



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Makina Mühendisliği Bölümü
Termodinamik Ana Bilim Dalı

79080

DENİZ SUYUNDAN TATLI SU ELDESİNİN BURSA'DA UYGULANABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

Ümit Neşat DEDA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

79080

BURSA - 1998

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

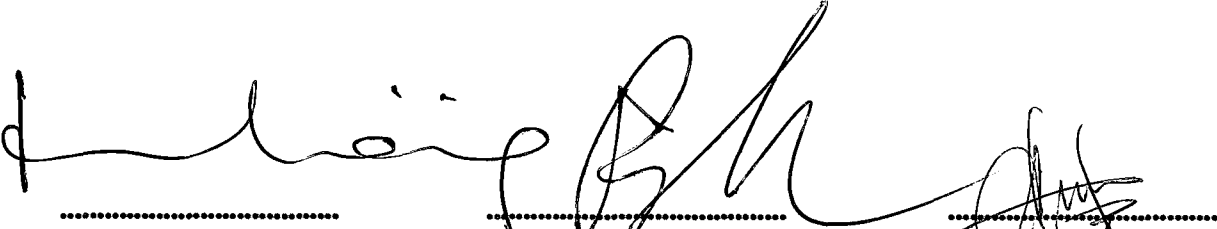
T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DENİZ SUYUNDAN TATLI SU ELDE EDİLMESİNİN
BURSA'DA UYGULANABİLİRLİĞİNİN
İNCELENMESİ**

Ümit Neşat DEDA

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Makina Mühendisliği Bölümü
Termodinamik Ana Bilim Dalı**

Bu tez 18/09/1998 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.



Prof. Dr. Muhiddin CAN
(Danışman)

Prof. Dr. Recep YAMANKARADENİZ
(Jüri Üyesi)

Doç. Dr. Atakan AVCI
(Jüri Üyesi)

ÖZET

İçme suyunun ülkelerin ekonomik gelişmesinde, Ziraatte ve tabii ki insan hayatında çok büyük bir yeri ve önemi vardır. Günümüzün endüstrileşmiş ülkelerinde yetersiz içme suyu rezervlerine rağmen içme suyu ihtiyacı çok rahat karşılanmaktadır. Buna karşın dünya nüfusunun hemen hemen 1/4 'ü ciddi boyutlarda içme suyu sıkıntısı çekmektedir. Aynı zamanda bu bölgelerde kullanılan içme suları sıhhi şartlardan yoksundur. İçme suyunun insan hayatında hayati bir önem taşıması, onun daha tasarruflu ve uygun alanlarda kullanılması açısından, yönetim olarak bir dizi uygulamalarında beraberinde getirmektedir. Atık suların arıtılıp tekrar kullanıma sunulması bu duruma örnek olarak gösterilebilir. Denizlere kıyısı olan kurak bölgelerde içme suyu kıtlığına karşı bulunan en iyi ve en realist çözüm deniz suyunun tuzunu gideren tesislerin kurulmasıdır.

Günümüzde deniz suyunun tuzunu gideren tesislerin kurulmasında modern ve oturmuş bir teknoloji kullanılmaktadır. Aralık 1995' deki veriler itibarı ile dünya üzerindeki tesislerin günlük toplam kapasitesi 13,6 milyon m³ dür. Dünya üzerindeki tesislerin % 70'i Arap Yarımadası üzerinde bulunmaktadır. Hemen ardından % 9 ile Avrupa, % 7,4 ile Amerika (Kaliforniya ve Florida sahillerinde bulunmaktadır.), % 6,3 ile Afrika ve % 5,8 ile Asyadaki diğer ülkeler gelmektedir. Dünya çapında deniz suyundan tatlı su üreten tesislerin su üretim kapasitelerinin 2015 yılına kadar kurulacak yeni tesisler ve ek inşaatlarla 35 milyon metreküp ün üzerine çıkacağı tahmin edilmektedir.

Deniz suyunun tuzunu gideren tesislerde yüksek teknolojinin kullanılmasına paralel olarak enerji satırlı bu tesislerin yatırım ve işletim maliyetleri çok yüksektir. Bu sebeple teknik ve ekonomik boyutlarda en iyi tesis seçimi açısından bütün önemli faktörler göz önünde bulundurulmalıdır. Elektrik fiyatları ve üretilen içme suyunun maliyetide hesaba katılarak bu konuda en uygun metodun araştırması yapılmalıdır.

ZUSAMMENFASSUNG

Frischwasser ist die Grundlage für menschliches Leben, Nahrungsmittelproduktion sowie für die wirtschaftliche Entwicklung eines Landes. Obwohl der derzeitige Verbrauch von Frischwasser in Industriestaaten den Eindruck vermittelt, dass Frischwasser unerschöpflich ist, leiden ca. ein viertel der Weltbevölkerung unter Trinkwassermangel sowie unzureichender Versorgung von Wasser für sanitäre Zwecke. Die vitale Wichtigkeit von Frischwasser erfordert gründliches Wasser-Management, welches den effizienteren Wasserverbrauch, die Wiederaufbereitung von Schmutzwasser und die Erschließung neuer Wasserressourcen einschließt. In Küstenregionen eröffnet die Meerwasserentsalzung eine realistische Möglichkeit dem Mangel an Frischwasser entgegenzuwirken.

Die Meerwasserentsalzung gilt heute als ausgereifte und grosstechnisch einsetzbare Technologie. Bis Dezember 1995 wurden weltweit Meerwasserentsalzungsanlagen mit einer Gesamtkapazität von 13 Millionen Kubikmeter pro Tag errichtet oder in Auftrag gegeben. Ca.70% der Meerwasserentsalzungsanlagen wurden auf der arabischen Halbinsel installiert. Es folgen Europa mit 9,9%, Amerika (hauptsächlich Kalifornien und Florida) mit 7,4%, Afrika mit 6,3% und die verbleibenden Länder Asiens mit 5,8 %.

Gemäss Prognosen über den künftigen Bau von Meerwasserentsalzungsanlagen wird die weltweite Gesamtkapazität allein zu Trink- und Haushaltswasserzwecken auf bis zu 35 Millionen Kubikmeter pro Tag im Jahre 2015 ansteigen.

Die meisten der errichteten grosstechnischen Meerwasserentsalzungsanlagen sind Destillationsanlagen. Die Errichtung und Betrieb einer solchen kombinierten Kraftwerk-Meerwasserentsalzungsanlage erfordert grosse finanzielle Aufwendungen. Die Betreiber sollten alle relevanten Faktoren berücksichtigen, sodass die technisch und wirtschaftlich beste Anlagenkombination gewählt, und eine gerechte Methode zur Aufteilung der gesamten Produktionskosten in Strom- und Trinkwassergestehungskosten erfolgt.

İÇİNDEKİLER

1. GİRİŞ

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.2. Yöntem

4. SU TEMİNİ KONUSUNA GLOBAL BİR BAKIŞ

5. İÇME SUYU KALİTESİ BAKIMINDAN TUZLU SU

5.1. Deniz Suyunun Özellikleri

5.1.1. Deniz Suyunun Tuzluluğu

5.1.2. Deniz Suyunun Sıcaklığı

5.1.3. Deniz Suyunun Yoğunluğu

5.1.4. Deniz Suyundaki Gazlar

6. SU PROBLEMİNE GENEL BİR BAKIŞ

7. SU SARFIYATINDA MÜMKÜN OLAN ÇÖZÜM TASFİRLERİ

7.1. Su Sarfiyatında Kullanım Alışkanlıkları

7.2. Su Kullanımında İyileştirme Teknikleri

7.2.1. Evlerdeki Su Sarfiyatı

7.2.2. Evlerdeki Tasarruf Potansiyeli

7.2.3. Ziraatteki Tasarruf Potansiyeli

7.2.4. Sanayideki Tasarruf Potansiyeli

7.3. Tatlı Su Üretiminin Ükelere Göre Durumu

7.3.1. Arap Yarımadasında Tatlı Su Üreten Tesislerin Kapasiteleri

8. İKİ FAZLI AKIŞ

8.1. Kaynama

8.1.1. Doğal Isı Taşınımı olan Sistemlerde Kaynama ve Havuz Kaynaması

8.1.2 Maksimum Isı Akısı ve Film Kaynaması

8.1.3. Sıvı Dolu Buharlaştırıcılar

8.1.4. Borular içinde Zorlanmış Isı taşınımında Buharlaşma

8.2. Yoğuşma

8.2.1. Düşey Boruların Dışındaki Yoğuşma

8.2.2. Yatay Boruların Dışındaki Yoğuşma

8.2.3. Düşey Boru İçinde Yoğuşma

8.2.4. Yatay Borular İçindeki Yoğuşma

9. DENİZ SUYUNDAN İÇME VE KULLANMA SUYU ELDE ETME TEKNİKLERİ

9.1. Termik Yöntemler

9.1.2. Teknik Uygulamalar

9.2 Güneş Enerjili Tuzdan Arıtma Sistemleri

9.2.1 Isıl Denge Hesapları

9.2.2. Damıtıcı Performansı (β)

9.2.3. Güneş Enerjisi ile Damıtmanın Genel Değerlendirmesi

9.3 Ters Ozmoz Yöntemleri

9.3.1 Ozmoz

9.3.2 Ters Ozmoz

9.3.2.1. Ters Ozmozun Kullanımı

9.3.2.2. Deniz Suyu ve Acı Kuyu Suyunun Ön İşlem Basamakları

9.3.2.2.1. Ön Temizleme

9.3.2.2.2 Havalandırma

9.3.2.3. Membranlar

9.3.2.4. Modüller

9.3.2.4.1. Düz Modül

9.3.2.4.2. Tubular ve Boru Modülü

9.3.2.4.3. Rulo (Bobin) Modülü

9.3.2.4.4. Hortum Modülü

9.3.2.4.5. Boş elyafli kompakt modül

9.4 İyon Değişimi Yöntemi

9.4.1 Giriş

9.4.2 İyon Değişim Olayının Tanımı

9.4.2.1. İyon Değişiminin Tanımı

9.4.2.2. İyon Değiştiricilerinin Kullanımı

9.4.2.3. İyon Değişim Reçinesinin Özellikleri

9.4.2.4. İyon Değiştiricilerin Çeşitleri

9.4.2.4.1 Güçlü Asidik Katyon Değiştiriciler

9.4.2.4.2 Zayıf Asidik Katyon Değiştiricileri

9.4.2.4.3 Zayıf Bazik Anyon Değiştirici

9.4.2.4.4 Güçlü Bazik Anyon Değiştiriciler

9.4.3 İyon Değişim Teknikleri

9.4.3.1 Doğru Akım Yöntemi

9.4.3.2 Ters Akım Metodu

9.4.3.3 Askı Yatak Metodu

9.4.3.4 Birleştirici Asma Yatak Yöntemi

9.4.3.5 Asansör Yatak Sistemi

9.4.3.6 Rinse Yatak Yöntemi

6.3.3.7 Multi-Step Sistemi

10. TARTIŞMA

11. YATIRIM VE İŞLETME MALİYETLERİ HESAPLARI

11.1 İşletime Alınacak Suyun Verileri

11.2 Hesaplama Kriterleri

11.3 Yatırım Maliyetleri Hesabı

11.3.1 Ters Ozmoz Tesislerinde Yatırım Maliyeti Hesabı

11.3.2 İyon Değişim Tesislerinde Yatırım Maliyeti Hesabı

11.4. İşletme Maliyetleri Hesabı

11.4.1. Ters Ozmoz Tesisinin İşletme Maliyeti Hesabı

11.4.2. İyon Değişim Tesisinin İşletme Maliyetleri Hesabı

11.4.3. İyon Değişim Tesisinin İşletme Maliyetleri Hesabı

11.4.4. Amortizasyon karşılaştırma hesabı (Statik yatırım hesabı)

11.4.5. Kapital Değer Metodu

11.4.6. İç Faiz Oranı Metodu

11.4.7. Değerlendirme ve Sonuç

BİLGİSAYAR PROGRAMI

EKLER

KAYNAKLAR

TEŞEKKÜR

ÖZGEÇMİŞ

ÇİZELGELER DİZİNİ

- Çizelge 4.1: Bazı ülkelerde kişi başına düşen ortalama su sarfıtının karşılaştırılması
- Çizelge 4.2: Bir insanın normal şartlar altında kullanması zaruri su miktarı.
- Çizelge 5.1: Dünya üzerindeki çeşitli denizlerin tuzluluk oranları
- Çizelge 7.1: Bulaşık makinalarının su sarfiyatları arasında yıllara göre olan bir karşılaştırma
- Çizelge 7.2: Çamaşır makinalarında su sarfiyatlarının yıllara göre değişimi.
- Çizelge 7.3: İçme suyundaki tasarruf miktarları (% ve Para birimi olarak)
- Çizelge 7.4: Ziraat alanında kullanılan sulama tekniklerinin su tasarrufu çerçevesinde karşılaştırılmaları.
- Çizelge 7.5: Arap yarımadasındaki deniz suyunun tuzunu gideren tesislerin kapasiteleri.
- Çizelge 9.1: Normal deniz suyu ile sentetik deniz suyu karşılaştırması
- Çizelge 9.2 : Çeşitli ülkelerde bulunan damıtma tesisleri.
- Çizelge 9.3 : Bloklaşma indeksinin hesaplanması.
- Çizelge 9.4: Çeşitli yeraltı ve yüzey sularının bloklaşma indeksleri.
- Çizelge 9.5: Bloklaşma indeksinin düşürülmesi için çeşitli ön temizleme metotları karşılaştırmaları.
- Çizelge 9.6 : Membranı bloke eden maddeler.
- Çizelge 9.7 : Çeşitli modül sistemlerinin karşılaştırılması.
- Çizelge 9.8 : Absorbsiyon reaksiyonları.
- Çizelge 11.1 : Tesislerin yıllık işletme maliyetleri.
- Çizelge 11.2 : Tesislerin karşılaştırmaları.
- Çizelge 11.3 : Ters Ozmoz tesisinin hesap akış tablosu.
- Çizelge 11.4 : İyon Değişim tesisinin hesap akış tablosu.
- Çizelge 11.5 : Her iki tesisin amortizasyon hesapları karşılaştırmaları.
- Çizelge 11.6 : Ters ozmoz tesisinde kapital değerlerin hesabı.
- Çizelge 11.7 : İyon Değişim yönteminde kapital değerlerin hesabı.
- Çizelge 11.8 : Ters Ozmoz tesisinin iç faiz oranlarının hesabı.
- Çizelge 11.9 : İyon Değişim tesisinin iç faiz oranlarının hesabı.

Çizelge 11.11 : Ters ozmoz ve iyon değişim metotlarının değerlendirme sonuçları.



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 4.1: Yağmur sularının buharlaşmasına yol açan mevcut güneş radyasyon (ışınım) miktarının enlem derecelerine göre değişimi gösterilmiştir.

Şekil 4.2: Dünya üzerinde su sıkıntısı çeken problemlı bölgelerin coğrafi konumlar

Şekil 5.1 : Deniz suyunun kimyasal tuz bileşenleri

Şekil 5.2 (a, b, c): Deniz suyunda oluşan tipik pinoklin, haloklin, termoklin tabakaları.

Şekil 7.1 : İçme suyu tasarrufunda suyun çok yönlü kullanımı

Şekil 7.2: Suudi Arabistan'da kullanılan yöntemlerin tatlı su üretim payları.

Şekil 8.1 : Karakteristik kaynama eğrisi.

Şekil 8.2: Yatay buharlaştırıcı bir boruda akış rejimleri.

Şekil 9.1: Tuz giderme yöntemleri.

Şekil 9.2: Çeşitli Ph değerlerinde Mg (OH)₂'nin çözünürlük oranları

Şekil 9.3: Kalsiyum Sülfatın çözünürlük eğrileri (Deniz suyu için).

Şekil 9.4: Tesis içerisinde basamak sayısına bağlı olarak çeşitli sıcaklık farklarında sıcak ve kızgın buhar sarfiyatı (Kg buhar başına)

Şekil 9.5 : Çok kademeli sabit entalpi buharlaştırıcısının yapısal tasarımı (MSF ile çalışır)

Şekil 9.6: Çok kademeli sabit entalpili buharlaştırıcı (Fall-film Yöntemi ile çalışır)

Şekil 9.7: Üretilen tatlı suyun kilosu başına gerekli olan enerji miktarı ile yatırım maliyeti arasındaki bağıntıyı gösterir. (Buharlaşma giriş ısısının 120° olduğu ve buhar ısı girişinin 180° olduğu tortulaşmayı önleyici bir mekanizmanın bulunduğu bir tesiste)

Şekil 9.8: Kalsiyum sülfat konsantrasyonunun 2000'lik su buharı püskürtülmesi ile yok edilmesi.

Şekil 9.9: Tortulaşmayı önleme ısısı ile artık kalsiyum miktarı arasındaki bağıntı. Başlangıç konsantrasyonu 418 gr /m³.

Şekil 9.10: Tortulaşma önleyici aparatın çok kademeli sabit entalpili buharlaştırıcı ile bağlantılı modeli.

Şekil 9.11: Çok kademeli sabit entalpili buharlaştırıcı (Termik olarak çalışan tortu).

- Şekil 9.12: Çeşitli tuz miktarlarında deniz suyunun yoğunluğu ile sıcaklık arasındaki bağıntı.
- Şekil 9.13: Termik sistemler, ters ozmoz ve elektro diyaliz yöntemleri arasındaki yatırım maliyeti karşılaştırmaları.
- Şekil 9.14: Ters ozmoz, Elektrodializ ve Termik yöntemlerle çalışan tesisler arasında ürüne bağlı toplam üretim maliyetini gösteren diyagram.
- Şekil 9.15: Küçük kapasiteli bir tesisin çalışma prensibi.
- Şekil 9.16: Sera tipi güneşli damıtıcı.
- Şekil 9.17: Sera tipi damıtıcının konstrüksiyon detayları.
- Şekil 9.18: Su derinliğine göre birim havuz yüzeyinden elde edilen tatlı su miktarının değişimi.
- Şekil 9.19: Üretilen tatlı su miktarının su sıcaklığı, su – cam sıcaklığı farkı ve su derinliğine göre değişimi (cam – su yüzeyi uzaklığı 15 – 41cm)
- Şekil 9.20: Buharlaştırıcı yüzey, yoğunlaşma yüzeyi ve ara noktalarda sıcaklık değişimi.
- Şekil 9.21: Güneşli damıtmada enerji akımları (c: cam örtü, s: su, h: hava)
- Şekil 9.22: Güneşli damıtma havuzunda siyah zeminin sıcaklığına göre ısı kayıp yüzdeleri (Su – cam örtü sıcaklık farkı 2 – 16 °C için)
- Şekil 9.23: Ozmoz, ozmotik denge, ters ozmoz. (K: Konsentrat, Ç: Çözelti, P: Permeat)
- Şekil 9.24 : Kontakt çamur reaktörü.
- Şekil 9.25: Filtre karşılaştırmaları.
- Şekil 9.26 : Ters ozmoz tesislerindeki ön temizleme sistemleri.
- Şekil 9.27 : Öntemizleme basamağında kimyevi maddelerin işlenecek suya ekleme üreçleri.
- Şekil 9.28 : Asimetrik membranın mikroskopik görünüşü.
- Şekil 9.29: Hortum membranlı tobülar modül.
- Şekil 9.30: Eksenel geçirimli veya akışlı modül.
- Şekil 9.31: Kompakt basınçlı boru sistemi – Rulo modülde.
- Şekil 9.32 : Rulo modellerde teğetsel ve eksenel akış.

Şekil 9.33 : Hortum modül.

Şekil 9.34 : Poliamit boş elyaf membranlı kompakt modül (DU PONT).

Şekil 9.35 : Seliloz asetat membranlı boş elyaf modülü.

Şekil 9.36 a – b : Katyon geçirmez membran boyunca iyon değişimi a) Statik b) Sol taraf yukarıdan aşağıya doğru akarken sağ statik.

Şekil 9.37 : İyon değiştiricilerinin kimyasal yapısı (polimerizasyon reçinesi).

Şekil 9.38 : Renkli maddelerin absorpsiyonu. Güçlü bazik anyon değiştiricisinde, makro süngerimsi yapıda ve farklı çapraz örgü derecelerinde .

Şekil 9.39 : Reçinenin elektro mikroskopta alınan 100000 kez büyütülmüş görüntüsü.

Şekil 9.40 : İyon değiştirici üzerinden su dolaşımının şematik gösterimi.

Şekil 9.41 : Doğru akım prensibi ile ters akım prensibi.

Şekil 9.42 : İyon değiştirici kolonların çok çeşitli çöktürme durumları.

Şekil 9.43 : Askı yatak yöntemi.

Şekil 9.44 : Askı yatak metodu.

Şekil 9.45 : Birleştirici asma yatak yöntemi.

Şekil 9.46 : Asansör yatak yöntemi

Şekil 9.47 : Asansör yatak yöntem basamakları.

Şekil 9.48 : Rinse yatak modeli

Şekil 9.49 : Rinse yatak yönteminin adımları.

Şekil 9.50: Aynı değiştirici miktarında ters akım yöntemlerinin kap ölçümlerinin karşılaştırmaları.

Şekil 9.51 : Multi-Step sistemi.

Şekil 9.52: Üç odacık kolonu.

Şekil 11.1 : Ters ozmoz tesisinin şematik tasarımı.

Şekil 11.2 : İyon değişimi tesisinin şematik tasarımı.

Şekil 11.3 : Ters Ozmoz tesisinin miktar bilançosu.

Şekil 11.4 : İyon değişim tesisinin miktar bilançosu.

1.GİRİŞ

Nüfus artışı, sanayileşme ve etkin tarım faaliyetlerinin dünyanın kısıtlı kaynaklarını tükettiği günümüzde, bu kaynak tüketiminin çevre sorunları ile de arttığı bir gerçektir. Sanayileşme ve gelişme hamleleri içerisindeki Türkiyemizde'de kaynak tüketimi hızla artmaktadır. Özellikle su gibi doğal bir kaynağın geriye dönülemeyecek bir şekilde tüketilmesine engel olmak için artık bekleyecek zamanın olmaması, bizi bu kaynakları koruyacak ve kurtaracak teknolojileri kullanmaya ve geliştirmeye mecbur etmektedir.

Gerek dünyamızda, gerekse ülkemizde su kaynaklarının giderek tükenmesi ve mevcut su kaynaklarının kullanılamayacak duruma gelmesi, su temini konusunu diğer konulardan daha ön plana çıkarmıştır. Ayrıca ziraat ve sanayide, içme suyu kalitesindeki yeraltı ve yerüstü kaynaklarının kullanılmasının engellenmesi için deniz suyunun tuzunun giderilerek içme veya kullanma suyu üretilmesi gerekliliği ülkemiz için kaçınılmaz bir hal almıştır. Gelecekte, su rezervlerinin teker teker ortadan kalkması gibi bir durumla karşılaşmamak için alternatif olan deniz suyundan tatlı su elde etme yöntemleri kurtarıcı niteliğindedir.

Ülkemizde su sıkıntısı çekilen bölgelerde tatlı su ve kullanmasuyu temini konusunda uygulanan yöntem ve tekniklerden duyulan hoşnutsuzluk, böyle bir çalışmanın gündeme gelmesinde en büyük etkidir. Bu sebeptendir ki deniz suyunun tuzunu gidererek, tatlı su elde eden yöntem ve teknikler bu çalışmada tek tek ele alınıp incelenecek ve aralarında kıyaslamalar yapılacaktır. Ayrıca bu çalışmada mevcut konseptler, üretim kapasiteleri, verimleri, işletim yöntemleri sonuçları ile beraber değerlendirilecektir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Janisch (1994); Güneş enerjili damıtma sistemlerinin teorik bazda geniş bir incelemesi yapılmıştır. Şekiller ve tablolarla desteklenmiŐ bu inceleme, güneş enerjili damıtma sistemlerinin çalışma prensipleri ve işletim Şartları hakkında detaylı bilgilerle donatılmıştır.

Billet (1981); Hala kullanılmakta olan tüm damıtma yöntemlerinin çalışma sistemleri ve bu konu üzerindeki teknik uygulamalar, ayrıca yan sistemler bu kitapta detaylı bir Şekilde incelenmiŐtır. Kitabın bir bölümünde deniz suyundan termik yollarla tatlı su üreten yöntemlerin geniş bir incelemesinde yapılmıştır.

Porteous (1975); Multi-Stage-Flash, Multiple-Effekt damıtma yöntemlerinin çalışma prensipleri bu kitapta iki bölüm halinde geniş olarak ele alınmıştır. Tesis içerisinde oluşabilecek korozyon ve tortulaşma tehlikelerinden bahsedilmiş, eitleri ve oluŐma sebeplerine deėinilmiŐtır.

Anonim (1985); Deniz suyunun tuzunu gideren yöntemlerin dünya üzerindeki yeri, eŐitleri, ülkeler üzerindeki dağılımı, tesislendirme yöntemleri ve tesislerin günümüze gelinceye değin geçirdiği teknik evreler incelenmiŐtır. Çalışma prensipleri bilgilendirme açısından ayrıca ele alınmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Araştırma, dünya üzerinde deniz suyunun tuzunu gideren tüm teknik ve yöntemleri incelemek aralarında kıyaslamalar yapmak, ayrıca mevcut konseptlerin üretim kapasitelerini, verimlerini, işletim yöntemlerini varılan sonuçları ile beraber değerlendirip Türkiye’de, özellikle Bursa’da uygulanabilirliğinin incelemesini yapmak amacını taşımaktadır.

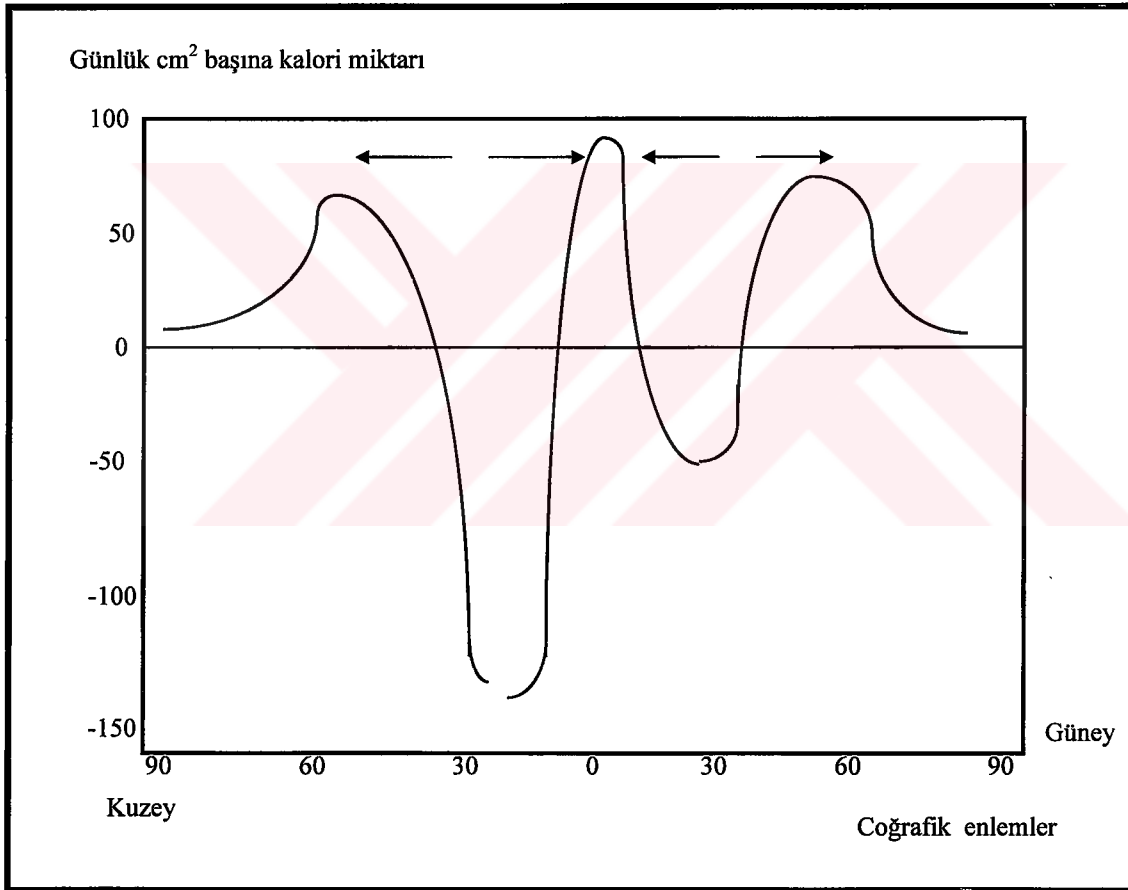
3.2. Yöntem

Bu araştırma hazır bilgi ve verilere dayanmaktadır. Çeşitli bilim adamları tarafından termik ve mekanik yöntemler üzerine yazılmış kitaplar bu araştırmada baz alınmıştır. Teorik kısımda böyle bir araştırma içerisinde mevcut olması gereken bilgi yeterli düzeyde bulunmaktadır.

Bu araştırmada hala güncelliğini koruyan tablo ve verilerden yararlanılmış, mevcut tablolar ile analiz ve değerlendirmeler yapılmıştır.

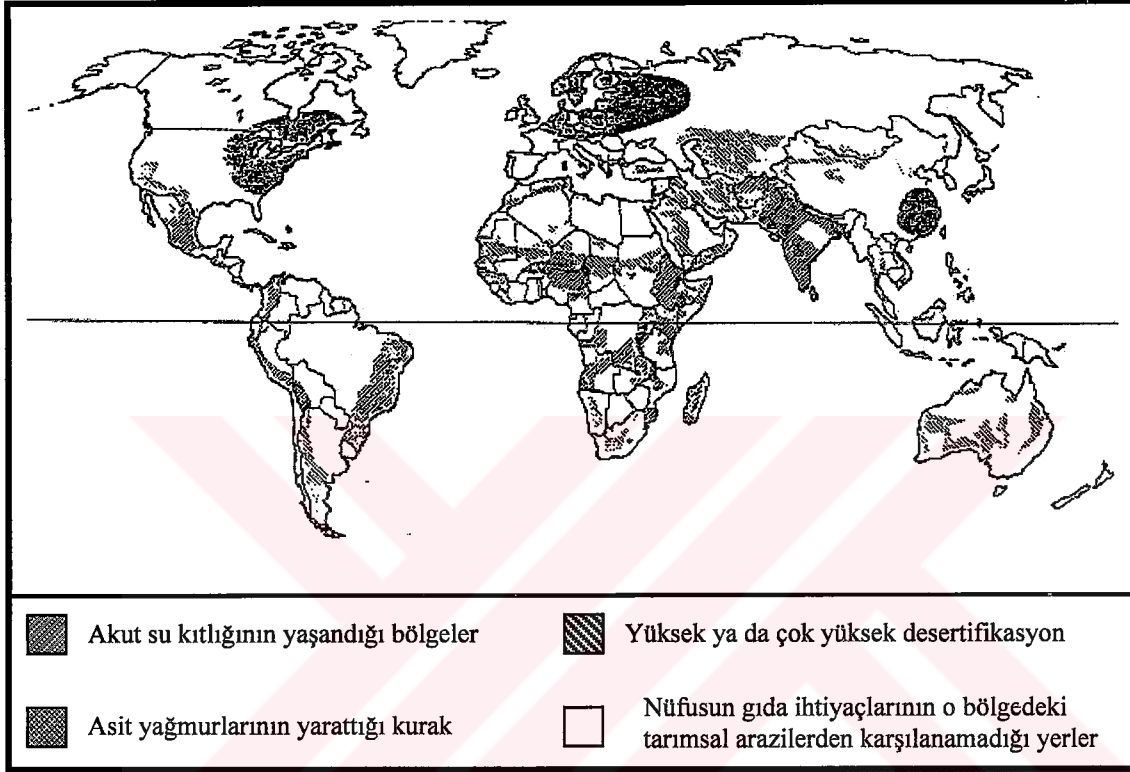
4. SU TEMİNİ KONUSUNA GLOBAL BİR BAKIŞ

Dünyanın ekvatora yakın olan bölgeleri yeraltı su kaynakları açısından kısır olmakla beraber, diğer bölgelere kıyasla yıllık ortalama yağış miktarının en düşük olduğu yerlerdir. Az ve düzensiz olan bu yağışlar, yüksek tesirli güneş radyasyonundan dolayı anında buharlaşmaktadır. Şekil 4.1’de verilen grafikten de anlaşılacağı gibi; Yağışların (Yağmur sularının) buharlaşma ısılarıyla, güneş radyasyonu (güneş ışınımı) arasında enlem derecelerine bağlı olarak bir enerji bilançosu teşkil edilmiştir.



Şekil 4.1: Yağmur sularının buharlaşmasına yol açan mevcut güneş radyasyon (ışınım) miktarının enlem derecelerine göre değişimi gösterilmiştir.

Güneşin radyasyon (ışınım) etkisi, yağmur sularının buharlaşmasına yol açan enerji miktarını aşarsa ,bu kurak bölgelerdeki yaşamın devamını -eğer mevcutsa- diğer su kaynakları (yüzey suları yada yeraltı suları gibi) mümkün kılmaktadır. Şekil 4.2 dünya üzerinde su kıtlığı çeken problemlili bölgeleri göstermektedir.



Şekil 4.2: Dünya üzerinde su sıkıntısı çeken problemlili bölgelerin coğrafi konumlar

Ekvatora yaklaştıkça problemlili bölgelerin sıklaştığı Şekil 4.2’de açıkça görülmektedir. Buralarda yaşanan kuraklık eş zamanlı olarak daha birçok problemlili’de beraberinde getirir. Dünya sağlık örgütü **WHO**’nun bildirimine göre ; Dünya üzerinde 800 milyon insan sıhhi olmayan içme sularının yada su kıtlığının sebep olduğu hastalıklarla pençeleşmektedir (Anonim 1993). Bu gibi sorunlardan en çok etkilenen kitle hiç kuşkusuz çocuklardır.Geçtiğimiz yıllarda **UNICEF** günde 35000 çocuğun yine aynı nedenlerden ötürü öldüğünü açıklamıştır.

Su kirliliği, hastalıkların yol açtığı ölümlerin, % 80 'inin temel nedenini oluşturmaktadır. Özellikle üçüncü dünya ülkeleri bu konuda başı çeker durumdadırlar. Bilim adamları 21. yüzyılda dünya nüfusunun yarısının su kıtlığı ile karşı karşıya kalacağını, eğer herhangi bir önlem alınmazsa bu sayının artabileceği görüşünde birleşiyorlar (Starr 1992). Su sıkıntısının herbir birey hayatı üzerinde yarattığı toplumsal sonuçlar, ülkelerin ekonomik olanaklarına göre doğal olarak değişmektedir. Dünya üzerinde çok rahat gözlemlenen bu durum ülkeler arasındaki eşitsizliği açıkça göz önüne sermektedir.

Günümüzde petrol rezervleri olmayan ve bu sebeple petrol üretimi yapamayan ülkelerin yaşayanları kuraklığa ve susuzluğa terk edilmiş durumdadır. Bu durumun negatif etkileri olarak açlık ve göç bu bölgeler üzerinde ağırlığını her geçen gün arttırmaktadır. Geçmiş dönemin Birleşmiş Milletler Genel Sekreteri **Butros Gali**, 1985 yılında kendisi ile yapılan bir reportajda milyonlarca kuzey Afrika ve orta doğulunun, ülkelerindeki sukıtlığı ve kötü şartlar sebebiyle 90'lı yıllarda avrupaya illegal yollardan göçlerin başlayabileceğini söylemişti ve netekim de öyle oldu. Geçen yıllar boyunca Afrika ve Ortadoğudan Avrupaya olan göç bu sözün doğruluğunu kanıtlamaktadır (Starr 1992).

Tatlı su rezervlerinden yoksun ama petrol üreten ülkelerin yaşayanları ,petrol'ün yarattığı zenginliklerden dolayı deniz suyundan yada az tuzlu yeraltı sularından tatlı su üreten tesislere sahip oldukları için su kıtlığı endişesi yaşamaksızın hayatlarını sürdürmektedirler. Yalnız içme suyu fiyatları, petrol üretimi yapan ama hali hazırda su rezervleri olmayan ve sadece teknolojinin sunduğu imkanlarla su ihtiyacını karşılayan bu gibi ülkelerde petrol fiyatlarının çok çok üstündedir. Bu durum petrol üreten bu ülkelerin ekonomik yapısında açıkça ortaya koyar. Bir litre içme suyu için ödenen miktarın 2,1 DM'a kadar çıktığı göz önüne alınırsa ve birgün bu petrol kaynaklarında biteceği gerçeği düşünülürse, petrol zengini ülkeler içinde bir tehlikenin söz konusu olduğu gün gibi ortadadır (Wolfsohn 1991). Günümüzde petrol üreten ülkelerin yaşadığı yüksek su fiyatlarından ötürü ortaya çıkan düşük oranlardaki sukıtlığından ancak o ülkelerde, ekonomik olarak normal seviyenin altında yaşayan

kesim etkilenmektedir. Diğer kesim yukarıda daha öncede belirttiğimiz gibi bahsi geçen bu kıtlığın bir süre daha dışında kalmaya devam edecektir (Anonim 1991-92).

Günlük hayatta suya bağımlı olan alışkanlıklar içme suyunun bol olmasıyla birlikte, çok yüksek miktarlarda su sarfiyatına yol açmaktadır (Starr 1992). Bazı ülkelerde kişi başına düşen ortalama su sarfiyatlarının karşılaştırılması Çizelge 4.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1: Bazı ülkelerde kişi başına düşen ortalama su sarfitının karşılaştırılması

ÜLKE	Kişi Başına İhtiyaç
USA (Kalifornia)	200 000 lt/yıl
Japonya / İsviçre	100 000 lt/yıl
İtalya	80 000 lt/yıl
Almanya / Fransa / İngiltere / Avusturya	50 000 lt/yıl
Yunanistan / Belçika	40 000 lt/yıl
Sudan	7 000 lt/yıl

Bir Kaliforniyalı, bir Sudanlı gibi çölde yaşamıyor olmasına rağmen, yıl içinde bir Sudanlıdan 28 kat daha fazla su sarfetmesi gerçekten düşündürücüdür. Günümüzde içme suyunun yanında kullanma suyunun ihtiyaca sunulmaması, içme suyu sarfiyatını gereğinden çok daha fazla yükseltmektedir. Susarfiyatı dağılımına bakıldığında, mevcut sarfiyatın sadece % 40' ının içme suyu ihtiyacından dolayı kullanıldığı, geri kalan % 60'ın ise diğer ihtiyaçlar vesilesiyle sarfedildiği görülür.

Bir insanın normal şartlar altında kullanılması zorunlu olan su miktarları Çizelge 4.2'de verilmiştir. Dünyanın kurak bölgelerinde yaşayan insanlar, üstüne üstlük birde petrol rezervlerine sahip değilse, ne petrol üretiminin getirdiği zenginliklerden, ne de bu sayede oluşan içme suyu üretim olanaklarından faydalanabilmektedirler. O bölge yaşayanları için içme ve kullanma suyu arasında hiç fark yoktur. Ama su sıkıntısının çok az hissedildiği yada böyle bir sorunun telaffuz bile edilmediği ülkelerde içme ve kullanma suyu ayrımı mutlaka yapılmalıdır.

Çizelge 4.2: Bir insanın normal şartlar altında kullanması zaruri su miktarı.

Gerekli Su Kalitesi	İhtiyaç Çeşidi	Günlük İhtiyaç	İhtiyaç Payı	
		1993 (lt/gün)	1993 (%)	1994
Sadece İçme Suyu İle	İçme ve Yemek Pişirme	6	4	2
	Vücut Bakımı	12	8	6
	Banyo ve Duş	35	22	29
	Bulaşık Yıkama	10	6	4
Kullanma Suyunun Uygun Olduğu Durumlar	Çamaşır Yıkama	40	25	12
	Ev Temizliği	7	5	9
Kesinlikle Kullanma Suyu İle	Tuvalet Temizliği	40	25	32
	Araba Yıkama	3	2	2
	Bahçe Sulama	5	3	4

Kaynak : Redl, Es muss nicht immer Trinkwasser sein, Konstruktiv Nr.180, Dez. 1993.

Yukarıdaki tabloya göre içme suyu kalitesindeki su ile karşılanan bazı ihtiyaçlar vardır ki, düşük kaliteli su ile de giderilmesi mümkündür. Örneğin; insan vücudu normal şartlarda kendini bakterilere veya mikroplara karşı koruma yeteneğine sahiptir. % 30 – 35 oranındaki, vücut bakımı sırasında sarfedilen içme suyu kalitesindeki suyun yerine (Duşta veya banyoda) düşük kalitede (kullanma suyu) kullanılabilir. Tüm bunların yanında geriye kalan, yukarıdaki tabloda sözü edilen % 35 ile 47 oranındaki ihtiyaçlar (Ev temizliği , tuvalet sifonu , araba temizliği ve bahçe sulama gibi) düşük kalitede su ile karşılanmalıdır. İçilen ve yemeklerde aynı zamanda bulaşık temizliğinde kullanılan suyun, kesinlikle içme suyu kalitesindeki su ile karşılanmak zorunluluğu olduğu düşünülürse - ki bu oran çok düşüktür (% 6-10 arası) - mümkün olabilecek tasarruf böyle bir hespla matematik olarak sağlanmış olur.

Su kıtlığı günümüzde 26 ülkede 232 milyon insanı daha şimdiden etkisi altına almıştır. Bu ülkelerde kişi başına düşen yıllık su tüketimi 1000 metre küp'ün altındadır. Bu ülkeler içerisinde bulunan 14 yoksul ülkeden 9'unda su kıtlığı yoğun bir şekilde hissedilmektedir. Geri kalan 6 ülkede gelecek 25 yıl içinde nüfusun ikiye katlanacağı düşünüülürse, gelecekte bu ülkelerdeki su sıkıntısının ne kadar büyük olduğunu tahmin etmek hiçde zor değildir (Odenwald 1993).

Dünya üzerinde eşit olmayan su dağılımının yarattığı arz - talep ilişkisi günümüzde dahi çok yönlü çekişme ve çatışmalara sebep olmaktadır. Örneğin : Suriye, Ürdün ve İsrail arasında, Ürdünün uyguladığı kotadan dolayı, Türkiye ile Irak arasında Fırat ve Dicle'nin su akış debisinin hala kararlaştırılmayan miktarından dolayı Orta doğu ve Türkiye sonunun nereye varacağı kestirilemeyen politik veya askeri çekişme ve çatışmalara sahne olmaktadır (Waldman ve Elliott 1992). Mısır'ın bir suikast sonucu öldürülen eski devlet başkanı, Sudan'la aralarında çıkan savaşın tek nedeni olarak su sorununu göstermiştir (Odenwald 1993). Yine aynı sebeplerden ötürü 1990 yılı yazında Ürdün ile İsrail arasında sıcak bir çatışma yaşanmıştı. Bu gibi çatışmalara son bir örnek olarak, Suriye'nin 1975 yılında Fırat'ın su seviyesini düşürmesinin hemen ardından Irakla aralarında çıkan savaş gösterilebilir. Dünya'nın, su kıtlığı konusunda en kritik 10 bölgesi - ki bu bölgelerin çoğu ortadoğu'da bulunuyor-supaylaşımı tartışmalarından ötürü savaşın eşiğindedir.Yeterli önlemler alınmadıkçada bu tehlike bu bölgeler için devam edecektir (Srarr 1992).

Yeraltı su kaynaklarının düzensiz ve hor kullanımı ve insanlar tarafından bozulan doğal denge nedeniyle, eksik bir şekilde suyun yeryüzüne olan geri dönüşümü yeraltı su kaynaklarını azaltan etkenlerdendi . Ayrıca bu kaynakların hoyratça endüstriyel alanlarda kullanılması doğal çevrenin çölleşmesine ve kuraklaşmasına neden olmaktadır. Günümüzde avrupa ülkelerinde bile çölleşme problemiyle karşılaşmak mümkündür. Örneğin: İspanyada, Almeria eyaletinin büyük bir bölümünün İspanya hükümeti resmi makamlarınca artık çöl sahası olduğu resmen ilan edilmiştir (Scheiber ve Holzinger 1991).

Resmi makamların bildirdiğine göre 250 yıldan buyana Dünya üzerindeki sert kuraklık nedeniyle sayı itibariyle 20 civarında akarsu kurumuştur. Portekiz, Fransa,

İtalya , Türkiye ve Yunanistanda 1995 / 1996 yılları çerçevesince normalden % 40 ila % 70 arası daha az yağış düşmesi nedeniyle büyük bir su sıkıntısı yaşanmıştır (Der Standart 1992).

Avrupa ülkelerinde yaşanan su sıkıntısı (Diğer ülkelere kıyasla daha henüz kıtlık derecesinde değil) olması gerektiği gibi su fiyatlarına da yansımaktadır. Örneğin 1991'den 1992 yılına kadar Belçika'da % 47,55 , Hollanda'da % 28,88 oranlarında su fiyatlarında bir artış gözlenmiştir. Almanya'da bu oran aynı yıllarda % 4,54 civarında olmasına rağmen litre başına 2,23 DM'lik bir fiyatla dünya çapında su fiyatları derecelendirilmesinde 1. sıraya oturmuştu (Anonim 1992).



5. İÇME SUYU KALİTESİ BAKIMINDAN TUZLU SU

Dünyanın giderek büyüyen bir sorunu olan içme suyu sıkıntısının giderilmesinde kullanılan çeşitli yollar vardır. Bunlardan bazıları aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- * Tutumlu ve ölçülü bir su sarfıyatı ,
- * Yağmur sularının biriktirilip kullanıma sunulması ,
- * Eski çağ fosil su rezervleri olarak adlandırılan rezervlerin kullanıma sunulması ,
- * Su fazlası olan bölgelerden , su kıtlığı çekilen bölgelere suyun transferinin sağlanması , (Örneğin: Yük gemileri ile büyük buz dağlarının kutup bölgelerinden su kıtlığı çeken bölgelere taşınması gibi.)

* Deniz suyu veya az tuzlu yeraltı sularının (Acı su olarak da adlandırılabilir.) tuzlarının, ileriki başlıklarda göreceğimiz çeşitli yöntemlerle giderilmesi .

(Daha tutumlu ve ölçülü su sarfıyatı için teknik ve kullanım açısından uyulması gerekli kurallardan ileriki bölümlerde bahsedilecektir.)

Kurak bölgelerde yıllık yağış miktarı 250 mm'nin altında seyretmektedir. Bu yağış miktarı, yağış ortalamasının çok çok altındadır. Bu bölgelerde yağmur suyu tutulsa bile ihtiyaç duyulan su miktarını kesinlikle karşılayamayacak ölçüdedir (Janisch 1994).

Dörtüzyıl öncesine ait eskiçağ denizlerinden ve yağmurlarından oluştuğu söylenen fosil su rezervlerinin çıkarılmasının dünya üzerinde yaşanan su kıtlığına bir çözüm getirip getirmeyeceği bilim adamları arasında henüz bir tartışma konusudur (Bu rezervler keşvedicisi tarafından "Savornis denizi" olarak adlandırılmıştır). Mağmaya çok yakın bölgelerindeki bu rezervlerin yüksek mineral içeriğinden dolayı, bu suların içilebilir hale getirilmesi için yüksek maliyetli değişik tekniklere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durumda 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 90'lı yılları yaşadığımız şu

günlerde bir ütopyadan ileri gidemez. Aslında yapılabilir ama taşıma maliyeti bu seçeneğin olabirliğini azaltmaktadır. Ama bazı durumlarda tatlı suyun 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.

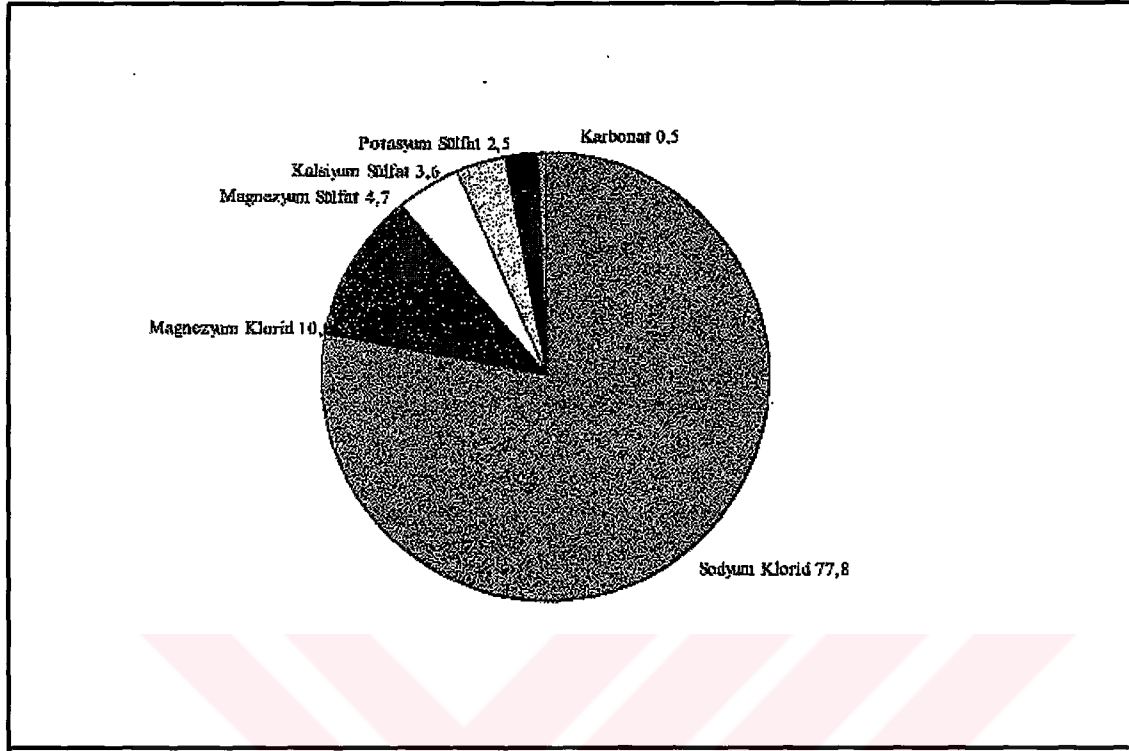
Deniz suyundan tatlısu elde edimi gerçekten yüksek maliyetlere ihtiyaç duyduğu için, bu gibi çözümlere gerek olup olmadığının çok iyi bir şekilde irdelenmesi gerekmektedir. Bu araştırma tuz giderme yöntemlerinden faydalanarak deniz suyundan tatlı su eldesi konusunu incelemiştir. Aşağıda deniz suyunun içeriğinden bahsedilmiş ve deniz suyunu oluşturan bileşikler etraflıca incelenmiştir. Dünya üzerindeki denizlerin tuz içeriği yüzde olarak % 0,7 ile % 4,3 arasında değişmektedir (Çizelge 5.1).

Çizelge 5.1: Dünya üzerindeki çeşitli denizlerin tuzluluk oranları

DENİZLER	Tuz Konsantrasyonu (%)
Standart Deniz Suyu	3.5
Baltık Denizi	0.7
Hazar Denizi	1.3
Pasifik Okyanusu	3.4
Atlantik Okyanusu / Akdeniz	3.6
Kızıldeniz	4.3
Basra Körfezi	4.3

Kaynak : Janisch, Drechsler **GATE**, Solare Meerwasserentsalzung, 1994.

Denizden denize tuz içeriği büyük ölçüde farklılıklar gösterir . Denizlere olan tatlı suyun akışına bağlı olarak tuz içeriği ya çok yüksek yada az olabilmektedir. Yukarıdaki tabloda bu durum çok daha iyi anlaşılabilir . Deniz suyunun bileşenleri aşağıdaki şemada açık olarak ifade edilmiştir (Şekil 5.1).



Kaynak : Künzel , Solarunterstützte Meerwasserentsalzung - Stand der Technik 1989.

Sekil 5.1 : Deniz suyunun kimyasal tuz bileşenleri

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 yanısıra yine bu sistemlerin iç çepirlerinde meydana gelen tortu halindeki kabuklaşma başlıca problemlerdendir. Sistem içinde artan sıcaklık tuzun çözünme kabiliyetini azaltır ve bu durum çökelmeye yol açar (Künzel 1989).

* Kalsiyum ve Magnezyumkarbonat (Ca CO_3 , Mg CO_3)

** Kalsiyumsülfat (Ca SO_4)

*** Magnezyumhidroksit (Mg (OH)_2)

* 50 derecede alkalik sertlikte Kalsiyum ve Magnezyumkarbonat seyreltilmiş hidrolitik asit (tuz ruhu) yardımıyla kolayca çözdürülebilir

** Standart deniz suyunda (% 3,5 tuzluluk oranında) Kalsiyumsülfat (Susuz gips, sartalçı taşı) 95- 110 derece santigrad sıcaklığında , tuzlu suyun, tatlı suya çevrilme aşamasının neticesinde , Anhidrit olarak çökelir. İki kat daha fazla tuz içeriğine sahip sularda bu sıcaklık 70 dereceye kadar düşmektedir. Bu durum herhangi bir çok kademeli sabit entalpi buharlaştırıcısıyla damıtma olasılığını düşürür.

*** Magnezyumhidroksit sistem iç çeperlerinde yok edilmesi çok zor bir tabaka oluşturur. Bu sert tabakanın yüksek sıcaklıklarda oluşması ndan dolayı (160 derece santigrad / Standart deniz suyu için) düşük sıcaklıkta çalışan Güneş damıtma sistemleri, bu tortu oluşumuna mağruz kalmadan Problemsiz bir şekilde çalışır (Janisch 1994).

Çökeltme oluşumunun yüksek sıcaklıklarda meydana gelmesi sebebi ile çalışma sıcaklığının maximum 120 derecede tutulması çökeltme oluşumunu engelleme açısından faydalıdır. Tüm bunların dışında kabuk oluşumunu engelleme açısından çare olarak ;

- Kabuk oluşumunu önleyici ek dozlama
- Mekanik temizleme işlemleri uygulanabilir.

Mantar bakteri yada yosun oluşumunun önlenmesi için bakır tuzunun yada başka bir deyişle Hipoklorit'in (NaOCl) kullanılması şarttır. Basit buharlaştırıcılı damıtma sistemlerinde düzenli bir tuz alışverişi çok önemlidir. Özellikle Ters Ozmoz sistemlerinde, tesiste oluşabilecek problemlerin ortadan kaldırılabilmesi için bir ön işlem (ön hazırlık) mutlaka gereklidir. İşlenmemiş suyun kimyasal ön hazırlığından vazgeçilmesi halinde istenilmeyen oluşumların filtrasyonu için kum – kuars ve aktif kömür filitresi kullanılmalıdır (Künzel 1989).

5.1 Deniz Suyunun Özellikleri

5.1.1 Deniz Suyunun Tuzluluğu

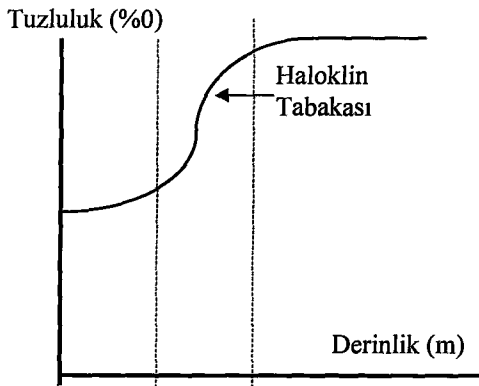
Deniz suyunun tuzluluğunu oluşturan belli başlı erimiş tuzlar sırasıyla klor, sodyum, sülfatlar, magnezyum, kalsiyum, potasyum bikarbonat ve bromdur. Bilinen tüm elementler deniz suyunda mevcuttur. İçindeki brom ve iyotların klor ile değiştirildiği 1kg sudaki toplam klor, iyot ve bromun gram olarak miktarına tuzluluk denir ve aşağıdaki formülle hesaplanabilir.

$$S = 0,03 + 1,805 Cl^-$$

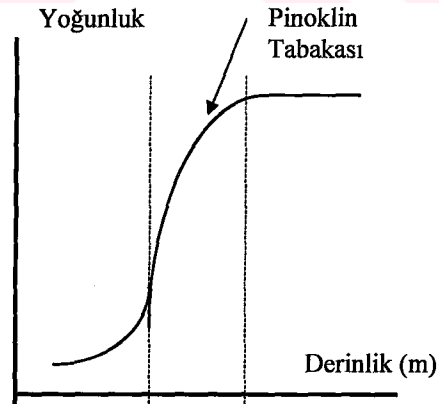
$$S = \% \text{ Tuzluluk oranı}$$

$$Cl^- = \text{Gram}$$

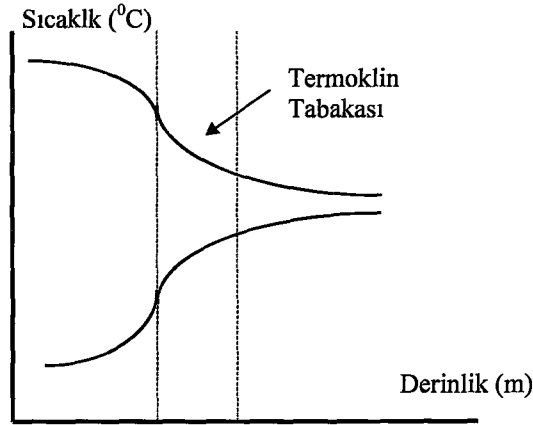
Son zamanlarda daha pratik ve güvenilir olduğu için tuzluluk tayini elektriksel iletkenlik ölçümleriyle yapılmaktadır. Tuzluluk denizlerde genel olarak derinlikle artar. Bu artış miktarı büyük değildir. Yazın ise buharlaşma nedeniyle tuzluluk artışı yüzeye doğrudur. Okyanuslarda tuzluluk %3,4 ile %3,8 arasındadır. Tuzluluğun derinlere göre diğer kısımlara nazaran daha hızlı değiştiği bölgeye haloklin tabakası denir (Şekil 5.2a).



Şekil 5.2a



Şekil 5.2b



Şekil 5.2c

Şekil 5.2 (a, b, c): Deniz suyunda oluşan tipik pinoklin, haloklin, termoklin tabakaları.

5.1.2 Deniz Suyunun Sıcaklığı

Deniz yüzeyinde ve yüzeye yakın bölgelerde su sıcaklığı hem mevsimlik hemde günlük değişim gösterir. Su derinliğinin az olduğu kıyı kesimi dışında, deniz tabanına yakın bölgelerde su sıcaklığı kaydadeğer bir değişiklik göstermez. Suyun yüzeyi ile deniz tabanı arasında sıcaklığın derinlere göre diğer kısımlakilere nazaran çok daha hızlı olarak değiştiği bölgeye termoklin denir (Şekil 5.2b).

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 sonbaharın sonunda ortadan kalkar, üçüncüsü ise gündüzdür ve sabah oluşup akşam ortadan kalkar.

5.1.3 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 suyu ile

karışık seyrelirler.Bu arada mevcut tabakalaşmaya göre yüzeye çıkarlar yada belli bir derinlikte kalırlar.

Deniz suyunun yoğunluğu ; Basınca,derinliğe, tuzluluğa ve su sıcaklığına bağlı olarak değişiklik gösterir ve 4°'deki yoğunluğu 1000 kg/m³ olan saf sudan daha fazladır (Anonim 1981).

Deniz suyunun yoğunluğu asinografide ve ilgili diğer bilim dallarında asinografik yoğunluk (Yoğunluk faktörü), σ_t birimi kullanılarak gösterilir.

$$\sigma_t = (\rho_t - 1) \cdot 10^3$$

$$\rho_t = t^{\circ}\text{deki deniz suyu yoğunluğu (gr /cm}^3\text{)}$$

$$\sigma_t = t^{\circ}\text{deki asinografik yoğunluk (gr /cm}^3\text{)}$$

denklemleri ile tanımlanır (Muslu 1993).

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 pinoklin tabakası denir (Şekil 5.2c).

5.1.4 Deniz Suyundaki Gazlar

Deniz suyunda atmosferde bulunan gazların tümü mevcuttur. Bunların arasında en önemlileri CO₂, O₂, H₂S ve N₂ 'dir.Deniz suyunda erimiş gazlardan, canlıların yaşaması için gerekli oksijenin çözünülebilirliği, artan sıcaklık ve yoğunlukla azalmaktadır. Oksijen suya atmosferle temas ve Alglerin fotosentezi sonucu geçer. Standart şartlarda oksijen doygunluk konsantrasyonu, K_D aşağıdaki bağıntıdan hesaplanabilir.

$$K_D = \frac{475 - 2.65T}{33.5 + S}$$

Burada ;

T = Su sıcaklığı, °C

S = Tuzluluğu, %

K_D= Çözünmüş oksijen doygunluğu konsantrasyonu, mg/lt

Deniz suyunda çözünmüş oksijen konsantrasyonu ml/lt veya mg/lt olarak ifade edilmektedir. Genellikle çözünmüş oksijen konsantrasyonu deniz yüzeyinde doygunluk konsantrasyonu civarındadır. Ancak fiziksel ve biyolojik faktörler yüzünden sapmalar meydana gelebilir. Alglerin fotosentezi yolu ile oksijen üretmeleri oksijen miktarını arttırabilir. Yüzeiden deniz tabanına doğru çökelen organik maddelerin bakteriler tarafından oksitlenmesi ile sudaki oksijen miktarı azalır.

Çözünmüş oksijenin varolması için derindeki suların tazelenmesi hayati öneme haizdir. Aksi takdirde H₂S oluşması ile ortam, canlılar için toksit hale gelebilir. H₂S değişmeyen hareketsiz suların mevcut olduğu denizlere ait bir özelliktir. Organik maddelerin çözünmesi ile oluşur. Bu nedenle H₂S sadece derin sularda bulunur, yüzeyde bulunmaz (Muslu 1983).

Denizlerde, mevcut N₂ miktarı O₂ 'den fazladır. Doyma sınırı oksijenin'ki gibi sıcaklık ve tuzluluğa bağlı olarak değişir. Bununla beraber denizlerdeki esas N₂ nitratlar şeklinde bulunur.

6. SU PROBLEMİNE GENEL BİR BAKIŞ

İçme suyu sarfiyatı bir çok faktöre bağlıdır. Yaşam tarzı, çeşidi, ziraat hacmi, içme suyu rezervleri ve içme suyu fiyatı bu konuda büyük bir rol oynar. Ülke içinde mevcut su kullanımının yüksek olduğu yerler ziraat ve sanayi alanlarıdır. Bu alanlarda yapılan su sarfiyatı toplam sarfiyatın yarısından fazlasını oluşturmaktadır.

Bazı bölgelerde insan faktöründen dolayı, toprağın sıkı olmasından yada özellikle şehirlerde, yamur sularının, yetersiz yada hiç olmayan ayırma kanallarının bir sonucu olarak boşa gitmesi, Yeraltı sularının oluşmasında temel faktör olan doğal sızmayı kısmende olsa engellemektedir. Bu durum yeni yeraltı kaynaklarının oluşmamasına neden olur.

Tatlı su akışının çok buharlaşmanın az olduğu bölgelerde (Örneğin: İran körfezi) tüm bunların yanında birde büyük miktarlarda suyun denizlerden çekilmesi, o bölgelerdeki denizlerin tuz konsantrasyonunu artırır. Ayrıca petrol zengini devletlerin ekonomilerini ayakta tutan petrol geliri ve bunun sonucu olan petrol üretiminin sürekli yükselen artışı bu artışa paralel deniz kirliliğininide beraberinde getirir. Hatta yaratılan bu kirlilik petrol tankerlerinin illegal olarak atıklarını denize boşaltmasıyla yaratılan kirlilikten kat kat daha fazladır. bahsedilen her iki durumda tatlı su üreten tesislerde büyük hasarlara yol açar.

Dünyanın her ülkesinde insanların sosyal emniyetinden bahsedilemez. Sosyal emniyet (Örn: Sağlık hizmetleri) olmayan bölgelerde nüfus artışı yanında birde sukıtlığı yaşanıyorsa, (Ortadoğu ve Afrika bu bölge kapsamına girer) bu durum aşılması çok güç hayati problemlerde beraberinde getirir.

Nüfus artışının yanında, ekonomik büyümeye de sahip ülkeler gelişen endüstri çerçevesinde daha çok suya ihtiyaç duyar. Bu ihtiyaç artışı, su kıtlığı çeken ve kurak coğrafyalara sahip komşu ülkelerle ortak su kullanım çerçevesinde problemlere hatta çatışmalara neden olur (Deguine ve Suze 1992).

Dünyanın dengesinin bozulmasına ve mevsimlerin değişmesine sebep olan insan kaynaklı etmenler (Kontrolsüz ağaç kesimleri, orman yangınları, doğal kaynakların israfı, Ozon tabakasının deliğinin büyümesi gibi) çölleşmenin entemel sebepleridir.

Abu Simbel'e 100 km uzaklıkta Nabta Playa civarında bir bölgede bulunan 8000 yıl öncesine ait ağaç ve bitki fosilleri ozamanın bitkisel örtüsünü tamamı ile yansıtan örneklerdir. O zamanlarda sert muson yağmurlarında etkisiyle, ormanlarla kaplı, bitkisel zenginliğe sahip olan bu bölge, günümüzde insan etkisiyle ortaya çıkan çölleşmeye örnek olarak gösterilebilir -ki gelişen endüstri ile birlikte bu kötü etkinin katlanarak artacağını gözden kaçırmamak gerekmektedir.



7. SU SARFIYATINDA MÜMKÜN OLAN ÇÖZÜM TASFİRLERİ

7.1 Su Sarfiyatında Kullanım Alışkanlıkları

Ev içinde içme suyunun en yoğun kullanıldığı alanlar, hijyenin söz konusu olduğu alanlardır. Zengin ülkelerde, modern ve eksiksiz döşenmiş su tesisatları, içme suyunun şehrin en ücra köşelerine kadar ulaştırılmasına ve klozet temizliğinden araba yıkamaya hatta cadde temizliğine kadar her alanda kullanılmasına imkan vermektedir. Kullanma suyu ile karşılanabilecek bu ihtiyaçların direkt olarak içme suyu ile giderilmesi gereksiz bir içme suyu sarfiyatına neden olmaktadır. Evlerde hesaplı bir su kullanımı yıkama ve yıkanma alışkanlıklarının değiştirilmesi ile (Banyo yerine duş gibi) olur.

Su fiyatlarının yükseltilmesi tasarruflu bir kullanıma gidilmesini sağlayabilir. Bu duruma benzer bir uygulama Almanya'nın Hamburg kentinde yapılmıştır. Türkiye için pek yabancı olmayan bu uygulamada, su parası ödemeye alışık olmayan Alman halkı'nın su sarfiyatını azaltmasında büyük etkisi olmuştur. Bu uygulamada evlerin kapı girişlerine monte edilen su sayaçları vasıtası ile su sarfiyatında ortalama %15'lik bir düşüş sağlanmıştır (Der Standart 1994).

Yoksul ülkelerde içme suyu ihtiyacı ya artırılmamış yüzey sularından yada umumi çeşmelerden kovalarla, kaplarla evlere taşımak suretiyle giderilmektedir. Bu durumu yaşayan ülkelerde içme suyu tasarrufundan bahsedilemez.

7.2 Su Kullanımında İyileştirme Teknikleri

Düşük kaliteli suyun kullanılabilceği alanlarda, kullanma suyunun tekrar kullanılması mümkün olabilmektedir. Akıllı bir su kullanım stratejisi aşağıdaki ölçüler ışığında planlanabilir.

7.2.1 Evlerdeki Su Sarfiyatı

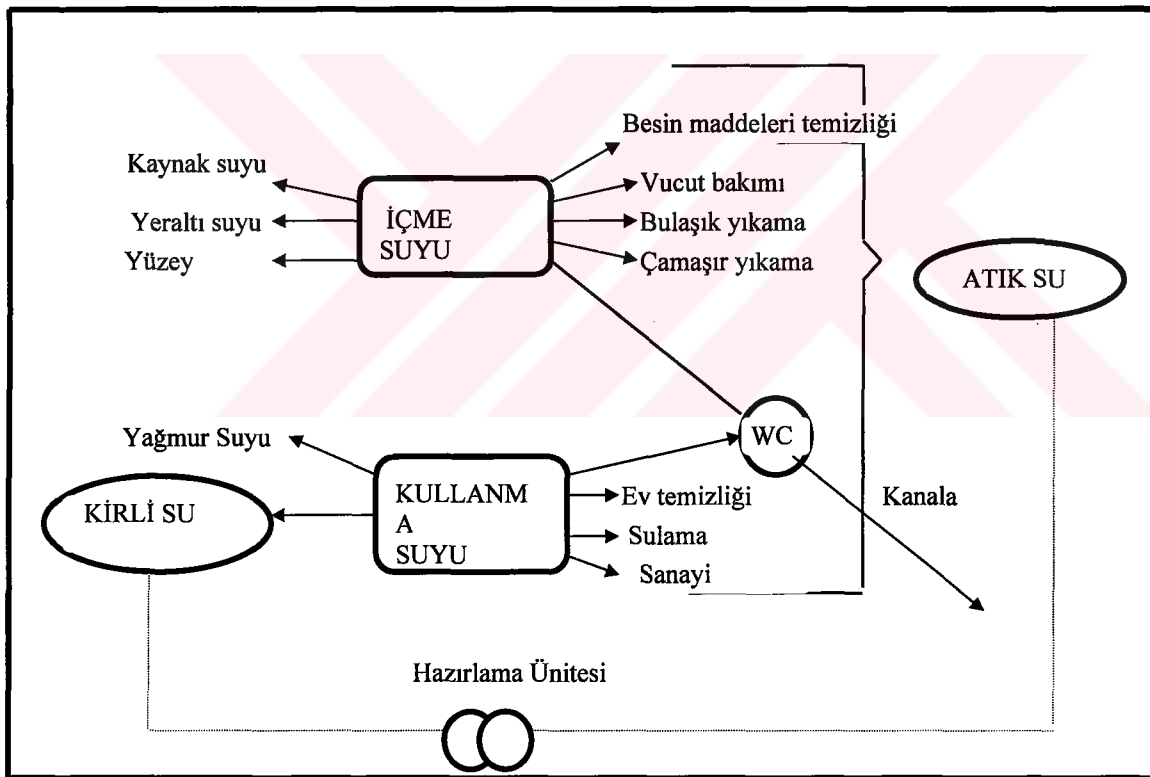
Dünya kentleri için yapılan bir araştırma sonuçlarıyla beraber aşağıda incelenmiştir (Cebrat 1994).

-Bulaşık makinaları

Bulaşık makinalarının kullanımı, el ile yıkamaya oranla su sarfiyatında büyük ölçüde tasarruf sağlamaktadır. El ile yıkamada özellikle sürekliliğin suyun altında yapılan durulama sarfiyatı büyük oranda artırır.

Su tasarrufu sağlayan ekonomik bulaşık makinalarının kullanımı tasarruf miktarını dahada arttırmaktadır. Tasarruf sağlayan bu makinaların değişim aralıkları arasında yapılan araştırmalar sonucu çok az farklılıklar gözlenmiştir. 1993 yılı 12. ayında, değişim aralıkları (toleranslar) baz alınarak yapılan bir araştırmada normal programlamada makinanın atık su çıkışı olarak 22 ila 25 litre/su çıkışı olduğu saptanmıştır. Aynı hesaplama 1981 yılı ortalamalarına göre 93 yılına kıyasla çok daha yüksektir.

İçme suyu tasarrufunda çok yönlü kullanım Şekil 7.1’de gösterilmiştir.



Şekil 7.1 : İçme suyu tasarrufunda suyun çok yönlü kullanımı

Makinaların satış fiyatlarıyla su sarfiyatları arasında ters bir orantı söz konusudur. Bu oran çok büyük değildir ama, ekonomik bulaşık makinalarının diğer makinalara göre artan fiyatlarına rağmen sarfiyatı düşürdüğü ve tolerans aralığının azaldığı gözlemlenmiştir. Bulaşık makinalarının su sarfiyatlarının karşılaştırılması Çizelge 7.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 7.1: Bulaşık makinalarının su sarfiyatları arasında yıllara göre olan bir karşılaştırma

Yıl	Ortalama Değer	Değişim Aralığı
1981	48.2 (lt/su çıkışı)	% 14 / -11
1993	23.3 (lt/su çıkışı) 65 °C	% 7 / -6
1993	23.2 (lt/su çıkışı) 55 °C	% 8 / -5

Kaynak : Konsument Stiftung Warentest 12/81, 11/79 ve 12/93.

- Çamaşır Makinaları

Aşağıdaki tabloya bakıldığında ekonomik çamaşır makinalarının 40°'lik yıkama programlarında toleranslar baz alınarak yapılan hesaplamalara göre, 17 ila 40 litre arasında, 60°'lik programlarda ise yine toleranslar çerçevesinde 11,6 ile 22 litre /kg çamaşır arasında bir su sarfiyatının olduğu görülür. Çamaşır makinalarında su sarfiyatlarının yıllara göre değişimi Çizelge 7.2’de verilmiştir.

Çizelge 7.2: Çamaşır makinalarında su sarfiyatlarının yıllara göre değişimi.

Yıl	Ortalama Değer	Değişim Aralığı
1981	27.9 (lt/kg) 60 °C	% 38 / -42
1992	33 (lt/kg) 40 °C	% 21 (%139) / -48
1992	15 (lt/kg) 60 °C	% 47 / -23

Kaynak : Konsument Stiftung Warentest 7/92.

Çamaşır makinalarında tıpkı bulaşık makinalarında olduğu gibi, makinaların satış fiyatlarına göre su sarfiyatlarında ters orantılı olarak değişmektedir. Düşük model

bir makinanın su sarfiyatı tabloda görüldüğü üzere daha fazladır. Ekonomik çamaşır makinaları yüksek fiyatlarına karşılık su sarfiyatını düşürür. Ucuz makinalarda ise düşük sarfiyat söz konusu değildir.

-İçme ve Yemek Pişirme

Düdüklü tencerelerin kullanılması vasıtasıyla yemek pişirme esnasında buharlaşma minimum seviyeye indirildiği için bir miktar tasarruf sağlanır ama bu tasarruf kayda değer bir tasarruf değildir.

-Yıkama ve Vücut Bakımı

Yapılan araştırmalar sonucu, kullanılan yeni model modern duş kafaları sayesinde, normalde kullanılan suyun, üçte ikisi kadar daha az su sarfiyatı yapıldığı ortaya çıkmıştır. Havalı püskürtmeli duş kafaları ve musluk başlarının kullanılmasıyla %25 oranında su tasarrufu sağlandığı tespit edilmiştir.

Banyo küveti doldurularak yapılan yıkamada harcanan içme suyu miktarı 200 ila 250 litre civarında olup duş alınarak yapılan sarfiyatın neredeyse duruma göre 3-5 katına eşittir. (Duş alınarak yapılan sarfiyat 40-80 litre arasındadır). Bu durum edinilen alışkanlıkların su sarfiyatında ne kadar önemli bir rol oynadığını açıkça göstermektedir.

-Oda Temizliği

Yetmişli yıllardan itibaren yaygınlaşan duvardan duvara halılar sayesinde eskiye nazaran bu alandaki su sarfiyatı nda bir düşüş yaşanmıştır.

-Klima

Oda içindeki sıcaklığın düşürülmesi yada arttırılması için gerek duyulan su miktarı ortalama olarak , kişi başına 8,68 litre/saat'dir.

-WC Temizliği

Su akışını sınırlayıcı bir durdurma buton'u sayesinde % 40' lık bir tasarrufun sağlandığı gözlenmiştir.

-Otomobil Temizliği

Bahçe fortumuyla yapılan otomobil temizliği, benzin istasyonlarındaki otomatik araba yıkama aparatlarının harcadığı su miktarından kat kat daha fazladır. Tercihin bu alan'dada ne kadar büyük bir rol oynadığı rahatlıkla görülür.

7.2.2 Evlerdeki Tasarruf Potansiyeli

Yukarıdaki tahminlere göre içme suyundaki tasarruf miktarları şöyle açıklanabilir.İçme suyundaki tasarruf miktarları Çizelge 7.3'de gösterilmiştir.

Çizelge 7.3: İçme suyundaki tasarruf miktarları (% ve Para birimi olarak)

Kullanım Alanları	Günlük İhtiyaç (lt/gün)	Mümkün Olabilecek Tasarruf (%)	On Yıl Sonunda Tasarruf Edilen Miktar (DM)
İçme ve yemek pişirme	6	8	286
Vucut bakımı	12	15	143
Banyo ve duş	35	50	-
Bulaşık yıkama	10	10	715
Çamaşır yıkama	40	35	429
Ev temizliği	7	10	-
Tuvalet temizliği	40	40	286
Araba yıkama	3	60	-
Bahçe sulama	5	100	-
TOPLAM	158	58.3	1859

Kaynak : Konsument Stiftung Warentest 7/92.

Toplam tasarruf miktarı su kalitesinin aynı kaldığı durumlarda kişi başına günlük 58,3 litre tutmaktadır. Buda toplam sarfiyatın %37'sine eş değerdir. Yani normalde harcanan suyun %37 daha az bir oranında su sarfiyatı yukarıdaki tahminlere göre mümkün olabiliyor. Tasarruf edilen suyun litre fiyatı Almanya'da bugünün

değerlendirmelerine göre 6 Groschen (kuruş), (60 Avusturya Şilini)'dir. Avusturya'da suyun litre fiyatı 3 kat daha azdır (14-18 Avusturya Şilini / m³).

7.2.3 Ziraat'deki Tasarruf Potansiyeli

Ziraat alanında alınabilecek tedbirler ortadadır. Suyun biryerden biryere taşınması sırasında olabilecek kayıpların önüne geçerek, sulama sırasında suyun, yüksek güneş ışınımlarından dolayı buharlaşmasını önleyerek su sarfiyatı minimize edilebilir.

Tarım arazilerinin sulamasında kullanılan sulama sistemlerinden o bölgeye en uygun olanını seçerek su sarfiyatının azaltılmasına gidilebilir. Çizelge 7.4'de çeşitli sulama sistemleri dezavantaj ve avantajları baz alınarak değerlendirilmişlerdir.

Çizelge 7.4: Ziraat alanında kullanılan sulama tekniklerinin su tasarrufu çerçevesinde karşılaştırılmaları

SULAMA METODLARI	AVANTAJLARI	DEZAVANTAJLARI
Yüzey Sulama	-	Yüksek su kaybı
Fıskiye Sulama	Yüksek taşıma potansiyeli, otomatik bir sistem kurulabilme özelliği	Yüksek su kaybı, rüzgarda homojen olmayan su dağıtımı
Su Motorlarıyla Sulama	Büyük alanların sulamasında zaman tasarrufu sağlar, rüzgarda homojen su dağılımı yapar	Yüksek yatırım maliyeti ve yüksek su kaybı
Yüzey Damla Sulama	Gübre emilimi kolaylığı, suyun akışında yaprak zararının önlenmesi, Buharlaşmanın minimize edilmesi, su kullanımında tasarruf sağlaması	Yüksek yatırım maliyeti, sistemin plastik malzemesinin güneş ışınlarından zarar görme olasılığı, hayvanların yarattığı tehlike
Toprak Altı Damla Sulama	Güneş ışınlarının yarattığı tehlikeden uzak, iş makinelerinden da zarar görmez	Yüksek yatırım maliyeti, sistemin yer altı iş makinelerinden ya da kemirgenlerden zarar görme olasılığı

Kaynak ; Y. Kahana, Der Standart, 1992.

7.2.4 Sanayideki Tasarruf Miktarı

Metal sanayisinde halojenli çözücü kullanmak gibi bir zorunluluk olmadığından bu sanayide yıkama işlemi için su kullanılmaktadır. Metal sanayisinde Banyo ve yıkama teknikleri için yararlı kombinasyonlar denenebilir. Bu kombinasyonlar eğer uygulanırsa, sarfedilmek zorunda olan su miktarında %100 ila %99,78 oranında tasarruf sağlar. Suyun yerine halojenli yıkama banyoları su tasarrufu için tercih edilmelidir. İşletmelerin kanunlar çerçevesinde bu sisteme geçmeleri için zorlayıcı önlemler biran önce alınmalıdır.

7.3 Tatlı Su Üretiminin Ülkelere göre Durumu

Dünya üzerinde yaklaşık olarak deniz suyu arıtan 7500 adet tesis bulunmaktadır. Butesislerin günlük içme suyu üretimi 13 milyon m³'ün üzerindedir (Bior 1992).

- * Deniz suyu'nun tuzunu gideren tesisler toplam tesis sayısının 2/3 'ü
- * Yüksek mineral kapasiteli suları işleyen tesisler toplam tesis sayısının 1/4 'ü
- * Nehir sularını işleyen tesisler toplam tesis sayısının 1/12 'si kadardır.

Dünya üzerindeki bu tesislerin üretim kapasitelerinin hemen hemen yarısı körfez ülkelerinde bulunan tesislere aittir. %12'lik bir oranla bu ülkeleri Amerika takip etmektedir. Geri kalan bölüm ise diğer ülkeler üzerinde dağılmıştır.

İsrail'de mineral içeriği yüksek olan yeraltı sularının tuzlarının giderilmesi için aşağıdaki tuz arıtma teknolojileri kullanılmaktadır (Bior 1992).

- * Multi - Stage - Flash (MSF), yöntemi ile 8 adet
- * Ters Ozmoz yöntemi ile 23 adet
- * Deney aşamasında olup hala üzerinde çalışılan yeni teknolojik yöntemleri ile çalışan 4adet tesis bulunmaktadır.

Güneş radyasyonunun yüksek değerlerde seyrettiği bölgelerde, su sıkıntısının yaşanıyor olması ne kadar doğalsa, bu bölgelerde güneş enerjisinden faydalanan tesislerin kurulması bir okadar doğal ve gerekli bir durumdur.

7.3.1 Arap Yarımadasında Tatlı Su Üreten Tesislerin Kapasiteleri

Bu bölge üzerinde deniz suyunun arıtılmasında kullanılan en yaygın yöntemler Multi- Stage- Flash (MSF) ve Membranlı ayırma yöntemi olan Ters Ozmoz yöntemleridir. Öyle ki diğer yöntemlerin üretim miktarları, bahsedilen bu iki yöntemle yapılan üretimle kıyaslanamayacak derecede azdır. Hatta deniz suyunu arıtarak içme veya kullanma suyu üreten tesislerin üretim kapasitelerinde Multi- Stage- Flash (MSF) yöntemi önemli bir paya sahiptir. Aşağıdaki tablo, Arap yarımadasındaki ülkelerin sahip oldukları tesislerin ülkelere göre kapasite dağılımını göstermektedir. Arap yarımadasındaki deniz suyunun tuzunu gideren tesislerin kapasiteleri Çizelge 7.5’de gösterilmiştir.

Çizelge 7.5: Arap yarımadasındaki deniz suyunun tuzunu gideren tesislerin kapasiteleri.

ÜLKELER	Tesislerin Toplam Günlük Kapasiteler (ton /gün)		Her Bir Tesisin Maximum Kapasitesi (ton/gün)		Ters Ozmoz Yöntemiyle Üretimin Toplam Kapasiteye Göre Yüzdesi
	MSF*	TO**	MSF	TO	
Bahreyn	147513 (15)	91227 (31)	20000	4600	38.21
Kuveyt	995951 (58)	3480 (4)	32700	1000	0.35
Oman	93455 (10)	300 (1)	22710	300	0.32
Katar	297797 (27)	-	22800	-	-
Suudi Arabistan	2399713(197)	63169 (44)	26700	13626	2.56
Birleşik Arap Emirlikleri	1041879 (94)	491 (3)	33333	189	0.05
Yemen	1800 (5)	-	600	-	-
TOPLAM	4978108	158667	-	-	3.19

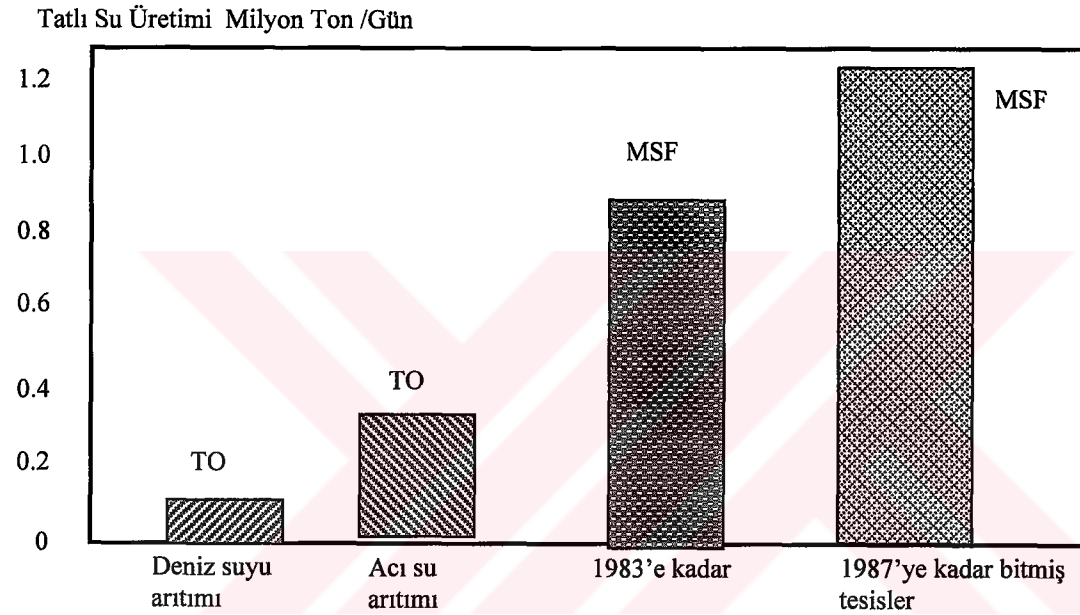
Kaynak : Desalting Plants Inventory Report No: 8, 1985.

* Multi - Stage Flash

** Ters Ozmoz

Bu bölgede mevcut bulunan MSF yöntemi ile çalışan tesislerin sayısında 1980 yılından itibaren %67,6 oranında bir artış gözlenmiştir. Hemen hemen aynı kullanım yoğunluğuna sahip olan Ters Ozmoz yöntemi ise mineral içeriği yüksek az tuzlu veya acı su olarak adlandırılan suların tuzunun giderilmesinde en çok başvurulan yöntemdir. Sadece Suudi Arabistan içinde en çok kullanılan yöntem teknikleri arasında bir karşılaştırma yapıldığında, MSF yönteminin başı çektiği görülür (Anonim 1985).

Suudi Arabistan'da kullanılan yöntemlerin tatlı su üretim payları Şekil 7.2'de gösterilmiştir.



Kaynak :Wojcik C.K., Moadhah A.G.: Water Desalination in Saudi Arabia, The Arabian Journal for Science and Engineering, 1983.

Şekil 7.2: Suudi Arabistan'da kullanılan yöntemlerin tatlı su üretim payları

8. İKİ FAZLI AKIŞ

İklimlendirme, ısıtma ve soğutma endüstrisinde, iki fazlı akışlar ile çok yaygın olarak karşılaşılır. Doğrudan genişlemeli ve termosifon tipi soğutucular, kaynaklı veya contalı levhalı tipten, boru tipten veyahut da hava soğutmalı tipten bütün buharlaştırıcılar ve yoğuşturucular içinde, soğutucu akışkan sıvısı ile buharı daima birarada bulunur. Su buharı ile çalışan ısıtma sistemlerinde ise borular içinde sıvı fazındaki su ile su buharı bir aradadır. Karakteristikleri nedeni ile, iki fazlı akışlardaki ısı geçişi ve hidrodinamiğinin analizi, tek fazlı akışların anlaşılması kadar kolay değildir. Çoğunlukla iki fazlı akışlarda, yük kaybını ve ısı geçişini karakterize edebilmek için, tek bir bağıntı yeterli olmayabilir. Özel ısıl ve hidrodinamik işletme koşulları için ayrı ayrı korelasyon bağıntıları verilir.

Bu bölümde, iki fazlı akışların temel prensipleri sunulacak ve bu sistemlerde yük kaybının ve ısı taşınım katsayısının bulunabilmesi için çok sayıda korelasyon bağıntısına ait bilgiler verilecektir.

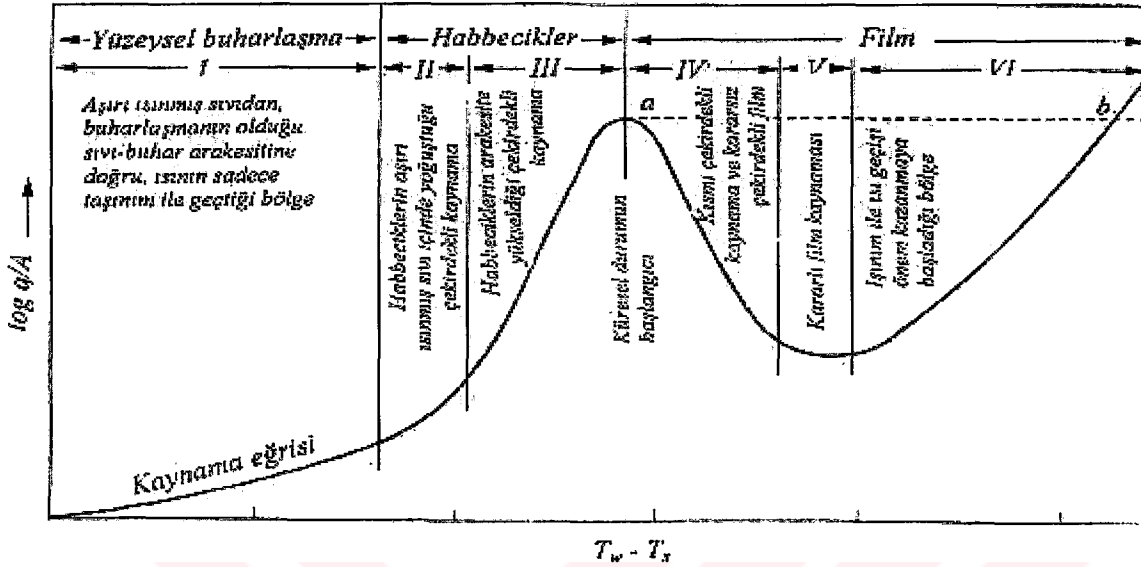
8.1. Kaynama

İki fazlı akış, buharlaşmanın doğal veya zorlanmış taşınım ile olduğu, çeşitli akış ve ısıl rejimleri ile karakterize edilebilir. Tek fazlı sistemlerdeki akışlarda olduğu gibi, iki fazlı akışlarda da ısı taşınım katsayısı, akış rejimine bağlıdır. Buhar ve sıvıya ait termodinamik ve taşınım özellikleri, ısıtıcı yüzeyin, pürüzlü, ıslatma kabiliyeti gibi özellikleri ve diğer değişkenler, ısı taşınım katsayısına farklı şekillerde etki eder. Bu nedenle, bu katsayının belirlenebilmesi için her bir akış ve kaynama rejimi ayrı ayrı gözönüne alınmalıdır.

8.1.1. Doğal Isı Taşınımı olan Sistemlerde Kaynama ve Havuz Kaynaması

Kaynama Rejimleri: Şekil 8.1de karakteristik kaynama eğrisi detayları ile gösterilmiştir. Isıtıcı yüzeyin sıcaklığı, akışkanın doyma sıcaklığına yakın değerlerinde olması durumunda ısı, buharlaşmanın bulunduğu serbest yüzeye doğru olan taşınım hareketleri

yardımı ile geçer (1.Bölge). Isıtıcı yüzey sıcaklığının, doyma sıcaklığından birkaç derece fazla olduğunda, çekirdekli kaynamaya geçiş bölgesi görülür (2.bölge).



Şekil 8.1 : Karakteristik kaynama eğrisi.

Çekirdekli kaynamada, ısıtıcı yüzey etrafında aşırı ısınmış ince bir sıvı tabakası vardır. Yüzeydeki beneklerde ortaya çıkan habbecikler, bu tabaka içinde çekirdeklenir ve büyür. Habbelerin oluşturduğu çalkantı ve buharlaşma, aşırı ısınmış sıvı filminin ısıl direncini büyük ölçüde azaltır. artan yüzey sıcaklığı, habbecik sayısını artırır ve ısı akısının büyümesine neden olur.

Isı akısı veya akışkan ile yüzey arasındaki sıcaklık farkı arttıkça ve daha fazla habbecik ortaya çıktıkça, yüzeye doğru olan sıvı akışı kesintiye uğrar ve yüzey etrafında ince bir buhar tabakası oluşur. bu nokta çekirdekli kaynamada pik ısı akısını veya maksimum ısı akısını verir (Şekil 8.1'de a noktası). Sabit güç üreten sistemlerde, ısı akısının bu değerden bir miktar artması durumunda, ısıtıcı sıcaklığı aniden arttığından (Şekil 1'de b noktasına gelindiğinden) ve çoğu zaman bu yeni noktadaki sıcaklığın metal ergime sıcaklığından büyük olması nedeni ile pratikte bu ısı akısına yanma ısı akısı adı verilir.

Yüzey sıcaklığının kontrol edilebildiği sistemlerde, pik ısı akısındaki sıcaklıktan daha büyük değerlerde, ısı akısı yoğunluğunda bir azalma görülür. Bu kısım geçiş

kaynama bölgesi (4. Bölge) adını alır. Ve burada sıvı ard arda yüzey üzerine gelirken, buharın patlaması ile geri püskürtülür.

Yüzey sıcaklığının yeteri kadar büyük değerlerinde, ısıtıcı yüzey üzerinde kararlı bir film tabakası oluşur. Bu kısma ise film kaynaması rejimi (5.ve 6. Bölgeler) adı verilir. Buhar filmi boyunca ısı geçişi, iletim (ve birazda ışınım) ile olduğundan, çekirdekli kaynama ile karşılaştırıldığında, aynı ısı akısı yoğunlukları için, ısıtıcı yüzeyin sıcaklığı, film kaynamasında biraz daha yüksektir.

Serbest yüzey buharlaşması : 1. Bölgede yüzey sıcaklığı sıvının doyma sıcaklığından fazla olup, habbeciklerin oluşumundaki sıcaklıktan birkaç derece daha azdır. Isınmış yüzeyden taşınarak gelen aşırı ısınmış sıvı serbest yüzeyde buharlaşır. bu bölgede ısı taşınımına ait bağıntılar, adi doğal ısı taşınımındaki bağıntılar ile benzerdir (Ek1'de denklem (1)'den (4)'e kadar olan bağıntılar.)

Çekirdekli kaynama : Çekirdekli kaynama rejiminde, ısı akısı yoğunluğu, sadece sıcaklığın bir fonksiyonu olmayıp, yüzey pürüzlülüğünde bir fonksiyonudur. Çekirdekli kaynamaya ait önerilen denklemler, h ısı taşınım katsayısının ($t_w - t_{doy}$) şeklinde verilen, sıcaklık farkı cinsinden;

$$h = \text{sabit} (t_w - t_{doy})^a$$

olarak ifade edilmesi biçimine dönüşür. Bu bağıntıda a üstel sayısı 1 ila 3 arasında değişmekte olup, sabit katsayı ise sıvı ve buharın, termodinamik ve taşınım özelliklerine bağlıdır.

Rohsenow (1951), kantitatif çekirdekli kaynama karakteristiklerini gözönüne almadan verilen yüzey sıvı kombinasyonları için atmosferik basıncın, yüzeysel etkilerini deneysel olarak bulmuştur. Olay üzerine basıncın etkisi, Ek1'de denklem(5)'deki boyutsuz sayı grubu yardımı ile verilmiştir. bazı sıvı yüzey kombinasyonları için, Blatt ve Adt (1963) tarafından elde edilen c_{sf} katsayıları, Ek1'in 2. Kısımında verilmiştir.

Ek1'deki denklem (6), yatay ve düşey levhalar ve silindirler için çekirdekli kaynamaya ait çok kullanılan bir korelasyon bağıntısıdır. Bu bağıntının sağ tarafındaki sol terim, ısıtıcı yüzeyin çapının etkisini içermektedir.

8.1.2 Maksimum Isı Akısı ve Film Kaynaması

Maksimum ısı akısı ve film kaynaması bölgesi, çekirdekli kaynamadaki ısı akısında olduğu gibi, ısıtma yüzeyi şartlarına kuvvetli şekilde bağlı değildir, pik ısı akısının ve film kaynamasının analizi çok daha kolaydır.

Pik ısı akısının bir hidrodinamik kararsızlık olduğu kabul edilirse, saf, ıslatan sıvılarda bu ısı akısını hesaplayabilmek için Ek1'deki denklem (7) elde edilir. Bu denklemde verilen boyutsuz katsayı, bir çok sıvı için yaklaşık olarak 0.12 ila 0.16 arasında değişir. bu olayda akışkanın ıslatabilme özelliğinin etkisi tam olarak açıklanmış değildir.

Yatay bir yüzeyden ve yatay bir silindirden olan film kaynamasında minimum ısı akısı yoğunluğu, Ek1'deki denklem (8) ve (9) yardımı ile hesaplanır. Denklemlerdeki 0.09 ve 0.114 çarpanları, deneysel bulgulara uymak için konulmuştur, iki analizden hesaplanan değerler, yaklaşık % 30 daha büyüktür. Minimum ısı akısında, film kaynaması için sıcaklık farkı Ek1'deki denklem (10) yardımı ile hesaplanabilir.

Film kaynaması halinde ısı taşınım katsayısı, yatay bir yüzey için Ek1'deki denklem (11); yatay bir silindir için Ek1'deki denklem (12) yardımı ile hesaplanabilir. Silindire ait bağıntıyla, silindir çapının ve yüzey geriliminin etkisi göz önünde bulundurularak, Ek1'deki denklem (13),(14) ve (15) ile genelleştirilebilir. Yerçekimi ivmesini azalması durumunda türbilanslı film kaynaması için Ek1'deki denklem (16) verilmiştir.

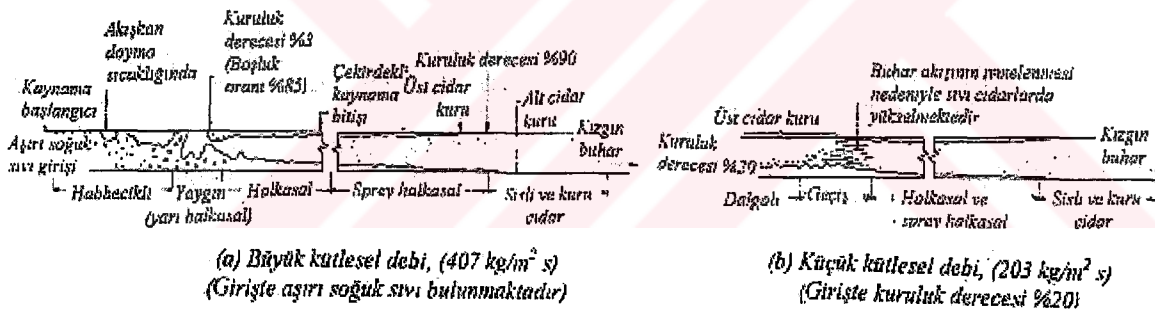
8.1.3. Sıvı Dolu Buharlaştırıcılar

Ek 1'de verilen denklemler yardımı ile sıvı dolu buharlaştırıcılardaki ısı geçişi miktarları yaklaşık olarak bulunabilir. Bu yaklaşımın bir nedeni buharlaştırıcıya giren buhar ile buharlaştırıcıda oluşan buharın karışması önemli derecede bir zorlanmış ısı geçişine neden olur ve buda çekirdekli kaynamanın artışına etki eder. Kovan boru tipi

buharlaştırıcıların boru demeti tarafındaki veya düşey borulu sıvı dolu buharlaştırıcıların borularındaki, buhar sıvı akışının oluşturduğu iki fazlı akışlardaki, düzgün olmayan hız dağılımında etkisi de buharlaşma üzerine önemli derecede etki yapar.

8.1.4. Borular içinde Zorlanmış Isı taşınımında Buharlaşma

Akış mekanizması: Sıvı ve buhar karışımının bir boru içinde akması durumunda; sıvı fazının kütle oranına her iki fazdaki akışkanın fiziksel özelliklerine ve akış debisine bağlı olarak, bir kaç akış modeli oluşur. Bir buharlaştırıcı borusu içinde boru boyunca sıvının kütle oranı azaldıkça gaz sıvı akış modelleri değişir. Boru içine akışkan aşırı soğumuş halde giriyor ise, ısıtılmış boru cidarlarında, ilk olarak buhar habbecikleri görülür (Çekirdekli kaynama). Daha sonra buhar oranı arttıkça sırasıyla habbecikli, tıkaç tipi, yarı halkasal, halkasal, sprey halkasal ve sisli akış modelleri ortaya çıkar. Yatay bir buharlaştırıcı borusu içinde idealleştirilmiş bu akış modelleri, şekil 8.2'de görülmektedir.



Her iki halde de ısı akışı sabit; boru çapı 12mm

Şekil 8.2: Yatay buharlaştırıcı bir boruda akış rejimleri.

Kaynamadaki çekirdekleşme, ısıtılmış yüzeydeki aşırı ısıtılmış sıvının ince bir alt tabakası içinde meydana geldiğinden, zorlanmış akıştaki kaynama olayı sıvı kütlelerinin aşırı soğuması esnasında başlayabilir. Akışkanın özelliklerine ve aşırı soğma miktarına

bağlı olarak oluşan habbecikler büzülebilir veya büyümeye devam edebilir ve birleşerek bir araya gelebilirler (Şekil 8.2a).

Çekirdekli kaynama başladıktan sonra, çok kısa zamanda habbecikler bir araya toplanarak düşey bir boruda buhar kümesi halinde veya yatay bir boruda şekil 8.2 de verildiği gibi, borunun üst kısmında buhar tıkaçı şeklinde görülebilir.

Buhar habbeciklerinde daha fazla biraraya gelmeler, yaygın veya yarı halkasal akış şekline dönüşüme neden olur. Akışkan hızı yeteri derecede büyük ise, boru cidarlarındaki bir sıvı halkasının içinde sürekli bir buhar çekirdeği oluşur. Bu halkasal akış, boru kesit alanının yaklaşık 85'inin buhar ile dolu olması durumunda meydana gelir.

12 mm çapındaki bir boru içindeki iki fazlı akışta, kütleli hız $200 \text{ kg/m}^2\text{s}$ değerinden daha büyük ise, halkasal akışta buhar kısmı içine giren küçük sıvı damlacıkları, buhar kuruluk derecesinin aralığını yüzde birkaç değerinden % 90 değerine kadar değiştirebilir.

Düşey borularda sıvı halkası boru iç çevresi boyunca düzgün bir şekilde simetrik olarak dağılırken, yatay borular içinde bu dağılım şekil 8.2a'da görüldüğü gibi, simetrik olmayan bir biçimdedir. buhar kuruluk derecesi yaklaşık olarak % 90 değerine ulaştığında, buhar içinde hala sıvı damlacıkları bulunmasına rağmen (sisli akış) cidar kuru haldedir.

12 mm çapındaki bir boru içindeki iki fazlı akışta, kütleli hız $200 \text{ kg/m}^2\text{s}$ değerinden daha küçük ise, sıvı kısmı borunun sadece alt tarafını kaplar. Buhar kuruluk derecesinin yaklaşık % 5'den daha fazla olması durumunda, burada dalgalı bir akışın oluşmasına neden olur. buharlaşma ile buhar ivmelendikçe, halkasal akışa dönüşüme doğru arakesit yüzeyi dağılır.

Isı geçişi: Bir boru içindeki buharlaşma olayında bütün kuruluk derecelerini içerecek şekilde, ısı geçişi için tek bir bağıntı verilmesi çok güçtür. girişte kuruluk derecesinin yüzde birkaç değerinde olduğu soğutma sistemlerindeki buharlaştırıcılarda, borunun büyük bir kısmında halkasal akış olduğundan, bu problem biraz daha kolay olarak çözülebilir.

Soğutucu akışkanların borular içindeki buharlaşmasına ait bir çok uygulamada, Ek2'deki denklem (1) önerilir. Ek2'deki denklem (2),(10) ve (11)'de verilen bağıntılar, hız (taşınım) ile ısı akısı (çekirdeklenme) terimlerinin etkilerini içermekte ve yerel q ısı akısı ile x buhar kuruluk derecesinin fonksiyonu olarak ısı taşınım katsayılarının bulunmasını vermektedirler. Birçok durumda hassas tasarımlar için ortalama değerden çok, yerel değerlerin kullanılması daha uygundur.

8.2. Yoğuşma

Yoğuşma olayı, doymuş buharın doyma sıcaklığından daha düşük bir sıcaklıktaki yüzey ile teması gelmesi halinde oluşur. Bu olayda buhar içindeki gizli buharlaşma ısını kaybeder ve yüzey üzerinde yoğuşur.

Pratikteki bir çok uygulamada, yoğuşmanın bir çeşidi olan film yoğuşması ile karşılaşılır. Bu durumda yoğuşan sıvı, bütün yüzeyi bir film halinde kaplar ve yüzey üzerinden yerçekimi ivmesi ile akar. Buna karşılık yüksek derecede parlatılmış veya yağ asitlerinin sürülmüş olduğu yüzeylerde su buharında olduğu gibi, diğer bir yoğuşma çeşidi olan damlacıklı yoğuşma olayı da görülebilir.

Yoğuşma olayındaki ısı akısı, yoğuşan buhar ve yüzeyden uzaklaşan sıvı debisine bağlı olarak, sıvı filminin bir fonksiyonudur. Basıncın kritik basınca oranının büyük olduğu değerlerde damlacıklı yoğuşma halindeki ısı taşınım katsayısı aynı ısı akısı için film yoğuşması halinden daha büyüktür. Basıncın kritik basınca oranının küçük değerlerinde ise bunun tersi doğrudur. Örnek olarak doyma basıncının 90 kPa değerinden 16 kPa değerine azalması durumunda, su buharının damlacıklı yoğuşma halinde ısı taşınım katsayısı 6'da 1 oranında düşer. Damlacıklı yoğuşma halinde ısı taşınım katsayısının bulunması için bir yöntem akışkan özelliklerini, sıcaklık farkını ve yüzeysel gerilim gradyanını içeren çeşitli boyutsuz sayılardan yararlanmaktadır.

Yatay borular ve kısa düşey levhalar üzerindeki yoğuşmada, yoğuşan sıvı filminin hareketi laminar olmasına karşılık, düşey borularda ve uzun düşey levhalardaki yoğuşmada, bu filmin hareketi türbilanslı olabilir. Grober ve ark. (1961), laminar rejimden türbilanslı rejime geçişte kritik reynolds sayısının 1600 değerinde olduğunu öne sürmüşlerdir. Burada reynolds sayısı yoğuşma yüzeyinin birim genişliğindeki

yoğuşan kitlesel akış debisi ile tanımlanmaktadır. Buradaki genişlik değeri, düşey borularda borunun çevresi olarak, yatay borularda ise boru uzunluğunun iki katı olarak alınmaktadır. Buna göre ;

$$Re.sayisi = 4 \frac{w}{\mu_f}$$

olarak tanımlanmakta olup, bu eşitlikteki w , birim genişlikte yoğuşan kitlesel debiyi, μ_f yoğuşan sıvının t_f film sıcaklığındaki dinamik viskozitesini gösterir. pratikte çok kullanılan bu yoğuşmanın yatay boruların dışında olduğu, kovan boru tipi cihazlarda yoğuşma işlemi genelde laminer bölgededir.

Yoğuşmadaki ısı taşınım katsayısı üzerine, buhar hızında önemli ölçüde etki etmektedir. Bu hız küçük olduğunda, yoğuşan sıvı öncelikle yerçekimi ivmesi ile akar ve bu akışa sıvının viskozitesi bir direnç gösterir. Yoğuşan sıvı filminin hızına göre, izafi olarak buhar hızı büyük ise, buhar sıvı ara kesitinde ihmal edilmeyecek bir direnç kuvveti vardır. bu kuvvet yoğuşan sıvı filminin kalınlığına ve bunun sonucu olarakta ısı taşınım katsayısına etki eder. Buhar akışı yukarı doğru olduğu zaman geciktirici bir kuvvet viskoz sürtünme kuvvetine eklenir. ve bu durumda sıvı filminin kalınlığı artar. Buhar akışı aşağı doğru olduğunda ise sıvı filmi kalınlığı azalır ve ısı taşınım katsayısı artar. Yatay borular içindeki yoğuşma halinde, buhar hızının buhar hızının oluşturduğu kuvvet, yoğuşan sıvının akmasını sağlar. Buhar hızı yüksek ise, laminer akıştan türbilanslı akışa geçiş küçük reynolds sayılarında meydana gelir.

Kızgın buharın yoğuşmasında ısı taşınım katsayısı, yüzey sıcaklığına bağlıdır. Yüzey sıcaklığının doyma sıcaklığının altında olması durumunda, h ısı taşınım katsayısı ile, yüzey sıcaklığı ile doyma sıcaklığı arasındaki fark gözönüne alınarak doymuş buharın yoğuşması için hesaplanan h ısı taşınım katsayısı arasında çok küçük bir fark vardır. Yüzey sıcaklığının doyma sıcaklığının üzerinde olması durumunda yoğuşma meydana gelmez ve bu durumda gazlara ait taşınım ile ısı geçişi prensipleri uygulanır. Yoğuşma halinde ısı geçişine ait korelasyon bağıntıları, Ek3'de verilmiştir.

8.2.1. Düşey Boruların Dışındaki Yoğuşma

Düşey boruların dışındaki veya düşey yüzeylerdeki film tipi yoğuşması için, $4w/\mu_f < 1800$ olması halinde, Ek3'de denklem (1) ve (2) ile verilen bağıntılar önerilmektedir. Bu bağıntılarda akışkan özellikleri, ortalama film sıcaklığında alınmalıdır. $4w/\mu_f$ sayısının, 1800 değerinden büyük olması durumunda ise (yüksek düşey levhalar ve borular), Ek3'deki denklem (3) ve (4) kullanılır.

8.2.2. Yatay Boruların Dışındaki Yoğuşma

Ek3'de denklem (5) ve (6) ile verilen, Nadet yatay boru sırasına ait yoğuşmada, nusselt'in sunduğu denklemlerin verileri %10 oranında arttırılmıştır. Short ve Brown (1951)'in, R-11 ile yaptığı deneylerde, yoğuşarak boru sıraları arasından düşen sıvı damlacıklarının yerel türbilansa neden olduğunu ve bu olayın ısı geçişini arttırdığını belirtmiştir.

Kanatlı yatay borular dışındaki yoğuşmada, yoğuşan sıvının yüzeyler üzerinde kolayca aktığı durumlar için Ek3'deki denklem (7) bağıntısı kullanılabilir. Buna karşılık yoğuşan sıvının borular ve kanatlar arasındaki boşluklardan akmasının zor olduğu, kanatlı yüzeylerdeki yoğuşma halinde; çeşitli araştırmacılar, Ek 3'de verilen denklem(7)'den bulunan sonuçlardan daha küçük değerler elde edildiğini belirtmektedirler.

Su buharının film tipi yoğuşması için atmosferik basınçta ve film sıcaklığının – 12 ila 65°C arasındaki değerlerinde Ek3'deki denklem (8) ve (9) bağıntıları önerilmektedir.

8.2.3. Düşey Boru İçinde Yoğuşma

Genel olarak hissedilir bir buhar hızı, boru içindeki yoğuşmaya etki edebilmektedir. Böyle durumlarda ölçülen ısı taşınım katsayıları, Ek3'de denklem (4) de hesaplanan değerlerin 10 katı olabilmektedir. Buhar akışının yukarı veya aşağı olması durumuna göre, düşey borulardaki yoğuşmaya ait teorik sapma değerleri, Jakop(1949,57) tarafından verilmiştir. Buharın yukarı doğru akması durumu için, Ek3'deki denklem (10) bağıntısı önerilir.

8.2.4. Yatay Borular İçindeki Yoğuşma

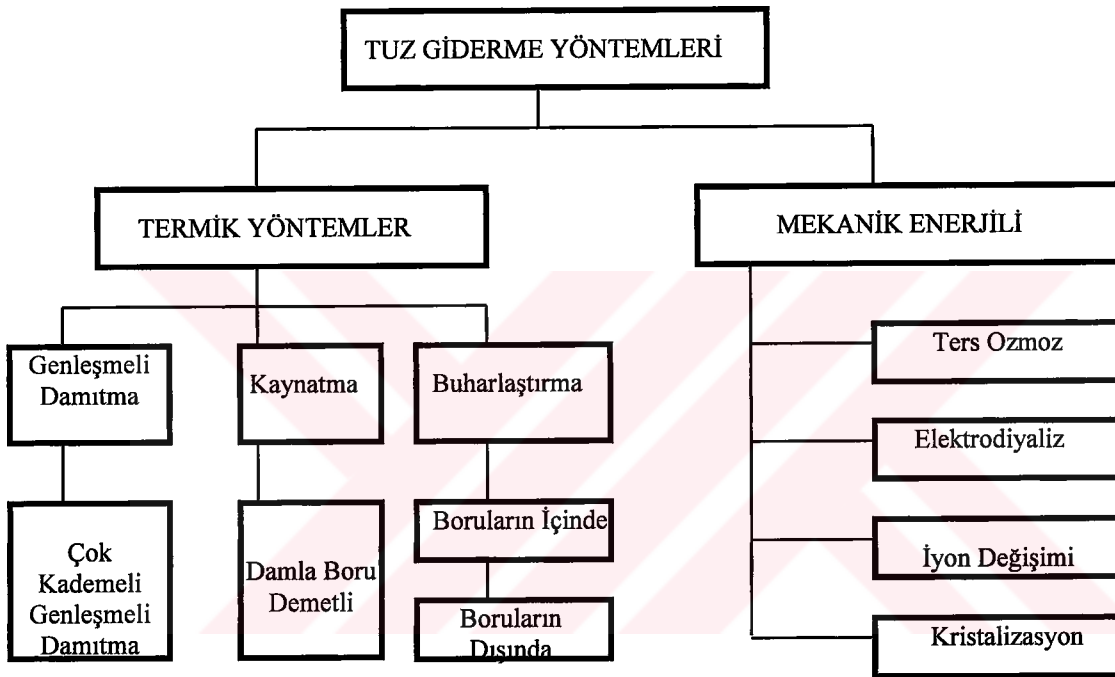
Hava soğutmalı yoğuşturucularda, buharlaştırıcı yoğuşturucularda ve bazı kovan boru tipi yoğuşturucularda olduğu gibi, yatay borular içindeki yoğuşma halinde, buhar hızı ve bunun sonucu sıvı buhar ara kesitindeki kesme gerilmesi, ısı geçişinin analizine etki eden en önemli faktörlerdir.

Hoogendorn , yedi tip iki fazlı akış modelini tanıtmıştır. Yarı tabakalaşmış ve laminer halkasal iki fazlı akışlar için Ek3'deki denklem (11) ve (12) bağıntıları kullanılabilir. Buhar tarafındaki reynolds sayısının 20000'den büyük sıvı tarafındaki reynolds sayısının 5000'den büyük olduğu türbilanslı halkasal akış halinde Ek3'deki denklem (13) bağıntısı önerilebilir. Ek3'deki denklem (14) bağıntısı borular içinde R-22 soğutucu akışkanının yoğuşmasına ait yerel ısı taşınım katsayısını vermektedir (Ashrae 1993).



9. DENİZ SUYUNDAN İÇME VE KULLANMA SUYU ELDE ETME TEKNİKLERİ

Günümüze kadar uygulanmış deniz suyunun tuzunu gideren bütün yöntemler Şekil 9.1’de bölümlendirilmiştir (Porteous 1975).



Kaynak : Andrew Porteous, Saline water distillation processes, London, 1975.

Şekil 9.1: Tuz giderme yöntemleri.

9.1 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 full-otomatik ve non-stop işletilerek büyük miktarlarda taleplerin karşılanmasını mümkün kılmaktadır. Buharlaştırıcı damıtma tesislerinin büyüklüklerine göre günlük tatlı su üretimi 5000 ila 50000 m³ olarak değişmektedir. Bunun yanında üretilen tatlı suyun m³'ü başına 50 ila 500 gr/m³

tuz üretimi (tatlı su üretimi sonunda artan tuz miktarı)'de yapılabilir. Damıtma yöntemi prensiplerinin uygulanması vasıtası ile bu kadar büyük kapasitelere ulaşmak, dünya üzerinde su sıkıntısının yoğun olarak hissedildiği çağımızda hiçde zor değildir.

1970'li yılların başında 400. 10⁶ ton 'un üzerinde termik yollarla deniz suyundan içme ve kullanma suyu üretilmiş olduğu düşünülürse, endüstriyel ölçülerde damıtma sistemlerinin anlamı, günümüzdeki ve gelecekteki dünya içme ve kullanma suyu olarak, vazgeçilmesi imkansız olan bu teknoloji, gerek tuzlu denizlere kıyısı olan bölgelerde, gerekse adalar üzerinde, sürekli artan nüfus ve büyüyen endüstri karşısında özellikle kurtarıcı niteliğindedir.

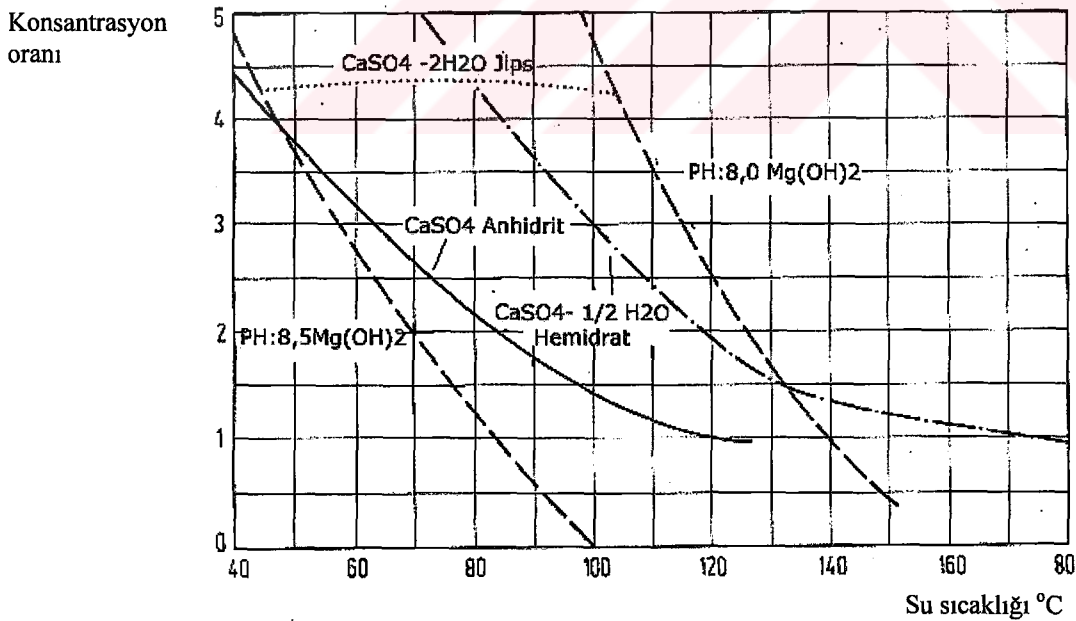
Üretilmiş olan tatlı su kondensatı ve tuzlu su konsantrasyonu ısılarının, sisteme giren henüz işlenmemiş ham deniz suyunun, ön ısıtılması işleminde kullanılması, ayrıca çok kademeli bir sistem olması sonucu ısı veriminin yüksekliği, "Brüde Kompresyonu" nun bu sistem içerisinde mevcut bulunması, aynı zamanda ısı enerjinin mevcut yapı içerisinde minimum kayıpla barındırılabilmesi olanağı, Termik yollarla tatlı su üreten bu modern tesisleri enerji tasarrufu sağlama konusunda üstün bir duruma getirmektedir.

Deniz suyundaki yüksek tuz içeriğinden dolayı meydana gelebilecek korozyon tehlikesi ve sistem içinde duruma göre yoğunlaştırıcı ve-veya buharlaştırıcı vazifesi gören boru demetlerinin iç çeperlerinde (dış çeperlerde buduruma dahildir.) oluşabilecek tortulaşma (kabuklaşma) çok kademeli sabit entalpi buharlaştırıcıları(Multi- Stage- Flash) yöntem tekniği ile en aza indirilebilir yada tamamen ortadan kaldırılabilir. Pratikte düşey yüzeyli, almanca ismi ile Fall film aparatlı çok basamaklı damıtma sistemi daha ağırlıklı kullanılmaktadır. Bu yöntemin ısı ekonomisi sağlanması bakımından Multi- Stage- Flash yöntemine göre üstün bir tarafı yoktur ama kademe sayısının azlığı, bundan dolayı az yer kaplaması MSF yöntemine göre konstrüksiyon açısından önemli bir avantaj sağlar.

Dik borulu damıtıcıların (VTE: Vertical tube evaporation) Brüde kompresyonu ile kullanılması tesislerde yer sarfiyatının azalmasına ve sık bir yapılaşmaya imkan vermektedir. Bu durum VTE 'nin tesislerde yaygın bir şekilde kullanılmasına yol açmıştır. Ayrıca son zamanlarda yüksek kalitede malzemelerin kullanımına geçilmeside, VTE'nin yaygınlaşmasında desteklemektedir.

Kapasiteye, bulunan yere ve yerel şartlara bağılı olarak çok kademeli Fall film veya Multi- Stage- Flash yöntem teknikleri ile Brüde kompresyonunun birlikte oluşturduğu sistem ideal bir tasarıma sahiptir.

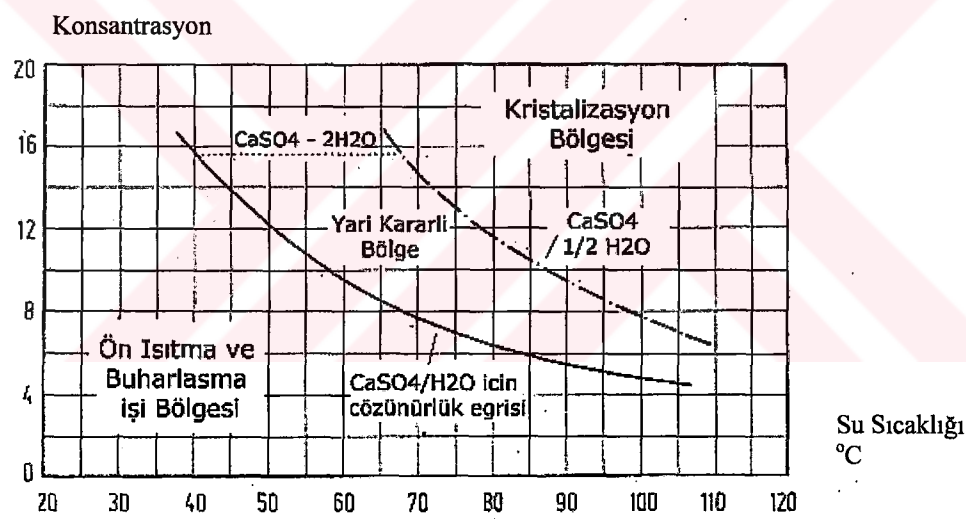
İşletme şartlarının ve tesis boyutlarının tayininde, Tortulaşma oluşumu meydana gelmeden damıtma, göz önünde bulundurulması gereken önemli kilit bir noktadır. Deniz suyunun tortulaşmaya sebebiyet veren maddeleri, genel itibariyle Alkalik Magnezyum Hidroksitve kalsiyum karbonattır. Bu bileşikler işlenmemiş deniz suyunda 70 ile 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 alkalik tortulaşmaya engel olmak için deniz suyunu Demir Klorid, Poly Fosfat ve kükürt gibi kimyasal maddelerle ön işleme sokmak gerekmektedir. Bu ön işlem vasıtasıyla deniz suyu 120° C'a kadar tortulaşma oluşumu tehlikesi olmaksızın ısıtılabilir (Ön işlem çözünürlük ısısını arttırıcı bir işlemdir). Ph değerinin küçük oranlarda yükselmesi ile Magnezyum Hidroksitin doyma ısı derecesinin hissedilir oranlardaki artışı Şekil 9.2'de grafik olarak gösterilmiştir (Billet 1981).



Şekil 9.2: Çeşitli Ph değerlerinde Mg (OH)₂'nin çözünürlük oranları

Kalsiyum Sülfat'ın Boru iç çeperlerinde yarattığı kabuk oluşumu en rahatsızlık verici olanıdır. Bu sebeptendir ki Tatlı su üretim tesislerinde (MSF ile çalışan) deniz suyunun üst ısıtılma derecesi kalsiyum sülfatı çözünürlük ısısına göre tespit edilmektedir (Şekil 9.3). Bu duruma paralel olarak tesislerin inşaatında, Kalsiyum sülfat doyma ısısı sınırının, önemli bir rol oynadığıda ayrıca söylenebilir. Buda Kalsiyum Sülfatın çözünürlük doyma ısısı sınırının altında bir sıcaklıkta tesisin işletilmesi gerektiğini ortaya koyar.

İşletme şartlarına karşılaştırmalı bir örnek verecek olursak ; 25 basamaklı Multi-Stage- Flash yöntemi ile çalışan bir damıtma sisteminde 1/2 buharlaştırma oranına ulaşırken, Fall-Storm (Düşey akışlı) 10 basamaklı bir damıtma tesisinde 1'e 4 buharlaştırma oranına kadar çıkmaktadır, ki her iki durumda'da işlenmemiş suyun ön ısıtma sıcaklığı maximum 100°C civarındadır.

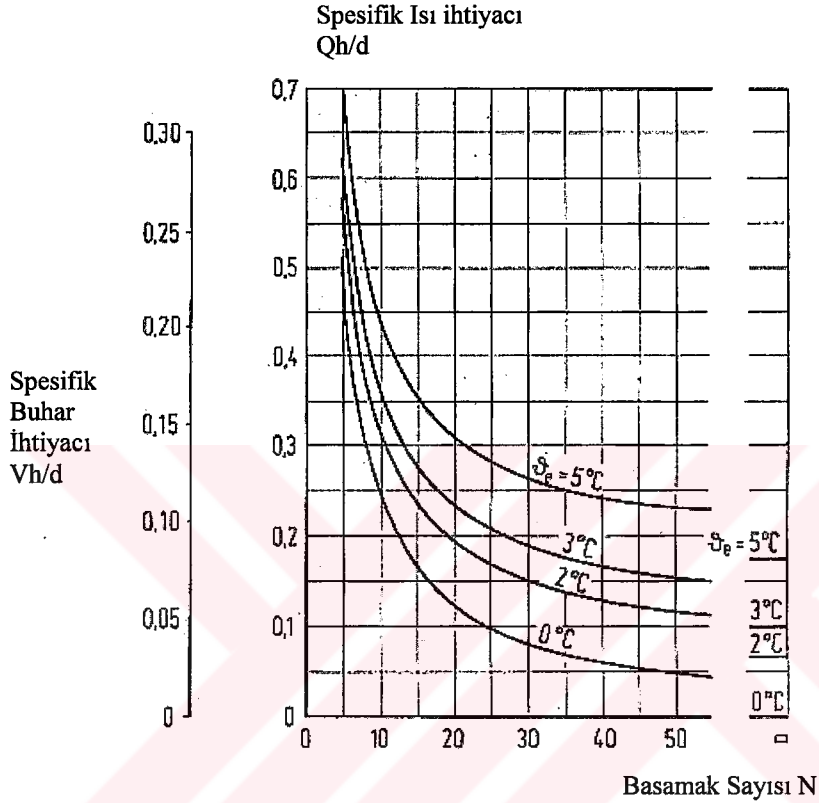


Şekil 9.3: Kalsiyum Sülfatın çözünürlük eğrileri (Deniz suyu için).

Şekil 9.3 incelendiğinde, mümkün olan en yüksek işletme ısısının, H₂SO₄ ile işlenmiş su için, tortulaşma tehlikesi hesaba katıldığında 120° 'nin üstüne çıkamayacağı görülür. Deniz suyunun ilk kademe ısısının mutlak yüksek olması gerekir ki, ısı sarfiyatı olarak adlandırılan Q_h / D minimize edilebilsin. Isı tekniği bakımından tesislerde

kademe sayısının çok olması ve deniz suyunun ön ısıısının yüksek olması, ekonomik anlamda tatlı su üretimi için gereklidir.

Tesis içerisinde basamak sayısına bağlı olarak çeşitli sıcaklık farklarında sıcak ve kızgın buhar sarfiyatı Şekil 9.4'de gösterilmiştir.



Şekil 9.4: Tesis içerisinde basamak sayısına bağlı olarak çeşitli sıcaklık farklarında sıcak ve kızgın buhar sarfiyatı (Kg buhar başına)

(Şekilde; t_F^* = Giriş ısıısı 25°C , t_F =Ön ısıtma sıcaklığı 100°C , p_h = Kızgın buhar basıncı 2,5 bar).

Multi- Stage- Flash yöntemi ile çalışan tesislerde ısı sarfiyatı için kullanılan bağıntı;

$$\frac{Q_H}{D} = \Delta h_{vm} \left(\frac{t_1 - t_{L1} + T_1}{t_F - t_C} + \frac{1}{N} \right)$$

İlk genişleme aşamasından önceki t_F besleme suyu sıcaklığı ne kadar yüksekse, son kademedeki t_C genişleme sıcaklığında ve işlenmemiş suyun ilk basamaktaki t_1 Brüde ısısı ile yine işlenmemiş suyun ön ısıtma çıkış sıcaklığı t_{L1} arasında tespit edilmiş sıcaklık farkı, kaynama noktası sıcaklığı τ_1 ile ; N basamaklı bir tesisin son ısıtıcısındaki Q_h / D ısı sarfiyatı Δh_{vm} ortalama buharlaşma entalpisinde okadar azdır.

Tortu oluşumuna meydan vermeksizin işletme ısısının arttırılmasında günümüze değin denenmiş yöntemler arasında, tortu oluşumuna sebebiyet veren deniz suyu içerisindeki organik ve inorganik maddelerin iyon alışverişi yöntemiyle, mekanik yöntemler kullanılarak ve deniz suyunun aşırı ısıtılarak $CaSO_4$ 'ün deniz suyundan arındırılması yöntemleri yer almaktadır.

Bu yöntemler içerisinde en son tanımlanan yöntem, yani $CaSO_4$ 'ün, deniz suyunun aşırı ısıtılarak yok edilmesi yöntemi, kullanılan en etkili termik yöntemdir. Bu metotla deniz suyu ilk buharlaşma basamağına girmeden önce istenilen en yüksek sıcaklığın 10 ila 40° daha üzerine çıkarılması ile - ki bu sıcaklık maximum 190°C olmalıdır - $CaSO_4$ 'ün totu oluşturma tesirini ortadan kaldırmış olur.

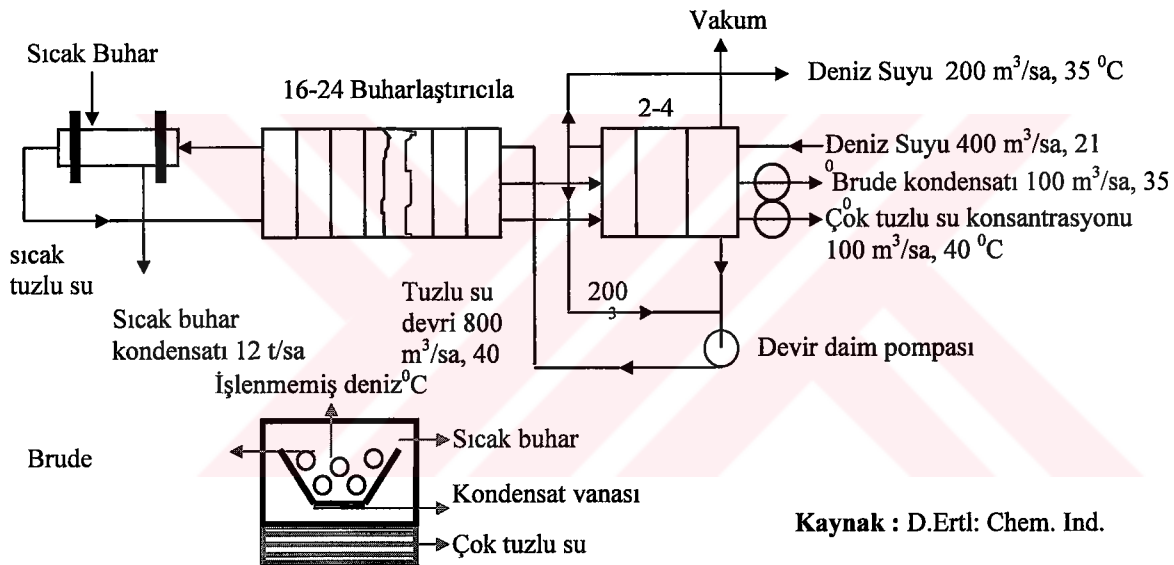
Yukarıdaki paragraf'da anlatılan durum, tortulaşmayı önleme görevi üstlenen son ısıtıcı olarak adlandırılan ısıtıcıda vuku bulmaktadır. Ya bir ısı taşıyıcı sıvı ile yada uygun sıcaklıkta buharın püskürtülmesi ile gerekli olan ısı artışı sağlanır, böylece $CaSO_4$ hiçbir buharlaşma aşamasında doyum sınırına ulaşamaz ve tortulaşma önlenir.

9.1.2 Teknik Uygulamalar

Multi-Stage-Flash yöntemi prensibi ana hatları ile Şekil 9.5'de gösterilmiştir. Şekil 9.5'de gösterilen modeldeki gibi bir sistem daha öncede belirtildiği gibi yer tasarrufu sağlamaktadır. Böyle bir sistemde genişletme bölümü Brüde prensibi ile işleyen ön ısıtıcılar sayesinde yapısal açıdan iyi bir bütün oluşturur.

İlk aşamada içeri giren işlenmemiş deniz suyu son basamak ön ısıtıcıları ile ısıtıldıktan sonra bir miktar konsentrat ile karıştırılır (-ki bu konsentrat sisteme ilk giren

deniz suyunun 10 katı kadar olmalıdır). Bunu izleyen basamaklarda deniz suyu ile karıştırılmış borular içinde akan konsentrat, kendi akışına ters yönde akan, kızdırılmış, çok tuzlu konsentrat buharı vasıtası ile ön ısıtıcılarda ısıtmaya devam eder. Daha sonra belirli bir sıcaklık derecesine getirilen bu karışım, son ilk kademe ısıtıcısından, ilk genişleme ünitesine getirilir. Bu akış her iki ünite arasındaki sıcaklıktan doğan basınç farkına bağlı olarak meydana gelmektedir. Hemen ardından genişleme ünitesinde borular içerisinde geçen bu karışım, yoğunlaştırıcı görevi yaparak kademe kademe ters yönde akarak buharlaşan kızgın, çok tuzlu kondensatı, içinden geçtiği borular üzerinde yoğunlaştırır. Yoğuşan buhar daha sonra yavaş yavaş boruların altındaki kaplarda toplanır ve en az basınçlı basamak ürünü olarak dışarıya verilir (Billet 1981).



Şekil 9.5 : Çok kademeli sabit entalpi buharlaştırıcısının yapısal tasarımı (MSF ile çalışır)

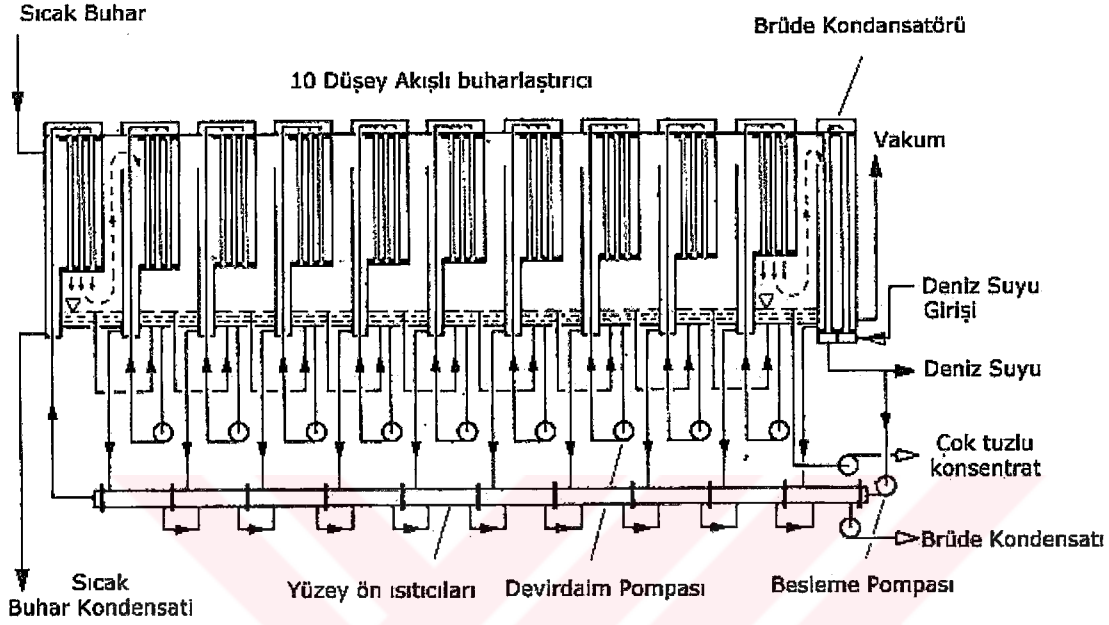
Konsentrat dolaşım miktarı C_u 'nun belirlenmesi şuna dayanır:

Brüde ısıtıcısından çıkan suyun sıcaklığı, gizli ısı olarak tekrar genişleme basamakları D Brüdesinde karşımıza çıkar. Su miktarı;

$$F_t = F + C_u$$

$$C_u = D \cdot \frac{\Delta h_{vm}}{h_F - h_C} - F$$

Çok kademeli sabit entalpili buharlaştırıcı (Fall-film Yöntemi ile çalışır) Şekil 9.6'da gösterilmiştir. Şekildeki tesis daha önce bahsedilen çok basamaklı sabit entalpi buharlaştırıcı Fall-film sistemidir.

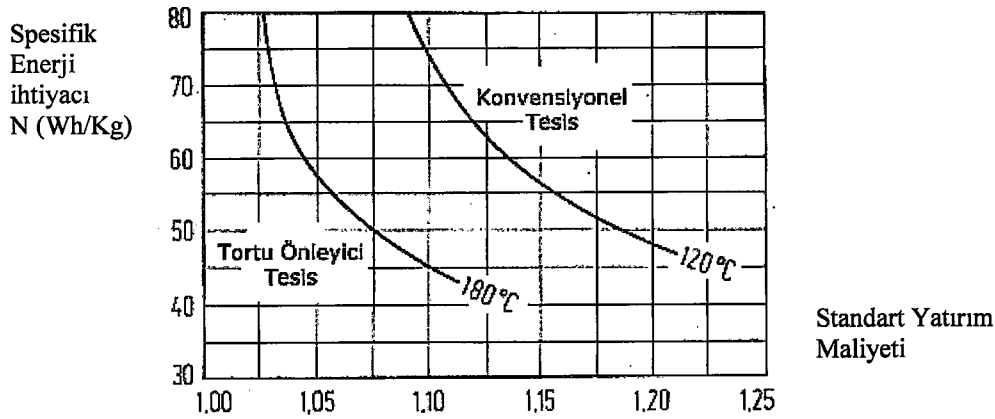


Şekil 9.6: Çok kademeli sabit entalpili buharlaştırıcı (Fall-film Yöntemi ile çalışır)

Bu sistemde konsentrat dolaşımını sağlayan ve ham deniz suyunu konsentratla karıştıran bölümler yoktur. Bu kombinasyon buharlaşma veriminin artmasına ve yer sarfiyatının azalmasına yardım eder. Sisteme ilk giren ham deniz suyu'nun ön ısıtılması kondensat soğutucularında gerçekleşir. Buhar ve konsentrat akışı sistem içinde aynı yöndedir.

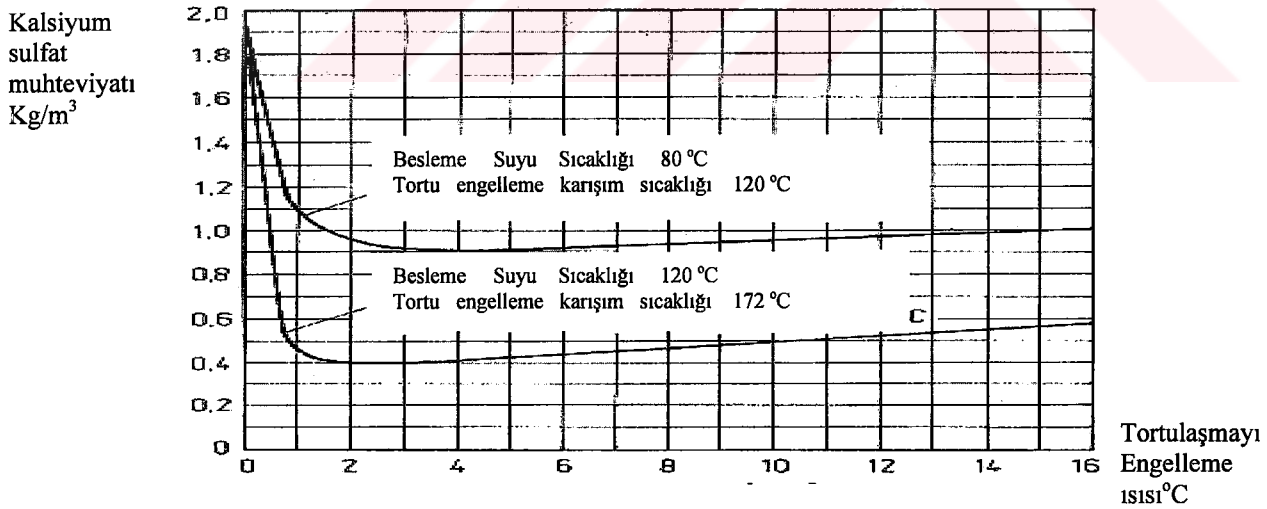
Bu yöntemle çalışan tesislerde günlük 2400 m^3 iyi kalitede tatlı su elde etme imkanı vardır.

Üretilen tatlı suyun kilosu başına gerekli olan enerji miktarı ile yatırım maliyeti arasındaki bağıntı Şekil 9.7'de gösterilmiştir.

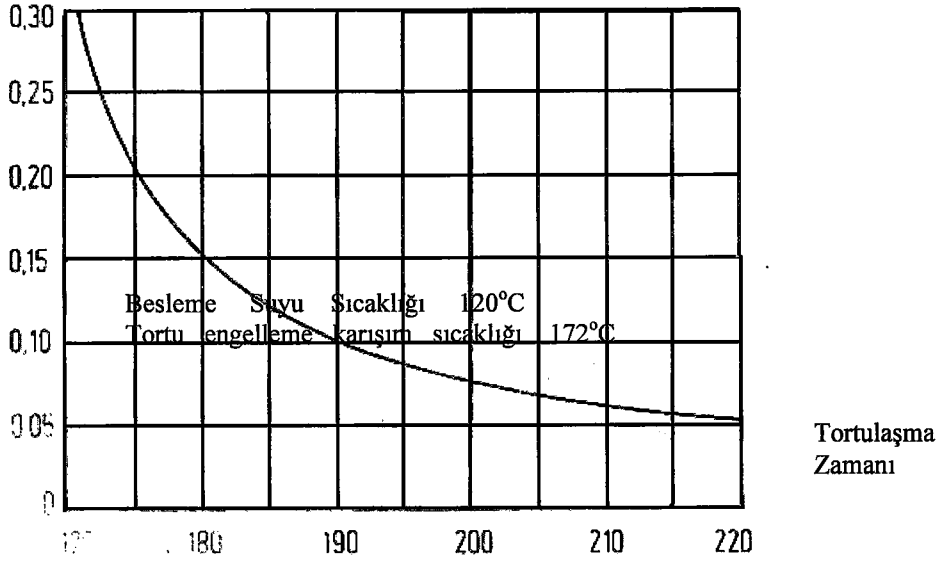


Şekil 9.7: Üretilen tatlı suyun kilosu başına gerekli olan enerji miktarı ile yatırım maliyeti arasındaki bağıntıyı gösterir. (Buharlaştırma giriş ısısının 120° olduğu ve buhar ısı girişinin 180° olduğu tortulaşmayı önleyici bir mekanizmanın bulunduğu bir tesiste)

Deniz suyunun içindeki organik ve inorganik elementlerin termik tortulaşmasını önlemek amacı ile buhar ile aşırı ısıtılması tesiste ilk genişleme basamağındaki ısının artmasına ve böylece ısı sarfiyatının hissedilir derecede azalmasına yol açar. Bu durumu Şekil 9.8 açıklamaktadır



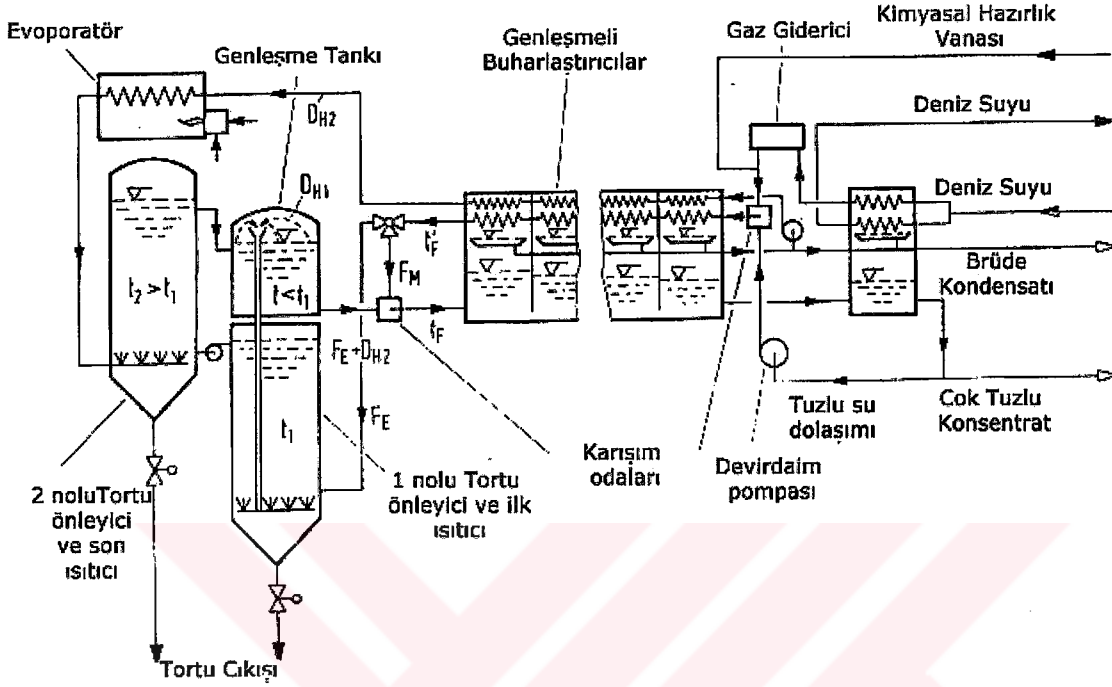
Şekil 9.8: Kalsiyum sülfat konsantrasyonunun 200o'lik su buharı püskürtülmesi ile yok edilmesi.



Şekil 9.9: Tortulaşmayı önleme ısısı ile artık kalsiyum miktarı arasındaki bağıntı. Başlangıç konsantrasyonu 418 gr /m³.

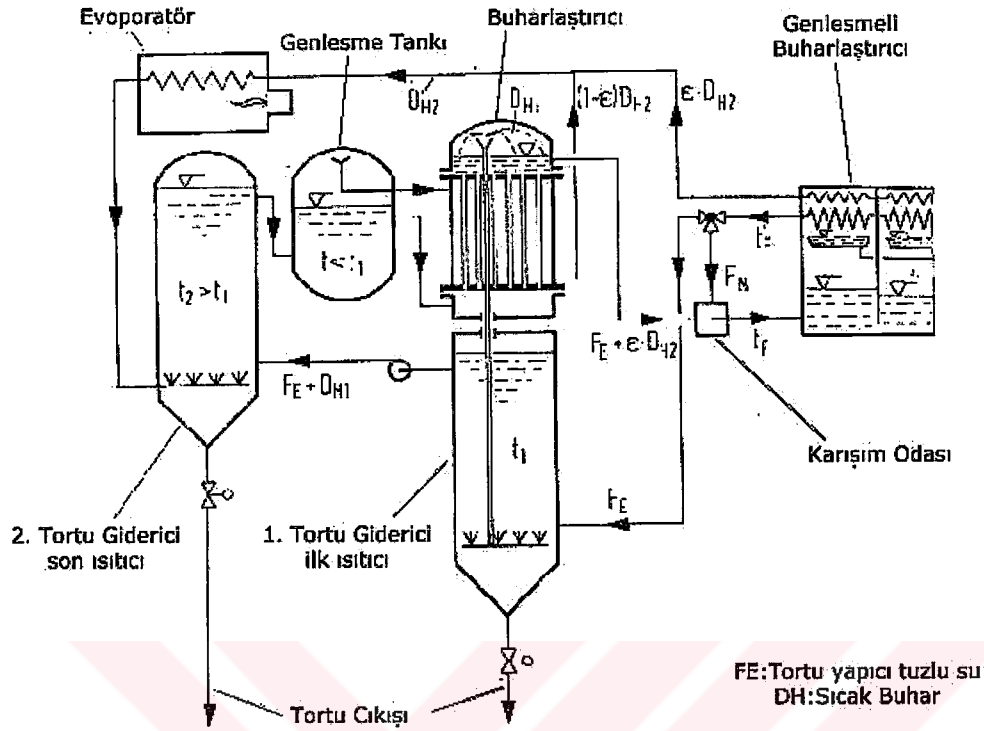
Tortudan arındırma işleminde, Şekil 9.9'a göre kalsiyum sülfat için 2-3 dakika gibi kısa zamanlara ihtiyaç duyduğundan ve 'Artık Kalsiyum' miktarı yükselen ısı ile birlikte hızla azaldığından bu iş için gerekli konstrüksiyonların yapımını basitleşir ve maliyet düşer. Tortu arıtıcısı için belirleyici özellik çift yönlü kullanılmasıdır. Yani tortu arıtma işlemi ile beraber sisteme bağlandığında son ısıtıcı görevinde üstlenir. Şekil 9.10'da bahsedilen bu düzeneği göstermektedir. Tortu arıtıcı bölüm şekildende anlaşılacağı üzere iki kademeli olarak işlev görmektedir. Tortudan arındırılacak su -ki bu işlenmemiş suyun bir bölümünü oluşturuyor- öncelikle püskürtülen buhar yardımı ile ısıtılmak için ilk basamağa gelir. Buradan ikinci basamağa gönderilir ve buradada ilk basamaktaki gibi püskürtülen buhar yardımı ile arzu edilen tortulaşma sıcaklığına kadar ısıtılmaya devam edilir (Püskürtülen bu buhar %5 ile %9 oranında brüden kondensatta oluşur). Tortu, tortu arıtıcısının huni biçimindeki tabanına birikir, bu sırada tortudan arıtılmış su bir bölmede ilk arıtıcı için gerekli buhar tarafından genişletilir ve istenilen

çıkış ısısına soğutulur. Daha sonra damıtılmamış su ile karıştırılan tortudan ayrıştırılmış su ilk genişleme basamağından önce giriş ısısına getirilir.



Şekil 9.10: Tortulaşma önleyici aparatın çok kademeli sabit entalpili buharlaştırıcı ile bağlantılı modeli.

Şekil 9.11'deki modelde, ikinci tortu engelleyici üniteye direkt ısıtma için kullanılan buhar -ki bu buhar Brüden kondensatla sağlanıyor- toplam su üretim miktarının %1 ila 3 oranında düşmesine yol açıyor. Bu durumu şöyle açıklayabiliriz ; İlk tortu önleyicide su t_1 sıcaklığındadır. İkinci tortu önleyicide artılmış su genişleme kabına gider ve burada t_1 'in biraz üzerinde bir sıcaklığa çıkarılır. Hemen ardından borulardan oluşan buharlaştırıcıda daha önce artılmış su genişletiliyor ve oluşan buhar direkt olarak 1. tortu önleyiciye gönderiliyor. Isıtıcıda buhar elde etmek için damıtık suya ihtiyaç vardır. bu damıtık suyun % 60-80'i düzeneğin kondensatından geri kalanı üretilen sudan karşılanıyor.



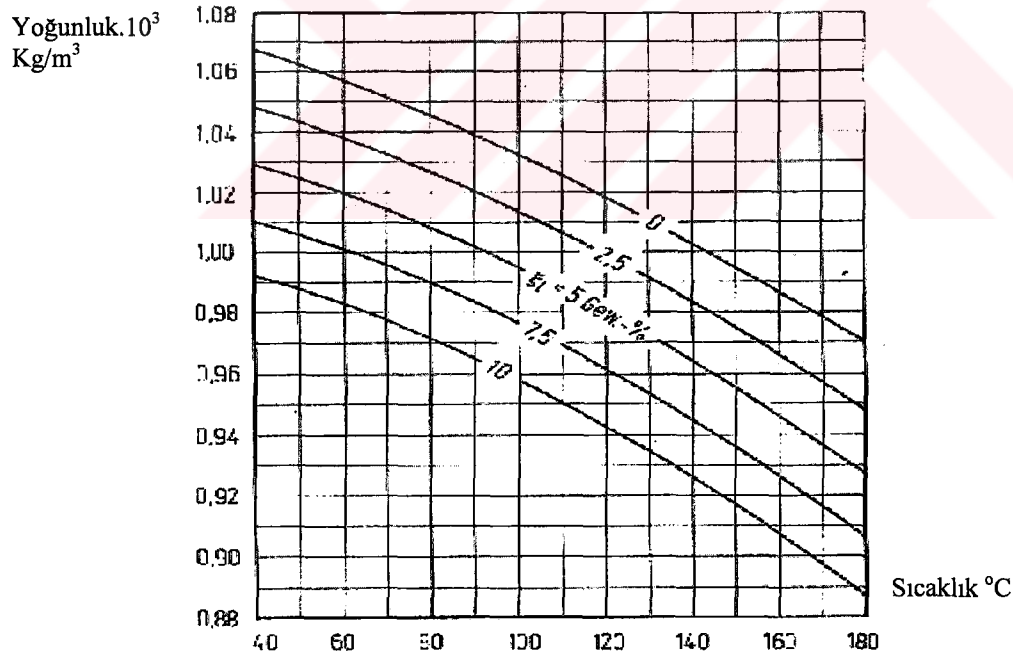
Şekil 9.11: Çok kademeli sabit entalpili buharlaştırıcı (Termik olarak çalışan tortu

Termik olarak çalışan tortu önleyici ünite ürettiği suyu kullanmadanda çalıştırılabilir. Isıtıcıdaki sıcak buhar direkt olarak ikinci tortu önleyici üniteye artırılmış sudan sağlanmaktadır. Bu işleme düzeneği düşük derecede ısıya ihtiyaç duymaktadır. Eğer ünite içerisindeki ısı kontrol altına alınabilirse hem tortu oluşması engellenir hemde üretilen su ısıtmada kullanılmamış olur.

Yukarıda anlatıldığı üzere deniz suyunun tuzunu gideren tesisler kurulurken deniz suyunun tuzluluk hesapları mutlaka yapılmalıdır ve buna en uygun tesis inşaa edilmelidir. Eğer yoğunluk ve spesifik ısı kapasitesi söz konusu ise (C_L kJ/ kg K) bu durum Çizelge 9.1 yardımı ile çözülebilir. Çizelge 9.1'de normal deniz suyu ile sentetik deniz suyu içindeki bileşiklerin çözünürlüğü baz alınarak karşılaştırılmıştır (Billet, 1981)

Çizelge 9.1: Normal deniz suyu ile sentetik deniz suyu karşılaştırması

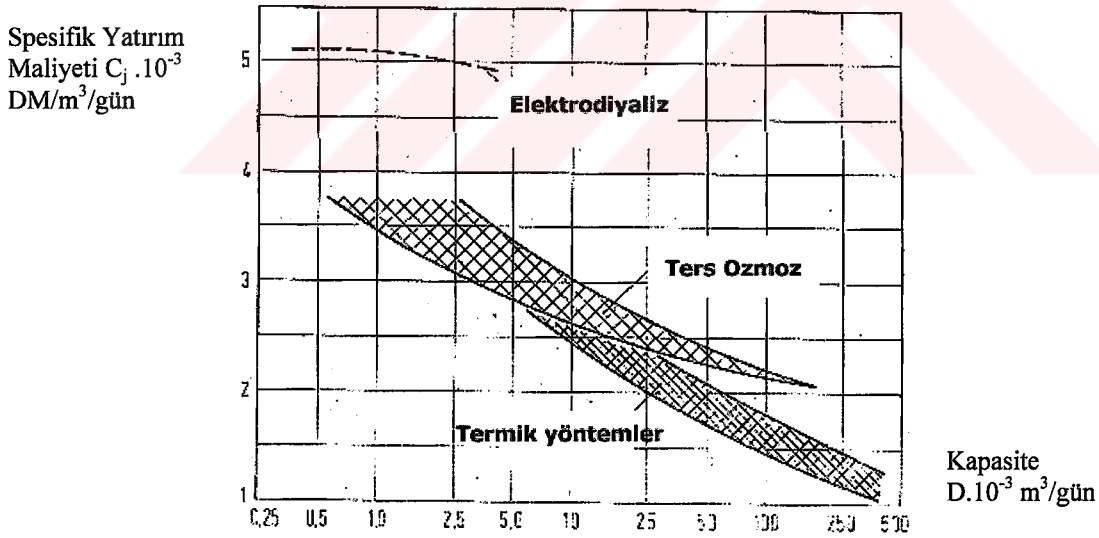
Bileşikler	Normal Deniz Suyu (gr/lt)	Sentetik Deniz Suyu (gr/lt)
SO_4^{2-}	2.7689	2.7083
Cl ⁻	19.8406	20.0305
Ca ²⁺	0.4182	0.4182
Mg ²⁺	1.3297	1.3295
Na ⁺	11.0348	11.0347
K ⁺	0.3972	0.3972
Sr ²⁺	0.0139	-
HCO ₃ ⁻	0.1460	0.0125
Br ⁻	0.0675	-
F ⁻	0.0013	-
H ₃ BO ₃	0.0272	-
TOPLAM	36.0453	35.9909
	963.9547	964.0091



Şekil 9.12: Çeşitli tuz miktarlarında deniz suyunun yoğunluğu ile sıcaklık arasındaki bağıntı.

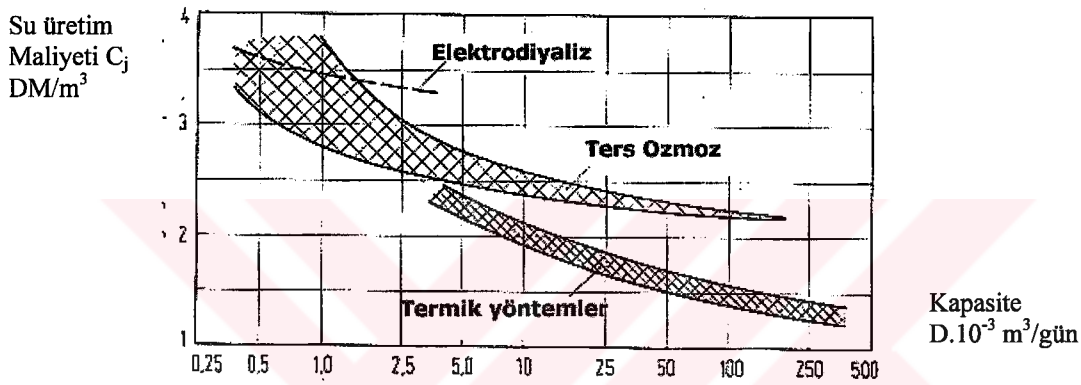
İşletme şartlarına ve kuruluş düzenine bağlı olarak çok kademeli sabit entalpili Fall-film buharlaştırıcılarında tuzlu suyun genişletmek için 3000'den 4000 W/m²K'ya kadar sıcaklık geçirgenlik sayısına ulaşılabilir.

Deniz suyu arıtma tesislerinden kazanılan tuzlu suyun daha konsantre olması ve deniz suyunda bulunan diğer değerli maddelerin kazanılması için-ki bu yukarıda anlatılan tesislerde mümkün olmaktadır- tuzlu su dolaşımı ile çalışan düşey akışlı bir buharlaştırıcıda (Fall-Strom) borulardaki katı madde konsantrasyonu toplam ağırlığın %5' ini geçmemelidir. Konsantrasyon içindeki çözünmüş katı maddeler Brüde odasına bağlanmış hortumda ayrıştırılmaktadır. Ayrıştırılan maddeler genişleme memesinden geçirilip buharlaşma yardımı ile artık su ile beraber dışarı taşınır. Hortumun üst kısmından çekilen dolaşım tuzlu suyu içeri giren tuzlu su ile harmanlanır ve genişletme bölmesi girişinde borulara bölüştürülür. Bu yöntemle aynı zamanda enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Tüm bunların dışında tesislerin maliyet hesapları yapılırken yüksek tuz miktarının kaynama noktasını yükselttiğinin de göz önünde bulundurulması gereklidir.



Şekil 9.13: Termik sistemler, ters ozmoz ve elektro diyaliz yöntemleri arasındaki yatırım maliyeti karşılaştırmaları.

Termik olarak deniz suyunun tuzunu gideren tesislerin büyüklüğü ekonomik açıdan önemli bir rol oynar . Son zamanlarda yapılan ekonomik araştırmalar şu sonucu göstermiştir ki günlük 2500 m³' ün altında bir kapasite ile (verimle) 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.Bu güne kadar işletilmiş tesislerin yatırım maliyetleri şekil 21'deki diyagramdan okunabilir.Bu diyagramda günün şartlarına göre enerji maliyeti 0,024 U.S.D./kWh'dir (Billet 1981).



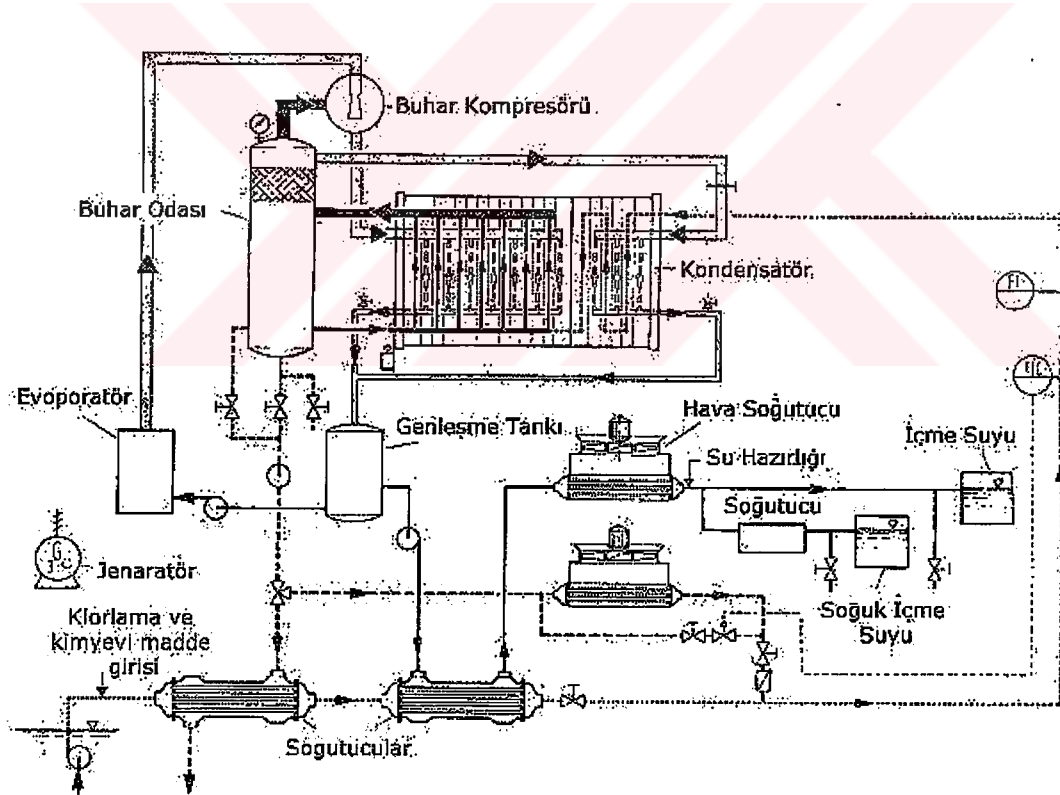
Şekil 9.14: Ters ozmoz, Elektrodializ ve Termik yöntemlerle çalışan tesisler arasında ürüne bağlı toplam üretim maliyetini gösteren diyagram.

Yukarıdaki diyagramdanda anlaşılacağı üzere ürüne bağlı toplam üretim maliyeti tesis kapasitesi büyüdükçe azalmaktadır.

Tuz miktarının 5000 ppm'ye kadar çıktığı acı suların tuzlarının giderilmesinde Ters ozmoz ve elektro diyaliz yöntemleri, bütün kapasite miktarlarında fiyat açısından en uygun yöntemlerdir.

Deniz suyunun tuzunun giderilmesi konusunda bütün dünya üzerindeki endüstri ve araştırma dalları termik yöntemlerin daha ekonomik hale getirilmesi için uğraş vermektedir.Bu uğraşlar en çok tesis içerisindeki ısının sisteme hapsedilmesi ve böylece ısı kaybını önlemek üzerinde yoğunlaşmıştır.Ayrıca tortulaşmanın önlenmesi için Ca ve Mg 'un ortadan kaldırılmasında, ısının artırılması, kaynak kullanımı vasıtası ile ısı

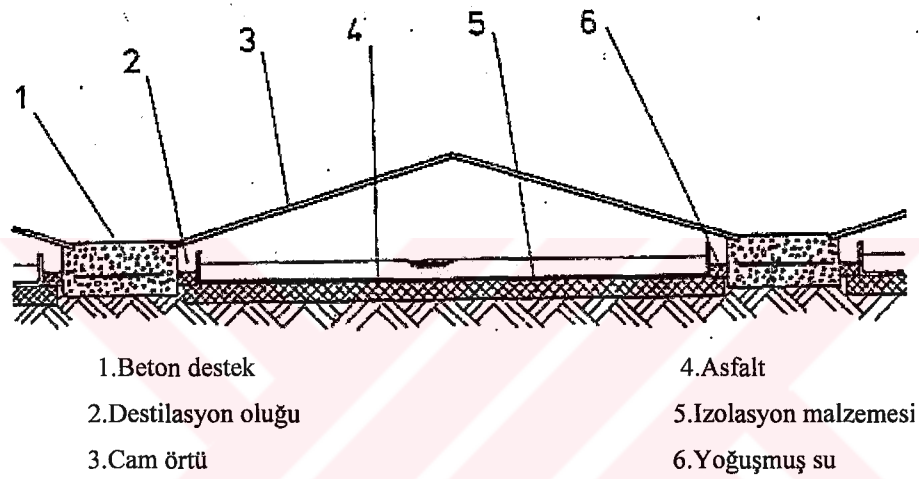
taşımasının, ısı değiştircilerde en iyi seviyeye çıkarılması içinde çalışılmaktadır. Yer sarfiyatının azaltılması ve kullanılan malzemenin kompakt (sık) yapılaşma tekniği ile en aza indirilmesi üzerinde yoğun bir çalışma vardır. Kompakt yapı özellikle küçük kapasiteler söz konusu olduğunda önem arz etmektedir (Örn: Sahil istasyonlarındaki inşaat alanlarında, otellerde). Buharlaştırıcı ünite olarak küçük kapasiteli bu sistemlerde plaka şeklindeki ısı değiştircileri kullanılır. Böyle bir tesisin çalışma prensibi Şekil 9.15’da gösterilmiştir. Bu tip tesislerde elektrik enerjisi dizel jeneratörü ile sağlanmaktadır. Enerji fiyatı ve içme suyu kapasitesine bağlı olarak, Buharlaştırma ünitesi tek veya çok kademeli yada termik Brüde kompresyonuna bağlantılı olarak inşaa edilebilir. 100 m³ lük günlük içme suyu üretimi için tasarlanan bu tesis 105° C’lık işletme ısısı ile çalışmaktadır.



Şekil 9.15: Küçük kapasiteli bir tesisin çalışma prensibi.

9.2 Güneş Enerjili Tuzdan Arıtma Sistemleri

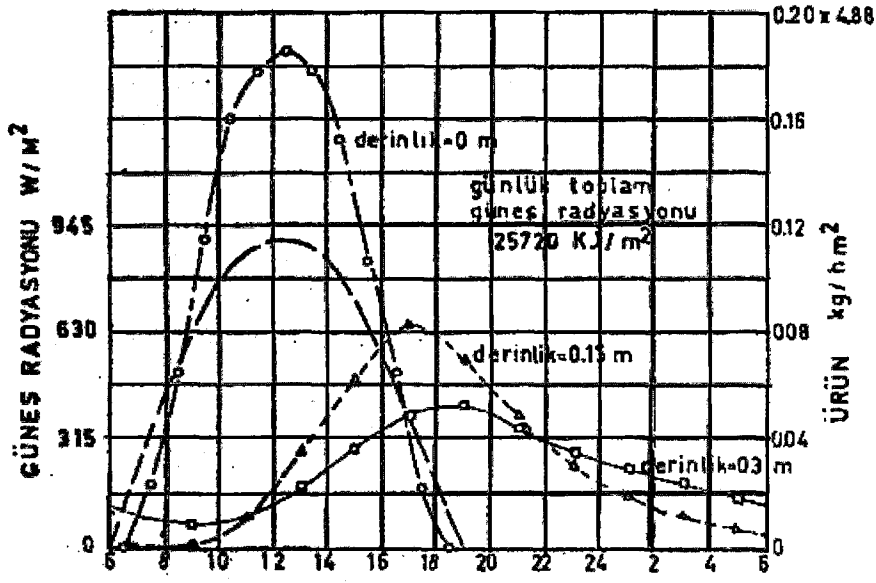
Acı ve tuzlu sulardan tatlı su üretiminde bir diğer termik yöntem olarak güneş enerjisi ile çalışan sistemler gösterilebilir. Şekil 9.16'da böyle bir sistemin şeması görülmektedir. Şekildende anlaşılacağı gibi, bu sistem üzeri camla örtülü ve tabanı siyaha boyanmış havuzdan ibarettir.



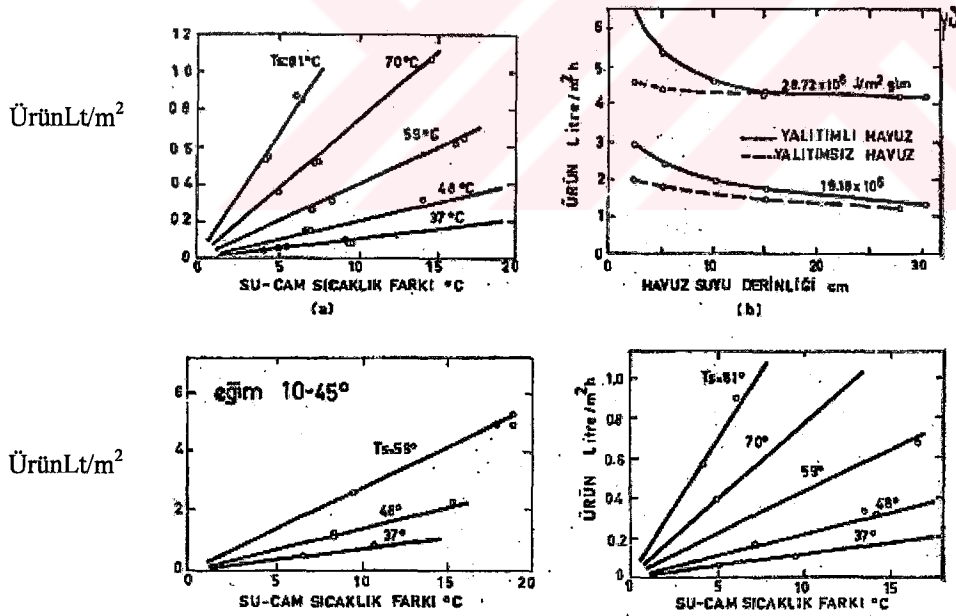
Şekil 9.16: Sera tipi güneşli damıtıcı.

Camdan geçerek gelen güneş ışınları siyah havuz tabanı tarafından emilerek havuz içindeki suyu ısıtır. Su sıcaklığı 30 – 60°'a kadar yükselebilir. Havuzda ısınan su buharlaşmaya başlar ve havuz içindeki hava doyma noktasına ulaşır. Cam örtünün sıcaklığı içerideki doymuş havadan daha düşük olduğundan, buharlaşmış su cam örtü altında yoğunlaşır. Su sıcaklığı arttıkça buharlaşarak yoğunlaşan su miktarıda artar. Camın altında yoğunlaşan su yandaki oluklara akar ve buralardan dışarı alınır. Şekil 9.17'de sera tipi tatlı su üretim sisteminin konstrüksiyon detayları gösterilmektedir. Havuz çatısı kademeli yapılmıştır. Camın kademeler arasındaki kolonlara tespitinde buhar ve hava sızdırmazlığı temin edilmelidir. Damıtılan suyun toplandığı oluklar paslanmaz malzemeden yapılmalıdır.

Birim havuz yüzeyinden üretilebilecek tatlı su miktarı ; havuz suyu sıcaklığı ve su-cam sıcaklık farkı ile doğru orantılıdır. Havuz tabanının ısı kaybına karşı yalıtılması,



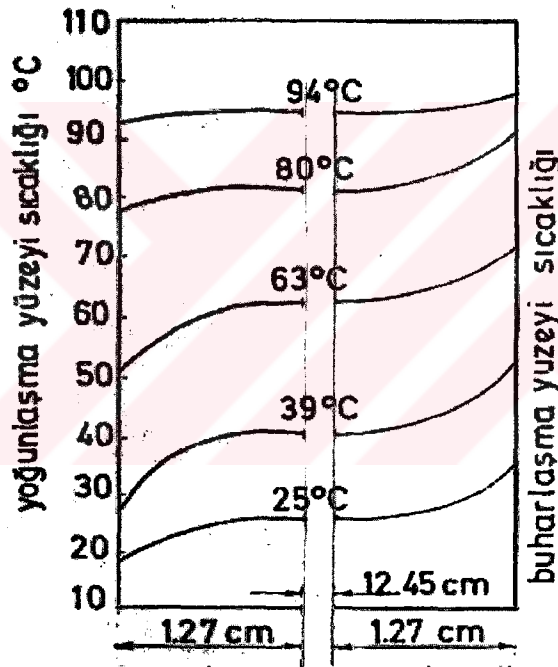
Şekil 9.18: Su derinliğine göre birim havuz yüzeyinden elde edilen tatl su miktarının değişimi.



Şekil 9.19: Üretilen tatl su miktarının su sıcaklığı, su – cam sıcaklığı farkı ve su derinliğine göre değişimi (cam – su yüzeyi uzaklığı 15 – 41cm)

Şekiller dikkatle incelenirse havuz suyu sıcaklığının artması, su – cam sıcaklık farkının büyümesi, havuz döşemesinin yalıtılması ve havuzdaki su derinliğinin azaltılması durumunda üretilen tatlı su miktarı artırılabilir. Üretilen tatlı su miktarı gündüz $3 \text{ lt} / \text{m}^2 \text{ gün}$, gece $1,5 \text{ lt} / \text{m}^2 \text{ gün}$ olmak üzere, $4,5 \text{ lt} / \text{m}^2 \text{ gün}$ değerine çıkabilmektedir.

Şekil 9.20’de buharlaştırıcı yüzey, yoğunlaşma yüzeyi ve ara noktadaki sıcaklık değişimi görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi buharlaşma yüzeyi sıcaklığı $1,27 \text{ cm}$ ’lik uzaklıkta bir düşüş göstermekte, $12,45 \text{ cm}$ ’lik mesafede hemen hemen değişmemekte ve tekrar yoğunlaşma yüzeyine doğru $1,27 \text{ cm}$ ’lik mesafede düşerek yoğunlaşma yüzeyi sıcaklığına ulaşmaktadır.



Şekil 9.20: Buharlaştırıcı yüzey, yoğunlaşma yüzeyi ve ara noktalarda sıcaklık değişimi.

9.2.1 Isıl Denge Hesapları

Bir güneşli damıtıcıda ısı akımları ve kayıpları şekil 9.21’de şematik olarak gösterilmiştir. Yatay düzleme gelen saatlik radyasyon (Işınım) yoğunluğu (I) aşağıdaki eşitlikten bulunabilir.

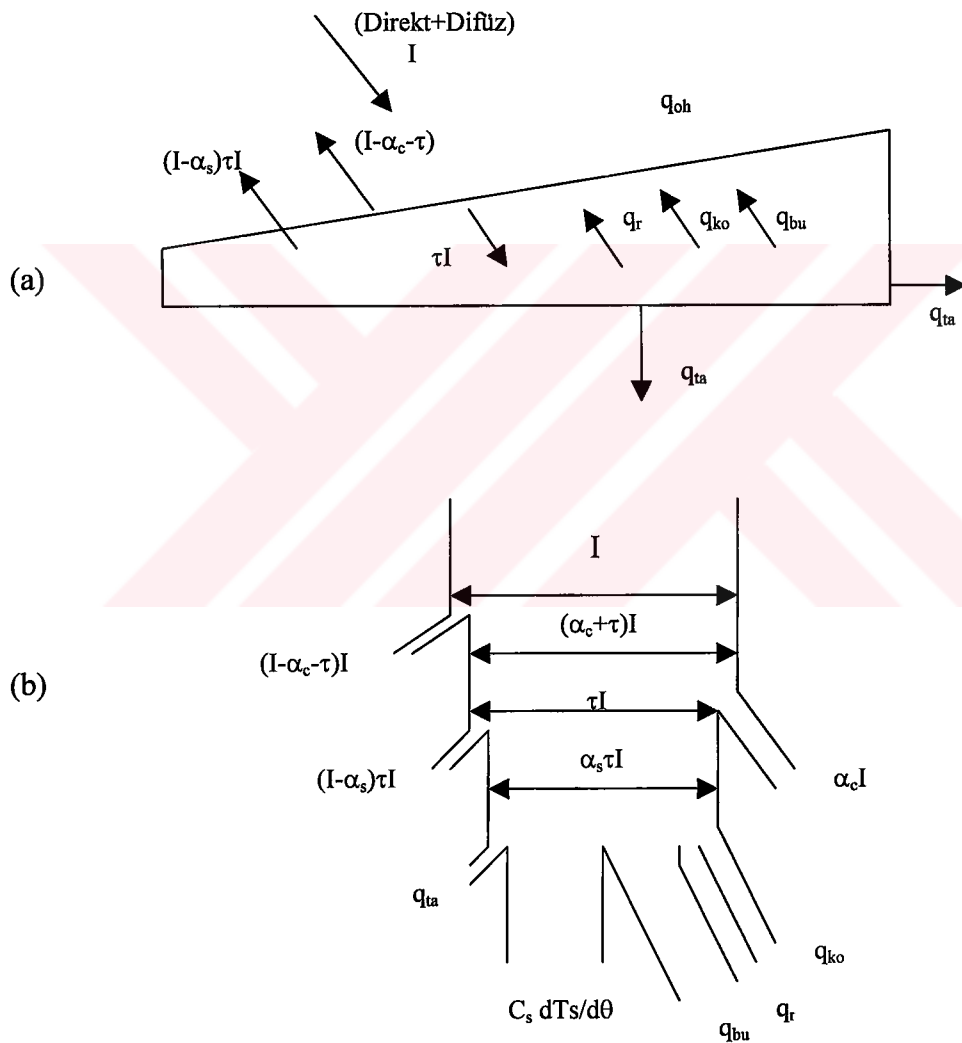
$$I = 0.436 \frac{H}{t} \text{Sin} \frac{\pi t}{t_s}$$

Formülde :

H : Günlük radyasyon miktarı (KJ/m²gün ya da kcal/m²gün)

t_s:Güneşin doğuşundan batışına kadar geçen süre, günün toplam uzunluğu (saat)

t : Güneşin doğuşundan itibaren hesabı istenen zamana kadar geçen süre (saat)



Şekil 9.21: Güneşli damıtmada enerji akımları (c: cam örtü, s: su, h: hava)

Su bünyesine geçen ısı enerjisi $(\alpha_s \cdot \tau)I$ havuzdaki suyun sıcaklığını arttırmakta ve buharlaşma (q_{bu}), radyasyon (q_r), taşınım (q_{ko}) ve tabandan oluşan (q_{ta}) ısı kayıplarını karşılamaktadır. Aşağıdaki eşitlikte havuzdaki ısı denge denklemi verilmiştir.

$$(\alpha_s \cdot \tau)I = C_s \frac{dT_s}{d\theta} + q_{bu} + q_r + q_{ko} + q_{ta}$$

Havuzdaki ısı kayıpları sırası ile incelenirse ;

a) Tabanda olan ısı kaybı (q_{ta})

$$q_{ta} = U_t(T_s - T_c)$$

U_t : Tabandan toplam ısı kayıp katsayısı ($U_t = 1.75 - 5.68 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{K}^4$)

T_s : Su sıcaklığı (30 – 60 $^\circ\text{C}$)

T_c : Çevre sıcaklığı ($^\circ\text{C}$)

Radyasyon ısı kaybı (q_r)

$$q_r = F_c \sigma (T_s - T_c)$$

F_c : Yüzey faktörü ($F_c = 0.9$ alınabilir.)

σ : Stefan – Boltzman sabiti ($5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{K}^4$)

T_s : Su sıcaklığı ($^\circ\text{K}$)

T_c : Cam sıcaklığı ($^\circ\text{K}$)

Taşınım ısı kayıpları (q_{ko})

$$q_{ko} = h_{ko}(T_s - T_c)$$

h_{ko} : Isı taşınım katsayısı ($W/m^2 \text{ } ^\circ K$)

(q_{ko}) aşağıda verilen denklem yardımı ile doğrudan bulunabilir.

$$q_{ko} = \left(8.84.10^{-4} \left[(T_s - T_c) \frac{P_{sb} - P_{cb}}{265.P_T - P_{sb}} T_s \right]^{1/3} (T_s - T_c) \right)$$

P_{sb} : Buharın su yüzeyindeki kısmi basıncı (kPa)

P_{cb} : Buharın cam yüzeyindeki kısmi basıncı (kPa)

P_t : Toplam basınç (kPa)

Buharlaşma (gizli) ısı kaybı (q_{bu})

$$q_{bu} = m_b . h_{fg}$$

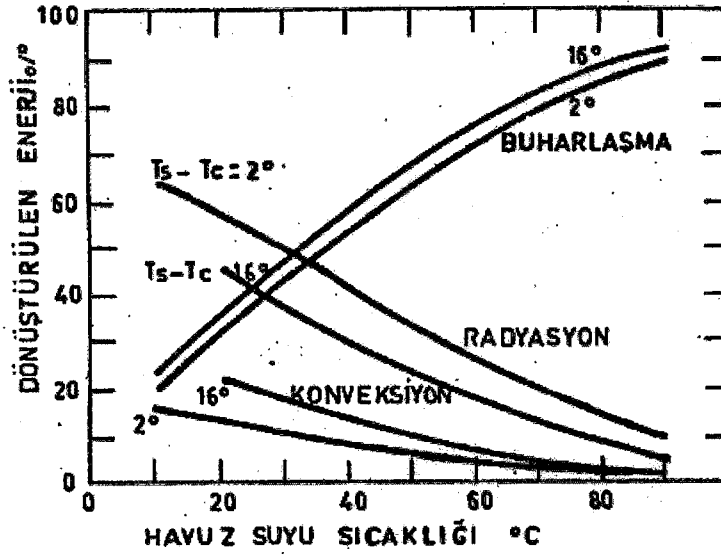
m_b : Buharlaşan su miktarı ($kg/m^2 \text{ sn}$)

h_{fg} : T_s sıcaklığında buharlaşma gizli ısısı (J/kg)

Buharlaşma ısı kaybı (q_{bu}) aşağıdaki eşitlikten doğrudan bulunabilir.

$$q_{bu} = \left[(16.27.10^{-3}) q_{ko} \frac{P_{sb} . P_{cb}}{T_s - T_c} \right] h_{fg}$$

Şekil 9.22’de ısı kayıplarının yüzdeleri değişik parametrelere göre verilmektedir. Siyah zemin sıcaklığına göre verilen bu ısı kayıp yüzdeleri, su – cam örtü sıcaklık farkı 2-16 $^\circ C$ değerleri içindir.



Şekil 9.22 : Güneşli damıtma havuzunda siyah zeminin sıcaklığına göre ısı kayıp yüzdeleri (Su – cam ötü sıcaklık farkı 2 – 16 °C için)

Tuzlu suyun ısınması için harcanan enerji

$$q_f = \frac{m_f}{A} C_p (T_s - T_o)$$

m_f : Tuzlu suyu besleme debisi (kg/sn)

A : Suyun yüzeyi (m²)

C_p : Suyun özgül ısınma ısısı (J/kg^oK)

Çeşitli ülkelerde kurulan güneşli damıtma sistemlerinden bazılarının özellikleri çizelge 9.2'de verilmiştir.

Çizelge 9.2 : Çeşitli ülkelerde bulunan damıtma tesisleri.

Ülke Adı	Yeri	Tesis Tarihi	Genleşme yüzeyi (m ²)	Kapasitesi (m ³ /gün)
Avustralya	Cooper Pedy	1966	3160	6.35
Yunanistan	Patnos	1967	8640	26.11
A.B.D	Filedelfiya	1963	149	0.61
Rusya	Balcharden	1969	599	1.62
Meksika	Punta Eugenia	1974	470	1.50

9.2.2. Damıtıcı Performansı (β)

Sistemi tanıttıcı karakteristik bir büyüklüktür. Elde edilen tatlı su miktarının, (buharlaştırma gizli ısısı cinsinden enerji karşılığının) harcanan enerjiye oranıdır.

$$\beta = \frac{W \cdot h_{fg}}{H}$$

W: Üretilen Tatlı su miktarı (Kg/m²gün)

H : Güneş Radyasyonu (KJ/m²gün)

h_{fg}: Suyun Buharlaştırma gizli ısısı (KJ/kg)

9.2.3. Güneş Enerjisi ile Damıtmanın Genel Değerlendirmesi

Güneşlenme ve deniz suyu yönünden zengin olan pek çok kıyı şeridi bölgeleri ve adaların ulaşım imkanlarının güç olması nedeni ile sera tipi güneşli damıtıcılarının kullanılması genellikle kolaylıklar sağlamaktadır. Bu cihazların yapısı basit, imal, işletme ve bakımı kolay ve ucuzdur.

Güneşten başka bir enerji kaynağında bağımlı değildir. Yer problemi olmayan ve çok az kapasite gerektirmeyen bölgeler için pratik bir uygulamadır. Diğer klasik tatlı su üretim cihazları belli bir kapasite üzerinde ve belli tesir kapasitesinde inşaa

edildiğinde verimli çalışırlar. Ancak tüm bunların yanında hassas ve pahalı cihaz ekipmanları gerektirirler. Ayrıca çevre (gürültü ve kirlilik) ve enerji problemleri vardır ama her türlü koşul ve iklimde tesislendirilip işleme sunulabilirler.

Güneş enerjisinin, klasik tatlı su üretiminde yardımcı enerji kaynağı olarak kullanılması önemli bir ekonomi sağlar. 1985'den sonra bu konuda yapılan çalışmalar hızlanmıştır. Büyük kapasiteli cihazlar, mümkün olduğu kadar az yer kaplayacak şekilde, güneş enerjisi ile entegre dizayn ve inşaa edilmektedir.

Sera tipi damıtıcının basit yapıda olması ve güneşten başka (mekanik, elektrik, yakıt gibi) enerji kaynağına gerek duymamasına rağmen performans oranı oldukça düşüktür (0.30) . Bunun başlıca sebepleri aşağıda açıklanmıştır.

- 1.Güneş enerjisi toplama işleminin düşük verimde gerçekleşmesi,
- 2.Yoğuşma gizli ısısının değerlendirilememesi,
- 3.Faz değişimi bölgesinde yoğuşmayan gaz tamponları olması sebebiyle ısı ve kütle transferinin çok güç olması,
- 4.Enerji depolama imkanı olmadığından çalışma süresinin kısa ve kısıtlı olması.

Son zamanlarda, tatlı su üretiminde güneş enerjisi kullanımında bu problemlerin çözümü için çalışmalar yapılmaktadır. Merdiven şeklinde basamaklı ve çok kademeli sıvı emici ve buharlaştırıcı sistemler yanında, güneş enerjili sistemin ani basınç düşmeli (MSF), uzun düşey tüp ince su film buharlaştırmalı ve ters zar sistemi ile beraber çalışacağı sistemler geliştirilmektedir.

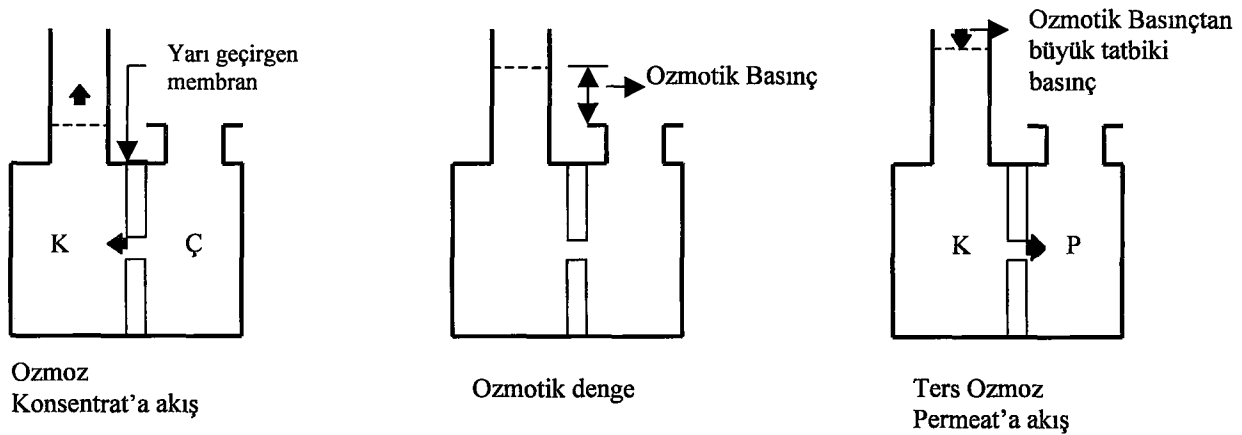
9.3 Ters Ozmoz Yöntemleri

9.3.1 Ozmoz

İki yüz yıldan daha fazla bir süredir bitkisel ve hayvansal membranlarda ozmoz prensibi bilinmektedir. Madde transferi üzerine yapılan ilk denemeler hayvansal membranlar kullanılarak 1748 yılında yapıldı ve bu çalışmalar bilimsel olarak yayınlandı. Daha sonra Peffer 1877 yılında bu çalışmalarını yeniden gözden geçirdi .

Ozmoz terimi, çözelti halindeki bir sıvının kendiliğinden yarı geçirgen bir zardan geçmesi olayını tanımlar. Böylelikle farklı konsantrasyonlara sahip iki çözelti çözüldüğü sıvıdan ayrılır. Bu yarı geçirgen membranlar çok ince bir materyalden oluşmaktadır, ideal şartlarda bu membran, çözeltiyi anorganik ve organik maddelerinden, koloitlerden, bakteri ve 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 yönündede gerçekleştiği zaman dilimidir. Bu olayda seyrelmeye ulaşma isteği ile, konsantre çözeltilerde 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 (Marquardt 1988).

Sekil 9.23: Ozmoz, ozmotik denge, ters ozmoz. (K: Konsentrat, Ç: Çözelti, P: Permeat)



Kaynak: Erzeugung von Reinstwasser II. Neue Techniken und Verfahren für hohe und höchste Ansprüche, Expert Verlag, 1988.

9.3.2 Ters Ozmoz

Ters ozmozda, tıpkı ozmoz olayındaki gibi farklı konsantrasyonlara sahip iki çözelti, yarı geçirgen membranla ayrılmışlardır ve doğada olduğu gibi bu konsantrasyonlar dengeye getirilir. Böylelikle çözelti seyreltilen çözültiden membran aracılığı ile yüksek konsantrasyona doğru akar ve bu akış iki çözültideki tuz oranları eşitleninceye kadar devam eder. Bu denge oluşumunu sağlayan güç ozmotik basınç olarak adlandırılır. Ozmotik basınç iki çözelti arasındaki konsantrasyon farkına bağlıdır. Konsantre çözelti tarafına dışarıdan ozmotik basınçtan daha yüksek bir basınç uygulanırsa olay tersine döner ve bu duruma **ters ozmoz** denir. Bu durumda sıvı çözelti konsantrasyonun yüksek olduğu taraftan, membran içinden geçerek alçak olan tarafa doğru akar. Membran içinden geçen bu çözültiye **permead** adı verilir.

Basınç uygulanan taraftaki çözülmüş maddeler belli bir maksimum değere kadar yükselir. Meydana gelen yüksek konsantrasyonlu bu çözültiye **konsentrat** adı verilir. Anorganik tuzların yanı sıra ters ozmoz aracılığı ile organik maddeler, bakteriler ve diğer yabancı maddeler membranın diğer tarafında alı konulur.

Ters ozmozda kullanılan hidrolik direnci yüksek membranın normal ve ekonomik bir akışa izin verebilmesi için 28 ila 50 bar arası bir basınca ihtiyaç duyulmaktadır (Marquardt 1979).

9.3.2.1 Ters Ozmozun Kullanımı

Onbeşyıl öncesine kadar genel kanı ters ozmoz yönteminin sadece ve sadece yüksek tuz içeren kuyu sularının arıtılması için kullanılabileceği yönündeydi. Ama bu kanı gelişen teknoloji vasıtası ile yavaş yavaş değişti ve günümüzde her türlü arıtma alanında kolaylıkla kullanılabileceği görüldü. Ters ozmoz diğer tuz arıtma metotları ile karşılaştırıldığında (İyon değişim yöntemi ve elektrodializ gibi) daha ekonomik olduğu görülür. Sadece tuzdan arıtmada değil bunun yanı sıra organik maddelerin ayrıştırılmasında, belli katyon ve anyon artık oranlarının ayarlanmasında ayrıcalıklı bir teknolojiye sahiptir.

Ters ozmoz yönteminin kullanım alanları :

1. İçme suyunun sonraki işlenme durumları için ;

Ters ozmozda işlenmemiş suyun toplam tuz miktarı, karbonat sertliği ve toplam sertliği sülfat ve nitrat miktarı ile düşürülür.Çözülmemiş suda su içerisinde bulunan yabancı bakteriler, koloidler v.s. bu yöntemle ayrıştırılır.

2. İşletme suyu ;

Endüstri alanında ters ozmozun çok geniş bir kullanım alanı vardır. Soğutma suyu ve kazan besleme suyu hazırlanmasında,elektronik parçaların fabrikasyonunda gerekli arı suların işlenmesinde ayrıca kozmetik ve eczacılık endüstrisinde, kimya endüstrisinde, işletme suyu ve bira üretiminde kullanılır.

3. Atık suların kimyasal tuzundan arındırılması ;

Ters ozmoz örnekleri,

Endüstri alanındaki atık su arıtma tesislerinde ağır metallerin ayrıştırılması için son basamak olarak, Atık soğutma suyunun tuzundan arındırılmasında. (Bu kullanımda atık suların, tuzdan arındırılma tesislerinden elde edilen permeat soğutma dolaşımına tekrar geri kazandırılır.)

Çok yüksek tuz miktarına sahip atık sular ters ozmozla tuzundan arındırılır ve üretilen bu su işletme suyu olarak kullanılır daha sonra oluşan konsentrat ilerleyen basamaklarda atılır.

4. Değerli maddelerin geri kazanımı ;

Çözeltiler ters ozmoz vasıtasıyla konsantre edilebilir ve böylelikle prosesi besleyen değerli madde ve kimyasallar geri dönüştürülmüş olur.Ayrıca biyokimya alanı ile ilgili olarak, önceden temizlenmiş kominal atık suların sonraki temizlenme aşamalarında da ters ozmoz yöntemine başvurulur.

5.Tıp alanındaki kullanım ;

Hemodiyalizde gereksinim duyulan su ters ozmoz vasıtası ile daha avantajlı olarak hazırlanır ve bu su tuzların atılmasında (özellikle Ca iyonunun) kullanılır.Burada önemli olan membranın mikrop ve bakterileri bloke etme özelliğidir.

6. Acı kuyu suyu ve deniz suyunun tuzdan arındırılması ;

Deniz suyu ters ozmoz yöntemi ile ekonomik olarak tuzundan arındırılabilir. Tuz oranı ve suyun bileşimi membranların fiziksel yada kimyasal dayanıklılığında önemli bir rol oynamaktadır. Yüksek tuz oranı ve bunun yol açtığı yüksek ozmotik basınç değerinin, acı kuyu suyu ve deniz suyunda ters ozmozun kullanılabilmesi için, 30 ila 80 bar civarında olması gerekmektedir. Modüllerin ve diğer tesis parçalarının yapısal olarak belli şartlar taşıması zorunluluğu vardır. Özellikle malzemeye yönelik yüksek beklentiler vardır. Bu yöntemin herhangi bir engele uğramadan kullanılabilmesi için acı kuyu suyunun veya deniz suyunun ön işleme tabi tutulması vazgeçilmez bir şarttır. Eğer bu şart sağlanırsa, bununla birlikte piyasada bulunan her membran için emin ve ekonomik bir çalışma seyri oluşturulur. Ön işlem; membran çeşidi, modül sistemi ve işlenecek suyun bileşimi göz önünde bulundurularak yapılmalıdır ve istenilen permeat ve kondensat kalitesi belirlenmelidir. Membrana tıkayan ve zarar veren maddeler tesisi her yönüyle rahatsız gibi membran yapısını ve materyalini bozar. Bunun sonucu olarak permeatta yüksek tuz miktarının oluşmasına yol açar (Marquardt 1988). Membrana zarar veren maddelere ileriki başlıklarda değinilecektir.

9.3.2.2. Deniz Suyu ve Acı Kuyu Suyunun Ön İşlem Basamakları

Ön işlem ile birlikte ulaşılabilecek neticeler şunlardır ;

- Ph değerinin, membran malzemesinin dayanıklılığına bağlı olarak tortu oluşumunun engellenmesi için seviyesi ayarlanır.
- Süspanse edilmiş partiküller aracılığı ile membranlar üzerinde kir oluşumu engellenir.
- Su sıcaklığı ayarlanır.
- Metalhidroksit ve metaloksithidratın yaratabileceği tortulaşma tehlikesi bu ön işlem vasıtası ile engellenir.
- Doyma konsantrasyonu aşıldığı takdirde karşılaşılabilecek tortu oluşumu engellenir. Örn. Ca ve Mg iyonları ve Silisik asit ayrıca Baryum ve Stronsiyum oranları dikkate alınmalıdır.
- Organik maddelerin membran üzerinde yol açtığı kirlenme önlenir.

- Mikroorganizmaların yine membran üzerinde oluşturabileceği kirlenme önlenir.
- Oksidasyon maddesinin oluşturabileceği zarar önlenir (Marquardt 1988).

9.3.2.2.1 Ön Temizleme

Ön temizleme işlemi, işlenecek su içerisinde süspanse olmuş ve çözülmüş organik ve anorganik içerik maddelerinin (Demir ,Mangan gibi) ayrıştırılmasına ve organik madde oranının azaltılmasına yarar. Ters ozmoz yönteminin ön temizleme aşaması sırasında membran üzerinde organik ve-yada koloidal bir tabaka oluşmaktadır. Bu tabakaya **Fouling** adı verilir. Koloidal fouling işlenmemiş suda bulunan organik ve anorganik tabiatlı kolloitlerin, suyun ters ozmoz membranlarında konsantre edilmesi sırasında membran üzerinde bir blok halinde oluşur. Bu oluşumda rahatsız edici unsur silikat bazlı anorganik maddelerdir. Bu bileşiğin yol açtığı blok zahmetli bir işlemle membrandan temizlenir. Bu temizlemede genellikle kesin bir netice vermez. Koloit foulingin sebepleri, etkileri ve ortadan kaldırılmaları üzerine yapılan araştırmalar tesislerde önemli bir şekilde işletme randımanının artmasına ve büyük ölçüde ekonomi sağlanmasına sebep olmuştur.

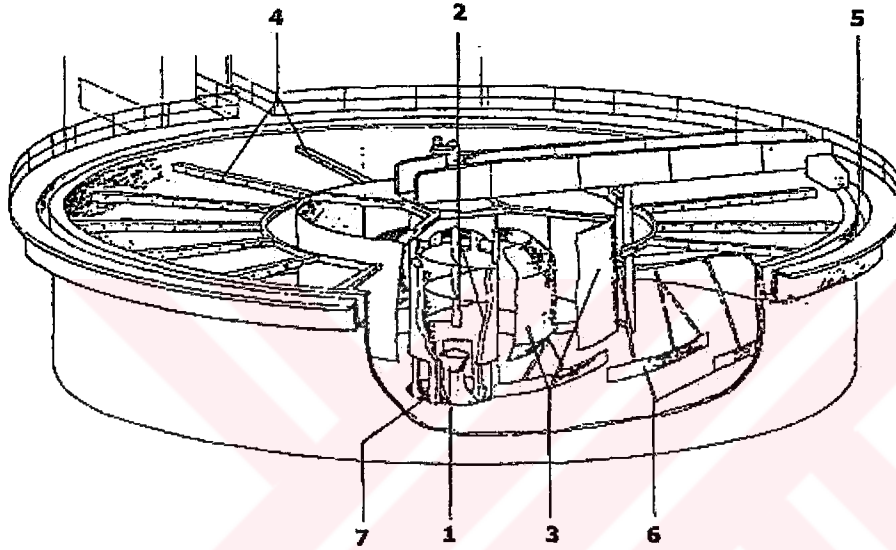
Koloid foulingin yarattığı tehlike işletilen suyun bloklaşma indeksine (VI) bağlı olarak değişir. Bloklaşma indeksinin gerçek değerinin hesaplanabilmesi için 0.45 mikronluk filtrelerden belli bir basınç altında deniz suyunun geçirilmesi gerekmektedir. Bu işlem esnasında belli bir hacimdeki suyun filtre edilmesi için gerekli hazırlık zamanı ve bu su miktarı için gerekli filtre zamanı değerlerine ihtiyaç duyulur. Filtre zamanının uzama değeri membran filtresindeki bloklaşma değeri ile doğru orantılı olup buradanda bloolaşma indeksi bulunur. Çizelge 9.3 de bloklaşma indeksinin hesabı matematik formül olarak verilmiştir.

Koloidal içerik maddelerinin işlenecek sudan ayrıştırılması yüksek yatırım ve işletme maliyetine sebebiyet veren kontakt çamur reaktörü vasıtası ile yapılan çökeltme ile mümkündür. Şekil 9.24'de kontakt çamur reaktörü görülmektedir (Marquardt 1977).

Dağınık maddelerden koloidal maddelere kadar her türlü maddenin fiziksel ve kimyasal olaylarla ayrıştırılması durumuna çökeltme adı verilir. Pıhlaşma ile

tortulaşma arasındaki farka değinilirse; Pıhtılaşmada sabit yüklü koloidal parçalar elektrolit verilşi ile ortadan kaldırılır. Tortulaşmada ise uzun halkalı organik moleküller kullanılarak bir çok küçük partikülden bir bileşim meydana getirilir (Hartinger 1976).

Çok katlı pıhtı filtre metodunda Hidroantrazit ve çakıl maddeleri kullanılır. Demir ve aliminyum bazlı pıhtılaşma maddeleri düzensiz yada yetersiz yayılma etkisi gösterirler.



Şekil 9.24 : Kontakt çamur reaktörü. (1. İşletilecek suyun akışı 2. Devirdaim dişlisi 3. İç ve dış döner silindir 4. Temiz su akış tekerleği 5. Temiz su toplama yüzüğü 6. Taban kazıyıcı sistem 7. Çamur çıkışı)

Günümüzde yüksek etkili filtre materyalleri ve özel polielektrolitler yardım 1 ile koloidal maddeler direkt olarak yada çakıl filtreleri yardımı ile ön filtreden geçirilerek arıtılmaktadır. Ortalama 4 haftalık temizleme periyotları boyunca ters ozmoz tesisleri Boş elyaf kompakt modülleri ile güvenli bir şekilde işletilebilmektedir. Bu güvenli işletimin sürekli olması bloklaşma indeksinin 3 değerinde sabit kalması ile mümkündür. 9.3 nolu çizelgede işletme sırasında elde edilmiş ölçümlerin kullanılması

ile Bloklaşma indeksinin nasıl hesaplanabileceği gösterilmektedir. Test süresince önemli olan filtrasyonun meydana gelebilmesi için gereken basıncın sabit tutulması ve % 5'den fazla sapma göstermemesidir.

Çizelge 9.3 : Bloklaşma indeksinin hesaplanması.

$$VI = \frac{(1 - \frac{t_A}{T}) * 100}{t_t}$$

VI = Bloklaşma indeksi
T = Toplam Zaman (normalde 15 dakika)
t_A = V Hacimli sıvının filtrasyonu için test başlangıcındaki zaman
t_t = V Hacimli sıvının filtrasyonu için gerekli test sonundaki zaman

Kaynak: Marquardt, K. und Ludwig, H. Entsalzung von Brack – und.....1977, s.3.

Çizelge 9.4 çeşitli yüzey sularının ve yeraltı sularının bloklaşma indeksini göstermektedir. Yüzey sularının bloklaşma indeksi mevsim ve hava şartlarına, endüstri atıklarının meydana getirdiği kirlilik derecelerine bağlı olarak iniş çıkışlar gösterir. Aynı şey daha az ölçüde yeraltı suları içinde geçerlidir.

Çizelge 9.4 den'de görüldüğü üzere bir içme suyu tesisinde hazırlanan su koloidal maddeler içerebilir. Böylelikle bloklaşma indeksi 3 ü aşabilmektedir. Bu durumda ters ozmoz tesisinin korunabilmesi için ek tedbirler alınması gerekliliğini doğurur.

İçme suyu şebekelerindeki korozyon, koloidal demirin oluşmasına yol açar. Buna bağlı olarakta 5 ila 20 değeri arasında bloklaşma indeksini ortaya çıkarır.

Çizelge 9.4: Çeşitli yeraltı ve yüzey sularının bloклаşma indeksleri.

İşlenecek Suyun Çeşidi	Bloклаşma İndeksi (VI)
Az Kirli Kuyu Suyu	2 – 3
Çok Kirli Kuyu Suyu	3 – 20
Durgun Yüzey Suları	10 – 100
Akıcı Yüzey Suları	100 - ∞
Az Kirli İçme Suyu	1 – 3
Çok Kirli İçme Suyu	5 – 20

Kaynak: Marquardt, K. Physikalische Verfahren zur Trinkwasseraufbereitung und ihre Grenzen, Stuttgart 1977.

Çizelge 9.5: Bloклаşma indeksinin düşürülmesi için çeşitli ön temizleme metotları karşılaştırmaları.

Yöntemler	VI'nın Uygulama alanı	VI'nın düşme oranı (%)
Çok Tabakalı Çakıl Filtrasyonu	$\leq 100 - 200$	≈ 50 max
Pıhtılaştırma Reaktörü ve Filtrasyon	$\leq 50 - \infty$	> 95 max
Çok tabakalı Filtrasyon ve Pıhtılaştırma	≤ 50	> 90 max
Inline Pıhtılaştırması	≤ 50	> 95 max
Alüvyon Filtrasyonu	≤ 6	> 95 max

Kaynak: Marquardt, K. Physikalische Verfahren zur Trinkwasseraufbereitung und ihre Grenzen, Stuttgart 1977.

Çizelge 9.5 bloklaşma indeksinin ön temizleme metotları aracılığı ile düşürülmesi hakkında bilgi verir. Bu metotlar çakıl filtrasyonu, çökeltme, çok tabakalı filtrelerde filtrasyon ve sedimentasyondur. Akabinde bu yöntemlerin kullanım alanlarında gösterilmiştir.

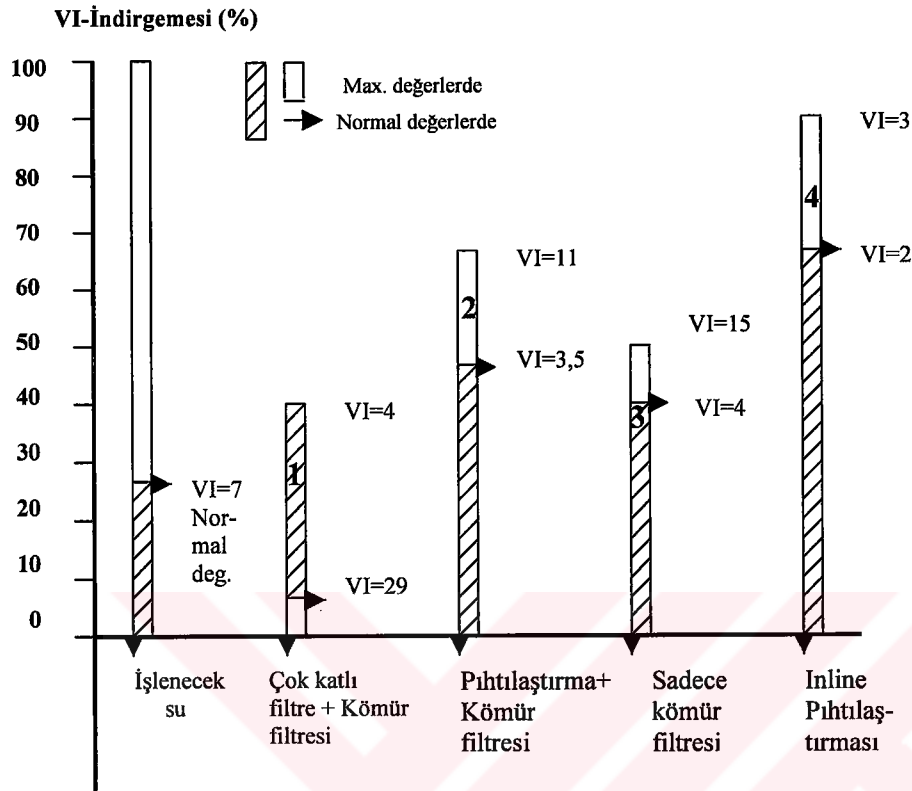
Çizelge 9.5’de görüleceği üzere çakıl ve çok tabakalı filtrasyon metotları durgun ve akan yüzey sularının hazırlanmasında tercih edilen en iyi metotlardandır. **Inline** pıhtılaştırma sistemi devreye sokulduğunda, çökeltme reaktörlerine gerek olmadan bloklaşma indeksi değeri 3 elde edilerek ters ozmoz tesisinin rahat çalışması sağlanır.

Pratikte çakıl filtresi ile temizlenmiş bloklaşma indeksi 50 olan nehir suyu inline pıhtılaştırma sisteminin devreye sokulması ile 2 değerine düşürülebilir. Bu sistem çok kirli yüzey sularının ters ozmoz ve kompakt modüllerle hazırlanmasında çoğu zaman uygundur ve böylece kontakt çamur reaktörlerinin devreye sokulmasına gerek kalmaz.

Inline metodu kendini, yüksek oranda anorganik koloitlerle yüklü çeşme sularının filtrasyonunda gösterir. Bu metotta sünger yüzeyli özel filtrasyon maddeleri kullanılır ve filtreden önce organikelektrolit dozajlanır.

Şekil 9.25 de filtre metotları üzerine yapılan araştırma sonuçları gösterilmektedir. Normal değer 7 nin aksine 30 maksimum değerindeki çeşme suyunda bloklaşma indeksinin normal değeri maksimal değerinin % 24’lük bir bölümüdür. Şekil 9.25 deki 1nolu bölüm çok katlı filtre ile aktif kömür filtresi kombinasyonunda ulaşılan sonucu vermektedir. Maksimal değerde bloklaşma indeksi % 5 , normal değerde ise % 40 azaltılmıştır.

Pıhtılaştırma filtresi, aktif kömür filtresi ile kombine edildiğinde daha farklı bir sonuç ortaya çıkar. Bloklaşma indeksinin maksimal değerinin % 65 , normal değerininse % 50 lik bir oranda azaldığı bu tip bir filtre kombinasyonunda görülmüştür. Aktif kömür filtresi bu kombinasyonda koloidal bölüme kadar çok ince filtrasyon özelliği gösterir. Bu bölümde sadece aktif kömür filtrasyonu kullanılır ve maksimum değer % 50 , normal değer % 40 oranında indirilir.

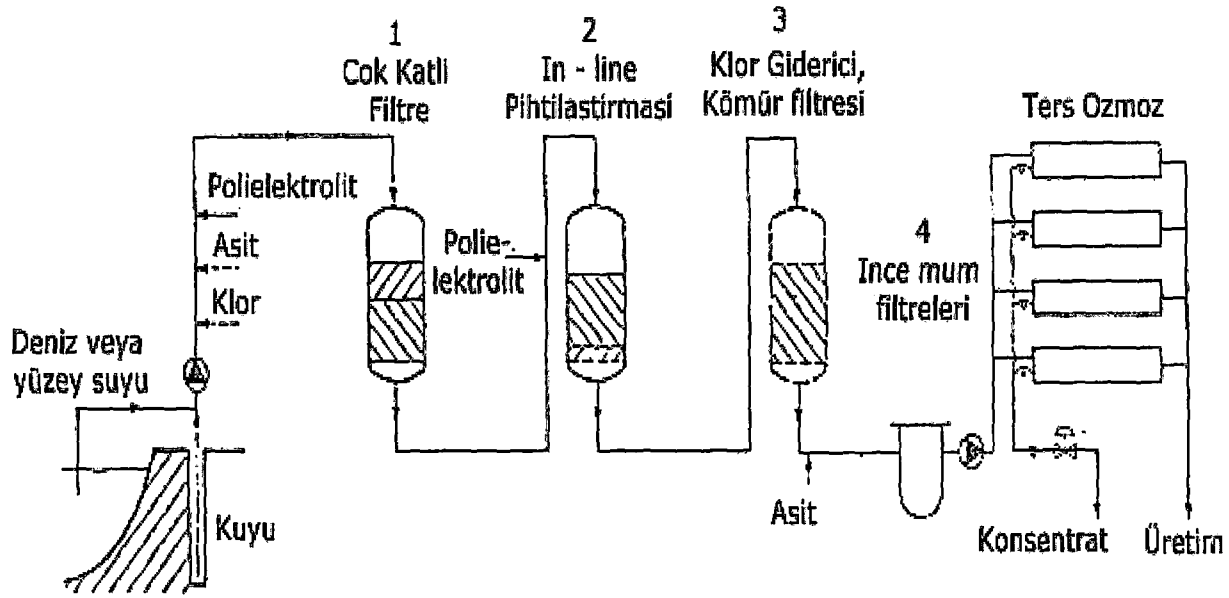


Kaynak: Marquardt, K. Physikalische Verfahren zur Trinkwasseraufbereitung und ihre Grenzen, Stuttgart 1977.

Şekil 9.25: Filtre karşılaştırmaları.

Şekil 9.25 deki 4 nolu bölüm inline metodu sonuçlarını göstermektedir. Bloklama indeksi normal değerde % 70 , maksimum değerde ise % 90 indirilmektedir. Inline pıhtılaştırma filtrasyonlarında artan bloklama indeksi ile, su hazırlama etkisinin arttığı görülmektedir. Ama diğer filtrasyon yöntemlerinde bu etki tamamı ile terstir.

Şekil 9.26 deniz suyunu tuzundan arıtan ters ozmoz tesislerdeki ön temizleme sistemlerinin genel çalışma prensiplerini göstermektedir (Marquardt 1977).

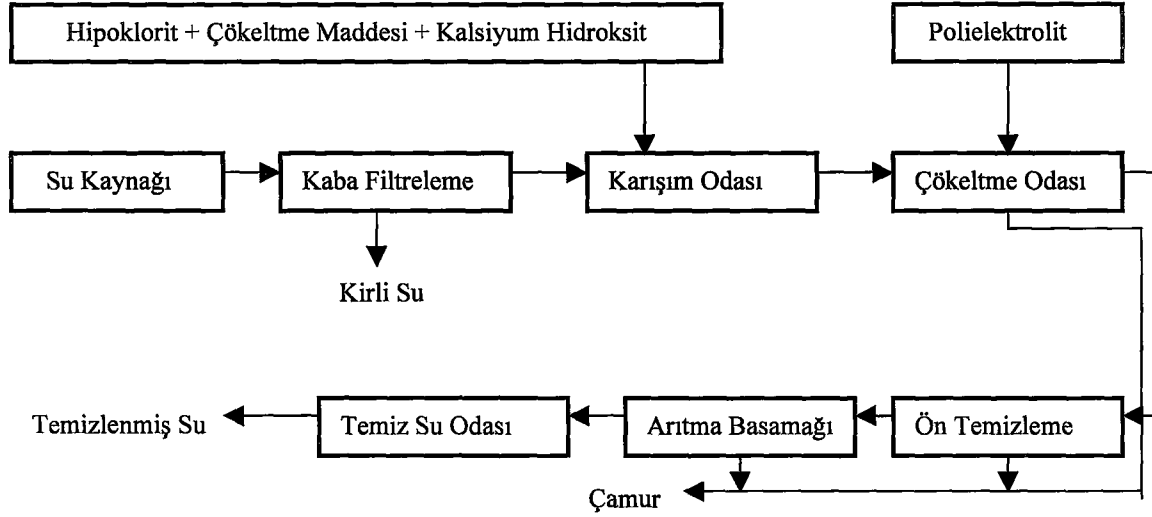


Kaynak: Marquardt, K. Physikalische Verfahren zur Trinkwasseraufbereitung und ihre Grenzen, Stuttgart 1977.

Şekil 9.26 : Ters ozmoz tesislerindeki ön temizleme sistemleri.

İlk ön temizleme basamağı polielektrolit dozajlı (zweistoff-Filter) ikili filtredir. Yüksek oranda çekirdek içeren sularda klor dozajı bu filtreden önce uygulanmaktadır. İkinci basamak, inline pıhtılaştırma sistemi ve bunu takip eden natrium bisülfid şok dozajlama sisteminden oluşmaktadır. Bu ters ozmoz tesisinin sterilizasyonu için gereklidir. Alternatif olarak UV-sterilizasyonda kullanılabilir. Klor dozajlama mutlak ölçüde gerekli ise devamlı olarak bisülfat oranı ayarlanmalıdır. Klordan arındırma aktif kömür filtrasyonu ile mümkündür.

Çeşme suyunun yada az kirli yüzey suyunun hazırlanmasında mekanik ön temizleme basamakları (Çok katlı filtre veya inline) ve mum filtresi kullanılır.



Şekil 9.27 : Öntemizleme basamağında kimyevi maddelerin işlenecek suya ekleme üreçleri.

Gemilerde tatlısu sağlanması için kullanılan daha küçük ters ozmoz tesislerinde çok kapsamlı ön temizleme işlemlerinden vazgeçilir ve sadece mum filtreleri kullanılır. Bu filtreler açık denizlerde çalıştırılır, çünkü açık denizlerdeki kirlilik oranı her zaman daha azdır. Permeat randımanı % 10 dur ve havalandırma kullanılmadan asit enjekte edilmesi ve sertliğin sabit tutulması gerekmektedir. Bu küçük çaplı ters ozmoz sistemlerinde modüllerin temizlenmesinde kimyasal maddeler devreye sokulmaktadır (Marquardt und Ludwig 1977).

9.3.2.2.2 Havalandırma

Havalandırma, bir sonraki işlemlere suyun hazırlanmasında bakteri oluşumunu önlemek için gerekli ön işlemdir. Bu işlemde fosfat ve asit dozajlamasının yanı sıra, dezenfekte edici madde kullanımı ve sertlik azaltıcı iyon değiştirme işlemleri yapılır. Bu önlemler **Scaling**' i önlemek için alınmaktadır (Ters ozmoz olayında, konsantrasyon sırasında çözünürlük aşılsa membran üzerinde yüksek oranlarda bir tuz birikimi olur

buna scaling denir.). Dikkate alınması gerekli en önemli tuz içerikleri kalsiyumhidrojenkarbonat, kalsiyumsülfat ve silisik asittir. Bunların yanı sıra kalsiyumflorit, baryum ve stronsiyumsülfat permian randımanında önemlidir (Marquardt 1988).

Çizelge 9.6 membranı bloke eden maddeler hakkında bilgi vermektedir. Bu maddeler Fouling ve Scaling'e yol açması bakımından ikiye ayrılır.

Ön temizleme ve havalandırma işlemi bu rahatsız edici unsurları ortadan kaldırmak için yapılır. Burada dikkat edilmesi gereken bir maddenin rahatsız edici olup olmadığına konsantrasyona bağlı olarak karar verilmesi gerekliliğidir. Ortadan kaldırma yöntemleri 4 gruba ayrılır.

- Direkt olarak yok etme
- Dönüştürme
- Stabilize etme
- Ters ozmoz tesisinin bu maddelere bağlı olarak dizayn edilmesi (Dengler 1980).

Çizelge 9.6 : Membranı bloke eden maddeler.

Bloke Maddeleri	
Fouling:	
1.Koloidal Fouling	Organik Koloidler K1
2.Metal oksitli Fouling	Anorganik Koloidler Fe ²⁺ , Mn ⁴⁺
3.Biyolojik Fouling	Biyolojik Maddeler
Scaling:	CaSO ₄ , KH, CaF ₂ , SiO ₂

Kaynak: Dengler, H. Umkehrozmaz im Kraftwerk, Böblingen 1980, s.43.

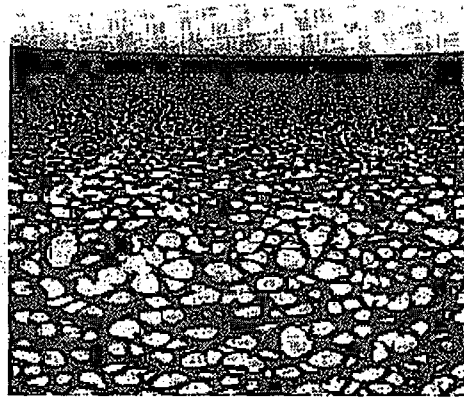
9.3.2.3 Ters Ozmoz Yöntemi için Membran ve Modüller

9.3.2.3. Membranlar

Membran sistem içerisinde esas ayırıcı birimdir. Çok çeşitli materyallerden yapılabilmektedir. Formal olarak şu biçimlere sahiptir ;

- Düz yada tabaka membran
- Spiral biçimli membran
- Boru yada tubular biçimli membran
- Boş elyaf membranı
- Hortum membranı

Bunların dışında asimetrik ve kompozit membranlarda vardır. Asimetrik membranların en önemli özelliği kimyasal olarak homojen olmasına rağmen yapısının yeksenak olmasıdır. Ayırıcı kısmının özelliği ise kompakt (sık örülmüş) oluşudur. İdeal durumda gözeneksiz ve 0.1 – 1 mikron metre kalınlığındadır. Bu örtünün altında bulunan tabakada gözenek çapının değeri 4 kat daha büyüktür. Bu değer bazı membranlarda 100 mikron metreye kadar çıkabilir. Sözü geçen bu asimetrik membranlar –ki bunlar bütün kalınlıkları ile ayırıcı tabaka özelliği göstermektedir- 100 kat daha fazla spesifik permeat akışına izin vermektedir.



Şekil 9.28 : Asimetrik membranın mikroskopik görünüşü.

Kompozit membran 100-200 mikronmetre kalınlığındaki çeşitli katmanlardan oluşmaktadır. Ayırıcı tabaka 0.5 – 2.5 kalınlığındadır. Bu membranda bir yada daha fazla sayıdaki destek tabakalar çok çeşitli materyallerden yapılmıştır. Bu materyaller genelde şunlardır ;

- Seliloz asetat CA
- Seliloz etrisetat CTA
- Poliakril nitril PAN
- Poliamit PA
- Polisulfon PS

Günümüzde tesislerde kullanılan membranların teknik açıdan geliştirilmeleri için çalışmalar devam etmektedir. Su hazırlanmasında teknik ölçülere göre en çok kullanılan membranlar selilozasetat – ve poliamit bazlı olanlardır. Destek tabakaları genelde süngerimsi polisüflon ve polipropilendir (Marquardt 1988). Aşağıdaki 3 nokta membran formunun seçiminde ve modüllerin konsepsiyonunda dikkate alınmak zorundadır.

- Membran yüzeyini yüksek basınca göre desteklemek,
- Olabildiğince büyük membran yüzeylerini küçük birimlerde toplamak,
- Membranın kondensat tarafında kalmış yüzeyindeki çözünmüş maddelerini yok etmek ve membran üzerindeki akışın düzenli olmasına yardım etme(Marquardt 1988).

9.3.2.4. Modüller

Uygun modül konstrüksiyonlarının seçimi su hazırlanmasında membran yönteminin kullanımını avantajlı hale getirmektedir. Özenle seçilmiş maddelerden hazırlanmış membranlar çeşitli modül sistemleri ile beraber birleştirilerek, işlenecek olan suya en uygun sistem kurulmuş olur. Sistem dizaynları ilk etapta ekonomik

kaygılardan dolayı sistem dizaynları ilk etapta ekonomik kaygılardan dolayı etkilenebilmektedir.

Kullanım alanlarına göre modüllerden beklentiler :

- Çeşitli basınçlar altında bile membran yüzeyindeki akışın süreğenliğini yitirmemesi,
- İdeal akış oranının değişmemesi,
- Konsantrasyon polerizasyonunun kontrol altında tutulabilmesi,
- Membran yüzeyine bağlı olarak yüksek sızdırmazlık kalınlığı sağlanması,
- Korozyona dayanıklı işlerlik yeteneği,
- Deniz suyuna dayanıklılığı,
- Bazik ve asidik ortamlarda bütün kimyasal maddelere karşı bir dayanıklılıkta olması
- Scaling ve Fouling durumlarında hasarsız temizleme olanakları,
- Permiat ve konsentrat tarafları arasında 80 barlık basınçlara kadar dayanabilen sızdırmazlık,
- Membran destek tabakalarının amaca uygun kullanımı .

İyi bir membran sisteminden istenen bu özellikler rulo ve boş elyaf modülleri tarafından en iyi şekilde karşılanır ve deniz suyu veya acı kuyu suyunun en iyi şekilde tuzundan arındırılmasında kullanılır (Marquardt 1980).

9.3.2.4.1 Düz Modül

Düz modül, modül yapısının ilk basamağını oluşturmaktadır. Şekil itibarıyla hücreli filtre presi ile benzerlikler gösterir. Bu modül konstrüksiyonunda membran yüzeyinin bütün yapı hacmine oranındaki uygunsuzluk, bu modülün kullanım alanlarını atık su işlenişi ve ultra filtrasyonla sınırlamıştır.

Düz modül deniz suyunu tuzundan arındıran ters ozmoz sistemlerinde kullanılır ama işaret edilmelidir ki bu alanda başka membran ve modül sistemleri tercih edilmektedir (Dengler 1980).

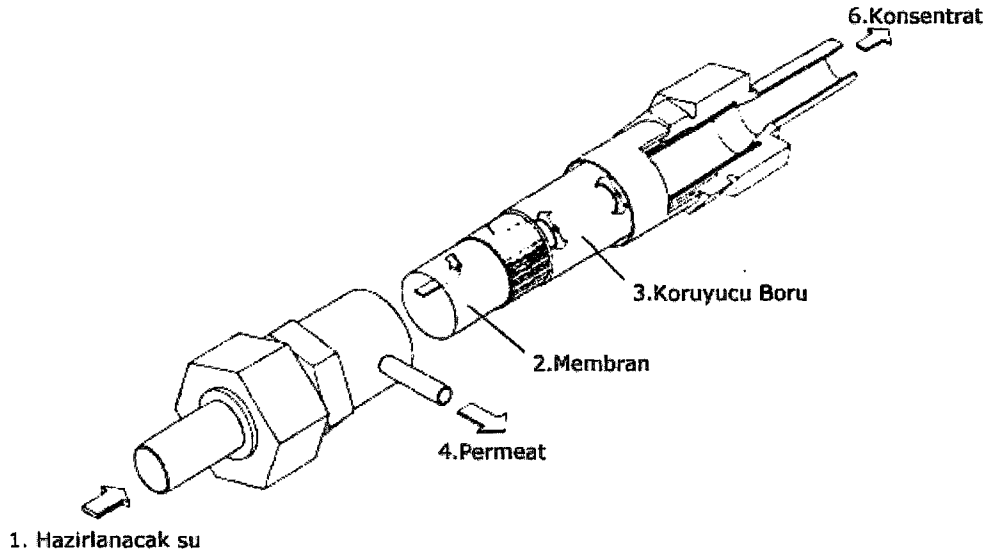
9.3.2.4.2 Tubular ve Boru Modülü

Bu modüller düz modülün geliştirilmiş şeklidir. Tubular sistemde delikli iki adet kenar levhası kullanılır. Bu levhalar birbirine özel çelik borularla bağlıdır. Modül gövdesi süper çelikten yada plastikten imal edilmiştir ama sentetik maddelerden imal edildiği durumlarda söz konusudur. Gövde bir uçtan diğer uca kadar conta bileziği ile kompaktlaştırılır. Boru membranları seluloz, asetat yada polimerizattan yapılmış deliklerden sokulur. Süngerimsi özel bir bağtımdan yapılırlar, su geçirirler ve iç kısımları özel bir ayırıcı membranla kaplıdır.

İşlenecek su besleme kanalından girer ve membran borularından akar, bu sırada permeat dışarı çıkar ve süper çeliğin oluklarından boru demeti ve modül gövdesi arasındaki boşluğa girer. Diğer başta besleme suyu bir sonraki bir sonraki membran borusuna gönderilir ve karşı başa ters yönde akar. Bu olay bütün membran boruları dolaşılana kadar devam eder ve işlemin sonunda kondensat modülü terk eder. Boru demeti ve gövde arasındaki boşlukta toplanan permeat özel kanallardan dışarı çekilir.

Bu modül hem ters ozmoz sistemlerinde hemde ultrafiltrasyon sistemlerinde kullanıldığından diğer modüllere oranla daha yaygın kullanım alanına sahiptir. Deniz suyunun ve atık suların tuzundan arındırılmasında ve kesilmiş sütün suyunun protein proksiyonundaki emülsiyon ayrıştırılmasında kullanılır. Normal şartlarda 2-40 barlık basınçlarda bu modüllerin kullanılabilme özelliği vardır ama özel üretimlerde dayanıklılık 80 bar değerine kadar çıkar.

Bu modül sistemlerinin kötü bir özelliği membran yüzeyinin hacmine olan oranının uygun olmayışıdır. Ters ozmoz sistemlerinde bu modüllerle beraber seluloz asetat membranları kullanılmaktadır. Bu konstrüksiyonun avantajı membran yüzeyindeki konsantrasyon polimerizasyonlarının akışının kontrol edilebilmesidir. Bir diğer tubular membran çeşidi hortum membranlı olanlarıdır. Aşağıdaki şekil hortum membranların genel yapısını göstermektedir.

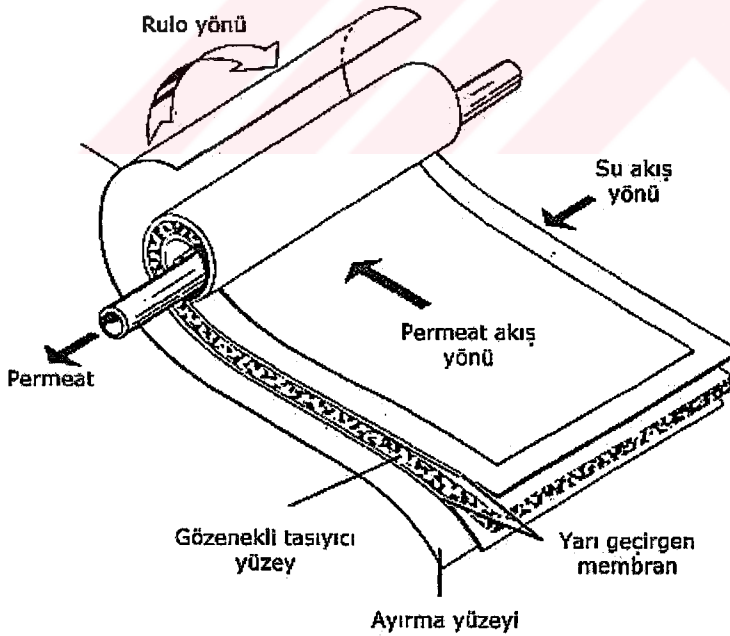


Şekil 9.29: Hortum membranlı tobülar modül.

Bu konstrüksiyon modül parçalarının tek tek birbirine bağlanması ile oluşturulur. Sızdırmazlık kalınlığının düşük olması bu modüllerin bir dezavantajıdır.

9.3.2.4.3 Rulo (Bobin) Modülü

Daha fazla membran yüzeyini daha küçük birimlerde toplama uğraşları rulo



Şekil 9.30: Eksenel geçirimli veya akışlı modül.

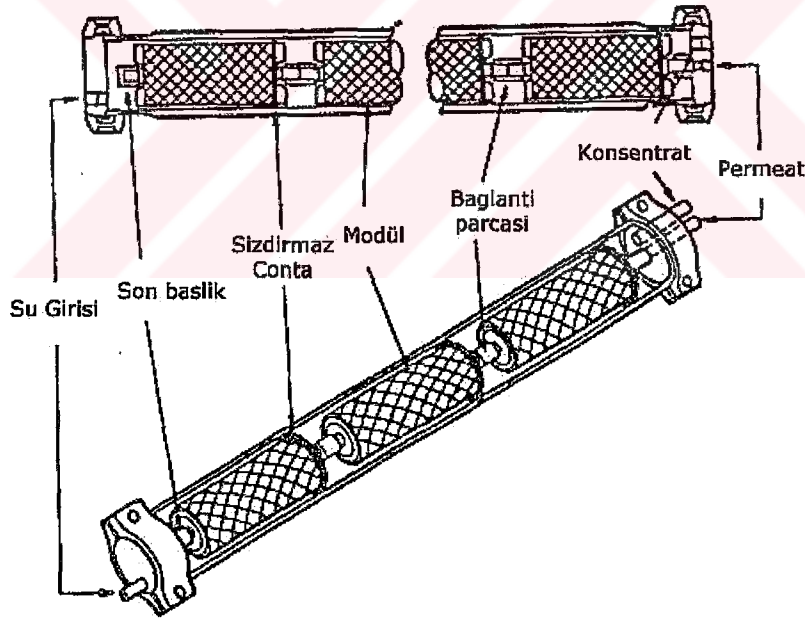
modülünü doğurmuştur. Bu tip modüllerde aksel ve teğetsel akış tipleri oluşmaktadır.

- Aksel geçirimli modül ;

Bu modülde bir çok membran elemanı kullanılır. Bu membranlar membran çantaları biçiminde ayırıcı örülmüş yüzeyi ile birlikte spiral biçimde delinmiş boru etrafına sarılır ve bir basınçlı boru tarafından çevrilir.

Her membran çantası iki yüzeysel membrandan oluşur ve bunların arasına süngerimsi bir taşıyıcı tabaka konur. Daha sonra kondensat besleme suyunun ters tarafında bulunan ayırıcı yüzeyden dışarı çıkar. Devamında permiat süngerimsi taşıyıcı tabakadan geçip delinmiş borudan dışarı verilir. Bu tip sistemlerde bir çok modül tek bir basınçlı boru içerisinde beraberce monte edilir.

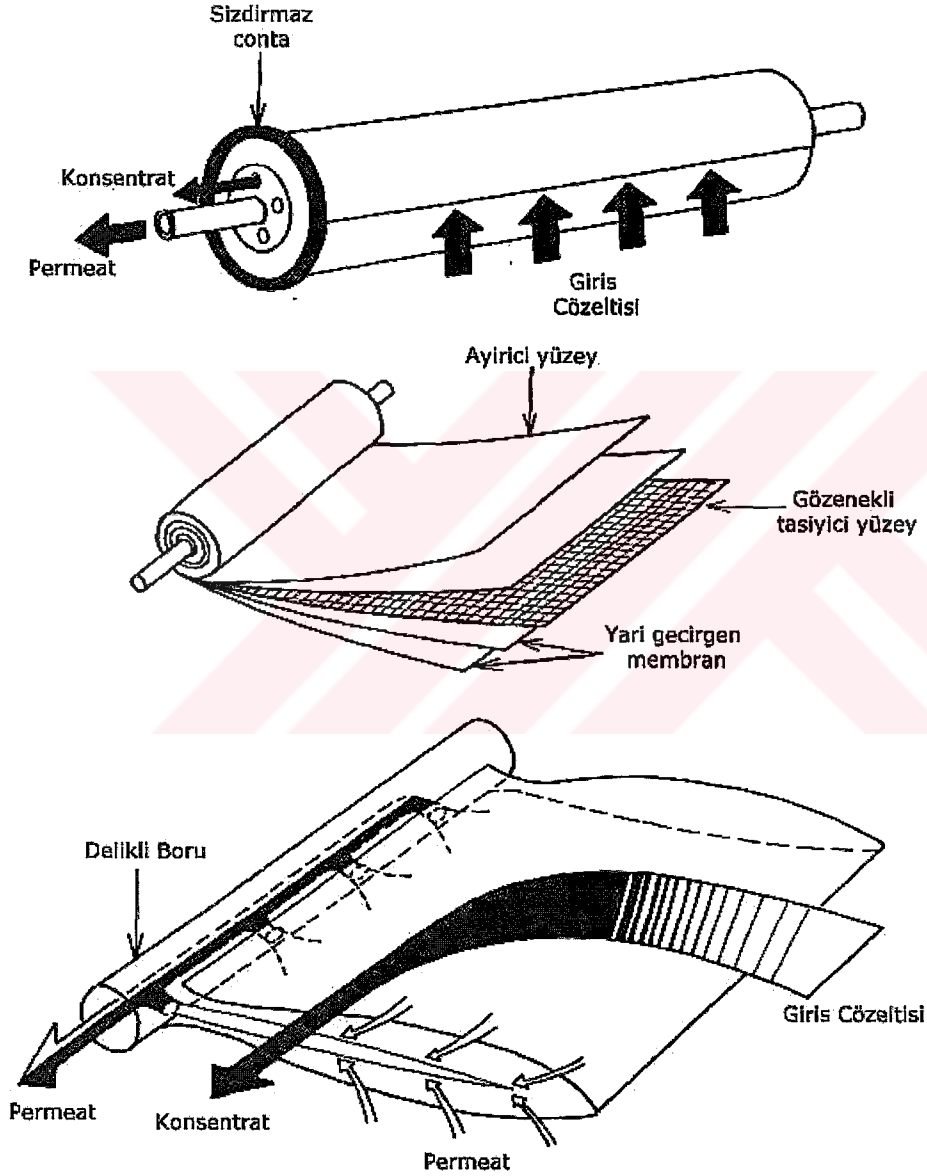
Şekil 9.31 arka arkaya tek bir basınçlı modül içerisinde monte edilmiş modüllerin oluşturduğu sistemi göstermektedir.



Şekil 9.31: Kompakt basınçlı boru sistemi – Rulo modülde.

- Teğet geçirimli modül

Yine spiral şekilde sarılmış membran elemanlarından besleme suyu teğetsel olarak girer. Şekil 9.32 da bu düzeneğin yapısı gösterilmiştir. Konsentrat ayırıcı yüzeyden geçip aksel olarak dışarıya verilir. Bu tip modüllerde ayırıcı yüzey besleme kanalının karşısındaki bölümdedir. Permeat, süngerimsi taşıyıcı tabakadan ve delinmiş borudan dışarı atılır (Marquardt 1988).



Şekil 9.32 : Rulo modellerde teğetsel ve aksel akış.

Kaynak: Marquardt, K. Erzeugung von Reinstwasser II, Böblingen 1988 s.344.

Rulo (Bobin) modülünde tubular ve tabaka modüle göre çok daha büyük bir sızdırmazlık kalınlığına ulaşılır. Fakat mekanik temizlik mümkün değildir. Bu sebeple yıpranan modüller komple değiştirilmek zorundadır. Ayrıca koloidal ve makro moleküler maddeler ayırıcı yüzeye ulaşırsa, destekleyici materyalden çok zor dışarı atılır ve bu durum çeşitli problemlere yol açar (Dengler 1980).

9.3.2.4.4. Hortum Modülü

Hortum modülünde, seluloz asetat membranları hortum modülünde sentetik çubuğa bağlanır. Çubuğun sentetik bir madde ile sıkıca sarılmış olması çubukla membran arasında bir boşluk meydana getirir ve daha sonra çubuklar bir yanda delikli levhaya tutturulur. Permeatın atıldığı çubuk sonundaki membran tarafı kompaktlaştırılarak birbirine bağlanır. İşlenecek su membrana dışarıdan akar ve permeat membrandan geçip membran ile sentetik çubuk arasındaki boşluğa gelir. Hemen ardından düz bir akışla toplayıcı boşluğa ulaşır.

Membran demeti ya sentetik borulara ya da süper çelik borularına yerleştirilerek iki tarafta aynı miktarda bırakılan başlıklarla sıkı bir şekilde birbirine monte edilir. Bu başlıklarda besleme suyu girişine ve konsentrat çıkışına uygun oyuklar mevcuttur.

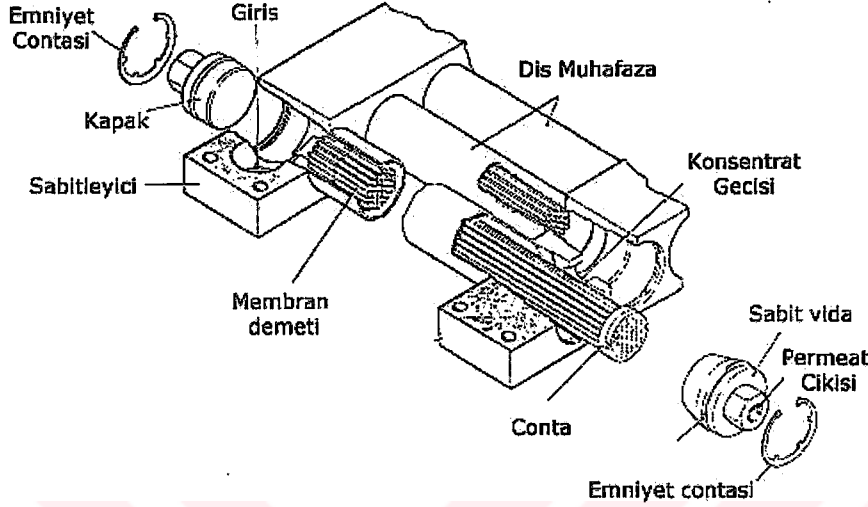
Bu modül sistemleri, maksimum 65 bar basınca kadar kullanılabilme özelliğine sahiptir. Çok çeşitli membran modüllerinin kullanılmasına imkan verir bir sistemdir. Ayrıca bu modül sistemi hem tatlı suyun, hem acı, hemde çok tuzlu atık suların arıtılmasında da kullanılır.

Kompakt modülü ile karşılaştırıldığında hacmin membran yüzeyine oranı daha büyüktür. Yalnız bu modüllerde membran demeti kolayca değiştirilebilir olduğundan ve ayrıca organik, anorganik koloidal maddelere karşı çok hassas bir yapıya sahip olmadığından diğerlerine nazaran daha avantajlı olduğu söylenebilir.

Membran demetinin kolayca çıkarılıp temizlenmesi nedeniyle yüksek molekül ağırlıklı organik çözeltilerin sudan ayrıştırılmasında kompakt sistem yerine bu modül kullanılmaktadır.

Hortum modellerin bir önemli avantajıda membran maliyetlerinin düşük olmasıdır. Membranlar bu modülde aşınma elemanı vazifesi görür. Membranların

maliyet açısından bu sistemde elverişli olması, geri dönüşümü olmayan membran üzerindeki bloklaşma ve kirliliklerin kaçınılmaz olduğu durumlarda tercih edilmesinden kaynaklanmaktadır .



Şekil 9.33 : Hortum modül.

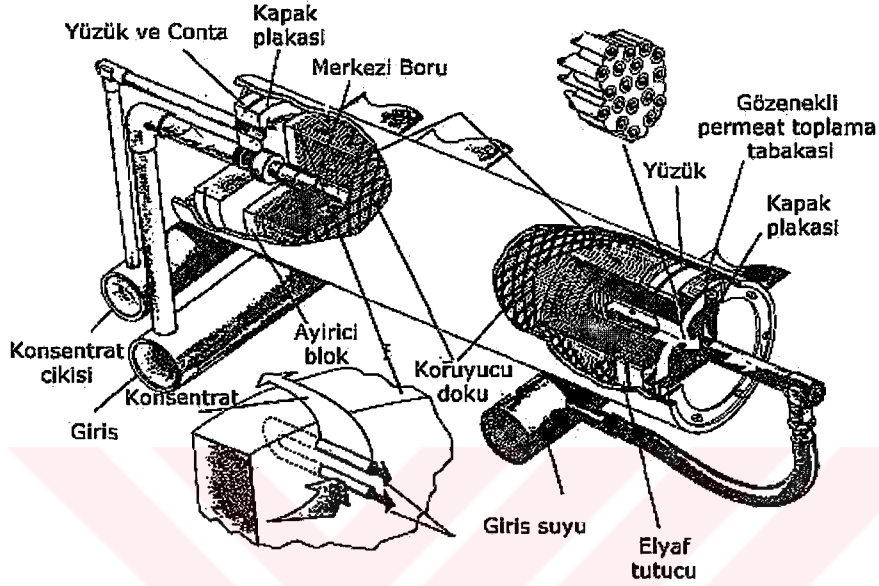
9.3.2.4.5. Boş Elyaflı Kompakt Modül

Boş elyaf membranlı kompakt modüllerde, membran yüzeyinin toplam modül hacmine oranı biraz daha optimal bir değerdedir. Membran yüzeyinin permeat hacmine oranını boş elyaf modüllerinde boru modülüne göre 50 kat, bobin modülüne göre ise 20 kat daha fazladır. Bu modül 1970 yılından beri acı su ve deniz suyu arıtımında başarı ile kullanılmaktadır. Bu modülün permasep tipi ilk olarak DU PONT DE NEMOURUS tarafından piyasaya sunulmuştur. Bu kompakt modül, bir gövdeden, elyaf demetinden, paylaştırıcı borulardan, bunları bir arada tutan birleştirici elemandan ayrıca konsentrat ve permeat çıkışlarından oluşmaktadır (Dengler 1980).

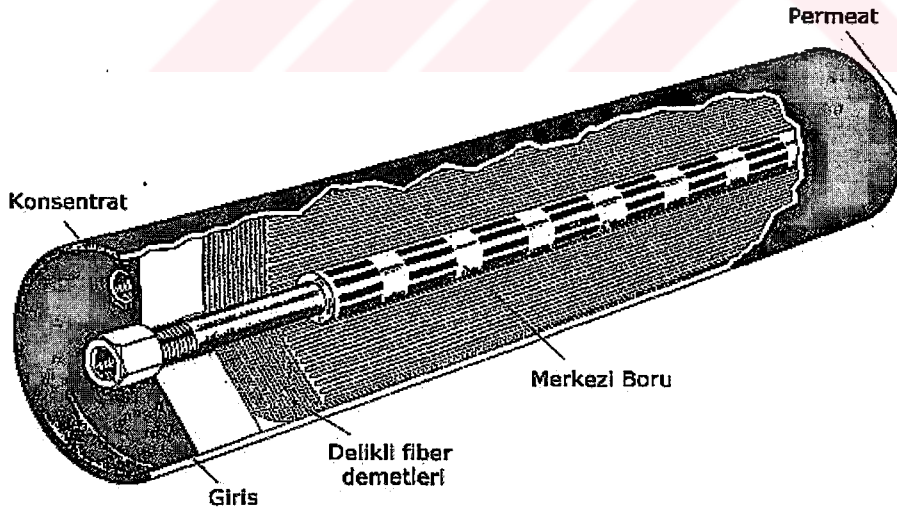
Hazırlanacak çözelti merkezi paylaştırıcı sistemden dışarı, elyaf demetinden geçerek akar. Gövde ile doku arasındaki sıvı konsentrat toplama kısmına yönlendirilir ve konsentrat besleme başlığındaki çıkıştan dışarı atılır.

Boş elyaf demeti çapı 85 mikronluk ve kılcalı 42 mikronluk elyaflardan oluşmaktadır. İlk olarak elyaf dış taraftan işlenecek olan sıvı ile çevrilir. Hemen

ardından permeat elyaf duvarından geçip iç kılcallara ulaşır. Daha sonrada bütün kılcallardaki permeat modülün permeat tarafında toplanır. Permeatın toplandığı bu bölüm epoksit reçine plakasının arkasındaki süngerimsi permeat toplama tabakasıdır. Bu modülde merkezi permeat çıkışı modülün baş kısmında bulunmaktadır



Şekil 9.34 : Poliamit boş elyaf membranlı kompakt modül (DU PONT).



Şekil 9.35 : Seliloz asetat membranlı boş elyaf modülü.

Poliamitten oluşan boş elyaflar mükemmel bir kimyasal dayanıklılığa sahiptir. Ph değeri 4-11 arasındadır ve 0 ila 35 derece arasındaki kimyasal etkilerden etkilenmeyecek biçimde imal edilmişlerdir. Bu modüllerin permeat verimi uzun sürede çok az değişir.

Bu modüllerle tuzdan arındırmanın yanı sıra anorganik bileşimlerin konsantrasyonunda yapılabilir. Örneğin nikel, çinko, bakır ve organik maddelerin geri kazanımını sağlayabilir (Moleküler ağırlığın 500'e kadar olduğu durumlarda). Bu modül sistemi yüksek alkalik bölümdede Ph değeri 11'e olan durumlara kadar avantajlıdır.

Permesap boş elyaf modülünün avantajları :

- Büyük sızdırmazlık kalınlığı ve modül başına büyük membran yüzeyi.
- Uygun permeat ve konsentrat oranı (Dengler 1980).

Çizelge 9.7 modüllerin birbiri ile karşılaştırılmasını vermektedir. Permeat ve ürün verimleri tuzluluk oranına bağlı olarak deniz suyunun işletilmesinde % 20-50, acı su hazırlığında ise % 75 oranındadır. Deniz suyundan tatlı su elde edilirken permeatın tuzluluk oranı işlenmemiş suyun tuzluluk oranının % 1.5'ine eşittir. Yüksek tuzlu acı suyun tuzundan arındırılmasında permeatın tuz oranı 200 – 400 mg/ lt dir ama bu oran bazı durumlarda 10000 – 20000 mg/lt sınırına ulaşabilmektedir (Marquardt und Ludwig 1977)

Çizelge 9.7 : Çeşitli modül sistemlerinin karşılaştırılması.

Modül Sistemleri	Membran Materyalleri	Permeat/Konsentrat	Birim başına max değer %
Boş elyaf	Poliamid	1:1,0 dan 1:0,6 ya kadar	50-65
Rulo modül	CA yada C kompozitmembran	1:3 den 1:6 ya kadar	15-25
Boru modül	Selulozasetat	1:25 den 1:40 a kadar	2,5-5

9.4 İyon Değişimi Yöntemi

9.4.1 Giriş

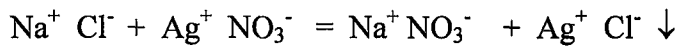
İyon değiştiriciler, değişim süresince çözeltilerden iyonları alıp aynı miktarda başka iyonları çözeltilere veren sistem parçalarıdır. Bu değişim sadece aynı yüklü iyonlar arasında gerçekleşebilir. Bu sebeple katyon değiştiricileri sadece katyon, anyon değiştiricileri ise sadece anyon değiştirebilirler. Bu yöntem arıtılacak olan sıvının iyon değiştiricileri üzerinden geçirilmesi suretiyle kısa bir zamanda gerçekleştirilir.

İyon değiştirici sistemlerin belirli bir işletim süreleri vardır. Bu süre aşıldığı andan itibaren, sistemden terar yeterli verimi alabilmek için sistemdeki değişimi gerçekleştiren parçaların yenilenmesi gerekmektedir.

İyon değiştiricileri ve değişim olgusu prensipte modern teknolojinin bir buluşu değil, aksine doğada kendisini gösteren bir döngüdür. Bir çözeltinin iyonları ile katı çözünmez maddeler arasındaki iyon değişimi, kaynağını yer bilimsel araştırmalardan almaktadır. Bitkilerin özümleme yapma özellikleri ile topraktaki tuzun oluşumu iyon değişimi olayına iki örnek olarak gösterilebilir (Kühne 1973).

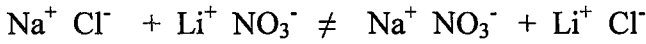
9.4.2 İyon değişim olayının tanımı

İyon değişimi işlenecek suyun değiştirici reçine ile dolu bir sütundan geçmesi olayıdır. Bir sulu çözeltideki klorid iyonlarının açığa çıkarılması gümüş nitrat çözeltisi ile ayarlama ile yapılır ve bu durum iyon değişim reaksiyonunun en basit şeklini gösterir.

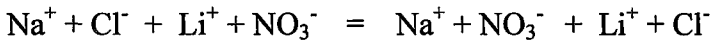
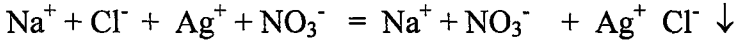


Katyonlar (Natriyum ve Gümüş iyonları) ürün çözeltisinde partnerleri olan klorid ve nitrat iyonlarını yani anyonları birbiri ile değiştirir.

Eğer natrium ve lityumnitrat çözeltileri birbiri ile karıştırılırsa böyle bir reaksiyon görülmez.



Karışımında her dört iyonunda serbest kalmıştır ve özel bir çift oluşturma eylemi göstermez. Yukarıda anlatılan iki reaksiyon daha kapsamlı formüle edilirse şu olaylar açıkça görülür.

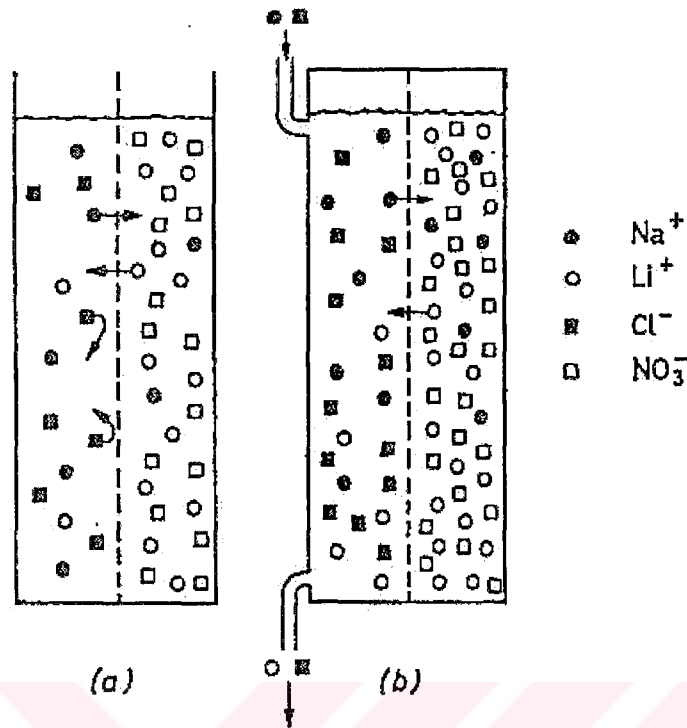


Bu sebeple bütün iyonlar eşit olarak çözeltide dağılmıştır. Çözelti partnerlerinin değişiminden söz edebilmek için onları mekanik yolla ayırmak gereklidir. Nötralizasyonu korumak için katyon ve anyon sayıları iki fazdada aynı olmalıdır. Bu ayırma işlemi pratikte iki faza ayrılarak yapılır. İyon değişiminin gerçekleşmesi için dört şart vardır.

- İki faz,
- Dört iyon çeşidi (İki pozitif, iki negatif),
- Bir iyon çeşidinin fazlar arası engellenmeden geçişi,
- Zıt yüklü iyon çeşitlerinin fazlar arası geçmeme şartı.

Bir değişim sisteminin kurulması için aşağıdaki faz kombinasyonlarına ihtiyaç duyulur.

- Katı – sıvı ,
- Birbiri ile karışmayan iki sıvı,
- Birbiri ile karışabilen iki sıvı yada aynı sıvının iki bölümü – ki bunlar bir membranla ayrılmış olmalı ve yalnız bir iyon çeşidi geçiş yapabilmelidir.



Şekil 9.36 a – b : Katyon geçirmez membran boyunca iyon değişimi a) Statik b) Sol taraf yukarıdan aşağıya doğru akarken sağ statik.

İki katı (Karışım kristalleri) ve – veya bir katı bir gaz (Bir elektronik ışık demeti) maddeden oluşan sistemler teoride sözkonusu olmasına rağmen pratikte yoktur. Pratikte endüstriyel metotların büyük bir kısmı katı sıvı sistemlerdir. Buna rağmen iki sulu çözüldüden oluşan yarı geçirgen bir membran ile sistemlerin genel yapısı ve işleyişine değinilecektir.

Şekil 9.36 a’da biri natrium klorid diğeri lityum nitrat içeren iki çözelti sadece katyon geçirgenliğine sahip (Na^+ ve Li^+) bir membran ile ayrılmıştır. Natriyum ve lityum iyonlarının farklı konsantrasyonları bu iki katyonun membrandan yavaş geçmesine sebep olur. Azalan konsantrasyon farkı ile beraber değişim hareketi yavaşlar. Bu yavaşlama membranın her iki tarafındaki katyonlar aynı konsantrasyona ulaşınca kadar, yani diğeri bir değişle denge sağlanıncaya kadar devam eder. Eğer denge sağlanmışsa membranı geçen lityum iyonlarının sayısı diğeri taraftaki natriyum

iyonlarının sayısına eşit olur. Bu durumda nötralizasyonun sağlanmış olduğunun kanıtıdır.

Lityum iyonlarının başlangıç konsantrasyonu membranın diğer tarafındaki natriyum klorid iyonlarından yüksekse, dengenin kurulması ile birlikte her iki tarafta farklı natriyum iyon konsantrasyonları görülür. Denge kütlelesel etkileşim kanunu ile sağlanmaktadır.

Değişim sabiti ;

$$\frac{(Na^+)_{R} (NO_3^-)_{R} (Li^+)_{L} (Cl^-)_{L}}{(Na^+)_{L} (Cl^-)_{L} (Li^+)_{R} (NO_3^-)_{R}} = \frac{(Na^+)_{R} (Li^+)_{L}}{(Na^+)_{L} (Li^+)_{R}}$$

$(Na^+)_{R}$ Natriyum konsantrasyonunun formülün sağ tarafındaki değerini gösterir. Bu formülden ortaya çıkan sonuç şudur ki ; iki çözelti arasındaki konsantrasyon oranı ne kadar büyükse, natriyum iyonları sol taraftaki lityum iyonlarına okadar denktir. Natriyum iyonlarının tek bir tarafta tamamen yok edilmesi mümkün değildir. Şekil 9.36b inceltmiş natriyum klorid çözeltisinin konsantre lityum nitrat çözeltisindeki akışını gösterir. Sıvı yukarıdan aşağıya doğru akarken devamlı olarak taze lityum nitrat çözeltisi ile ilişki halinde olduğundan denge denklemindeki $(Na^+)_{R}$ sıfır olarak kalır. Bu sebeple dengeyi sağlamak için natriyum iyonları membranı geçmeye devam eder.

Taze natriyum klorid çözeltisi aktıkça kolonun baş kısmında natriyum iyonları sıfırlanır. Denge sağlanması için lityum iyonları sola, aynı miktardaki natriyum iyonları da sağ tarafa geçer. $(Na^+)_{R}$, $(Na^+)_{L}$,den büyük olmasına rağmen natriyum iyonları membrandan devamlı yeni eklenen iyonların etkisiyle geçmeye devam eder. Böylece lityum iyonları tamamen değiştirilir ve saf natriyum nitrat çözeltisi kalır. Bu olayın anlaşılabilmesi için üç faktör bilinmek zorundadır. Bunlardan birincisi membranın iki tarafındaki değişimin aynı anda olamayacağı, diğeri sol tarafta natriyum iyonlarının azalmasının sadece olayın başlangıcında meydana geldiği ve son olarakta sağ taraftaki lityum iyonlarının sadece olayın sonunda ortaya çıktığı durumlardır. (Arden 1973).

9.4.2.1 İyon Değişiminin Tanımı

Bu yöntemin uygulanmaya geçtiği ilk zamanlarda iyon değiştiricisi olarak silikat doğal ürünleri kullanılmıştır. Daha sonra sentetik organik değiştiricilere ve hemen ardından organik maddelere geçilmiştir. Sentetik maddelerin kullanılmasıyla beraber iyon değiştirici sistemlerinde gözle görülür büyük teknolojik gelişmeler yaşanmıştır. Bugün kullanılan iyon değiştiricilerinin ana maddesi polistirel ve poliakrilik yani polimerizasyon maddeleridir. Termoplastik sentetik maddelerin aksine polimerizasyon reçineleri daha kompakt ve dayanıklı bir yapı özelliği göstermektedir. Böylelikle yüksek sıcaklıklarda şekil bozukluğu durumu yaşanmaz. Ayrıca termoplastik sentetik maddelerin ihtiyaç duyduğu yumuşatıcılar ve diğer teknik parçalara ihtiyaç duyulmaz (Kühne 1973).

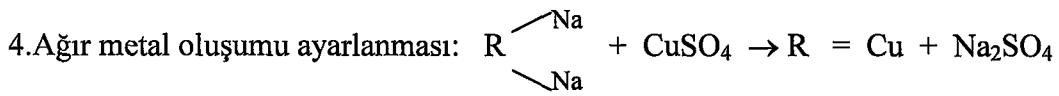
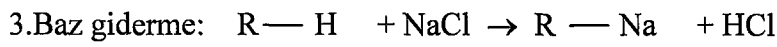
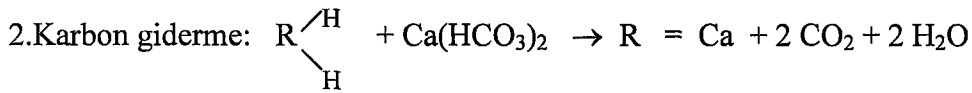
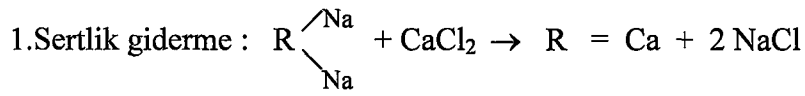
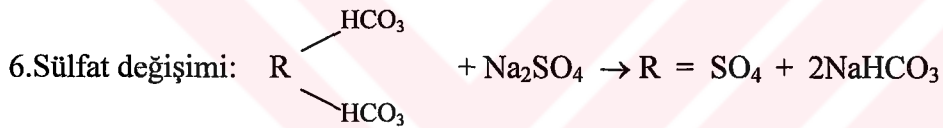
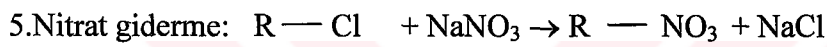
9.4.2.2 İyon Değiştiricilerinin Kullanımı

Bu yöntem içme suyunun elde edilmesinde bir çok ülkede yaygın olarak kullanılmaktadır. Onlarca senedir Belçika, İngiltere, İsveç ve Amerika Bileşik Devletleri bu yöntemin uygulayıcılığını yapmaktadır. İçme suyu eldesinin dışında çok çeşitli sanayi alanlarında, örneğin; gıda endüstrisinde, bira ve diğer içecek maddelerinin üretiminde de bu yöntem kullanılmaktadır. Günümüzdeki iyon değiştiricileri sayesinde, sertlik , karbonat sertliği, tuz miktarı, nitrat, sülfat, organik madde, ağır metal oranları çok büyük bir kolaylıkla ayarlanabilmektedir.

Saf ve yumuşak etkili katyon ve anyon değiştiricilerinin ve çeşitli rejenerasyon maddelerinin kullanımı su da bulunan içerik maddelerinin spesifik olarak değişimine izin vermektedir.

Çizelge 9.8 da hazırlama metotları gösterilmiştir. 'R' sembolü gösterilen basitleştirilmiş reaksiyon denklemleri aktif grupları ile anyon ve katyon değiştiricilerde absorpsiyon reaksiyonlarındaki yükleme durumlarını gösterir.

Aktif kömürün aksine absorpsiyon reçinesi ile kimyasal maddeli rejenerasyon mümkündür. İyon değişim metotlarında radyoaktif maddelerde ortadan kaldırılır.

Katyon Değişimi :**Anyon Değişimi:**

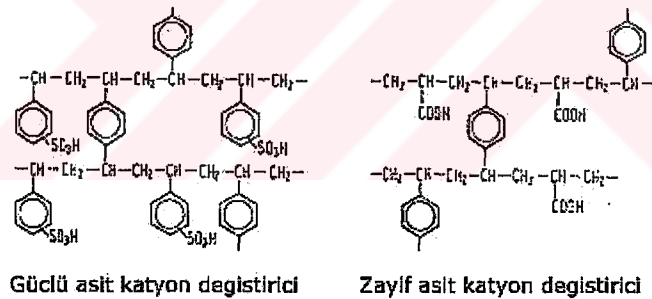
- 6 nolu reaksiyon için natriumbikarbonat NaHCO_3
- 7 nolu reaksiyon için NaOH
- 9 nolu reaksiyon için ise NaCl ve NaOH karışımı gereklidir (Kühne 1973).

Bazı durumlarda havalandırılmalı elusyon gereklidir. Asitler ve kostik soda 4,8,10 nolu reaksiyonlar için gereklidir.

9.4.2.3 İyon değişim reçinesinin özellikleri

Modern bir iyon değiştirici iyon aktif gruplarının bağlanabileceği çözünmez ve suyla elastik hale gelen yapay bir reçine özelliği gösterir. Böylelikle katı bir elektrolitin özelliklerindeki taşır. İyon değiştiricilerin çözünmezliğini sağlayan ve küçük kürelerden oluşan reçinenin tane büyüklüğü 0.3 ila 1.5 mm arasındadır. Şekil 9.37 polielektrolitlerin kimyasal yapısını göstermektedir.

Atık su tekniğinde kullanılan iyon değiştiricilerinin en önemli özelliği makromesamatlı olmasıdır. Reaksiyon karışımına hidrokarbon yada yüksek dereceden alkol eklendiğinde makromesamatlılık ortaya çıkar ve bu durum buharlaştırma işlemi ile yok edilebilir.



Şekil 9.37 : İyon değiştiricilerinin kimyasal yapısı (polimerizasyon reçinesi).

Anyon değiştiricilerinin yapısı asitik katyon değiştiricilerine benzer. Sülfü gruplarının yerine terteriyer amino grupları bazik anyon değiştiricilerinde kuarteriyer amonyum grupları ise güçlü bazik anyon değiştiricilerinde kullanılır. Reçinenin kimyasal fonksiyonlarının dışında üç önemli özelliği daha vardır. Bunlar makromesamatlılık, çapraz örme ve katı iyon konsantrasyonulu olmasıdır.

İyon değiştiricilerinin çapraz örme derecesi, değiştiricilerin imali sırasında ayarlanabilmektedir. Eklenen divinil benzol (DVB) oranına göre çapraz örme derecesi % 6 ila % 20 arasında oluşur. Az apraz örme derecesinde reçine kuvvetle erir ve u durumda çok sayıda polar gruba sahipse erimeye olan yatkınlığı artar. Çok yüksek çapraz örgü durumlarında ise reçinenin elastikiyetliği azalır ve gevşekleşir. Elastikiyet yani bir diğer adı ile su alabilme kapasitesi çok önemli ve bir reçine için en temel olgudur. Bir iyon değişiminde, iyonun reçinenin aktif bölümlerine ulaşabilmesi için işlenen çözeltinin reçineye difüze olması ve değişen iyonun aynı Şekilde dışarı çıkabilmesi gereklidir. Bir kimyasal reaksiyonun gerçekleşebilmesi için değişim geçirecek olan iyonun znm olması gerekmektedir. Fiziksel olarak jleye çok benzeyen reçine, suyun geçmesine, difüzyona ve ayırışmaya olanak sağlayan bir yapıda olmalıdır.

Elastik durumda değiştirici reçine katı bir elektrolitirve faz sınırları yarı geçirgen bir membran olarak kabul edilebilir. Katı iyonların konsantrasyonu oldukça büyük olduğundan eğer dış çözelti daha az konsantre ise seyreltme durumunda ozmotik bir eğim görülür. Bu eğim katı iyon konsantrasyonu ne kadar büyük, dış çözelti konsantrasyonu ne kadar küçükse okadar büyük olur. Reinede oluşan ozmotik basınc Őiřmeye ve reçinenin genişlemesine sebebiyet verir. Bu genişleme çapraz örgünün gerilim kuvveti ile sınırlıdır. Çapraz rg derecesi ne kadar yüksekse genişleme sınırı okadar küçüktür. Bu denge durumundaki Őiřlik basıncı reçinenin hacmini belirler ve Őunlara bağlıdır ;

- Reçinenin apraz örgü derecesine,
- Reçinenin kapasitesine (Sert ve karşı iyonların konsantrasyonları),
- Karşı iyonların değerine (Reçinenin aynı kapasitedeki değeri ne kadar yüksekse Şişme basıncı okadar azdır),
- Hidrolize edilmiş karşı iyonların hacmine,
- Asosizasyona (zlmemiş grupların oluşumu ile tane sayısı azalır ve Őiřlik gider),
- Çözelti konsantrasyonuna (zelti konsantrasyonunun artışı ile reçinedeki ozmotik basınc ve Őiřlik geriler).

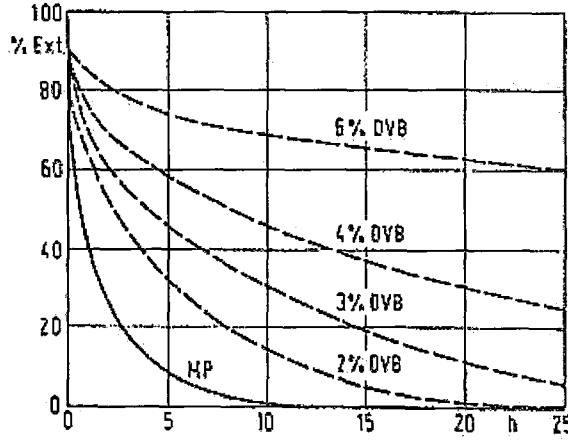
İyon değişim reçinesinin ozmotik ve kimyasal özellikleri doğru tipin seçiminde çok önemlidir. Buna özellikle rejenerasyon yöntemlerinde ve değiştirici kolon konstrüksiyonlarında dikkat edilir. Şişmiş reçinenin su miktarı % 40 ile % 90 arasındadır. Yükleme sırasında, rejenerasyonda ve yıkamada görülen hacim artışı Duolit A 102 D(Güçlü bazik anyon değiştirici) ve Duolit C 20 de (Güçlü asidik katyon değiştirici) % 45 ila % 50 arasındadır.

Değiştirici reçinenin bir diğer önemli fiziksel özelliğide makro mesamatlı olşudur. Makro mesamatlık çapraz örgünün örgü genişliği ile belirlenir. Bu da 10 – 30 A büyüklüğündedir. Jöle tipli reçinenin içinden gerçekleşen akış makro mesamat süresince sürer. Mortinola ve Richterde bu büyüklük 300 – 500 A dır.

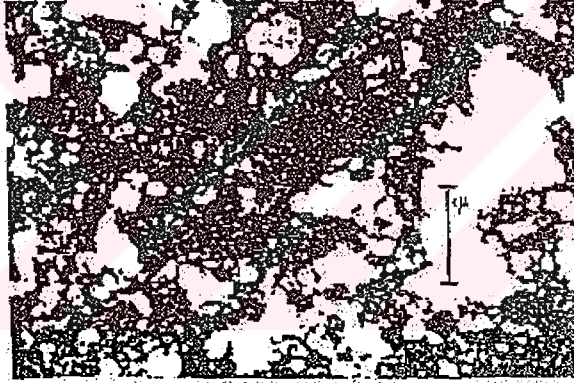
Makro mesamat ile reçine şu avantajlara sahip olmaktadır.

- İyonların difüzyon şartları daha iyidir,
- Değişim küreciklerinin içinde iyonlar aktif gruplara daha çabuk ulaşır yani değişim hızı artar.
- Gözenek çapları büyük olduğundan, daha büyük iyonların girişine olanak sağlar (rejenerasyonda bunların tekrar dışarı verilmesi önemlidir.),
- Geri dönüştürülebilir absorbsiyon olayları mümkündür % 25 ile % 50 arasındaki süngerimsi yapı sayesinde değiştirici 50metre kare/gr ve daha büyük yüzeylere ulaşır, böylelikle yüksek molekülü organik ve iyonojen olmayan bileşiklere karşı aktif kömür gibi davranır. Aktif kömüre göre avantajı absorbe edilen maddelerin büyük bir kısmının rejenerasyonda tekrar koyuverilmesidir.

Şekil 9.38 makro süngerimsi reçinenin, jöle reçine ile karşılaştırıldığında, güçlü baz ve anyon değiştiricileri için daha iyi absorbsiyon özelliklerine sahip olduğunu göstermektedir. Şekil 9.39 de ise makro süngerimsi reçinenin yüzey yapısının elektron mikroskobu altında çekilmiş görüntüsü verilmiştir. Jöle reçinede aynı büyütme oranında sadece homojen bir topluluk farkedilir. Absorbsiyon özellikleri büyüyen çapraz örgü ile geriler.



Şekil 9.38 : Renkli maddelerin absorpsiyonu. Güçlü bazik anyon değiştiricisinde, makro süngerimsi yapıda ve farklı çapraz örgü derecelerinde .



Şekil 9.39 : Reçinenin elektro mikroskopta alınan 100000 kez büyütölmüş görüntüsü

Makro mesamat sayesinde mekanik dayanıklılık artar, osmotik ve termik yüklere karşıda direnç büyür. Küresel değiştirici partiköllerin tane büyüklüğü 0.3 ile 1.5 mm arasındadır. Küresel biçim eşit ölçülerde paketlemeye ve daha az mekanik kayıplara sebebiyet verir. Çeşitli difüzyon hatları hıza etki etmekle beraber değişim bölgesinin büyüklüğü ve kullanım kapasiteleride bu durumdan etkilenir. İyon değiştiricileri vasıtası ile ayırma işlemi yapılırken mümkün olduğunca küçük ve aynı büyüklükte tane boyutu gerekmektedir. Yalnız, atık suların arıtılmasında bu durum

kritik bir özellik taşımaz. Aşırı küçük taneler, aşırı büyük basınç kayıplarına yol açmaktadırlar. Buna rağmen tanelerin aşırı büyük olması bir dezavantajdır. Günümüzde kullanılan üretim metotları sayesinde bu tip dezavantajlar kolaylıkla engellenebilmektedir.

Reçinenin ısıya dayanıklılığı temizleme suyu dolaşımında beklenenin üzerindedir. Katı iyon konsantrasyonu değiştiricinin ozmotik davranışı açısından önemlidir. Konsantrasyon ne kadar büyükse reçinenin ozmotik incelme eğilimi ve aynı çapraz örgüde şişme basıncı o kadar büyüktür.

9.4.2.4 İyon Değiştiricilerin Çeşitleri

Katyon ve anyon değiştirici ayırımının yanı sıra, katyon değiştiriciler aralarında güçlü asidik ve zayıf asidik, anyon değiştiriciler ise güçlü bazik ve zayıf bazik olarak ayrılmaktadır. Bu demektir ki güçlü asidik bir katyon değiştirici, reaksiyonlarda güçlü bir asit yada onun tuzları, zayıf asidik katyon değiştirici ise zayıf asit yada onun tuzları gibi davranır. Anyon değiştiricileri içinde benzer durumlar söz konusudur. Aşağıdaki dört başlıkta iyon değiştiricileri detaylı olarak anlatılmaktadır (Hartinger 1976).

9.4.3.4.1 Güçlü Asidik Katyon Değiştiriciler

Bu tip değiştiriciler makro süngerimsi olup çekirdeğinde sülfü gruplar barındırırlar. Örgü tip polistirenden oluşmaktadırlar. Büyüklükleri 0.3 – 1.2 mm arasındadır. Çapraz örgü sayesinde oksidasyon maddelerine dayanıklıdır. Taneler arasındaki hacim farkları azdır ve güçlü yapıdadırlar. Tanelerin güçlü olması reçine küreciklerinin sağlamlığına işaret etmektedir. Bu durumda kırılma ve aşınmalara dayanıklılık sağlamaktadır. Mekanik ve kimyasal etkilerle reçine kaybı çok farklı bir durumdur. Senelik rejenerasyona yada titreşime bağlıdır. Reçine üzerinde senelik % 1-5 lik bir kayıp mutlaka göz önüne alınmalıdır.

Güçlü asidik katyon değiştiricileri genelde en problemsiz ve en dirençli reçinelerdir. Ph dereceleri 1 – 14 arasındadır. Reçinelerin titreşim dereceleri 5 -40 m³/m³.h dolaylarındadır. Özel reçinelerde bu 100 m³/m³.h değerine kadar çıkabilmektedir. Diğer ortalama değerler:

Bütün Kapasite : 1.4 –1.9 val / lt nemli reçine

Kullanılan kapasite : 0.8 – 1.5 val / lt nemli reçine

H- formundan tuzlu forma geçilirken hacim kaybı : % 4 – 9

Isı dayanıklılığı : 120° ye kadar

Val/ lt bir litre reçinenin kapasitesini verir (Bir maddenin gr başına iyon alımı). Güçlü asidik katyon değiştiricilerin en çok kullanıldığı yerler temizleme suyu dolaşımının söz konusu olduğu yerlerdir. Ayrıca demir, krom ve aliminyum yok etmekte kullanılır (Hartinger 1976).

9.4.2.4.2 Zayıf Asidik Katyon Değiştiricileri

Bunlar örülmüş polyakrilatlar olup karboksil grupları değişim fonksiyonunu üstlenir. Tane büyüklüğü 0.3 – 1.5 mm büyüklüğünde olup süngerimsi yapıdadırlar. Bunlar güçsüz asitik çözeltilerden katyonları absorbe ederler. Bu tip değiştiriciler aynızamanda güçlü asidik ve düşük konsantrasyonlarda da absorbe ettikleri katyonları geri verme özelliğine sahiptirler.

Ph değerlerinin 4 – 14 olduğu alanlarda çalışırlar. Reçineler oksidasyona dayanıklı olmakla beraber tane yapısı itibarı ile güçlü ve değişim hızı iyidir. Öyle ki 40 m³/ m³.h titreşim değerine kadar ulaşılabilmektedir. Reçine kapasitesi kullanım biçimine ve çözeltilinin Ph değerine bağlıdır.

Diğer ortalama değerler :

Bütün kapasite : 3.5 – 4.5 vol / lt nemli reçine

Kullanılan kapasite : 1 – 3 vol /lt nemli reçine

H formundan, Na formuna geçilirken hacim artışı şu sıralar önemlidir ve % 60 ın üstüne çıkar.

Isı dayanıklılığı : 100° ye kadar.

Zayıf asidik katyon değiştiriciler çok yönlü kullanılan reçinelerdir. Mesela son değiştirici, tampon değiştirici, tensit yakalayıcıda yada renkli metallerin geri kazanımında kullanılır

9.4.2.4.3 Zayıf Bazik Anyon Değiştirici

Bunlar tertiyer amino gruplu örölmüş polistrol reçinelerdir. Büyöklükleri 0.3 – 1.5 mm olup süngerimsi yapıdadırlar. Oksidasyona dayanıklıdır. Bu yüzdende okside eden anyonların güçlü bazik reçinelerde absorbe edilmesinde atık su işleminde kullanılırlar.

Bu değiştiriciler zayıf bazlar olarak güçlü asitlerin anyonlarını absorbe edip rejenerasyon suyuna bu anyonları geri verirler. Endüstri atıklarının işlenmesinde, oldukça büyük kapasiteleri ve yüksek oksidasyon dayanıklılıklarına sahip oldukları için en uygun anyon değiştiricilerindendir. Kromat ve özel metallerin geri kazanımında kullanılırlar.

Önemli ortalama değerleri :

Tüm kapasite : 1.5 – 2 val / lt

Kullanılan kapasite : 1 – 1.5 val / lt

OH formundan tuz formuna geğerkenki hacim artışı % 20 – 30 dur

Isı dayanıklılığı : 100° ye kadar.

Zayıf bazik anyon değiştiriciler makromesamat sayesinde bir taraftan anyon aktif tensitleri diğer taraftan iyonojen olmayanları absorbe ederek birleştirir ve rejenerasyonda bunları tamamı ile olmasada geri verir.

Ortalama bazik anyon değiştiricilerde vardır. Bunlar zayıf bazik reçineler olup % 10 – 20 oranında güçlü baz gruplarına sahiptirler. Bunların çözölməsi değişim hızını arttırır. Zayıf asitlerin anyonlarını absorbe edip bunları yükleme sırasında rahatça geri verir. Maksimum titreşim 40 m³/m³.h, özel durumlarda kalitelerde ise 60 m³/m³.h dir.

9.4.2.4.4 Güçlü Bazik Anyon Değiştiriciler

Bu değiştiricilerse örölmüş süngerimsi polistrol reçinelerdir. Ama kuarter amonyum gruplarına sahiptir.

Bu güçlü bazik anyon değiştiricilerinin rejenerasyonları için büyük ölçüde küllü suya ihtiyaç duyulur. Bunun sebebi rejenerasyonların tekrar OH formuna geçebilmeleri içindir.

En önemli verileri şunlardır :

Tam kapasite : 1.2 val / lt nemli reçine

Kullanılan kapasite : 0.4 – 0.7 vol / lt nemli reçine

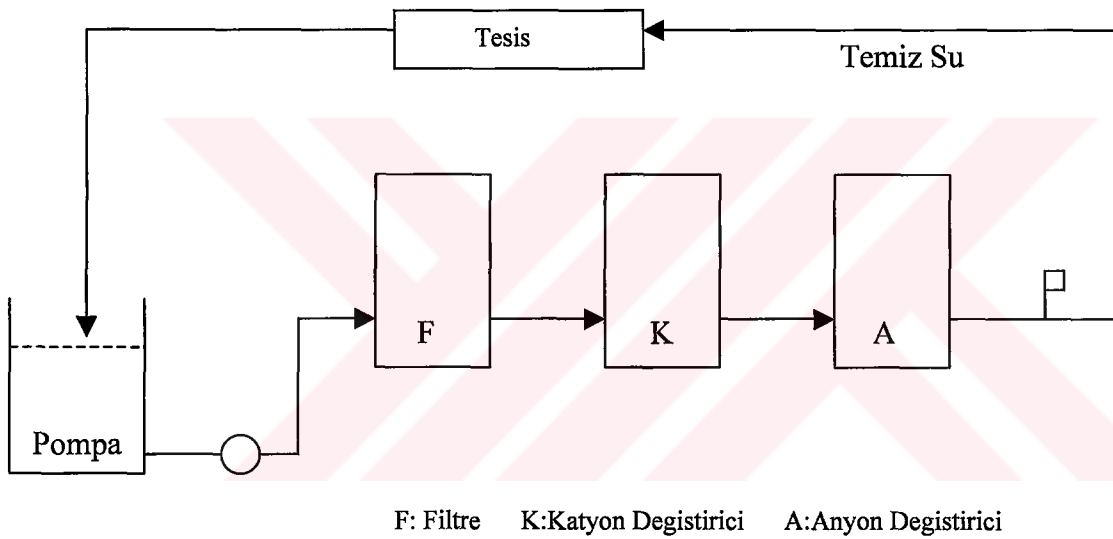
OH formundan tuz formuna geçerken hacim kaybı : % 10 – 15

OH formunda ısı dayanıklılığı tipine göre 30 – 70° C, tuz formunda ısı dayanıklılığı daha iyidir.

Normal şartlar altında güçlü bazik anyon değiştiricilerinin titreşimi max 40 m³/m³.h ya ulaşır. Özel reçinelerde bu değer 70 m³ / m³.h dir (Hartinger 1976).

9.4.3 İyon Değişim Teknikleri

Bir iyon değişim dolaşım tesisinin ana yapısı Şekil 9.40 deki gibidir.



Şekil 9.40 : İyon değiştirici üzerinden su dolaşımının Şematik gosterimi.

Dolaşıma sokulmak istenen su bir acı veya tuzlu su kabında toplanır. Bu kaba gürüldüğü taktirde bir yağ boşaltıcı bağlanabilir. Ama normal şartlar altında böyle bir sistem zaten böyle bir görevi görür. İşlenmemiş su değişim reçinesinin korunması için bir filtreye pompalanır ve burada mekanik kirlilikten temizlenir. Temizlenmiş su işlenmemiş suda bulunan ve su iyonları ile değiştirilen (Na)⁺ ve (NH₄)⁺ gibi kasyonları barındıran kasyon değiştirici tarafından çözülr. Daha sonra su bu değiştiriciyi bazdan arındırılmış olarak terk eder ve anyon değiştiriciye gezer. Bazdan arındırılmış su bütün

asitlerin güçlü sulandırılmış halidir – ki bunların anyonları işlenmemiş suda mevcuttur. Anyon değiştirici bu asitlerin bütün anyonlarını (Cl^- , SO_4^{2-}) hidroksil anyonları ile değiştirir. Tuzdan arındırılmış su anyon değiştiriciyi terk eder ve suyun kalitesi devamlı olarak kontrol edilir. Tesisin çıkışında iletkenlik yükselmişse yorgun iyon değiştirici rejenere edilmelidir. Bu zaman farkını kapamak için hep iki eşit değiştirici monte edilmelidir.

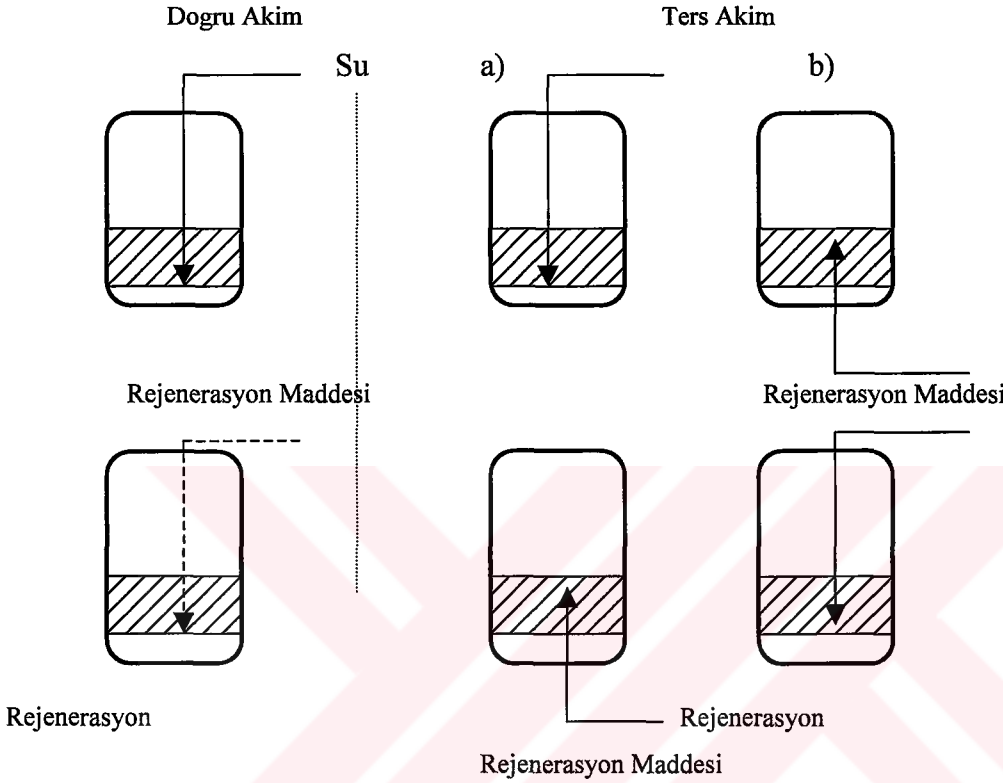
Anyon değiştiricinin rejenerasyonu sodyum hidroksit, katyon değiştiricinin rejenerasyonu ise asit ile yapılır. Rejeneratörler bütün yok edilen maddeleri ve rejenerasyon madde fazlasını içlerinde barındırır. Bunlar çok konsantre az hacimli atık suları oluştururlar ve bir atık su tesisine gönderilmelidirler. Aynı zamanda bir filtrenin temizleme suyunda atık su tesisine gönderilmesinde yarar vardır. Dolaşım ve kullanım suyunun rejenerasyon sırasındaki zahmetleri göz önüne alınarak tesislerdeki kullanılan suyun, çözelti suyuna bağlı olarak ve % 95 – 99 luk bir geri kazanımla çalışması sağlanır (Hartinger 1977).

İyon değiştiricilerin görevlerini iyi bir şekilde yerine getirebilmeleri için değiştiricilere uygun tesisler kurulmalıdır. En önemli faktörler ekonomik işletme ve güvenlidir. Önceleri değiştiricilerde eski teknoloji ve konstrüksiyonlar kullanıldığından ötürü (Örn: aktif kömür filtresi ve çakıl filtresindeki gibi) yüksek yatırım ve işletme maliyetinin yanı sıra büyük ölçüde rejenerasyon madde israfı vardı. Ama yeni teknik ve metotlarla bu sonuçlar iyileştirilmiştir (Kühne 1977).

9.4.3.1 Doğru Akım Yöntemi

İyon değiştirici tekniklerinin en önemli yöntemlerindedir. Gerek yüklemede gerekse rejenerasyonda çökeltme işlemini yukarıdan aşağıya doğrudur. Reçine yatağı aşağıda meme tabanı tarafından sınırlanır ve akım yönü bu yatağın yukarı kaçmasını önler. Dar anlamda bu taban sıkı bir tabandır ve hacmini çeşitli yükleme durumlarında genişleme ve sıkıştırma ile değiştirir. Şekil 9.41 da bir doğru akım filtresinin şeması gösterilmiştir. İşlenmemiş su yukarıdan aşağıya iyon değiştirici dolgusu tarafından götürülür ve aynı yolla rejenerasyon maddesine iletilir. Yükleme sırasında çalışma alanı filtrenin yukarisından aşağıya doğrudur. bu yöntemde en temel şart eşit derecede

akımın sürekliliğidir. Bu durum elektriksel iletkenliğin artması ile anyon değiştiriciye göre tespit edilmektedir. Normalde bu yöntem eskimiştir ve yüksek işletme maliyetlerine yol açar. Bunun yanında atık suyun aşırı tuzlu olmasına yol açar (Lewatit 1984).



Şekil 9.41 : Doğru akım prensibi ile ters akım prensibi.

9.4.3.2 Ters Akım Metodu

Şekil 9.41'in ikinci bölümünde eski bir ters akım rejenerasyonunun çalışma prensibi gösterilmektedir. Doğru akım yöntemindeki gibi akış yukarıdan aşağıya doğrudur. filtre dolgusu yüklendikten sonra rejenerasyon maddesi ters yönde aşağıdan yukarıya doğru iyon değiştiriciye iletilir.

Ters akım metodunun doğru akım metoduna göre iki önemli avantajı vardır.

- Aşınma noktasında kalan kapasite doğru akım yöntemindeki gibi kanala itilmez, bunun yerine reçine yatağına itilir.

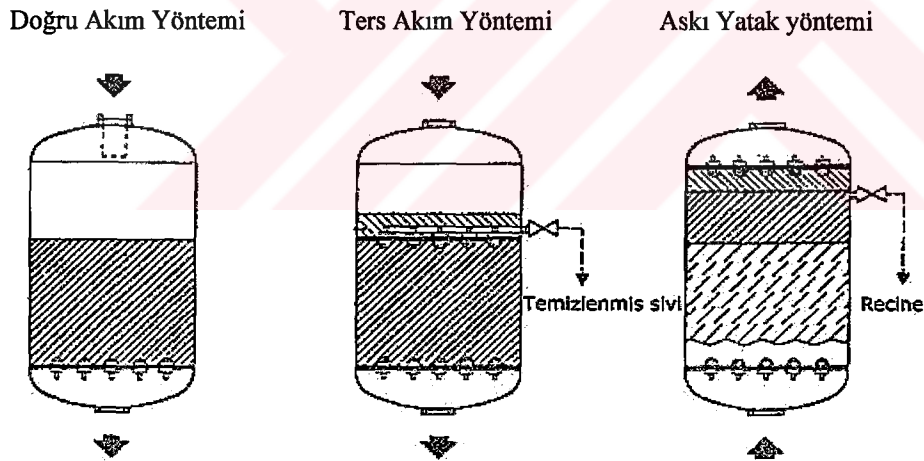
- Reçine yatağı bölgesi - ki bu bölgeye hazırlanacak su en son ulaşır, en yüksek rejenerasyon derecesine sahiptir.

Bu iki durumdan elde edilen sonuç daha az rejenerasyon madde ihtiyacı ve daha temiz su kalitesidir. Eğer doğru akım yöntemi ile hazırlanan suyu 'n'alırsak, ters akımdaki kalite 'n¹⁰' olarak kabul edilebilir. Şekil 9.42 de doğru akım – ters akım ve asma yatak metotları arasındaki teknik farklar gösterilmiştir.

Ceryan akıntı yüklemesi ve ceryan rejenerasyonu ters akım bölgesinin başında kullanılmıştır ve bu ters basınç yöntemi olarak adlandırılır. Bu prensipte kritik faz rejenerasyon olayıdır. spesifik olarak daha ağır olan rejenerasyon maddesi yukarıdan aşağıya doğru çözdürüldüğünde yüzer ve reçine dolgusunu kaldırma gücü ile döndürür. İşte bu ters akım yönteminin olumsuz tarafıdır. Reçine yatağı bu dönem boyunca şekil değiştirmemelidir.

Başlangıçta kullanılan iki yöntem çeşidi ;

- Ters basınç maddesi olarak su,
- Ters basınç maddesi olarak hava.



Yükleme	Yukarıdan	Yukarıdan	Aşağıdan
Geri Yıkama	Aşağıdan	Aşağıdan	Dışarıdan
Tem ve Yık.	Yukarıdan	Aşağıdan	Yukarıdan

Şekil 9.42 : İyon değiştirici kolonların çok çeşitli çöktürme durumları.

Şekil 9.42 de filtrenin yarı yüksekliğindeki (Dranaj) bir seviyesine bir su çekim borusu monte edilmiştir. Bu boru belli miktarda iyon değiştirici ve atıl materyali ile kaplıdır. Rejenerasyonda bu borucuğa akan ters basınç maddesi kaplama alanında basınç kaybına uğrar. Bu kayıp reçine yatağının eski formunu kaoruması için gerekli olan kaldırma kuvvetine eşittir.

Pratikte bu sistem dezavantajlı olarak kendini göstermiştir. Çünkü her değiştirici reçine solunup yaparak çeşitli ortamlarda hacmini değiştirmektedir. Yüklenmiş formun hacmi rejenere edilmiş olandan farklıdır. Bu durumdan ortaya çıkan dezavantajlar ; Rejenerasyon maddesi reçineyi büzüştürür, öyleki meme tabanında bir boşluk meydana gelir ve burada reçine yatağı döner.

Reçine su çekme sisteminin etkisi altında zamanla giderek preslenir. Bu durumda daha fazla basınç kaybına ve bunun yol açtığı kapasite kaybına sebebiyet verir. Reçineyi normal şartlarına döndürebilmek için en geç 20 kullanım döneminden sonra temizlemek gerekmektedir. Bunun akabinde ayrıca alışılmış su kapasitesine ulaşabilmek için çift rejenerasyon gereklidir.

Reçinenin solunumunda ortaya çıkan kuvvetlerin büyüklüğü, ancak bu yöntemin ilk kullanım aşamalarında, su çekme sistemlerinin oluşan kuvvetle nasıl deforme olduğu ile anlaşılabilir (Lewatit 1984).

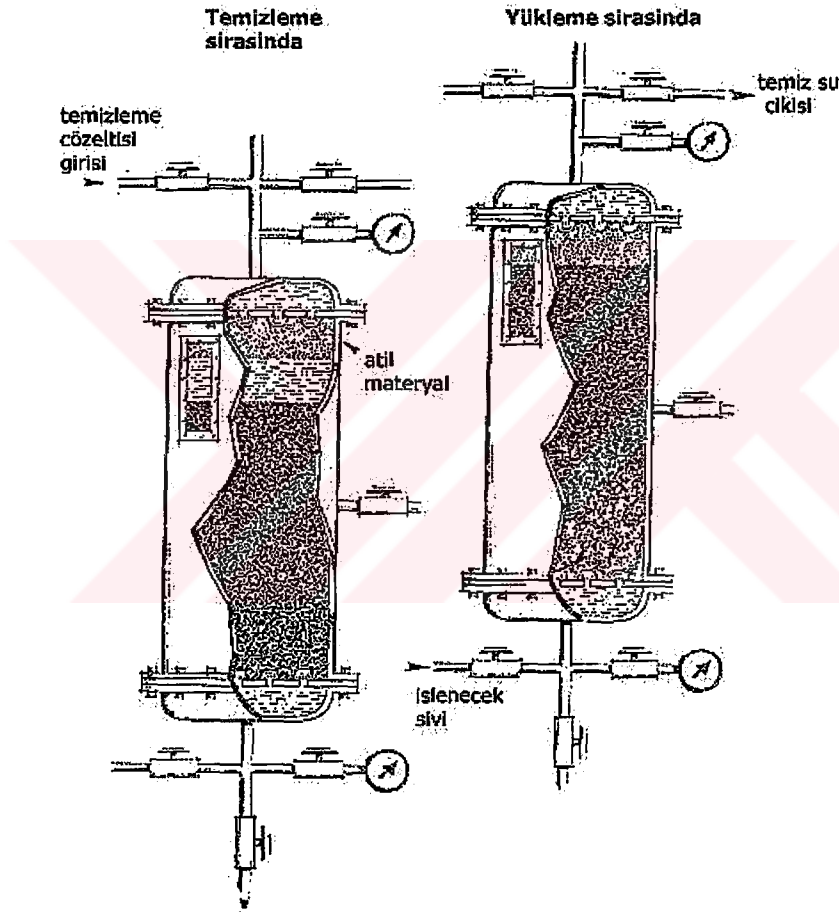
9.4.3.4. Aski Yatak Yöntemi

Şekil 9.43 bu yöntemde söz konusu olan ceryan yüklemeli ters akım metodunu göstermektedir. Bu yöntemde işlenmemiş su aşağıdan yukarı reçine yatağından geçirilir ve rejenerasyon maddesi yukarıdan aşağıya verilir.

Ters akım yönteminin ana prensibi değişim yatağının çalışma sürecinin tüm evrelerinde kompakt tutulmasıdır. Aski yatağı yönteminde dönme yatağı harekete geçirilir ve buna aynı iyon değiştiricilerden sabit yatak bağlanır burada bu sabit yatak ince temizleyici görevi görür ve girdaplı tabakanın kaymasını önler.

Silindirik filtre bu metotta yukarı ve aşağıda dağıtıcı sistemlerle donatılmıştır. Aktif reçinenin üzerinde bir atıl madde bulunur – ki bu madde üst meme tabanını küçük maddelerin tıkaşından korur.

Yükleme sırasında işlenmemiş su aşağıdan girer ve hızı kapağın altındaki sıkı taban tarafından belirlenir. Sıkı tabana katılmayan artık reçine sıvı içinde serbest hareket edebilir ve böylelikle sıvı akımının eş dağılımına yardım eder. Dönme yatağında alınan iyonların büyük bir kısmı değiştiriciye bağlanır ve bundan dolayı aşınır. Bunun üstündeki sıkı taban ise ince temizliğe yardım eder.



Şekil 9.43 : Askı yatak yöntemi.

Rejenerasyonda çözelti yukarıdan verilir. İyi ve ekonomik bir rejenerasyon için kompakt değiştirici bir yatak gereklidir. Yükleme sırasında ince temizlik için gerekli

olan reçine taze rejenerasyon madde fazlasını içerir ve girdaplı tabakanın üzerinde bulunur. Böylelikle bir sonraki evrede iyonların daha az kayması güven altına alınmış olur. Dağıtıcı sistem reçine yüzeyinin hemen üzerinde olduğundan rejenerasyon maddesi sütun boyunca en uygun biçimde dağılır. Rejenerasyon maddesi sisteme girdikten sonra bu çözelti iki yatak hacmi büyüklüğündeki yıkama suyu ile rejenerasyon hızı korunacak biçimde sıkıştırılır.

Yıkama suyunun düşük yoğunluğu rejenerasyon çözeltisinde keskin bir ayırıcı bölge oluşturur. Bu yüzden az yıkama suyuna ihtiyaç duyulur. 1 – 3 yatak hacimli yıkama suyu genelde yeterlidir.

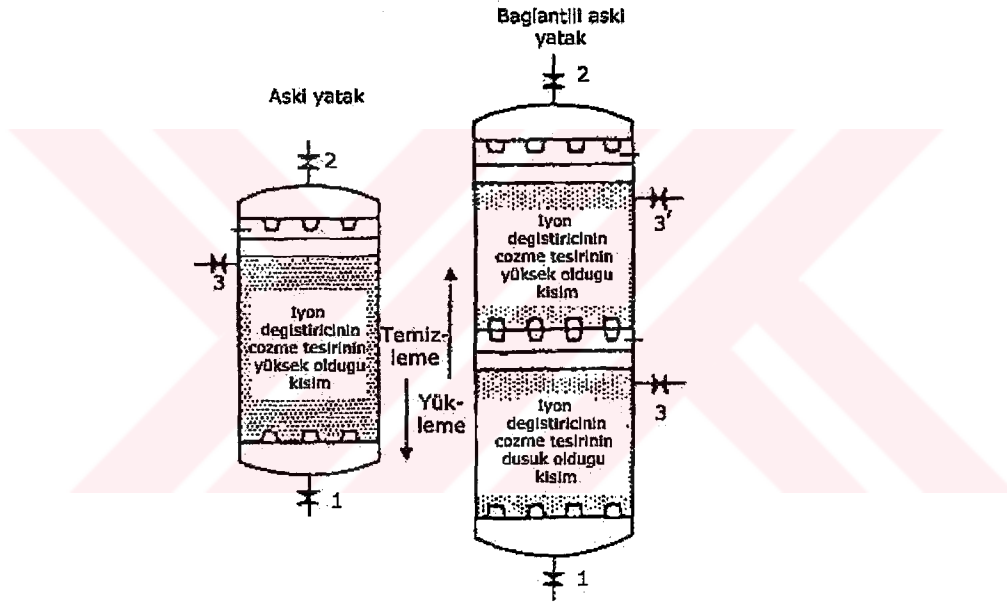
Ters akım yöntemindeki gibi rejenerasyon kimyasallarını inceltmek ve reçineyi yıkamak için su hazırlamak gereklidir. Bu hazırlanan su sütunun ince temizleyici bölümünü rahatsız edici iyonları temizlemek içindir. Reçineyi gevşetmek için gerekli olan geri sarma genelde gerçekleşmez. Yüklemeden sonra iyon değiştiricinin üst sınırdan alt meme tabanına indirilmesi bir sonraki rejenerasyon için en uygun paketleme kesafetini verir. Bu yüzden geri sarma uzun zaman aralıklarında gereklidir (Senede bir veya iki kere).

İyon değiştiricilerde ters akım işletmeleri için ana şart sık geri sayma işlemlerinden kaçınmaktır. Çünkü bu durum ince temizleyicilerde tabakalaşmaya yol açar. Geri sayma işlemi yapılırken mutlaka yükleme ortamları filtre edilmiş ve çökeltiler temizlenmiş olmalıdır.

Söylenildiği gibi asma yatak metodunda yükleme sırasında yer çekimine karşı çalışılmaktadır. Filtre dolaşımından sonra hem sıkı hemde girdap yatağı alt meme tabanına iner ve orada kalırlar. Eğer rejenerasyon sırasında yatak preslenirse bunu takip eden yüklemede yatak tekrar yukarı çıkarılır. Bu sebeple reçine aşınması bu sistemde doğru akım metoduna kıyasla düşüktür (Lewatit 1984). Bu yöntem incelendiği takdirde görülen avantajlar şunlardır ;

- Yapı itibari ile kompaktır ve filtre kabı en üst seviyede kullanılır.
- Reçine yatağında düzgün akışı önleyecek yapı bulunmaz.
- Rejenerasyon evresinde reçine tutulmak zorunda değildir.

- Rejenerasyondan önce reçinenin basamak basamak düşmesi otomatik olarak reçine yatağının gevşemesine yol açar. bu yüzden geri sarmaya ihtiyaç yoktur.
- Asma yatak reçine yatağının altında bulunduğundan kanal yapısı ve akış bozuklukları önlenir.
- Yıkama suyu ihtiyacı çok azdır. Çünkü spesifik olarak daha ağır olan rejenerasyon maddesi yukarıdan aşağıya doğru yıkar. Böylece rejenerasyon maddesi yıkama suyundan, fazla karışmadan çekilir.
- Üst atıl tabaka bütün rejenerasyon boyunca döner ve böylelikle rejenerasyon maddesinin homojen dağılımına yardım eder.



Şekil 9.44 : Askı yatak metodu.

Aşağıdaki önlem ve kurallar askı yatak metodunun iyi çalışabilmesi için dikkate alınmak zorundadır.

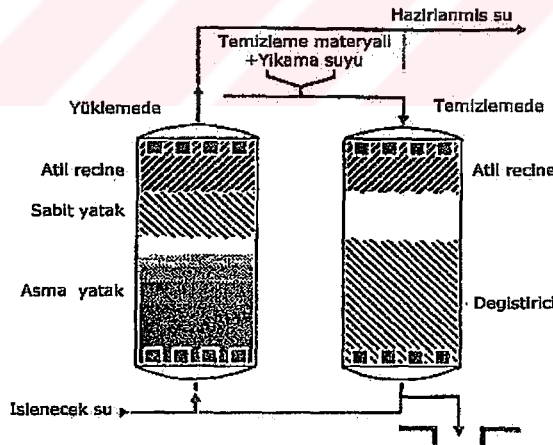
- Üst sıkı taban için çok az yayılma miktarı gereklidir – ki az yükte özel bir pompa aracılığı ile ulaşılabilsin.
- Katyon ve anyon reçinelerinin karışmaması için iki ek çalkalama kabı daha gereklidir.

- Ekonomik ve otomatik bir işletme için bu metodun çok iyi ön filtrelenmiş acı veya deniz suyuna ihtiyacı vardır. Aksi takdirde çok sık geri sarma işlemine ihtiyaç duyulur (Lewatit 1984).

9.4.3.4 Birleştirici Asma Yatak Yöntemi

Şekil 9.45'de sol tarafta basit sağ tarafta birleştirici olmak üzere iki adet asma yatak sistemi görülmektedir.

Doğru akım sistemlerinde kullanılan ve çok ekonomik olan birleştirici devre, asma yatak sistemlerindedir kullanılmaktadır. Zayıf ve güçlü olarak ayrılan basamaklar üst üste sıralanarak hem yer, armatür ve birleştirici hatlardan tasarruf edilir, hemde ekonomoik yönden kazanç elde edilir. Katyon ve anyon basamakları en basit durumda yüksek, silindir biçimli bir parçadan (Bu parçanın alt ve üst tabanında memeler bulunur) ve bu parçanın ortasındaki üçüncü bir meme boşluğundan oluşur. Daha önce kullanılan tabaka yatakların aksine burada iki reçine birbirinden tamamen ayrılır ve böylelikle kapasitelerinden maksimum kazanç elde edilir. Bu sistemde ayırma ve karıştırma problemleri bulunmaz. Bu düzen zayıf reçineli alt odacığın iç geri çalkalanımlı dizaynı



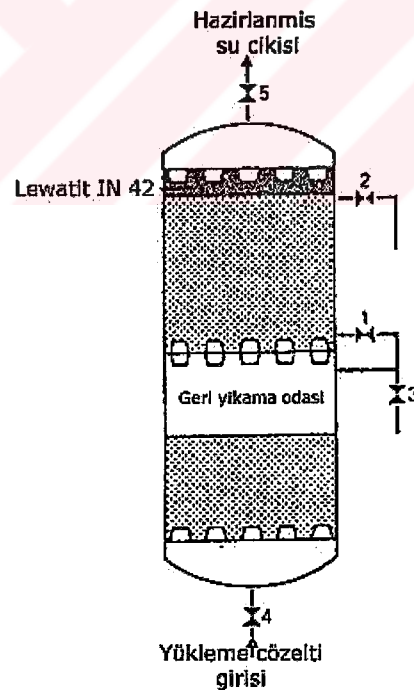
Şekil 9.45 : Birleştirici asma yatak yöntemi.

ile de oluşturulabilir. Bu özellikle kation basamağında avantajlıdır. Çünkü öncelikle bu kısım acı veya deniz suyu tarafından doldurulur. Mekanik kirlilik artıklarında öncelikle

bu bölüme girmektedir. Ek olarak gerekli çalkalama kabı üst odacık için gereklidir ve daha az sıcaklıkta kullanılmalıdır. Çünkü mekanik kirliliğin büyük bir kısmı alt odacıkta ortadan kaldırılmıştır. Birleştirici asma yatak tesisleri 5 – 400 t / h lik talepler için büyük bir başarı ile kurulabilmektedir (Lewatit 1984).

9.4.3.5 Asansör Yatak Sistemi

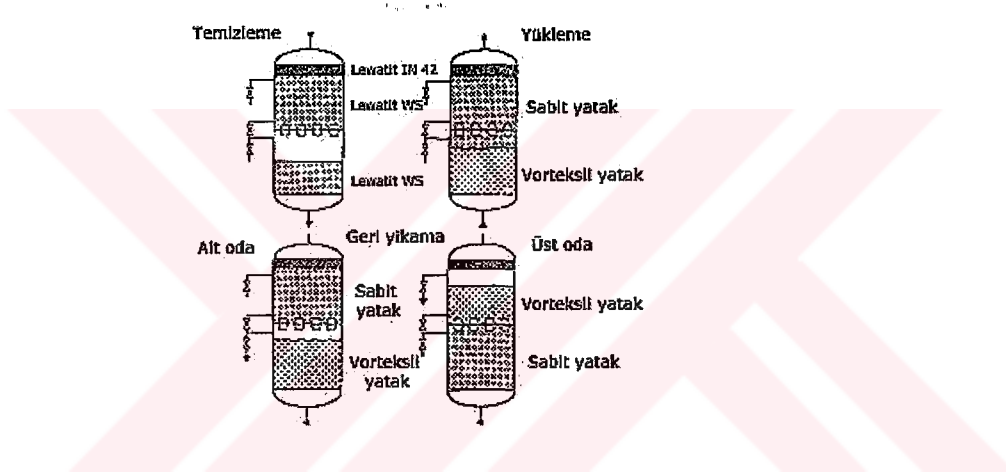
Bu sistem çalkalama kabı olmadanda işletilebilmektedir. Şematik olarak yapısı birleştirici asma yatağın katyon ve anyon basamaklarına çok benzer. Burada söz konusu olan aynı iyon değiştirici yada adsorbe edici ile doldurulmuş iki odacıklı bir filtre sütunudur. Bu ya güçlü asidik katyon yada güçlü bazik anyon değiştirici olmalıdır. Şekil 9.46 de olduğu gibi alt odacık yaklaşık yarısına kadar reçine ile doldurulur. Böylelikle odacık tertibatının % 80 – 100 lük geri çalkalama kapasitesini içerir. Üst odacık % 95 – 100 oranında doludur. Alt odacığın boş kısmı kısmen değiştiricinin geri çalkalanımında, kısmende üst odacıktan belli miktarda reçinenin alımında kullanılır. İki odacığın içeriği baz alınrsa çalkalama hacmi sadece % 25 kadardır.



Şekil 9.46 : Asansör yatak yöntemi

Gerektiğinde odalar arasında reçine transferini sağlayabilmek için iki odacık gerekli düzenlemelerle birbirine bağlanmıştır. En basit yol ventille kapatılmış bir bir boru ile bunun sağlanmasıdır. Orta meme yüzeyi ile köprü oluşturan bu boru alt odacığın çalkalama suyunun çıkış yolu olarak kullanılır. Üst odacık için ise odacığın üst kısmına benzer bir boru eklenir. Üst kapak yüzen eylemsiz maddeler içeren bir tabaka ile korunabilir. Bu düzenle en kolay konstrüksiyon metodu hareketli parçaların sağlanmasıdır.

Asansör yatak sisteminde aynı asma yatakta olduğu gibi yükleme aşağıdan, rejenerasyon ise yukarıdan olmaktadır. Şekil 9.47 de yöntem basamakları gösterilmiştir.



Şekil 9.47 : Asansör yatak yöntem basamakları.

Yüklemede üst odacık tamamen, alt odacık ise kısmen reçine ile doludur. Bu yüzden orta meme yüzeyinin altında küçük bir sabit yatak oluşur ve bu arada reçinenin kalan tarafı serbest yüzer.

Bu sistemin avantajları :

- Değiştirici yatağın yüksek oluşu ve böylelikle kapasitenin mükemmel kullanımı
- Az miktarda basınç kaybı
- Orta meme tabanının az basınca tabii kalması

- Değiştirici sütunun üst odacıkta sabit olması dolayısı ile hazırlanan çözeltinin kayıp olmadan nakledilmesi.
- İç geri çalkalama olanağının olması.

Alt odacığın çalkalanması :

Kir kanala iletilir. Bu yol hem periyot bitiminde hemde yükleme sırasında izlenebilir.

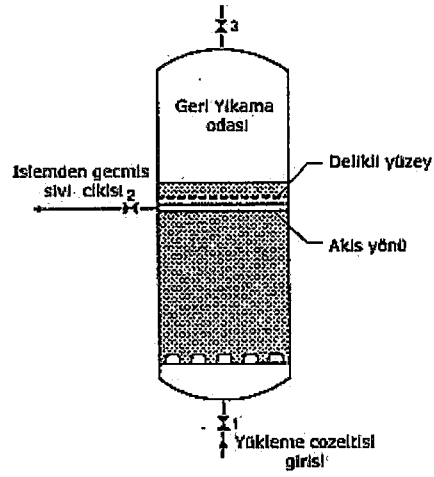
Üst odacığın çalkalanması :

Çalkalama ancak ihtiyaç duyulduğunda yapılmaktadır. Örneğin basınç kaybı reçine için sınır değerine ulaşmışsa yapılmalıdır. Bu durumda alt odacıktaki boşluğun üst odacığa transferi gereklidir; yani üst odacığın reçine hacmi alt odacığa nakledilir. İnce kir her zaman reçine yatağının üst kısmına yöneldiğinden çalkalama işlemi tüm üst reçine içeriğine ulaşılmamasına rağmen dışarı atılır.

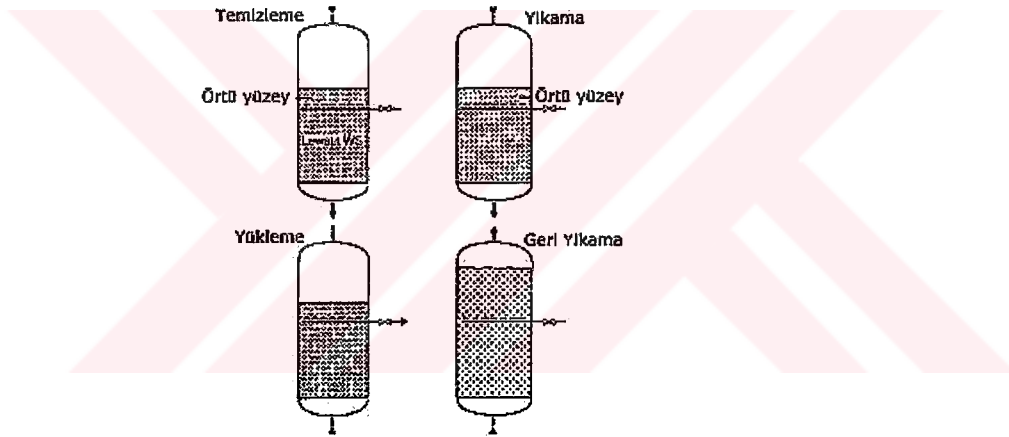
Çalkalamadan hemen sonra rejenerasyon yapılabilir. Daha sonra tesis açık asansör ventili ile bırakılır ki üst odacık otomatik olarak doğru hacimde reçine ile dolsun. Çalkalama olayının yeterli olması tesislerin başarı ile kullanıldığının bir göstergesidir. Yöntem belli teknik donanım gerektirmektedir. 20 – 400 t / l lik talepler için uygundur. Tuzdan arındırılmış suyun temizliği, değiştiricinin yüksek kapasitesi ve rejenerasyonun iyi yapılması ile elde edilir (Siegers und Wutte 1982).

9.4.3.6 Rinse Yatak Yöntemi

Bu yöntemdede yükleme alttan üste, rejenerasyon ise üstten alta doğrudur. Düzenek 2/3 lük bir yükseklikte delikli bir yüzeyle ayrılmış bir kolondan oluşur. Bu delikler değiştiricilerin geçişine olanak verecek büyüklüktedir. Bu yüzeyin altında aşağıdan gelen reçineden geçerek akan arıtılacak olan sıvı çekilir ve dışarı verilir. Kolon delikli yüzeyin üstünde veya adsorbe maddesi ile doludur.



Şekil 9.48 : Rinse yatak modeli



Şekil 9.49 : Rinse yatak yönteminin adımları.

Yükleme sırasında temizlenecek sıvı aşağıdan değiştirici yatağı geçerek çıkar ve delikli tabakanın altındaki drenajdan dışarı çıkar. Delikli yüzey ve drenajın görevi filtre direncinin yol açtığı ve reçine sütununu yukarı itmek isteyen gücü etkisiz hale getirmektir. Doğru düzenleme ile reçine yatağı işlem boyunca sabit kalır. Bu durumda ön şart verilen akış hızının korunmasıdır.

Değiştirici yatağın çalkalanmasında filtre sütununun en üst kısmından su dışarı çıkar ve böylelikle delikli yüzeyden geçerek genişleyebilir ve en iyi biçimde çalkalanabilir. Su akımı ayarlanarak reçinenin tekrar eski yerine dönmesi sağlanır.

Çalkalanmış reçine yatağındaki küçük parçacıklar delikli yüzeyde toplanır ve drenajın tıkanmasında önlenmiş olur. Özel reçine kullanılarak yapılan koruma yöntemine ihtiyaç duyulmaz.

Yukarıdan rejenerasyon maddesiyle sistemi besleme durumunda çözelti önce değiştirici demetinden geçer. Tıpkı reçine yatağında olduğu gibi, rejenerasyon işlemi bu tabakada gerçekleşir ve daha sonrada aynı yönde yıkanır.

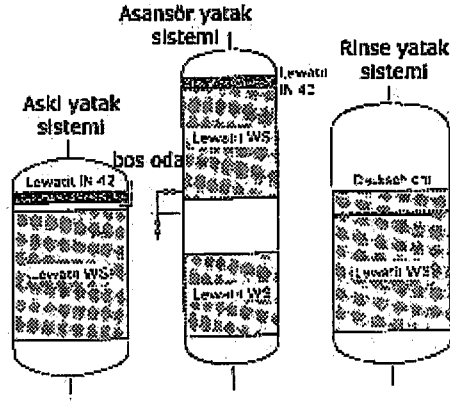
Tek ters akım yöntemi olarak rinse yatak yöntemi sadece tamamen tuzdan arınmış su ile yıkamayı değil ayrıca iyon içeren ve rejenere olmuş reçinenin alması gereken su ile yıkamayı da mümkün kılar. Katyon değiştirici açılı su ile anyon değiştirici bazdan arındırılmış su ile yıkanabilir. Delikli yüzeyin üzerindeki kapayıcı tabaka yıkama işlemi sırasında iyonları tutar. Böylelikle drenajla biten ince temizleme bölgesine bu iyonlar giremez. Kapayıcı tabaka tuzdan tamamen arınmamış su ile, yüklemde sistemde kazanılan kalite etkilenmeden kimyasal rejenerasyon maddelerini inceltebilir. Diğer ters akım yöntemlerinin aksine bu yöntemde rejenerasyonda kullanılacak temiz su için kaba gerek yoktur. Bu durum ilk işleme geçildiği sıradada avantajlıdır.

Bu yöntemin en elverişli kullanımı, 2000 mm çaplı bir filtre ve 20 m / h lik bir işletme hızı ile sağlanır. Bu yöntem küçük ve orta büyüklükte talepler için uygundur.

Bitiş bölümünde üç yeni ters akım yöntemi ;

- Asma yatak yöntemi
- Asansör yatak yöntemi
- Rinse yatak yöntemi

Şekil 9.50'de karşılaştırılmıştır. Şekil 9.50 aynı değiştirici miktarında büyüklüklerin karşılaştırmalarını vermektedir (Siegers und Wutte 1982).

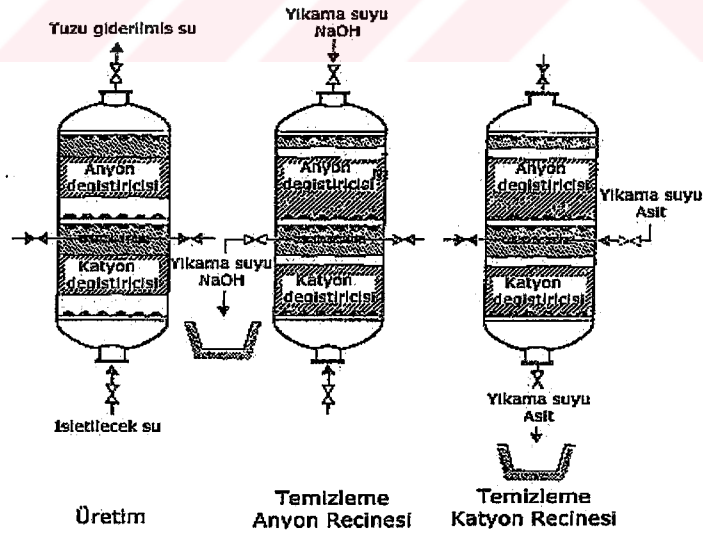


Şekil 9.50: Aynı değiştirci miktarında ters akım yöntemlerinin kap ölçümlerinin karşılaştırmaları.

6.3.3.7 Multi-Step Sistemi

Bu sistem birçok iyon değiştirci ve adsorbe edicinin tek bir filtre sütununda toplanmasını mümkün kılar. Farklı reçineler yine kendilerine özel kimyasal çözeltilerle (Örn: HCl, NaOH) rejenere edilirler.

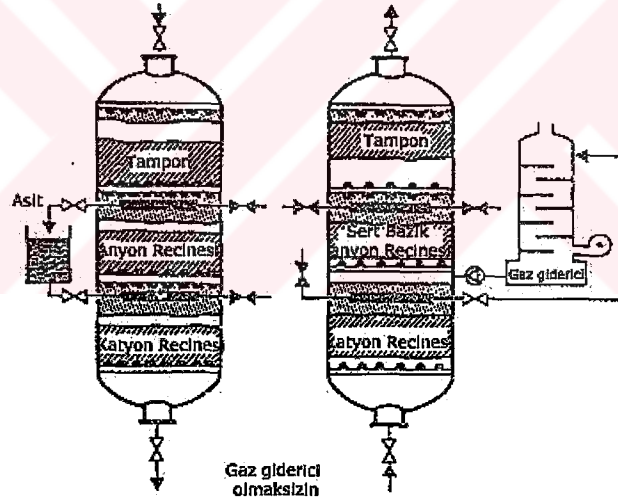
Örneğin güçlü asidik kation değiştirci (Kolonun alt kısmındaki), kolonun üst kısmındaki yüksek bazik değiştirci ile kombine edilir ve iki reçine yatağı bir ara yüzey ile ayrılırsa, şekil 9.51 daki gibi tuzdan arındırma devresi elde edilir.



Şekil 9.51 : Multi-Step sistemi.

Yükleme aşağıdan yukarıya doğrudur. Rejenerasyondan önce anyon değiştiricinin yüklemesi yukarıdan aşağıya doğru yapılır. Kullanılan madde anyon reçinesinin altındaki yataktan dışarı atılır. Anyon reçinesi yıkandıktan sonra katyon değiştirici rejenere edilir. Bu durum asidik çözeltinin anyon reçine yatağının alt kısmına ulaştırılması ve katyon değiştiriciyi geçerek aşağı iletilmesi ile sağlanır. Yıkama aynı şekilde yapılır ve rejenerasyonu bitirir. Ardından tekrar sistem yüklenebilir. Uzun işletme zamanından sonra reçinelerin temizlenebilmesi için gerekli çalkalama yapılır. Anyon değiştiricinin nakli için öncelikle ayrı bir kap gereklidir. Anyon değiştiricinin yıkama ve geri naklinden sonra kaptaki reçine miktarı kontrol edilerek hemen ardından katyon değiştirici aynı işleme tabii tutulur.

Multi-Step sistemi reçinelerin ard arda bağlanması açısından elverişlidir. Sadece iki değil, ihtiyaç ve göreve göre daha çok reçine birbirine ile bağlanabilir.



Şekil 9.52: Üç odacık kolonu.

Şekil 9.52 üç odacık kolonunu gazdan arındırıcılı ve gazdan arındırıcısız olarak ara filtreli halini gösterir. Gazdan arındırma sistemi serbest karbondioksidin atılmasına imkan verir. Diğer avantajlarında şöyle sıralayabiliriz.

- Sertliği giderme, karbondan arındırmadan absorbe işlemi ve tuzdan arındırmaya kadar her şeyin tek kolonde yapılması.
- Basit montaj,
- Düşük yer sarfiyatı ,
- Düşük yatırım maliyeti,
- Basit ve ekonomik işletme (Lewatit 1984).



10. TARTIŞMA

Buraya kadar olan bölümlerde deniz suyundan tatlı su elde ediminde kullanılan ve hala dünya üzerinde güncelliğini yitirmemiş tuz giderme yöntemleri tek tek incelenmiştir. Çalışma sistemleri, verimleri, kapasiteleri ve çeşitleri üzerinde durulmuştur. Adı geçen bu tesislerin Türkiyede uygulanabilirliği konusuna gelinirse, hangisinin daha avantajlı ve Türkiye şartlarına uygun olduğu hakkında kesin bir şey söylemek tam olarak mümkün değildir. Her tesisin kendine ve diğer tesislere göre avantaj ve dezavantajları vardır. Bu avantaj ve dezavantajlara önceki başlıklarda genel olarak değinilmiştir.

Günümüzde Türkiye şartlarında büyük kapasiteli tesislerin işleme sunulması, ekonomik nedenlerden ötürü (yani üretilen suyun pahalıya gelmesi durumundan dolayı) pek tercih edilir bir durum değildir. Su kıtlığının fazlası ile hissedildiği ve su fiyatlarının petrol fiyatlarının çok çok üzerinde seyrettiği Arap ülkelerinde büyük çaplı tesislerin kurulması nasıl bir zorunluluksa, Türkiyede'de küçük çaplı ve bölgesel tesislerin – üretilen suyun normal su fiyatından çok yüksek olmaması şartı ile – işleme sunulması da bir zorunluluktur. Deniz suyundan tatlı su elde eden termik yöntemler daha öncede değinildiği gibi küçük kapasiteli oldukları takdirde düşük verimle çalışan tesislerdir. Ayrıca üretilen su pahalıya gelmektedir. Bu tesislerin kuruluş ve işletiliş itibariyle büyük çaplı olması verim açısından önemlidir. Güneş enerjisi ile çalışan tesislerin verimleri ise güneşin yıllık radyasyon miktarına bağlıdır. Yine Türkiye şartlarında bu tip tesislerin kurulması pek mantıklı değildir. Çünkü Türkiyenin hiçbir yerinde yılın 1/3'ünden daha fazla güneş alabilen bir bölge yoktur. Bunun dışında güneşli damıtma tesislerinin gün içinde çalışma süreleride diğer tesislere oranla çok daha azdır. Geriye kalan iki yöntem olan ters ozmoz ve iyon değişim yöntemleri ile çalışan tesisler hem kurulma ve işletim hemde küçük çaplı olmasına rağmen yüksek verimle çalışabilme özelliği açısından çok daha avantajlıdır. Yeni teknikler sayesinde günümüzde bu tesislerin verim kapasitelerini ve kullanım kolaylıklarını arttıracak büyük gelişmeler olmuştur. Bu tesislerin üretim kapasiteleri istenildiği takdirde arttırılabilir. Son yıllarda bu yöntemle çalışan tesisler adına vuku bulan gelişmeler nedeniyle bir çok Arap ülkesi

bu yöntem tekniği ile çalışan tesisleri tercih etmektedirler (ülkelerinde bol güneş ışığı olmasına rağmen).

Ters ozmoz ve iyon değişimi tesislerinin kendi aralarında dezavantaj ve avantaj olarak 11.bölümde yatırım ve işletim hesaplamalarının karşılaştırılması yoluyla ele alınmıştır.



11. YATIRIM VE İŞLETME MALİYETLERİ HESAPLARI

Yatırım hesabına başlayabilmek için bir dizi veriye ihtiyaç vardır. Bu sebeple öncelikle tedarik için gerekli masrafları ve işletme masraflarını elde etmek için söz konusu olabilecek tesis çeşitlerinin teknik parçalarının hesaplamaları gereklidir. Bizim üzerinde en çok durduğumuz iki tesis olan iyon değişimi ve ters ozmoz tesisleri bu bölümde ele alınacak tesislerdir.

Yapılan hesaplamalarda tekniğin günümüzdeki durumu ve hala geçerliliği olan fiyatlar göz önüne alınmıştır. Arzu edilen tesis saatte $2m^3$ su üretme kapasitelidir.

11.1 İşletime Alınacak Suyun Verileri

Hesaplama yapılacak ilk adım işletime alınacak suyun içerik verilerinin elde edilmesidir. Bu veriler tesisin boyutları ve gerekli kimyasal maddelerin hesaplanması için gereklidir. Suyun sertlik derecesi, içeriği, ph değeri hakkındaki kesin bilgilere bu şekilde ulaşılır.

11.2 Hesaplama Kriterleri

En iyi yatırım kararını alabilmek için sözü geçen iki içme suyu hazırlama tesisi statik ve dinamik yatırım hesabı metotları ile incelenmeli ve hangisinin daha avantajlı olduğuna karar verilmelidir.

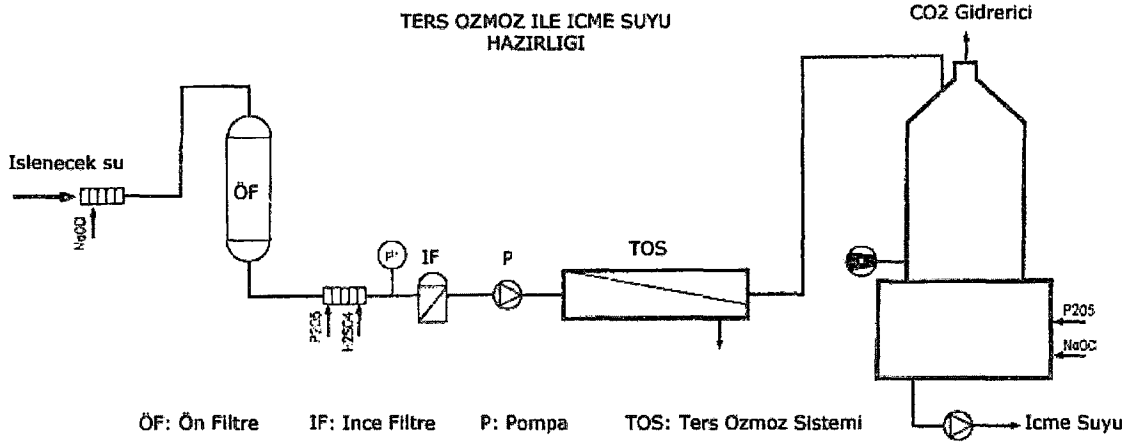
Statik yatırım hesabı, dinamik hesabın aksine zaman faktörünü önemsemez. Statik hesap için iki metod içinde amortizasyon zamanı bulunmalıdır. Amortizasyon karşılaştırma hesabında her yatırım alternatifi için ortaya konulan kapitalin hangi zaman içinde tekrar işletmeye geri kazandırılacağı hesaplanır. Bu hesaplamada karar kriteri amortizasyon süresidir.

Dinamik yatırım hesabı metodu için kapital değeri ve iç faiz oranları hesaplanıp kullanılır. Kapital değer metodunda bütün yatırımla ilgili gelir ve giderler ek bir faiz oranı ile faizlendirilir. Karar kriteri kapital değerdir ve '0' ın üstünde olmalıdır.

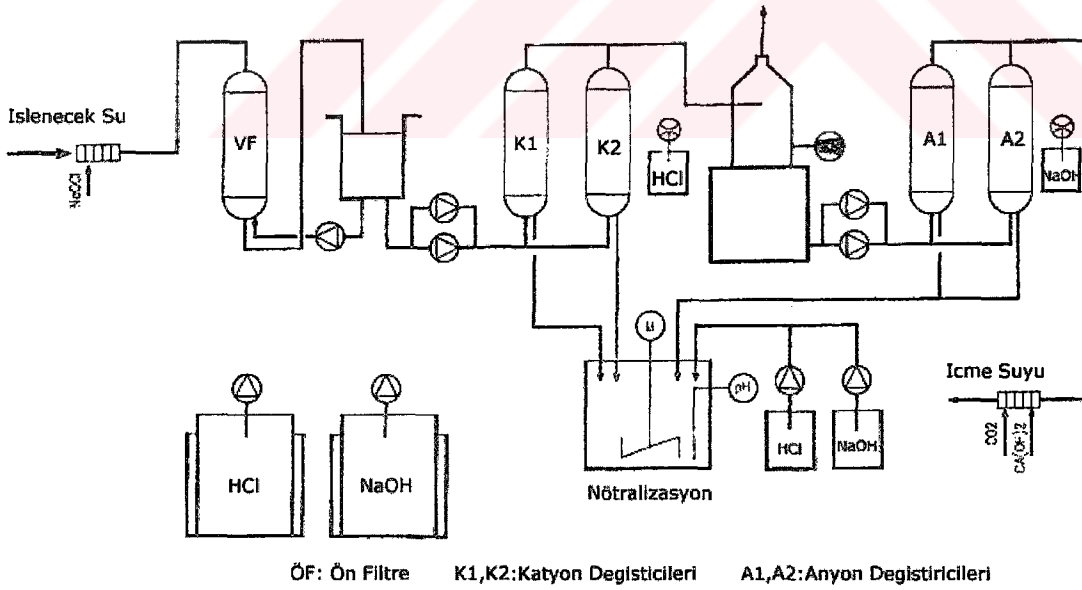
İç faiz oranları metodunda yatırım objesi için kapital değer '0' olduğu bir oran hesaplanmalıdır. Karar kriteri ek faiz oranı ile karşılaştırılacak bu orandır (Olfert 1977).

11.3 Yatırım Maliyetleri Hesabı

Burada her biri tek başına bir bedel ifade eden ana materyallerin maliyetleri verilmiştir.



Şekil 11.1 : Ters ozmoz tesisinin şematik tasarımı.



Şekil 11.2 : İyon değişimi tesisinin şematik tasarımı.

Bu iki farklı metodu daha iyi tasavvur edebilmek ve aralarındaki farkı anlayabilmek için yukarıdaki şekiller sunulmuştur.

11.3.1 Ters Ozmoz Tesislerinde Yatırım Maliyeti Hesabı

1. Havalandırma	
1.1. NaOCl – dozajlama sistemi.....	18800.-
1.2. P ₂ O ₅ – dozajlama sistemi.....	18800.-
1.3. H ₂ SO ₄ – dozajlama sistemi.....	18800.-
2. Ön Filtre.....	161410.-
3. Ters Ozmoz tesisi.....	525430.-
4. CO ₂ absorbe sistemi.....	70400.-
5. Diğer dozajlama sistemleri	
5.1 NaOC – dozajlama sistemi.....	18800.-
5.2. P ₂ O ₅ – ikinci dozajlama sistemi.....	18800.-
6. Pompa İstasyonu.....	17450.-
7. Montaj ve İşletime sunma bedeli.....	132300.-
8. Dokümantasyon (yedek parça).....	20400.-
9. Kontrol sistemi.....	225000.-

Toplam Bedel :.....1246390.-

11.3.2 İyon Değişim Tesislerinde Yatırım Maliyeti Hesabı

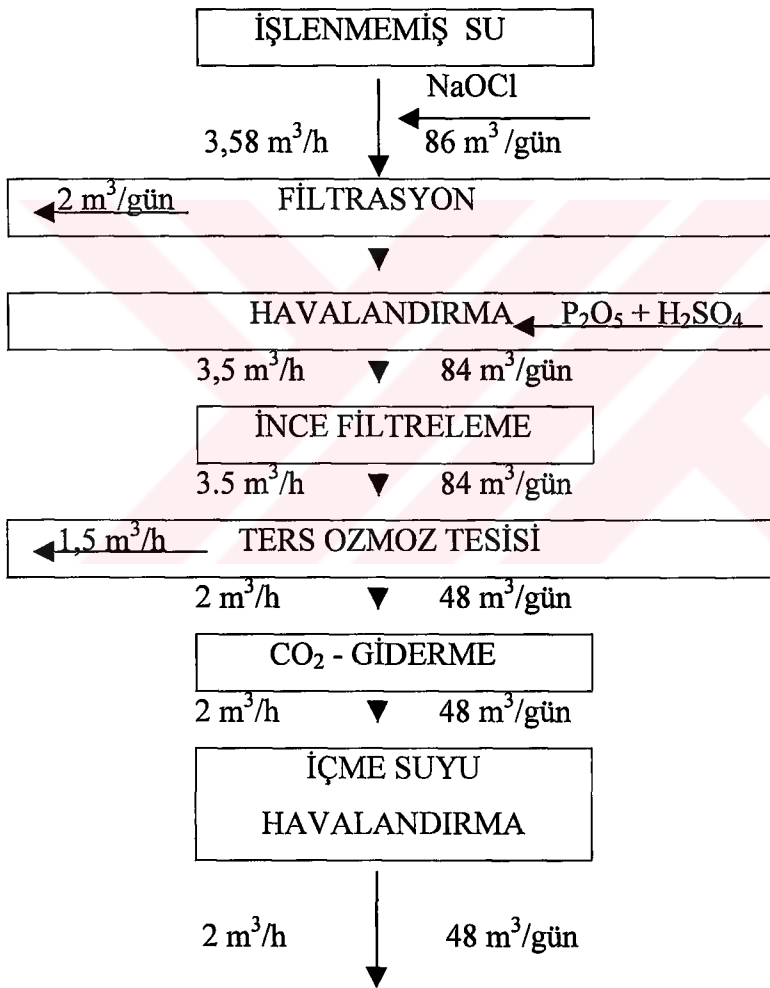
1. Dezenfekte edici sistem.....	18800.-
2. Ön Filtre.....	139640.-
3. Geri yıkama yönlendirici sistemi.....	72880.-
4. Katyon değiştirici.....	318900.-
5. CO ₂ absorbe sistemi.....	70400.-
6. Anyon değiştirici.....	437100.-
7. Nötralizasyon sistemi.....	141530.-
8. Kimyevi tanklar.....	199800.-
8.1. HCl – tankı	
8.2. NaOH – tankı	
8.3. Çökeltme tankı	
8.4. Dolum istasyonu	
9. Kontrol sistemi.....	450000.-
10. Dokümantasyon(yedek parça).....	20400.-
11. Montaj ve işleme sunma bedeli.....	314460.-

Toplam Bedel :.....2183910.-

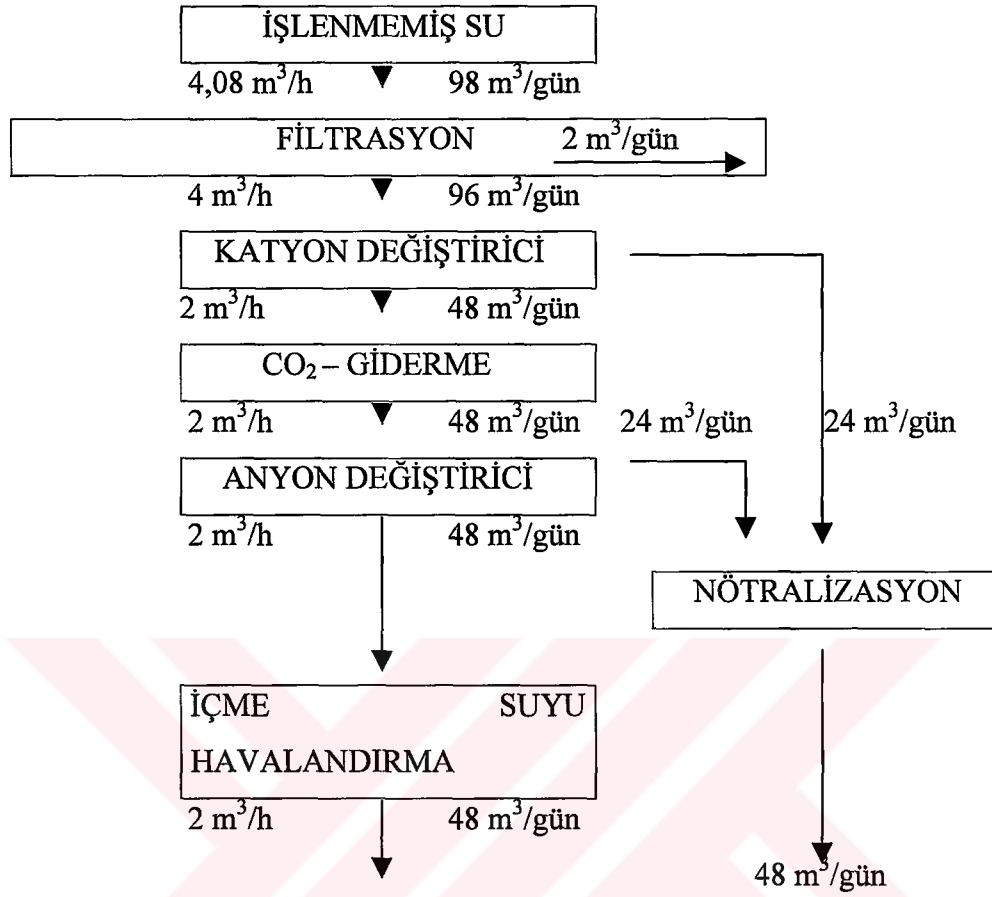
Her iki tesisin tedarik maliyetleri karşılaştırıldığında iyon değişim tesisinin %75 oranında daha fazla yatırım maliyetine sahip olduğu anlaşılmaktadır.

11.4. İşletme Maliyetleri Hesabı

Bu bölümde hesaplanacak olan işletmenin faal durumda olduğu sürece saatlik ortaya çıkan maliyetidir. Şekil 7.3 ve 7.4 her iki tesisin miktar bilançolarını vermektedir. Bu şekillerde işlenmemiş sudan itibaren, arzu edilen 2 m³ lük suyun üretimine kadar izlenecek olan yol gösterilmiştir.



Şekil 11.3 : Ters Ozmoz tesisinin miktar bilançosu.



Şekil 11.4 : İyon değişim tesisinin miktar bilançosu.

11.4.1 Ters Ozmoz Tesisinin İşletme Maliyeti Hesabı

A. Tesisin tanımı ;

Verim	: 2 m ³ /h
Tesisin cinsi	: 3 Basamaklı
İşletme basıncı	: 28 bar
Hedeflenen kimyasal temel	: Standart çeşme suyu
Yıllık işletme saati toplamı	: 8000 h/yıl

B: Baz fiyatlar ;

Elektrik	:	1,20.- /kWh
Su fiyatı	:	17.- /m ³
H ₂ SO ₄ fiyatı % 35	:	6.- /kg
Fosfat fiyatı	:	60.- /kg
Hizmetli ücreti	:	150.-/kg
Labaratuar masrafları	:	Tesis fiyatının % 1'i.
Bakım masrafları	:	Tesis fiyatının % 5'i.

C: HESAPLAMALAR ;**1. Pompaların harcadığı enerji ve maliyetleri**

- Dozajlama pompası.....5 * 0,5 kW
- Yüksek basınç pompası.....1 * 5,5 kW
- Su basma pompası.....1 * 3,0 kW

Toplam enerji : 11,0 kW

$$11 \text{ kWh} * 1,20.-/\text{kWh} = \underline{13,20.-/h}$$

2. Kimyasal madde maliyetleri

H₂SO₄ dozajlaması : 350 mg/l

$$0,35 \text{ kg/m}^3 * 3,5 \text{ m}^3/\text{h} * 6.-/\text{kg} = \underline{7,35.-/h}$$

Fosfat dozajlaması : 10 mg/l

$$0,01 \text{ kg/m}^3 * 3,5 \text{ m}^3/\text{h} * 60.-/\text{kg} = \underline{2,1.-/h}$$

3. Tesisin su ihtiyacı ve maliyeti

$$1,5 \text{ m}^3/\text{h} * 17.-/\text{m}^3 = \underline{25,5.-/\text{h}}$$

4. Hizmetliye ödenen bedel (günde 1saat çalışılıyor)

$$1 \text{ h/gün} * 150.-/\text{h} / 24 \text{ h/gün} = \underline{6,5.-/\text{h}}$$

5. Laboratuvar maliyetleri (tesis fiyatının % 1'i)

$$0,01 * 1250000.- / 8000 \text{ h/yıl} = \underline{1,56.-/\text{h}}$$

6. Bakım masrafları (tesis fiyatının % 5'i)

$$0,05 * 1250000.- / 8000 \text{ h/yıl} = \underline{7,81.-/\text{h}}$$

7. Modül aşınma bedeli (5 yıl için)**Modül fiyatının % 20'si**

5 adet modül fiyatı : 200000.-

$$0,2 * 200000.- / 8000 \text{ h/yıl} = \underline{5,00.-/\text{h}}$$

D) Sonuç :

- Saatlik işletme maliyeti.....69,02.-/h
- m³ İçme suyu başına işletme maliyeti.....34,51.-/h

11.4.2 İyon Değişim Tesisinin İşletme Maliyetleri Hesabı**A. Tesisin Tanımı ;**

- Verim : 2 m³/h
 Tesisin cinsi : 2 Basamaklı iyon değişim tesisi
 Temizleme ünitesi : Askı yatak – ters akım.

Hedeflenen kimyasal temel : Standart çeşme suyu
Yıllık işletme saati toplamı : 8000 h/yıl

B. Baz fiyatlar ;

Elektrik : 1,20 ./kWh
Su fiyatı : 17 ./m³
Asit fiyatı %30 HCl : 4 ./m³
Sodyum Hidroksit %50 : 6 ./m³
Hizmetli ücreti : 150 ./h
Labaratuar fiyatı : Tesis fiyatının % 75'i
Bakım masrafı : Tesis fiyatının % 5'i

C. HESAPLAMALAR ;

1. Pompaların harcadığı enerji ve maliyetleri

- İşletme suyu pompası.....3 * 0,55
- CO₂ giderme pompası.....2 * 0,55
- CO₂ giderme vantilatörü.....1 * 0,55
- Dozajlama pompası.....6 * 0,50
- Karışım odası.....1 * 1,50
- Atık su pompası.....1 * 1,50

Toplam enerji : 9,3 kW

$$9,3 \text{ kWh} * 1,20 \text{ ./kWh} = \underline{11,16 \text{ ./h}}$$

2. Kimyasal madde maliyetleri

Asit : Her 12m³ su başına 95 kg HCl

$$(95/12) \text{ kg/m}^3 * 2\text{m}^3/\text{h} * 4.-/\text{kg} = \underline{63,33.-/\text{h}}$$

Sodyum hidroksit : Her 12 m³ su başına 62 kg NaOH

$$(62/12) \text{ kg/m}^3 * 2\text{m}^3/\text{h} * 6.-/\text{kg} = \underline{62.-/\text{h}}$$

3. Su ihtiyacı

$$2 \text{ m}^3/\text{h} * 17.- = \underline{34.-/\text{h}}$$

4. Hizmetliye ödenen bedel (günde 3 saat çalışılıyor)

$$3 \text{ h/gün} * 150.-/\text{h} / 24 \text{ h/gün} = \underline{18,75.-/\text{h}}$$

5. Labaratuar maliyeti (tesis fiyatının %0,75'i)

$$0,0075 * 2200000.- / 8000 \text{ h/yıl} = \underline{2,00.-/\text{h}}$$

6. Bakım masrafları (tesis fiyatının %5'i)

$$0,05 * 2200000.- / 8000 \text{ h/yıl} = \underline{13,75.-/\text{h}}$$

7. Reçine aşınması

7.1 Katyon yıllık % 5

600 lt reçine (değiştirici başına)

Reçinenin fiyatı 50.-/lt

$$0,05 * 600 \text{ lt} * 2 \text{ adet değ.} * 50.-/\text{lt} / 8000 \text{ h/yıl} = \underline{0,375.-/\text{h}}$$

7.2 Anyon yıllık % 5

600 lt reçine (değiştirici başına)

Reçinenin fiyatı 110.-/lt

$$0,05 * 600 \text{ lt} * 2 \text{ adet değ.} * 110.-/\text{lt} / 8000 \text{ h/yıl} = \underline{0,825.-/\text{h}}$$

D. Sonuç :

- **Saatlik işletme maliyeti.....206,19.-/h**
- **m³ içme suyu başına işletme maliyeti.....103,095.-/h**

Çizelge 11.1 ters ozmoz ve iyon değişimi tesislerinin yıllık işletme maliyetlerini göstermektedir. Örneğin : Yıllık enerji miktarının hesabı için,

$$13,20.-/h * 8000 h/yıl = 105600.-/yıl$$

Çizelge 11.1 : Tesislerin yıllık işletme maliyetleri.

Maliyet Çeşidi	Ters Ozmoz Tesisi	İyon Değişirme Tesisi
Enerji	105600.-	89280.-
Kimyevi Maddeler	75600.-	1002640.-
İşlenmemiş Su	204000.-	272000.-
Hizmetli Bedeli	52000.-	150000.-
Labaratuvar	12400.-	16000.-
Bakım	62480.-	110000.-
Reçine Aşınması	-	9600.-
Modül Aşınması	40000.-	-
TOPLAM	552140.-	1649520.-

11.4.3 Ters Ozmoz Tesisi ile İyon Değişirme Tesisinin Karşılaştırılması

Çizelge 11.2 de hesaplanmış işletme ve yatırım maliyetlerinin (Enflasyon göz önünde tutularak) karşılaştırmaları yapılmıştır.

Çizelge 11.2 : Tesislerin karşılaştırmaları.

	Ters Ozmoz Tesisi	İyon Değişim Tesisi
Yatırım Maliyeti	1246390.-	2183910.-
Kullanım Süresi	5 yıl	5 yıl
Hesaplanmış Faiz oranı	% 12	% 12
Enflasyon Değeri	% 3,5	% 3,5
m³ Başına İçme Suyu Fiyatı	110.-	110.-
İşletme Maliyetleri :		
1.Yıl	552140.-	1649520.-
2.Yıl	571465.-	1707353.-
3.Yıl	591466.-	1767007.-
4.Yıl	612167.-	1828852.-
5.Yıl	633593.-	1892862.-
İçme Suyu Fiyatları :		
1.Yıl	1760000.-	1760000.-
2.Yıl	1821600.-	1821600.-
3.Yıl	1885356.-	1885356.-
4.Yıl	1951343.-	1951343.-
5.Yıl	2019640.-	2019640.-
Yıllık İşletme Saati	8000	8000
İçme Suyu Verimi	2 m ³ /h	2 m ³ /h
Yıllık İçme Suyu Verimi	16000 m ³	16000 m ³

Tesislerin kullanım süreleri 5yıl olarak alınmıştır.Hesaplar Avusturya şilini üzerinden yapıldığından dolayı Ek faiz ve enflasyon oranı Avusturya ya göre düzenlenmiştir.Bunun sebebi Türkiyede dövizlere uygulanan faiz oranlarının farklı olmasıdır. Ek faiz oranı %12, enflasyon % 3,5'dir. Aşağıdaki tablolarda her periyottaki

gelir gider farkları hesaplanmıştır. Giderler (Yatırım ve işletme maliyetleri) ve gelirler (İçme suyu satışından elde edilen gelirler) ayrıca karşılaştırılmıştır.

Çizelge 11.3 : Ters Ozmoz tesisinin hesap akış tablosu.

Periyotlar	Giderler	Gelirler	Fark Değer
0	1246390.-	-	-1246390.-
1	552140.-	1760000.-	1207860.-
2	571465.-	1821600.-	1250135.-
3	591466.-	1885356.-	1293890.-
4	612167.-	1951343.-	1339176.-
5	633593.-	2019640.-	1386047.-

Çizelge 11.4 : İyon Değişim tesisinin hesap akış tablosu.

Periyotlar	Giderler	Gelirler	Fark Değer
0	2183910.-	-	-2183910.-
1	1649520.-	1760000.-	110480.-
2	1707253.-	1821600.-	114347.-
3	1767007.-	1885356.-	118349.-
4	1828852.-	1951343.-	122491.-
5	1892862.-	2019640.-	126778.-

11.4.4. Amortizasyon karşılaştırma hesabı (Statik yatırım hesabı)

Amortizasyon karşılaştırma hesabı, pay – off yada pay – back metodu olarak adlandırılır. 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. Çizelge 7.6 ters ozmoz ve iyon değişim tesislerinin amortizasyon hesapları karşılaştırmalarını vermektedir (Olfert 1977).

Çizelge 11.5 : Her iki tesisin amortizasyon hesapları karşılaştırmaları.

Periyot	Ters Ozmoz Tesisi		İyon Değişim Tesisi	
	Gelir – gider	Daha amortize edilecek miktar	Gelir – gider	Daha amortize edilecek miktar
0	-1246390.-		-2183910.-	
1	1207860.-	-38530.-	110480.-	-2073430.-
2	1250135.-	1211605.-	114347.-	-1959083.-
3	1293890.-	2505495.-	118349.-	-1840734.-
4	1339176.-	3844671.-	122491.-	-1718243.-
5	1386047.-	5230718.-	126778.-	-1591465.-

Amortizasyon zamanının bulunması :

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

t_w : Amortizasyon zaman

A : Yatırılan Kapital

R : Ortalama geri akan para

1. Ters Ozmoz Tesisi

A : 1246390.-

R : 1295421.-

$$t_w = \frac{1246390}{1295421} = 0,9621 \text{ yıl}$$

2. İyon Değişim Tesisi

A : 2183910.-

R: 118489.-

$$t_w = \frac{2183910}{118489} = 18,43 \text{ yıl}$$

Hesap sonucu ters ozmoz tesisinin 0,9621 yıl sonra, iyon değişim tesisi ise ancak 18,43 yıl sonra kendini amortize eder. Yani kullanım süresinin üzerindedir.

11.4.5. Kapital Değer Metodu

Kapital değer metodu dinamik yatırım hesabının yatırımlar arası avantaj karşılaştırmasında kapital değerini, karar kriteri olarak alan bir yöntemdir. Kapital değer metodu şöyle hesaplanır.

$$K_D = \sum_{t=0}^n D_t (1 + r)^{-t}$$

r : Ek faiz oranı (banka faiz)

D_t : Gelir – gider farkı

Çizelge 11.6 : Ters ozmoz tesisinde kapital değerlerin hesabı.

Periyot	Kapital değer katsayısı	Gelir – Gider farkı	Nakit Değer	Daha amortize edil.
0	1,000	-1246390.-	-1246390.-	
1	0,89286	1207860.-	1078450.-	-167940.-
2	0,79719	1250135.-	996595.-	828655.-
3	0,71178	1293890.-	920965.-	1749620.-
4	0,63552	1339176.-	851073.-	2600693.-
5	0,56743	1386047.-	786484.-	3387177.-

Çizelge 11.7 : İyon Değişim yönteminde kapital değerlerin hesabı.

Periyot	Kapital değer katsayısı	Gelir – Gider farkı	Nakit Değer	Daha amortize edil.
0	1,000	-2183910.-	-2183910.-	
1	0,89286	110480.-	98643.-	-2085267.-
2	0,79719	114347.-	91156.-	-1194111.-
3	0,71178	118349.-	84238.-	-1909873.-
4	0,63552	122491.-	77845.-	-1832028.-
5	0,56743	126778.-	71937.-	-1760091.-

Ters ozmoz tesisi 5 yıl sonra 3387177 'lik bir pozitif kapital değeri gösterir. İyon değişim tesisi ise 1760091 'lik bir negatif değeri verir. Bundan varılan sonuç ters ozmoz tesisinin iyon değişim tesisine tercih edilmesidir. İyon değişim tesisi her durumda reddedilmelidir. Çünkü negatif kapital değeri bir yatırımın dezavantajlı olduğunu gösterir bir kriterdir.

11.4.6. İç Faiz Oranı Metodu

Bu metod bir dinamik yatırım hesabı çeşididir. Bu metotta yatırımın avantajı için ölçü iç faiz oranıdır. Bu oran gelir ve gider dizilerinin iskontosunda '0' kapital değerini sağlayan orandır.

İç faiz oranları hesabında, iki farklı faiz oranı olarak deneme faiz oranları serbest seçilir. Daha sonra bu oranlar için yatırımların kapital değerleri tablo halinde hesaplanır.

$$r = i_1 - Co_2 * \frac{i_2 - i_1}{Co_2 - Co_1}$$

r : İç Faiz Oranı

i : Deneme Faiz Oranı

Co : Kapital değerler (i_1 ve i_2)

Çizelge 11.8 : Ters Ozmoz tesisinin iç faiz oranlarının hesabı.

Periyot	Faiz Oranı	Gelir - Gider	Nakit Değer	Daha amortize edil.
0	1,000	-1246390.-	-1246390.-	
1	0,84746	1207860.-	1023613.-	-222777.-
2	0,71818	1250135.-	897822.-	675045.-
3	0,60863	1293890.-	787500.-	1462545.-
4	0,51579	1339176.-	690719.-	2153264.-
5	0,43711	1386047.-	605855.-	2759119.-

Çizelge 11.9 : İyon Değişim tesisinin iç faiz oranlarının hesabı.

Periyot	Faiz Oranı	Gelir - Gider	Nakit Değer	Daha amortize edil.
0	1,000	-2183910.-	-2183910.-	
1	0,84746	110480.-	93627.-	-2090283.-
2	0,71818	114347.-	82121.-	-2008262.-
3	0,60863	118349.-	72031.-	-1936131.-
4	0,51579	122491.-	63179.-	-1872952.-
5	0,43711	126778.-	55416.-	-1817536.-

1. Ters Ozmoz Tesisi

Co₁ çizelge 11.6 den : 3387177.-

Co₂ çizelge 11.8 den : 2759119.-

i₁ çizelge 11.6 den : 0,12

i₂ çizelge 11.8 den : 0,18

$$r = 0,12 - 3387177 * \frac{0,18 - 0,12}{2759119 - 3387177} = 0,4435 = \%44,35$$

2. İyon Değişim Tesisi

Co₁ çizelge 11.7 den : -1760091.-

Co₂ çizelge 11.9 den : -1817536.-

i₁ çizelge 11.7 den : 0,12

i₂ çizelge 11.9 den : 0,18

$$r = 0,12 + 1760091 * \frac{0,18 - 0,12}{-1817536 + 1760091} = -1,7183 = \% -171,83$$

Hesap sonucuna göre ters ozmoz tesisinin iç faiz oranı daha önce belirlenmiş faiz oranından yüksektir. İyon değişim tesisinde ise bu durum tam tersidir. Bu sebeplerdir ki ters ozmoz tesisinin iyon değişim tesisine göre tercihi kaçınılmazdır.

11.4.9 Değerlendirme ve Sonuç

Çizelge 11.11 : Ters ozmoz ve iyon değişim metotlarının değerlendirme sonuçları.

TESİS CİNSİ	AMORTİZASYON	KAPİTAL DEĞER	İÇ FAİZ MET.
TERS OZMOZ	<i>0,9621 yıl</i>	<i>+3387177.-</i>	<i>% 44,35</i>
İYON DEĞİŞİMİ	<i>18,43 yıl</i>	<i>-1760091.-</i>	<i>% -171,83</i>

Hesaplanmış yatırım karar kriterlerinden yola çıkarak en uygun yatırım objesi olan **Ters Ozmoz** tesisi seçilir.

BİLGİSAYAR PROGRAMLARI

TERS OZMOZ YÖNTEMİ

```
#include <iostream.h>
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>
#include <string.h>

void main ()
{
    double NaCl dozpa;
    double NaCl dozpf;
    double P2O5 dozpa;
    double P2O5 dozpf;
    double H2SO4 dozpa;
    double H2SO4 dozpf;
    double NaOC dozpa;
    double NaOC dozpf;
    double pompisf;
    double monisg;
    double yedparg;
    double kontpaf;
    double onfif;
    double totesf;
    double CO2 gidsisf;
    double elekf;
    double yukbaspa;
    double temsupa;
    double H2SO4 toptf;
    double P2O5 toptf;
    double H2SO4 dozmik;
    double P2O5 dozmik;
    double habasakdeb;
    double tessakdeb;
    double temsalf;
    double casuc;
    double tesguncasu;
    double caguncasu;
    double tesyilcasu;
    double modsay;
    double modbirf;
    double tessasu;
    double bafaizo;
    double enfo;
    double denbafaizo;
    double urssaf;
    double dozpomtopa;
    double totopyatm;
    double elekm;
    double kimmadm;
```

```

double totemsum;
double calism;
double labm;
double bakonm;
double modasm;
double tolsaism;
double tom3ism;
double yilelm;
double yilkimmadm;
double yiltotemsum;
double yilcalism;
double yillabm;
double yilbakonm;
double yilmodasm;
double totopyilism;
double toyilursugel;
double toism;
double toicsusaelgel;
double toamedmik;
double toamorz;
double tokapdeg;
double todenkapdeg;
double totop5denkapdeg;
double toicfaizor;
int n;
char tekrar;
do
{
    cout << "\fTERS OZMOZ TESISI :\n";
    cout << "Ters ozmoz tesisini kac yil isletmeyi
dusunuyorsunuz ? :";
    cin >>n;
    cout <<"NaCl - Dozajlama pompasi adedini giriniz :";
    cin >>NaCl dozpa;
    cout <<"NaCl - Dozajlama pompasi fiyatini giriniz :";
    cin >>NaCl dozpf;
    cout <<"P205 - Dozajlama pompasi adedini giriniz :";
    cin >>P205 dozpa;
    cout <<" P205 - Dozajlama pompasi fiyatini giriniz : ";
    cin >>P205 dozpf;
    cout <<"H2SO4 - Dozajlama pompasi adedini giriniz :";
    cin >>H2SO4 dozpa;
    cout <<"H2SO4 - Dozajlama pompasi fiyatini giriniz :";
    cin >>H2SO4 dozpf;
    cout <<"NaOC - Dozajlama pompasi adedini giriniz : ";
    cin >>NaOC dozpa;
    cout <<"NaOC - Dozajlama pompasi fiyatini giriniz : ";
    cin >>NaOC dozpf;
    cout <<"Pompa istasyonu fiyatini giriniz :";
    cin >>pompisf;
    cout <<"Montaj ve isletmeye sunma giderlerini giriniz :";
    cin >>monisg;
    cout <<"Yedek parca giderlerini giriniz :";
    cin >>yedparg;
}

```

```

cout <<"Kontrol paneli fiyatini giriniz :";
cin >>kontpaf;
cout <<"On filtre fiyatini giriniz :";
cin >>onfif;
cout <<"Ters Ozmoz tesis fiyatini giriniz :";
cin >>totesf;
cout <<"CO2 - giderme sistemi fiyatini giriniz :";
cin >>CO2gidsisf;
cout <<"Elektrik fiyatini giriniz :";
cin >>elekf;
cout <<"Yukse basinc pompa adedini giriniz :";
cin >>yukbasp;
cout <<"Temiz su pompa adedini giriniz :";
cin >>temsupa;
cout <<"H2SO4 toptanci kg fiyatini giriniz :";
cin >>H2SO4toptf;
cout <<"P2O5 toptanci kg fiyatini giriniz :";
cin >>P2O5toptf;
cout <<"H2SO4 dozajlama miktarini giriniz (kg/m3) :";
cin >>H2SO4dozmik;
cout <<"P2O5 dozajlama miktarini giriniz (kg/m3) :";
cin >>P2O5dozmik;
cout <<"Havalandırma basamağındaki su akis debisini giriniz
(m3/h) :";
cin >>habasakdeb;
cout <<"Tesisin kendisi için harcadığı tatlı suyun akis
debisini giriniz (m3/h) :";
cin >>tessakdeb;
cout <<"Tatlı su alis fiyatini giriniz (para birimi /m3)
:";
cin >>temsalf;
cout <<"Çalışan işcinin saatlik ücretini giriniz (para
birimi /h) :";
cin >>casuc;
cout <<"Tesisin günlük çalışma süresini giriniz (h/gun) :";
cin >>tesguncasu;
cout <<"Çalışan işcinin günlük çalışma süresini giriniz
(h/gun) :";
cin >>caguncasu;
cout <<"Tesisin yıllık çalışma süresini giriniz (h/yil) :";
cin >>tesyilcasu;
cout <<"Modul sayisini giriniz :";
cin >>modsay;
cout <<"Modul birim fiyatini giriniz :";
cin >>modbirf;
cout <<"Tesisin saatlik su üretimini giriniz :";
cin >>tessasu;
cout <<"Banka faiz oranini giriniz (%) :";
cin >>bafaizo;
bafaizo /= 100;
cout <<"Enflasyon oranini giriniz (%) :";
cin >>enfo;
cout <<"Deneme banka faiz oranini giriniz (%) :";
cin >>denbafaizo;

```

```

denbafaizo /= 100;
cout <<"Uretilen suyun satis fiyatini giriniz (para birimi
/ m3) :";
cin >>urssaf;

dozpomtopa=NaCl dozpa+P2O5 dozpa+H2SO4 dozpa+NaOC dozpa;

totopyatm=(NaCl dozpa*NaCl dozpf)+(P2O5 dozpa*P2O5 dozpf)+(H2SO4 dozpa*H2SO4 dozpf)+(NaOC dozpa*NaOC dozpf)+pompisf+monisg+yedparg+kontpaf+onfif+totesf+CO2 gidsisf;
elekm=( dozpomtopa*0.5)+(yukbaspa*5.5)+(temsupa*3))*elekf;

kimmadm=( (H2SO4 toptf*H2SO4 dozmik)+(P2O5 toptf*P2O5 dozmik) )*habasa kdeb;

totemsum=tessakdeb*temsalf;
calism=(casuc*caguncasu)/tesguncasu;
labm=(totopyatm*0.01)/tesyilcasu;
bakonm=(totopyatm*0.05)/tesyilcasu;
modasm=( (modbirf*modsay)*0.2)/tesyilcasu;
tolsaism=elekm+kimmadm+totemsum+calism+labm+bakonm+modasm;
tom3ism=tolsaism/tessasu;
yilelm=elekm*tesyilcasu;
yilkimmadm=kimmadm*tesyilcasu;
yiltotemsum=totemsum*tesyilcasu;
yilcalism=calism*tesyilcasu;
yillabm=labm*tesyilcasu;
yilbakonm=bakonm*tesyilcasu;
yilmodasm=modasm*tesyilcasu;

totopyilism=yilelm+yilkimmadm+yiltotemsum+yilcalism+yillabm+yilbakonm+yilmodasm;
toyilursugel=tessasu*tesyilcasu*urssaf;
int i;
double dummy = 0;
toism = totopyilism;
toicsusaelgel = toyilursugel;
tokapdeg = - totopyatm;
todenkapdeg = - totopyatm;
double dummpot = 1;
double dummpot2 = 1;
double dummytoamedmik;
for (i=1; i<=n; i++)
{
    toamedmik = toicsusaelgel - toism;
    dummy += toamedmik;
    dummpot *= (bafaizo+1);
    dummpot2 *= (denbafaizo+1);
    dummytoamedmik = toamedmik / dummpot;
    tokapdeg += dummytoamedmik;
    dummytoamedmik = toamedmik / dummpot2;
    todenkapdeg += dummytoamedmik;
    toism = (toism * enfo / 100) + toism;
}

```

```

                toicsusaelgel = (toicsusaelgel * enfo / 100) +
toicsusaelgel;
            }

            toamorz = totopyatm*n / dummy;
            toicfaizor = (bafaizo - todenkapdeg*((denbafaizo-
bafaizo)/(todenkapdeg-tokapdeg))*100;
            cout <<" \f\n\n ___ TERS OZMOZ TESISI:\n",
            cout <<"Toplam yatirim maliyeti (para birimi)
="<<totopyatm<< "\n";
            cout <<"1 saatlik isletme maliyeti (para birimi/h)
="<<tolsaism<< "\n";
            cout <<"m3 su uretimi basina isletme maliyeti (para
birimi/h) ="<<tom3ism<< "\n";
            cout <<"Yillik elektrik maliyeti (para birimi/yil)
="<<yilelm<< "\n";
            cout <<"Yillik kimyasal madde maliyeti (para birimi/yil)
="<<yilkimmadm<< "\n";
            cout <<"Yillik temiz su harcama maliyeti (para birimi/yil)
="<<yiltotemsum<< "\n";
            cout <<"Ters ozmoz tesisinde çalisan işçinin yillik
maliyeti (para birimi/yil) ="<<yilcalism<< "\n";
            cout <<"Yillik labaratuvar maliyeti (para birimi/yil)
="<<yillabm<< "\n";
            cout <<"Yillik bakim onarim maliyeti (para birimi/yil)
="<<yilbakonm<< "\n";
            cout <<"Yillik modul asinma maliyeti (para birimi/yil)
="<<yilmodasm<< "\n";
            cout <<"Toplam yillik isletme maliyeti (para birimi/yil)
="<<totopyilism<< "\n";
            cout <<"Yillik uretilen icme suyu satisindan elde ettigi
gelir (para birimi/yil) ="<<toyilursugel<< "\n";
            cout <<"Amortizasyon zamani (yil) ="<<toamorz<< "\n";
            cout <<"5 yillik toplam kapital degeri (para birimi)
="<<tokapdeg<< "\n";
            cout <<"Ic faiz orani (%) ="<<toicfaizor << "\n";
            cout <<"\n\n\a Islemleri tekrarlamak istermisiniz (e/h) :";
            cin >> tekrar;

        } while (tekrar == 'e');
    }

```

İYON DEĞİŞİM YÖNTEMİ

```
// Programm iyon.cpp
// iyon degisimi programi
#include <iostream.h>
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>
#include <string.h>

void main()
{
    double dezetsif;
    double onfif;
    double geyisif;
    double katdegf;
    double andegf;
    double CO2gidsif;
    double notsif;
    double kimmaddepf;
    double kontpanf;
    double yedparg;
    double monisg;
    double dozpompa;
    double atsupompa;
    double dolsupompa;
    double CO2gidpompa;
    double CO2gidvana;
    double karmaka;
    double elf;
    double HCltopf;
    double NaOHTopf;
    double HCldozm;
    double NaOHdozm;
    double degsudeb;
    double teskensudeb;
    double temsuf;
    double caisu;
    double teguncsur;
    double caisgunsur;
    double tesyilcasur;
    double anrecf;
    double katrecf;
    double degreclm;
    double tesseract;
    double bafaizo;
    double enfo;
    double denbafaizo;
    double ursusaf;
    double iytopyatm;
    double elekm;
    double kimmadm;
    double iytemsum;
    double calism;
```

```

double labm;
double bakonm;
double reckaym;
double iylsasim;
double iy3ism;
double yilelm;
double yilkimmadm;
double yiliytemsuum;
double yilcalism;
double yillabm;
double yilbakonm;
double yilreckaym;
double iytopyilism;
double iyyilursugel;
double iyyilursugel2;
double iyism;
// double iyicsusaegel;
double iyamedmik;
double iyamorz;
double iykapdeg;
// double iytopnkapdeg;
double iydenkapdeg;
// double iytopdenkapdeg;
double iyicfaizor;

int n;
char tekrar;
do
{
    cout <<"Iyon degisim tesisini kac yil isletmeyi
dusunuyorsunuz ? :";
    cin >>n;
    cout <<" Dezenfekte etme sistemi fiyatini giriniz :";
    cin >> dezetsif;
    cout <<" Ön filtre fiyatini giriniz :";
    cin >> onfif;
    cout <<" Geri yikama sistemi fiyatini giriniz:";
    cin >> geyisif;
    cout <<" Katyon degistirici fiyatini giriniz:";
    cin >> katdegf;
    cout <<" Anyon degistirici fiyatini giriniz:";
    cin >> andegf;
    cout <<" CO2 - giderme sistemi fiyatini giriniz:";
    cin >> CO2gidsif;
    cout <<" Notralizasyon sistemi fiyatini giriniz:";
    cin >> notsif;
    cout <<" Kimyevi madde depolarinin fiyatini giriniz:";
    cin >> kimmaddepf;
    cout <<" Kontrol paneli fiyatini giriniz:";
    cin >> kontpanf;
    cout <<" Yedek parca giderlerini giriniz:";
    cin >> yedparg;
    cout <<" Montaj ve isletmeye sunma giderlerini giriniz:";
    cin >> monisg;

```



```

cout <<" Dozajlama pompasi adedini giriniz:";
cin >> dozpompa;
cout <<" Atik su pompalsi adedini giriniz:";
cin >> atsupompa;
cout <<" Dolasim suyu pompasi adedini giriniz:";
cin >> dolsupompa;
cout <<" CO2 - giderme pompasi adedini giriniz:";
cin >> CO2gidpompa;
cout <<" CO2 - giderme vantilatoru adedini giriniz:";
cin >> CO2gidvana;
cout <<" Karistirma makinasi adedini giriniz:";
cin >> karmaka;
cout <<" Elektrik fiyatini giriniz (para birimi/kwh):";
cin >> elf;
cout <<" HCl toptanci kg fiyatini giriniz:";
cin >> HCltopf;
cout <<" NaOH toptanci kg fiyatini giriniz:";
cin >> NaOHtopf;
cout <<" HCl dozajlama miktarini giriniz (kg/m3):";
cin >> HCldozm;
cout <<" NaOH dozajlama miktarini giriniz (kg/m3):";
cin >> NaOHdozm;
cout <<" Degistircilerdeki su akis debisini giriniz
(m3/h):";
cin >> degsudeb;
cout <<" Tesisin kendisi icin harcadigi suyun akis debisini
giriniz (m3/h):";
cin >> teskensudeb;
cout <<" Temiz su alis fiyatini giriniz (para birimi/m3):";
cin >> temsuf;
cout <<" Calisan iscinin saatlik ucretini giriniz:";
cin >> caisu;
cout <<" Tesisin gunluk calisma suresini giriniz(h/gun):";
cin >> teguncsur;
cout <<" Calisan iscinin gunluk calisma suresini giriniz
(h/gun):";
cin >> caisgunsur;
cout <<" Tesisin yillik calisma suresini giriniz (h):";
cin >> tesyilcasur;
cout <<" Anyon degistircisi icin kullanilan recinenin
fiyatini giriniz (para birimi/lt):";
cin >> anrecf;
cout <<" Katyon degistircisi icin kullanilan recinenin
fiyatini giriniz (para birimi/lt):";
cin >> katrecf;
cout <<" Degistircilerin ihtiyac duydugu recine miktarini
giriniz (lt):";
cin >> degrecm;
cout <<" Tesisin saatlik su uretim miktarini giriniz
(m3/h):";
cin >> tessasur;
cout <<" Banka faiz oranini giriniz (%):";
cin >> bafaizo;
bafaizo /= 100;

```

```

cout <<" Enflasyon oranini giriniz (%):";
cin >> enfo;
cout <<" Deneme banka faiz oranini giriniz (%):";
cin >> denbafaizo;
denbafaizo /= 100;
cout <<" Üretilen suyun satis fiyatini giriniz (para
birimi/m3):";
cin >> ursusaf;

iytopyatm=dezetsif+onfif+geyisif+katdegf+andegf+CO2gidsif+notsif
+kimmaddepf+kontpanf+yedparg+monisg;

elekm=((dozpompa*0.5)+(dolsupompa*0.55)+(atsupompa*1.5)+(CO2gidp
ompa*0.55)+(CO2gidvana*0.55)+(karmaka*1.5))*1.20;

kimmadm=(HCltopf*degsudeb*HCl doz m)+(NaOHtopf*degsudeb*NaOHdozm);
iytemsum=teskensudeb*temsuf;
calism=(caisu*caisgunsur)/teguncsur;
labm=(iytopyatm*0.0075)/tesyilcasur;
bakonm=(iytopyatm*0.05)/tesyilcasur;

reckaym=((0.05*degrecm)*((anrecf*2)+(katrecf*2)))/tesyilcasur;
iylsasim=elekm+kimmadm+iytemsum+calism+labm+bakonm+reckaym;
iy3ism=iylsasim/tessasur;
yilelm=elekm*tesyilcasur;
yilkimmadm=kimmadm*tesyilcasur;
yiliytemsum=iytemsum*tesyilcasur;
yilcalism=calism*tesyilcasur;
yillabm=labm*tesyilcasur;
yilbakonm=bakonm*tesyilcasur;
yilreckaym=reckaym*tesyilcasur;

iytopyilism=yilelm+yilkimmadm+yiliytemsum+yilcalism+yillabm+yilb
akonm+yilreckaym;
iyyilursugel=tessasur*tesyilcasur*ursusaf;

iyyilursugel2 = iyyilursugel;
int i;
double dummy = 0;
iyism = iytopyilism;
iykapdeg = - iytopyatm;
iydenkapdeg = - iytopyatm;
double dummpot = 1;
double dummpot2 = 1;
double dummyiyamedmik;
for (i=1; i<=n; i++)
{
    iyamedmik = iyyilursugel - iyism;
    dummy += iyamedmik;
    dummpot *= (bafaizo+1);
    dummpot2 *= (denbafaizo+1);
    dummyiyamedmik = iyamedmik / dummpot;
}

```

```

        iykapdeg += dummyiyamedmik;
        dummyiyamedmik = iyamedmik / dummyspot2;
        iydenkapdeg += dummyiyamedmik;
        iyism = (iyism * enfo / 100) + iyism;
        iyyilursugel = (iyyilursugel * enfo / 100) +
iyyilursugel;
    }

    iyamorz = iytopyatm*n / dummy;
    iyicfaizor = (bafaizo - iydenkapdeg*((denbafaizo-
bafaizo)/(iydenkapdeg-iykapdeg)))*100;

    cout <<" Iyon degisim tesisinin toplam yatirim maliyeti
(ATS) ="<< iytopyatm<< "\n";
    cout <<" Iyon degisim tesisinin 1 saatlik isletme maliyeti
(ATS/h) ="<< iylsasim<< "\n";
    cout <<" Iyon degisim tesisinin m3 su uretimi basina
isletme maliyetleri (ATS/h) ="<< iy3ism<< "\n";
    cout <<" Yillik elektrik maliyeti (ATS/yil) ="<< yilelm<<
"\n";
    cout <<" Yillik kimyasal madde maliyeti (ATS/yil) ="<<
yilkimmadm<< "\n";
    cout <<" Yillik iyon degisim tesisinin temiz su maliyeti
(ATS/yil) ="<< yiliytemsum<< "\n";
    cout <<" Yillik calisan iscinin maliyeti (ATS/yil) ="<<
yilcalism<< "\n";
    cout <<" Yillik labaratuvar maliyetleri (ATS/yil) ="<<
yillabm<< "\n";
    cout <<" Yillik bakim onarim maliyetleri (ATS/yil) ="<<
yilbakonm<< "\n";
    cout <<" Yillik recine kayip maliyeti (ATS/yil) ="<<
yilreckaym<< "\n";
    cout <<" Iyon degisim tesisinin toplam yillik isletme
maliyeti (ATS/yil) ="<< iytoppyilism<< "\n";
    cout <<" Iyon degisim tesisinin yillik uretilen icme suyu
satisindan elde ettigi gelir (ATS/yil) ="<< iyyilursugel2<< "\n";
    cout <<" Iyon degisim tesisi icin Amortizasyon zamani (yil)
="<< iyamorz<< "\n";
    cout <<" Iyon degisim tesisinin n yillik toplam kapital
degeri (ATS) ="<<iykapdeg<< "\n";
    cout <<" Iyon degisim tesisinin ic faiz oranı (%) ="<<
iyicfaizor<< "\n";
    cout <<"\n\n\a Islemleri tekrarlamak istermisiniz (e/h) :";
    cin >> tekrar;

    } while (tekrar == 'e');
}

```

Bu programlar C++ ile yazılmıştır.

Tablo 1 Kaynamada ısı geçişine ait bağıntılar.

Çıkılma	Kaynaklar	Bağıntı						
doğal ısı taşınımı								
t ve $Gr.Pr < 10^8$ için habbeciksiz kaynama veya doğal taşınımli kaynama (bütün özellikler, sıvı fazında inacaktır)	Jakop (1949, 1957)	$Nu = c (Gr)^m (Pr)^n$ $Nu = 0,61 (Gr)^{0,25} (Pr)^{0,25}$ $Nu = 0,16 (Gr)^{1/3} (Pr)^{1/3}$ $h = 80 (\Delta t)^{1/3} \text{ Burada, } h(W/m^2.K), \Delta t (K)$						
aldırılmış dikey yüzey		(1)						
aldırılmış yatay yüzey		(2)						
μ için basitleştirilmiş bağıntı		(3)						
ekirdekli kaynama		(4)						
	Rohsenow (1951)	$(Nu)_b = (Re)_b^{2/3} (Pr)_b^{-0,7} / C_{sf}$ (5)						
	Kutatedze (1963)	$(Nu)_b = C_k \left[\frac{\rho_l Re}{\rho_v} \right]_b^{0,7} (Pr)^{0,4} N_k^m \left[\frac{D_b}{D} \right]^n$ (6)						
	Gilmour (1958)	Burada, $(Nu)_b = h D_b / k_l$, $(Pr)_l = (\mu c_p / k)_l$ $(Re)_b = q D_b / \lambda h_{fg} \mu$ $D_b = \sqrt{\sigma_1 / (\rho_l - \rho_v) g}$ $N_k = p / [\sigma_1 g (\rho_l - \rho_v)]^{0,5}$						
	Blatt ve Adt (1963)	C_{sf} = cidar ile sıvı ikilisine bağlı sabit <i>Soğutucu akışkan Paslanmaz çelik Bakır</i> <table border="1"> <tr> <td>R-11</td> <td>0,016</td> <td>0,022</td> </tr> <tr> <td>R-113</td> <td>0,09</td> <td>0,013</td> </tr> </table>	R-11	0,016	0,022	R-113	0,09	0,013
R-11	0,016	0,022						
R-113	0,09	0,013						
	Jakop (1949, 957)	$C_k = 7,0.10^{-4}$, $m = 0,7$, $n = 0$ $C_k = 4,37.10^{-3}$, $m = 0,95$, $n = 1/3$						
k ısı akısı	Kutateladze (1951)	$\frac{q/A}{\rho_v h_{fg}} \left[\frac{\rho^2 v}{\sigma_1 g (\rho_l - \rho_v)} \right]^{0,25} = K$ (7)						
	Zuber ve ark. (1962)	Bir çok sıvı için K değeri, 0,12 ile 0,16 arasında değişir. 0,13 değeri önerilir.						
atay levhada film kaynamasında minimum ısı akısı	Zuber (1959)	$\frac{q/A}{\rho_v h_{fg}} \left[\frac{(\rho_l + \rho_v)^2}{\sigma_1 g (\rho_l - \rho_v)} \right]^{0,25} = 0,09$ (8)						
atay silindirler	Lienhard ve Wong (1963)	$\frac{q/A}{\rho_v h_{fg}} \left[\frac{(\rho_l + \rho_v)^2}{\sigma_1 g (\rho_l - \rho_v)} \right]^{0,25} = 0,114 \frac{\left[\frac{2\sigma_1}{g(\rho_l - \rho_v) D^2} \right]^{0,5}}{\left[1 + \frac{2\sigma_1}{g(\rho_l - \rho_v) D^2} \right]^{0,25}}$ (9)						
atay levhadan film kaynaması halinde minimum sıcaklık farkı	Berenson (1961)	$(t_w - t_{sat}) = 0,127 \frac{\rho_v h_{fg}}{k_v} \left[\frac{g(\rho_l - \rho_v)}{\rho_l + \rho_v} \right]^{2/3} \left[\frac{\sigma_1}{g(\rho_l - \rho_v)} \right]^{0,5} \left[\frac{\mu_v}{\rho_l - \rho_v} \right]^{1/3}$ (10)						
atay levhadan film kaynaması	Berenson (1961)	$h = 0,425 \left[\frac{k_v^3 \rho_v h_{fg} g (\rho_l - \rho_v)}{\mu_v (t_w - t_{sat}) \sqrt{\phi_1 / g (\rho_l - \rho_v)}} \right]^{0,25}$ (11)						
atay silindirden film kaynaması	Anderson ve ark. (1966)	$h = 0,62 \left[\frac{k_v^3 \rho_v g (\rho_l - \rho_v) h_{fg}}{D \mu_v (t_w - t_{sat})} \right]^{0,25}$ (12)						
bu etkisi	Anderson ve ark. (1966)	$h'_{fg} = h_{fg} \left[1 + 0,4 c_p \frac{t_w - t_b}{h_{fg}} \right]$ konulur						
bu çapının ve yüzey geriliminin etkisi	Breen ve Westwater (1962)	$\Lambda / D < 0,8$ için $h(\Lambda)^{0,25} / F = 0,60$ (13) $0,8 < \Lambda / D < 8$ için $h D^{0,25} / F = 0,62$ (14) $8 < \Lambda / D$ için $h(\Lambda)^{0,25} / F = 0,016 (\Lambda D)^{0,83}$ (15) Burada $\Lambda = 2\pi [\sigma_1 / g (\rho_l - \rho_v)]^{0,25}$ $F = [\rho_v h_{fg} g (\rho_l - \rho_v) k_v^3 / \mu_v (t_w - t_{sat})]^{0,25}$						
bu film	Frederking ve Clark (1962)	$Ra > 5.10^7$ için $Nu = 0,15 (Ra)^{1/2}$ (16)						
		a : yerel ivme $Ra = \left[\frac{D^3 g (\rho_l - \rho_v)}{v^2 \rho_v} \left(\frac{c_p \mu}{k} \right) \left(\frac{h_{fg}}{c_p (t_w - t_{sat})} + 0,4 \right) \frac{a}{g} \right]^{1/3}$						

Tablo 2 Borular içinde zorlanmış ısı taşınımında buharlaşmaya ait bağıntılar.

Bağıntılar	No	Açıklamalar ve kaynaklar
Borular değerine göre, h katsayısının değişimleri, olarak Şek.8'de verilmiştir. Burada $= w h_g (1 + x)/2$		İç çapı 14,6 mm, 10 m uzunluğundaki bakır boru içindeki R-12 soğutucu akışkanının 4,4°C sıcaklığında buharlaşmasında, ortalama katsayılar; Şek.4'de diğer çaplar için elde edilen eğriler, h katsayısının, boru çapının karesi ile ters orantılı olduğu kabul edilerek bulunmuştur (Ashley 1942).
değerine göre, h katsayısının değişimleri, olarak Şek.9'da verilmiştir. Burada çıkan buharın kuruluk decesi	(1)	İç çapı 16,9 mm, boyu 2290 mm uzunluğundaki bakır boru içindeki R-12 soğutucu akışkanının 4,4°C sıcaklığında buharlaşmasında, ortalama katsayılar. Buhar kuruluk decesi %20 değerinden %100'e kadar değişmektedir. Ortalama katsayılar, buhar kuruluk decesinin 0,20 (veya 0,10) değeri için çizilmiştir. Aynı ısı akılarında, buharın daha büyük kuruluk derecelerinde, ortalama katsayıların bulunması için eğriler integre edilmelidir (Anderson ve ark. 1966). İç çaplar 12,0 ve 18,0 mm, boyları 4,1 ila 9,5 m arasında değişen bakır borular içindeki R-12 ve R-22 soğutucu akışkanlarının - 20 ila 0°C sıcaklıklarındaki buharlaşmalarında, ortalama katsayılar. Buhar kuruluk decesi 0,08 değerinden, 6°C kızgın değere kadar değişmektedir (Pierre 1955, 1957).
çıkan buharın kuruluk derecesi 0,90'dan ise: $c_1 = 0,0009$, $n = 0,5$; an buharın 5°C kızgın olması halinde: 0082, $n = 0,4$		İç çapı 8,7 mm, boyu 2,4 m uzunluğundaki bakır boru içindeki R-22 soğutucu akışkanının 4,4 ila 26,7 °C sıcaklıkları arasındaki buharlaşmasında, ortalama katsayılar. Katsayılar buhar kuruluk decesinin yaklaşık %15 değişimi için tayin edilmiştir. Aralık $x = 0,20$ ila kızgın bölgede incelemiştir (Altman ve ark. 1960b).
ık(1) ile verilen Pierre'nin bağıntısında: 0225, $n = 0,375$ alınacaktır.	(2)	İç çapı 18,6 mm, boyu 305 mm uzunluğundaki boru içindeki R-12 ve R-22 soğutucu akışkanlarının 23,9 ila 32,2 °C arasındaki doyma sıcaklıklarında buharlaşmada yerel katsayılar. Halkasal akıştan sisli akışa geçiş oluşmuştur ve sisli akış rejimi için ısı taşınım katsayısı verilmektedir (Lawin ve Young 1964).
$c_2 h_1 \left(\frac{1+x}{1-x} \right)^{1,16} \left(\frac{q}{G h_{fg}} \right)^{0,1} \quad c_2 = 6,59$	(2)	
$\frac{0,023 k_1}{d} \left[\frac{DG(1-x)}{\mu_1} \right]^{0,8} (Pr)^{0,4}$	(3)	
$1,85 h_L \left[B_o \times 10^4 + (1/X_n)^{0,67} \right]^{0,6}$	(4)	İç çapı 11,7 mm, boyu 1934 mm uzunluğundaki paslanmaz çelik borunun içindeki R-12 ve R-12 soğutucu akışkanlarının 11,7 °C sıcaklığında, boru cidarından düzgün ısı akısı (elektrik ile ısıtma) halindeki buharlaşmada yerel katsayılar. Buhar kuruluk decesi 0,20 ila 0,88 arasındadır. Denk.(4), Schrock ve Grossman'ın düşey borulardaki buharlaşma için verdiği, Denk.(10)'un değiştirilmiş halidir (Chaddock ve Noerager 1966).
$= q / G h_{fg}$	(5)	
$= \frac{0,023 k_1}{d} \left(\frac{DG}{\mu_1} \right)^{0,8} (Pr)^{0,4}$	(6)	
$= \left(\frac{1-x}{x} \right)^{0,9} \left(\frac{\rho_v}{\rho_l} \right)^{0,5} \left(\frac{\mu_l}{\mu_v} \right)^{0,1}$	(7)	
Borular $3,4 h_1 (1/X_n)^{0,45}$	(8)	Denk.(8) ve (9), düşey borular içinde yukarı doğru akışlar halinde deneysel bulgular ile iyi bir uyum içindedir. Her iki bağıntı, çekirdekli kaynamanın ortadan kalkmış olduğu bölgedeki zorlanmış akış için geçerlidir. (Guerrieri ve Talty 1956, Dengker ve Addoms 1956). Çekirdekli kaynamanın olduğu durumlarda ilave bir çarpan önerilmektedir.
$3,5 h_L (1/X_n)^{0,5}$	(9)	
h_1 Denk.(3)'den; X_n Denk.(7)'den; ık.(6)'dan alınacaktır.		
$0,74 h_L \left[B_o \times 10^4 + (1/X_n)^{0,67} \right]$	(10)	İç çapı 3,0 ila 11,0 mm, boyu 380 ila 1020 mm arasındakidüşey borularda suyun yukarı doğru akması durumunda yerel katsayılar. B_o kaynama katsayısı, çekirdekli kaynama etlisini, X_n Martinelli parametresi ise zorlanmış akış etkisini gözönüne almaktadır (Schrock ve Grossman 1962).
B_o Denk.(5)'den; X_n Denk.(7)'den; ık.(6)'dan alınacaktır.		
$h_{mic} + h_{mac}$	(11)	Chen bu bağıntıda, h_{mic} ile gösterilen çekirdekli kaynama mekanizması ile h_{mac} ile gösterilen taşınım transfer mekanizmasının toplamı olduğunu göstermiştir. Martinelli, h_{mac} değerinin iki fazlı akışta Reynolds sayısının bir fonksiyonu olduğunu, h_{mic} ise Foster ve Zuber (1965)'in çekirdekli kaynama bağıntısından bulunabilmektedir.
$h_{mac} = h_1 F_c$	(12)	
$h_{mic} = 0,00122 (S_c)(E)(\Delta t)^{0,24} (\Delta p)^{0,75}$	(13)	
katsayıları, Şek.10 ve 11'den		
$F_c = \frac{k_f^{0,79} (c_p)^{0,45} \rho_l^{0,49} g_c^{0,25}}{\sigma_l^{0,50} \mu_l^{0,29} h_{fg}^{0,24} \rho_v^{0,24}}$	(14)	Gerekli açıklama için Denk.(2)'ye bkz. Dikkat edilirse, düşey düzenleme halinde c_2 katsayısı, 6,59 yerine 3,79 alınmıştır. Her iki düzenlemede de aynı deney tesisatı kullanılmıştır (Lavin ve Young 1964).
1)'du $c_2 = 3,79$ alınacaktır.		

ayutsuz denklemler ve sayılar dışındaki ifadelerde, Btu , lb_m , h , ft , $^{\circ}F$ birimleri kullanılacaktır.

Tablo 3 Film tipi yoğuşma halinde ısı taşınım katsayıları ($t_f = \text{sıvı film sıcaklığı} = t_{\text{doğ}} - 0,75 \Delta t$).

lama	Kaynaklar	Bağıntı
<i>iksekliğinde düşey yüzeyler</i>		
niner yoğuşma, $Re = 4 w / \mu_f < 1800$	McAdams (1954)	$h = 1,13 F_1 (h_{fg} / L \Delta t)^{0,25}$ (1)
	McAdams (1954)	$h = 1,11 F_2 (b / w_f)^{1/3}$ (2)
	Grigull (1952)	$h = 0,003 (F_1)^2 (\Delta t L / \mu_f^2 h_{fg})^{0,5}$ (3)
bülanslı yoğuşma, $Re = 4 w / \mu_f > 1800$	McAdams (1954)	$h = 0,0077 F_2 (Re)^{0,4} (1 / \mu_f)^{1/3}$ (4)
<i>yunda, N adet sıralı yatay borular dışında r akış</i>		
	McAdams (1954)	$h = 0,79 F_1 (h_{fg} / N d \Delta t)^{0,25}$ (5)
	McAdams (1954)	$h = 1,05 F_2 (L / w_f)^{1/3}$ (6)
natlı borular	Beatty ve Katz (1948)	$h = 0,689 F_1 (h_{fg} / \Delta t D_e)^{0,25}$ (7)
	burada ;	$\frac{1}{(D_e)^{0,25}} = 1,30 \frac{A_s \phi}{A_{ef} (L_{mf})^{0,25}} + \frac{A_p}{A_{ef} (D)^{0,25}}$ $A_{ef} = A_{s\phi} + A_p$ ve $L_{mf} = a_f / D_o$
<i>uharı için basitleştirilmiş bağıntılar</i>		
şey boru dışı, $Re = 4 w / \mu_f < 2100$	McAdams (1954)	$h = 4000 / (L)^{0,25} (\Delta t)^{1/3}$ (8)
tay boru dışı, $Re = 4 w / \mu_f < 1800$	McAdams (1954)	$h = 3100 / (d')^{0,25} (\Delta t)^{1/3}$ (9a)
Çok boru		$h = 3100 / (N d')^{0,25} (\Delta t)^{1/3}$ (9b)
ey boru içi	Carpenter ve Colburn (1949)	$h = 0,065 \left(\frac{c_p k_f \rho_f f'}{2 \mu_f \rho_v} \right)$ (10)
<i>y boru içi</i>		
$< 5000 ; 1000 < \frac{DG_v (\rho_l)}{\mu_l (\rho_v)}^{0,5} < 20000$	Ackers ve Rosson (1960)	$\frac{hD}{k_l} = 13,8 \left(\frac{c_p \mu_l}{k_l} \right)^{1/3} \left(\frac{h_{fg}}{c_p \Delta t} \right)^{1/6} \left[\frac{DG_v (\rho_l)}{\mu_l (\rho_v)}^{0,5} \right]^{0,2}$ (11)
$< 5000 ; 20000 < \frac{DG_v (\rho_l)}{\mu_l (\rho_v)}^{0,5} < 100000$	Ackers ve Rosson (1960)	$\frac{hD}{k_l} = 0,1 \left(\frac{c_p \mu_l}{k_l} \right)^{1/3} \left(\frac{h_{fg}}{c_p \Delta t} \right)^{1/6} \left[\frac{DG_v (\rho_l)}{\mu_l (\rho_v)}^{0,5} \right]^{2/3}$ (12)
$> 5000 ; \frac{DG_v (\rho_l)}{\mu_l (\rho_v)}^{0,5} > 20000$	Ackers ve ark. (1959)	$\frac{hD}{k_l} = 0,026 \left(\frac{c_p \mu_l}{k_l} \right)^{1/3} \left(\frac{DG_E}{\mu_l} \right)^{0,8}$ (13)
		burada; $G_E = G_v (\rho_l / \rho_v)^{0,5} + G_l$ (13a)
	Altman ve ark. (1960a)	$h = 0,057 \left(\frac{c_p k_f \rho_f}{\mu_f} \right)^{0,5} F^{0,5}$ (14)
		burada; $F = \Delta p_{TPP} \left(\frac{g_o D}{4L} \right)$
	Foster ve Zuber (1955)	$\Delta p_{TPP} = \text{iki fazlı akışta sürtünmeden olan basınç düşümü}$

Denk.(1)'den (10)'a kadar ve Denk.(14) bağıntıları boyutlu olup, bunlarda Btu , h , f , $^{\circ}F$ ve lb_m birimleri kullanılmalıdır.

KAYNAKLAR

ANONİM, 1981. İçme Suyu Artılmasında Birim İşlemler, İller Bankası, No:21, Kaynak Suları Yönetmeliği, İstanbul, 216s.

ANONİM, 1985. Desalting Plants Inventory Report, No8, 360s.

ANONİM, 1991-92. Der Fischer Öko Almanach 91-92.

ANONİM, 1992. "Ebbe in der Wasserkasse" in Energie, Nr:12, Jahrg. 9-44, Deutschland, 163s.

ANONİM, 1993. Fischer Weltalmanach 93.

ARDEN, T.V., 1973. Wasserreinigung durch Ionenaustausch. Vulkan – Verlag, Essen.

ASHRAE, 1993. Ashrae TC 1.3 Heat Transfer and Fluid Flow, Çeviren Prof.Dr. Osman F. Genceli (I.T.U) Tesisat Mühendisleri Derneği,s.67-85, Ankara.

BIOR, H., 1992. Der Standart, 13. Jun.,Gazete no:237,s.11-12, Wien.

BILLET, R., 1981, Verdampfung und Ihre Technischen Anwendungen, Verlag Chemie, Weinheim, 316s.

CEBRAT, G., 1984. Wasser ein Element und seine Ver(sch)wendung, Graz.

DEGUIRE, H., SUZEL, G., 1992. World Media, in Der Standart,Gazete no:189, s.6 Wien.

DENGLER, H., 1980. Umkehrosmose im Kraftwerk, Hager&Elsässer GmbH. Böblingen.

DER STANDART, 1992. 27-28. Mai. APA/dpa,Gazete no:310, s.9, Wien.

DER STANDART, 1994. 07. Jan., Gazete no:95, Wien.

ERTL, D., 1974 Chem. Ind. 912s.

HARTINGER, L., 1976. Taschenbuch der Abwasserbehandlung für die metallverarbeitende Industrie. 1. Auflage. Bd. 1.Chemie. Carl Hanser Verlag Mütnih – Wien, 673s.

HARTINGER, L., 1977. Taschenbuch der Abwasserbehandlung für die metallverarbeitende Industrie. 1. Auflage. Bd. 2.Chemie. Carl Hanser Verlag Mütnih – Wien, 534s.

JANISCH, E., 1994. Drechsler GATE, Solare Meerwasserentsalzung, Deutschland, 270s.

KÜHNE, G., 1973. Praxis der Ionen-austauscher in der Trinkwasseraufbereitung, Bayer,Leverkuzen 1973.

KUNZEL, 1989. Solarunterstützte Meerwasserentsalzung, Stand der Technik.

MARQUARDT, K., 1977. Physikalische Verfahren zur Trinkwasseraufbereitung und ihre Grenzen. Hager&Elsässer GmbH. Stuttgart,156s.

MARQUARDT, K., 1979. Aufbereitungvon Oberflächen – Brack- und Meerwasser zu Trinkwasser mit mobilen Aufbereitungsanlagen. Hager&Elsässer GmbH. Stuttgart. 249s.

- MARQUARDT, K., 1980. Spezielle Verfahrenstechniken. Sonderdruck aus DVGW-Schriftenreihe Wasser, Wasseraufbereitungstechnik für Ingenieure. Stuttgart, 217s.
- MARQUARDT, K., 1988. Erzeugung von Reinwasser II, Neue Techniken und Verfahren für hohe und höchste Ansprüche. Hrsg. W.J. Bartz. Kontakt & Studium Bd. 72 Meß – und Prüftechnik., Expert Verlag: Ehningen bei Böblingen, 114s.
- MARQUARDT, K., und LUDWIG, H., 1977. Entsalzung von Brack und Meerwasser mit Umkehrosmose – Kompaktmoduln. Hager&Elsässer GmbH. Düsseldorf, 361s.
- OLFERD, K., 1977. Investition, Kompendium
- PORTEOUS, A., 1975. Saline water distillation processes, Longman Group Limited, London, 198s.
- SCHEIBER, G. ve HOLZINGER, D.O., 1991. Filmdokumentation “Die Wüste greift nach Europa - Ein Spanisches Drama”, ORF, Belgesel program, Wien.
- SIEGERS, G. und WUTTE, G., Liftbett- und Rinsebett- Verfahren, neuartige Ionenaustauscher – Technologien. Bayer. Leverkusen, 287s.
- STARR, J., 1992. Der Standart ,22. Mai., Gazete no:37, Wien.
- WALDMAN, M., ELLIOT, M., 1992. BBC- Filmdokumentation, “Bis zum letzten Tropfen- Wasserkrieg im Nahen Osten, Belgesel program, London.
- WOLFSOHN, M., 1991. Die Saat, Nr: 15-16 Dezember, Haftahk dergi no:12, Wien.

TEŞEKKÜR

Öncelikle danışmanım Prof. Dr. Sayın Muhiddin Can'a, Prof. Dr. Sayın Recep Yamankaradeniz'e ve bölümdeki tüm hocalarıma teşekkür etmek istiyorum.

Tezimi hazırlamamda destek ve yardımlarını esirgemeyen Araştırma Görevlisi arkadaşım Sertaç Duman'a, bilgisayar programlarının yazımında çok büyük katkısı olan arkadaşım Melih Ayal'a ve moral katkılarından dolayı arkadaşım Rasim Akbal'a ayrıca çok çok teşekkür ediyorum.



ÖZGEÇMİŞ

1972 yılında Iğdır'da doğdu. 1989 yılında Uludağ Üniversitesi Balıkesir Mühendislik Fakültesinde Makina Mühendisliği eğitime başladı. 1993 yılında mezun olduktan hemen sonra Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde yüksek lisans eğitime başladı. Halen eğitime devam etmek maksadı ile yurt dışında bulunmaktadır.

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MÜHÜRÜ