

DENİZ SUYUNDAN TATLI SU ELDESİNİN TEKNİK ve EKONOMİK ANALİZİ

Muhiddin CAN*
Akın B. ETEMOĞLU
Atakan AVCI

Özet: Nüfus artışı, sanayileşme ve etkin tarım faaliyetlerinin, dünyanın kısıtlı yeraltı ve yerüstü kaynaklarını tükettiği ve çevre sorunlarını artırdığı 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 kullanılmayacak 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 ozmoz, Elektrodializ, İyon değişimi, Ekonomik analiz.

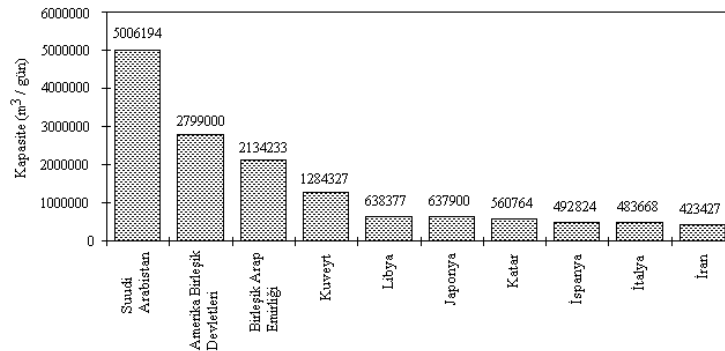
Technical and Economical Analysis of Desalination Processes

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

Günümüzün sanayileşmiş ülkeleri yetersiz su rezervlerine rağmen içme suyu ihtiyaçlarını rahat karşılamaktadırlar. Buna karşın dünya nüfusunun hemen hemen %25'i ciddi boyutlarda içme suyu sıkıntısı çekmektedir. Aynı zamanda bu bölgelerde kullanılan içme suları hijyenik şartlardan yoksundur. Dünya üzerindeki su potansiyelinin yalnızca %0.5'i içilebilecek nitelikte olup, %97'si deniz suyu, %2.5'i ise tuz içermesinden dolayı tuzlu yer altı suyu olarak sınıflandırılmaktadır. Söz konusu tuzlu sular içilebilecek nitelikte suya dönüştürülürse su temini açısından sınırsız bir potansiyel elde edileceği açıktır. 1996 yılı itibariyle dünya üzerindeki tuz giderme tesislerinin toplam kapasitesi günlük 17.5 milyon m³'tür. Şekil 1'de dünyada en yüksek kapasiteyle deniz suyundan tuz gidererek tatlı su elde eden on ülke görülmektedir. Türkiye ise yaklaşık 3600 m³/gün kapasite ile bu ülkelerin çok gerisinde kalmaktadır (World's Water Org., 1996).



Şekil 1:
Tuz giderme kapasitesi en yüksek on ülke (World's Water Org., 1996).

* Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 16059 Görükle - Bursa.

2. TEORİK TEMEL

2.1. Deniz Suyu Özellikleri ve İçme Suyu Kalitesi Bakımından Tuzlu Su

İçme suyu temini dünyanın giderek büyüyen bir sorunu olup, su sıkıntısının giderilmesinde kullanılan çeşitli yollar mevcuttur. Bunlar; tutumlu ve ölçülü bir su sarfiyatı, yağmur sularının biriktirilip kullanıma sunulması, su fazlası olan bölgelerden su kıtlığı çekilen bölgelere su naklinin sağlanması, deniz suyu veya az tuzlu yer altı sularının tuzlarının çeşitli metotlarla giderilmesi olarak sayılabilir. Gerek yaşamın ve gerekse kalkınmanın vazgeçilmez bir girdisi olan suyun kirletilmesinin ve gereksiz sarfiyatının önüne geçilmesi şarttır. Ülkelere göre yıllık sektörel su kullanımı Tablo I’de gösterilmektedir.

Eski çağ denizlerinden ve yağmurlarından oluştuğu belirtilen fosil su rezervlerinin çıkarılarak dünya üzerinde yaşanan su sıkıntısına çözüm getirme fikri ise henüz bir tartışma ve araştırma konusudur. Magmaya çok yakın bölgelerdeki bu rezervlerin yüksek mineral içeriğinden dolayı, bu suların içilebilir hale getirilmesi için yüksek maliyetli tekniklere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durum ise fosil su rezervlerinin cazibesini azaltmaktadır. Buz dağlarının yük gemileri ile kutup bölgelerinden kurak bölgelere taşınması yoluyla su temini ise taşıma maliyetleri nedeniyle günümüzde olabilir görünmemektedir. Deniz suyundan tatlı su elde edilmesi yüksek maliyetlere ihtiyaç duyduğu için, kullanılacak tekniğin fizibilite etüdünün ayrıntılı olarak yapılması gereklidir.

Dünya üzerindeki denizlerin tuzluluk içerikleri Tablo II’de verilmiş olup tuz oranlarının % 0.7- %4.3 arasında değiştiği görülmektedir. Denizden denize tuz içeriği büyük ölçüde farklılıklar gösterir. Denizlere olan tatlı su akışına bağlı olarak tuz içeriği yüksek yada az olabilmektedir. Karadeniz, Marmara, Ege ve Akdeniz’e göre daha az tuzlu bir denizdir. Bu, düşük tuzluluk oranlarında, Karadeniz’e dökülen Tuna, Bug, Dinyester, Dinyeper, Don, Kızılırmak gibi büyük akarsuların önemli payı vardır. İstanbul ve Çanakkale boğazları aracılığıyla Karadeniz ile Ege Denizi arasında su alışverişi sağlayan Marmara Denizi’nin yüzey suları Ege ve Akdeniz’e göre daha az Karadeniz’e göre ise daha tuzludur. 15-20 m derinlikte yüzey katmanında %2.2 olan tuzluluk oranı, 30 m’de %3.7’ye, 150 m’de ise %3.85’e ulaşmaktadır.

Tablo I. Ülkelere göre yıllık sektörel su kullanımı (World’s Water Org.,1996).

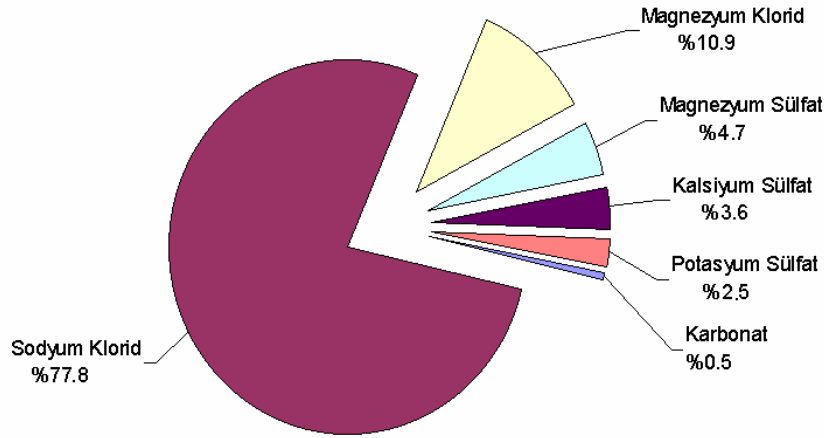
		Toplam Su Sarfiyatı	Evsel Kullanım	Endüstriyel Kullanım	Tarımsal Kullanım	Evsel Kullanım	Endüstriyel Kullanım	Tarımsal Kullanım
Ülkeler	Yıl	(km ³ /yıl)	(%)	(%)	(%)	(m ³ /kişi/yıl)	(m ³ /kişi/yıl)	(m ³ /kişi/yıl)
ABD	1995	469.00	12	46	42	203	777	709
Japonya	1990	90.80	17	33	50	122	237	359
Türkiye	1992	31.60	16	11	73	77	53	346
Avusturya	1991	2.52	19	73	8	58	222	24
Belçika	1990	9.00	11	85	4	97	746	35
Danimarka	1990	1.20	30	27	43	68	61	98
Fransa	1994	34.88	16	69	15	94	407	89
Almanya	1990	58.85	14	68	18	100	484	128
Yunanistan	1990	6.00	8	29	63	45	164	357
İtalya	1990	56.20	14	27	59	138	265	580
Hollanda	1991	7.80	5	61	34	25	300	167
İspanya	1994	33.30	12	26	62	100	218	519
İsveç	1994	2.96	36	55	9	120	183	30
İsviçre	1994	2.60	23	73	4	81	256	14
İngiltere	1994	11.75	20	77	3	40	155	6
Rusya	1994	77.10	19	61	20	100	327	105
Kanada	1990	43.89	11	80	9	157	1144	114
Çin	1980	460.00	6	7	87	22	25	314
Brezilya	1990	36.47	43	17	40	93	37	86
Birleşik Arap Emirliği	1995	2.11	24	9	67	207	78	578

Ege Denizi’nin Karadeniz ve Marmara’dan daha tuzlu olmasının nedeni, Karadeniz ve Marmara’dan gelen yüzey sularının Ege Denizi’nde saatte 2 km’yi aşan bir üst akıntı oluşturmasıdır. Bu üst akıntı Yunanistan kıyılarını izleyerek güneyde Akdeniz’e ulaşır.

Tablo II. Dünya üzerindeki çeşitli denizlerin tuzluluk oranları (Janisch, 1994).

Denizler	Tuz Konsantrasyonu (‰)
Standart deniz suyu	35
Baltık denizi	7
Hazar denizi	13
Pasifik okyanusu	34
Atlantik okyanusu	36
Kızıldeniz	43
Basra Körfezi	43
Karadeniz	18
Marmara denizi	22
Ege denizi	38
Akdeniz	43

Tuzluluk oranı genelde %3.8 olan Ege Denizi'nin batı kesimindeki suların daha az tuzlu olmasının nedeni budur. Akdeniz, kavrucu yaz günlerinde buharlaşma ile yitirdiği suyun pek azını akarsu ve yağışlarla geri alabildiği için denizin tuzluluğu giderek artmaktadır. Deniz suyunun bileşenleri Şekil 2'de açık olarak ifade edilmektedir.



*Şekil 2:
Deniz suyunun kimyasal bileşenleri (Künzel, 1989).*

Deniz suyu normalde doğada mevcut bulunan bütün elementleri içermektedir. Denizlerde organik ve inorganik olarak bulunan bu bileşenler, 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 problemlerdir. Sistem içinde artan sıcaklık, tuzun çözünme kabiliyetini azaltır ve bu durum çökelmeye yol açar (Künzel, 1989). Çökeltme oluşumunun yüksek sıcaklıklarda meydana gelmesi sebebiyle çalışma sıcaklığının en fazla 120°C'da tutulması çökeltme oluşumunu engelleme açısından faydalıdır.

Mantar, bakteri ya da yosun oluşumunun önlenmesi için bakır tuzunun yada başka bir deyişle hipokloritin (NaOCl) kullanılması şarttır. Basit buharlaştırıcı damıtma sistemlerinde düzenli bir tuz alışverişi çok önemlidir. Özellikle ters ozmoz sistemlerinde, tesiste oluşabilecek problemlerin ortadan kaldırılabilmesi için bir ön işlem mutlaka gereklidir. İşlenmemiş suyun kimyasal ön hazırlığından vazgeçilmesi halinde istenilmeyen oluşumların filtrasyonu için kum-kuars ve aktif kömür filtresi kullanılmalıdır (Künzel, 1989).

2.2. Deniz Suyunun Özellikleri

2.2.1. 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. İçindeki brom ve iyotların klor ile değiştirildiği 1 kg sudaki toplam klor, iyot ve bromun gram olarak miktarına tuzluluk denir ve aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$S = 0.03 + 1.805 Cl^-$$

S : tuzluluk oranı (%)

Cl⁻ : klor miktarı (gr)

Son zamanlarda daha pratik ve güvenilir olduğu için tuzluluk tayini elektriksel iletkenlik ölçümleriyle yapılmaktadır. Tuzluluk denizlerde genel olarak derinlikle artar. Bu artış miktarı büyük değildir. Yazın ise buharlaşma nedeniyle tuzluluk artışı yüzeye doğrudur. Okyanuslarda tuzluluk %3.4 - %3.8 arasındadır. Tuzluluğun derinliğe göre diğer kısımlara nazaran daha hızlı değiştiği bölgeye haloklin tabakası denir.

2.2.2. Deniz Suyunun Sıcaklığı

Deniz yüzeyinde ve yüzeye yakın bölgelerde su sıcaklığı hem mevsimlik hem de günlük değişim gösterir. Su derinliğinin az olduğu kıyı kesimleri dışında, deniz tabanına yakın bölgelerde su sıcaklığı önemli bir değişiklik göstermez. Suyun yüzeyi ile deniz tabanı arasında sıcaklığın derinliğe göre diğer kısımlara nazaran çok daha hızlı değiştiği bölgeye termoklin tabaka denir. Termoklin bölgesinin üzerinde yer alan su tabakasının sıcaklığı yazın dipteki tabakanın sıcaklığından daha fazladır. Kış mevsiminde ise yazlara göre zıt bir durum gözlenir. Denizlerde üç çeşit termoklin bulunur. Birincisi daimidir ve oldukça derinlerde oluşur. İkincisi mevsimlidir, ilkbaharda oluşur ve sonbahar sonunda ortadan kalkar. Üçüncüsü ise gündüzdür, sabah oluşup akşam ortadan kalkar.

2.2.3. Deniz Suyunun Yoğunluğu

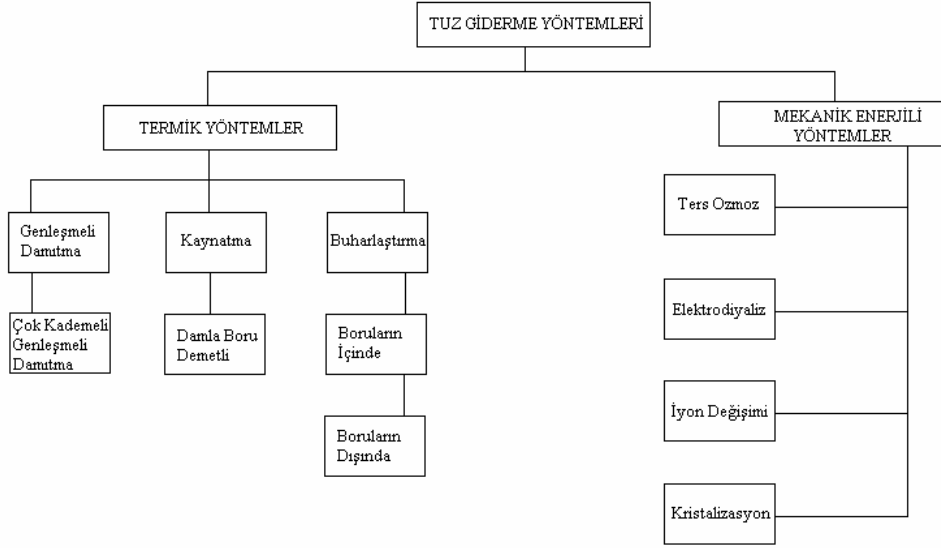
Yoğunluk, deniz suyunda tabakalaşmaya ve akıntıların oluşmasına etki eden önemli bir faktördür. Denize genellikle dipten deşarj edilen atık suların yoğunluğu deniz suyuna göre daha düşük olduğundan yüzeye doğru yükselir ve deniz suyu ile karışarak seyrelirler. Bu arada mevcut tabakalaşmaya göre yüzeye çıkarlar yada belli bir derinlikte kalırlar. Deniz suyunun yoğunluğu; basınç, derinliğe, tuzluluğa ve su sıcaklığına bağlı olarak değişiklik gösterir ve 4°C'deki yoğunluğu 1000 kg/m³ olan saf sudan fazladır. Yoğunluk, tuzluluk ve sıcaklık değişimlerine bağlı olarak derinlikle değişir. Genellikle az yoğun bir üst tabaka ve tabanda yoğun bir alt tabaka mevcuttur. Bu iki tabaka arasında yoğunluğun derinliğe göre hızla değiştiği pinoklin tabaka yer alır.

2.3. Deniz Suyundan İçme ve Kullanma Suyu Elde Etme Teknikleri

Tüm doğal sular belli konsantrasyon oranlarında özünmüş tuz içerirler. Doğal sulara ek olarak endüstri de doğrudan kullanıma uygun olmayan tuzlu su üretir. İçerdikleri toplam çözünmüş madde konsantrasyonuna (TÇM) bağlı olarak sular sınıflandırılmaktadır. Buna göre; TÇM<1000 mg/l ise tatlı su, TÇM≈1000-35000 mg/l ise acı su (yer altı suyu), TÇM≈35000 mg/l ise deniz suyu olarak adlandırılır. Deniz suyunun tuzunu gideren yöntemler Şekil 3'de sınıflandırılmıştır.

2.3.1. Termik Yöntemler

Deniz suyunun tuzunu giderme yöntemlerinde, günümüzde buharlaştırıcı termik metotların çok büyük bir yeri ve önemi vardır. Bu yöntem üretilen suyun çok temiz ve kaliteli olmasını sağladığı gibi, tesisin tam otomatik ve durmadan işletilerek büyük miktarlarda taleplerin karşılanmasını mümkün kılmaktadır. Buharlaştırıcı damıtma tesislerinin büyüklüklerine göre günlük tatlı su üretimi 5000-50000 m³ olarak değişmektedir. Bunun yanı sıra tatlı su üretilirken 50-500 gr/m³ tuz üretimi de yapılabilmektedir. Bu özelliği, termik yollarla deniz suyundan içme ve kullanma suyu üretim teknolojisini, denizlere kıyısı olan veya su sıkıntısı çeken bölgeler için vazgeçilmez kılmaktadır. Üretilmiş olan tatlı su kondensatı ve tuzlu su konsantrasyonu sıcaklıklarının, sisteme giren henüz işlenmemiş ham deniz suyunun, ön ısıtılması işleminde kullanılması, ayrıca çok kademeli bir sistem olması sonucu ısı veriminin yüksekliği, "Brüde Kompresyonunun" bu sistem içinde mevcut bulunması, aynı zamanda ısı enerjisinin mevcut yapı içerisinde minimum kayıpla barındırılabilmesi olanağı, termik yollarla tatlı su üreten tesisleri enerji tasarrufu sağlama konusunda üstün duruma getirmektedir.



Şekil 3:
Tuz giderme yöntemleri.

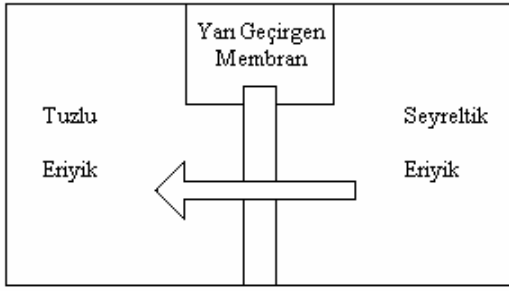
Deniz suyundaki yüksek tuz içeriğinden dolayı meydana gelebilecek korozyon tehlikesi ve sistem içinde yoğunlaştırıcı/buharlaştırıcı vazifesi gören boru demetlerinin iç çeperlerinde oluşabilecek tortulaşma (kabuklaşma) çok kademeli sabit entalpi buharlaştırıcıları yöntemi ile en aza indirilebilir yada tamamen ortadan kaldırılabilir.

Dik borulu damıtıcıların (VTE: vertical tube evaporation) Brüde Kompresyonu ile kullanılması, tesislerde yer sarfiyatının azalmasına ve kompakt bir yapı sağlanmasına imkan tanımaktadır.

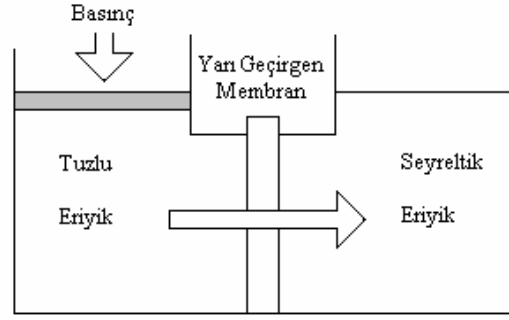
İşletme şartlarının ve tesis boyutlarının tayininde, tortulaşma oluşumu meydana gelmeden damıtma, göz önünde bulundurulması gereken önemli bir noktadır. Deniz suyunun tortulaşmasına sebep olan maddeler genel itibarıyla alkalik magnezyum hidroksit ve kalsiyum karbonattır. Bu bileşikler deniz suyunda 70-90°C arasında reaksiyona girip tortulaşmaya neden olmaktadır. Yine deniz suyunun bileşenlerinden olan kalsiyum sülfat, alçı taşı (gips) oluşumuna yol açmaktadır. Bu bileşiklerin çözünürlüğünü zorlaştırmak ve tortulaşmaya engel olmak için deniz suyunu demir klorid, polifosfat ve kükürt gibi kimyasal maddelerle ön işleme sokmak gerekmektedir. Bu ön işlem vasıtasıyla deniz suyu 120°C'a kadar tortulaşma oluşumu tehlikesi olmaksızın ısıtılabilir. Sonuç olarak, tesisin işletme sıcaklığı, tortulaşmaya neden olan bileşenlerin çözünürlük doyma sıcaklığının altında olmalıdır.

2.3.2. Ters Ozmoz Yöntemi

Ozmoz terimi, çözelti halindeki bir sıvının kendiliğinden yarı geçirgen bir zardan geçmesi olayını tanımlar (Şekil 4.a). Bu yolla farklı konsantrasyonlara sahip iki çözelti çözüldüğü sıvıdan ayrılır. Bu yarı geçirgen membranlar çok ince bir materyalden oluşmaktadır. İdeal şartlarda bu membran, çözeltiyi inorganik ve organik maddelerden, kolloitlerden, bakterilerden, istenmeyen moleküllerden ve ayrıca iyonlarından ayırarak saf çözelti haline getirir. Çözelti akışı daima seyreltilmiş saf çözeltiye doğru gerçekleşmektedir. Bu akış ozmotik basıncın dengelendiği ana kadar sürmektedir. Bu an çözelti akışının membranın iki yönünde de gerçekleştiği zaman dilimidir. Bu olayda seyrelmeye ulaşma isteği ile, konsantrasyon çözeltide meydana gelen hacim artmasının yol açtığı hidrostatik yüksek basınç arasında dinamik bir denge söz konusudur. Bu hidrostatik yüksek basınç çeşitli konsantrasyonlara sahip çözeltiler arasındaki ozmotik basınç farkına eşittir. Ozmotik basınç iki çözelti arasındaki konsantrasyon farkına bağlıdır. (Marquardt, 1988).



Şekil 4.a.:
Ozmoz



Şekil 4.b.:
Ters Ozmoz

Ters ozmozda, tıpkı ozmoz olayındaki gibi farklı konsantrasyonlara sahip iki çözelti, yarı geçirgen bir membranla ayrılmıştır. Konsantre çözelti tarafına dışarıdan osmotik basınçtan daha yüksek bir basınç uygulanırsa olay tersine döner ve bu duruma ters ozmoz denir (Şekil 4.b). Bu durumda sıvı, çözelti konsantrasyonunun yüksek olduğu taraftan membran içinden geçerek alçak olan tarafa doğru akar. Membran içinden geçen bu çözeltiliye permead adı verilir. Basınç uygulanan taraftaki çözünmüş maddeler belli bir maksimum değere kadar yükselir. Meydana gelen yüksek konsantrasyonlu bu çözeltiliye konsentrat adı verilir.

2.3.3. Ters Ozmozun Kullanımı

Ters ozmoz yöntemi, gelişen teknoloji ile tuz giderme işleminin yanısıra her türlü arıtma alanında kolaylıkla kullanılabilir bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Düşük kapasiteli sistemlerde ters ozmoz yönteminin diğer tuz arıtma yöntemleriyle karşılaştırıldığında (iyon değişimi, elektrodializ) daha ekonomik bir yöntem olduğu literatür araştırmasından görülmektedir (Billet, 1981). Sadece tuz arıtımında değil ayrıca organik maddelerin ayrıştırılmasında, belli katyon ve anyon oranlarının ayarlanmasında ayrıcalıklı bir teknolojiye sahiptir. Ters ozmoz yöntemi, sahip olduğu, kesiksiz ve otomatik işletme olanağı, faz ve sıcaklık değişimlerinden az etkilenen düşük enerji kullanımı, boyut sınırlanmasının olmayışı, modüler tasarımın yapılabilmesi, kimyasal katkı ihtiyacının olmayışı, ilk yatırım maliyetinin düşük oluşu gibi avantajları nedeniyle geniş bir kullanım alanına hitap eder. Bu kullanım alanları :

1- İçme suyu;

Ters ozmoz yöntemiyle, işlenmemiş suyun toplam tuz miktarı, karbonat sertliği ve toplam sertliği, sülfat ve nitrat miktarı ile düşürülür. Çözülmemiş suda su içerisinde bulunan yabancı maddeler ve bakteriler vb. bu yöntemle ayrıştırılır.

2- İşletme suyu;

Endüstride ters ozmozun çok geniş bir kullanım alanı vardır. Soğutma suyu ve kazan besleme suyu hazırlanmasında, elektronik parçaların fabrikasyonunda gerekli saf suların işlenmesinde ayrıca gıda, kozmetik, ilaç ve kimya endüstrilerinde kullanılır. Atık su arıtma tesislerinde, ağır metallerin ayrıştırılması amacıyla ters ozmoz son basamak olarak kullanılır. Çözeltiler ters ozmoz ile konsantre edilebilir. Böylece prosesi besleyen değerli madde ve kimyasallar geri kazanılmış olur. Ayrıca, tıp alanında, hemodiyaliz için gereksinim duyulan su ters ozmoz vasıtasıyla hazırlanır ve bu su tuzların atılmasında kullanılır. Burada önemli olan membranın mikrop ve bakteri tutma özelliğidir.

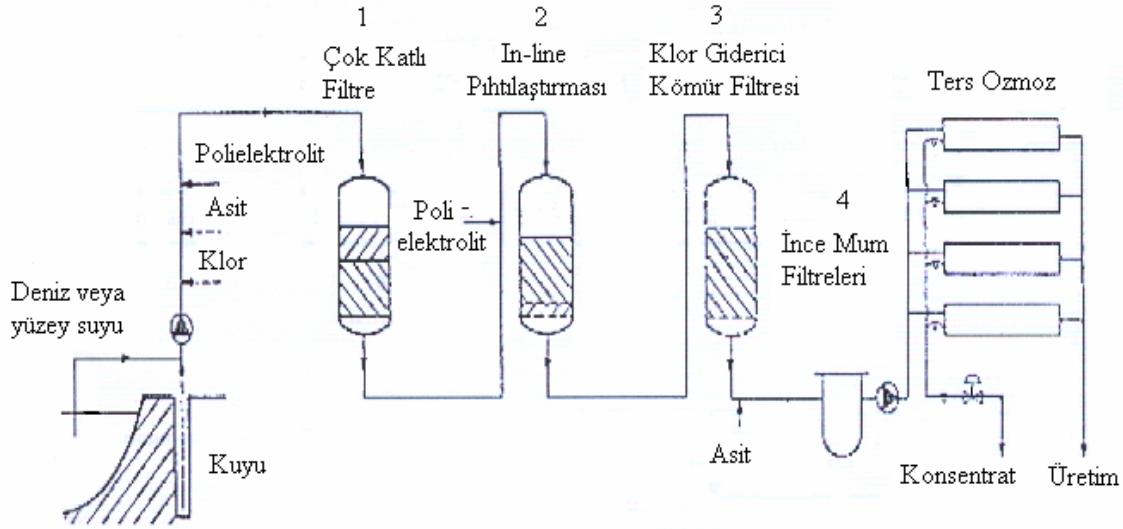
3- Deniz suyu veya acı suyun tuzdan arındırılması

Deniz suyu ters ozmoz yöntemi ile ekonomik olarak tuzundan arındırılabilir. Tuz oranı ve suyun bileşimi membranların fiziksel ve kimyasal dayanıklılığında önemli rol oynamaktadır. Yüksek tuz oranı ve bunun yol açtığı yüksek osmotik basınç değerinin, acı su ve deniz suyunda ters ozmozun kullanılabilmesi için 30-80 bar civarında olması gerekmektedir ve dolayısıyla maliyet artmaktadır. Modüllerin ve diğer tesis parçalarının yapısal olarak belli şartlar taşıması zorunluluğu vardır. Bu yöntemin herhangi bir engele uğramadan kullanılabilmesi için acı suyun veya deniz suyunun ön işleme tabi tutulması şarttır. Ön işlem; membran çeşidi, modül sistemi ve işlenecek suyun bileşimi göz önünde bulundurularak yapılmalıdır. Membranı tıkayan ve zarar veren maddeler tesis çalışma verimini düşürür, membran yapısını ve materyalini bozar. Sonuç olarak permeadda yüksek tuz miktarı oluşur (Marquardt, 1988).

Ön İşlem Basamakları

Ön işlem ile ulaşılabilecek neticeler şunlardır:

- pH değeri, membran malzemesinin dayanıklılığına bağlı olarak tercihen 5-7 asidik karaktere ayarlanır.
- Süspansiyon olmuş partiküller ve organik içerik ön temizleme ile ayrılır. Böylece membran üzerinde kir oluşumu engellenir.
- Su sıcaklığı 24-27°C'a ayarlanır.
- Metalhidroksit ve metaloksithidratın yaratabileceği tortulaşma tehlikesi ön işlem ile önlenir.
- Doyma konsantrasyonu aşıldığı takdirde karşılaşılabilecek tortu oluşumu engellenir.
- Mikroorganizmaların membran üzerinde oluşturabileceği kirlenme önlenir.



Şekil 5:

Ters ozmoz tesislerindeki ön temizleme sistemleri.

Şekil 5'de ters ozmoz tesislerindeki kullanılan ön temizleme sistemi şematik olarak gösterilmiştir. Ön temizleme işlemi sırasında işlenecek su içerisinde süspansiyon olmuş ve çözülmüş organik ve inorganik maddeler ayrıştırılır. Ardından bakteri oluşumunu önlemek için *havalandırma* işlemi gerçekleştirilir. Bu işlemde fosfat ve asit dozajlamasının yanısıra dezenfekte edici madde kullanımı ve sertlik azaltıcı iyon değiştirme işlemleri gerçekleştirilir. Bu işlemler ile membranı bloke eden unsurlar ortadan kaldırılmış olur.

Membranlar sistem içindeki esas ayırıcı birimdir. Amaca göre hazırlanmış membranlar çeşitli modül sistemleri ile birleştirilerek işlenecek suya en uygun sistem kurulmuş olur. Membranlar genelde şu biçimlere sahiptirler.

- Düz yada tabaka biçimli membranlar
- Spiral biçimli membranlar
- Boru biçimli membranlar
- Boş elyaf membranları
- Hortum membranları

Bunların dışında asimetrik ve kompozit membranlarda mevcuttur. Günümüzde tesislerde kullanılan membranların teknik açıdan geliştirilmelerine devam edilmektedir. Su hazırlanmasında teknik ölçülere göre en çok kullanılan membranlar selülozasetat ve poliamid bazlı kompozit membranlardır. Destek tabakaları genelde süngerimsi polisüflon ve polipropilendir (Marquardt, 1988). Membran şekli ve modül seçiminde dikkat edilmesi gereken unsurlar şunlardır:

- Membran yüzeyini yüksek basınca göre desteklemek
- Olabildiğince büyük membran yüzeyini küçük birimlerde toplamak

Membranın kondensat tarafında kalmış yüzeyindeki çözünmüş maddeleri yok etmek ve membran üzerindeki akışın düzenli olmasını sağlamak.

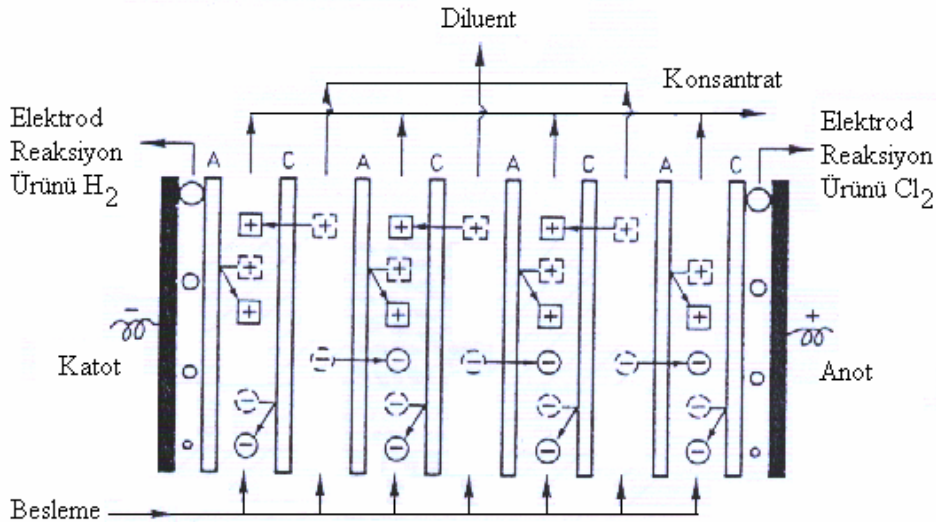
2.3.4. Ters Ozmoz Sistemlerinde Maliyet

Ters ozmoz tekniği ile Akdeniz'in suyundan elde edilen suyun özellikleri; pH 6.2, iletkenlik 350-600 $\mu\text{S}/\text{cm}$, sertlik 1-2 Fr. ve elektrik maliyeti 0.08 $\$/\text{kWh}$ kabul edilerek, ters ozmoz tekniği ile denizden elde edilen bir ton kullanma suyunun üretim maliyeti yaklaşık 1 \$ civarındadır. Bu yöntem ile çok lezzetli olmayan ancak içilebilir nitelikte su elde edilebilir. Elde edilen su çok yumuşak olup temizlikte kullanımı açısından uygundur. Ancak çok miktarda klorür içerdiğinden koroziftir. Korozyona karşı gereken önlemler alındığında söz konusu su özellikle turistik tesisler için çok kullanışlı olmaktadır. Deniz suyundan iyi kalitede içme suyu üretecek ters ozmoz sistemlerinin maliyeti, kullanma suyu üreten sistemlerin maliyetinden daha fazladır. Ancak bu maliyet beş yıla bölünüp üretilen suyun maliyetine eklendiğinde bir ton suyun maliyetinin 1.5 \$ gibi oldukça yüksek bir değer olduğu belirlenmektedir (Burkut, 1999).

Cerci ve ark. (1999) bir tuz giderme tesisinin temel elemanlarının her biri için mekanik ve tuzluluk ekserjilerinin tespitinin yanı sıra tipik ideal ve gerçek ters ozmoz ile tuz giderme işlemlerinin ekserji analizini detaylı olarak vermişlerdir. Çalışmalarında, ekserji bozulmasının değişik elemanlardaki basınç kayıpları, karışım, kısılma ve ayrılmadan dolayı meydana geldiğini gösterdiler.

2.4. Elektrodializ Yöntemi

Elektrodializ, elektrik alanı kullanılarak, seçilmiş iyon zarlarıyla eriyikten elektriksel olarak yüklenmiş taneciklerin ayrılması işlemidir. Elektrodializin esası şematik olarak Şekil 6'da gösterilmektedir. Bir elektrodializ ünitesi, bir anot ve bir katot arasında, anyon değişimi ve katyon değişimini sağlayan zarlamanın sıralanmasıyla meydana gelmektedir. Katyon zarlama sadece pozitif yüklenmiş iyonların difüzyonuna, anyon zarlama ise negatif yüklenmiş iyonların geçişine izin vermektedir. Uygulanan elektrik alanı sayesinde, sodyum iyonları katyon geçirgen membranın bir tarafından diğer tarafına geçer ve besleme suyu bölümünü terk ederler. Klorür iyonları diğer yönde anoda doğru hareket ederler ve besleme suyundan benzer şekilde ayrılırlar.



Şekil 6:
Elektrodializ çalışma prensibi.

2.5. İyon Değişimi Yöntemi

İyon değiştiriciler, değişim süresince çözeltilerden iyonları alıp aynı miktarda başka iyonları çözeltiliye 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 (Kühne, 1973). 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. Tablo III'de anyon ve katyon değiştiricilerdeki reaksiyonlar görölmektedir.

Bu yöntemin uygulamaya geçtiği ilk zamanlarda iyon değiştiricisi olarak silikat doğal ürünleri kullanılmıştır. Daha sonra sentetik maddeler kullanılmaya başlanmış ve iyon değiştirici sistemlerde oldukça başarılı sayılabilecek teknolojik gelişmeler yaşanmıştır. Bugün kullanılan iyon değiştiricilerin ana maddesi polistirel ve poliakrilit yani polimerizasyon maddeleridir. Bu maddeler kompakt ve yüksek sıcaklıklarda şekil bozulmasına karşı dayanıklı bir yapıya sahiptirler.

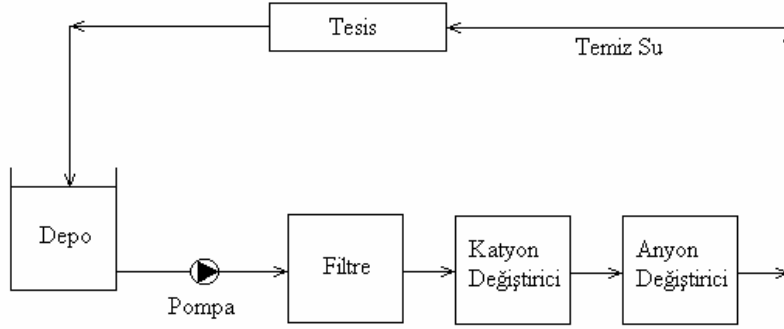
Tablo III. Katyon, anyon ve adsorbsiyon reaksiyonları (Deda, 1998).

Katyon Değişimi	
1.Sertlik giderme :	$R \begin{matrix} \diagup \text{Na} \\ \diagdown \text{Na} \end{matrix} + \text{CaCl}_2 \rightarrow R = \text{Ca} + 2 \text{NaCl}$
2.Karbon giderme:	$R \begin{matrix} \diagup \text{H} \\ \diagdown \text{H} \end{matrix} + \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 \rightarrow R = \text{Ca} + 2 \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$
3.Baz giderme:	$R - \text{H} + \text{NaCl} \rightarrow R - \text{Na} + \text{HCl}$
4.Ağır metal oluşumu ayarlanması:	$R \begin{matrix} \diagup \text{Na} \\ \diagdown \text{Na} \end{matrix} + \text{CuSO}_4 \rightarrow R = \text{Cu} + \text{Na}_2\text{SO}_4$
Anyon Değişimi	
5.Nitrat giderme:	$R - \text{Cl} + \text{NaNO}_3 \rightarrow R - \text{NO}_3 + \text{NaCl}$
6.Sülfat değişimi:	$R \begin{matrix} \diagup \text{HCO}_3 \\ \diagdown \text{HCO}_3 \end{matrix} + \text{Na}_2\text{SO}_4 \rightarrow R = \text{SO}_4 + 2\text{NaHCO}_3$
7.Asit giderme:	$R - \text{OH} + \text{HCl} \rightarrow R - \text{Cl} + \text{H}_2\text{O}$
8.Kromat değişimi:	$R = \text{SO}_4 + \text{Na}_2 \text{CrO}_4 \rightarrow R = \text{CrO}_4 + \text{Na}_2\text{SO}_4$
Adsorbsiyon	
9.	$R - \text{Cl} + \text{Humin asidi} \rightarrow R - \text{Cl} (\text{Humin asidi})$
10.	$R - \text{H} + \text{Tensit} \rightarrow R - \text{H} (\text{Tensit})$

2.5.1. İyon Değişim Teknikleri

Bir iyon değişim tesisinin ana yapısı şekil 7'de verildiği gibidir. Dolaşıma sokulmak istenen acı veya tuzlu su bir kaptan toplandı. İşlenmemiş su, değişim reçinesinin korunması amacıyla bir filtreye pompalandı. Temizlenmiş su işlenmemiş suda bulunan ve su iyonları ile değiştirilen $(\text{Na})^+$ ve $(\text{NH}_4)^+$ gibi katyonları barındıran katyon değiştirici tarafından çözöldü. Daha sonra su bu değiştiriciyi bazdan arındırılmış olarak terk eder ve anyon değiştiriciye geçer. Bazdan arındırılmış su bütün asitlerin güçlü sulandırılmış halindedir. Anyon değiştirici bu asitlerin bütün anyonlarını hidroksil 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 oluştu-

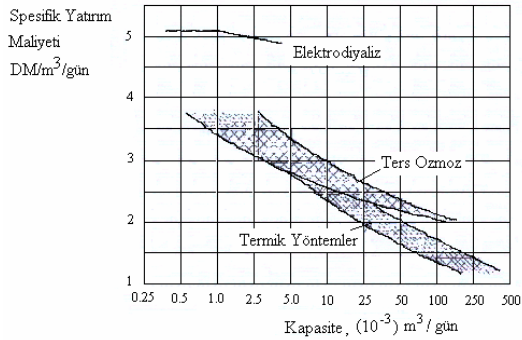
rurlar ve bir atık tesisine gönderilmelidirler. Aynı zamanda bir filtrenin temizleme suyunun da atık su tesisine gönderilmesinde yarar vardır (Hartinger, 1977).



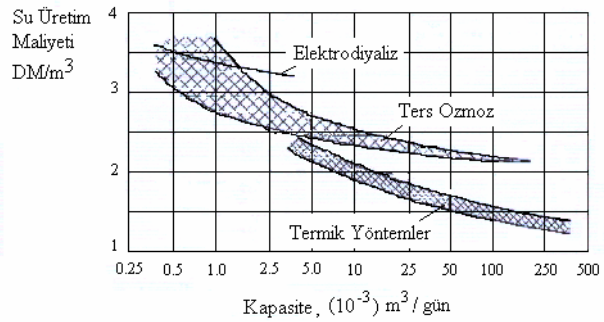
Şekil 7:
İyon değiştirici üzerinde su dolaşımının şematik gösterimi.

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 (Kühne, 1973).

Şekil 8 ve Şekil 9'da bu makale içerisinde tartışılan tuz giderme yöntemlerine ait yatırım ve toplam üretim maliyetleri karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.



Şekil 8:
Tuz giderme yöntemlerine ait yatırım maliyetleri.



Şekil 9:
Tuz giderme yöntemlerine ait toplam üretim maliyetleri

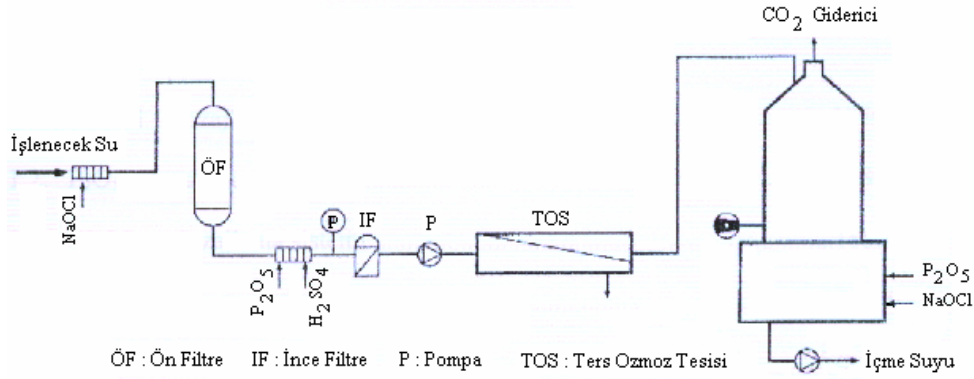
Deniz suyunun tuzunu gideren tesislerin büyüklüğü ekonomik açıdan önemli bir rol oynar. Son zamanlarda yapılan ekonomik araştırmalar göstermiştir ki günlük 2500 m³'ün altında bir kapasiteyle çalışan ters ozmoz ve elektrodializ prensiplerine göre kurulmuş tesisler, termik yöntem prensiplerine göre kurulmuş 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 ozmoz ve elektrodializ yöntemleri, bütün kapasite miktarlarında fiyat açısından en uygun yöntemlerdir (Billet, 1981).

3. YATIRIM ve İŞLETME MALİYETİ HESABI

Bu bölümde, tuz giderme metotlarından sık kullanılan iyon değişimi ve ters ozmoz 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 yapılacak 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.

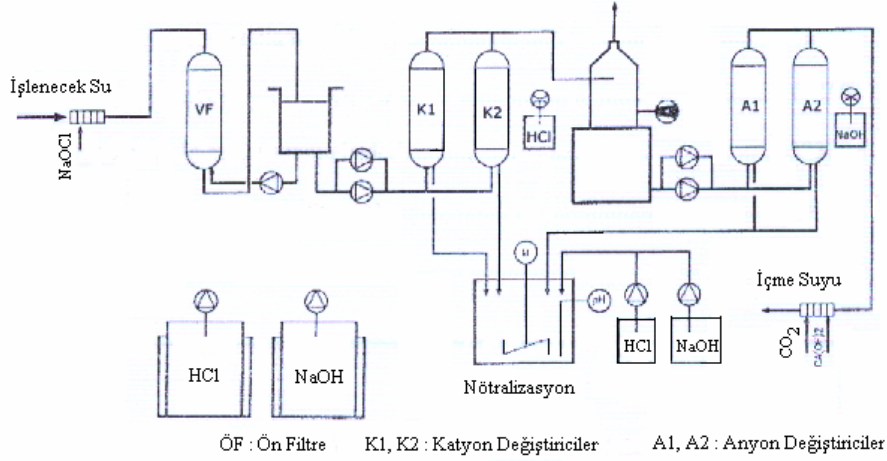
3.1. Yatırım Maliyetleri Hesabı

Örnek olarak incelenecek olan tesisin üretim kapasitesi 2 m³/h'tir. Şekil 10 ve Şekil 11'de şematik olarak gösterilen ters ozmoz ve iyon değişim tesislerinin ana elemanlarına ait malzeme maliyetleri ele alınarak yapılan hesaplamaların sonuçları Tablo IV'de verilmiştir.



Şekil 10:

Ters ozmoz tesisi şematik tasarımı.



Şekil 11:

İyon değişimi tesisi şematik tasarımı.

Tablo IV. Tesislerin yıllık yatırım maliyetleri (USD¹). (Deda, 1998)

Ters Ozmoz Tesisi Yatırım Maliyeti			İyon Değişim Tesisi Yatırım Maliyeti		
1	Havalandırma	1222.-	1	Dezenfekte edici sistem	1222.-
1.1.	NaOCl -dozajlama sistemi	1222.-	2.	Ön filtre	9077.-
1.2.	P ₂ O ₅ -dozajlama sistemi	1222.-	3.	Geri yıkama yönlendirici sistemi	4737.-
1.3.	H ₂ SO ₄ -dozajlama sistemi	1222.-	4.	Katyon değiştirici	20729.-
2.	Ön filtre	10492.-	5.	CO ₂ absorbe sistemi	4576.-
3.	Ters ozmoz tesisi	34153.-	6.	Anyon değiştirici	28412.-
4.	CO ₂ absorbe sistemi	4576.-	7.	Nötralizasyon sistemi	9200.-
5.	Diğer dozaj sistemleri		8.	Kimyevi tanklar	12987.-
5.1.	NaOCl -dozajlama sistemi	1222.-	8.1.	HCl tankı	
5.2.	P ₂ O ₅ -dozajlama sistemi	1222.-	8.2.	NaOH tankı	
6.	Pompa	1140.-	8.3.	Çökeltme tankı	
7.	Montaj ve işleme sunma	8600.-	8.4.	Dolum istasyonu	
8.	Yedek parça	1326.-	9.	Kontrol sistemi	29250.-
9.	Kontrol sistemi	14625.-	10.	Yedek parça	1326.-
			11.	Montaj ve işleme sunma	20440.-
TOPLAM BEDEL		82244.-	TOPLAM BEDEL		141956.-

¹ 1 USD = 1537868 TL (Kasım 2001)

Her iki tesisin yatırım maliyetleri karşılaştırıldığında iyon değişim tesisinin yaklaşık %75 oranında daha fazla yatırım maliyetine sahip olduğu görülmektedir.

3.2. İşletme Maliyetleri Hesabı

Bu bölümde, işletme faal olduğu sürece, işlenmemiş sudan itibaren 2 m³ lük suyun üretimine kadar saatte ortaya çıkacak maliyet, birim fiyatlar ve miktar bilançosu göz önüne alınarak hesaplanmış ve Tablo V’de sunulmuştur.

Tablo V. Tesislerin yıllık işletme maliyetleri (USD).

Maliyet Çeşidi	Ters Ozmoz Tesisi	İyon Değişim Tesisi
Enerji	6864.-	5803.-
Kimyevi Maddeler	4914.-	65172.-
İşlenmemiş Su	13260.-	17680.-
Hizmetli Bedeli	3380.-	9750.-
Laboratuar	811.-	1040.-
Bakım	4061.-	7150.-
Reçine Aşınması	-	624.-
Modül Aşınması	2600.-	-
TOPLAM	35890.-	107219.-

Tablo VI’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.

Tablo VI. Tesislerin karşılaştırılmaları (USD).

	Ters Ozmoz Tesisi	İyon Değişim Tesisi
Yatırım Maliyeti	82244.-	141956.-
Kullanım Süresi	5 yıl	5 yıl
Hesaplanmış Faiz Oranı	% 12	% 12
Enflasyon Değeri	% 3.5	% 3.5
1 m ³ su fiyatı	7.15.-	7.15.-
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		
1.Yıl	114400.-	114400.-
2.Yıl	118404.-	118404.-
3.Yıl	122548.1.-	122548.1.-
4.Yıl	126837.3.-	126837.3.-
5.Yıl	131276.6.-	131276.6.-
Yıllık İşletme Saati	8000	8000
Kapasite	2 m ³ /h	2 m ³ /h
Yıllık Kapasite	16000 m ³ /h	16000 m ³ /h

Tablo VII’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.

Tablo VII. Ters ozmoz ve iyon değişim tesisleri hesap akış tablosu (USD).

Periyot	Ters Ozmoz Tesisi			İyon Değişim Tesisi		
	Giderler	Gelirler	Fark Değer	Giderler	Gelirler	Fark Değer
0	82244.-	-	-82244.-	141956.-	-	-141956.-
1	35890.-	114400.-	78510.-	107219.-	114400.-	7181.-
2	37146.2.-	118404.-	81257.7.-	110971.7.-	118404.-	7432.3.-
3	38446.3.-	122548.1.-	84101.8.-	114855.7.-	122548.1.-	7692.4.-
4	39791.9.-	126837.3.-	87045.4.-	118875.6.-	126837.3.-	7961.7.-
5	41184.6.-	131276.6.-	90092.-	123036.2.-	131276.6.-	8240.4.-

3.3. 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 VIII ters ozmoz ve iyon değişim tesislerinin amortizasyon hesaplarını ve karşılaştırılmalarını vermektedir.

Tablo VIII. Ters ozmoz ve iyon değişim tesisleri amortizasyon hesabı karşılaştırılması (USD).

Periyot	Ters Ozmoz Tesisi		İyon Değişim Tesisi	
	Gelir-Gider	Amortize Edilecek Miktar	Gelir-Gider	Amortize Edilecek Miktar
0	-82244.-		-141956.-	
1	78510.-	-3734.-	7181.-	-134775.-
2	81257.7.-	77523.7.-	7432.3.-	-127342.7.-
3	84101.8.-	161625.5.-	7692.4.-	-119650.3.-
4	87045.4.-	248670.9.-	7961.7.-	-111688.6.-
5	90092.-	338762.9.-	8240.4.-	-103448.2.-

t_w amortizasyon süresi, A yatırılan ana para ve R ortalama geri ödeme olmak üzere amortizasyon süresi aşağıdaki ifade ile bulunur.

$$t_w = \frac{A}{R}$$

Buna göre; ters ozmoz 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.

Tablo IX. Değerlendirme sonuçları (USD).

Tesis Cinsi	Yatırım Maliyeti	İşletme Maliyeti	Amortizasyon
Ters Ozmoz	82244.-	35890.-	0.977 yıl
İyon Değişimi	141956.-	107219.-	18.43 yıl

Tablo IX'dan görüldüğü üzere, hesaplanmış yatırım kriterlerinden yola çıkılarak en uygun yatırım cinsi olarak ters ozmoz tesisi seçilmelidir.

4. TARTIŞMA ve ÖNERİLER

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 taktirde 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 ozmoz ve iyon değişim yöntemleri ile çalışan tesisler, hem kurulma ve işletim, hem de küçük çaplı olmasına rağmen yüksek verimle çalışabilme özelliği açısından avantajlıdır. Ters ozmoz ve iyon değişimi tesislerinin kendi aralarındaki avantaj-dezavantaj durumu ise yatırım ve işletim maliyetlerinin hesaplanması ile belirlenmelidir.

Tatlı su kaynaklarının sınırlı oluşu alternatif içme suyu kaynaklarını araştırmayı zorunlu kılmaktadır. En zengin su kaynağı ise denizlerdir. Bu sınırsız su kaynağından en yüksek kapasiteyle yararlanmak maksadıyla tüm tatlı su elde etme metotları kullanılmalıdır. İçme ve kullanmada su tasarrufu teşvik edilmeli ve söz konusu metotların nispeten yüksek olan maliyetlerini düşürücü araştırmalar yapılmalıdır.

5. KAYNAKLAR

1. Billet, R. (1981) *Verdampfung und Ihre Technischen Anwendungen*, Verlag Chemie, Weinheim.
2. Burkut, E. (1999) Deniz suyundan yararlanma yöntemleri, *Termodinamik*, 11, 46-47.
3. Cerci, Y., Cengel, Y. and Wood, B. (1999) Exergy analysis of reverse osmosis desalination processes, *1999 Sun Day Symposium and Solar Thermal Products Exhibition*, Erciyes University, Kayseri, 210-222.
4. Deda, Ü. N. (1998) *Deniz suyundan tatlı su eldesinin Bursa'da uygulanabilirliğinin incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, U. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
5. Hartinger, L. (1977) *Taschenbuch der Abwasserbehandlung für die Metallverarbeitende Industrie*, 1. Auflage, Bd. 2: Chemie, Carl Hanser Verlag, München.
6. Marquardt, K. (1988) *Erzeugung von Reinwasser II, Neue Techniken und Verfahren für hohe und höchste Ansprüche*, Expert Verlag.
7. Kühne, G. (1973) *Praxis der Ionenaustauscher in der Trinkwasseraufbereitung*, Bayer, Leverkusen.
8. Künzel. (1989) *Solarunterstützte Meerwasserentsalzung*, Stand der Technik.
9. Janisch, E. (1994) *Drechsler Gate, Solare Meerwasserentsalzung*, Deutschland.
10. World's Water Organization–Pacific Institute (1996) Water Data (www.worldwater.org).