hattı vb. yerlerde de kullanılır. Gerekli yüksek mekanik güç önceden sıkıştırılmış betondan elde edilir. Son zamanlarda beton akrilik ve diğer reçineler yardımıyla  $143,3^{\circ}C$  olan buharlaşma ısısında deniz suyundan etkilenmez hale getirilmiştir (Popkin, 1968).

Beton ve plastik kullanılması, aslında gerekli olan metallerin büyük ağırlığını düşürecektir. Metal ve betondan sonraki diğer büyük materyal sınıfı plastik ve polimerin birçok formudur (boru, levha veya zar, iyon alış verişi reçineleri, gasketler, kaplamalar, astarlar vb.) (Chow vd, 1995).

Solventler için sıvılar, ısı transfer araçları, soğutucular ve benzer termodinamik araçları da içeren diğer bazı metaller de operasyonun bir parçası olarak kullanılır ve bazı durumlarda, proses içindeki kayıplar öyle az olur ki; orijinal maliyet, bir yatırımın fabrika maliyetinin bir parçası veya amortisman gideri olarak düşürülür. Titizlikle kullanılan kimyasallar, ham deniz suyuna işlem yapmak için kullanılan (sülfirik asit ve kireç, algisitler, fosfat ve diğer kireç tortusunu önleyici maddeler; su ürününe işlem yapmak için kullanılan karbon; depolama havuzlarındaki buharlaşmayı önlemek için alkol), günümüzde kullanılmakta olan diğerlerinin küçük miktarlarıdır (Chow vd, 1995).

Bu materyaller, binlerce kilometrelik boruları veya dönümlerce plastik tabakası olan bireysel ünitelerle, binlerce ton ağırlığındaki ve günde binlerce  $m^3$  su işleyen büyük tesislere gider. Bununla beraber, modern 'kendin yap' dünyasında, birçok tuz ayırma tesisinden temel proses olarak evlere, çiftliklere, küçük apartman dairelerine veya otellere kadar gelecektir. Yani her ihtiyaca cevap verebilecek tuz ayırma üniteleri (otel, ev ve vb. tesisler için) üretilmesi söz konusudur. Bunlar ev üniteleri gibi (çamaşır makinesi vb. gibi) bize aşına olacaktır (Chow vd, 1995).

### 4.3 Tuz Ayırma Tesislerinin Genel Özellikleri

Tuzlu su dönüşüm tesislerinin alışılmış su sağlama proseslerinden farklı olarak belirli temel özellikleri vardır. Geleneksel projelerle karşılaştırıldığında, tuzlu su dönüşüm projelerinin avantajlı özellikleri aşağıda sıralanmıştır. (American Water Works Association 1999)

- Düşük sermaye yatırımı gerektirir.
- Yağış miktarı ve üründeki belirsizliklerden az etkilenir.
- Küçük tesis alanı gerekir.
- Başkalarının topraklarının kullanılmasını ve jeolojik belirsizlikleri en aza indirir.
- Su hakları problemlerini ve bu nedenle politik ve yasal gecikmeleri en aza indirir.
- Su üretiminin başlamasından tamamlanmasına kadar daha az süre gerekir, bu nedenle fiyat artışlarından en az etkilenir.
- İlk kurulumu hızlı işçiliği nispeten daha kolaydır.
- Ürün önceden tahmin edilebilir ve ürünün kalitesi kontrol edilebilir.

Tuzlu su prosesleri için sermaye yatırımı avantajı büyüyebilir, çünkü tuzlu su tesisi ekipmanı modülerdir ve artan talebi karşılamak için yükleme faktörlerini yüksek tutarak kolaylıkla genişletilebilir. Tipik dönüşüm projesi genellikle aşırı kapasiteye göre kurulur ve bu nedenle ilk yıllarda düşük yüklerdeki kapasitesiyle çalışır (American Water Works Association 1999).

Tuzlu su dönüşüm projelerinin birleştirilmiş direkt çalışma ve bakım maliyetleri geleneksel projelerinkinden genellikle daha yüksek olacaktır. Düşük toplam katı içerikli acı sularda dönüşüm için direkt çalışma maliyeti, pompalama ve alışılmış su arıtma işlemlerini gerektiren geleneksel projeler için olan direkt çalışma maliyetine yakın olabilir. Ancak tüm tuzlu su dönüşüm projelerinde bakım maliyeti (membranlar, reçinelerin yada destilasyon

tesislerinde metal kısımların değiştirilmesi) geleneksel projelerinkinde önemli ölçüde yüksek olacaktır (American Water Works Association 1999).

Düşük sermaye, yüksek işletme ve bakım maliyeti ile tuzlu projesi ve geleneksel projeler ekonomik olarak karşılaştırıldığında sermaye, yükleme faktörü ve projeden sağlanan yarar yüzdesi gelecekteki maliyeti düşürecektir. 1960'lı yılların sonuna gelindiğinde genel sermaye ve faiz oranlarındaki artışta şiddetli rekabet görülmüştür. Geçmişte su kaynağı yatırılan nispeten düşük sermaye fiyatları artan eleştirilerle karşılaşmaktadır. Bugün pek çok ekonomist geçmiş yıllardaki nispeten düşük faiz oranlarına dönüşün mümkün olmadığına ve su sağlama projelerindeki genel sermaye yatırımlarına daha yüksek miktarlarda vergi ödenmesi gerektiğine inanmaktadırlar. Federal yönetmeliklerde böyle vergilerin arttırılmaması için değişiklikler yapılmaktadır (American Water Works Association 1999).

Bugüne kadar yapılan değişiklikler azdır. Ancak, yüksek faizler ve indirim olan proje onaylanmadan önce alternatiflerin değerlendirilmesinde ve proje tamamlandıktan sonra fiyat seviyesinin düzgün bir şekilde belirlenmesinde kullanılacaktır. Sermaye maliyetindeki bu yukarıya doğru kayma, geleneksel kaynaklarla karşılaştırılarak tuzlu su kaynaklarına yönelik gelecekteki su sağlama yatırımlarının belirlemede önemli olacaktır (American Water Works Association 1999).

#### **4.3.1 Deniz Suyunun Dönüşümü**

Deniz suyu dönüşüm prosesleri sınırsız bir su kaynağı olarak denizlerin avantajını kullanmaktadır. Bu, özellikle tatlı suyun bulunmadığı alanlarda yaşayan insanlar büyük bir şanstır. Ayrıca deniz suyunun tatlı suya dönüştürülmesine yapılan politik itirazlar, diğer bölgelerden tatlı su getirilmesiyle karşılaştırılarak en aza indirilmiş ya da tamamen ortadan kaldırılmıştır. Örneğin Güney Kaliforniya'da tatlı su, eyaletin kuzey bölümlerinden komşu eyaletlerden ve hatta komşu ülke Kanada'dan getirilmek zorundadır. Diğer bölgelerin tatlı su kaynaklarını kullanan eyaletlere ve büyüklüğüne bakılmaksızın su kaynaklarının Güney Kaliforniya'ya aktarılmasına itirazlar sürecektir. Ancak deniz suyundan alınan herhangi bir miktar için böyle bir itirazlar yapılamayacaktır (American Water Works Association 1971).

Yeni tatlı su kaynaklarının geliştirilmesinin maliyeti ve uzaklığı arttıkça, deniz suyu dönüşümünün maliyetinin uzak tatlı su sağlama projelerinin maliyetinden düşük hale geçmesi beklenebilir (American Water Works Association 1971).

Günümüzde deniz suyu dönüşüm tesisleri öncekilerden daha az ısı enerjisi kullanıcılarıdır, fakat büyük tesisler bu enerjiyi fazla kullanmaktadır. Modern tesislerde nispeten düşük derecede enerji destilasyon için uygundur. Deniz suyu destilasyon ekipmanlarının elektrik gücü üreten nükleer yada buharla çalışan sistemlerle birleştirilmesi ilgi çekici olabilir. Bu çift amaçlı çalışan tesislerin bazı durumlarda tatlı su üretimi maliyetini düşürdükleri tahmin edilmektedir (American Water Works Association 1971).

Bütün tuzlu su prosesleri ve özellikle deniz suyu gibi çok tuzlu suların arıtıldığı prosesler nispeten yüksek oranda enerji kullanımıyla sınırlandırılmaktadır. Enerji üretimi teknolojisi geçen 50 yılda önemli ölçüde ilerlemiştir ve otoritelerin çoğu bu ilerlemelerin önümüzdeki yıllarda da devam edeceğini bildirmektedirler. Böylece tatlı su üretimi için enerji harcaması gelecek yıllarda ekonomik açıdan artan bir şekilde iyi hale gelecektir (American Water Works Association 1971).

En uygun tatlı su kaynağının deniz olduğu bazı ülkeler ve yerleşim yerleri vardır. Adalar buna tipik bir örnektir (American Water Works Association 1971).

#### 4.3.2 Acı Suyun Dönüşümü

Bu bölümde acı suyun dönüşümü için verilen maliyetler ED prosesleri için olan maliyetlerdir. Uzun yıllardır ED prosesleri üzerine pek çok veri yayınlanmış ve alan deneyimleri sağlanmıştır. Acı suyun dönüşümü için geliştirilen yeni prosesler (RO ve İE gibi) ED için yayınlanan verilere yaklaşan maliyet hedeflerine sahiptirler. Bu, nedenle bu bölümde ED maliyetleri acı su dönüşümü için tipik maliyetler olarak kullanılmıştır (Bakish, 1973)

Acı suyun dönüşümü cazip bir su sağlama alternatifidir. Çünkü nispeten küçük boyut ve sermaye gerektiren tesislerde düşük toplam su maliyeti (1  $m^3$  başına 4,5-9 sent) sağlanabilmektedir. Avantajları aşağıda belirtilecektir.

- Yüksek yükleme faktörlü çalışma ve geliştirilen ED kümeleri ile teknolojinin kullanımı için 1  $m^3$  başına 4,5-9 sent yada daha düşük maliyetler, tipik acı suyun 3000ppm olan toplam çözünmüş katı miktarını belirli bir kapasite ile 500ppm'e düşürmek için uygulanabilir.

- Destilasyon ve suyun taşınması gibi geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldığında acı su dönüşüm tesislerinin maliyet yatırımı düşüktür.
- Acı su dönüşümü için m<sup>3</sup> başına elektrik tüketimi düşüktür.
- Acı su dönüşüm prosesleri ısı enerjisinden çok elektrik enerjisi kullanır. Böylece, enerji kaynağı yerleşimiyle ilgili olarak su tesislerinin yerleşiminde maksimum bir esneklik sağlar.
- Membran prosesi tesisleri, devam eden teknolojik ilerlemeden yarar sağlayabilir. Böyle tesislerde araştırmalarla değiştirilebilen bileşenler etkinlikte sürekli ilerleme sağlar. Böylece tesisin yeterliliğinin ilerlemesi ve tesisin çalıştığı süre içinde bakım maliyetinin düşürülmesi sağlanmış olur.

## 5. TUZLU SUDAN TATLI SU ÜRETİM YÖNTEMLERİ

### 5.1. Buharlaştırma

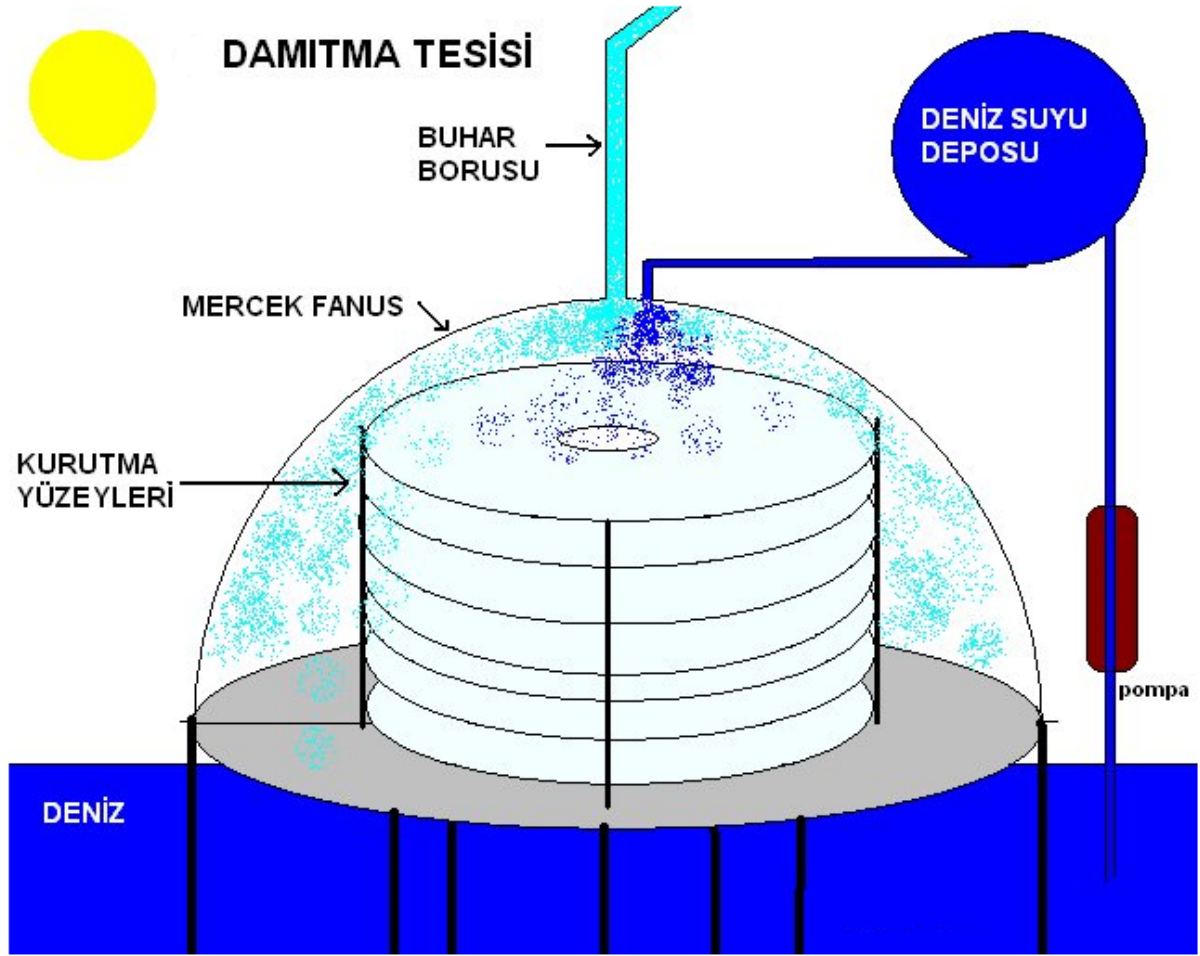
#### 5.1.1. Güneş İle Buharlaştırma

Dünya yüzeyinin birçok kısmına güneş ışınları dik olarak ulaşamaz ve dik güneşlenme süresini 6 saat olarak kabul edersek dünya üzerindeki ortalama değer günde  $2,83 \text{ kJ/m}^2$  veya ortalama saatte  $0.11 \text{ kJ/m}^2$ , gece ve gündüz, ve mevsimlere göre değişen birçok türevi oluşturulabilir (Alibaş ve Baycık, 1987).

Atmosfer, bulutlar vs. nedeniyle oluşan kayıplar göz önüne alınmalıdır. Ortalama değerlerin değişimi olabilir. Değişik istasyonlardan yapılan ölçümlerde yılın her ayında alınan güneş enerjisinin değişmez değerlerinin ana hatlarını ortaya çıkaran çizelgeler yapılabilir (Alibaş ve Baycık, 1987).

Doğanın dönüşümünden Buharlaştırma-Buğu yöntemiyle tatlı su üretimi, güneş buharlaşması kısmen su üretiminde kullanılmaktadır. Teçhizat oldukça basittir ancak deniz suyunun buharlaştırılmasının üzerinde bir buğu gerekmektedir. Yüzyıllarca birçok basit üniteler kullanılmıştır. Fakat ilk büyük solar ünitesi 80 yıl önce Şili’de bir madende kurulmuştur. Yüzeyi  $47.380 \text{ m}^2$  olup çoğunlukla hayvanlar için kullanılmış ve ortalama  $27,27 \text{ m}^3/\text{gün}$  su üretilebilmiştir. Güneş ışınları bükülmüş cam kaplardan geçip, buğu formunu alarak yüzeyin altından fişkırmıştır (Alibaş ve Baycık, 1987).

Bu proses damıtma tabanlı bir prostedir. Proses suyun serbest yüzeylerde kaynama noktasının altında buharlaşmasına dayanır. Buradaki buharlaşma hızı, suyun sıcaklığına ve suyun üzerindeki boşluğun bağıl nemine bağlıdır. Proses genellikle bir güneş paneli içerisinde gerçekleştirilir. Şematik olarak resmi aşağıda Şekil 5.1’de gösterilmiştir ( Water Science And Technology Board, 2008).



Şekil 5.1 Güneş Buharlaştırması Prosesinin Şematik Resmi ( Water Science And Technology Board, 2008)

### 5.1.2 Güneş Havuzu

Güneş havuzu yeni sayılabilecek bir sistemdir. Amaç burada elde edilen ısıyı başka bir arıtma sisteminde kullanarak tatlı su elde etmektir. MSF ve MED proseslerinin birleşimi olan çoklu ve ani damıtma (MDF) ile birlikte kullanımı için fizibilite çalışmaları yapılmaktadır (Tahiri, 2001).

Sistem orta derecede devamlı ısı sağlayabilmektedir. Üç katmandan oluşmaktadır. Yüzey tabaka atmosferik ısıda ve düşük miktarda tuz içermektedir. Alt tabaka sıcak olup ( $80^{\circ}\text{C}$ ) ve tuzludur (200g/l). Güneş enerjisi bu tabakada ısı şeklinde tutulmaktadır. Orta tabakada ise tuz içeriği yukarıdan aşağıya doğru artmakta böylece bir tuz-yoğunluk sınırı oluşturulmaktadır (Tahiri, 2001).

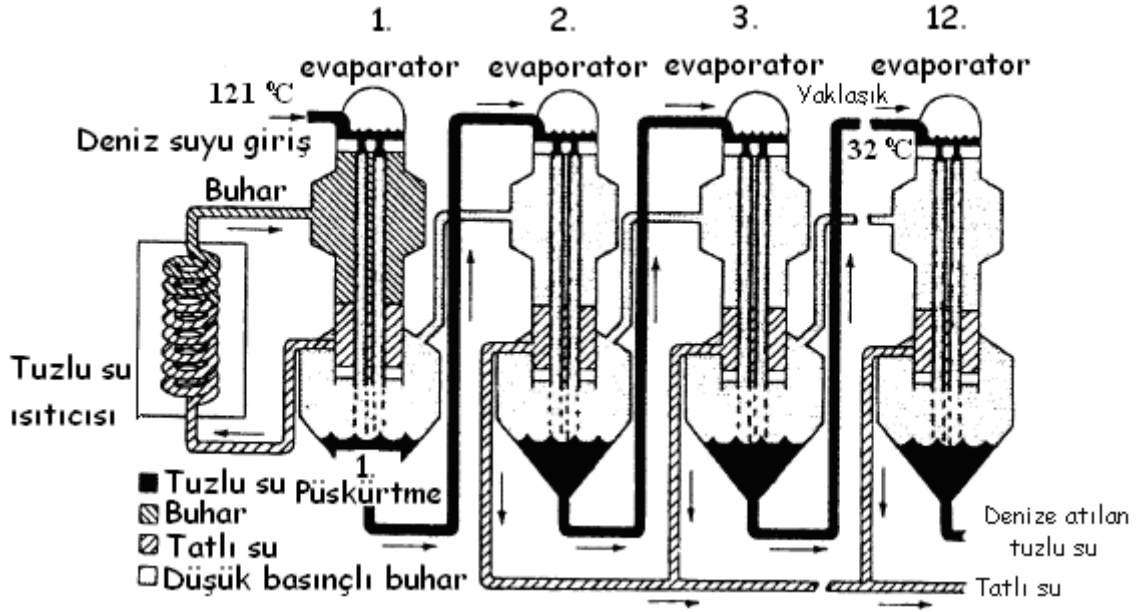
### 5.1.3. Dik Borulu Buharlaştırma (LTV)

Çok etkili buharlaştırıcılar kullanılarak daha düşük basınçlarda birçok ünite başarıyla çalıştırılabilir. Yüksek basınçta buharlaşan buharlar yoğunlaşmaya geçer ve bir sonraki etkide yüzeyinin ısıtılması için ısı verir. Sıvının ısıtılmasına izin veren üçlü etki; kullanılan her 0,45 kg su buhar enerjisininin 0.9 kg oranında buharlaşma kazancı sağlar. 4'ten 6'ya kadar olan kademeler maksimum verimli kademelerdir. Bir buharlaşma prosesinin toplam maliyetini minimuma indirmek için, etki sayısı ile birlikte artan ilk yatırım maliyeti daha düşük buhar enerjisi maliyeti ile dengelenir (Uyarel ve Öz,1987).

Denizciler, yaklaşık 400 yıl boyunca basit aparatlı buharlaştırıcılar kullanarak içme suyu elde ettiler ve buharı gemilerde ise çok fonksiyonlu geleneksel buharlaştırıcılar olarak kullandılar. Isı buhar kazanında, egzozda veya türbinin orta seviyesinde buhara çevrilir. Tirbüler yüzeyin diğer tarafında uygun bir kapta bulunan deniz suyunu kaynatmak için ılık, ısıtılmış metal yüzeyin, buharlaştırma yüzeyinin bir tarafında buğulaştırılır. Açıkça ısının transfer edilmesi için gerekli yüzey, yüzeyden transfer olan ısı katsayısı arttıkça azalır. Standart borular için ısı transfer katsayısı;  $[(\text{kJ}/(\text{saat})(\text{m}^2)(^\circ\text{C}))]$ 'dir (Uyarel ve Öz,1987).

Freeport, Teksas'ta yapılan bir tuzdan arındırma tesisinde, deniz suyundan tatlı su üretilirken kademe sayısı 12'ye kadar çıkarılmıştır. Bu da 0,45kg kaynamış su buharıyla 45kg'a kadar tatlı su elde edilmiştir. Şekil 5.2'de görüldüğü gibi buharlaşma ve yoğunlaşma için çok sayıda silindir yüzeyler kullanılmaktadır. Ayrıca tuzlu su ve tatlı sudan gelen ısıyı yeniden kullanabilmek için birçok ısı değişim yüzeyleri de gerekmektedir. Bu 12 etkide günde 4546 m<sup>3</sup> tatlı su üretilmekte ve üretilen suyun maliyeti ve fabrikanın maliyeti göz önüne alındığında diğer buharlaşma tiplerinin daha ekonomik olduğu görülmektedir (American Water Works Association, 1971).

Buhar kompresörlü buharlaştırıcılarda, boruların içindeki deniz suyunun kaynamasıyla gelen buhar, yeterli derecede yüksek basınç elde edebilmek için mekanik bir şekilde sıkıştırılır. Bu da tüplerin dışındaki yoğunlaşmanın olmasına imkân vererek yüksek buhar ısını oluşturur. Silindir yüzey bu durumda hem buharlaşma hem de yoğunlaşma için kullanılmış olur. Kompresör buharı şekillendirinceye kadar kaynama devam eder. İçerdeki yanma motorundan gelen mekanik kuvvet kompresörü çalıştırır. Motordan gelen artık ısı ve egzoz gazı deniz suyuna ön ısınma sağlar (American Water Works Association, 1971).



Şekil 5.2. Dik Borulu Buharlaştırma (LTV) prosesinin basitleştirilmiş diyagramı (American Water Works Association, 1971)

Geniş bir yüzey gerekmeksizin, gerekli ısı transferlerini koruyabilmek için sıcaklık değişimini minimize ederken ısı transferi katsayısı  $U$  mümkün olduğunca büyük olmalıdır. “ $U$ ” tuzlu suyun buhar boruları vasıtasıyla yüksek bir tuzla yaptığı sirkülasyon ile artar. Bu pompalama gücünü ortaya çıkarır. Termik denge için nispeten daha az bir enerji kullanıldığını, bu da ısı transferi için gerekli olan yüzeyi dolayısıyla kapital maliyetini azalttığını gösterir (Yadav ve Prasad, 1994).

Yüksek basınçla çalıştırılma söz konusu olduğunda spesifik buhar hacmi azaltılır ve ısıtma boruları karşısında aynı ısı farkında sıkıştırma oranı da düşürülür. Çünkü yüksek sıcaklıklarda buhar basıncındaki artış sıcaklıktaki artıştan daha hızlıdır. Bununla birlikte başka problemlerde söz konusudur. Yüksek basınç, ağır malzeme eğilimi, suların ısı değişimini ve ısı kayıplarını artırır. Bütün bu faktörler göz önüne alınmalı ve basınç tipi seçiminde ilgili eksiler dengelenmelidir (Yadav ve Prasad, 1994).

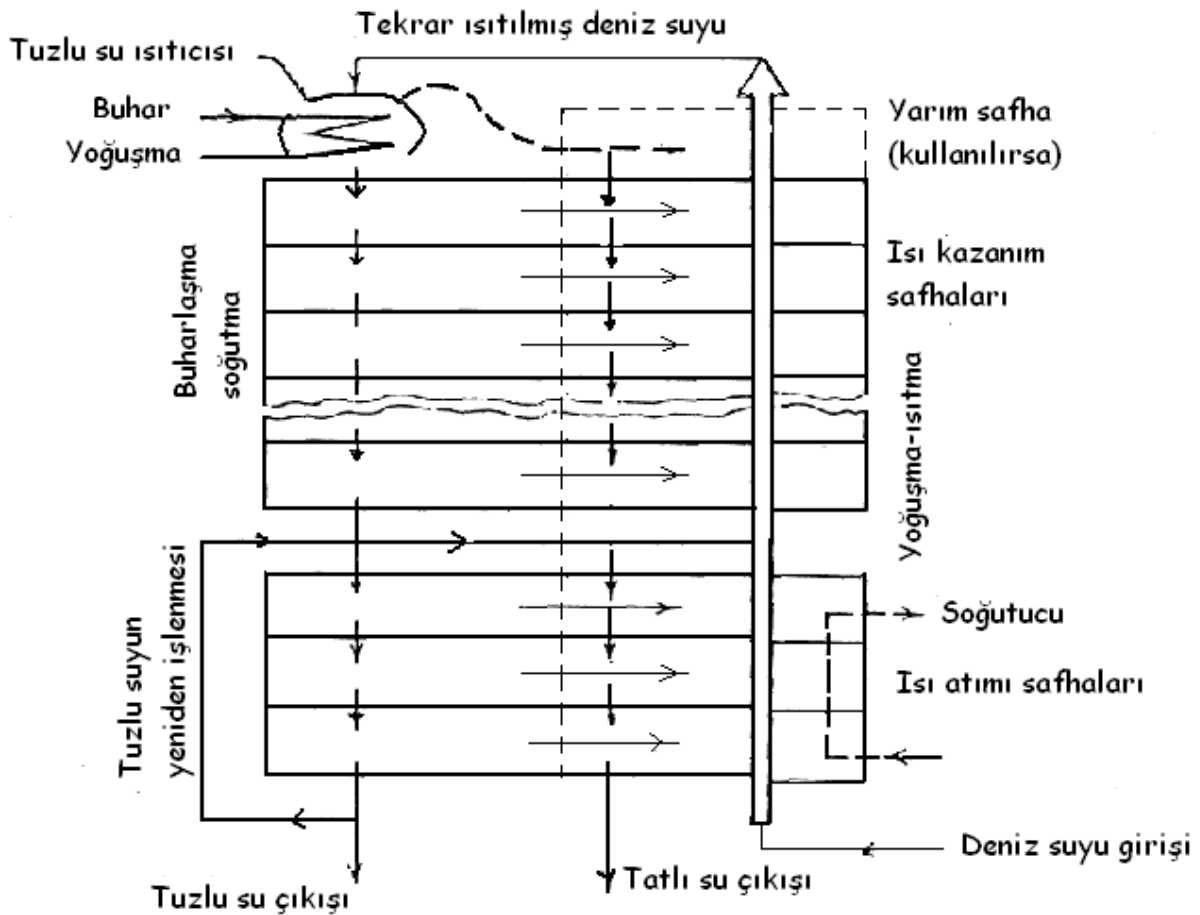
#### 5.1.4 Çok Kademeli Ani Damıtma (MSF)

Çok kademeli ani damıtma (MSF) 1957’de Profesör R.S.Silver tarafından keşfedilmiştir. İlk tesisler 1960’lar da kurulmuştur. Kapasiteler büyürken 70’lerin başında çıkan petrol krizi bu büyümeyi frenlemiştir. MSF ispatlanmış bir prosestir. Bu sistem pazarda

çok büyük bir paya sahiptir. Kullanımının getirdiği avantajlar ve esnek sistemler için avantaj sağlaması bu sistemi ön plana çıkarmaktadır (Morris, 1993).

Desalinasyon tesislerinin %67'sinin MSF sistemli tesisler olduğunu söyleyebiliriz. Bunun sebebi olarak sistemin basitliği, edinilen tecrübeler sonunda tesis ömrünün uzaması ve teknolojiye gelişmelerle birlikte maliyetlerin düşmesi söylenebilir. MSF, her ne kadar çift maksatlı santrallerde kullanıldığında enerji ihtiyacında %50'ye varan düşüşler görülse de enerji yoğunluğu yüksek bir prosestir (Hamed O.A , 2001).

Geleneksel MSF buharlaştırma basamakları Şekil 5.3'te gösterilmiştir. Birçok MSF buharlaştırıcıları Şekil 5.3'teki gibi diyagramda dikey düzenlemelerden ziyade yatay şekilde inşa edilir. Bu nedenle fabrikalar yatay düzenlemelerde dikey düzenlemelerde olduğundan daha geniş bir alan üzerine kurulurlar (American Water Works Association Inc, 1971).

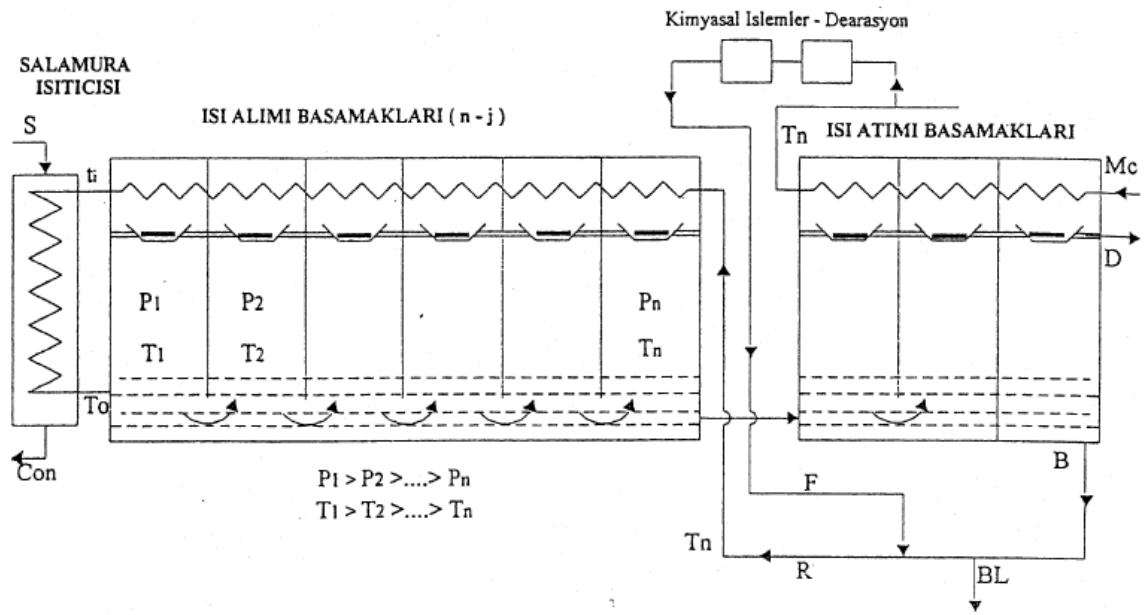


Şekil 5.3. Çok Kademeli Ani Damıtma (American Water Works Association Inc, 1971)

Deniz suyu genellikle buhar kazanı tarafından en yüksek derecesine kadar ısıtılır. Sıcak deniz suyu her biri düşük seviyede doymuş basınç ve sıcaklıkta olan soğutma-

buharlaştırma safhalarından veya soldan aşağı doğru geçer. Deniz suyu en alt safhadan dışarı atılınca kadar ilerledikçe soğuyup yoğunlaşırken her safhada buharlaştırılır. Bir kısım tuzlu su artık olarak dışarı atılır ancak önemli bir kısmı tekrar kullanılabilir hale gelip besleme tarafından çevrime giren deniz suyuna katılır. Bu tekrar kullanılabilir hale gelen tuzlu su ham deniz suyundan daha yüksek sıcaklıktadır (American Water Works Association Inc, 1971).

MSF desalinasyon sistemi hem termal, hem de pompalarını çalıştıracak mekanik enerjiye ihtiyaç duyar. Termal enerji genellikle düşük basınçlı buhar halinde salamura ısıtıcısına, yani ısı giriş bölümüne gönderilir. Şekil 5.4'te bir diğer MSF prosesi gösterilmektedir (Darwish, M.A , Najem, A.N , 2001)



Şekil 5.4 Çok kademeli ani damıtma prosesi (MSF) (Darwish, M.A , Najem, A.N , 2001)

Şekilde S buhar kaynağı, Con yoğuşmuş buhar, D arıtılmış tatlı su, Mc soğutma suyu, n kademe sayısı, j ısı atımı kademe sayısı, R devirdaim akışı, F besleme suyu, B sistemden çıkan salamura suyu, BL dışarı atılan salamura suyu, P basınç, (T1 - Ti) terminal sıcaklık farkı, ti salamura ısıtıcısına giren soğutma suyu sıcaklığı, T0 salamura ısıtıcısı çıkış sıcaklığı, Tn ısı atımı basamakları çıkışı soğutma suyu sıcaklığıdır (Darwish, M.A , Najem, A.N , 2001).

Görüldüğü gibi ani buharlaşmanın yer aldığı bir seri basamak vardır. Basamakların altında akan salamura, ısı alımı basamakları boyunca ani buharlaşmaya uğrar. Bu buharlaşmadan doğacak olan buhar çoğunlukla tuzlardan arınmıştır. Oluşan buhar basamakta

yukarıya doğru yükselir, bu bölgeye yerleştirilmiş olan içlerinden pompalanmış deniz suyu geçen ısı transfer tüplerinin dış yüzeylerinde yoğunlaşır. Meydana gelen su, tatlı su kollektörlerinde toplanarak dışarı alınır. Tuz da, kesif salamura halinde dışarı atılır (Bayülken A , 1973).

Bu işlem esnasında ısı transfer borularında akan suyun sıcaklığında, kademelerde oluşan sıcaklık düşüşüne eşit bir yükseliş meydana gelir. Denizden pompalanan tuzlu su atış bölümündeki borulara gönderilir. Isı dışarıya en düşük sıcaklıktaki kademe grubundan atılır. Buharın ısısının hepsini almaya çalışmak ekonomik olmayacağından açığa çıkacak olan gizli buharlaşma ısısoğutma suyu olarak kullanılan bir miktar deniz suyu ile dışarı atılır (Bayülken A , 1973).

Yoğuşurmada kullanılan deniz suyunun kalan miktarı yüksek sıcaklıktadır. Bundan sonra kalan su kireç oluşumunu azaltmak için kimyasal işlemlerden ve içindeki erimiş gazların alınması içinde gazzsızlaştırma işlemlerinden geçirilir. Bu şekilde hazırlanmış deniz suyu tesis çıkışından alınan bir miktar konsantre deniz suyu ile karıştırılır. Devir daim suyu adı verilen bu karışım ısı alış bölgesindeki kaplarda bulunan borulara pompalanır. Daha öncede anlatıldığı gibi buhar bu boruların dış yüzeylerinde yoğunlaşır. Yoğuşma ısısoğutma suyu ile suyun sıcaklığı yükselir ve bir termik denge sağlanmış olur. Bu borularda akan devir daim suyu sonuçta salamura ısıtıcısına gelir. Burada ısıtılan su birinci kademeden alt kısmına gönderilir. Burada buharlaşma başlar. Suyun bir kısmı buharlaşır ve devir daim suyu bir miktar soğur. Devir daim suyu ve kollektörlerde toplanan tatlı su kademedan kademeye geçerek iletilir. Her kademe bir önceki kademeye göre daha düşük basınçta olduğu için her basamakta bir miktar buharlaşma olur. En son basamağa gelen tatlı su ve salamura tesisten dışarı pompalanır (Bayülken A , 1973).

MSF damıtıcıları 110-120 °C civarında üst salamura sıcaklığında (birinci kademe girişindeki sıcaklık) 2 mg/l civarında salamuraya karıştırılan yüksek sıcaklık, polimer katkılı çözelti kontrol kimyasalı kullanılarak çalıştırılabilirler. Süngerimsi partikül temizliği yapılabildiğinden asit temizliğinin yaklaşık bir yılda bir yapılması yeterli olmaktadır. MSF damıtıcıları performans oranları pratik olarak 11'e kadar çıkabilir. Daha büyük ısı transfer yüzeyleri ve daha çok sayıda kademe gerekmesi nedeniyle performans oranı arttıkça yatırım maliyetleri de yükselmektedir. Enerji maliyetine bağlı olarak optimum oran 7-9 arasındadır. 8 performans oranlı tipik bir tesis 16-18 ısı alımı ve 3 ısı atımı basamağına sahip olacaktır (Wade, N.M 2001).

Şekil 5.5'te geleneksel MSF buharlaştırıcısının en güncel uygulamasını içeren, Burns and Ro Inc. Tarafından dizayn edilen, desalinasyon için 11365 m<sup>3</sup>/gün üretime sahip fabrikanın akım tablosunu gösterir. Bu modelin ilk fabrikası iki hükümetin temsilcileri arasındaki anlaşma ile Suudi Arabistan'da, Cidde'de inşa edilmiştir (Darwish, 1977).



Üretilen suyun toplam maliyeti, enerji ve yatırım maliyetlerinden oluşur. Bir ünitenin enerjisi ucuz olduğunda düşük maliyeti ile üretilen suyu daha ucuz bir tesis ile olur. Buda üretilen suyun toplam maliyetine etki etmektedir (Darwish, 1977).

### 5.1.5 Çok Etkili Damıtma (MED)

MSF prosesinin başlıca alternatiflerinden birisi MED prosesidir. Her etkide oluşan buhar sıradaki kademedeki ısı transfer yüzeyinin yoğuşma kısmına akar (daha düşük sıcaklıkta). Yoğuşmanın gizli ısı yüzeyde akan besi suyunun bir kısmını buharlaştırmak için borulardan transfer olur. MSF ve MED arasındaki ana farklılık buharlaşma ve ısı transferi metodudur. Bir MED tesisinde, buharlaşma ısı transfer yüzeyi ile temastaki bir deniz suyu film tabakası üzerinden olup, MSF tesisinde ise deniz suyunun borular içinde sadece konvektif ısınması söz konusudur ve buharlaşma da her kademedede ani buharlaşmaya uğrayan bir salamura akışından kaynaklanır (Wade, 2001).

MED prosesinde ince film kaynama ve yoğuşma şartlarına bağlı olarak yüksek ısı transfer oranları elde edilebilir. Aynı zamanda buharlaşma her etkide uniform bir sıcaklıkta meydana gelir. Bunun sonucu olarak, her ne kadar tesis MSF ile kıyaslandığında küçük bir sıcaklık aralığında işletilmesi gerekse de, gerekli ısı transfer yüzeyi MSF prosesine yakındır (Wade, 2001).

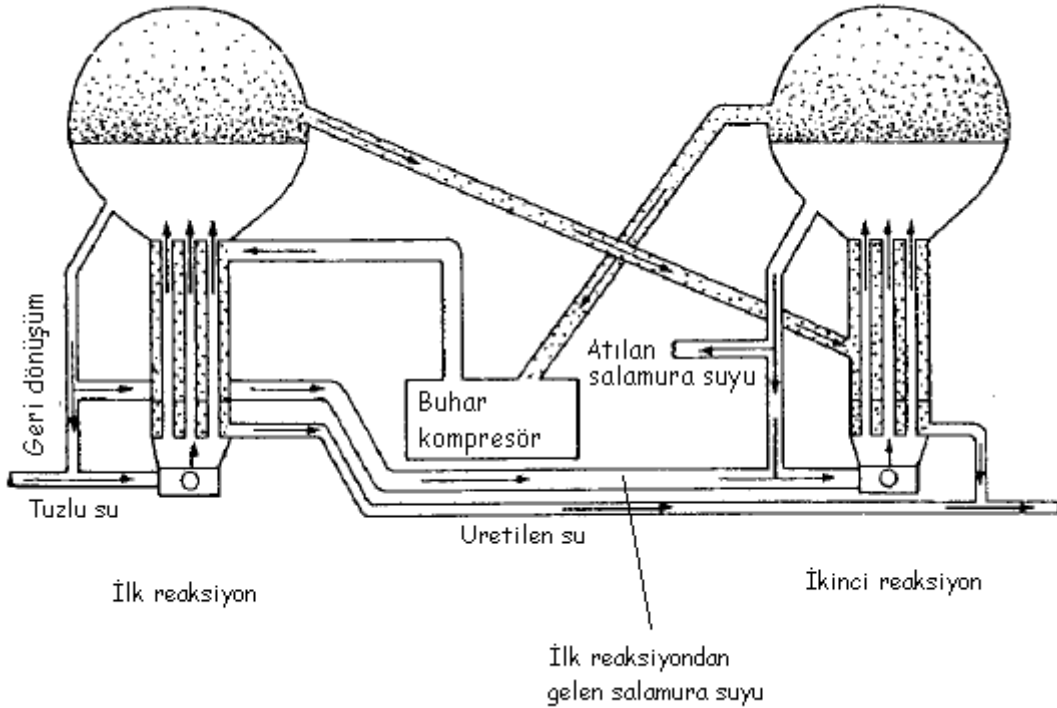
Polimer katkılı çökelti kontrolü kullanan MED tesisleri genellikle düşük sıcaklıkta işletilmesi için yapılırlar. Süngerimsi partikül temizliği yapamadığından MSF prosesine göre daha sık asit temizliği yapılmalıdır. Bir MED tesisinde performans oranı yaklaşık olarak toplam kademe sayısı eksi birdir denebilir. Yani 8 performans oranlı bir tesis için 9 kademe gerekmektedir ki, MSF ile kıyaslandığında yatırım maliyeti daha düşük olacaktır. Performans oranını ayrıca termal buhar sıkıştırması kullanılarak arttırmak mümkündür (Wade, 2001).

Şu an günümüzde  $16.000 \text{ m}^3 / d$  kapasiteli MED tesisleri mevcuttur. Özellikle düşük yatırım maliyetleri nedeniyle MED prosesi MSF prosesi ile yarışabilir duruma gelmiştir. Fakat yine de MED prosesi MSF prosesinin ulaştığı büyük kapasiteli tesislere ulaşamamıştır (Wade, 2001).

### 5.1.6 Buhar Kompresyonlu Damıtma

Buhar kompresyonlu damıtma Şekil 5.6’da şematize edilmiştir. Çalışma prensibi ise, buhar sıkıştırıldıkça hacmi küçülürken sıcaklığı ve basıncı artar. Birincil basamağın özel odasında oluşan buhar, ikinci basamağın kanallarından pompalanan deniz suyuna ısı sağlar. Buhar ısını salamuraya verdikçe yoğuşarak dibe çöker ve ürün olarak su da bu şekilde alınır (Bakish, 1973).

İki basamaklı ünite şeması bu yaklaşımın temel mantığını göstermektedir. Görüldüğü üzere bu prosesin diğer damıtma proseslerinden farklılığının temel farkı ısının sisteme sokuluş tarzıdır; örneğin burada mekanik iş kompresyon ısısına çevrilmektedir. Burada enerjinin büyük kısmı kompresörü çalıştıran motor tarafından çekilmektedir (Bakish, 1973).



Şekil 5.6 Buhar Kompresyonlu Damıtma Prosesinin Şematik Görünüşü (Bakish, 1973)

## 5.2. Dondurma

Sulu çözeltiler donduklarında tatlı suyun buzunu oluştururlar. Buzun tatlı su olmak üzere ayrılması ve başka bir suyu dondurma sırasında soğutucu etkisinden yararlanmak üzere yeniden eritilmesi çeşitli tipteki ekipmanlarda kullanılmaktadır. Fakat henüz hiçbir proses günde  $113,65\text{m}^3$  ila  $227,3\text{ m}^3/\text{gün}$ 'den büyük tesis ölçüsünde başarıyla kullanılamamıştır (Spiegler, 1966).

Faz değişimiyle suyun ayrılmasında dondurmanın buharlaştırmaya göre birkaç belli başlı avantajı vardır. Bunlar:

- Gizli erime ısısı, gizli buharlaşma ısısının sadece yaklaşık yedide biridir.
- İstenilen yapı materyalleri olan yumuşak çeliğin ya da önceden sıkıştırılmış ve plastikte doldurulmuş betonun deniz suyuyla korozyonu donma noktasında kaynama noktasındakinden daha az ve ani buharlaştırmanın daha yüksek sıcaklıklarındakinden çok daha azdır.
- Özellikle tuzlu su iki üç kezden daha fazla konsantre edilmezse donma prosesinde kabuklanma oluşmaz.
- Donma prosesi, buharlaşma prosesine göre oda sıcaklığına çok daha yakın sıcaklıkta gerçekleşir. Bununla birlikte soğutmadaki maliyet ısıtmadan çok daha büyüktür. Bu nedenle daha etkili bir şekilde korunmalıdır.
- Donma prosesinde iki ya da daha fazla sıvının farklı sıcaklıklarda direkt temasının kullanılmasıyla ısı transfer yüzeyi elimine edilmiştir.

Diğer taraftan, dondurmanın bazı temel dezavantajları vardır:

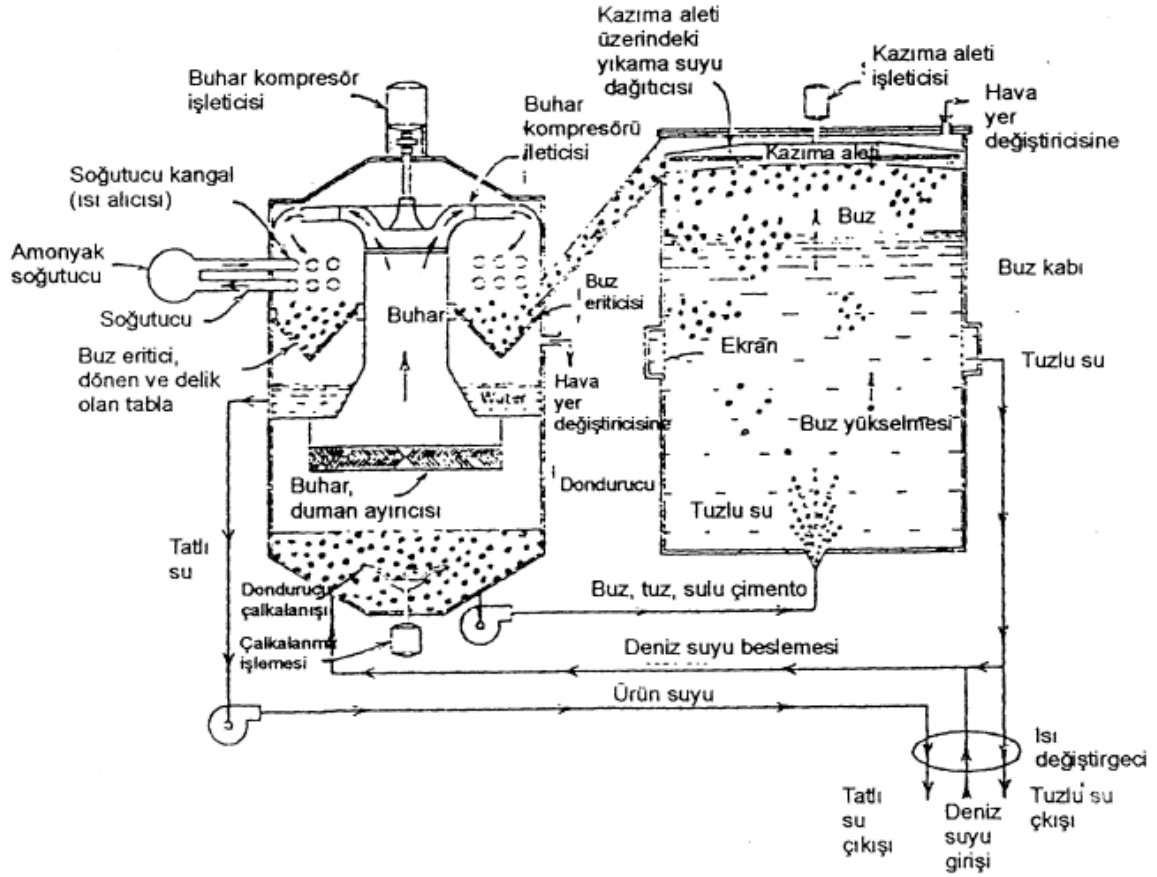
- Sıvı halden katı hale geçiş için gerekli süre sıvı halden buhar haline dönüşüm için gerekenden daha büyüktür.
- Son deniz suyu fazının ayrılması zordur, buhar fazıyla karşılaştırıldığında uygulaması imkânsızdır.
- Buz kristallerinin taşınması buharlaştırma prosesindeki sıvının taşınmasından çok daha zordur.

- Pratik sınırlar içindeki basınç değişimleri buharlaşmada olduğu gibi esnek proses sıcaklığı sağlamadığından dondurma prosesi işlemleri sabit sıcaklıkta yapılmalıdır. Dondurma prosesi gizli faz geçişi ısınım yeniden kullanımı için çok basamaklı yada çok etkili olamaz.

Dondurma prosesinin genel avantajlarının dezavantajlarından fazla olması bir gelişme olarak görölmektedir. Buharlaşma üniteleriyle karşılaştırıldığında donma ünitelerinin kurulmasında çok daha az miktarda ve ucuz materyallerin gerekmesi nedeniyle maliyet oldukça düşmektedir (Spiegler, 1966)

### **5.2.1. Soğutucu Olarak Su Buharı**

Zarchin-Colt Dondurma prosesinde (Şekil 5.7), tuzlu suyunun donma noktasındaki spesifik hacim, kaynama noktasındaki suyun hacminde büyük olmasına rağmen, su buharı soğutucu olarak kullanılır. Tuzlu suyun donma noktasında suyun buhar basıncı atmosfer basıncının yaklaşık 1/200'ü kadardır (Chow, W 1995).



Şekil 5.7. Zarchin Colt dondurma prosesi (Chow, W 1995).

Büyük ve karıştırılan bir dondurucu, bir ısı değiştiricide hemen hemen tuzlu suyun donma noktasına kadar saf suyun donma noktasının biraz altında soğutulmuş deniz suyu ile beslenir. Daha fazla soğutma liyofilizasyonla (dondurma yöntemi adı) yapılır. Burada; dondurma; bir kompresörün emişi yardımıyla, buharlaşmanın sağlanması sonucunda ısı kaybıyla gerçekleşir. Suyun buharlaşması sıvıyı donma noktasına kadar soğuttuğunda küçük kristaller oluşur. Bu kristaller 20-60 dakika içinde 0,5 mm'ye kadar büyürler. Kristalleri içeren tuzlu su bir buz ayırıcısına pompalanır. Burada buzlar sıvı yüzeyinde yüzmektedir. Daha sonra buzları tatlı su püskürtülerek yıkanır. Yıkama suları tuzlu su ile birleştirilir ve dönen bir ayırıcıyla üst tabakadan buzlar ayrılır. Kristaller sıkıştırılmış buhar verilen bir boşluğa geçer. Sıkıştırılmış buhar delikli bir plaka üzerinde bulunan kristalleri eriterek yoğunlaşır ve tatlı su oluşturur. Soğuk tatlı su, sisteme verilen deniz suyunu soğuturlar (Chow, W 1995).

### 5.2.2. Direkt Temaslı Soğutucular

Diğer dondurma proseslerinde, suyun dışındaki sıvı soğutucular tuzlu suyla direkt temas ettirilerek kullanılır. Ucuz olmaları ve kaynama noktalarının tuzlu suyun donma noktası civarında çalışmaya uygun olması nedeniyle hidrokarbonlar kullanılır. Tipik bir sekonder (direkt temas ) soğutucu bütandır. Deniz suyunda çok az çözünür. Büyük bir kaptaki deniz suyundan buzun donmasıyla aynı anda buzun gizli donma ısısının bütanın gizli buharlaşma ısısını sağlamak üzere transferi gerçekleşir (American Water Works Association Inc., 1971).

### 5.2.3. Basınçlı Dondurma Prosesi

Basıncındaki artış, suyun donma noktasını 1 bar'lık ( $10^5$  Pa) basınç başına  $-0,01^\circ\text{C}$  düşürür (American Water Works Association Inc., 1971).

Aksine hidrokarbon karışımları gibi yaklaşık  $250^\circ\text{C}$ 'de kaynayan ve tuzlu suyun donma noktasından daha düşük sıcaklıklarda donan organik sıvılar yüksek basınçta daha yüksek donma noktasından daha düşük sıcaklıklarda donan organik sıvılar yüksek basınçta daha yüksek donma veya erime noktasına sahiptir (American Water Works Association Inc., 1971).

Önceden soğutulmuş deniz suyunda bazı sıvı ve donmuş hidrokarbon karışımında atmosferik basınçta donar ve daha önceki proseslerde olduğu gibi deniz suyundan ayrılarak yıkanır. Saf buz sıvı hidrokarbonla yeniden karıştırılır ve basınç yaklaşık  $13,8\text{ MPa}$ 'a çıkarılır. Bu basınçta sıvı hidrokarbon küçük kristaller halinde donarak ısı verir, sıcaklık  $3-4^\circ\text{C}$ 'ye yükselir ve buz ısıyı absorplayarak erir. Saf su ürün olarak elde edilir ve sıvı hidrokarbon yeniden devrettirilir (American Water Works Association Inc., 1971).

### 5.2.4. Hidrate Donma Prosesleri

Donma proseslerinin önemli bir çeşidi propan, soğutucu-12( $\text{CF}_2\text{Cl}_2$ ), soğutucu-31( $\text{CH}_2\text{FCI}$ ) ve diğerleri gibi soğutucu olarak kullanılan gazların hidratlarının oluşumuna dayanır. Bazılarının bir gaz molekülünde 17 molekül su içerebildiği böyle hidrate kompleksler katılaştırılır veya dondurulur. Bu donma sırasında diğer moleküller tutulmaz

fakat su tutulur. Bunlar 17,7 °C gibi yüksek sıcaklıklarda stabil olabilirler, sudan daha çok ya da az yoğun olabilirler. Dondurma proseslerindeki bazı dezavantajlar ve avantajlar kristallerin dondurulması, tuzlu sudan ayrılması ve eritilmesi açısından karşılaştırıldığında farklı derecelerde görülmektedir, fakat proses basamakları benzerdir. Avantajı daha yüksek donma ve erime sıcaklıklarıdır (American Water Works Association Inc., 1971).

### 5.3. İyon Değişimi

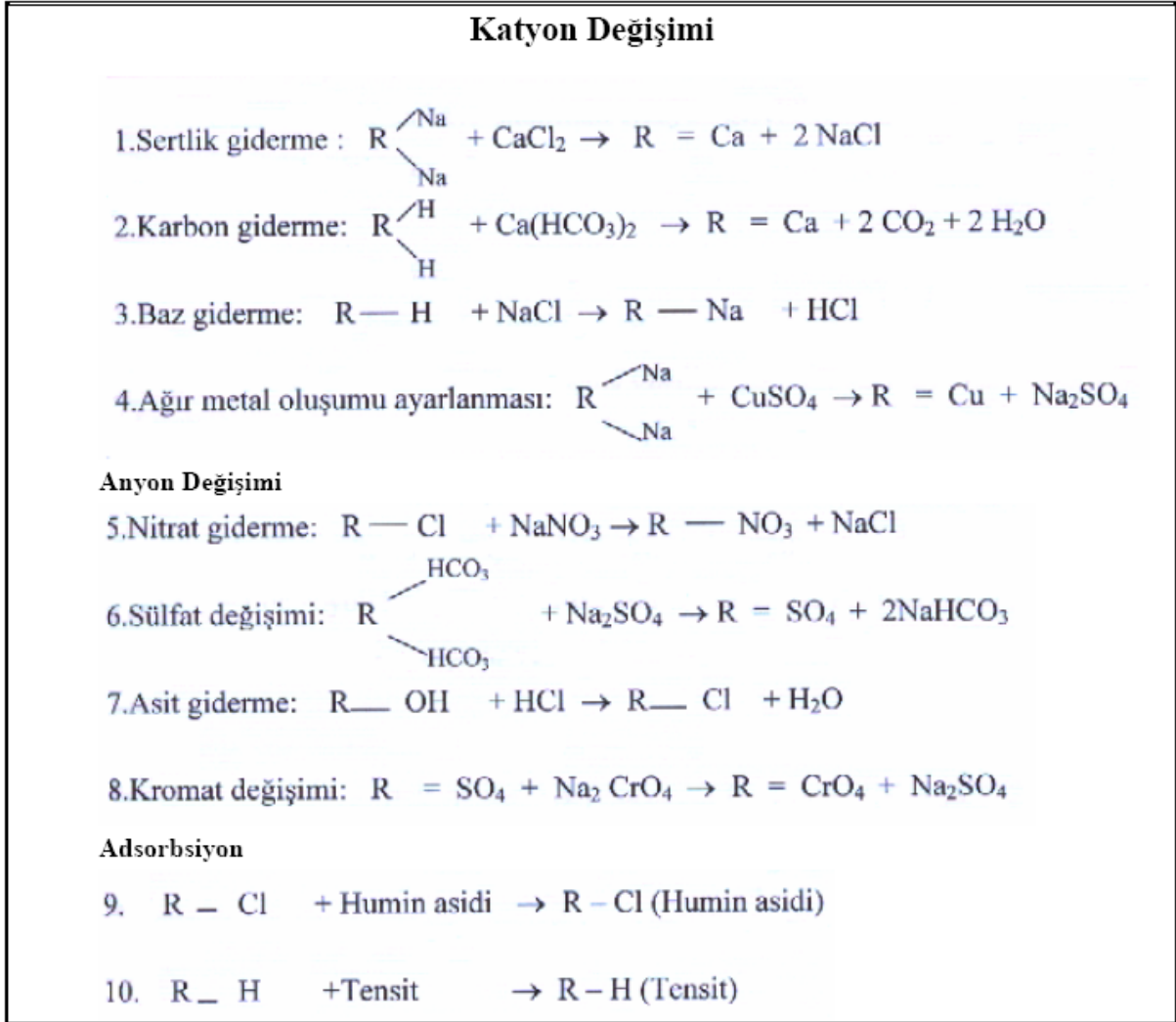
İyon değiştiriciler, değişim süresince çözeltilerden iyonları alıp aynı miktarda başka iyonları çözeltilere veren sistem parçalarıdır. Bu değişim, sadece aynı yüklü iyonlar arasında gerçekleşebilir. Bu sebeple katyon değiştiriciler sadece katyon, anyon değiştiriciler sadece anyon değiştirebilirler. İyon değiştiriciler ve değişim olgusu prensipte modern teknolojinin bir buluşu değil, aksine doğada kendini gösteren bir döngüdür. Bitkilerin özümleme yapma özellikleri ile topraktaki tuzun oluşumu iyon değişimi olayına örnek olarak verilebilir (Can, M., Etemoğlu, A.B. ve Avcı, A.2002).

İyon değişimi, arıtılması istenen işlenecek suyun içi reçine dolu bir sütundan geçirilmesi ile gerçekleşir. Bu yöntem, içme suyu elde edilmesinde bir çok ülkede yaygın olarak kullanılmaktadır. Günümüzdeki iyon değiştiricileri sayesinde, sertlik, tuz miktarı, nitrat, sülfat, organik madde, ağır metal oranları büyük kolaylıkla ayarlanabilmektedir. Şekil 5.8'de anyon ve katyon değiştiricideki reaksiyonlar görülmektedir (Can, M., Etemoğlu, A.B. ve Avcı, A.2002).

En basit iyon değişimi prosesinde sentetik iyon değiştirici yatağından geçen  $\text{Na}^+, \text{H}^+$  ile yer değiştirir. Bu yataktan çıkan seyreltik HCl çözeltisi farklı reçine yatağından geçer. Burada  $\text{Cl}^-, \text{OH}^-$  ile yer değiştirerek deiyonize ya da tatlı su oluşturulur. Bu işlem yatakların her biri tamamen  $\text{Na}^+, \text{Cl}^-$  iyonlarıyla yüklenene kadar devam eder (American Water Works Association Inc., 1971).

Daha sonra ilk reçine yatağı ayrı ayrı aktivite edilir. Birinci yataktan sülfirik asit çözeltisi geçilerek sodyum iyonlarının hidrojen iyonlarıyla yer değiştirmesi sağlanır. Aynı şekilde sodyum hidroksit çözeltisi ikinci yataktan geçirilerek klorür iyonları hidroksil iyonlarıyla değiştirilir ve yeniden tuz çözeltisi oluşturulur. Bu çözelti atık olarak yataktan geçer. Bu proses sülfirik asit ve sodyum hidroksitin en az %50-100 kullanımını gerektirir. Bu; deniz suyunun, büyük ölçekli tuzunun giderilmesinin çok yüksek ve karşılanmaz kimyasal

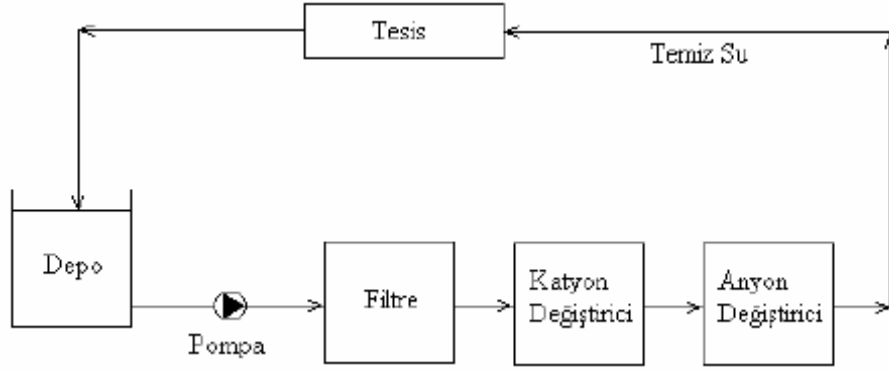
maliyeti olacağını göstermektedir. Özel durumlarda ve özellikle acı sudan tuz gidermede nispeten daha az kimyasal gerektiğinden iyon değişimi kullanılmaktadır (American Water Works Association Inc., 1971).



Şekil 5.8 Katyon, Anyon ve Adsorbsiyon Reaksiyonları (Can, M., Etemoğlu, A.B. ve Avcı, A.2002)

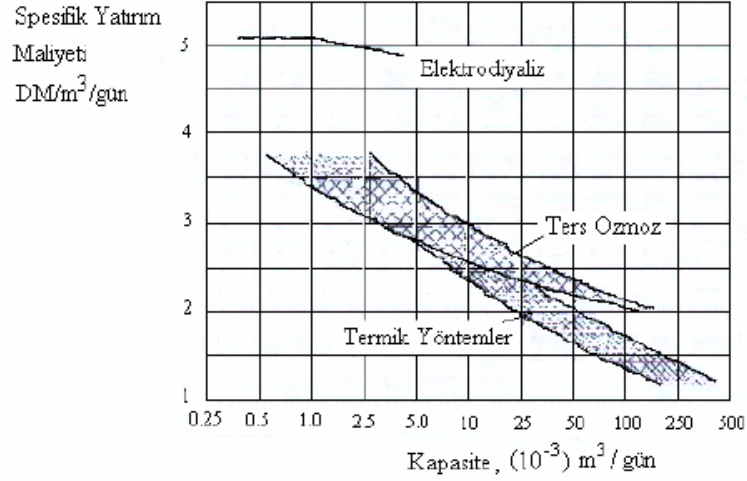
Bir iyon değişim tesisinin ana yapısı Şekil 5.9’da verildiği gibidir. Dolaşıma sokulmak istenen acı veya tuzlu su bir kaptan toplanır. İşlenmemiş su, değişim reçinesinin korunması amacıyla bir filtreye pompalanır. Temizlenmiş su işlenmemiş suda bulunan ve su iyonları ile değiştirilen  $\text{Na}^+$  ve  $(\text{NH}_4)^+$  gibi katyonları barındıran katyon değiştirici tarafından çözülür. Daha sonra su bu değiştiriciyi bazdan arındırılmış olarak terk eder ve anyon değiştiriciye geçer. Bazdan arındırılmış su bütün asitlerin güçlü sulandırılmış halidir. Anyon

değiştirici bu asitlerin bütün anyonlarını hidrosil anyonları ile değiştirir. Tuzdan arındırılmış su anyon değiştiriciyi terk eder ve suyun kalitesi devamlı olarak kontrol edilir. Tesisin çıkışında iletkenlik yükselmişse yorgun iyon değiştiricisi rejenere edilmelidir. Anyon değiştiricinin rejenerasyonu sodyum hidroksit, katyon değiştiricinin rejenerasyonu ise asit ile yapılır. Rejeneratörler yok edilen maddeleri ve rejenerasyon madde fazlasını içlerinde barındırırlar. Bunlar çok konsantre az hacimli atık sular oluştururlar ve bir atık tesisine gönderilmelidirler. Aynı zamanda bir filtrenin temizleme suyunun da atık su tesisine gönderilmesinde yarar vardır (Can, M., Etemoğlu, A.B. ve Avcı, A.2002).

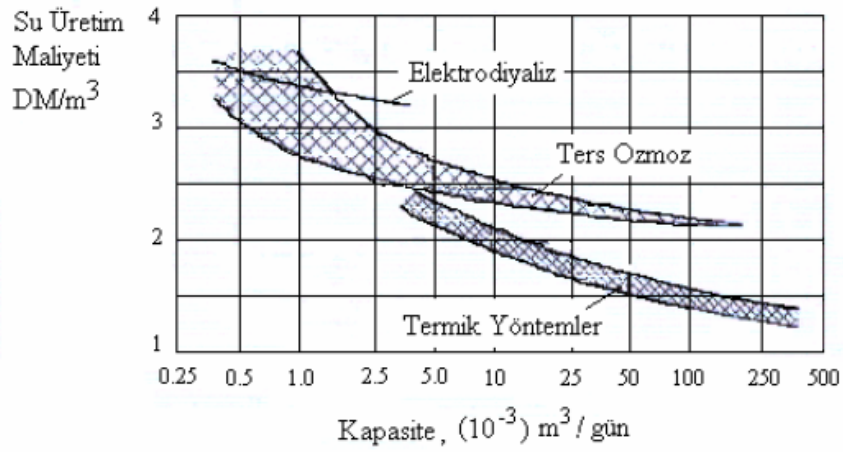


Şekil 5.9 İyon Değiştirici Üzerinde Dolaşan Suyun Şematik Resmi (Can, M., Etemoğlu, A.B. ve Avcı, A.2002)

Verimli bir iyon değiştirici tesis kurulabilmesinde göz önünde bulundurulması gereken en önemli faktörler ekonomik işletme ve güvenlidir. Eski teknoloji ve konstrüksiyonların yüksek yatırım ve işletme maliyetlerinin yanı sıra büyük miktarda rejenerasyon maddesi israfına neden olacağı unutulmamalıdır. Şekil 5.10 ve Şekil 5.11’de bu araştırma içerisinde tartışılan tuz giderme yöntemlerine ait yatırım ve toplam üretim maliyetleri karşılaştırılmalı olarak verilmiştir (Can, M., Etemoğlu, A.B. ve Avcı, A.2002).



Şekil 5.10 Tuz Giderme Yöntemlerine Ait Yatırım Maliyetleri (Can, M., Etemoğlu, A.B. ve Avcı, A.2002)



Şekil 5.11 Tuz Giderme Yöntemlerine Ait Toplam üretim Maliyetleri (Can, M., Etemoğlu, A.B. ve Avcı, A.2002)

Nispeten küçük ölçekli acı su kullanan çeşitli proseslerde daha ucuz rejenerasyon sistemleri kullanılmaktadır.

Esas olarak tuz gidermede kullanılan iyon değiştirici reçineler;

- Kuvvetli asitler
- Zayıf asitler
- Kuvvetli bazlar
- Zayıf bazlarla çalışır gibi düşünülür (Americana Water Works Association Inc., 1971)

IE proseslerinin çeşitli avantajları vardır. Bunlar:

- 500-1500 ppm aralığında nispeten düşük çözünmüş katı içeriği olana sular için sermaye yatırımı membran proseslerinden düşüktür.
- Büyük miktarda bikarbonat içeren sular için anyon dönüşümü ihmal edilebilir.

Diğer taraftan IE'nin belirli bazı problemleri de vardır. Bunlar:

- Diğer kimyasalları, ürün ve atık suyu uzaklaştırmak için kullanılan kimyasallar esas olarak beslenme suyundan fazla mineral içerirler, böylece tuzlu su dönüşüm tesisleri için zor bir problem olan atık uzaklaştırılması daha da zorlaşır.
- IE prosesleri güvenilirlik ve kontrol açısından termal ve elektriksel proseslerden daha problemlidir. Özellikle tam bir kimyasal kontrol gereklidir.
- Kişisel ya da mekanik hatalarda tuzlu suya alkalinin herhangi bir şeklinin girişi gözlenmiştir.
- IE demineralizasyon prosesinin etkili bir şekilde kontrolü iyi derecede kimya bilgisi olan personel gerektirir.

#### 5.4. Ekstraksiyon (Ayrıştırma)

Tuz, saf olarak iyonik bir maddedir ve tuzun sudan bilinen yöntemlerle ekstraksiyonu için solvent bulunmamaktadır. Ancak suyun sudan ekstraksiyonu az ya da çok çözünürlüğü olan pek çok organik sıvıyla yapılabilir. Buharlaşmada su gaz fazına, dondurmada katı faza geçer. Ekstraksiyonda ise su diğer bir sıvı faza alınır (Popkin, 1968).

Diğer ekstraksiyonlarda olduğu gibi, su içeren çözücü tabakası saf suyun solvent miktarına ve buhar basıncına bağlı olarak alttan veya üstten ayrılmasını sağlamak için gerekirse bir kolonda destile edilebilir (Popkin, 1968).

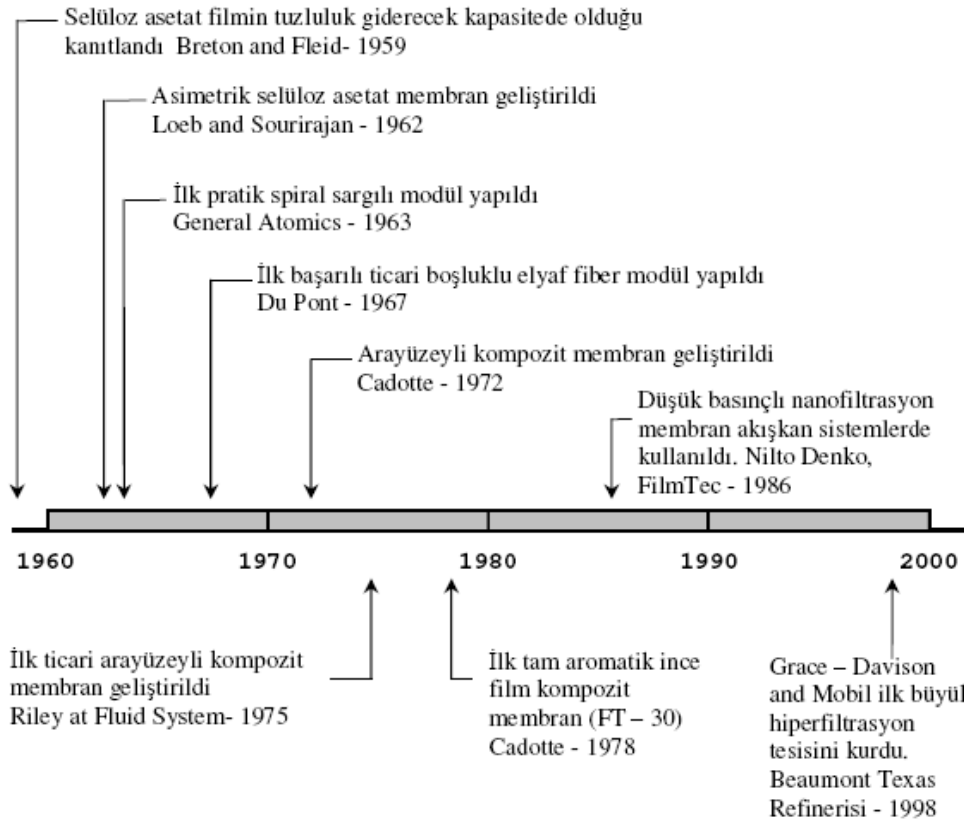
Alternatif olarak, suyun solventin farklı sıcaklıklarındaki çözünürlüğünün farklı olmasından yararlanılabilir. Su maksimum çözünürlüğünün olduğu sıcaklıkta ekstarte edilir. Sonra sıcaklık minimum çözünürlüğünün olduğu noktaya getirilir. Böylece suyun bir kısmı ayrılır. İki faz için de solventin geri kazanılması için destilasyon gerekir. Bu enerji ve

ekipman açısından pahalı bir yöntemdir. Termodinamik olarak pek çok ekstraksiyon prosesi buharlaşma ve dondurmadan daha az yeterlidir (Popkin, 1968).

### 5.5. Membran Filtrasyon Yöntemleri

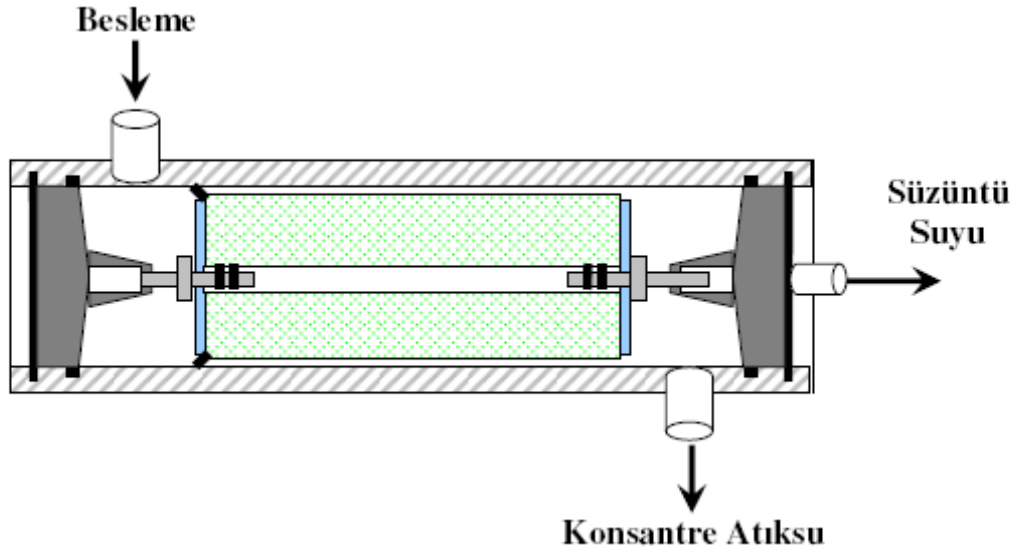
“Su arıtımında filtrasyon tekniği değişik metotlar kullanılarak yapılır. Hızlı kum filtrasyonu, yavaş kum filtrasyonu, basınçlı kum filtrasyonu gibi filtrasyon sistemleri geleneksel sistemlerdir ve genel olarak sudaki AKM giderimi için kullanılmaktadırlar. Kum filtrelerinin gözenek çaplarının 60  $\mu\text{m}$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

Membran ayırma prosesleri oldukça yeni arıtım metotlarındandır. 25 yıl öncesine kadar membran filtrasyonunun teknik açıdan kullanılabilmesi düşünülmemekte idi. Bugün ise membran filtrasyon sisteminin çok geniş uygulama alanları vardır ve hala da sistem gelişerek büyümektedir. Şekil 5.12’de membran filtrasyon sisteminin tarihsel gelişimi üzerine bilgi verilmiştir (Mulder, 2003).



Şekil 5.12 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 kullanırlar ve aralarından suyun geçişine izin verirler, kirleticilerin geçişine ise izin vermezler. 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 5.13'de gösterilmiştir (Mulder, 2003).



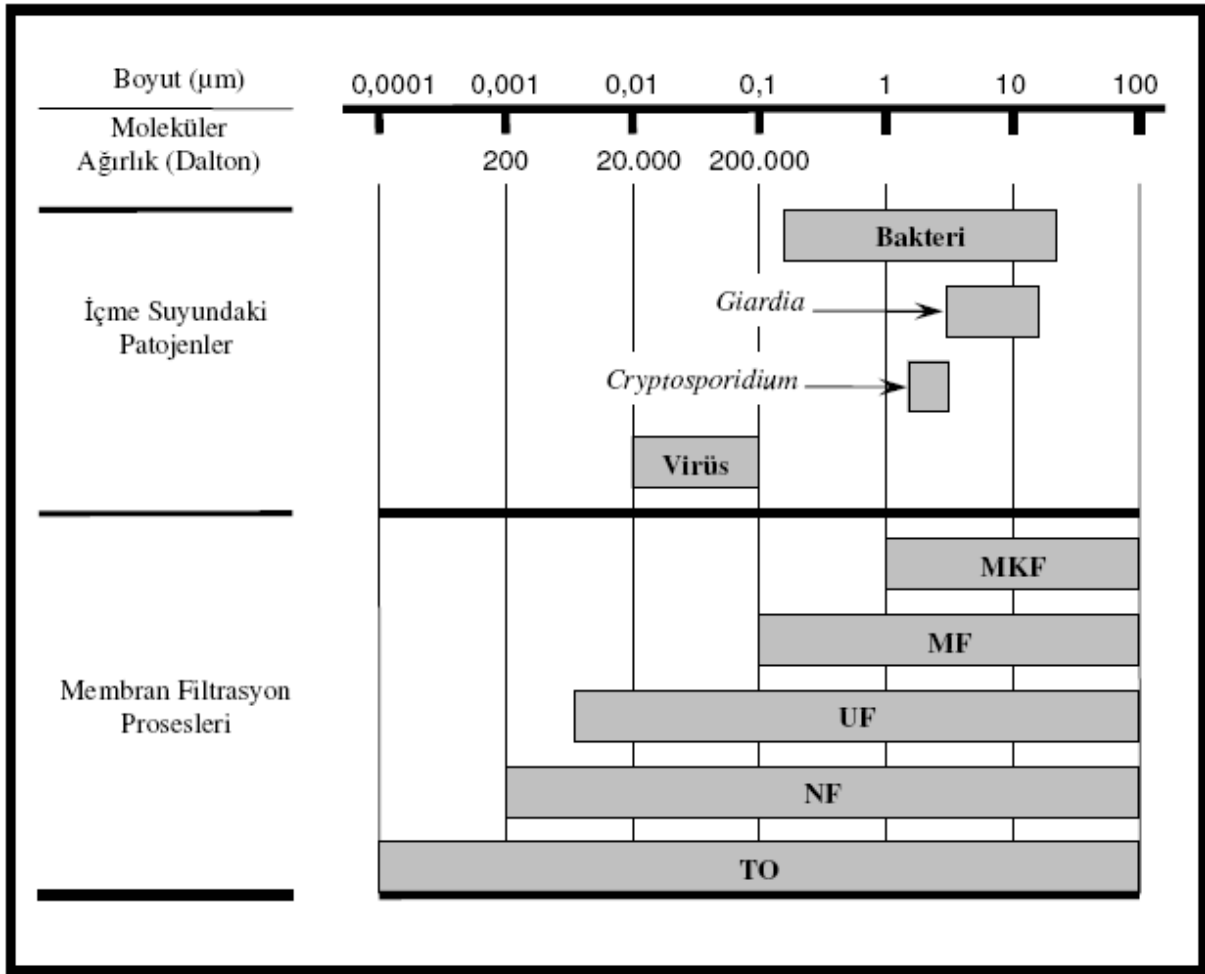
Şekil 5.13 Membran Proseslerde Giriş ve Çıkış Akımları (Mulder, 2003)

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 (Allgeier, 2003).

Bir membran filtrasyon prosesi iki temel kriter ile tanımlanabilir.

- Filtrasyon sistemi lifsiz, bariyerli ve en az 1 mikron'dan ( $\mu\text{m}$ ) büyük partikülleri giderecek şekilde, basınç yada vakum sistemli olmalıdır.
- Proses, hedef alınan organizmaları ve kirleticileri verimli bir şekilde giderebilme yeteneğine sahip olmalıdır.

Membran filtrasyon sistemleri boyutları gösterilen ve içme sularında bulunması istenilmeyen patojenleri (Şekil 5.15) giderme yeteneğine sahip olmalıdır. Şekil 5.14 virüslerin, bakterilerin, *Cryptosporidium* ve *Giardia*'nın hangi membran filtrasyon sistemi ile giderilebileceğini göstermektedir. Anlaşılan gerçek sudur ki nanofiltrasyon ve ters ozmos membran sistemleri ve bazı ultrafiltrasyon sistemleri, patojenleri, çözünmüş maddeleri ve büyük makro molekülleri gidermede çok etkilidir (Allgeier, 2003).

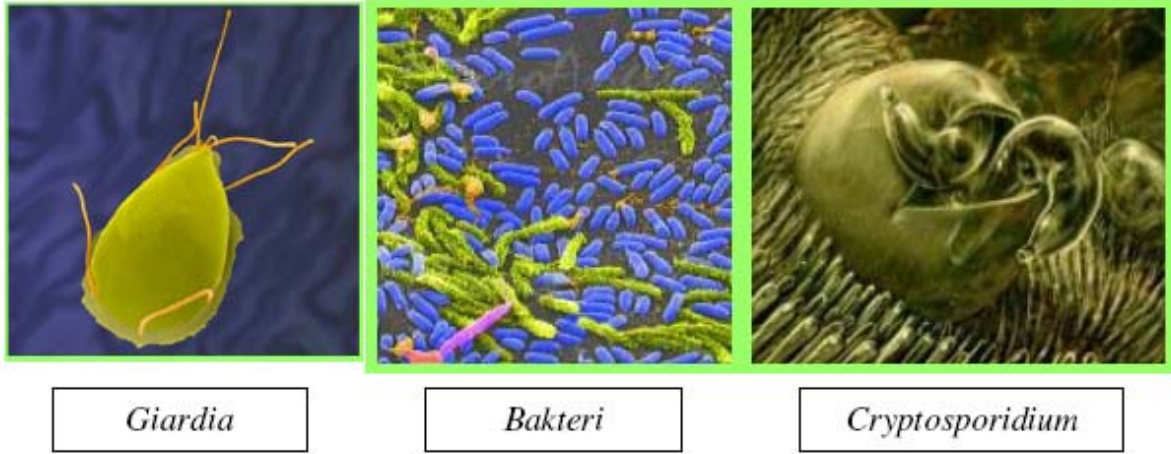


MKF: Membran Kartuş Filtrasyon  
UF : Ultrafiltrasyon

MF : Mikrofiltrasyon  
NF : Nanofiltrasyon

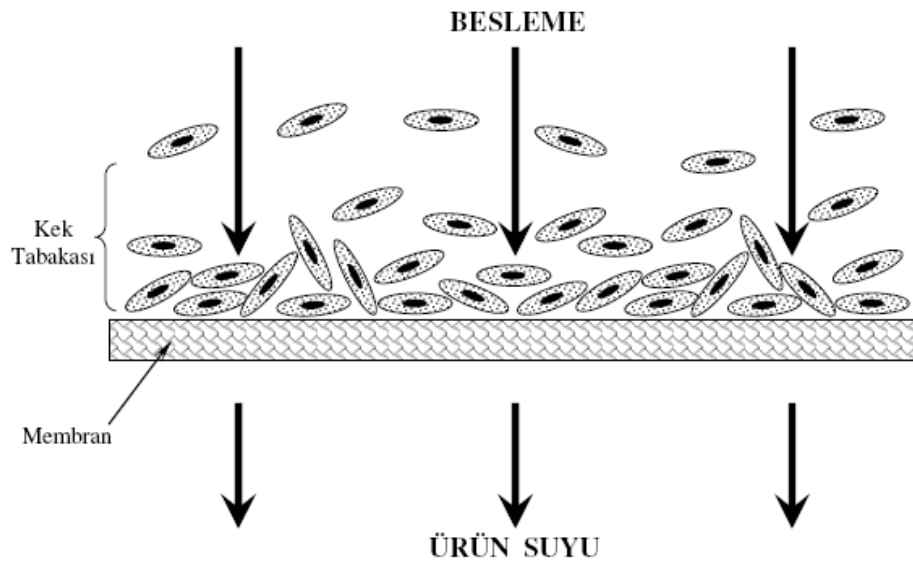
TO : Ters Ozmos

Şekil 5.14 Patojen Giderimi için Filtrasyon Uygulama Rehberi (Allgeier, 2003)



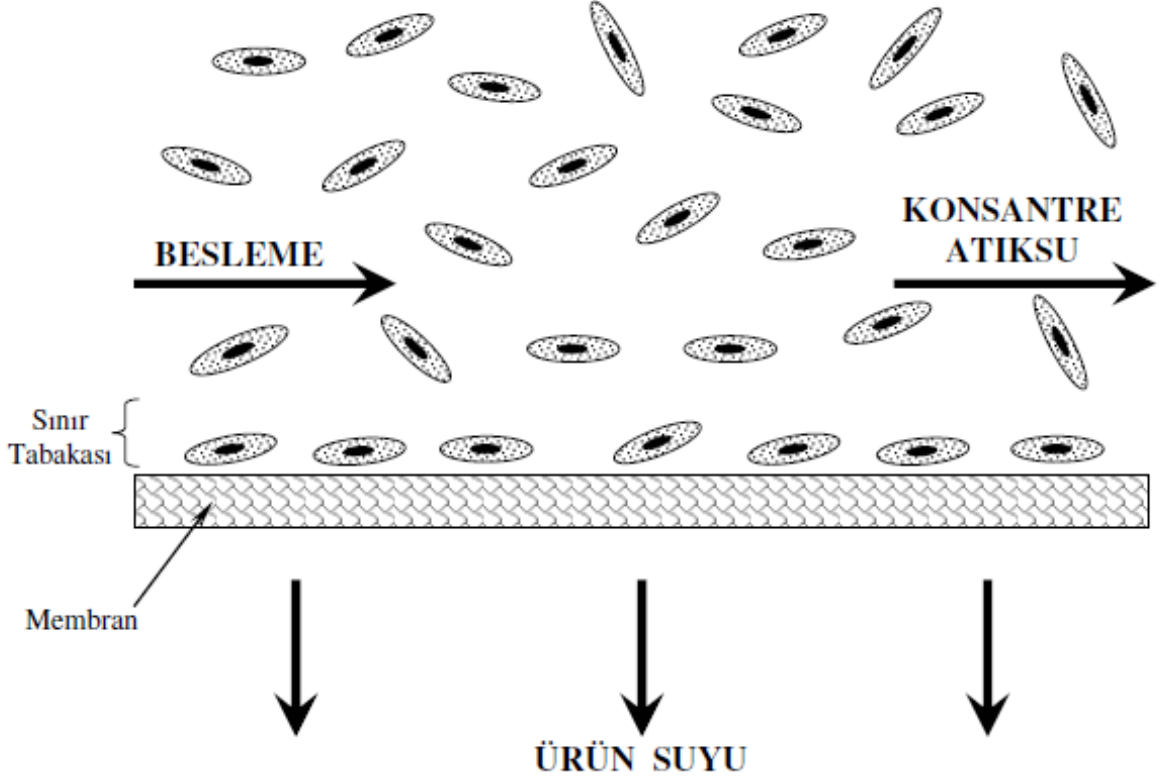
Şekil 5.15 İçme Sularında İstenmeyen Patojenler (Allgeier, 2003).

Geleneksel filtrasyon sistemleri ve çoğu mikrofiltrasyon ve ultrafiltrasyon membran sistemleri ile nanofiltrasyon ve ters osmoz sistemlerinin su akışları arasında farklar bulunmaktadır. Mikrofiltrasyon ve ultrafiltrasyon membran arıtma sistemlerinde, besleme su akışı, membranlara dik olarak olmaktadır (Şekil 5.16). Sisteme giren besleme suyunun tamamı, kirletici 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 5.16 Dikey Yönlü Membran Filtrasyonu Su Akış Seması (Allgeier, 2003)

Membran filtrasyon sistemlerinin çoğunluğunda ve özellikle nanofiltrasyon ve ters osmoz membran sistemlerinde kullanılan su akışı ise yatay yönlüdür (Şekil 5.17). Bu sistemde besleme suyu membranlara paralel olarak basınçlı şekilde verilir. Ürün suyu yarı geçirgen membrandan geçerken, kirletici parametreler membranın ön yüzeyinde kalır. Suyun membranlara paralel yönde hareket etmesinden dolayı membranların ön yüzeylerinde kek tabakası oluşmaz ve kirleticiler sürüklenip giderler (Allgeier, 2003).

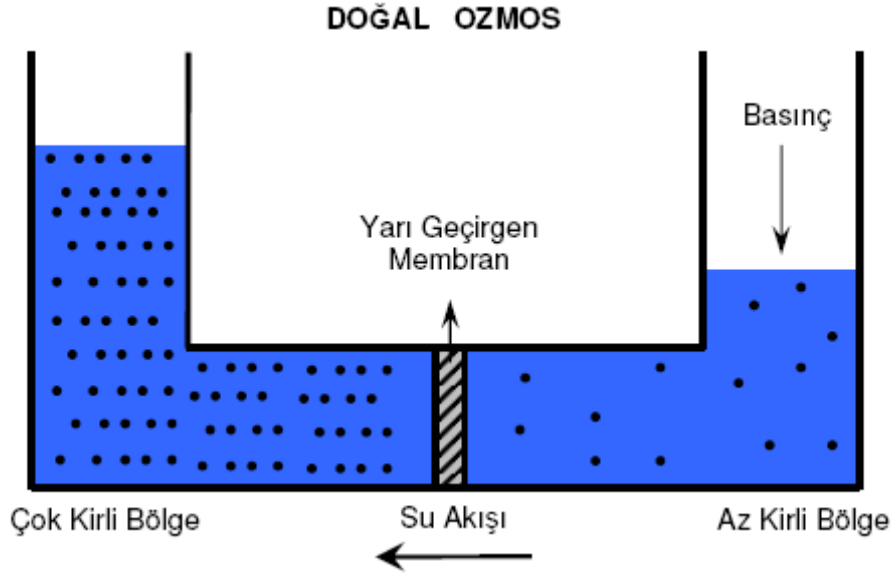


Şekil 5.17: Yatay Yönlü Membran Filtrasyonu Su Akış Seması (Allgeier, 2003)

### 5.5.1. Ters Osmoz

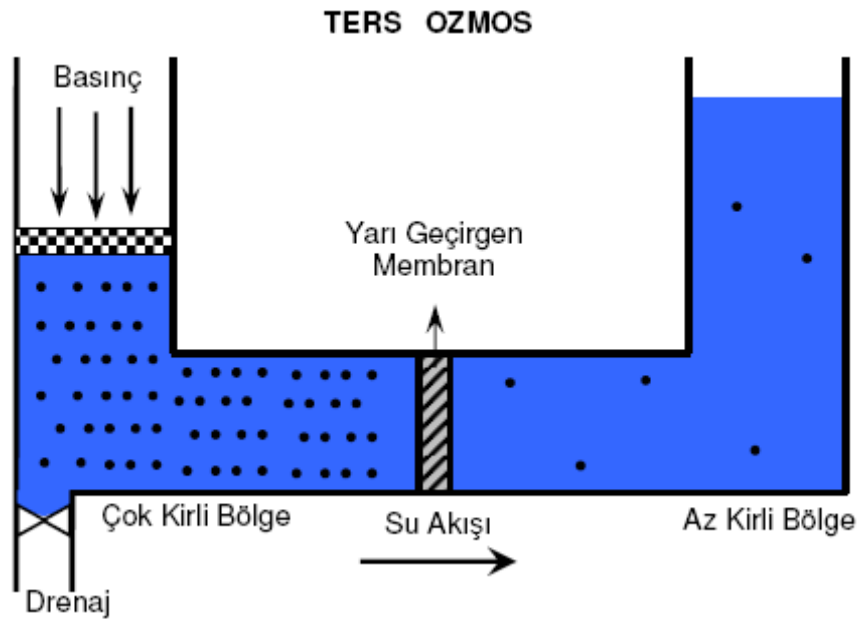
Su oda sıcaklığında (20-30 °C) doğadaki en küçük sıvı molekülü maddelerden biridir. Ters osmoz sistemler özellikle suda çözünür halde bulunan sudan daha büyük molekülü maddeleri reddeder. Ters osmoz sistemlerindeki yarı geçirgen membran suda çözünür halde bulunan safsızlıkları tutabilir. Ters osmoz işlemini tanımlamadan önce osmoz olayını anlamak gereklidir. Suda farklı miktarda çözülmüş maddeler içeren iki farklı konsantrasyondaki çözelti yarı geçirgen bir membranla ayrıldığı zaman osmoz 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 5.18). Membranın iki tarafında çözeltilerin konsantrasyonu eşit olunca geçiş durur (Öztürk, 2005).



Şekil 5.18 Doğal Osmoz İşlemi (Öztürk, 2005)

Ters osmoz işleminde ise konsantre bölgeye basınç uygulanarak osmoz işlemi tersine çevrilir. Yeterli basınç altında su konsantre bölgeden seyreltik bölgeye yarı geçirgen membran arasından geçer (Şekil 5.19) (Öztürk, 2005).



Şekil 5.19 Ters Osmoz Sistemi (Öztürk, 2005)

Ters osmoz sistemlerinde pompalama kapasitesi ve işletme basınçları için gerekli enerji 2.4 ila 4.5  $kWh/m^3$  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 (Öztürk, 2005)

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

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

Ters osmoz 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 Ters Osmoz ürün suyunun bir sonraki aşamada deiyonize edildiği uygulamalardır (Öztürk, 2005).

Bir ters osmoz 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 su 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 (Öztürk, 2005).

### 5.5.1.1 Ters Osmoz Membran Sistemlerinde Oluşan Atık Su Yüzdesi

Su içerisinde bulunan kirleticilerin ters osmoz sisteminde reddedilme yüzdesi elde edilen (arıtılan) suyun kalitesini tarif eder. Reddetme oranı, besleme suyunda bulunan çözülmüş maddelerin ürün suyundaki çözülmüş maddelerin konsantrasyonuna oranıdır (Öztürk, 2005).

Çözülmüş maddenin reddedilmesi:

- Kullanılan membranlara,
- Geri kazanmaya,
- İşletme şartlarına,
- Besleme suyu konsantrasyonuna,
- pH ve sıcaklığa,
- Çözülmüş 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 (Öztürk, 2005).

Çoğu evlerde ve işyerlerindeki ters osmoz sistemlerinde beslenen suyun ancak % 20-30'u arıtılmış su olarak elde edilmektedir. Ters osmoz sistemlerini daha yüksek oranda çalıştırmak mümkündür. Bu durumda membran ömrünün kısalmaya uğramaması için unutulmamalıdır (Öztürk, 2005).

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

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

### 5.5.1.2. Tuz Giderilmesinde Ters Osmozun Kullanımı

Ters osmozla tuzlu sudan suyun ayrılması pek çok araştırmacının ilgilendiği bir konudur. Ters osmozda su molekülleri çok yüksek basınç etkisiyle yüksek polimer filmler veya zarlardan geçirilir. Daha yoğun olan tuzlu su membranın beslenme yüzeyinden atılır. Uygulanacak basınç, normal ozmotik geçirgenliğe dönmek için gerekli olan tuzlu suyun ozmotik basıncından yüksek olmalıdır. Deniz suyunun ozmotik basıncı yaklaşık 25 bar, 2000 ppm katı içeren tuzlu suyun ise yaklaşık 1,4 bar'dır. Ters ozmos için gerekli basınç bu değerden fazla olmalıdır.(Ed. Bipin, 1988).

Ters Osmoz'un diğer yöntemlere göre çeşitli özellikleri vardır:

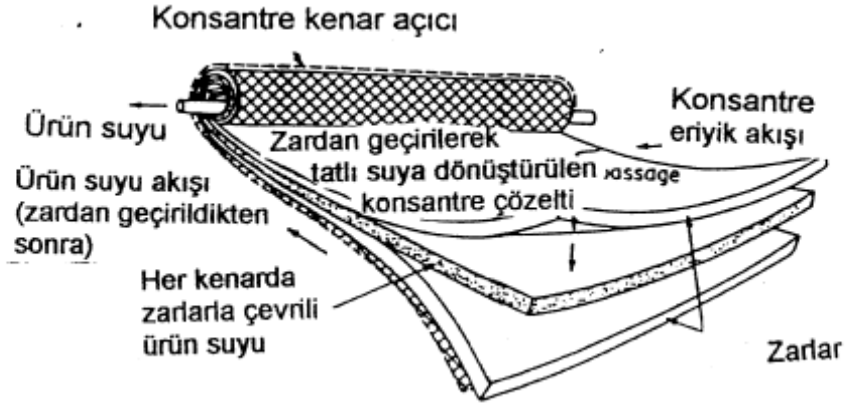
- Temel anlamda basit bir yöntemdir.
- Destilasyondaki gibi ısı transferi gerektirmez.
- Selüloz asetatından elde edilen ilk pratik zarlar nispeten ucuz materyallerdir.
- Daha ileri geliştirme çalışmalarıyla, prosese tuzlu su arıtımı, atık su arıtımı ve nihayet deniz suyu arıtımı için uygun hale gelmektedir.

### 5.5.1.3 Yarı Geçirgen Zarlar Ve Modüller

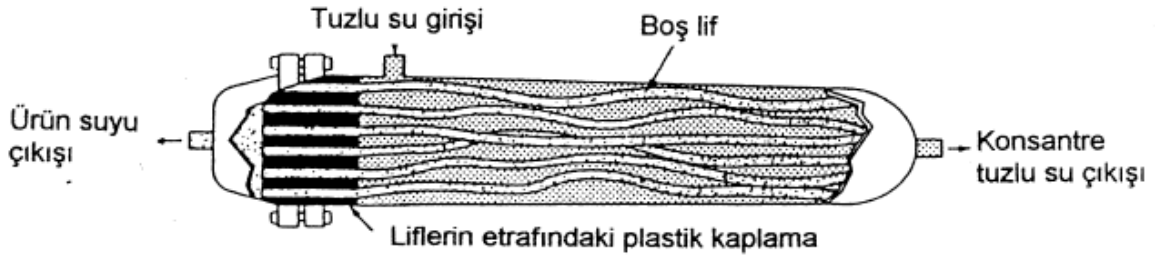
Ters osmoz ile tuz gidermede ideal olan zar son derece ince kusursuz polimerik madde filminden ibarettir. Maddenin taşıma özellikleri suyun az bir engellemeyle geçirilmesi ve tuzun geçirilmemesidir. Suyun büyük ölçüde geçişini sağlamak için gerçek bir zar son derece ince olmalı, ideal olarak birkaç angstromdan kalın olmamalıdır(Ed. Bipin, 1988).

Ters osmoz zarları beslenme akışı ile geçirilmeyen kısmı geçirilen akıştan ayırmayı sağlayan aletlerde paketlenmiş olarak satılırlar. Bu aletler genellikle modül olarak adlandırılır ve beslenme akışının hızını ve türbülansını kontrol edecek şekilde düzenlenmiştir. Bu zar modülünün verimliliği günde geçirilen su miktarı  $m^3$  /gün olarak verilir ve zar alanı başına zar geçirgenliğini ifade eder. Kullanılan zar tipine göre dört çeşit modül vardır. Bunlar, düz zarlar için kullanılan spiral-sarmal ve düz-çerçeve şeklindeki modüller ile, lif şeklindeki zarlar için kullanılan boru şeklindeki ve içi boş lif modüllerdir. Tuz giderilmesinde başlıca iki modül

kullanılır. Bunlar spiral sarmal (Şekil 5.20) ve içi boş lif modülleridir (Şekil 5.21) (Ed. Bipin, 1988).



Şekil 5.20. Spiral sarmal ters osmoz modülü (Ed. Bipin, 1988).



Şekil 5.21. Lif şeklindeki ters osmoz modülü (Ed bigin, 1988)

#### 5.5.1.4 Ters Osmoz Problemleri

Ters Osmoz alanında karşılaşılan bazı problemlerle ilgili çalışmalar yapılmakta ve çeşitli ilerlemeler sağlanmaktadır. Bunlar: (Allgeier, 2003)

- Selüloz asetat ucuz bir maddedir, fakat pH değişimlerine, oksitleyici maddelere, bakteriyel etkilere ve uygulanan basınç altında sıkıştırılmaya karşı duyarlıdır. Tahmin edilen zar ömrü birkaç aydan üç yıla kadar değişmektedir.

- Ters osmoz zarları, suyu tam anlamıyla süzdüğünden, ters osmoz belirli maddelere; demir, manganez, bulanıklık, organik maddeler ve sudaki diğer çözünmemiş maddelere karşı duyarlıdır. Bu nedenle ters osmoz tesislerinde ön işlemlere büyük bir önem verilmektedir. Acı su ters osmoz sistemlerinde en yaygın membran sorunu, besleme suyundaki kalsiyum karbonat ve kalsiyum sülfatın çökmesi nedeni ile görülmektedir.
- Selüloz asetatı dayalı membran yüzeyi için m<sup>2</sup> başına hammadde maliyeti çok düşük olmasına rağmen; fiyat artışları dayanıklılık, membranların değiştirilmesi problemleri tesis ve yer değiştirme maliyetlerinde önemli artışlara neden olur.
- Ters osmoz ekipmanında kullanılan yüksek basınç (genellikle 2,75 MPa 10,34 MPa) yeterli ve emniyetli pompalama cihazları ve nispeten pahalı borular, basınç kapları ve donanım gerektirir.

### 5.5.2. 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 yapısına göre değişmektedir (Allgeier, 2003).

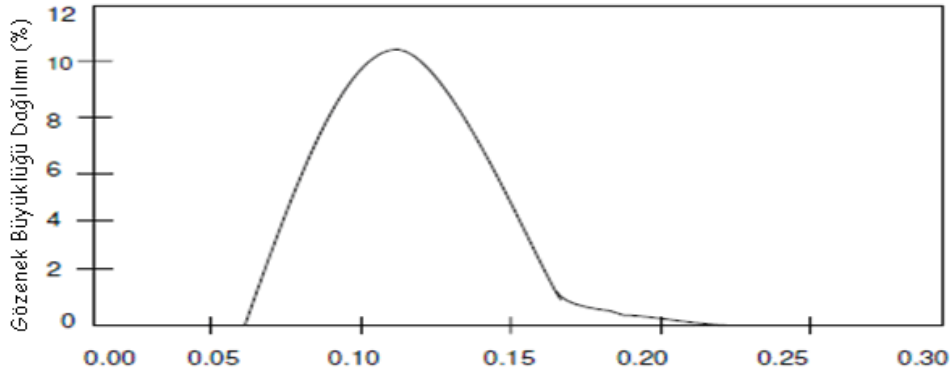
Mikrofiltrasyon genel bir ifadeyle 0.6 µm'dan daha büyük partikülleri tutmak amacıyla kullanılır. Mikrofiltrasyon membranların gözenek çapları genellikle 0,1–0,2 µm (normal gözenek çapı 0,1 µm) arasında olmakla beraber gözenek çaplarının 10 µm'ye kadar olacak şekilde kullanılabilir. Mikrofiltrasyonda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

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, 2003).

Bazı ultrafiltrasyon membranları, büyük organik makromolekülleri alıkoyma yeteneğine sahiptirler (Allgeier, 2003). Bir partikülün membranda tutulup tutulmaması,

isletme şartları yanında herşeyden önce partikülün büyüklüğü ve yapısı ile membran porlarının büyüklüğü ve yapısına bağlıdır (Anonim, 2003).

Mikrofiltrasyon membranları “Nominal Por Çapı” ile karakterize edilirler. Nominal Por Çapı, por büyüklüğü dağılımında en çok sayıda bulunan por büyüklüğüdür. Şekil 5.22’de 0.1 µm nominal por çapına sahip, kullanımı yaygın bir mikrofiltrasyon membranının por dağılımı görülmektedir (Anonim, 2003).



Şekil 5.22 Mikrofiltrasyon Membranlarında Gözenek Büyüklüğü Dağılımı (Anonim, 2003)

Por büyüklüğünün uygunluğundan dolayı Mikrofiltrasyonda asimetric membranlara esas olarak ihtiyaç duyulmaz. Bu yüzden mikrofiltrasyon membranlarının büyük çoğunluğu simetric yapıdadır (Anonim, 2003)

Mikro ve ultrafiltrasyon modüllerinde ana problem, membran üzerinde oluşan birikme tabakasının kontrol altına alınmasıdır. Burada modül tekniği açısından aşağıdaki seçenekler söz konusu olmaktadır : (Anonim, 2003)

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

### 5.5.3. 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 (Öztürk, 2005).

Nanofiltrasyon kavramı, 200 kg/kmol molekül ağırlığı ve buna ait 1 nanometre (10 angstrom) büyüklük ile ilgilidir (Öztürk, 2005).

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(Öztürk, 2005).

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 tutulmaktadır (Öztürk, 2005).

Nanofiltrasyon membranlarının bu seçimliliği, membrandaki negatif yük gruplarından kaynaklanmaktadır. Bunlar elektrostatik etkileşimlerle çok değerlikli anyonların

membrandan geçişini engellemektedirler. Buradaki yük gruplarına örnek olarak –COOH veya –SO<sub>3</sub>H verilebilir (Öztürk, 2005).

Membran üretiminde bu yük grupları aşağıdaki yollarla oluşturulur:

- Membran polimeri kimyasal işlemlere sokularak
- Yüklü bir polimer ilave edilerek
- Yüklü bir monomer polimerize edilerek

### 5.5.3.1 Nanofiltrasyon Membranlarının Kullanım Alanları :

Nanofiltrasyon membranlarının özellikleri, aşağıdaki tipik kullanım alanlarını oluşturmaktadır (Allgeier, 2003).

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 atık sularının renk giderimi
  - Peynir altı suyundan laktoz ve proteinlerin tutulması
  - Tensid içeren atık sulardaki tuzların giderimi
3. Sulu çözeltilerdeki düşük ve yüksek moleküllü maddelerin birbirinden ayrılması :
  - Şarabın alkolünün giderimi
  - Biyolojik arıtma basamağından önce, atık sudaki zor parçalanmış maddelerin ayrılması.

### 5.5.3.2. Nanofiltrasyon Membranlarının Ayırma Mekanizmaları

Organik bileşiklerin elektrikçe nötral sulu çözeltileri söz konusu olduğunda nanofiltrasyon membranlarındaki akı ve seçicilik, RO (Ters Ozmoz) membranları için geliştirilmiş olan “Çözünme-Difüzyon Modeli” ile açıklanabilir ve bu modelden çıkarılan eşitliklere uyar (Allgeier, 2003).

Fakat iyonik çözeltiler için NF membranları kullanıldığında durum değişir. Ters osmoz’dan farklı olarak burada NF membranlarındaki negatif yüklerden kaynaklanan elektriksel etkiler ortaya çıkar. Özellikle bir ve iki değerlikli anyonların tutulma oranları büyük farklılıklar gösterir (Allgeier, 2003).

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

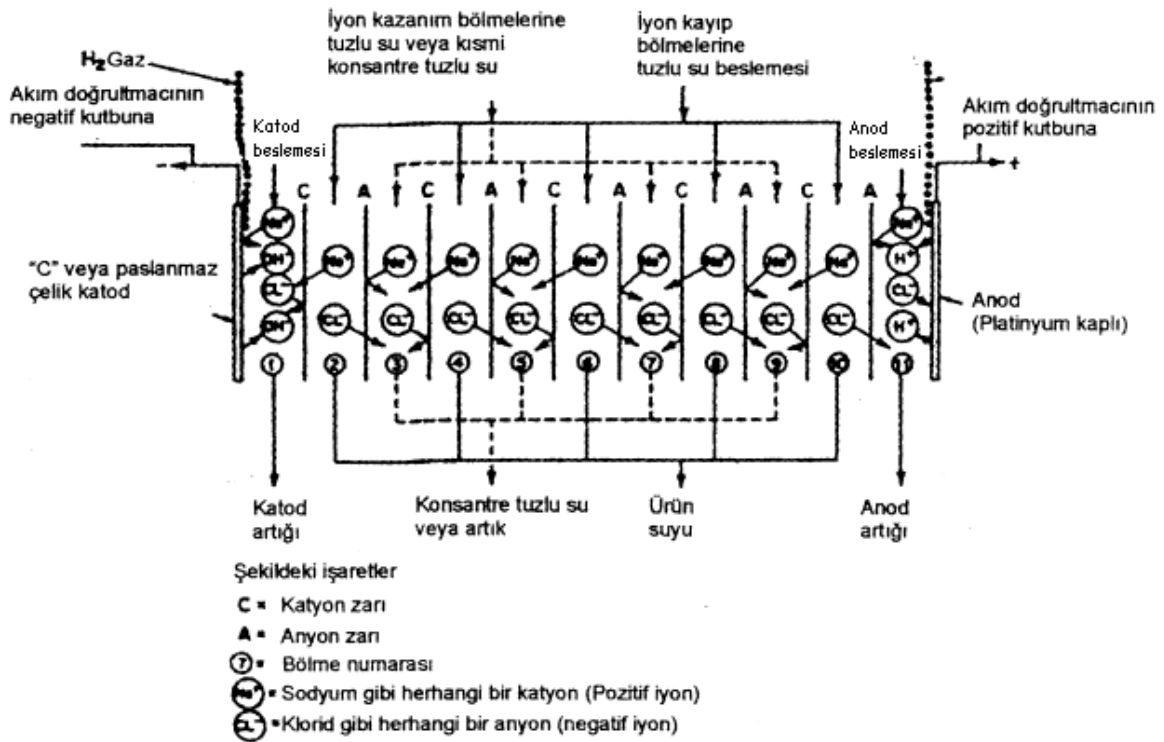
### 5.5.4. Elektrodializ

Diyaliz, molekül veya iyonların bir zardan geçişidir. Elektrodializde (ED) iyonların geçişi bir elektrik akımının geçirilmesiyle kolaylaştırılır. Elektrodializde farklı iki tipte özel olarak geliştirilmiş plastik zarlar kullanılır. Bunlardan biri anyonlara diğer katyonlara daha fazla geçirgendir (American Water Works Association Inc., 1971).

Elektrodializ II. Dünya savaşı’ndan sonra geliştirilmiştir ve tuzun suyunun giderilmesi için destilasyondan daha pratik bir yöntem olduğunu gösteren ilk prosestir. II. Dünya savaşı’ndan 10-20 yıl önceki literatürlerde ED’in dayandığı prensip tartışılmıştır, fakat prosesin pratik olarak anlaşılması 1940’lı yılların sonlarında dayanıklı iyon değiştirici zarların geliştirilmesini sağlamıştır. Bugün ED acı veya yüksek mineral içerikli suların arıtılması için ve özellikle 1000-5000 ppm toplam çözünmüş katı içeren sular için en yaygın uygulama prosestir (American Water Works Association Inc., 1971).

ED’de, tuzlar ve mineraller, tuzlu su akımının direkt elektrik akımının etkisiyle özel plastik zarlardan geçirilmesiyle uzaklaştırılır. Tuzlar ve mineraller membranlardan pozitif ve

negatif yüklü iyonlar halinde geçer. Bu iyonlardan ayrılan su membranlar arasından akar ve borular yardımıyla zarlar arasından kısmen demineralize ürün olarak toplanır. Sudan ayrılan tuz ve mineraller membranlardan geçerek zarların diğer yüzünü sürekli olarak yıkayan diğer su akışına katılırlar ve daha fazla konsantre su akışı olarak borulardan çıkarlar. Tuzun giderilmesi için gerekli elektrik akımı ve zar yüzeyi uzaklaştırılacak minerallerin tipine ve miktarına bağlıdır. Bu nedenle ED işleminin maliyeti uzaklaştırılacak minerallerin tipine ve miktarına bağlıdır. Bu proses acı sular için daha uygundur. Şekil 5.23'te sistem görülmektedir (American Water Works Association Inc., 1971).



Şekil 5.23 Elektrodializ zarlarında temel iyon değişimi ve su akışı (American Water Works Association Inc., 1971)

Sudan yararlanma mühendisliği açısından, aşağıdaki faktörler önemlidir:

- Dünyadaki pek çok yerleşim yerinde çalışır durumda günde yaklaşık  $4,5 \times 10^3$  m<sup>3</sup>'den fazla kapasiteli ED tesisi vardır ve bunların tatlı su üretiminde güvenilir olduğu henüz kanıtlanmamıştır.
- Optimum operasyon için; demir, manganez, bulanıklık ve organik madde içermeyen temiz su gerekir. ED tesisine vermeden önce yer altı sularının bazen yüzey sularının her zaman bilinen yöntemlerle uygun bir ön işlemden geçirilmesi gerekir.

- Kurulacak sistemin toplam maliyetini belirlemek için tesisin ana bileşenlerinin, zamların, elektrotların kullanım süreleriyle ilgili bilgiler önemlidir.

ED tesislerinde derişik tuz ve mineral çözeltilerinin uzaklaştırılması için besleme suyunun %10-30'u gerekir (Popkin,1968).

### **5.6 İçme Suyu Arıtma Yöntemlerinin Karşılaştırılması**

Buraya kadar günümüzde kullanılmakta olan tuzdan arıtma yöntemleri hakkında bilgiler verildi. Aşağıda ise bu yöntemlerin birbirleri ile kıyaslanması, bazı durum ve şartlarda birbirlerine göre avantajları ve dezavantajları incelenmektedir (Kocher, J. Dvorak, B. Skipton, S. 2006).

| <b>Arıtma Yöntemi</b>             | <b>Çalışma Sekli</b>   | <b>Giderdiği Maddeler</b>   | <b>İşletme ve Bakım Konuları</b>   |
|-----------------------------------|--|---|--|
| <b>Aktif Karbon Filtrasyon</b>    | 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, kursun, 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 kartuslarının degistirilmesi gerekmektedir.   |
| <b>Ters Osmoz</b>                 | 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, kursun, bakır ve diğer ağır metaller, arsenik, <i>Cryptosporidium</i> , virüsler.   | Ters osmoz işleminden önce aktif karbon filtre veya sediment filtre ile ön arıtım yapılmalıdır. Ters osmoz membranlar düzenli kontrol edilmeli ve ürün suyu dezenfekte edilmelidir. Ters osmoz ünitelerinden büyük miktarda atık su oluşmaktadır.      |
| <b>İyon Değişimi Su Yumuşatma</b> | 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 5.1 İçme Suyu Arıtma Yöntemleri Karşılaştırması (Kocher, J. Dvorak, B. Skipton, S. 2006)

| <b>Arıtma Yöntemi</b>       | <b>Çalışma Şekli</b>  | <b>Giderdiği Maddeler</b>   | <b>İşletme ve Bakım Konuları</b>  |
|-----------------------------|---|---|---|
| <b>Sediment Filtrasyonu</b> | 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.  |
| <b>Distilasyon</b>          | Buhar yaratacak kadar su ısıtılır. Arıtılmış su tekrar sıvılaştırılarak suyun arıtımı gerçekleştirilmiş olur. Kirlenmeler ise ısıtma çemberinin içinde kalmakta veya kaynatılarak atmosfere verilmektedir.        | Tortu, yüksek tuz içeriği, yüksek toplam çözünmüş katı maddeler, florür, nitrat, kükür, bakır ve diğer ağır metaller, arsenik bakterisi, 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 artılacağı yerde, su ile birlikte buharlaşabilir ve distile suya karışabilmektedirler. Bazı üniteler bu bileşikler atmosferde gidermek için gaz menfezine sahiptir. Distile edilmiş su gazsız içecek veya bebek maması tadında olabilir. |

Tablo 5.1'in Devamı

| <b>Arıtma Yöntemi</b>                                   | <b>Çalışma Sekli</b>   | <b>Giderdiği Maddeler</b>  | <b>İşletme ve Bakım Konuları</b>  |
|---|--|--|---|
| <b>Havalandırma</b>                                     | 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 demdir 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.   |
| <b>Ultrafiltrasyon, Mikrofiltrasyon, Nanofiltrasyon</b> | 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   |
| <b>Klorlama</b>   | 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 5.1'in Devamı

| Arıtma Yöntemi                     | Çalışma Sekli  | Giderdiği Maddeler  | İşletme ve Bakım Konuları  |
|------------------------------------|--|---|--|
| <b>Ultraviyole Radyasyonu (UV)</b> | Su, sistemden geçerken özel üretilmiş UV lambaların yaydığı UV ısınları 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 ısınları organizmaları öldüremeyebilir. UV sistemine girmeden önce suyun bulanıklılığının giderilmesi gerekmektedir.        |
| <b>Ozonlama</b>                    | 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. |

Tablo 5.1'in Devamı

Yukarıda da anlatıldığı üzere tüm bu yöntemlerin ister işletme, bakımı ve maliyetleri olsun istersene ilk kurulum maliyetleri arasında kullanım yeri, kapasitesi ve amacına göre çeşitli avantajları ve dezavantajları mevcuttur.

Ekonomik anlamda dünyada en çok kullanılan prosesleri çalışma şartlarına göre aşağıdaki Tablo 5.2’de ve Tablo 5.3’te karşılaştıracak olursak; (Water Science And Technology Board, 2008)

| Deniz Suyu  | Ters Osmoz (RO)    | MSF         | MED                   | MVC                |
|---|--------------------|-------------|-----------------------|--------------------|
| Çalışma Sıcaklığı (°C)                            | <45                | <120        | <70                   | <70                |
| Ön Hazırlık Gerekliliği                           | Yüksek             | Düşük       | Düşük                 | Çok Düşük          |
| Kullanılan Enerji Türü                            | Mekanik (Elektrik) | Buhar (Isı) | Buhar (Isı ve Basınç) | Mekanik (Elektrik) |
| Isı Tüketimi (kj/kg)                              | Yok                | 250-330     | 145-390               | Yok                |
| Elektrik Enerjisi Kullanımı (kWh/m <sup>3</sup> ) | 2.5-7              | 3-5         | 1.5-2.5               | 8-15               |
| Kapasitesi (m <sup>3</sup> /gün)                  | <20.000            | <76.000     | <36.000               | <3000              |
| Tatlı Su Kalitesi (mg/l)                          | 200-500            | <10         | <10                   | <10                |
| Tatlı Su Geri Kazanımı                            | 35-50%             | 35-45%      | 35-45%                | 21-41%             |
| Dayanıklılık                                      | Normal             | Çok Yüksek  | Çok Yüksek            | Yüksek             |

Tablo 5.2 Dünyada En Çok Kullanılan Deniz Suyundan Arıtma Yapan Proseslerinin Birbirleri İle Karşılaştırılması (Water Science And Technology Board, 2008).

Bu tabloya göre incelendiğinde en az enerji sarfiyatı yapan sistemin ters osmoz sistemleri olduğu dikkati çekmektedir. Bu sistemler için hiç ısı enerjisine gerek olmadığı gibi ihtiyacı olan elektrik enerjisi de az olup kısmi yüklerde çalışmalarda ve modüler yapısı sayesinde orta ölçekli gereksinimler için ideal bir procestir. Dayanıklılık açısından diğer sistemlere nazaran daha düşük olmasına rağmen gelişen teknoloji ile gitgide modülerlik ve

ekonomiklik açısından en iyi olma yolunda ilerlemektedir (Water Science And Technology Board, 2008).

MSF ve MED prosesleri ise en eski tuzdan arındırma yöntemlerinden olup dayanıklı ve büyük kapasitelerde kullanımlar için ideallerdir. İstenilen suyun saflığı yükseldikçe bu proseslere olan ihtiyaç ve gereksinimde artmaktadır. MSF proseslerinin son yıllarda enerji üretim santralleri ile birlikte çift amaçlı örnekleri de giderek artmakta ve büyük çaplı kapasitelerde imalatlar halen sürmektedir (Water Science And Technology Board, 2008).

| Acı Su  | Ters Osmoz (RO) | Elektrodializ (ED)             | Nano Filtrasyon (NF) |
|---|-----------------|--------------------------------|----------------------|
| Çalışma Sıcaklığı (°C)                            | <45             | <43                            | <45                  |
| Ön Hazırlık Gerekliliği                           | Yüksek          | Normal                         | Yüksek               |
| Elektrik Enerjisi Kullanımı (kWh/m <sup>3</sup> ) | 0.5-3           | 0.5 (1gr/l iyon giderimi için) | <1                   |
| Kapasitesi (m <sup>3</sup> /gün)                  | <20.000         | <12.000                        | <20.000              |
| İyon Giderme (%)                                  | 99-99.5%        | 50-95%                         | 50-98%               |
| Tatlı Su Geri Kazanımı                            | 50-90%          | 50-90%                         | 50-90%               |

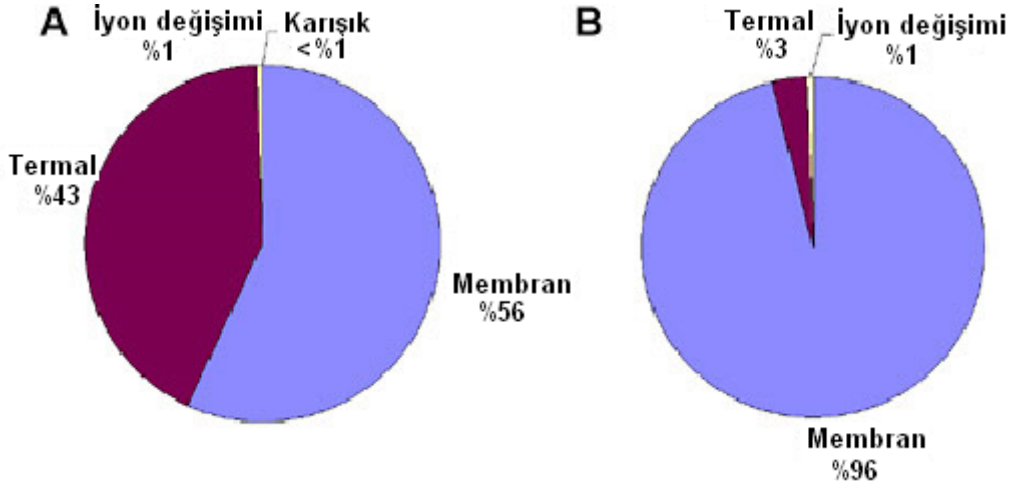
Tablo 5.3 Dünyada En Çok Kullanılan Acı Sudan Arıtma Yapan Proseslerinin Birbirleri İle Karşılaştırılması (Water Science And Technology Board, 2008)

Tablo 5.3'te ise içerdikleri toplam çözünmüş madde miktarları (TDS) düşük olan acı suların arıtımını yapan ve günümüzde en çok kullanılan proseslerin bir karşılaştırması yapılmıştır. Görüldüğü gibi Ters Osmoz her iki su kaynağı için ideal bir çözüm olup istenilen kalite kriterleri ve enerji ekonomileri göz önüne alındığında farklı alternatiflerle de karşılaşılabılır (Water Science And Technology Board, 2008).

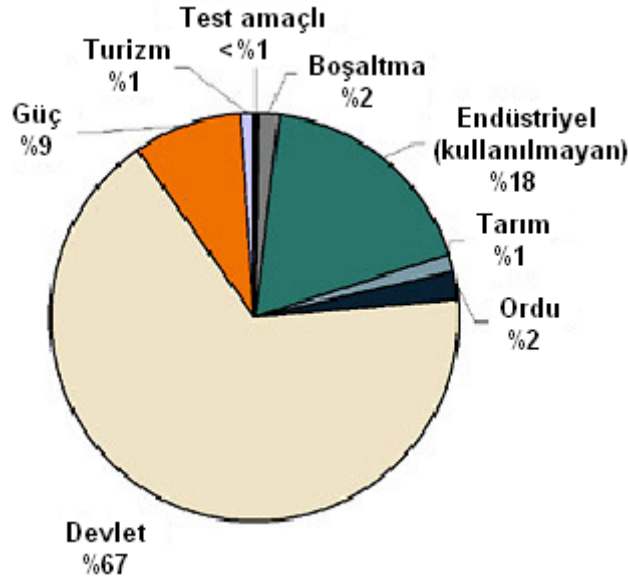
Amerika'da küçük kapasiteli tesislerin sadece yarısı özel sanayi ihtiyaçları için yapılmış olmasına rağmen tüm eyaletlerde desalinasyon tesisleri mevcuttur. 2005 yılında kurulmakta veya inşaat halinde olan günlük kapasitesi 100m<sup>3</sup>'ten fazla olan toplam 1100 adet tuzdan arındırma tesisi mevcuttur. Bu tesislerin toplam günlük kapasiteleri 5.7milyon m<sup>3</sup> olup bunun sadece %1'i kadarı test amaçlı kullanılmaktadır. 2000-2005 yılları arasında Florida,

California ve Teksas eyaletlerine yapılan yeni desalinasyon tesisleri ile Amerika'daki kurulu tesis kapasiteleri yaklaşık olarak %41 oranında artmıştır. Diğer büyük eyaletlerinden olan Arizona ise su kaynakları bakımından çok kurak bir durumdadır. Colarado nehri üzerine Arizona'nın su ihtiyacını gidermek amacıyla Yuma isimli bir tesis kurulmasına rağmen test aşamasından ileri gidememiştir (Water Science And Technology Board, 2008).

Aşağıdaki şekillerde (Şekil 5.24 ve Şekil 5.25) Amerika'da ve dünyada şu an kullanılmakta olan proses tiplerinin şematik dağılımını ve kullanım amaçlarını göreceğiz (Water Science And Technology Board, 2008).



Şekil 5.24 Dünyada (A) ve Amerika'da (B) Deniz Suyundan Arıtım Yapan Tesislerin Kullandıkları Proses Tiplerine Göre Dağılımları (Water Science And Technology Board, 2008)



Şekil 5.25 Amerika'daki Tuzdan Arındırma Tesislerin Kullanım Amaçlarına Göre Dağılımları (Water Science And Technology Board, 2008)

Şekil 5.24'te ilk resimde 2006 yılındaki toplam kapasitenin % olarak prosesler halindeki dağılımı ikinci resimde ise Amerika'daki toplam kapasitenin prosesleri üzerindeki dağılımını göstermektedir. Şekillerde de görüldüğü gibi membran filtrasyon yöntemleri hem kolay kullanım özellikleri hemde düşük maliyetleri sayesinde tüm dünyada özellikle de Amerika'da çok yaygın bir şekilde kullanılmaktadırlar (Water Science And Technology Board, 2008).

Şekil 5.25'te ise Amerika'daki şu an ki tesislerin işletimleri ve kullanım amaçlarına göre olan dağılımı görülmektedir. Toplam kapasitenin üçte ikisi Eyalet yönetimleri ve devlet tarafından halkın su ihtiyacı için kullanılmakta %18 gibi diğer bir büyük kısmı endüstride ve %9 kadar olan kısmı ise güç üretimi için kullanılmaktadır (Water Science And Technology Board, 2008).

Bir diğer taraftan dünyamızda hemen hemen en büyük tuzdan arındırma kapasitesine sahip ülkeler körfez bölgesindeki su kıtlığı çeken ülkelerdir. Aşağıdaki Tablo5.4'te bazı körfez ülkelerindeki tuzlu su dönüşüm tesislerinin karşılaştırması ve kapasite değerleri verilmektedir. Bu tabloda MSF, RO, MEE, MVC ve ED gibi proseslerin ülkelerdeki kapasite değerleri verilmiştir. Buradaki en önemli nokta bu körfez ülkelerinin dünya üzerindeki toplam üretimin %40'ından daha fazlasına sahip olmalarıdır. Görüldüğü gibi Suudi Arabistan ve Bahreyn'de tuzluluk oranları yüksek olan sular kullanılmakta ve Ters Osmoz sisteminin toplam kapasiteleri üzerinde önemli payları bulunmaktadır. Kuveyt, Katar, Birleşik Arap

Emirlikleri ve Umman'da toplam üretilen tatlı suyun %85'inden fazlası MSF prosesi ile üretilmektedir. Bu ülkelerdeki geri kalan prosesleri ise RO, MVC ve MEE oluşturmaktadır. Elektrodializ yöntemi ise bu ülkelerde çok nadiren kullanılmaktadır. MSF damıtma tesislerinde çoğunlukla salamura suyu dolaşım tipi kullanılır. MEE prosesinde ise birbirine paralel besleme modülleri düşük sıcaklık ve buhar basıncı olmaksızın kullanılırlar (American Water Works Association, 2006).

| Ülke                   | Toplam Kapasite ( $m^3 / gün$ ) | Toplam Dünya Üretimindeki Yüzdesi | MSF (%) | MEE (%) | MVC (%) | RO (%) | ED (%) |
|------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|---------|---------|---------|--------|--------|
| Suudi Arabistan        | 5.429.334                       | 20,96                             | 64,22   | 0,329   | 1,39    | 32,254 | 1,8    |
| Birleşik Arap Emirliği | 2.890.689                       | 11,16                             | 86,66   | 7,7     | 0,03    | 5,51   | 0,09   |
| Kuveyt                 | 1.614.861                       | 6,2                               | 96,52   | 0,08    | 0       | 3,25   | 0,15   |
| Katar                  | 572.870                         | 2,221                             | 94,34   | 3,86    | 0       | 1,8    | 0      |
| Bahreyn                | 473.391                         | 1,8,                              | 62,74   | 9,67    | 0       | 26,88  | 0,71   |
| Umman                  | 377.879                         | 1,21                              | 87,31   | 1,111   | 3,7     | 7,63   | 0,237  |

Tablo 5.4 2000 Yılındaki Körfez Ülkelerinin Tuzdan Arındırma Tesislerinin Dünya Üzerindeki Toplam Kapasite İle Karşılaştırılmaları (American Water Works Association, 1999).

2000 yılındaki dünya üzerindeki toplam kurulu tesis kapasitesi  $25.909 \times 10^6 m^3 / gün$  olup dünya üzerindeki üretimin %20'den fazla bir kısmını ise tek başına Suudi Arabistan gerçekleştirmektedir.

## 6. TUZ AYIRMA TESİSLERİNDE GENEL MALİYETLER

Tuzlu su dönüşüm santrallerinin diğer doğal su temini projelerinden farklı olarak daha basit ve kesin karakteristik özellikleri vardır. Geleneksel su temin yollarından farklı olarak tuzlu su dönüşüm santrallerinin avantajları aşağıda sıralanmıştır (American Water Works Association, 1999);

- Daha düşük ilk yatırım maliyetleri gerektirirler.
- Düzenli yağış rejimi gibi gereksinimleri yoktur.
- Yapılacak tesis için daha az işletme sahası gerekir.
- Jeolojik ve hukuki engeller gibi sınırlayıcı faktörler çok azdır.
- Su ile ilgili yasal mevzuatlar ve hukuki süreçler prosesi çok fazla etkilemez.
- Tesisin inşaat süresi kısa olduğundan üretime kısa zamanda geçilebilir ve enflasyondan etkilenme çok azdır.
- Tesisin inşaatı kolay, ekipmanlar kolay temin edilebilir ve işçiliği çok zor değildir.
- Üretilen tatlı suyun verimi ve kalitesi öngörülebilir ve işletme esnasında iyileştirme yapılabilir.

Tuzlu dönüşüm tesislerinin avantajlarından biriside yükleme ve kullanım faktörleri işletme esnasında değiştirilebilir, kullanılan ekipmanların montajı ve demontajı kolay olduğundan ilk yatırım maliyetleri daha esnektir. Geleneksel su temini projelerinde seçilen kapasiteler gereğinden fazla alındığı için bu projelerin ilk yıllarında sürekli düşük yükleme oranlarında çalıştırılırlar (American Water Works Association, 1999).

Tuzlu arıtma tesislerinde işletme ve bakım maliyetleri geleneksel su temini projelerine kıyasla biraz daha yüksektir. Tatlı su dönüşümü sırasında deniz suyu yerine acı su kullanıldığında ise acı suyun içerisindeki toplam çözünmüş madde miktarı düşük olduğundan pompalama ve klasik su arıtma maliyetleri geleneksel yöntemlerle kıyaslanabilir maliyetlere gelmektedirler. Fakat yine bu suların kullanıldığı tesislerde de işletme maliyetleri alışılmış yöntemlerdeki işletme maliyetlerinden yüksektir (American Water Works Association, 1999).

Düşük ilk yatırım maliyeti fakat yüksek işletme ve bakım maliyetleri olan tuzdan arındırma tesisleri ile ilk yatırım maliyetleri yüksek işletme ve bakım maliyetleri düşük geleneksel su temini projelerinin kıyaslanabilmesi için gelecekteki kullanım ömürleri, tahmin edilen kapasite ve muhtemel kapasite artışları ve enflasyondan etkilenmelerine göre hassas hesaplamalar yapıp buna göre seçim yapılmalıdır (American Water Works Association, 1999).

### 6.1. Acı Su

Acı su dönüşümü ilgi çekici bir tatlı su eldesi alternatifidir çünkü; toplam maliyeti  $1 m^3$  başına 4,4 ila 8,8 sent arasında değişmektedir. Aşağıda acı su arıtımı hakkında bazı avantajlardan söz edilmiştir (American Water Works Association, 1999).

- Yüksek yükleme faktörü altında çalışan geliştirilmiş Elektrodializ ile tatlı eldesi yapılan bir proseste acı suyun girişteki toplam çözünmüş madde miktarı 3000 ppm iken çıkan tatlı suyun 500 ppm olup kapasitesi  $9100-45500 m^3 / gün$  arasında olan bir tesiste  $1 m^3$  başına üretim maliyeti 6,6-8,8 sent arasında olup eğer ki toplam kapasite  $45500-227.500 m^3 / gün$  olursa üretim maliyeti 4,4-6,6 sent arasında bir değere düşmektedir.
- Acı su dönüşümü yapan tesislerin ilk yatırım maliyetleri diğer tuzdan arındırma tesisleri ve geleneksel su temini yöntemlerine göre daha düşüktür. İhtiyaca göre düşük yüklerde çalışma olanakları, ilk yatırım ve işletme maliyetleri ile ilgi çekici alternatiflerdir.
- Acı su dönüşüm tesislerinde kullanılan elektrik enerjisi  $1 m^3$  başına 1-3 kWh arasında değişmektedir.  $45.500 m^3 / gün$  kapasiteli bir acı su dönüşüm tesisinde giren suların toplam çözünmüş madde miktarları 3000 ppm olduğunda harcanan elektrik miktarı 2-6 Megawatt arasındadır.
- Acı su dönüşüm tesislerinde elektrik enerjisi kullanmak ısı enerjisi kullanmaktan daha faydalı ve daha esnek çalışma şartları sunmaktadır.

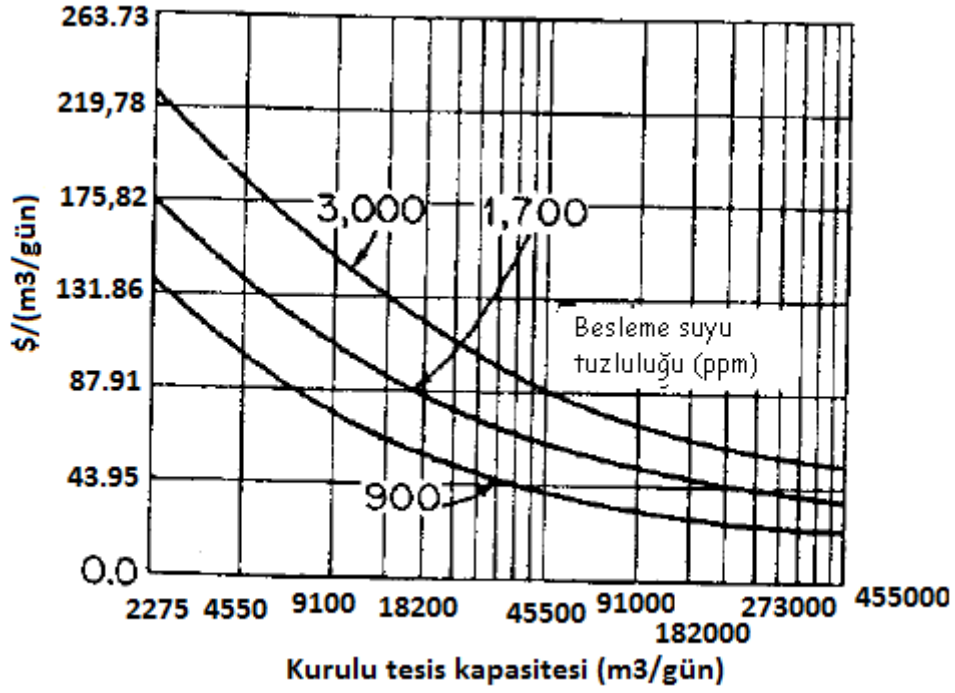
- Membran prosesli tesislerde inşaat bitip üretime başlanılsa bile teknolojik gelişmelere göre iyileştirmeler yapılabilmektedir.

Acı su dönüşüm maliyetleri pek çok değişkenden etkilenir. Bunlar:

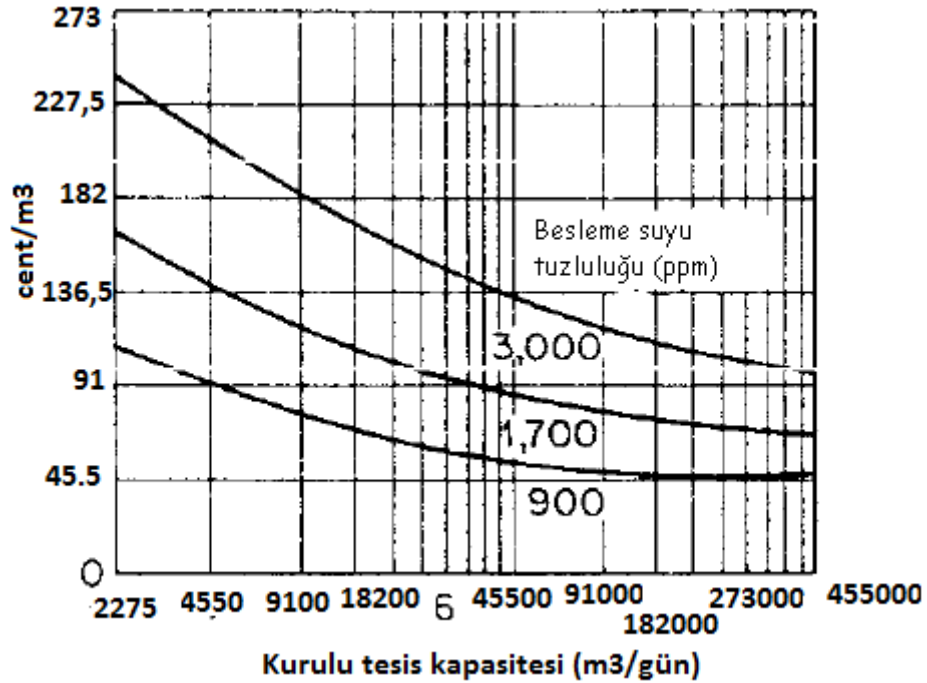
1. Seçilen prosesin tipi,
2. Tesisin büyüklüğü,
3. Arttırılan suyun kimyasal bileşimi ve sıcaklığı,
4. Uzaklaştırılması gereken mineral derecesi,
5. Elektrik enerjisinin birim maliyeti,
6. İklim ve diğer yapı şartları,
7. Yıllık yükleme faktörü,
8. Aşınma payı ve faiz oranları,
9. Membran, reçine yada tüpler gibi bileşenlerin ömrü,
10. Ön işlemlerin gereklilik derecesi,
11. İşletme ve bakım maliyetleri.

Nispeten uygun şartlar için genelleştirilmiş maliyetlerin grafiksel ilişkileri Şekil 6.1 ve Şekil 6.2'de görülmektedir. Bu maliyetler ED prosesi, %90 yükleme faktörü, ılık su, orta derecede ılık iklim, mineral içeriğinin 500 ppm toplam çözünmüş katıya düşürülmesi, kWh başına 4-8 sentlik elektrik enerjisi ve %7'lik aşınma payı yükü için verilmiştir (American Water Works Association, 1999).

Şekil 6.1, 2.275-455.000m<sup>3</sup> /gün arasındaki kapasiteler 900-3000 ppm nominal toplam katı içerikleri için 1988'de m<sup>3</sup>/gün başına dolar olarak bir ED tesisinde gerekli sermaye yatırımını göstermektedir. Bu maliyetler tuzlu suyun tatlı suya dönüşümü için işleme, bakım ve aşınma maliyetlerini içermektedir (American Water Works Association, 1999).



Şekil 6.1 Toplam Kapasitesine Göre Değişen m<sup>3</sup>/gün Başına Düşen İlk Yatırım Maliyeti (ED acı su tesis için) (American Water Works Association, 1999)



Şekil 6.2. m<sup>3</sup>/gün başına sent olarak toplam su maliyeti (American Water Works Association, 1999)

## 6.2. Deniz Suyu

Deniz suyundan tatlı su elde etmenin başlıca avantajı neredeyse sınırsız bir tuzlu su kaynağı olan denizler ve okyanusların buradaki tatlı su kaynağı olarak düşünülebilmesidir. Bu özellik tatlı su sıkıntısı çeken yerleşim yerlerinde yaşayan insanlar için bulunması zor bir fırsattır. Ayrıca tatlı su kaynaklarının başka yerleşim bölgelerine naklini engelleyen bazı yasal düzenlemelerde vardır. Örneğin Güney Kaliforniya'nın tatlı su ihtiyacı kuzeydeki diğer eyaletlerden veya komşu ülkesi olan Kanada'dan gelmek zorundadır (American Water Works Association, 1999).

Yeni tatlı su kaynaklarını arttırmak için mesafe ve maliyet araştırmalarında deniz suyundan tatlı su üretimi maliyetlerinin, uzak mesafe tatlı su temini projelerindeki maliyetlerden daha düşük olması beklenebilir. Bugünlerde tuzlu su dönüşüm tesisleri gerek ısı enerjisini gerekse elektrik enerjisini geçmiş yıllara göre çok daha verimli kullanmaktadırlar. Düşük sıcaklıktaki enerjinin deniz suyundan tatlı eldesin de tesislerde kullanıldığından beri deniz suyu arıtma ekipmanlarındaki yenilikler ile fosil veya nükleer yakıtlı buhar tesislerinde aynı zamanda elektrik üretimi ile birlikte desalinasyon proseslerinin birlikte yapılması ilgi çekici olabilir. Bu çift amaçlı tesislerde daha düşük maliyetli tatlı su yapılabileceği tahmin edilmekte ayrıca elektrik üretiminin ardından sonraki atık ısıda tatlı üretimi için kullanılabilir. Suyun içinde çözülmüş halde bulunan tuzların ve minerallerin uzaklaştırılabilmeleri için her zaman onların sudan ayrıştırılmaları gerekmektedir. Ayrıştırılmış tuzların tekrar su kaynağına (denize) gönderilmesi işlemi bu proses içindeki maliyeti en düşük işlerden birisidir (American Water Works Association, 1999).

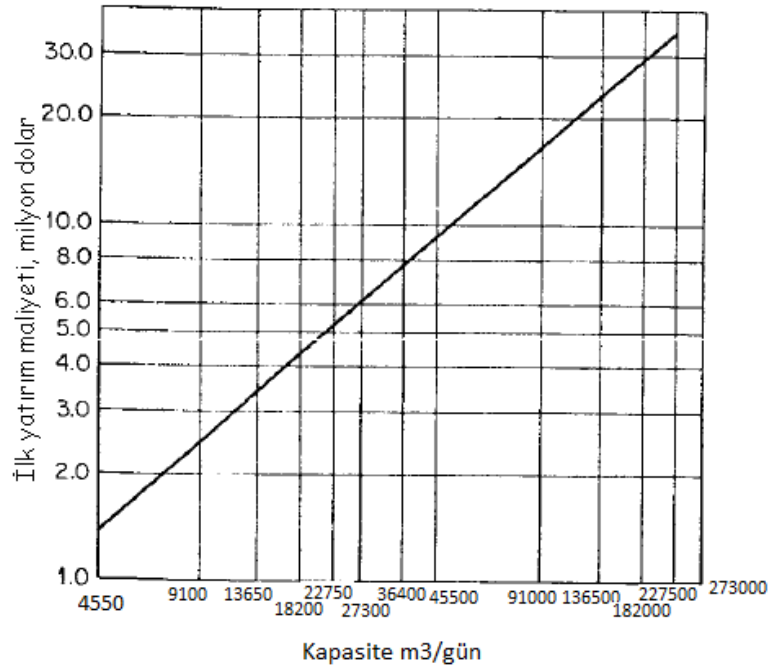
Bütün tuzlu su prosesleri özelliklede yüksek oranda tuz içeren deniz suyundan tatlı su eldesi proseslerinde büyük miktarda enerjiye ihtiyaç vardır. Son elli yıl içerisinde enerji üretimi ve yöntemleri önemli ölçüde geliştiği ve bu gelişmenin ileride de devam edeceğini savunan birçok bilim adamları önümüzdeki yıllarda tatlı su eldesi proseslerindeki enerji harcamalarının daha ekonomik bir hale geleceğini savunmaktadırlar (American Water Works Association, 1999).

Bazı bölgelerde ve ülkelerde tek tatlı su kaynağı denizlerdir. Ada ülkeleri bunlara tipik birer örnektir. Adalardaki ekonomik gelişme sadece deniz suyundan sağlanan tatlı su dönüşümü ile gerçekleşir. Amerika'daki ilk kez halkın kullanımı için şehir şebekesine verilen tatlı suyun denizden elde edilmesi işlemi iki ada şehri olan Keywest ve Avalon'dadır (American Water Works Association, 1999).

Deniz suyu dönüşümü maliyetleri de pek çok değişkenden etkilenir. Bunlar:

1. Tesisin büyüklüğü,
2. Arıtılan suyun kimyasal bileşimi,
3. Üründe gerekli saflık derecesi,
4. Elektrik ve termal enerjinin birim maliyeti,
5. İklim ve diğer yapı koşulları,
6. Ortam ve su sıcaklığı,
7. Yıllık yükleme faktörü,
8. Yıpranma payı ve faiz oranları,
9. Isı transfer alanı da dâhil olmak üzere bileşenlerin ömrü,
10. Seçilen dönüşüm tipi.

Şekil 6.3'de 4.550-227.500m<sup>3</sup>/gün arası kapasiteli Çok Kademeli Ani Damıtma tesislerinin toplam maliyetinin kapasiteye karşı grafiği görülmektedir. Buhar üretme ekipmanları dahil edilmemiştir (American Water Works Association, 1999).



Şekil 6.3. Çok Kademeli Ani Damıtma Tesisinin Kapasitesine Göre Toplam İlk Yatırım Maliyeti Karşılaştırması (American Water Works Association, 1999)

Bu maliyetler 1.5 milyon dolardan yaklaşık 35 milyon dolara kadar değişmektedir. Buhar üretim tesisinin dahil edilmesi bu maliyetlerde yaklaşık %20'lik bir artış getirmektedir. Temel işletme ve bakım maliyetleri; elektrik gücü yakıt, kimyasallar, stok ve bakım materyalleri, işçilik ve ek masrafları kapsamaktadır (American Water Works Association, 1999).

4.550-22.750m<sup>3</sup>/gün kapasiteli pek çok tesiste tahmin edilen işleme maliyetleri uygun şartlarda ve %90 civarında yükleme faktörlerinde m<sup>3</sup> başına 0,16-0,22 dolar civarındadır. 45.550 m<sup>3</sup>/gün aralığında 8,8 sent/m<sup>3</sup> gibi düşük tahminler yapılmıştır. Bu maliyetler, özellikle ısı transfer alanının değiştirilmesi ve korozyon nedeniyle olan bakım maliyetleriyle ilgili olanlar deneyimlerle doğrulanmaktadır (American Water Works Association, 1999).

%90'ın altındaki yükleme faktörlerinde deniz suyu tesislerinde üretilen maliyeti hızlı şekilde artmaktadır. Çünkü deniz suyu dönüşüm tesisleri için her m<sup>3</sup>/gün başına birim sermaye maliyetleri acı su tesisleri için olandan birkaç kat daha yüksektir (American Water Works Association Inc., 1999).

### 6.3. Yükleme Faktörünün Maliyet Üzerine Etkisi

Yıllık yükleme faktörü, bir tesisten yıllık olarak çıkan gerçek su miktarının bir yıl boyunca günde 24 saat çalışma kapasitesiyle çıkarılabileceği su miktarına oranıdır. Tuz giderme ekonomileri ile ilgili çalışmalar %90 ya da daha yüksek yükleme faktörlerine dayanmaktadır. Fakat bu, pek çok durumda uygulanamamaktadır (American Water Works Association, 1999).

1. kullanılan su miktarındaki mevsimlik düzensizlikler,
2. bir emniyet faktörü olarak aşırı kapasitesinin önlenmesi,
3. gelecekteki büyümelerin göz önüne alınması,

Nedeniyle böyle yüksek yükleme faktörlerinde nadiren su sağlanmaktadır. ABD 'de aralığındaki yıllık yükleme faktörü uygulanmaktadır. Aşağıdaki tabloda Şekil 6.1 ve Şekil 6.2' deki verilere göre 1700 ppm'lik su arıtan 13.650 m<sup>3</sup>/gün kapasiteli bir ED tesisi için

%50, %70, %90'lık yükleme faktörlerinin toplam su maliyetine etkisi görülmektedir (American Water Works Association, 1999).

| Yükleme faktörü % | Toplam su maliyeti, 1700 ppm'lik besleme suyu |
|-------------------|---|
| 90                | 5,27 sent/m <sup>3</sup>                      |
| 70                | 5,93 sent/m <sup>3</sup>                      |
| 50                | 7,03 sent/m <sup>3</sup>                      |

Tablo 6.1. Değişik yükleme faktörlerinin toplam su maliyetine etkisi

(13.650 m<sup>3</sup>/gün Kapasiteli ED tesisi için) (American Water Works Association, 1999).

#### 6.4 Enerji Kullanımının Maliyete Etkisi

Tuzdan arındırma prosesi özünde çok fazla enerji tüketmektedir. Membranlı proseslerde genelde elektrik enerjisi kullanılır ve bu kullanılan elektrik miktarı kullanılan su kaynağının deniz suyu veya acı su olmasına göre değişir. Membran proseslerinde termal enerji pek kullanılmaz. Termal damıtma teknolojilerinde hem ısı hem de elektrik enerjisi birlikte membran proseslerine göre daha yoğun bir şekilde kullanılır. Aşağıda Tablo 6.2 ve Tablo 6.3'te termal ve elektrik enerjisi kullanan proseslerin bir karşılaştırılması yapılmıştır (Sözen, S. Teksoy, S. 2007).

| Dönüşüm Teknolojisi | Özellikler   | Ön Arıtma                         | İşletme Sıcaklığı (° C) | Tatlı Su Verimi (%) | Toplam Çözülmüş Madde Miktarı |
|---------------------|--|-----------------------------------|-------------------------|---------------------|-------------------------------|
| Termal              | Isı enerjisi gerekir.<br>Yüksek Enerji Gereksinimi.<br>Yüksek İşletme ve Yatırım Maliyetleri.<br>Eski ve Güvenilir Bir Sistem.                                     | Neredeyse hiç ön arıtma gerekmez. | 60-110                  | 10-20               | <25mg/l                       |
| Membran             | Elektrik enerjisi gerekir.<br>Düşük Enerji Gereksinimi.<br>Düşük İşletme ve Yatırım Maliyetleri.<br>Daha az Tesis alanı.<br>Neredeyse 20 Yıldır gelişen performans | Filtrasyon ve dozajlama gerekir.  | Çevre sıcaklığı         | 30-60               | 350-1000mg/l                  |

Tablo 6.2 Çalışma Şekilleri Açısından Termal Ve Membran Teknolojilerinin Karşılaştırılması  
(Sözen, S. Teksoy, S. 2007)

| Enerji Tüketimi (kWh/m <sup>3</sup> ) | Membran Teknolojisi  | Termal Teknoloji  |
|---------------------------------------|--|---|
| Elektrik Tüketimi                     | 1-2.5 (Ters Osmoz Acı Su İle)<br>1-3 (Ters Osmoz Deniz Suyu İle)<br>1 (Elektrodializ 1500mg/l TDS içeren Su) | 1.5-3 (Damıtma)<br>8-14 (Isıl Kompresyonlu Buharlaştırma) |
| Isı Tüketimi                          | Yok  | 6-21 (Damıtma)<br>Yok Mekanik Kompresyonlu Buharlaştırma) |
| Toplam Tüketim                        | 1-2.5 (Ters Osmoz Acı Su İle)<br>4-7 (Ters Osmoz Deniz Suyu İle)<br>1 (Elektrodializ 1500mg/l TDS içeren Su) | 7.5-24 (Damıtma)<br>8-14 (Kompresyonlu Buharlaştırma)     |

Tablo 6.3 Enerji Sarfiyatları Açısından Termal Ve Membran Teknolojilerinin Karşılaştırılması (Sözen, S. Teksoy, S. 2007)

Tuzdan arındırma proseslerinde temel özellik enerji gereksinimi ve bu enerjinin etkisi olan enerji maliyetidir. Bu nedenle proje geliştiriciler bu proseslerin sürdürülebilirliğini değerlendirebilmek için bu maliyetlere çok dikkat etmelidirler (Sözen, S. Teksoy, S. 2007).

Aşağıda bir başka örnekte ise 100.000m<sup>3</sup>/gün kapasiteli tuzdan arındırma tesislerinin deniz suyundan tatlı su elde etmesi esnasındaki toplam maliyetleri RO, MSF ve MED prosesleri arasındaki karşılaştırma ile gösterilmiştir (Water Science and Technology Board, 2008).

|                                  | Ters Osmoz (RO) | Çok Kademeli Ani Damıtma (MSF) | Çok Etkili Damıtma (MED) |
|----------------------------------|-----------------|--------------------------------|--------------------------|
| Yatırım Maliyeti                 | 0,15            | 0,29                           | 0,22                     |
| Parça Değişimi ve Bakım Maliyeti | 0,03            | 0,01                           | 0,01                     |
| Kimyasallar                      | 0,07            | 0,05                           | 0,08                     |
| İşçilik                          | 0,10            | 0,08                           | 0,08                     |
| Membranlar                       | 0,03            | 0                              | 0                        |
| Isı Enerjisi                     | 0               | 0,27                           | 0,27                     |
| Elektrik Enerjisi                | 0,23            | 0,19                           | 0,06                     |
| Toplam (\$/m <sup>3</sup> )      | 0,61            | 0,89                           | 0,72                     |

Tablo 6.4 100.000 m<sup>3</sup>/gün Kapasiteli Çeşitli Tuzdan Arındırma Proseslerinin Toplam Ürün Maliyetleri (Water Science and Technology Board, 2008)

Görüldüğü gibi ilk yatırım maliyeti en az olan Ters Osmoz sistemi orta ve küçük kapasitelerde diğer proses yöntemlerine göre özellikle Deniz suyundan tatlı su elde edilmesinde daha ekonomiktir. Burada Ters Osmoz'un en ekonomik sistem çıkmasının bir diğer sebebi de bu prosesin ısı enerjisine ihtiyaç duymadan sadece elektrik enerjisi ile çalışabilmesi modüler olması ve düşük yüklerde de tam yüklerde çalıştığı gibi verimli ve esnek olmasıdır (Water Science and Technology Board, 2008).

## 7. TUZ AYIRMA TESİSLERİNİN EKONOMİK ANALİZİ

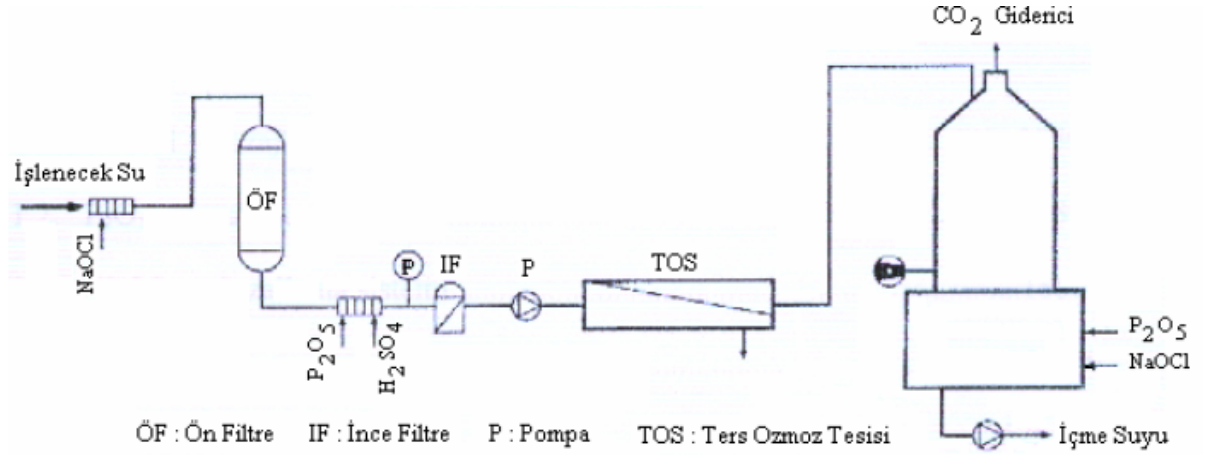
### 7.1 Ters Osmoz Sistemi İle İyon Değişimi Sisteminin Ekonomik Karşılaştırılması

Bu bölümde, tuz giderme metotlarından sık kullanılan iyon değişimi ve ters osmoz tesisleri ele alınarak yatırım ve işletme maliyetleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. Ekonomik analizin yapılabilmesi için söz konusu tesislerde gerekli olacak teknik parçaların ve kimyasal malzemelerinin öncelikle tespit edilmesi gereklidir. Hesaplama atılacak ilk adım, işleme alınacak suyun özelliklerinin (sertlik derecesi, kimyasal içeriği, pH değeri) tespit edilmesidir. Bu veriler, tesisin boyutları ve gerekli kimyasal maddelerin hesaplanması için gereklidir. Ardından en iyi yatırım kararını alabilmek için statik ve dinamik yatırım hesabı metotları incelenmeli ve hangisinin daha avantajlı olduğuna karar verilmelidir (Can, M., Etemoğlu, A.B. ve Avcı, A.2002).

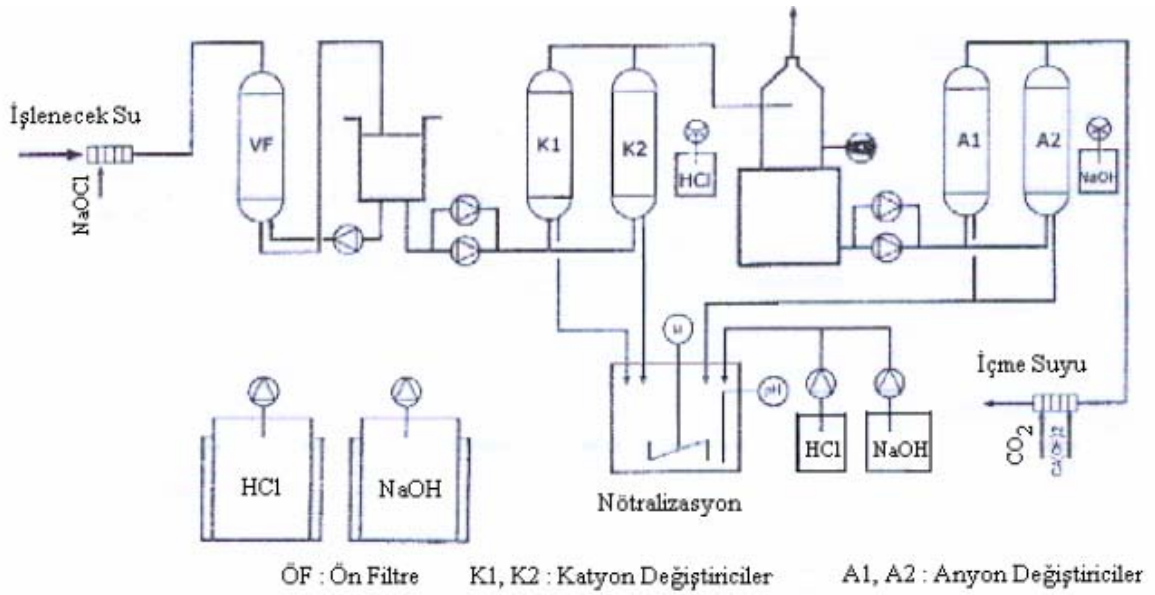
Deniz suyunun tuzunu gideren tesislerin büyüklüğü ekonomik açıdan önemli bir rol oynar. Son zamanlarda yapılan ekonomik araştırmalar göstermiştir ki günlük  $2500\text{m}^3$ 'ün altında bir kapasiteyle çalışan ters osmoz ve elektrodializ prensiplerine göre kurulmuş tesisler, termik yöntem prensiplerine göre kurulmuş tesislerle maliyet açısından eşit seviyededirler. Daha yüksek kapasitelerde ise termik teknoloji üretim fiyatı açısından en avantajlı olanıdır. Toplam üretim maliyeti tesis kapasitesi büyüdükçe azalmaktadır. Tuz miktarının 5000 ppm'e kadar çıktığı acı suların tuzlarının giderilmesinde ters osmoz ve elektrodializ yöntemleri, bütün kapasite miktarlarında fiyat açısından en uygun yöntemlerdir (Can, M., Etemoğlu, A.B. ve Avcı, A.2002).

#### 7.1.1 İlk Yatırım Maliyetleri Hesabı

İncelenecek olan tesisin üretim kapasitesi  $2\text{m}^3/\text{h}$ 'tir. Şekil 7.1 ve Şekil 7.2'de şematik olarak gösterilen ters osmoz ve iyon değişim tesislerinin ana elemanlarına ait malzeme maliyetleri ele alınarak yapılan hesaplamaların sonuçları Tablo 7.1'de verilmiştir (Can, M., Etemoğlu, A.B. ve Avcı, A.2002).



Şekil 7.1 Ters Ozmoz Sistemi Şematik Tasarımı (Can, M., Etemoğlu, A.B. ve Avcı, A.2002)



Şekil 7.2 İyon Değişimi Tesisi Şematik Tasarımı (Can, M., Etemoğlu, A.B. ve Avcı, A.2002)

| Ters Osmoz Sistemi Yatırım Maliyeti |       | İyon Değişimi Tesisi Yatırım Maliyeti |        |
|-------------------------------------|-------|---------------------------------------|--------|
| Havalandırma                        | 1222  | Dezenfekte Edici Sistem               | 1222   |
| NaOCl Dozajlama Sistemi             | 1222  | Ön Filtre                             | 9077   |
| $P_2O_5$ Dozajlama Sistemi          | 1222  | Geri Yıkama Yönlendirici Sistemi      | 4737   |
| $H_2SO_4$ Dozajlama Sistemi         | 1222  | Katyon Değiştirici                    | 20729  |
| Ön Filtre                           | 10492 | $CO_2$ Absorbe Sistemi                | 4576   |
| Ters Osmoz Tesisi                   | 34153 | Anyon Değiştirici                     | 28412  |
| $CO_2$ Absorbe Sistemi              | 4576  | Nötralizasyon Sistemi                 | 9200   |
| Diğer Dozaj Sistemleri              |       | Kimyevi Tanklar                       | 12987  |
| NaOCl Dozajlama Sistemi             | 1222  | HCl Tankı                             |        |
| $P_2O_5$ Dozajlama Sistemi          | 1222  | NaOH Tankı                            |        |
| Pompa                               | 1140  | Çökeltme Tankı                        |        |
| Montaj Ve İşletime Sunma            | 8600  | Dolum İstasyonu                       |        |
| Yedek Parça                         | 1326  | Kontrol Sistemi                       | 29250  |
| Kontrol Sistemi                     | 14625 | Yedek Parça                           | 1326   |
|                                     |       | Montaj Ve İşletime Sunma              | 20440  |
| Toplam Bedel                        | 82244 | Toplam Bedel                          | 141956 |

Tablo 7.1 Tesislerin İlk Yatırım Maliyetleri USD cinsinden (Can, M., Etemoğlu, A.B. ve Avcı, A.2002)

Her iki tesisin yatırım maliyetleri karşılaştırıldığında iyon değişim tesisinin yaklaşık %75 oranında daha fazla yatırım maliyetine sahip olduğu görülmektedir (Can, M., Etemoğlu, A.B. ve Avcı, A.2002).

### 7.1.2 İşletme Maliyetleri Hesabı

Bu bölümde, işletme faal olduğu sürece, işlenmemiş sudan itibaren  $2\text{ m}^3$ 'lük suyun üretimine kadar saatte ortaya çıkacak maliyet, birim fiyatlar ve miktar bilançosu göz önüne

alınarak hesaplanmış ve Tablo 7.2’de sunulmuştur (Can, M., Etemoğlu, A.B. ve Avcı, A.2002).

<sup>1</sup> Kasım 1998 Merkez Bankası Dolar kuru: 1 USD = 288.000 TL

| Maliyet Çeşidi             | Ters Osmoz Tesisi | İyon Değişimi Tesisi |
|----------------------------|-------------------|----------------------|
| Enerji                     | 6894              | 5803                 |
| Kimyevi Maddeler           | 4914              | 65172                |
| İşlenmemiş Su              | 13260             | 17680                |
| Hizmet Bedeli              | 3380              | 9750                 |
| Laboratuar                 | 811               | 1040                 |
| Bakım                      | 4061              | 7150                 |
| Reçine Aşınması            |                   | 624                  |
| Modül Aşınması             | 2600              |                      |
| Toplam İşletme Maliyetleri | 35890             | 107219               |

Tablo 7.2 Tesislerin Yıllık İşletme Maliyetleri USD Cinsinden (Can, M., Etemoğlu, A.B. ve Avcı, A.2002)

Tablo 7.3’de işletme ve yatırım maliyetlerinin (enflasyon göz önünde tutularak) hesaplanmış ve karşılaştırılmaları yapılmıştır. Tesislerin kullanım süresi 5 yıl olarak alınmıştır. Türkiye’de faiz oranlarının değişkenliği nedeniyle hesaplar, ek faiz oranı %12 enflasyon ortalama %3.5 olarak alınarak yapılmıştır (Can, M., Etemoğlu, A.B. ve Avcı, A.2002).

| Maliyet Çeşidi                   | Ters Osmoz Tesisi    | İyon Değişimi Tesisi |
|----------------------------------|----------------------|----------------------|
| Yatırım Maliyeti                 | 82244                | 141956               |
| Kullanım Süresi                  | 5 Yıl                | 5 Yıl                |
| Hesaplanmış Faiz Oranı           | %12                  | %12                  |
| Enflasyon Değeri                 | %3.5                 | %3.5                 |
| 1 m <sup>3</sup> Su Birim Fiyatı | 7,1 \$               | 7,1 \$               |
|                                  |                      |                      |
| İşletme Maliyetleri              |                      |                      |
| 1. Yıl                           | 35890 \$             | 107219 \$            |
| 2. Yıl                           | 37146,2 \$           | 110971,7 \$          |
| 3. Yıl                           | 38446,3 \$           | 114855,7 \$          |
| 4. Yıl                           | 39791,9 \$           | 118875,6 \$          |
| 5. Yıl                           | 41184,6 \$           | 123036,2 \$          |
| İçme Suyu Maliyetleri            | 114400 \$            | 114400 \$            |
| 1. Yıl                           | 118404 \$            | 118404 \$            |
| 2. Yıl                           | 122548,1 \$          | 122548,1 \$          |
| 3. Yıl                           | 126837,3 \$          | 126837,3 \$          |
| 4. Yıl                           | 131276,6 \$          | 131276,6 \$          |
| 5. Yıl                           |                      |                      |
|                                  |                      |                      |
| Yıllık İşletme Saati             | 8000                 | 8000                 |
| Kapasite                         | 2 m <sup>3</sup>     | 2 m <sup>3</sup>     |
| Yıllık Kapasite                  | 16000 m <sup>3</sup> | 16000 m <sup>3</sup> |

Tablo 7.3 Tesislerin İşletme Gelir Ve Giderlerinin Enflasyon İlave Edilerek Karşılaştırılması  
(Can, M., Etemoğlu, A.B. ve Avcı, A.2002).

Tablo 7.4’de tesislere ait her periyottaki gelir gider farkları hesaplanmıştır. Giderler (yatırım ve işletme maliyetleri) ve gelirler (içme suyu satışından elde edilen gelirler) olarak ele alınarak karşılaştırılmıştır (Can, M., Etemoğlu, A.B. ve Avcı, A.2002)

| Periyot | Ters Osmoz Tesisi |             |            | İyon Değişimi Tesisi |             |            |
|---------|-------------------|-------------|------------|----------------------|-------------|------------|
|         | Giderler          | Gelirler    | Fark Değer | Giderler             | Gelirler    | Fark Değer |
| 0. Yıl  | 82444 \$          |             | -82244 \$  | 141956 \$            |             | -141956 \$ |
| 1. Yıl  | 35890 \$          | 114400 \$   | 78510 \$   | 107219 \$            | 114400 \$   | 7081 \$    |
| 2. Yıl  | 37146,2 \$        | 118404 \$   | 81257,7 \$ | 110971,7 \$          | 118404 \$   | 7432,3 \$  |
| 3. Yıl  | 38446,3 \$        | 122548,1 \$ | 84101,8 \$ | 114855,7 \$          | 122548,1 \$ | 7692,4 \$  |
| 4. Yıl  | 39791,9 \$        | 126837,3 \$ | 87045,4 \$ | 118875,6 \$          | 126837,3 \$ | 7961,7 \$  |
| 5. Yıl  | 41184,6 \$        | 131276,6 \$ | 90092 \$   | 123036,2 \$          | 131276,6 \$ | 8240,4 \$  |

Tablo 7.4 Ters Osmoz Ve İyon Değişim Tesisleri Hesap Akış Tablosu (Can, M., Etemoğlu, A.B. ve Avcı, A.2002)

### 7.1.3 Amortizasyon Karşılaştırma Hesabı

Amortizasyon karşılaştırma hesabı, pay-off yada pay-back metodu olarak da isimlendirilmektedir. Pratikte en çok ve en yaygın olarak kullanılan yatırım hesabı metodudur. Bir yatırımın ekonomik kazancı, yatırım objesinin kullanım süresinin amortizasyon süresinden büyük olması ile ölçülür. Bir yatırım amortizasyon süresi ne kadar küçükse o kadar avantajlıdır. Tablo 7.5 ters osmoz ve iyon değişim tesislerinin amortizasyon hesaplarını ve karşılaştırılmalarını vermektedir (Can, M., Etemoğlu, A.B. ve Avcı, A.2002).

| Periyot | Ters Osmoz Tesisi |                        | İyon Değişimi Tesisi |                        |
|---------|-------------------|------------------------|----------------------|------------------------|
|         | Gelir-Gider       | Amorte Edilecek Miktar | Gelir-Gider          | Amorte Edilecek Miktar |
| 0. Yıl  | -82244 \$         |                        | -141956 \$           |                        |
| 1. Yıl  | 78510 \$          | -3734 \$               | 7081 \$              | -134775 \$             |
| 2. Yıl  | 81257,7 \$        | 77523,7 \$             | 7432,3 \$            | -127342,7 \$           |
| 3. Yıl  | 84101,8 \$        | 161625,5 \$            | 7692,4 \$            | -119650,3 \$           |
| 4. Yıl  | 87045,4 \$        | 248670,9 \$            | 7961,7 \$            | -111688,6 \$           |
| 5. Yıl  | 90092 \$          | 338762,9 \$            | 8240,4 \$            | -103448,5 \$           |

Tablo 7.5 Ters Osmoz Ve İyon Değişim Tesisleri Amortizasyon Hesabı Karşılaştırılması (Can, M., Etemoğlu, A.B. ve Avcı, A.2002)

Burada  $t_w$  amortizasyon süresi, A yatırılan ana para ve R ortalama geri ödeme olmak üzere amortizasyon süresi aşağıdaki ifade ile bulunur (Can, M., Etemoğlu, A.B. ve Avcı, A.2002).

$$t_w = \frac{A}{R} \quad (7.1)$$

Buna göre; ters osmoz tesisi için A = 82244 \$ ve R = 84201.4 \$ olmak üzere;

$$t_w = \frac{A}{R} = \frac{82244}{84201,4} = 0,977 \text{ Yıl ve}$$

İyon değişimi tesisi için A = 141956 \$ ve R = 7701.6 \$ olmak üzere;

$$t_w = \frac{A}{R} = \frac{141956}{7701,6} = 18,43 \text{ Yıl}$$

olarak bulunur. Buna göre iyon değişim tesisi kendisini 18.43 yıl sonunda yani kullanım süresinin üzerinde amortize edecektir. Buradan da görüldüğü gibi tesislerin ekonomik ömürleri 5 yıl üzerinden hesaplanmış fakat tasarlanan İyon Değişim Tesisinin amortisman süresi 18 yıldan fazla çıkmıştır. Bu da şu demek olur ki bu tesis hiçbir zaman ara geçemeyecek ve bu prosesin kullanılması tamamiyle zarar anlamına gelecektir. Oysa ki tasarlanan Ters Osmoz tesisi 1 yıl gibi kısa bir sürede kendini amorte edip geri kalan işletim ömrü boyunca kurulmuş olan tesise kar sağlayacaktır (Can, M., Etemoğlu, A.B. ve Avcı, A.2002).

Bu yapılan hesaplar neticesinde bu karşılaştırılan iki sistem içerisinde Ters Osmoz sistemi kesin bir suretle çok daha ekonomiktir (Can, M., Etemoğlu, A.B. ve Avcı, A.2002).

## 7.2 Mey İçki Firmasına Kurulmuş Olan 500m<sup>3</sup>/Gün Kapasiteli UF+RO Sisteminin Maliyet Analizleri

Burada inceleyeceğimiz proses Tekirdağ'da MEY İçki firmasında deniz suyundan tatlı su eldesi yapan 500 m<sup>3</sup> / gün kapasiteli Ultra Filtrasyon ve Ters Osmoz sistemidir. Bu sistemde %2.2 tuzluluk oranı olan Marmara deniz suyu kullanılıyor olup bu suyun tuzluluk oranı Akdeniz ve Ege sularına göre daha az olduğundan mevcut ilk yatırım ve işletme maliyetlerinin düşmesini sağlamıştır.

## 7.2.1 500 Ton Kapasiteli UF+RO Sistemi İlk Yatırım Maliyeti Hesabı

Buradaki ilk yatırım maliyetlerini gösterirken iki alt başlıkta toplanacaktır. Önce Ultra Filtrasyon ilk yatırım maliyet ardından Ters Osmoz ilk yatırım maliyetidir.

### 7.2.1.1 Ultra Filtrasyon Tesisi Ve Ekipmanları

- Besleme – Ters Yıkama Pompaları;

3 Adet  $65 \text{ m}^3 / \text{h}$  Kapasiteli, 25mSS Basma Yüksekliği

KSB Beta 65-160 Marka ve Seri No'lu

Elektrik Tüketimi 11 kW

- Otomatik Klor Dozaj Ünitesi ORP Okumalı

Ecolab – Prominent Marka

Dozlanan kimyasal Hipoklorit,

Kullanılan pompa 1 Adet Diyafram tip 176lt/h

1000 lt'lik 1 Adet Pe Solüsyon Tankı

GF Signet Marka ORP Kontroller Analizör ve Transmitter

- Otomatik Asit Dozaj Ünitesi PH Okumalı

Ecolab – Prominent Marka

Dozlanan kimyasal Asit,

Kullanılan pompa 1 Adet Diyafram tip 176lt/h

500 lt'lik 1 Adet Pe Solüsyon Tankı

GF Signet Marka PH Kontroller Analizör ve Transmitter

- Otomatik Kostik Dozaj Ünitesi PH Okumalı

Ecolab – Prominent Marka

Dozlanan kimyasal Kostik,

Kullanılan pompa 1 Adet Diyafram tip 20lt/h

150 lt'lik 1 Adet Pe Solüsyon Tankı

GF Signet Marka PH Kontroller Analizör ve Transmitter

- UF Sistemi

2 Adet Disk Filtre Kartuş Tipi 200 Mikron

16 Adet DIZZER 5000 Marka Membran

- Kontrol Ekipmanları

4 Adet Basınç Transmitteri

2 Adet Debi Ölçer

2 Adet Seviye Ölçer

10 Adet Aktüatörlü Vana

10 Adet Numune Vanası

6 Adet CIP Vanası

PVC Tesisatı

1 Adet Fırın Boyalı Şase

20000 lt PE Depo

Otomatik Kontrol Panosu Ve Sistemi, Tüm tesisatların döşenmesi, her türlü montaj ve nakliyat işçilik dahil.

### **7.2.1.2 Ters Osmoz Tesisi Ve Ekipmanları**

- Besleme Pompaları

2 Adet 60  $m^3 / h$  Kapasiteli, 45mSS Basma Yüksekliği

KSB Beta 50-200 Marka ve Seri No'lu

Elektrik Tüketimi 15 kW

- Otomatik Klor Dozaj Ünitesi ORP Okumalı

Ecolab – Prominent Marka

Dozlanan kimyasal Hipoklorit,

Kullanılan pompa 1 Adet Diyafram tip 12lt/h Maksimum Çalışma Basıncı 8 Bar

1000 lt'lik 1 Adet Pe Solüsyon Tankı

GF Signet Marka ORP Kontroller Analizör ve Transmitter

- Koagülasyon Dozaj Pompası

Ecolab – Prominent Marka

Dozlanan kimyasal Hipoklorit,

Kullanılan pompa 1 Adet Diyafram Piston Tip 20lt/h Ecolab Marka

1000 lt'lik 1 Adet Pe Solüsyon Tankı

- Flokülasyon Dozaj Pompası

Ecolab – Prominent Marka

Dozlanan kimyasal Hipoklorit,

Kullanılan pompa 1 Adet Diyafram Piston Tip 20lt/h Ecolab Marka

1000 lt'lik 1 Adet Pe Solüsyon Tankı

- Otomatik SMBS Dozaj Ünitesi ORP Okumalı

Alldos – Prominent Marka

Dozlanan kimyasal Metabisülfit,

Kullanılan pompa 1 Adet Diyafram Piston Tip 3,8 lt/h Prominent – Alldos Marka

200 lt'lik 1 Adet Pe Solüsyon Tankı

GF Signet Marka ORP Kontroller Analizör ve Transmitter

- Kum Filtresi

1 Adet Kum Filtresi Füzyon Marka

4 Adet Füzyon Marka 1600x2000mm Ölçülerinde

24 Adet Vana ile beraber

- UV Dezenfeksiyon Sistemi

1 Adet UV Dezenfeksiyon Sistemi

4 Adet Füzyon Marka 1600x2000mm Ölçülerinde

24 Adet Vana ile beraber

- Otomatik Asit Dozaj Ünitesi PH Okumalı

Ecolab – Prominent Marka

Dozlanan kimyasal Asit,

Kullanılan pompa 1 Adet Diyafram tip 176lt/h

500 lt'lik 1 Adet Pe Solüsyon Tankı

GF Signet Marka PH Kontroller Analizör ve Transmitter

- Otomatik Anti Scalant Dozaj Ünitesi

Ecolab – Prominent Marka

Dozlanan kimyasal Anti Scalant

Kullanılan pompa 1 Adet Diyafram tip 20lt/h

200 lt'lik 1 Adet Pe Solüsyon Tankı

- Otomatik Kostik Dozaj Ünitesi PH Okumalı

Ecolab – Prominent Marka

Dozlanan kimyasal Kostik,

Kullanılan pompa 1 Adet Diyafram tip 20lt/h

200 lt'lik 1 Adet Pe Solüsyon Tankı

GF Signet Marka PH Kontroller Analizör ve Transmitter

- Ters Osmoz Sistemi

1 Adet Kartuş Filtre

14 Adet 40<sup>11</sup>-50 Mikron Kartuş

1 Adet Yüksek Basınç Pompası 60 m<sup>3</sup> / h Debili ve 38 Bar Maksimum Basınç

Elektrik Tüketimi Duplex 90 kW

42 Adet tm820-L400 Membran

7 Adet Membran Kılıfı

- Kontrol Mekanizmaları Ve Enstrümantasyonlar

GF Signet Marka Ürün Suyu İletkenlik Kontrolörü

GF Signet Marka Ürün Drenaj Hatlarında Debi Kontrolörü

10 Adet Manometre

2 Adet Basınç Şalteri (Alçak Ve Yüksek Basınç Şalterleri)

2 Adet Basınç Transmitteri (Alçak Ve Yüksek Basınç Transmitterleri)

1 Adet Otomatik Flush Ünitesi

2 Adet Aktuatörlü Kelebek Vana

1 Adet Paslanmaz Çelik Globe Vana (Yüksek Basınç Pompası Çıkışı)

1 Adet Paslanmaz Çelik Globe Vana (Drenaj Hattında)

8 Adet Numune Musluğu (Her Membran Kılıfı Çıkışında)

Çek Valfler Ve Küresel Vanalar

1 Adet Fırın Boyalı Şase

Yüksek Basınç Ve Düşük Basınç Borulaması

- Membran Yıkama Ünitesi

1 Adet KSB marka  $60 \text{ m}^3 / \text{h}$  Debili Ve 30mSS Basma Yüksekliğine Sahip Pompa

1 Adet 1000lt Pe Tank

2 Adet Debi Metre

1 Adet Fırın Boyalı Şase

- $\text{CO}_2$  Degazör Ünitesi

Kulesi, Deposu, Fanları ve Kontrol Panosu

- Ters Osmoz Sistemi Kontrol Panosu Ve Tüm Otomatik Kontrol Tesisatı Ve diğer tüm tesisat işleri nakliyat ve montaj ile beraber.

1440  $\text{m}^3$ /gün besleme debisine sahip, %35 verim ile çalışan deniz suyundan tatlı su üretme tesisinin Ultra Filtrasyon ilk yatırım maliyeti Tablo 7.6'da, Ters Osmoz ilk yatırım maliyeti ise Tablo 7.7'de verilmiştir.

| <b>MALZEME</b>   | <b>FİYAT</b>    |
|--|-----------------|
| Besleme – Ters Yıkama Pompaları                        | 6900 €          |
| Otomatik Klor Dozaj Ünitesi ORP Okumalı                | 2240 €          |
| Otomatik Asit Dozaj Ünitesi PH Okumalı                 | 1290 €          |
| Otomatik Kostik Dozaj Ünitesi PH Okumalı               | 1340 €          |
| UF Sistem  | 65000 €         |
| Kontrol Ekipmanları, Montaj, İşçilik Ve Nakliyat Dahil | 53240 €         |
| <b>TOPLAM</b>  | <b>130010 €</b> |

Tablo 7.6 Ultra Filtrasyon Sistemi İlk Yatırım Maliyetleri

| <b>MALZEME</b>  | <b>FİYAT</b>    |
|---|-----------------|
| Besleme Pompaları   | 5000 €          |
| Otomatik Klor Dozaj Ünitesi ORP Okumalı                             | 2600 €          |
| Koagülasyon Dozaj Pompası   | 2300 €          |
| Flokülasyon Dozaj Pompası   | 2450 €          |
| Otomatik SMBS Dozaj Ünitesi ORP Okumalı                             | 4400 €          |
| Kum Filtresi  | 10000 €         |
| UV Dezenfeksiyon Sistemi  | 3250 €          |
| Otomatik Asit Dozaj Ünitesi PH Okumalı                              | 2200 €          |
| Otomatik Antiscalant Dozaj Ünitesi                                  | 850 €           |
| Otomatik Kostik Dozaj Ünitesi PH Okumalı                            | 1800 €          |
| Ters Osmoz Sistemi  | 76500 €         |
| Kontrol Mekanizmaları Ve Enstrümantasyonları                        | 10500 €         |
| Membran Yıkama Ünitesi  | 7500 €          |
| CO <sub>2</sub> Degazör Ünitesi                                     | 10000 €         |
| Otomatik Kontrol Tesisatı, Diğer Montaj İşleri, Nakliyat Ve İşçilik | 30250 €         |
| <b>TOPLAM</b>   | <b>169600 €</b> |

Tablo 7.7 Ters Osmoz Sistemi İlk Yatırım Maliyetleri

Günlük 500 ton tatlı elde etme kapasitesine sahip Ultra Filtrasyon + Ters Osmoz sisteminin toplam ilk kurulum maliyeti;

$$M_{UF} + M_{RO} = \Sigma M \quad (7.2)$$

$M_{UF}$  : Ultra Filtrasyon İlk Kurulum Maliyeti

$M_{RO}$  : Ters Osmoz İlk Kurulum Maliyeti

$\Sigma M$  : Toplam İlk Kurulum Maliyeti

$$\Sigma M = 130010 + 169600$$

$$\Sigma M = 299610 \text{ €}$$

Toplam İlk Yatırım Maliyeti (KDV hariç) 299610 € bulunmuştur.

### 7.2.2 500 Ton Kapasiteli UF+RO Sistemi İşletme Ve Bakım Maliyetleri Hesabı

Kurulan bu tuzdan arıtma tesisinin temel işletme ve bakım maliyetleri kalemlerinin çoğunluğunu enerji maliyetleri, arıdan kimyasal ilaveleri, membran ve olası parça değişimleri ve sabit personel giderleri oluşturmaktadır. Bu giderler şu şekilde sıralanabilir.

- **Sistem**

Sistem Debisi:  $60m^3 / h$

Günlük Çalışma Saati: 24 Saat

Sistem Verimi: %35

Günlük Üretilen Tatlı Su Miktarı:  $504m^3$

Aylık Üretilen Tatlı Su Miktarı:  $15120m^3$

Yıllık Üretilen Tatlı Su Miktarı:  $183960m^3$

Sistem Servisi Besleme Debisi:  $21m^3 / h$

Sistem Atık Su Debisi:  $39m^3 / h$

Senelik Atık Su Miktarı:  $341640m^3$

- **UF Elektrik Tüketimi**

UF Besi Pompası Elektrik Tüketimi: 11kw/h

UF Ters Yıkama Pompası Elektrik Tüketimi: 22kw/h

UF Ters Yıkama Pompası Çalışma Süresi: 0,36h/gün

Asit Dozaj Pompası: 0,1kw/h

Asit Pompası Çalışma Zamanı: 0,25h

Kostik Dozaj Pompası Elektrik Tüketimi: 0,1kw/h

Kostik Pompası Çalışma Zamanı: 0,25h

Klor Dozaj Pompası: 0,1kw/h

Klor Pompası Çalışma Zamanı: 0,25h

Diğer Tüketimler: 0,05kw/h

Saatlik Enerji Tüketimi: 11,38kw/h

Günlük Enerji Tüketimi: 273,22kw

Yıllık Enerji Tüketimi: 99725,3kw

Elektrik Birim Fiyatı 0,106 €/kwh

Senelik Enerji Maliyeti: 10570,9 €

- **RO Elektrik Tüketimi**

RO Besi Pompaları Elektrik Tüketimi: 15kw/h

Yüksek Basınç Pompası Elektrik Tüketimi: 110kw/h

Antiscalant Dozaj Pompası: 0,1kw/h

Asit Dozaj Pompası: 0,1kw/h

Kostik Dozaj Pompası: 0,1kw/h

Diğer Tüketimler: 0,05kw/h

Saatlik Enerji Tüketimi: 125,35kw/h

Günlük Enerji Tüketimi: 3008,4kw

Yıllık Enerji Tüketimi: 1098066kw

Elektrik Birim Fiyatı 0,106 €/kwh

Senelik Enerji Maliyeti: 116395 €

- **Malzeme Maliyetleri:**

Kartuş Miktarı: 14 Adet

Senelik Değişim: 12 Kez

Senelik Kartuş Tüketimi: 168 Adet

Kartuş Birim Fiyatı: 10,5 €

Senelik Kartuş Maliyeti: 1764 €

Membran Sayısı: 42 Adet

Membran Değişim Süresi: 3 Yıl

Membran Fiyatı: 600 €

Yıllık Membran Maliyeti: 8400 €

- **İşçilik Maliyetleri**

İşçilik maliyeti : 0,2 €/m<sup>3</sup> alınırsa

Yıllık işçilik maliyeti: 36792 €

- **Kimyasal Maliyetleri**

Anti Scolant Dozajı: 4mg/lt

Konsantrasyonu: %10

Saatlik Dozaj: 0,24lt

Günlük Dozaj: 5,76lt

Aylık Dozaj: 172,8lt

Yıllık Dozaj: 2102,4lt

Birim Fiyatı: 6 €/lt

Senelik Anti Scalant Maliyeti: 12614,4 €

Asit Dozajı: 40mg/lt

Konsantrasyonu: %98

Saatlik Dozaj: 2,45lt

Günlük Dozaj: 58,78lt

Aylık Dozaj: 1763,27lt

Yıllık Dozaj: 21453,06lt

Birim Fiyatı: 0,6 €/lt

Senelik Asit Maliyeti: 12871,84 €

Kostik Dozajı: 3mg/lt

Konsantrasyonu: %50

Saatlik Dozaj: 0,36lt

Günlük Dozaj: 8,64lt

Aylık Dozaj: 259,2lt

Yıllık Dozaj: 3153,6lt

Birim Fiyatı: 1 €/lt

Senelik Kostik Maliyeti: 3153,6 €

- **Kimyasal Yıkama Maliyetleri**

Asit Yıkama Sıvısı: 50lt

Kullanım Miktarı: Yılda 2 Kez

Birim Fiyatı: 9 €/lt

Senelik Asit Yıkama Sıvısı Tüketim Miktarı: 100lt

Senelik Asit Yıkama Sıvısı Maliyeti: 900 €

Bazik Yıkama Sıvısı: 50lt

Kullanım Miktarı: Yılda 2 Kez

Birim Fiyatı: 9 €/lt

Senelik Bazik Yıkama Sıvısı Tüketim Miktarı: 100lt

Senelik Bazik Yıkama Sıvısı Maliyeti: 900 €

Senelik Toplam Kimyasal Yıkama Sıvısı Maliyeti: 1800 €

Burada verilen işletme maliyetleri firmanın vermiş olduğu değerlere bağlı hesaplanmış olup kullanım şartlarının değişmesi ile bu maliyetler de değişecektir. Aşağıda Tablo 7.8’de yıllık işletme maliyetleri toplam olarak gösterilmiştir.

| <b>İşletme Maliyeti Adı</b>                  | <b>Fiyat</b>       |
|--|--------------------|
| UF Sistemi Elektrik Tüketimi Yıllık Maliyeti | 10570,9 €          |
| RO Sistemi Elektrik Tüketimi Yıllık Maliyeti | 116395 €           |
| Malzeme Değişimleri Maliyeti                 | 10164 €            |
| İşçilik Maliyetleri                          | 36792 €            |
| Kimyasal Maddeler Maliyeti                   | 28639,44 €         |
| Kimyasal Yıkama Sıvıları Maliyeti            | 1800 €             |
| <b>Toplam Yıllık İşletme Maliyeti</b>        | <b>204361,34 €</b> |

Tablo 7.8 Sistemin Toplam Yıllık İşletme Maliyetleri

Tablo 7.9’da işletme ve yatırım maliyetleri hesaplanmış ve kar zarar açısından karşılaştırılmaları yapılmıştır. Tesisin ekonomik kullanım süresi 5 yıl olarak alınmıştır. Burada suyun şimdiki değeri İSKİ’nin internet sitesinden bakılarak 5,2 TL (KDV hariç) bulunmuş Euro’nun bugünkü değerine göre  $1 m^3$  suyun birim fiyatının 2,43 Euro olduğu hesaplanmış ve bu hesaplara göre analize başlanmıştır.

| Ultra Filtrasyon Ve Ters Osmoz Tesisi |             |            |             |
|---------------------------------------|-------------|------------|-------------|
| Periyot                               | Giderler    | Gelirler   | Fark Değer  |
| 0. Yıl                                | 299610 €    | 0          | - 299610 €  |
| 1. Yıl                                | 204361,34 € | 447022,8 € | 242661,46 € |
| 2. Yıl                                | 204361,34 € | 447022,8 € | 242661,46 € |
| 3. Yıl                                | 204361,34 € | 447022,8 € | 242661,46 € |
| 4. Yıl                                | 204361,34 € | 447022,8 € | 242661,46 € |
| 5. Yıl                                | 204361,34 € | 447022,8 € | 242661,46 € |

Tablo 7.9 Sistemin Kar Zarar Analizi

Yukarıda da tabloda görülen değerlere göre sistemin kendini amorte etme süresini hesaplayacak olursak; Burada  $t_w$  amortizasyon süresi, A yatırılan ana para ve R ortalama geri ödeme olmak üzere amortizasyon süresi aşağıdaki ifade ile bulunur.

$$t_w = \frac{A}{R} \quad (7.3)$$

$$t_w = \frac{A}{R} = \frac{299610}{242661,46} = 1,234 \text{ Yıl}$$

Ayrıca birim  $m^3$  suyun üretimi içindeki ilk yatırım maliyeti, işletme maliyeti ve toplam maliyetini hesaplayacak olursak;

$$m_1 = \frac{A}{\Sigma V} = \frac{299610}{5.183960} = 0,3257 \quad (7.4)$$

$m_1 = 0,3257$  € Birim  $m^3$  Suyun Elde Edilmesindeki Toplam Maliyet İçerisindeki İlk Yatırım Maliyeti

$$m_2 = \frac{\Sigma L}{\Sigma V} = \frac{5.204361,34}{5.183960} = 1,111 \quad (7.5)$$

$m_2 = 1,111$  € Birim  $m^3$  Suyun Elde Edilmesindeki Toplam Maliyet İçerisindeki İşletme Ve Bakım Maliyeti

$$\Sigma m = m_1 + m_2 = 0,3257 + 1,111 \quad (7.6)$$

$\Sigma m = 1,4367$  € Birim  $m^3$  Suyun Elde Edilmesindeki Toplam Maliyet

Olarak bulunur. Görüldüğü gibi sistem kendini 1 Yıldan az bir süre sonra amorte etmekte ve bundan sonra da kara geçmektedir. Fakat burada yaptığımız hesaplarda sistemin ilk yatırım maliyetinin toplu ödendiği ve enflasyon farkları hesaba katılmamıştır. Türkiye'deki ekonomik istikrarsızlıktan dolayı kredi faizleri sürekli değişmektedir fakat burada yıllık kredi faizi %15 ve geçen yılın enflasyon değeri olan %10 yıllık enflasyon miktarları da göze alınarak ilk yatırımın da kredi çekilip geri ödemelerin 5 yıla yayılarak eşit bir şekilde yapıldığı düşünülmüş ve bu sistemin ekonomik analizi aşağıda Tablo 7.10'da gösterilmiştir.

5 yıllık eşit ödeme miktarlarını bulmak için;

$$C_k = I_k \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (7.7)$$

Formülü kullanılır. Burada  $C_k$  her yıl ödenecek olan sabit ilk yatırım maliyeti taksiti,  $I_k$  çekilen kredi miktarı,  $i$  faiz oranı ve  $n$  ise geri ödeme süresidir. Bilinmeyenleri yerlerine yazdığımızda;

$$C_k = I_k \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} = 299610 \frac{0,15 \cdot 1,15^5}{1,15^5 - 1} = 89409 \text{ € her yıl sabit geri ödenecektir.}$$

| Periyot | Gelirler    | Giderler    | Fark Değer  | İlk Yatırım Maliyeti Ödemesi |
|---------|-------------|-------------|-------------|------------------------------|
| 0. Yıl  | 0           | 0           | 0           | 0                            |
| 1. Yıl  | 491725,08 € | 224797,47 € | 266927,61 € | 89409 €                      |
| 2. Yıl  | 540897,59 € | 247277,22 € | 293620,37 € | 89409 €                      |
| 3. Yıl  | 594987,35 € | 272004,94 € | 322982,41 € | 89409 €                      |
| 4. Yıl  | 654486,08 € | 299205,43 € | 355280,65 € | 89409 €                      |
| 5. Yıl  | 719934,69 € | 329125,98 € | 390808,71 € | 89409 €                      |
|         |             |             |             |                              |

Tablo 7.10 Sistemin Kredi Faizi Ve Enflasyon Dahil Kar Zarar Analizi

Yukarıda da tabloda görülen değerlere göre sistemin kendini amorte etme süresini hesaplayacak olursak; Burada  $t_w$  amortizasyon süresi, A toplam yatırılan ana para ve R ortalama geri ödeme olmak üzere amortizasyon süresi aşağıdaki ifade ile bulunur.

$$t_w = \frac{A}{R} \quad (7.8)$$

$$t_w = \frac{A}{R} = \frac{447045}{325923,4} = 1,371 \text{ Yıl}$$

Ayrıca birim  $m^3$  suyun üretimi içindeki ilk yatırım maliyeti, işletme maliyeti ve toplam maliyetini hesaplayacak olursak;

$$m_1 = \frac{A}{\Sigma v} = \frac{447045}{5.183960} = 0,486$$

$m_1 = 0,486 \text{ € Birim } m^3 \text{ Suyun Elde Edilmesindeki İlk Yatırım Maliyeti}$

$$m_2 = \frac{\Sigma L}{\Sigma v} = \frac{1372410}{5.183960} = 1,492$$

$m_2 = 01,223 \text{ € Birim } m^3 \text{ Suyun Elde Edilmesindeki İlk İşletme Ve Bakım Maliyeti}$

$$\Sigma m = m_1 + m_2 = 0,486 + 1,492$$

$\Sigma m = 1,978 \text{ €/m}^3 \text{ Tatlı Suyun Elde Edilmesindeki Toplam Maliyeti}$

İlk başta bizim kabul ettiğimiz birim  $m^3$  su fiyatı 2,43 € iken toplam su üretim maliyeti de buna yakın bir rakam olan 1,978 € çıkmıştır. Fakat burada gözden kaçırmamız gereken bir şey daha vardır. Bizim hesapladığımız toplam üretim maliyeti 5 yılın ortalaması bir maliyet olup diğer 2,43 € olan İSKİ'nin fiyatı ise ilk yılın ücreti olduğundan 5 yıl sonra o da artmış olacak ve sistem bu yüzden şebeke suyuna göre hala oldukça ekonomik olacaktır.

Tuzlu sudan tatlı su dönüşümü yapan tesislerin ürün maliyetleri çok farklı karakteristik değişkenlere bağlıdır. Bu yapılan araştırmalar doğrultusunda maliyeti etkileyen en önemli değişkenler şöyle sıralanmıştır. Tablo 7.11'de üretim maliyetleri kullanılan tuzlu su kaynağı ve kapasite değişimine göre çıkarılmış ve bir karşılaştırma yapılmıştır (Karagiannis, C.I, Soldatos, P.G, 2007).

| Besleme Suyu Tipi | Tesis Kapasitesi (m <sup>3</sup> /gün) | Maliyet (€/m <sup>3</sup> ) |
|-------------------|--|-----------------------------|
| Acı Su            | <1.000                                 | 0,63-1,06                   |
|                   | 5.000-60.000                           | 0,21-0,43                   |
| Deniz Suyu        | <1.000                                 | 1,78-9,00                   |
|                   | 1.000-5.000                            | 0,56-3,15                   |
|                   | 12.000-60.000                          | 0,35-1,30                   |
|                   | >60.000                                | 0,4-0,80                    |

Tablo 7.11 Üretilen Tatlı Suyun Tuzlu Kaynağına Ve Kapasiteye Göre Maliyetlerinin Karşılaştırması (Karagiannis, C.I, Soldatos, P.G, 2007)

Bu tabloda üretilen suyun artan kapasite giderek düştüğü ve aynı zamanda deniz suyundan üretim maliyetinin acı sudan üretim maliyetine göre daha yüksek olduğu görülmektedir (Karagiannis, C.I, Soldatos, P.G, 2007).

Bir diğer çalışma ise acı ve deniz suyunun su kaynağı olarak kullanılmakta olduğu ve üretilen tatlı suyun maliyetleri prosesin enerji temin yöntemlerine göre karşılaştırılmaktadır. Tablo 7.12’de bu karşılaştırma gösterilmiştir.

| Besleme Suyu Tipi | Kullanılan Enerji Çeşidi | Maliyet (€/m <sup>3</sup> ) |
|-------------------|--------------------------|-----------------------------|
| Acı Su            | Konvensiyonel            | 0,21-1,06                   |
|                   | Fotovoltaik              | 4,50-10,32                  |
|                   | Jeotermal                | 2,00                        |
| Deniz Suyu        | Konvensiyonel            | 0,35-2,70                   |
|                   | Rüzgar                   | 1,00-5,00                   |
|                   | Fotovoltaics             | 3,14-9,00                   |
|                   | Güneş Kolektörü          | 3,50-8,00                   |

Tablo 7.12 Üretilen Tatlı Suyun Tuzlu Kaynağına Ve Kullanılan Enerji Kaynağına Göre Maliyetlerinin Karşılaştırması (Karagiannis, C.I, Soldatos, P.G, 2007)

Önceki karşılaştırmada olduğu burada da acı sudan tatlı su üretim maliyetleri daha düşüktür. Ayrıca geleneksel enerji kaynaklarının üretim maliyetleri yenilenebilir enerji kaynaklarının maliyetlerinden çok daha düşüktür. Fakat unutulmaması gereken bir nokta ise yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanıldığı sistemlerin işletme ve bakım maliyetleri çok düşük olup teknolojinin gelişmesi ve yatırım maliyetlerinin düşmesi ile birlikte yenilenebilir enerji kaynakları çok cazip olacaktır (Karagiannis, C.I, Soldatos, P.G, 2007).

Tatlı su üretim maliyetlerinin birde proses tiplerine göre karşılaştırsak; Termal proseslerin tatlı su üretim maliyetleri aşağıdaki Tablo 7.13'te birbirleri ile kıyaslanmıştır. Bu kıyaslamada ekonomik açıdan en çok kullanılan termal prosesler Çok etkili damıtma (MED), Çok kademeli ani buharlaştırma (MSF) ve Kompresyonlu buharlaştırma (VC)'dir (Karagiannis, C.I, Soldatos, P.G, 2007).

| Kullanılan Proses | Tesis Kapasitesi (m <sup>3</sup> /gün) | Maliyet (€/m <sup>3</sup> ) |
|-------------------|--|-----------------------------|
| MED               | <100                                   | 2-8                         |
|                   | 12.000-55.000                          | 0,76-1,56                   |
|                   | >91.000                                | 0,42-0,81                   |
| MSF               | 23.000-528.000                         | 0,42-1,40                   |
| VC                | 1.000-1.200                            | 1,61-2,13                   |

Tablo 7.13 Üretilen Tatlı Suyun Maliyetlerinin Kullanılan Proses Şekli Ve Tesis Kapasitesine Göre Değişiminin Karşılaştırması (Karagiannis, C.I, Soldatos, P.G, 2007)

Bu karşılaştırmada da MED prosesinde tesis kapasitesi arttıkça üretim maliyetinin hızlı bir şekilde düştüğü hatta dünyada en kullanılan proseslerden olan MSF'nin maliyet değerlerinden bile aşağı düştüğü görülmüştür (Karagiannis, C.I, Soldatos, P.G, 2007).

Son karşılaştırma da ise bir membran prosesi olan Ters Osmoz yöntemi ile tatlı su üretim maliyetinin kullanılan tuzlu su kaynağına ve tesis kapasitesine aşağıda Tablo 7.14'te karşılaştırılmıştır. Burada kullanılan tuzlu su kaynakları yine acı su ve deniz suyu olup bu iki tuzlu su kaynağının değişik tesis kapasitelerindeki maliyetleri karşılaştırılmıştır .

| Besleme Suyu Tipi | Tesis Kapasitesi (m <sup>3</sup> /gün) | Maliyet (€/m <sup>3</sup> ) |
|-------------------|--|-----------------------------|
| Acı Su            | <20                                    | 4,50-10,32                  |
|                   | 20-1.200                               | 0,62-1,06                   |
|                   | 40.000-60.000                          | 0,21-0,43                   |
| Deniz Suyu        | <100                                   | 1,2-15,00                   |
|                   | 250-1.000                              | 1,00-3,14                   |
|                   | 1.000-4.800                            | 0,56-1,38                   |
|                   | 15.000-60.000                          | 0,38-1,30                   |
|                   | 100.000-320.000                        | 0,36-0,53                   |

Tablo 7.14 Üretilen Tatlı Suyun Maliyetlerinin Kullanılan Tuzlu Su Çeşidine Ve Tesis Kapasitesine Göre Değişiminin Karşılaştırması (Karagiannis, C.I, Soldatos, P.G, 2007)

Bu dört tablonun da genel bir değerlendirmesi yapıldığında son yıllardaki teknolojik gelişmeler, enerji fiyatlarının arttığı bir ortamda tatlı su elde etme maliyetleri giderek azalmıştır. Geleneksel prosesler ile deniz suyundan tatlı su üretimi maliyeti 0,4 ila 3 €/m<sup>3</sup> civarında olmakta aynı yöntemlerle acı sudan tatlı su üretim maliyetleri hemen hemen yarı fiyatına gelmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları ile tatlı su üretim maliyetleri çok yüksek olup hatta bazı durumlarda 15 €/m<sup>3</sup> gibi rakamlara çıkmaktadır. Elde edilen ürünün maliyeti çok yüksek olmasına rağmen burada çevresel faydalarda unutulmamalıdır (Karagiannis, C.I, Soldatos, P.G, 2007).

Tatlı su üretimindeki proses seçimi maliyet açısından en önemli etkenlerden biridir. Orta ve büyük kapasiteli tesislerde termal yöntemlerin kullanımı daha ekonomik iken orta ve küçük kapasiteli tuzdan arındırma tesislerinde ise membran sistemlerinin kullanımı toplam maliyetler açısından daha ekonomik olmaktadır. Son yıllarda teknolojik gelişmeler sayesinde büyük kapasiteli tesisler için de Ters Osmoz çözümleri olumlu sonuçlar vermektedir. Membran teknolojilerindeki gelişmeler ile birlikte acı sudan tatlı su üretimi yapan Ters Osmoz sistemlerinin maliyetleri en düşük seviyelerde olup aynı zamanda düşük enerji sarfiyatları ile de ilgi çekici alternatiflerdir (Karagiannis, C.I, Soldatos, P.G, 2007).

## 8. SONUÇ

İnsan için, yaşam için çok önemli ve gerekli bir kaynak olan su dünyada bir çok doğal kaynaktan sağlanabildiği gibi, bu kaynaklara erişemeyen bölgelerde de çok büyük sorun teşkil etmektedir. Suyun yaşam için kesinlikle gerekli olması, her ne pahasına olursa olsun elde edilmesini zorun kılar.

Suyun doğal kaynaklardan elde edilemediği durumlarda en çok başvurulan yöntem desalinasyondur. Çalışmamızda bu yöntemin dünyadaki kullanımını ve çeşitlerini geniş bir şekilde anlattık. Geline sonuç, desalinasyon yöntemlerinin çeşitlerine, kullanım yerlerine, ve istenen kaliteye göre maliyetlerinde farklılıklar gösterdikleridir. Yine de ne kadar farklılık gösterirlerse gösterebilir hiçbir yöntem doğal kaynaklardan su eldesinden ucuz değildir. Aslında bu yorum da tam olarak doğru değildir. Zira doğal kaynağın sizin suyu ulaştırmak istediğiniz bölgeye uzaklığı da çok önemli bir kriterdir.

Ülkemiz doğal su kaynakları açısından zengin sayılabilir. Fakat bu kaynakların özellikle ilerleyen yıllarda bazı kalabalık bölgeler için yetmeme olasılığı düşünülürse uzaklardan su getirmenin maliyeti ile bir desalinasyon tesisinde üretilen suyun maliyeti yarışabilir duruma gelebilir. Su kıtlığının fazlasıyla hissedildiği ve su fiyatlarının petrol fiyatlarının çok üzerinde seyrettiği Arap ülkelerinde büyük çaplı tesislerin kurulması nasıl bir zorunluluksa, ülkemizde de küçük çaplı ve bölgesel tesislerin, üretilen suyun fiyatının normal su fiyatından çok yüksek olmaması şartı ile, işleme sunulması da bir zorunluluktur. Deniz suyundan tatlı su elde eden termik yöntemler, küçük kapasiteli oldukları takdirde düşük verimle çalışan dolayısıyla pahalı su üreten tesisler olarak görülmektedir. Güneş enerjisiyle çalışan tesislerin verimleri ise güneşin yıllık radyasyon miktarına bağlıdır. Bu tip tesislerin kurulmasında güneşlenme süresi ve miktarı dikkate alınarak sistemin ekonomiklik etüdü yapılmalıdır. Ters Osmoz ve iyon değişim yöntemleri ile çalışan tesisler, hem kurulma ve işletim, hem de küçük çaplı olmasına rağmen yüksek verimle çalışabilme özelliği açısından avantajlıdır. Ters Osmoz ve iyon değişimi tesislerinin kendi aralarındaki avantaj-dezavantaj durumu ise yatırım ve işletim maliyetlerinin hesaplanması ile belirlenmelidir.

Buradaki çalışmamızda su kaynakları tanıtılarak başlanmış ardından deniz suyu ve özelliklerinden bahsedilmiş, deniz suyundan tatlı su elde etme hakkında bilgiler verilmiş olup ve mevcut tüm yöntemler detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Ardından bu sistemlerin genel maliyetleri ve tasarım kriterlerine değinilmiş İyon Değişimi ve Ters Osmoz Sistemleri

birbirleri ile kıyaslandıktan sonra en son olarak da yeni kurulmuş olan bir Ultra Filtrasyonlu bir Ters Osmoz sisteminin detaylı ekonomik analizi yapılmıştır.

Bulduğumuz birim  $m^3$  su fiyatları evsel kullanımlar için hala pahalı sayılabilir düzeydedir. Fakat evsel kullanım oranlarının artması İSKİ'nin mevcut üst tarifelerine geçtiğinden hemen hemen aynı fiyat değerine gelmekte hatta ticari ve sanayi kullanıcıları için bu proses ile üretilen su daha ekonomik olmaktadır.

Sonuç olarak öncelikle bu proses ticari ve sanayi işletmelerinde yaygınlaşmalı böylece kullanım arttıkça rekabet gelişir ve teknolojisi artar dolayısıyla da maliyetler giderek düşer. Büyük kapasiteli tesislerde termik yöntemlerin işletme ve yatırım açısından daha ekonomik olduğu özellikle enerjinin ucuz olduğu bölgelerde büyük kapasitedeki tuzdan arındırma tesislerinin çok ekonomik olduğu görülmektedir. Küçük kapasiteli 20000  $m^3$ /gün'den küçük tesislerde membran filtrasyon yöntemleri gerek ekonomiklik gerekse esnek kullanım açısından termik sistemlerden işletme ve yatırım maliyetleri açısından daha ekonomik olmaktadır. Unutulmamalıdır ki hiçbir su kaynağı doğal kaynaklarından ucuz değildir ve aynı zamanda eğer su kaynağımız yoksa her türlü maliyete de katlanması hayatın devamı için zorunludur.

**KAYNAKLAR**

Akinsete, V.A. ve Duru, C.U., (1979),”Solar Energy”, Solar Energy, 23 (271).

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 Manuel Office Of US, Enviromental Protection Agency.

Alibaş, K. ve Baycık H., (1987), “Güneş Enerjisi ve Güneş Enerjisinden Yararlanma Olanakları”,Mühendis ve Makine, 29 (331):30-35

American Chemical Society, (1960), Saline Water Conversion, American Chemical Society, Washington D.C.

American Water Works Association Inc., (1971), Water Quality and Treatment: A Handbook of Public Water SUPPLİES; American Water Works Association Inc., New York.

American Water Works Association Inc., (1999), Water Quality and Treatment: A Handbook of Community Water SUPPLİES; American Water Works Association Inc., New York.

American Water Works Association , (2006), Desalination Of Seawater And Brackish Water William C. Lauer

American Water Works Association, (2006), A Novel Approach To The Seawater Desalination Using Dual-Staged Nanofiltration.

Anonim, (1998), Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği, 4 Eylül 1988 Tarih ve 19919 Sayılı Resmi Gazete.

Anonim, (2003), Su Ve Atık Su Arıtımında Membran Teknolojileri, Çevre Teknolojileri, Bilgi Hizmetleri.

Anonim, (2005), TS 266 Sular – İnsani Tüketim Amaçlı Sular, TSE, Ankara

Arıkol, M., (1988), “Güneş Enerjisi ile Proses Isısı Üretimi”, Mühendis ve Makine, 29 (342): 17-23.

Baker, R.W.,(2004), Membrane Technology And Application, Second Edition, Wiley Publishers England

Bakish, R., (1973), Practice of Desalination, Noues Data Corporation, Park Ridge, New Jersey

Bayülken, A. (1973) Çift Maskatlı Nükleer Tesislerin Optimal Boyutlandırma Metodları ve Elde Edilecek Ürünlerin Fiyatlandırılması, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, İstanbul

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

Bipin, S.P.,(1988), Reverse Osmosis Tecnology Application for High Purity Water Production, Marcel Dekker Inc., New York.

Botkin, D. Keller, E., (1995), Enviromental Science, John Wiley Sons, Newyork USA

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 Enhacement Through Source Protection, Pojasek RB.(ed), Ann Arbor Science, Ann Arbor.

Burkut, E. (1999) Deniz suyundan yararlanma yöntemleri, *Termodinamik*, 11, 46-47.

Can, M., Etemoğlu, A.B. ve Avcı, A., “Deniz Suyundan Tatlı Su Eldesinin Teknik ve Ekonomik Analizi”, Uludağ Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 7, No: 1, s. 147-160, 2002

Chow, W., Brocksen, R.W., Wisniewski, J., (1995), “Clean Water: Facors That Influence Its Availability, Quality and Its Use”, International Clean Water Conference, 28-30 November 1995, La Jolla, California/USA.

Clawson, M. Ve Landberg, H.H., (1972), Desalting Sewater Achievements and Prospects, Gordon and Breach Science Publishers, New York.

Daniels, F., (1971), Direct Use of the Sun’s Energy, Yale University Pres, New Haven and London.

Darwish, M.A., Yousef, F.A. ve Al Najem, N.F., (1977), “Energy Consumption and Costs With a Multi-Stage Flash (MSF) Desalting System”, *Desalination*, 109:285-302

Darwish, M.A.,Al Najem, A.N., (2001), “Cogeneration Power Desalting Plants In Kuwait”, A New Trend With Reverse Osmosis Desalters, *Desalination*, 93:57-68

Desalting Plants Invertory Reports, 1990

- Eren, H. Batur, B. (2003), Tuzdan Arındırma Sistemleri Ve Vir Güç Santralinin Tuzdan Arındırma Tesisinin İncelenmesi, Tesisat Mühendisliği Dergisi MMO Yayını Sayı 100
- Eroğlu, V., (2008), Su Tasfiyesi, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- Farwati, M.A., (1997), “Theoretical Study of Multi-Stage Flash Distillation Using Solar Energy”, Energy (The International Journal, 22(1):1-5
- GÜLER, Ç. ve Z. ÇOBANOĞLU, 1997. Su Kalitesi, Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi No: 43, Birinci Baskı, Ankara.
- Hall, D.O. ve Morton, J., (1981), “Solar World Forum”, Proceedings of the International Solar Energy Society Congress, 23-28 Aug. 1981, England.
- Hamed, O.A.,(2001), Simulation Of Multistage Flash Desalination Process, Desalination: 134-195-203.
- İstanbul sular idaresi genel müdürlüğü (1973), İçme Suyu Mühendisliği, İnkılap ve Aka Basımevi, İstanbul.
- Janisch, E. (1994) *Drechsler Gate, Solare Meerwasserentsalzung*, Deutschland.
- Jawad, M.A., Ebrahim, S., Al-Atam, F., ve Al-Shammari, S., (1997), “Pretreatment of the Municipal Wastewater Feed for Reverse Osmosis Plants”, Desalination, 109:221-223.
- Karagiannis, C.I., Soldatos, P.G. (2007), Water Desalination Cost Literature: Desalination223: 448-456
- Kestioğlu, K., Şen, M.(2003), Su Ve Atık Su Arıtımında Fiziksel Temel İşlemler, Uludağ Üniversitesi Mühendislik Ve Mimarlık Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Bursa
- KOCHER, J., B. DVORAK, S. SKIPTON, 2006. Drinking Water Treatment: An Overview, University of Nebraska Lincoln Extension EC703, USA.
- Kühne, G. (1973) *Praxis der Ionenaustauscher in der Trinkwasseraufbereitung*, Bayer, Leverkusen.
- Macaway, P.W., Peterson, D.F.,(1969), Large Scale Desalting Praeger Publishers
- Marquardt, K. (1988) *Erzeugung von Reinwasser II, Neue Techniken und Verfahren für hohe und höchste Ansprüche*, Expert Verlag.
- Metcalf and Eddy, (1991), Wastewater Engineering Treatment Disposal Reuse, Third Edition, McGraw Hill, California, USA

- Morris, R.M., ve Hanbury, W.T., (1991), Proceedings of the New Technologies for the Use of Renewable Energy Sources in Water Desalination, Athens, Greece, Sec 1:30-50.
- Morris, R.M., (1993), The Development Of Multistage Flash Distillation Process : A Designer's Viewpoint, Desalination, 93: 57-68
- Mulder, M.(2003), Basic Principles Of Membrane Technology, Second Edition, Huwer Academic Publishers, Netherlands.
- Othmer, K., (1970), Encyclopedia of Chemical Technology, Second Ed., Vol. 22.
- ÖZTÜRK, M. 2005, Ters Ozmos Sistemlerle Suların Arıtımı. Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Ders Notları.
- Popkin, R., (1968), Desalination, Frederick A. Praeyer, New York.
- Silver, R.S., (1978) Steam Plant Aspects of Seawater Distillation, Mechanical Engineering Publications LTD London
- Sözen S., Teksoy S., (2007), A Guide to Autonomous Desalination Systems Concepts Adira Handbook ITU İstanbul Turkey
- Spiegler, K.S., (1962), Salt Water Purification, John Wiley and Sons Inc., New York.
- Şahin, B (1995), Enerji Maliyeti Yıldız Teknik Üniversitesi Yayını Yayın No 299
- Tahiri, K.(2001), The Prospects Of Fresh Water Supply For Tan City From Nonconventional Water Resources, Desalination, 135: 43-50
- UDEH, P.J. 2004. A Guide to Healthy Drinking Water: All You Need to know about the Water You Drink. iUniverse Publishers, USA.
- Uyarcı, Y. Öz, S.E.,(1987), Güneş Enerjisi Ve Uygulamaları, Gazi Üniversitesi Yayını Ankara.
- Wade, N.M.,(2001), Distillation Plant Development And Cost Update, Desalination, 136:3-12
- Water Science And Technology Board, (2008), Desalination Of A National Perspective
- World's Water Organization–Pacific Institute (2006) Water Data ([www.worldwater.org](http://www.worldwater.org)).
- Worldwide Desalination Research And Technology Survey, 1994

Yadav, Y.P. ve Prasad, A.S., (1995),”Performance Analysis of a High Temperature Solar Distillation Systems”, Energy Conversion and Management (An International Journal), 36(5):365-374

[www.iski.gov.tr](http://www.iski.gov.tr)

[www.tedas.gov.tr](http://www.tedas.gov.tr)

[www.nap.edu](http://www.nap.edu)

<http://ozmaveraunnehir.blogspot.com/2009/01/deniz-suyundan-tatl-su-elde-etme.html>

**ÖZGEÇMİŞ**

|               |                   |  |
|---------------|-------------------|--|
| Doğum tarihi  | 14.07.1983        |  |
| Doğum yeri    | İstanbul          |  |
| Lise          | 1997-2001         | Yedikule Lisesi  |
| Lisans        | 2001-2006         | Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fakültesi<br>Makine Mühendisliği Bölümü                              |
| Yüksek Lisans | 2006-Devam Ediyor | Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri<br>Makine Müh. Anabilim Dalı, Enerji Makineleri<br>Programı |

**Çalıştığı kurumlar**

2007 Türk Telekomünikasyon A.Ş.