

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÜNEŞ ENERJİSİ YARDIMI İLE TATLI SU
ÜRETİM SİSTEMLERİNİN İRDELENMESİ

79238

Makina Mühendisi Ufuk BAYAM

F.B.E. Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Enerji Makinaları Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Y.Doç.Dr.Recep ÖZTÜRK

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Enerji Makinaları Programı

Doç.Dr. S. İsmail BEKDEMİR

İSTANBUL, 1998

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
SİMGE LİSTESİ	v
KISALTIMA LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ÖNSÖZ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ	1
2. TATLI SU KAYNAKLARI	4
2.1. Yeraltı ve Kaynak Suları	4
2.2. Yeryüzü Suları	4
2.2.1. Nehir suları	5
2.2.2. Göl suları	5
2.2.3. Baraj suları	5
3. TUZLU SUDAN TATLI SU ÜRETİMİ	6
3.1. Tuzlu Su Kaynakları	9
3.1.1. Deniz suyu	9
3.1.2. Acı su	9
3.2. Tuz Ayırma Tesisleri İçin Materyaller	10
3.3. Tuz Ayırma Tesislerinin Genel Özellikleri	12
3.3.1. Deniz suyunun dönüşümü	13
3.3.2. Acı suyun dönüşümü	14

4. TUZLU SUDAN TATLI SU ÜRETİM YÖNTEMLERİ.....	16
4.1. Buharlaştırma.....	16
4.1.1. Güneş ile buharlaştırma.....	16
4.1.1.1. Okyanusun güneş ısı ile buharlaştırılması	18
4.1.2. Kaynama ve yoğunlaştırma yüzeyli buharlaştırıcılar	19
4.1.3. Multiflash buharlaştırma (Çok fazlı ani proses), (MSF)	22
4.1.3.1. MSF'nin tuzlu su ısıtıcılarında buharlaştırma: Yarım safhalı buharlar	26
4.1.3.2. Kontrollü ani ısıtma buharlaştırması (CFE).....	27
4.1.3.3. Çoklu ani buharlaştırma: Buharın yeniden ısıtılması prosesi (VR)	34
4.1.3.4. Buharın absorpsiyonu	36
4.2. Ters Ozmoz.....	37
4.2.1. Ozmotik basınç.....	37
4.2.2. Zar performansı.....	39
4.2.3. Zarların fiziksel ve kimyasal yapısı	39
4.2.4. Ters ozmozun (RO'nun) kullanımı	41
4.2.5. Tuz giderilmesinde ters ozmozun kullanımı	41
4.2.5.1. Yarı geçirgen zarlar ve modüller	41
4.2.6. Ters ozmoz (RO) problemleri	43
4.3. Dondurma	43
4.3.1. Soğutucu olarak su buharı	45
4.3.2. Direkt temaslı soğutucular	46
4.3.3. Basınçlı dondurma prosesi	46
4.3.4. Hidrate donma prosesleri	47
4.4. Elektrodializ	47
4.5. İyon Değişimi	49
4.6. Ekstraksiyon (Ayrıştırma).....	50
5. TUZ AYIRMA TESİSLERİNDE GENEL MALİYETLER.....	52
5.1. Acı su.....	52
5.2. Deniz Suyu.....	54
5.3. Yükleme Faktörünün Maliyet Üzerine Etkisi.....	55

6. GÜNEŞ ENERJİSİ YARDIMI İLE TATLI SU ÜRETİMİ ve KULLANILAN SİSTEMLER.....	57
6.1. Direkt Toplama Sistemleri	61
6.2. Endirekt Toplama Sistemleri.....	63
6.2.1. Çok fazlı ani proses (MSF)	64
6.2.2. Çok etkili kaynama prosesi (MEB).....	66
6.2.3. Buhar sıkıştırma prosesi (VC)	68
6.2.4. Ters ozmoz (RO).....	70
6.2.5. Proses seçimi	71
7. SONUÇLAR.....	77
KAYNAKLAR.....	79
ÖZGEÇMİŞ	80

SİMGE LİSTESİ

Δt Yüzeyler arası sıcaklık farkı

ΔT Isı akım oranı

u Isı transfer katsayısı



KISALTMA LİSTESİ

CFE	Controlled Final Evaporation
ED	Electrodialysis
ER-RO	RO With Energy Recovery
gpd	Gallon Per Day
IE	Ion Exchange
İSİGM	İstanbul Sular İdaresi Genel Müdürlüğü
LTV	Long Tube Vertical
MEB	Multiple Effect Boiling
MES	Multi Effect Shaft
MSF	Multi-Stage-Flash
OSW	Office of Salt Water
ppm	Parts Per million
PR	Performance Ratio
RO	Reverse Osmosis
TDS	Total Dissolved Solids
VC	Vapor Compression
VR	Vaporization Repeat

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 4.1. Uzun tüp dikey (LTV) buharlaştırma prosesinin basitleştirilmiş diyagramı.....	21
Şekil 4.2. Çok basamaklı flash buharlaştırıcı.....	23
Şekil 4.3. Milyon gpd'lik bir tuz giderme tesisi	25
Şekil 4.4. Kontrollü ani ısıtma buharlaşması (CFE)	28
Şekil 4.5. Kontrollü ani ısıtma buharlaştırması (CFE).....	29
Şekil 4.6. CFE: İki basamaktaki ani ısıtma düzlemleri ve yoğunlaştırıcılar	31
Şekil 4.7. CFE-3 milyon gpd kapasiteli basamaklı tesis modülleri.....	32
Şekil 4.8. Kontrollü ani ısı tesisi.....	33
Şekil 4.9. Buharın yeniden ısıtıldığı MSF buharlaşması.....	34
Şekil 4.10. Absorpsiyonla buharın yeniden sıkıştırılması ile yeniden buharlaşması	37
Şekil 4.11. Ters ozmoz prosesi prensibi	38
Şekil 4.12. İki başlıca tip zar yapısı	40
Şekil 4.13. Spiral sarmal ters ozmoz modülü	42
Şekil 4.14. Lif şeklindeki ters ozmoz modülü.....	42
Şekil 4.15. Zarchin Colt dondurma prosesi	45
Şekil 4.16. Elektrodializ zarlarında temel iyon ve su akışı.....	48
Şekil 5.1. Gpd başına dolar olarak toplam yatırım maliyeti (ED acı su tesis için).....	53
Şekil 5.2. Bin galon başına cent olarak toplam su maliyeti.....	53
Şekil 5.3. Çok aşamalı flash destilasyon tesis maliyetleri (buhar üretim aletlerini kapsamamaktadır)	54
Şekil 6.1. J.P. Coftey'in düşey bir tüp içinde gerçekleştirdiği damıtma sistemi	58
Şekil 6.2. Güneşten gelen enerjinin atmosfere girdikten sonra kısımlara ayrılışını gösteren Sanky diyagramı	59
Şekil 6.3. Solar tipte sistemin şeması	62
Şekil 6.4. Solar tiplerinin ana dizaynları	62
Şekil 6.5. MSF sisteminin çalışma prensibi.....	64
Şekil 6.6. MSF prosesi tesisi.....	65

Şekil 6.7. MEB sisteminin çalışma prensibi.....	66
Şekil 6.8. Uzun dikey tüp (LTV) MEB tesisi.....	67
Şekil 6.9. Buhar sıkıştırma sisteminin çalışma prensibi.....	69
Şekil 6.10. Bir RO sisteminin çalışma prensibi.....	70
Şekil 6.11. MES buharlaştırıcısının şeması.....	75



ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 5.1. Değişik yükleme faktörlerinin toplam su maliyetine etkisi (3 mgd'lik ED tesisi için).....	56
Çizelge 6.1. Desalinasyon sistemlerinin enerji tüketimleri	72
Çizelge 6.2. Desalinasyon sistemlerinin karşılaştırılması	73



ÖNSÖZ

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

İnsan yaşamı için gerekli olan temiz su kaynakları, hızlı endüstrileşme ve nüfus artışı nedeniyle hızla azalmaktadır. Temiz su elde edebilmek için dünyanın dörtte üçünü kaplayan denizlerden faydalanılması, gelecekte kaynak sıkıntısının çekilmesini önleyecektir. Deniz suyundan tatlı su eldesinde kullanılan çeşitli yöntemler vardır ve birçok ülke de bundan istifade yoluna gitmiştir. Özellikle, güneş enerjisi ile deniz suyundan tatlı su eldesi en önemli teknolojik gelişimlerden biridir. Böylece doğanın koşullarından en iyi şekilde yararlanılmaya çalışılmaktadır.

Bana güneş enerjisi ile tatlı su eldesi konusunu öneren, destekleyen ve yardımlarını esirgemeyen sayın hocam Y.Doç.Dr.Recep ÖZTÜRK'e ve yine yaptığı büyük yardımlardan dolayı Prof.Dr.E.Durul ÖREN'e teşekkürü bir borç bilirim.

ÖZET

Su ihtiyacının giderek arttığı dünyamızda, tatlı su eldesi için yeni sistemler geliştirilmesi kaçınılmazdır. İnsanlar yüzyıllardır nehir, göl, deniz gibi su kaynaklarının yakınlarında yaşamayı ve böylece su problemlerini çözümlenmeyi tercih etmişlerdir. Günümüz için bu çözüm yeterli değildir. Çünkü dünya nüfusunun hızla artması doğal su kaynaklarını hızla tüketmiş ve yetersiz hale getirmiştir. Ayrıca, nüfus artışı, kontrolsüz sanayileşme ve getirdiği çevre kirliliği ile zaten az olan su kaynaklarının kirlenmesi ve kullanılmaz hale gelmesi de su sıkıntısını arttırmıştır. Bilim adamları miktar olarak daha çok olan tuzlu deniz suyundan tatlı su elde etme yollarını aramaktadırlar. Tükenebilir enerji kaynakları kullanan değişik tipte tuz arıtma sistemleri geliştirilmektedir. Ancak kullanılan enerji kaynaklarının yeryüzünde kıt olması yeni enerji kaynaklarının arayışını kaçınılmaz hale getirmiştir.

Bu çalışmada öncelikle tatlı su kaynakları hakkında yerel bir bilgi verilmiştir. Daha sonra deniz suyundan tatlı su eldesi için geliştirilmekte ve kullanılmakta olan yöntemler avantaj ve dezavantajları ile incelenmiştir. Buharlaştırma, ters ozmoz, dondurma, elektrodiyaliz vb. yöntemlere detaylı olarak değinilmiştir. Genel maliyetler hakkında bilgi verildikten sonra özellikle güneş enerjisinin yardımı ile tatlı su eldesi yöntemleri ele alınmıştır. Yapılan incelemeler sonucu proses seçimi ile ilgili yöntemler ve bilgiler değerlendirilmiştir. Güç tüketimi, deniz suyu gerekli özellikleri, maliyet ve ticari açıdan, değişik güneş enerjili tatlı su eldesi sistemleri analiz edilmiştir. Yüksek proses yeterliliği, düşük ekipman maliyeti ve deniz suyunun basit işlemine bağlı olarak çok etkili kaynama prosesi (MEB) ve bilhassa çok etkili baca (MES) tipinin güneş enerjisi ile çalışması en iyi metod olarak gözükmektedir.

ABSTRACT

In a world suffering from lack of water, it is impossible to avoid searching new systems for new water sources. For centuries, human beings tried to solve their water problem with great effort, by accommodating near lakes, sea etc. When we think of today's conditions this is not a solution. Population of the world is increasing and natural water sources are being consumed with an increasing demand. In addition to that, irregular industrial development and pollution of environment destroy the present clean, pure water sources. Scientists try to search new technologies for desalination of sea water, since it is the biggest water source. Technologies are being developed for desalination of sea water with integrated systems consuming fossil fuel. When we consider the fact that this kind of fuel comes to an end, a new exploration for a permanent solution is urgently required. Sun and sea water are two major natural sources on our world.

In this research firstly ; information about water sources is given, generally. Then the different methods of sea water desalination is explained with advantages and disadvantages. Vaporization, reverse osmosis and electrodialysis are some examples for that. Their costs are being compared and finally desalination of sea water with solar energy and different methods for that are searched. When we refer to this research, it helps us for process selection. Various types of solar desalination systems are analyzed with respect to power consumption, sea water treatment requirement, cost and commercial readiness. The multi effect boiling (MEB) process and, in particular, the multiple-effect stack type seem to be the best procedures for operation with solar energy due to high process efficiency, low equipment cost, and simple required sea water treatment.

1. GİRİŞ

İnsan yaşamı için vazgeçilmez bir madde olan su, uygarlığın da temel maddesidir Tarih boyunca tüm uygarlıklar suya dayanmaktadırlar. İnsan, varlığını devam ettirebilmesi için içme ve kullanma ihtiyacı kadar suyu temin etmek zorundadır. Yerleşme merkezlerinin daha çok su kenarlarında kurulmuş olmasının nedeni de budur. Eski Roma, Bizans ve Osmanlılar'dan kalma su tesisleri ve hamamlar suyun önemini vurgulayan önemli eserlerdir.

Yeryüzünün % 75'ini, insan vücudunun % 70'ini, kanın yaklaşık % 78'ini kapsayan suyun, başta insanların biyolojik ihtiyacını karşılamak üzere sulama, yıkama, ulaşım, çeşitli endüstri dalları için çözücü, buhar ve elektrik enerjisi üretimi gibi pekçok kullanılma alanları vardır.

Yeryüzündeki karaların % 60'ı kurak veya yarı kuraktır. Dağlık alanlar ve buzlarla kaplı kutuplar, insanoğlunun yaşaması için ve tarım için geriye yalnızca küçük bir alan bırakırlar. Elverişli alanlar: Endüstri, yol, havaalanı gibi amaçlarla kullanılırlar. Yaşam ve endüstri için kullanılan alanlarda suya tarım alanlarından daha çok ihtiyaç duyulur. Kişi başına su tüketimi ülkemiz için 1985 yılında 80-100 litre/gün olarak verilmiştir. Ancak uygarlık ve kültür düzeyinin yükselmesi ile su kullanımını da artmaktadır. Bugün ülkemizde ortalama kişi başına günlük su tüketimi 200 litre alınarak hesaplamalar yapılmaktadır. Gelişmiş Batı ülkelerinde bu rakam 300-350 litreye yükselmektedir. Özetle kişi başına su tüketimi gelişmişlik oranı ile paralellik gösterir. Nüfus ve endüstrideki ilerlemeler, suya olan ihtiyacı katlayarak arttırır.

Yeryüzünde su; denizler, göller ve nehirler, dereler gibi akarsular halinde bulunur. Bir de bir kısmı durgun, bir kısmı da akar durumda olan yeraltı suları vardır. Dünyayı saran atmosferde su, nem adı verilen küçük damlalar, sis ve bulut halinde bulunur (Eroğlu,1984).

Dünyada 1.4×10^{18} ton su bulunmaktadır. Kişi başına 200×10^6 ton su düşmektedir. Okyanuslar dünyadaki suyun % 97'sini oluştururlar, kalan % 3 de tatlı sudur. Tatlı suyun $\frac{3}{4}$ 'ü buzullar, kalan $\frac{1}{4}$ 'ü yerüstü ve yeraltı sularıdır. Dünyadaki su miktarı petrol türevlerinin yanması sonucu yılda 5 milyon ton artmaktadır (Eroğlu,1984).

Yeryüzündeki suyun % 97'sini oluşturan okyanuslar için önemli husus, bu suyun % 2'den fazlasının kutuplarda buz halinde bulunmasıdır. Dünyadaki tatlı suyun % 75'ten fazlası ise buzdur (İSİGM,1973).

Bütün dünyadaki hızlı sanayi gelişimi ve nüfus patlaması, taze su talebinin fazlaca yükselmesine sebep olmuştur. Buna ilaveten, sanayi atıkları büyük miktarda lağım boşaltılmasıyla nehirlerin ve göllerin kirlenme problemi vardır. Küresel ölçüde, tabii su kaynaklarının insanoğlu tarafından kirletilmesi taze su eksikliğinin tek ve en büyük sebebidir. Hemen hiç tüketilmeyen su kaynakları yalnızca okyanuslardır. Yeryüzündeki suyun da büyük bölümünü oluşturmaları, okyanusların önemini bir kat daha arttırmaktadır. Bu suyun tuzunu çıkarıp kullanılabilir hale getirerek su eksikliği problemiyle başetmek çok cazip olacaktır. Bu, taze su miktarını arttırmak ve tuzların konsantrasyonunu 500 ppm (milyonda bir partikül) civarına indirmek için acı su ile karışma durumu olabilir.

Deniz suyunun tuzunun çıkarılıp, kullanılır hale getirilmesi değişik tekniklerle yapılabilmektedir. Bu teknikler birbirlerine göre farklılık göstermektedir. Güneş enerjisi ile tuz arıtma işlemi yani tatlı su eldesi mümkün olduğu gibi fosil yakıtlardan elde edilen termik enerji ile de mümkündür.

Deniz suyundan, tuzun ayrılma işlemleri önemli miktarlarda enerji gerektirir. Deniz tuzunu arıtmaya yatırım yapmak ve aletleri çalıştırmak için Ortadoğuda birçok ülkenin petrol geliri nedeniyle yeterli parası vardır. Dünyanın diğer birçok bölgesindeki insanların ise ne nakit parası ne de petrol kaynakları mevcuttur. Morris ve Hanburg'e göre, 1990'da tuz arıtma sistemlerinin tesis kapasitesi 13×10^6 m³/gün vardı ki bunun 2000 yılında iki katı olacağı beklenmektedir. Su kaynaklarının tuzdan arıtılması, kullanılan yakıt itibarıyla

problemlere sebep olmaktadır. Bu problemlerin en önemlisi enerji sarfiyatı ile ilgili olanıdır. 13×10^6 m³/gün (su) üretiminin yılda 130 milyon ton petrol gerektirdiği hesaplanmıştır. Bununla birlikte ortaya çıkan bir de çevre kirliliği problemi vardır. Geliştirilen yöntemler arasında güneş enerjisi ile tatlı su eldesi ayrı bir öneme sahiptir (Tabor,1990).

Solar desalinasyon yağmur üretmek için kullanılır ki bu olay taze su eldesi için temel kaynaktır. Deniz yüzeyine düşen solar radyasyon ısı olarak emilir ve suyun buharlaşmasına neden olur. Buhar yüzeyden yükselir ve rüzgârlarla taşınır. Bu buhar yoğuşma noktasına soğuduğu zaman, kondansasyon olur ve taze su yağmur halinde yağar. Tüm mevcut insan yapımı distilasyon sistemleri bu tabii işlemin küçük ölçüde kopyalarıdır.

Bu çalışmada tatlı su eldesi için değişik yöntemler incelenecek ve özellikle güneş enerjili sistemler avantaj ve dezavantajları ile irdelenecektir.

2. TATLI SU KAYNAKLARI

Yağmur tatlı suyun kaynağıdır. Yeryüzüne yağın yağışların bir kısmı buharlaşır, bir kısmı yeryüzünde birikir, bir kısmı da yeraltına sızar. Yer üstüne akan sular nehirleri ve gölleri teşkil ederek denizlere akarlar. Yeraltı suları ise bir zaman sonra yine ya yerüstüne kaynak olarak çıkar veya yeraltından nehirleri besler. Yerüstüne çıkış menba şeklinde veya sızıntı halinde olur.

2.1. Yeraltı ve Kaynak Suları

Yeraltı suları, yağmurların topraktan sızması, yeraltı atmosferindeki su buharının yoğunlaşması ve juvenil suyunun devreye girmesinden oluşur (Yerin tabakalarında kimyasal reaksiyon sonucu oluşan suya juvenil suyu denir).

Toprak filtre görevi gördüğünden suyun süspansiyon halindeki organik maddelerini ve mikroplarını tuttuğu gibi toprağın derinliklerinde bulunan bakterilerin faaliyeti sonucu suyun çözelti halinde bulunan bir kısım organik ve inorganik maddeleri bozunur ve bu şekilde hem süspansiyon hem de çözelti halindeki maddelerden gittikçe temizlenir. Bu yüzden kaynak suları hemen hemen mikropsuz sulardır.

Yeraltı suları yerin yüzeyine vardıklarında kaynakları oluştururlar. Bir kaynak suyunun içmeye ve kullanmaya uygun olması için sağlık bakımından saf olmalı ve yılın her mevsiminde yeterli su verebilmelidir.

2.2. Yeryüzü Suları

Yerüstü suları ırmak, nehir, göl ve baraj sularıdır. Yerüstü suları daima kirlidirler. Bu husus gözönüne alınarak temizleme tesislerinden geçirilmelidir.

2.2.1. Nehir suları

Yağan yağmurlardan, eriyen buz ve karlardan bazen de yeraltı sularından oluşurlar. Bunların bileşimi çıktığı ve geldiği arazinin cinsine, mevsimlere, yağan yağmur miktarına, içine karışan diğer şehir sularının miktar ve cinsine bağlıdır. Yazın suyun sıcaklığı yükseldikçe içinde çözünen tuz konsantrasyonu da artar.

2.2.2. Göl suları

Göl suları uzun zaman durmayla bir durulma işlemi geçirdiklerinden nehir sularına göre daha temiz ve berraktırlar. Ayrıca göl yüzeyinde, oksijen ve ışık etkisiyle kendiliğinden temizlenme olur. Derin göllerin yüzeye yakın kısmı yağmur suyuyla karıştığından derin kısımlara göre daha az tuz ihtiva eder. Az derin göllerde, hayvansal ve bitkisel organizmaların yardımıyla meydana gelen temizleme daha kolay olur. Çünkü güneş ışınları göllerin dibine kadar etki edebilir. Az derin göllerin arıtılması daha kolaydır.

2.2.3. Baraj suları

Bazı bölgelerde yeraltı ve yerüstü suları ihtiyacı karşılamaya yetmediğinden bu gibi yerlerde dağlardan gelen ırmak ve çay sularını toplamak için barajlar yapılır. Baraj suyunun niteliği üzerine, su getiren nehir suyunun bileşimi etki eder (American Water Works Association Inc.,1971).

3. TUZLU SUDAN TATLI SU ÜRETİMİ

Tuzunu ayırarak deniz suyundan veya acı sudan tatlı su üretilmesi olasılığı, tatlı su arzına yeni bir boyut getirmektedir. Bu, denize sınırı olan alanlar için su kaynağına limitsiz ve taşıma maliyeti olmayan ham madde sağlamaktadır.

Suyun, diğer materyallerden büyük farkları vardır: Ürün değeri düşüktür, fakat ihtiyaç duyulan miktar çok büyüktür. Bu yüzden ürünün birim satış fiyatına göre, tesis maliyetinin çok büyük olacağı beklenebilir. Aslında üretim ekipmanı için sermaye maliyeti diğer proses endüstrileriyle karşılaştırıldığında, büyük bir yüzde oluşturur.

Tatlı su probleminin bu yeni çözümüne büyük problemler katılır. Bu problemler, ana programın kimyasal bir değişiklikten ziyade bir ayırıştırma olduğu, ucuz veya değersiz materyallerin kimyasal, termal veya elektrik enerjisi yardımıyla değerli ürünlere çevirme işlemindeki problemlerin genişletilmişleridir.

Tuz ayırma, artan nüfusumuzun en büyük problemlerinden biri olmuştur. Su kıtlığı dünyanın az gelişmiş, fakir ve kurak iklime sahip birçok ülkesinde vardır.

Kimyagerler sudaki anlık iyonlaşmayı durdururlarsa tuzun çözülmeyeceğini ve suda çökeceğini bilmektedirler. Mühendisler, hesaba katmayı sevdikleri tersine döndürülebilen proseslerden birini çalıştırabileceklerini bilselerdi; suyu, buharlaşmanın termal maliyetinin 50'de birinden daha az maliyetle tuzdan ayırabilirdi.

Bu idealleştirilmiş kimyasal ve termodinamik kavramları gözönüne almadan, kimyagerler ve mühendisler suyun özelliklerinin ve onun tuzlu solüsyonlarının çeşitleri bazında yüzlerce proses önermişlerdir. Bunların en iyilerinin ard arda endüstrileşmesi, üretilen suyun maliyetini, 15 yıl önceki maliyetin çok küçük bir bölümüne düşürmüştür. Fark yüzdesi her yıl daha azalmaktadır. Kitaplar, yüzlerce makaleler ve patentler, her yıl araştırmalar için milyonlarca doların harcandığını belirtmektedir. Bu konuda araştırma ve

mühendislik gelişmelerinde en aktif kuruluş Amerikan İçişlerinin Tuzlu Su Ofisidir (OSW). OSW'nin yöneticisi, "Gelecek yıllarda daha iyi proseslerin olacağı doğru olabilir, fakat teknoloji en azından artan inşaat masraflarıyla başa baş gitmek için sıkı ve hızlı çalışmak zorundadır." demiştir. İnşaa masrafları her yıl % 4-6 oranında artmaktadır (Kirk ve Othmer,1970; Ed.Bipin, 1988).

Birçok proses yoluyla tuzlu sudan tatlı su elde edilebilir. Bunların ikisi:

(1) Tatlı suyun deniz suyundan ayrılarak deniz suyunun daha derişik hale getirilmesi (tuzdan su).

(2) Tuzun veya daha konsantre olan tuzlu suyun deniz suyundan ayrılmasıyla deniz suyunun kabul edilen seviyeye kadar konsantrasyonunun düşürülmesidir (sudan tuz).

Ancak, ayırma mekanizması her zaman su moleküllerinin ayrışmasından daha çok enerji gerektirir. Buharlaşmada, ayırma ile aynı oranda buhar yapmak için gizli ısı, dondurmada ise donma esnasında buz yapmak için gizli ısı vardır. Suyun tuzdan ayrılmasında gereken teorik termodinamik enerji, tuz solüsyonunun ısısından dolayı oldukça küçüktür. 35 000 ppm tuz içeren deniz suyundan başlayarak, kuru tuz üretilirse gereken enerji 4,55 m³ için 41 kWh'tır. Eğer buharlaştırma çok uzun sürmezse gerekli enerji büyük miktarda düşürülebilir. 9,1 m³ deniz suyundan 4,55 m³ tatlı su ve orijinal konsantrasyonun 2 katı tuz konsantrasyonuna sahip 4,55 m³ tatlı su üretmek için gereken enerji sadece 5.80 kWh'tır. Fakat tuz üretilmesi için bu deniz suyunun 2 katı hacmi ele alınabilirdi. Sonsuz büyük hacimde deniz suyu kullanılarak enerji ihtiyacı 4,55 m³ için 1.98 kWh'a indirilebilir. Bununla beraber, ayrıştırma gerekliliği olan pompalama ve bazı kimyasal işlemler, ham deniz suyunun ele alınmasında çok pahalı olmaktadır. İşlenen deniz suyunun miktarı düştükçe ve alınan tatlı suyun yüzdesel oranı arttıkça bu maliyetler düşer ve termodinamik ayırma maliyetleri yükselir. Verimsizliklerin ilave enerji maliyetlerindeki büyüklükler, örneğin suyun safhasındaki değişiklikler, solüsyon gücü ile değiştirilemez. Böylece ihtiyaç duyulan enerji, solüsyonun küçük ısısının değıştiğı kadar orantılı olarak değışmez.

Bu faktörleri dengelemek, deniz suyunun konsantre edilmesi için en ekonomik konsantrasyonu verir. Her üretilen su ürününe karşılık 2-3 besleme hacmi veya acı su buharlaştırıldığında 1 birim ürüne 3-8 besleme hacmi olur. Genelde acı su sınırlı miktarda mevcuttur ve konsantre edilmiş tuzlu suyun elden çıkarılması büyük problem olabilir. Bu yüzden ürünün acı su beslemesi kullanılmasıyla sınırsız denizden elde edilen su ürününden daha yüksek bir yüzdesi ve daha düşük konsantrasyon miktarı olmalıdır.

Deniz suyunda ortalama 35 000 ppm çözülmüş katı maddeler vardır. Bu oran sıcak Kızıldeniz'de daha yüksek, nehirler tarafından beslenen soğuk Karadeniz'de daha düşüktür. Bu katı maddeler kuru olarak ayrılıp geldikleri yer olan kara yığınlarına eklenirse çok büyük miktarlara ulaşırlar. En önemli 4 metal: Sodyum, magnezyum, kalsiyum, potasyum ve onların birleşmiş iyonları: Kloridler, sülfatlar, bikarbonatlar, bromidler, çok büyük miktarlarda mevcuttur. Amerika'da ve diğer ülkelerde güneşin deniz suyunu buharlaştırması ile, tortu halinde tuz meydana gelir. Tuz ayırma fabrikalarından tuzlu suyu fosforlu bileşikler ve amonyak eklenerek magnezyum çökertilebilir. Böylelikle kullanılan kimyasalların değerinden biraz daha yüksek değerde suni gübre için karışık tuz hazırlanabilir.

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

Özellikle çok endüstrileşmiş ve materyallerini bol bol kullanabilen ülkeler kadar gelişmemiş olan alanlardan nüfusun yükselmesi, insanların ihtiyaç ve isteklerinin artmasıyla su gereksinimi daha da büyüyecektir. Önümüzdeki birkaç yıl içinde tatlı su üretimi hızla artacak, $90,9192 \times 10^6$ m³/gün değerinin de üstüne çıkacaktır. Genelde üretilen tatlı suyun 2 katı deniz suyu işlenmektedir, böylece dışarı akan tuzlu suyun katı

maddelerinin konsantrasyonu ikiye katlanır. Kimyasal iyileşme, pompalama, ısıtma ve saflaştırma konsantrasyonundaki bu artışla ucuzlatılamaz.

3.1. Tuzlu Su Kaynakları

Tuzlu Suları, yaklaşık 35 000 ppm toplam çözünmüş katı (TDS) içeren seyreltilmemiş deniz suyu ve 1000 ppm'den 10 000-15 000 ppm'e kadar TDS az tuzlu suları kapsar. Az tuzlu sular geniş bir şekilde yüksek mineral içerikli yeraltı suları ve seyreltilmiş deniz suyunun kapsar (Spiegler,1962).

3.1.1. Deniz suyu

Deniz suyu bol olması itibarı ile kullanımda avantaj sağlar. Deniz suyu, büyüklüğü ve dönüştürülmüş deniz suyunu (seyreltilmiş ya da seyreltilmemiş) kullanan kişilerin sahillere yerleşiminin önemi ve tükenmeyen miktarlarda sağlanabilmesi nedeniyle su kaynağı olarak önemlidir. Sudan tuz giderme proseslerinin sağlanabilirliği su kaynaklarına yaklaşımı kesinlikle değiştirmektedir. Şu anda kıyasal yerleşim okyanusu potansiyel tatlı su kaynağı olarak göz önünde bulundurulabilmektedir. Böyle bir yaklaşım bir nesil önce hayal gibi görülmekteydi.

3.1.2. Acı su

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

Yeraltı Suları: En yaygın olarak elde edilebilen ve pekçok açıdan daha çok istenen acı su kaynağı acı yeraltı sularıdır. Acı yeraltı suyu rezervleri ABD, Kanada, Meksika, Batı ve Güney Amerika gibi dünyanın pekçok yerinde bulunmaktadır. Amerika'daki karaların

yarısından fazlasının altında 1000-3000 ppm arasında toplam çözünmüş katı içeriği olan tuzlu su bulunmaktadır. Pekçok yeraltı sularıyla birlikte, tuzlu yeraltı sularının da ham su kaynakları olarak birçok istenen özelliği vardır.

Nehir Ağzıları: Bazı büyük nehirlerin ağızları birkaç mile (1 mil \cong 1,61 km) kadar genişler ve acı su kaynağı olarak görülür. Pratik su uzaklaştırma prosesleri suyla ilgili mühendislerle nehir ağızı suyu problemleriyle uğraşmada yeni bir serbestlik vermektedir. Eskiden tuzun uzaklaştırılması için masraf yapmaktan kaçınılırdı. Günümüzde, tuz önceden tahmin edilen maliyetlerle uzaklaştırılabilen bir kirlilik olarak düşünülebilir.

Tuzlu Nehirler ve Göller: Başlıca nehir ve büyük göllerin çok azı doğal olarak tuzlu ya da acıdır. ABD'deki bazı örnekler Arkansas, Red, Pecos ve Kolorado nehrinin bazı kısımları ile Red nehrindeki Texama gölüdür. Bu akarsuların bazılarındaki tuzluluğu, doğal tuz kirliliği kaynaklarının kontrolüyle azaltmak için girişimler yapılmıştır.

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

3.2. Tuz Ayırma Tesisleri İçin Materyaller

Çok yakında 4,55 m³'ü 1 dolara günlük olarak üretilecek olan 4,55x10⁶ m³ su, günlük 1 milyon dolar harcama gerektirecektir. Bu, temel olarak 2 madde için harcanacaktır; enerji ve sermaye maliyetleri, yani faiz, amortisman, yıpranma, ekipman ve içindeki materyallerin eskimesi ve aşınmasına bağlı değiştirme giderleri. İşgücü maliyeti ve tüketilen materyallerin (işlemede kullanılan kimyasallar ve iyon alışverişi reçinesi, zar, vb.) maliyeti nispeten küçük maliyet kalemleri olacaktır.

Proseslerin dizaynındaki ilk amaç, maliyetlerin minimize edilmesi ve böylece termal ve mekanik enerjinin, ekipmanın ve yapım için gerekli materyallerin miktarlarının

azaltılmasıdır. Birçok prosesin optimizasyonu çalışmalarında, enerji maliyetleri düşerken, ekipman maliyetleri artar veya tam tersi olur. Her zaman olduğu gibi ekonomik denge bulunmalıdır. Günümüz şartları altında enerji maliyeti ve ekipmana ait sermaye maliyetlerine bağlı maliyet hemen hemen eşit olduğunda su maliyeti en düşüktür (Marinos vd., 1991).

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

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

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

Solventler için sıvılar, ısı transfer araçları, soğutucular ve benzer termodinamik araçları da içeren diğer bazı metaller de operasyonun bir parçası olarak kullanılır ve bazı durumlarda, proses içindeki kayıplar öyle az olur ki; orijinal maliyet, bir yatırımın fabrika maliyetinin bir parçası veya amortisman gideri olarak düşürülür. Titizlikle kullanılan kimyasallar, ham deniz suyuna işlem yapmak için kullanılan (sülfirik asit ve kireç, algisitler, fosfat ve diğer kireç tortusunu önleyici maddeler; su ürününe işlem yapmak için

kullanılan karbon; depolama havuzlarındaki buharlaşmayı önlemek için alkol); ve günümüzde kullanılmakta olan diğerlerinin küçük miktarlarıdır.

Bu materyaller; binlerce millik tüpleri veya dönümlerce plastik tabakası olan bireysel ünitelerle, binlerce ton ağırlığındaki ve günde milyonlarca galon (1 galon= $4,55 \times 10^{-3}$ m³) su işleyen büyük fabrikalara gider. Bununla beraber, modern “kendin yap” dünyasında, birçok tuz ayırma fabrikası ana araç olarak evlere, çiftliklere, küçük apartman dairelerine veya otellere gelecektir. Yani her ihtiyaca cevap verebilecek tuz ayırma üniteleri (otel, ev vb. tesisler için) üretilmesi söz konusudur. Bunlar ev üniteleri gibi (çamaşır makinesi vb. gibi) bize aşına olacaktır (Chow vd.; 1995).

3.3. Tuz Ayırma Tesislerinin Genel Özellikleri

Tuzlu su dönüşüm tesislerinin alışılmış su sağlama proseslerinden farklı olarak belirli temel özellikleri vardır. Geleneksel projelerle karşılaştırıldığında, tuzlu su dönüşüm projeleri uygun özellikler içerebilmektedir. Bu özellikler aşağıda sıralanmıştır:

- 1) Düşük sermaye yatırımı gerekir.
- 2) Yağış miktarı ve ürünlerdeki belirsizliklerden az etkilenir.
- 3) Küçük tesis alanı gerekir.
- 4) Başkalarının topraklarının kullanılmasını ve jeolojik belirsizlikleri en aza indirir.
- 5) Su hakları problemlerini ve bu nedenle politik ve yasal gecikmeleri en aza indirir.
- 6) Su üretiminin başlamasından tamamlanmasına kadar daha az süre gerekir, bu nedenle fiyat artışlarının etkisi en aza indirilir.
- 7) Üretim ekipmanlarında daha çok alet kurulma işlerinde daha az bölüm vardır.
- 8) Ürün önceden tahmin edilebilir ve ürünün kalitesi kontrol edilebilir.

Tuzlu su prosesleri için sermaye yatırımı avantajı büyüyebilir, çünkü tuzlu su tesisi ekipmanı modülerdir ve artan talebi karşılamak için yükleme ya da yararlanma faktörlerini yüksek tutarak kolaylıkla genişletilebilir. Tipik dönüşüm projesi genellikle aşırı kapasiteye kurulur ve bu nedenle ilk yıllarda düşük yararlılık kapasitesiyle çalışır.

gerektiren geleneksel projeler için olan direkt çalışma maliyetine yakın olabilir. Ancak, tüm tuzlu su dönüşüm projelerinde bakım maliyeti (membranların, reçinelerin ya da destilasyon tesislerinde metal kısımların değiştirilmesi) geleneksel projelerinkinde önemli ölçüde yüksek olacaktır (American Chemical Society Applied Publications, 1760).

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

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

3.3.1. Deniz suyunun dönüşümü

Deniz suyu dönüşüm prosesleri sınırsız bir su kaynağı olarak denizlerin avantajını kullanmaktadır. Bu, özellikle tatlı suyun bulunmadığı alanlarda yaşayan insanlara bir armağandır. Ayrıca deniz suyunun tatlı suya dönüştürülmesine yapılan politik itirazlar, diğer bölgelerden tatlı su getirilmesiyle karşılaştırılarak en aza indirilmiş ya da tamamen ortadan kaldırılmıştır. Örneğin Güney Kaliforniya'ya tatlı su, eyaletin kuzey

bölümlerinden, komşu eyaletlerden ve hatta komşu ülke Kanada'dan getirilmek zorundadır. Diğer bölgelerin tatlı su kaynaklarını kullanan eyaletlere ve büyüklüğüne bakılmaksızın su kaynaklarının Güney Kaliforniya'ya aktarılmasına itirazlar sürecektir. Ancak deniz suyundan alınan herhangi bir miktar için böyle itirazlar yapılamayacaktır (Spiegler, 1966).

Yeni tatlı su kaynaklarının geliştirilmesinin maliyeti ve uzaklığı arttıkça, deniz suyu dönüşümünün maliyetinin uzak tatlı su sağlama projelerinin maliyetinden düşük hale geçmesi beklenebilir.

Günümüzdeki deniz suyu dönüşüm tesisleri öncekilerden daha yeterli ısı enerjisi kullanıcılarıdır, fakat büyük tesisler bu enerjiyi fazla kullanmaktadır. Modern tesislerde nispeten düşük derecede enerji destilasyon için uygundur. Deniz suyu destilasyon ekipmanlarının elektrik gücü üreten nükleer ya da buharla çalışan sistemlerle birleştirilmesi ilgi çekici olabilir. Bu çift amaçlı tesislerin bazı durumlarda tatlı su üretimi maliyetini düşürdükleri tahmin edilmektedir.

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

En uygun tatlı su kaynağının deniz olduğu bazı ülkeler ve yerleşim yerleri vardır. Adalar buna tipik bir örnektir.

3.3.2. Acı suyun dönüşümü

Bu bölümde acı suyun dönüşümü için verilen maliyetler ED prosesleri için olan maliyetlerdir. Uzun yıllardır ED prosesleri üzerine pek çok veri yayınlanmış ve alan deneyimleri sağlanmıştır. Acı suyun dönüşümü için geliştirilen yeni prosesler (RO ve IE

gibi) ED için yayınlanan verilere yaklaşan maliyet hedeflerine sahiptirler. Bu nedenle, bu bölümde ED maliyetleri acı su dönüşümü için tipik maliyetler olarak kullanılmıştır (Bakish, 1973).

Acı suyun dönüşümü cazip bir su sağlama alternatifidir. Çünkü nispeten küçük boyut ve sermaye gerektiren tesislerde düşük toplam su maliyeti (4,55 m³ başına 20-40 cent) sağlanabilmektedir. Avantajları aşağıda belirtilecektir.

1) Yüksek yükleme faktörlü çalışma ve geliştirilen ED kümeleri ile teknolojinin kullanımı için 4,55 m³ başına 30-40 cent ya da daha düşük maliyetler, tipik acı suyun 3000 ppm olan toplam çözünmüş katı miktarını belirli bir kapasite ile 500 ppm'e düşürmek için uygulanabilir.

2) Destilasyon ve suyun taşınması gibi geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldığında acı su dönüşüm tesislerinin maliyet yatırımı düşüktür.

3) Acı su dönüşümü için 4,55 m³ başına elektrik tüketimi düşüktür.

4) Acı su dönüşüm prosesleri ısı enerjisinden çok elektrik enerjisi kullanır. Böylece, enerji kaynağı yerleşimiyle ilgili olarak su tesislerinin yerleşiminde maksimum bir esneklik sağlanır.

5) Membran prosesi tesisleri, devam eden teknolojik ilerlemelerden yarar sağlayabilir. Böyle tesislerde araştırmalarla değiştirilebilen bileşenler etkinlikte sürekli ilerleme sağlar. Böylece tesisin yeterliliğinin ilerlemesi ve tesisin çalıştığı süre içinde bakım maliyetinin düşürülmesi sağlanmış olur.

4. TUZLU SUDAN TATLI SU ÜRETİM YÖNTEMLERİ

4.1. Buharlaştırma

4.1.1. Güneş ile buharlaştırma

Sabit güneş ışınları ısı yeryüzünün güneşten olan mesafesinde güneş ışınlarına normal olarak, kapanmamış yüzeylere düşen, yaklaşık bir gün ve $0,93 \text{ m}^2$ 'ye $10,55 \text{ kJ}$ 'dur.

Dünya yüzeyinin birçok kısmı elbette ki güneş ışınlarına normal değildir ve dünya üzerindeki ortalama değer 4'e bölünecek olursa, 24 saatte $2,83 \text{ kJ/m}^2$ veya ortalama saatte $0,11 \text{ kJ/m}^2$, gece ve gündüz, açığa ve mevsimlere göre değişen birçok türevi oluşturulabilir (Alibaş ve Baycık, 1987).

Atmosfer, bulutlar vs. nedeniyle oluşan kayıplar göz önüne alınmalıdır. Ortalama değerlerin biraz artışı vardır. Değişik istasyonlardan yapılan ölçümle de yılın her ayında alınan güneş enerjisinin farklı değişmez değerlerinin ana hatlarını ortaya çıkaran çizelgeler yapılır.

Doğanın dönüşümünden Buharlaştırma-Buğu yöntemiyle tatlı su üretimi, güneş buharlaşması kısmen su üretiminde kullanılmaktadır. Teçhizat oldukça basittir ancak deniz suyunun buharlaştırılmasının üzerinde bir buğu gerekmektedir. Yüzyıllarca birçok anlamsız üniteler kullanıldı. Fakat ilk büyük solar ünitesi 80 yıl önce Şili'de bir madende kurulmuştur. Yüzeyi $47\ 380 \text{ m}^2$ olup çoğunlukla hayvanlar için kullanılmış ve ortalama $27,27 \text{ m}^3/\text{gün}$ su üretilebilmiştir. Güneş ışınları bükülmüş cam kaplardan geçip, buğu formunu alarak yüzeyin altından fişirmiştir. Bulunan içme suyunun deniz suyundan daha tuzlu olduğu tespit edilmiştir.

Günümüzde güneş ışını buharlaştırıcıları birçok ülkede; yüzeyin karanlık diplerinden güneş ışını emerek, deniz suyunun kaynatılmasına gerek kalmayacak şekilde dizayn

edilmiştir. Buğu hava akımıyla su yüzeyinden uzağa taşınarak, geçirgen plastik veya cam levhaların daha alçak yüzeylerine temas edip buharlaşarak güneş ışını enerjisini kaba geçirir. Geçirgen plastik veya cam levhaların üst yüzeylerinin atmosferde giderek soğumasıyla buhar ısınır ve buğu oluşur. Geçirgen levhalar buğunun su yolu boyunca yüzeyin altından oluklara gitmesini sağlayacak bir açıdadır. Ortalama koşullar ve % 50 termal verimlilik olduğunu düşünürsek Kuzey Afrika, Kuzey Hindistan ve Güney Amerika'da üretim yılın bir gününde ortalama $0,0024-0,0039 \text{ m}^3/\text{m}^2$ dir.

Geçirgen buğulaşma yüzeyindeki tozlar güneş ısısını emerek buharlaşmayı ve dolayısıyla buğulaşma kapasitesini artırır. Mükemmel düzenekler düşen her yağmurun toplanmasını sağlar.

Buharlaşmayı birçok yönüyle kullanabilecek düzenekler, deniz suyunu ısıtıp buğuyu taşıyan tüpler güneş ışınlarını daha fazla emerek deniz suyunu buharlaştırabilecek köşeli ve eksen etrafında dönen birçok varyasyonlar denenmiştir (Anıko, 1988).

En başarılı iş Yunanistan'da, Atina Teknik Üniversitesi Kimya Mühendisliği bölümünden Prof.Dr.A. Delyannis ve Prof.Dr.E.Delyannis'in yönetimi altında olmuştur (Morris vd., 1991). Birçok buharlaştırıcı çeşitleri kullanılmış ancak en gelişmiş Patnos adasında sonuçlandırıldı. 120773 m^2 'lik alanın 86399 m^2 'lik kısmı buharlaştırma alanı olarak kullanıldı. Gerçekten bu Delyannis projesi Patnos ve diğer adalarda birçok yıllar başarıyla kullanıldıktan sonra Pakistan'da 2 katı büyüklüğünde bir alan kullanıldı. Patnos adasındaki düzenekte her biri $3 \times 40 \text{ m}$ 'lik 71 çift pencere bulunmaktadır. Cam pencerelerinin çevresinin kalınlığı $0,003 \text{ m}$ 'den daha azdır. Daha geniş olan 12° güneye doğru meyilli olup, alüminyum alaşım plastik macun ile içeriden çerçevenmiştir. Aynı materyalin damıtılmış olukları $1-1000'$ e kadar meyillenmiştir. Havuzların kenarları beton kaldırım ve duvarlar gibi $0,0008 \text{ m}$ kalınlığında siyah butil kauçuk (lastik) levhalar ile çevrilidir. Borular, valfler ve donanımlar çoğunlukla polivinil klorür, bazıları ise polipropilendir. Yağmur toplaması yılda $0,6 \text{ m}$ 'dir.

Önceleri daha ufak bir Delyannis tesisinin $0,00036 \text{ m}^3/\text{m}^2$ (günlük) veya $0,13 \text{ m}^3/\text{m}^2$ (yıllık) olduğu tahmin edilmişti. Buna ek olarak tertibat, düşen yağmurun ortalama $0,6 \text{ m}$ (yıl) veya $0,073 \text{ m}^3/\text{m}^2$ (yıl)'sini toplar. Bu nedenle toplam getiri $0,21 \text{ m}^3/\text{m}^2$ (yıl) veya $17\,729 \text{ m}^3/\text{yıl}$ 'dır. Bu su üretim oranı, her $12\,542 \text{ m}^2$ için $4,54 \text{ m}^3/\text{gün}$, Richmond, Virginia veya San Francisco körfezleri gibi deniz suyundan güneş ışınları ile buharlaştırma yöntemi ile binlerce ton tuz üretebilen alanlar gibi Patmos'un da $27^\circ 20'$ lik bolluğu (üretim açısından) gözönüne alınarak hesaplanmıştır. Genellikle güneş ışını ile buharlaştırma programları Patmos'dan daha düşük arz (bolluk) olan yerlerdir. Güney Afrika, Avustralya, Hindistan ve İsrail daha yüksek güneş ısısına sahiptir. (Proceedings of the International Solary Energy Cong. 1981).

Her $4,54 \text{ m}^3$ 'ün günlük su üretimi için $4\,645 \text{ m}^2 - 13\,935 \text{ m}^2$ veya daha fazla buharlaşma yüzeyine en az o kadar da buğu yüzeyine ihtiyaç vardır. Ayrıca geniş bir alan ve bazı materyallere de ihtiyaç vardır. Buğunun üzerini örtmek için temiz cam veya plastik levhalara, uzun ve dar buhar kapları için beton, asfalt ve siyah butil plastiğine, üretilen su buharı için plastik oluklara; deniz suyunun dağıtılması ve temiz suyun toplanması için metalden ziyade plastik borulara da ihtiyaç vardır. Fabrikanın ve materyallerin toplam maliyeti düşük kapasiteli üniteler hariç diğer tip su arıtma sistemlerinden oldukça farklıdır.

Geniş ve kapalı buharlaşma alanları toz fırtınası, rüzgâr ve doludan kolayca zedelenebilirler. Bununla birlikte enerji serbesttir ve mekanik enerji maliyeti daha düşüktür. Basit parçaların çalıştırılması için vasıfsız iş gücü yeterlidir. Güneş ısısı ile buharlaştırma endüstrileşmemiş bölgelerdeki küçük üniteler için birkaç galon, daha büyük üniteler için birkaç bine varan günlük kapasitesi ile birçok avantaja sahiptir.

4.1.1.1. Okyanusun güneş ısısı ile buharlaştırılması

Güneş ısısı ile buharlaştırma için geniş hacimli ve yüzeyli tropik denizlerin kullanılması daha uygundur. Yeryüzünden alınan güneş ısısı 30° kuzey ve 30° güney arz dereceleri arasında depolanır. Yüzeydeki suyun ortalama ısı derecesi, güneş enerjisinin dinamik ısı

dengeğini içeride, işleri olmayan buharı dışarıda tutabilmek için gerekli buharlaşmayı sağlayacak su buharı basıncını elde edinceye kadar yükselir. Bu su buharı atmosferin soğuk st tabakalarında yoğunlaşır ve sonunda tatlı su olarak denize geri döner (Jansen, 1985).

Güneş ısısı, denizin daha soğuk olan ve daha düşük bir yoğunluğu olan yüzey suyu tarafından emilir. Özellikle tropik denizlerin üzerinde aromatik bir termal sifon etkisi vardır. Soğuk su daha çok okyanusun tabanına yakın akan kutup bölgelerinden gelir ve ısındıkça yükselir. Isınan su büyük akıntılar halinde tekrar donmuş kutuplara doğru akar. Hem dipteki soğuk su, hem de yüzeyde eriyen buzlar dönüşümü tekrarlamak için ekvatora doğru dönüş gezisine başlar. Aralıksız okyanus akıntılarında bir kısım ılık su bir yöne doğru akarken, bir kısım soğuk su da başka yöne doğru akar. Çoğu zaman sıcak su akımı soğuk su akımına yakındır. 610-915 m derinlikteki suyun ısısı yüzeydeki ısıya göre (19,4-25)°C daha dşktir.

Bir mil³ soğuk suyun ısısını 45°F'ye (7,2°C) ıkartabilmek için Amerika birleşik Devletlerinde üretilen termal enerjinin 25-30 katı kadar bir termal enerji gereklidir. Kısmi buharlaşma ile bir mil³ ılık su, ısısından 11,1°C daha düşük olacak şekilde soğutulursa ve bunlar dipteki soğuk su ile yoğunlaştırılırsa yaklaşık 90919 m³ su buharlaştırılmış olur.

Tesis maliyeti diğer buharlaştırma yöntemlerine göre yüksektir ancak su maliyeti (ısı enerjisi satın alınmasından) karadan makul bir uzaklıkta yüzey ve dipteki ısı dereceleri arasında önemli bir fark olan yerlerde daha makuldür (Daniels, 1972).

Güneş enerjisi ile tatlı su üretimi ileriki bölümlerde daha detaylı olarak ele alınacaktır.

4.1.2. Kaynama ve yoğunlaştırma yüzeyli buharlaştırıcılar

Çok etkili buharlaştırıcılar kullanılarak daha düşük basınçlarda birçok ünite başarıyla çalıştırılabilir. Yüksek basınçta buharlaşan buharlar yoğunlaşmaya geçer ve bir sonraki

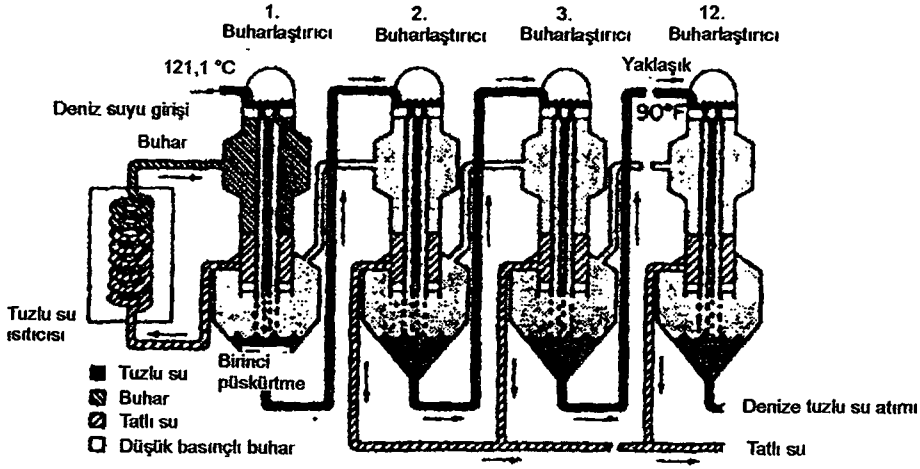
etki yüzeyinin ısıtılması için ısı verir. Sıvının ısıtılmasına izin veren üçlü etki; kullanılan her 4,45 N (veya 0,45 kg) buhar enerjisinin yaklaşık 9,9 N (veya 0,9 kg) oranında buharlaşma kazanmasını sağlar. 4'ten 6'ya kadar olan etkiler maksimum numaralardır. Bir buharlaşma operasyonunun toplam maliyetini minimuma indirmek için, etki sayısı ile birlikte artan kapital maliyeti daha düşük buhar enerjisi maliyeti ile dengelenir.

Denizciler, yaklaşık 400 yıl boyunca basit aparatlı buharlaştırıcılar kullanarak içme suyunu elde ettiler ve buharı vapurlarda ise çok fonksiyonlu geleneksel buharlaştırıcılar kullandılar. Isı, buhar kazanında, egzosda veya tırbünün orta seviyesinde buhara çevrilir. Tırbüner yüzeyin diğer tarafında uygun bir kaptaki bulunan deniz suyunu kaynatmak için ılık, ısıtılmış metal yüzeyin, buharlaştırma yüzeyinin bir tarafında buğulaştırılır. Açıkça ısının transfer edilmesi için gerekli yüzey, yüzeyden transfer olan ısı katsayısı arttıkça azalır. Standart tüpler için ısı katsayısı; $[(kJ/(saat)(m^2)(^{\circ}C)], Btu/(saat)(ft^2)(^{\circ}F)$ genellikle 1000'in altında olarak değerlendirilirler. (Uyarel ve Öz, 1987).

Freeport, Texas'ta yapılan bir OSW demonstrasyonunda, deniz suyundan tatlı su üretilirken çok yönlü etkili sonuçlar 12'ye kadar çıkarılmıştır. Bu da 0,45 kg kaynamış su buharıyla 45 kg tatlı su elde edildiği oranını verir. Şekil 4.1'de görüldüğü gibi buharlaşma ve yoğunlaşma için çok sayıda silindirik yüzeyler kullanılmaktadır. Ayrıca tuzlu su ve tatlı sudan gelen ısıyı yeniden kullanabilmek için birçok ısı değişim yüzeyleri de gerekmektedir. Bu 12 etkide 4546 m³/gün ünitesi ve 30'dan fazla ayrı tüpler kullanılmaktadır. Üretilen suyun maliyeti ve fabrikanın maliyeti gözönüne alındığında diğer buharlaşma tipleri daha ekonomiktir.

Buhar kompresörlü buharlaştırıcılarda, tüplerin içindeki deniz suyunun kaynamasıyla gelen buhar, yeterli derecede yüksek basınç elde edebilmek için mekanik bir şekilde sıkıştırılır. Bu da tüplerin dışındaki yoğunlaşmanın olmasına imkân vererek yüksek buhar ısını oluşturur. Silindirik yüzey bu durumda hem buharlaşma hem de yoğunlaşma için kullanılmış olur. Kompresör buharı şekillendirinceye kadar kaynama devam eder. İçerideki yanma motorundan gelen mekanik

kuvvet kompresörü çalıştırır. Motordan gelen artık ısı ve egzoz gazı deniz suyuna ön ısınma sağlar.



Şekil 4.1. Uzun tüp dikey (LTV) buharlaştırma prosesinin basitleştirilmiş diyagramı (Kirk-Othmer, 1970)

Geniş bir yüzey gerekmez, gerekli ısı transferini koruyabilmek için Δt 'yi minimize ederken ısı transferi katsayısı U mümkün olduğunca büyük olmalıdır. ' U ' tuzlu suyun buhar tüpleri vasıtasıyla yüksek bir tuzla yaptığı sirkülasyon ile artar. Bu pompalanma gücünü ortaya çıkarır. Ekonomik denge nispeten daha az bir enerji kullanıldığını, bu da ısı transferi için gerekli olan yüzeyi dolayısıyla kapital maliyetini azalttığını gösterir.

Yüksek basınçla çalıştırılma söz konusu olduğunda spesifik buhar hacmi azaltılır ve ısıtma tüpleri karşısında aynı ısı farkında sıkıştırma oranı da düşürülür. Çünkü yüksek ısılarda buhar basıncındaki artış ısıdaki artıştan daha hızlıdır. Bununla birlikte başka problemler de söz konusudur. Yüksek basınç, ağır malzeme eğilimini, suların ısı değişimini ve ısı kayıplarını artırır. Bütün bu faktörler gözönüne alınmalı ve basınç tipi seçiminde ilgili eksiler dengelenmelidir (Yadav ve Prasad, 1994).

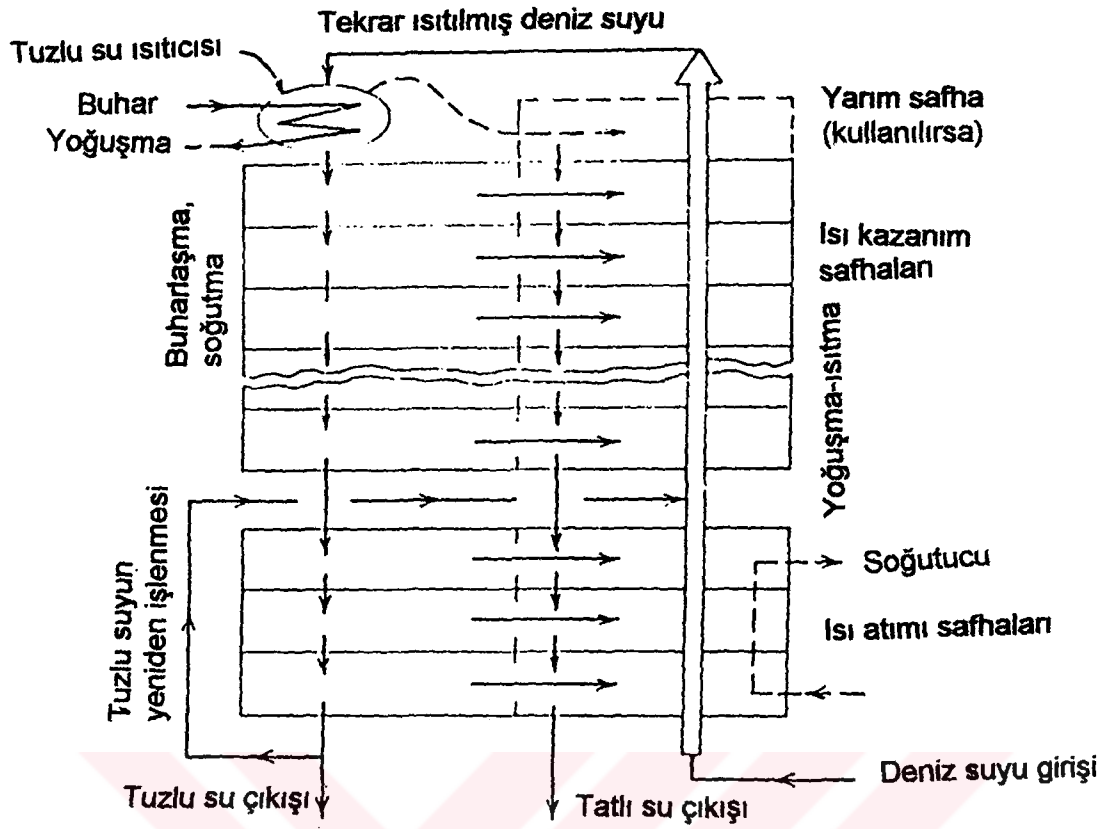
4.1.3. Multiflash buharlaştırma (Çok fazlı ani proses), (MSF)

Çok alevli buharlaştırma yöntemi, çoğu zaman şiddetli, sıcak deniz suyunun düşük basınç çemberinden geçerken suyun bir kısmının buharlaştırılması ile olur. Yüksek ısı ve basınç oranı, yoğunluğun akım tuzağından atmosferik basınca akıtılmasında olduğu gibi hemen şiddetli bir patlama denge görüşüne sebep olur. Çiğ deniz suyu ön ısıtma için yoğunlaştırma sisteminin tüplerinden geçerken şekillenen buharlar geri çekilir ve yoğunlaşır.

Düşük basınçta birçok basamaktan geçerek başarı ile gerçekleştirilen ani alevli buharlaştırmalar çok basamaklı ani buharlaştırma veya MSF buhar diye isimlendirilir. Buharlaştırma ısı transfer yüzeyi yoktur ancak yoğunlaştırma transfer yüzeyi vardır. Birçok yoğunlaştırıcı ve ön ısıtıcılardan geçtikten sonra deniz suyu MSF'nin ilk ve en yüksek basınç seviyesinden önce son olarak ön ısıtıcıda en yüksek sıcaklığa kadar ısıtılır. Bugün, yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biridir. MSF'nin kullanımını kısıtlayan en büyük sebep tuzun bileşikleridir. Mekanizmayı paslandırma, aşındırma etkileri ortaya çıkmasının sebebi de budur (Spiegler, 1966).

Geleneksel MSF buharlaştırma basamakları Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Bu ölçek formasyonunu elimine etmek için kimyasallar ilave ederek beslenmenin gerekli ön yöntemlerini göstermez. Bu hepsi için özellikle de deniz suyunu güneş ısı ile buharlaştırmak için gerekli operasyondur.

Birçok MSF buharlaştırmaları Şekil 4.2'deki gibi diagramda dikey düzenlemelerden ziyade yatay şekilde inşa edilir. Bu nedenle fabrikalar yatay düzenlemelerde dikey düzenlemelerde olduğundan daha geniş bir alan üzerine kurulurlar. Daha yeni dikey düzenlemeler buharlaştırmının faydalarını artırır ve bundan da dikey modellerin gelecekte daha fazla kullanılacağını görüyoruz.



Şekil 4.2. Çok basamaklı flash buharlaştırıcı
(American Water Works Association Inc, 1971)

Deniz suyu genellikle buhar kazanı tarafından en yüksek derecesine kadar ısıtılır. Sıcak deniz suyu her biri düşük seviyede doymuş basınç ve ısıda olan soğutma-buharlaştırma safhalarından veya soldan aşağı doğru geçer. Deniz suyu en alt safhadan dışarı atılıncaya kadar ilerledikçe soğuyup yoğunlaşırken her safhada alevle buharlaştırılır. Bir kısım tuzlu su artık olarak dışarı atılır ancak kayda değer bir kısım sağ taraf vasıtasıyla tekrar kullanılabilir hale gelip besin deniz suyuna katılır. Bu tekrar kullanılabilir hale gelen tuzlu su ham deniz suyundan daha yüksek ısıdadır.

MSF sisteminin verimsizlikleri birkaç şekilde ölçülür

- 1) Alevle buharlaştırmadan daha az miktarda buhar ve yoğunlaşma.
- 2) Safha içine ve dışına deniz suyundan daha az ısı düşüş miktarı

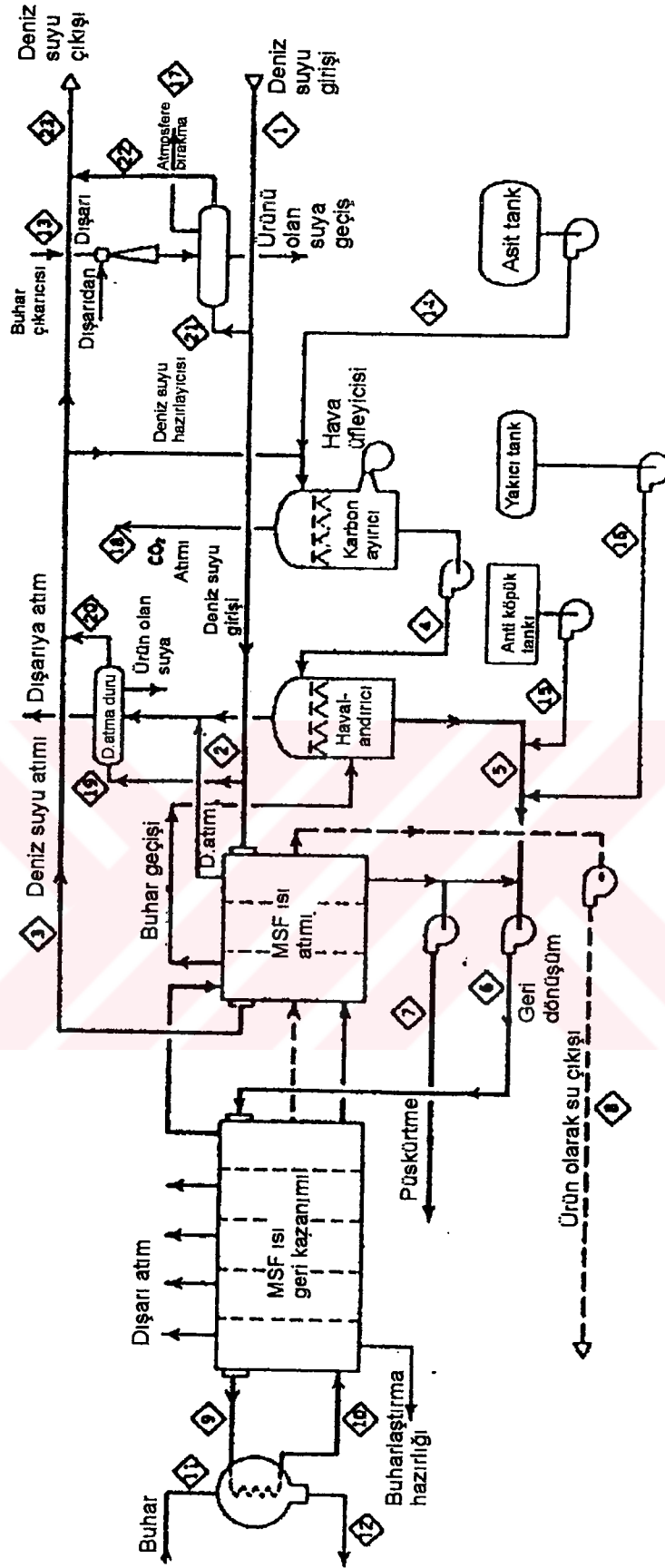
3) Safra dışındaki deniz suyu ve buhar arasındaki en büyük ısı farkı; $1,1^{\circ}\text{C}$ veya $1,6^{\circ}\text{C}$ olabilir. Bu her safhadaki kaybın nakledilmesi olarak adlandırılır ve içerilen tuz nedeniyle deniz suyunun kaynama noktasında, safhalar arasında büyük farklılık olmadan ufak bir artışa neden olur. deniz suyunun her safhasının ısıtılması, her safhada bu miktar daha azaltılır. Böylelikle kaynama noktasındaki yükseliş sadece en üst safhada etkilidir. Burada ilk ısıtıcıya giden su, kaynama noktasındaki yükselişe eşit olacak şekilde ilave bir ısı ile ısıtılmalıdır (Darwish vd., 1997).

MSF'de kaynama noktasındaki artışın etkisi, çok etkili bir buharlaştırıcı ile karşılaştırıldığında oldukça farklıdır. Çok etkili buharlaştırıcılarda; kaynama noktasındaki yükseliş, mevcut ısı düşüşünün ve her bir etkinin verimliliğinin azaltılmasında önemlidir. Bu MSF'nin avantajlarındanır.

Deniz suyunun ilave soğutma akımı, daha çok Şekil 4.2'de olduğu gibi en düşük safhalarda biçimlenen buharların yoğunlaştırılması için kullanılır. En düşük safhalar yeniden kullanılabilir hale gelen tuzlu suyun yoğunlaşma-ısınma bölümüne ilave olduğu noktaların aşağısıdır. Sağ tarafta aşağıdaki noktalı çizgi, soğuk besleme deniz suyunun yoğunlaşma kabiliyetine ilave olan soğumuş deniz suyunun akımını göstermektedir.

Yoğunlaşmanın ısıtma tüpleri zirve safhasının yarısında bırakılırsa ön ısıtılmış deniz suyu ilk veya tuzlu su ısıtıcısına yani son safhanın buharlaştırma-soğutma kısmına gider. Bu işlem her safhada tekrar edilir, buharlaştırma her zaman ısı transfer yüzeyine temas etmeden olurken, yoğunlaşma ise her zaman ısı transfer yüzeyine temas ederek gerçekleşir (Darwish vd., 1997).

Şekil 4.3 geleneksel MSF buharlaştırıcısının en güncel uygulamasını içeren, Burns and Ro Inc. tarafından dizayn edilen, desalinasyon için $11365 \text{ m}^3/\text{gün}$ üretime sahip fabrikanın akım tablosunu gösterir. Bu modelin ilk fabrikası iki hükümetin temsilcileri arasındaki anlaşma ile Suudi Arabistan'da, Cidde'de inşa edilmiştir.



Şekil 4.3. Milyon gpd'lik bir tuz giderme tesisi (Darwish, 1997)
 (1 galon= $6,545 \times 10^{-3}$ m³, 1 milyon galon = $4,545 \times 10^3$ m³)

Akım tablosu 29,4°C'de sağlanan deniz suyunun 36,5°C'e kadar ısıtıldığı ısı red etme safhasına gidişini, kısmen dışarı atıldığını, buharlaştırma sistemine geçmeden önce ölçek formasyonuna karşı kısmen kimyasal olarak işlemden geçirildiğini gösterir. Öncelikle karbonatların ayrıştırılması ve karbondioksitin saliverilmesi için sülfirik asit ilavesi vardır. Daha sonra fazla asiti nötr hale getirmek için kostik soda ve köpürmeyi önleyici işlemler vardır.

İşleme tabi tutulan deniz suyu, ısı red edilen safhalardan dışarı atılıma katılır ve ısının yeniden elde edildiği sistemin en düşük ısı safhasından geçer. Bütün bunlardan geçtikten sonra tuzlu su ısıtıcısına gider ve buhar kazanlarından gelen ilk buhar ile ısıtılır.

Sıcak tuzlu su, buharlaştığı ve soğuduğu, önce ısının yeniden ele geçirildiği, sonra rededildiği saflara, MSF buharlaştırma bölgelerine geri döner. Son olarak en düşük ısı safhasını da terk eden tuzlu su bölünür. Bir kısmı yeniden dönüşüme giderken bir kısmı da aşağı üflenir. Damıtma yüksek ısıli safhalardan düşük ısıli safhalara geçilerek soğutma yapılan alevli buharlaştırma ile benzerlik gösterir (Bakish, 1973).

Üretilen suyun toplam maliyeti, enerji ve kapital maliyetlerinden oluşur. Bir ünitenin enerjisi ucuz olduğunda düşük maliyetli su daha ucuz bir tesis ile olur. Çünkü yüksek artış oranlı pahalı bir fabrikanın maliyetini karşılamak zordur. Ünitenin enerjisi pahalı olduğunda, yüksek artış oranlı bir fabrika suya en düşük maliyeti verir ancak bu hala nispeten yüksektir.

4.1.3.1. MSF'nin tuzlu su ısıtıcılarında buharlaştırma: Yarı safhalı buharlar

Deniz suyunun geleneksel ısıtma fonksiyonu ile en yüksek sıcaklığına çıkarılmasının yanı sıra, tuzlu su ısıtıcısı da onun bir kısmını buharlaştırabilir. Buharlar, kapasiteyi önemli bir şekilde arttırmak, ısı masraflarını azaltabilmek için yarı safhada yoğunlaştırılır. Yarı-safha, kullanıldığında deniz suyunu ilk ısıtan, yoğunlaşma ısıtma bölgeleri safhaları, serilerinin bir fazlasıdır.

Buharlar ön ısıtıcıdan hatta buharlaştırıcıdan geri çekilerek, deniz suyunu daha da fazla ön ısıtabilmek için geri çekilir. Yarı safha ve tuzlu su üreticisi birlikte, tamamıyla su üreticisinin tek başına yaptığı işin aynısını yapar, örneğin tuzlu suyun en üst safhada ısıtma-yoğuşma bölgesinde bıraktığı ısıdan, aynı zirvede, soğutma-buharlaştırma bölgesinden tekrar içeri giren ısıya kadar ısıtır. Tamamıyla, aynı miktarda ilk ısı arz edilir ve kullanılır.

Isıtılan sıvının sadece % 1'inin bir kısmı tuzlu su ısıtıcısında buharlaştırılır, bu ölçek eğilimlerinde sezilebilir bir değişikliğe sebep olmaz. Safhalar arttıkça buhar ekonomisindeki gelişmeler azalır. Endüstri fabrikaları için geliştirilen 5 safhalı küçük bir MSF buharlaştırıcısı % 20 oranında bir ısı tasarrufu gösterir ve tek başına kullanılan geleneksel ilk ısıtıcıların yerine ilk buhar ısıtıcılarının ve yarı safhanın kullanılmasının maliyetini kaydedilir miktarda azaltır.

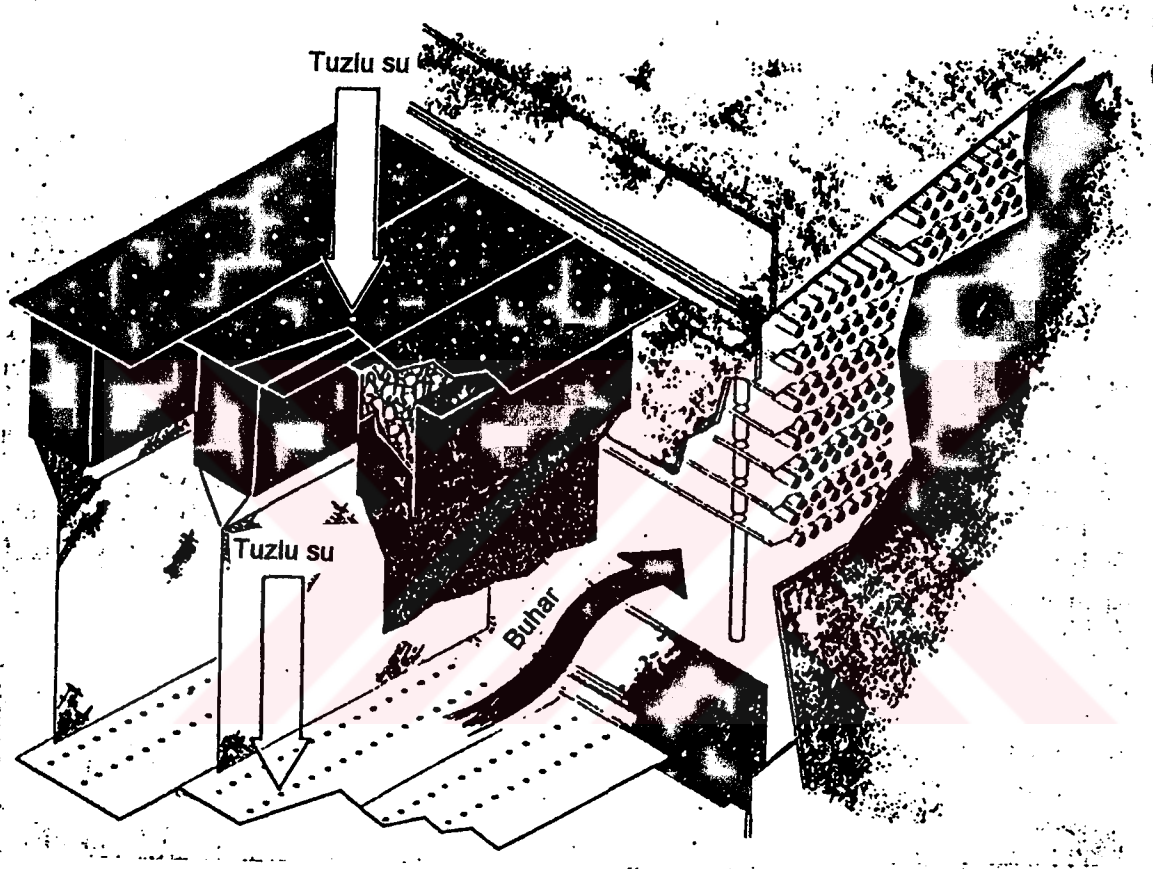
4.1.3.2. Kontrollü ani ısıtma buharlaştırması (CFE)

Isıtma tüplerinin metal yüzeylerinde şekillenen buharın yoğuşturulması, ani alev ile buharlaştırılması iki işlemdir. Her işlemin verimsizliği daha açık ve daha pahalı hale gelmiştir. Başlıca enerji ve kapasite kayıpları, sıcak deniz suyunun alev çemberindeki yüksek çalkantısından kaynaklanmıştır. Ani alev buharlaştırılmasındaki geniş ısı aralıkları kayıplardaki artışı hızlandırır.

İstenilen buharlaştırma eşitlikten uzak olmayan, kontrollü şartlar altında ısıtılan deniz suyunun buharlara içten temas ederek geçmesine izin verir. Bu iki safha arasında devamlı ve dereceli bir basınç azaltılmasıyla olur. deniz suyunun ince katmanlarının buharların akım ilişkisi ile dengeye gelmesine izin verir. Bu durumda ani alev terimi yanlış kullanılmış olur.

Buharlaştırma ve yoğuşma her safhada karşılıklı meydana gelen bir olaydır. İç yüzeyin herhangi bir safhasındaki en ufak bir ısı farkı birçok su molekülünün ve artığın bu safhadan diğerine geçmesine neden olur. Bu, Δt ısı akımı oranının yüzlercesi ile ölçülür (Darwish vd., 1997).

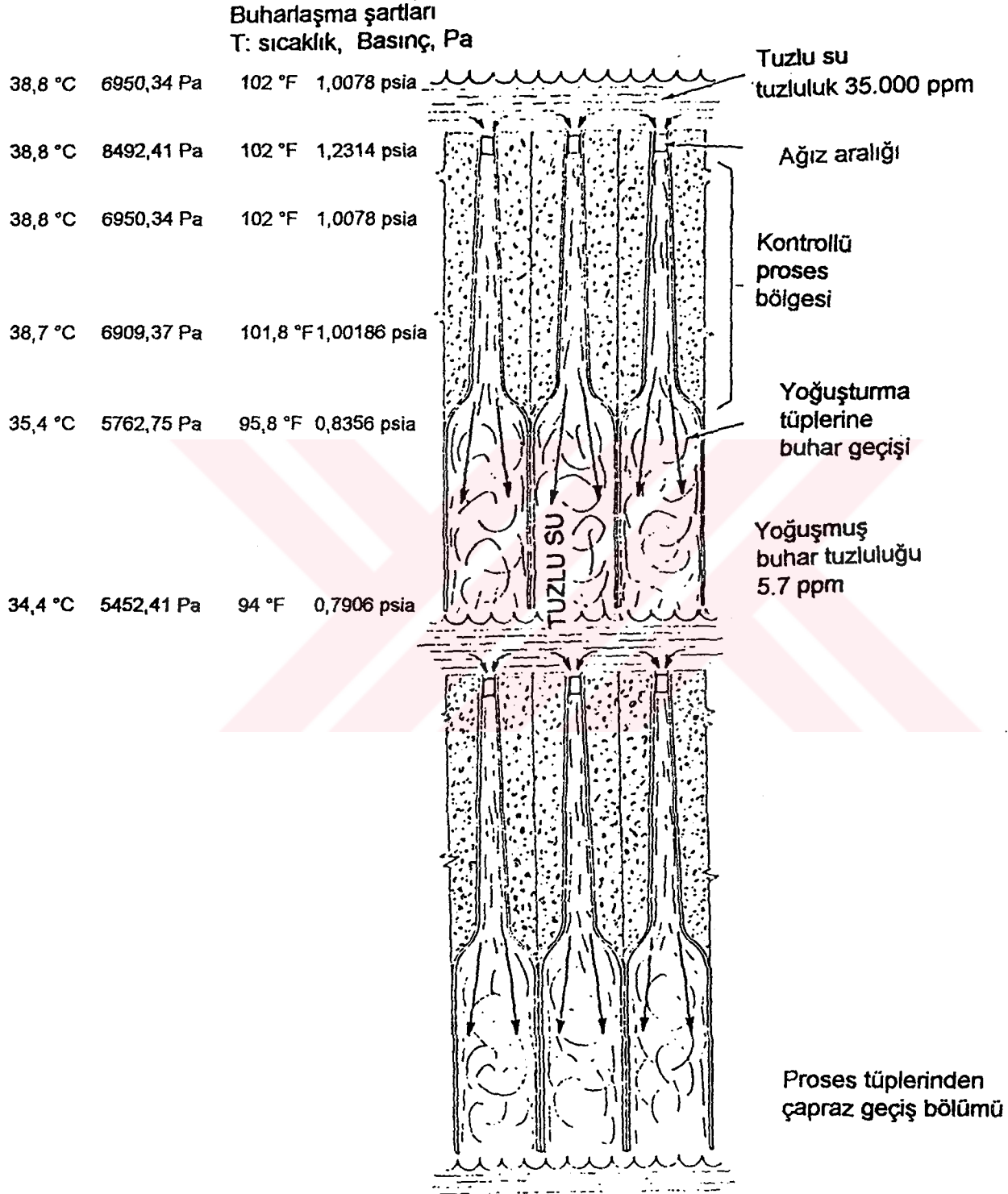
Şekil 4.4 modelinin bir safhasını gösterir. Isınmış deniz suyu yüksek basınçtan, alçak basınca doğru geçerken filmlenir. Sıcak tuzlu su, yüksek safnadaki madeni levhalara akar ve aşağı doğru dikdörtgen kolon bölgelerine veya uygun şekillere gider. Buharlar şekillenip ve tabandan geçerek son olarak buharlaştırıcıya atılır.



Şekil 4.4. Kontrolü anı ısıtma buharlaşması (CFE), (Spiegler, 1966)

Şekil 4.5’de görülen diğer CFE sistemi her noktadaki deniz suyu ısısına karşılık gelen emme basıncı ile deniz suyunun dar dikey kenarlar ve kızaklar vasıtasıyla aşağı geçtiği noktadaki alev buharlarının basıncı arasında önemli bir dengeyi hedefler. Diğer bir deyişle yüksek basınç safhası ile diğer düşük basınç safhası ile diğer düşük basınç safhası arasındaki dengeyi sağlar.

Şekil 4.5'de çapraz bölümde gösterilen bu kızaklar, birkaç derecelik açılarla dikey metal levhalarla oluşturulan aradaki mesafeler dereceyi alarak artar. İki veya üç ft'ten (0,61 m veya 0,71 m) sonra kızakların genişliği metal levhalarında aniden artar.



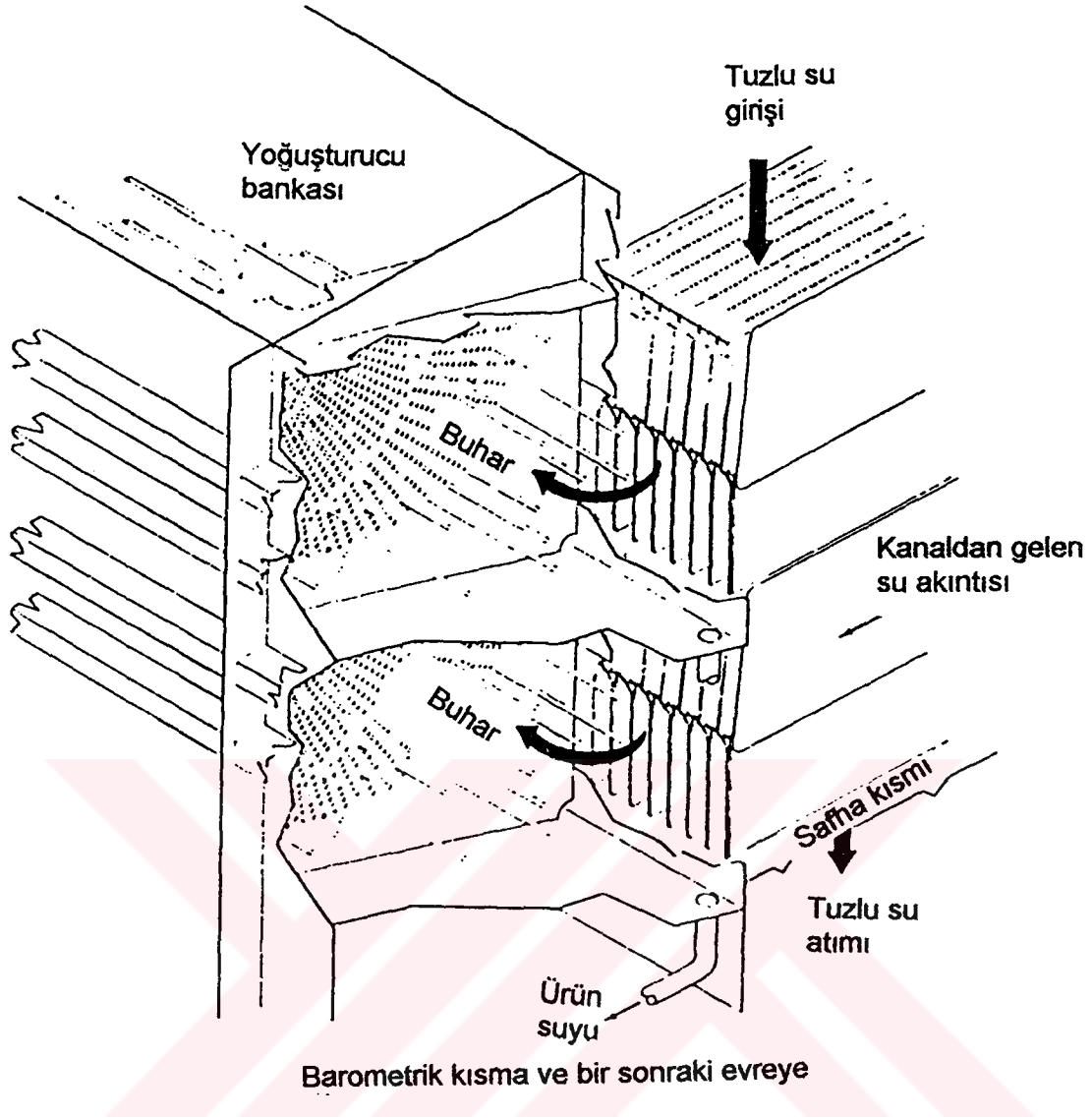
Şekil 4.5. Kontrollü ani ısıtma buharlaştırması (CFE) (Spiegler, 1966)

Birbirine paralel olan çok sayıda kızağın tepesinde, tabanda eşit olan deniz suyunun daha yüksek safhalara geçmesi için dar girişler bulunur. Isıtılan deniz suyu kapı sistemleri vasıtasıyla tepedeki kızakların içine doğru akar ve üst safhadaki yüksek basınç ve yerçekiminin birleşik güçleri nedeniyle aşağı doğru akar, hemen aniden kızağın merkezinde bir oyuk oluşur. Şekillenen buharlar aşağı doğru genişleyerek ve kendinden şekillenen bir kanal şeklinde akar. 1 mm kalınlığındaki ince filmler (katmanlar) su buharı ve suyun dengeye yaklaşmasına izin verir(daha çok yayılma gibi). Çünkü yüzeyi kıran baloncuklar yoktur. Buharlaşma nedeni, genişlemeyen kızağın çapraz bölümü artan buhar hacmi ile uzlaşır, basınç düştükçe artar (Spiegler, 1966).

Kızağı oluşturan düzlemlerin daha alçak kenarların kesişmede kayda değer bir artış vardır. Bu nedenle safhanın ısıtma-yoğunlaştırma kısmına giden buharların dolaşım hızı önemli miktarda düşer. Aynı zamanda deniz suyunun ince tabakaları oldukça genişletilen sıvı pasajının duvarlarından aşağıya, düşük olan diğer safhanın havuzuna geçer. Buradan deniz suyu aralıklardan geçerek ard arda kızaklara ulaşır. Her noktada deniz suyu ve buharlar içten temas halinde ve aynı ısıdadır. Şekil 4.6'daki kesik detaylı izotermik resim yoğunlaşma tüpleri ile ateşleme kızaklarının 2 setinin pozisyonunu gösterir.

CFE'nin mükemmel dizaynı ve işlemesi; parlama olmaksızın çalkantı ve safha atlaması nedeniyle, ısı ve basınç kaybı olmadan, yüksek bir ısı aralığına izin verir (13,8°C veya daha fazla). Her bir safhanın transfer maliyetleri, geleneksel MSF'nin sadece 1/5'i, her bir alev ısı derecesinin maliyeti ise MSF'nin sadece 1/10'dur. Böylelikle kapital maliyetleri ve işletme maliyetleri geniş olarak akım maliyetleri arasında doğru bir optimizasyon hesaplanabilir.

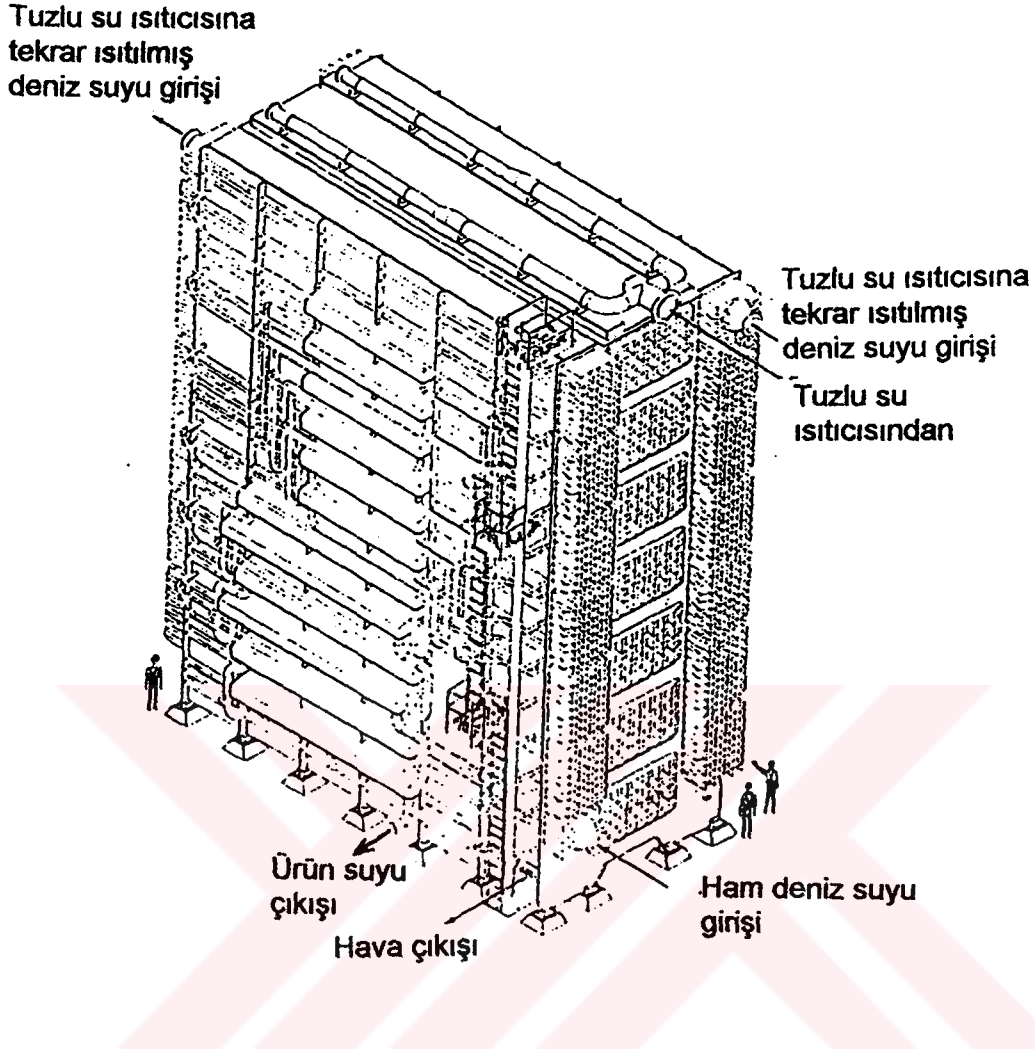
Değişen işletimi, verimliliği, kısmen değişen amaç dışı MSF ile karşılaştırıldığında, CFE'nin safhadan safhaya olan akımı geniş işler alanları üzerinde verimlidir. Bu kızakları besleyen aralıkların üzerindeki safhanın içinde bulunan deniz suyu yüksekliği ile düzenlenir. Hiçbir sıvı, safhayı terk eden su buharı ile dengeye gelmeden bir safhadan diğer safhaya geçemez. Fabrikalarda çözülemeyen diğer bir geleneksel problem ise safhalar arasında akıntı elde edilmemesidir (Farwati, 1994).



Şekil 4.6. CFE: İki basamaktaki ani ısıtma düzlemleri ve yoğunlaştırıcılar (Farwati, 1994)

CFE tesisleri Şekil 4.7’de gösterildiği gibi bir kule şeklinde düzenlenen, birbiri üstüne 13 veya daha fazla safhadan oluşur. Bu 13638 m³/gün üreten yoğunlaştırıcıları içerir.

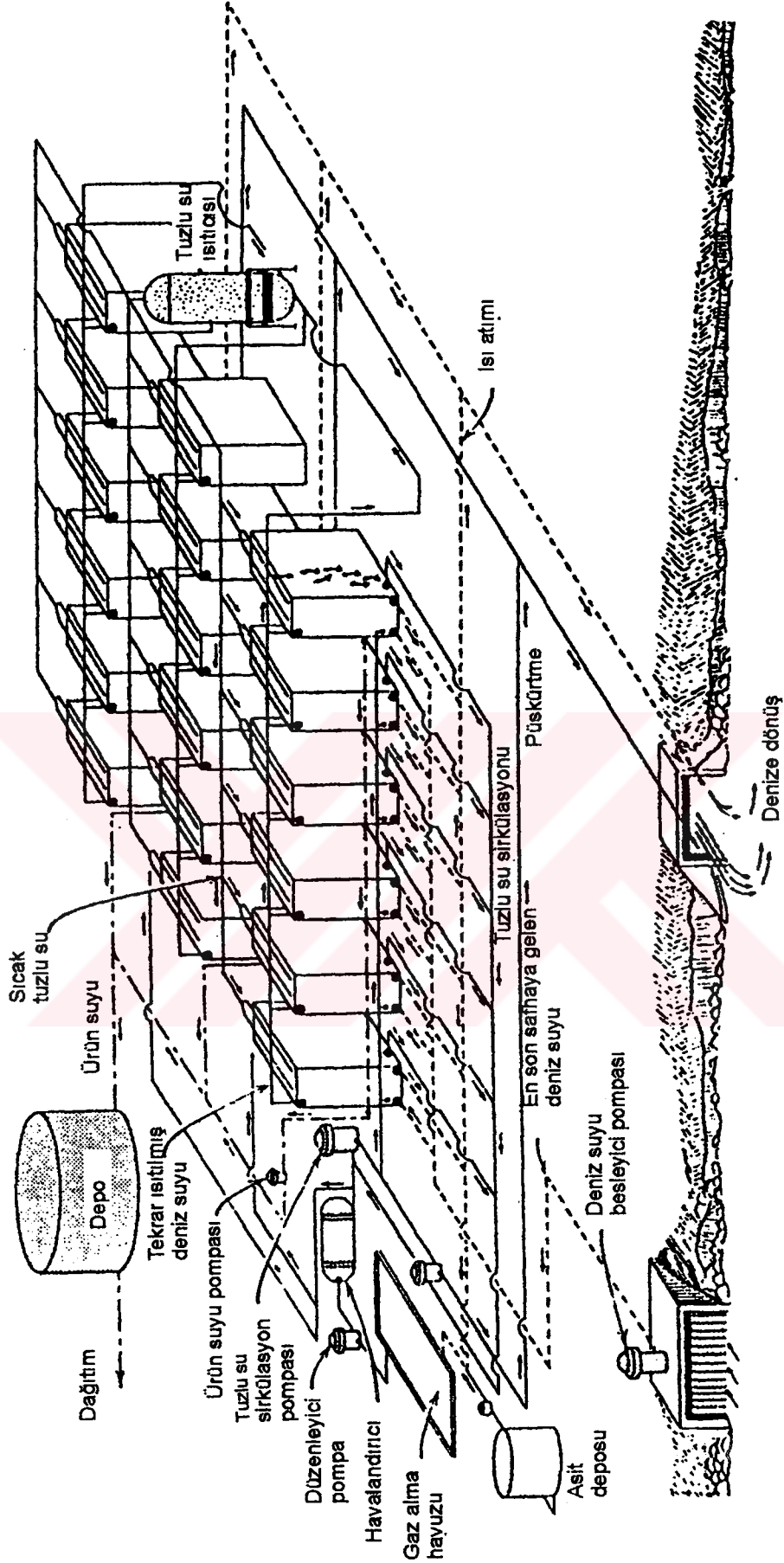
Şekil 4.8 her modülde 13 638 m³/gün olan 18 modüllü, 227 298 m³/gün nominal üretimi olan bir fabrika şemasıdır. Bu safhanın işleme şartları; basınç 6 896 Pa’dan daha düşük, sıcaklık 37,7°C’den az olduğundan ötürü oldukça zordur ve üretilen her 0,454 kg tatlı su için sıvının yüzeyinden 9.9 m³ buhar ayrılır.



Şekil 4.7. CFE-3 milyon gpd kapasiteli basamaklı tesis modülleri (Kirk-Othmer, 1970)
(3 milyon galon = $13\,635 \times 10^3 \text{ m}^3$)

CFE safhasının oluşturulmasında ve safhanın buharlaştırma ve yoğunlaşma kısımları arasındaki karşılıklı önemli diğer bir gelişme; safhanın bir parçası olan ön ısıtma tüplerinde yoğunlaşan buharların ısı transfer katsayılarındaki artıştır.

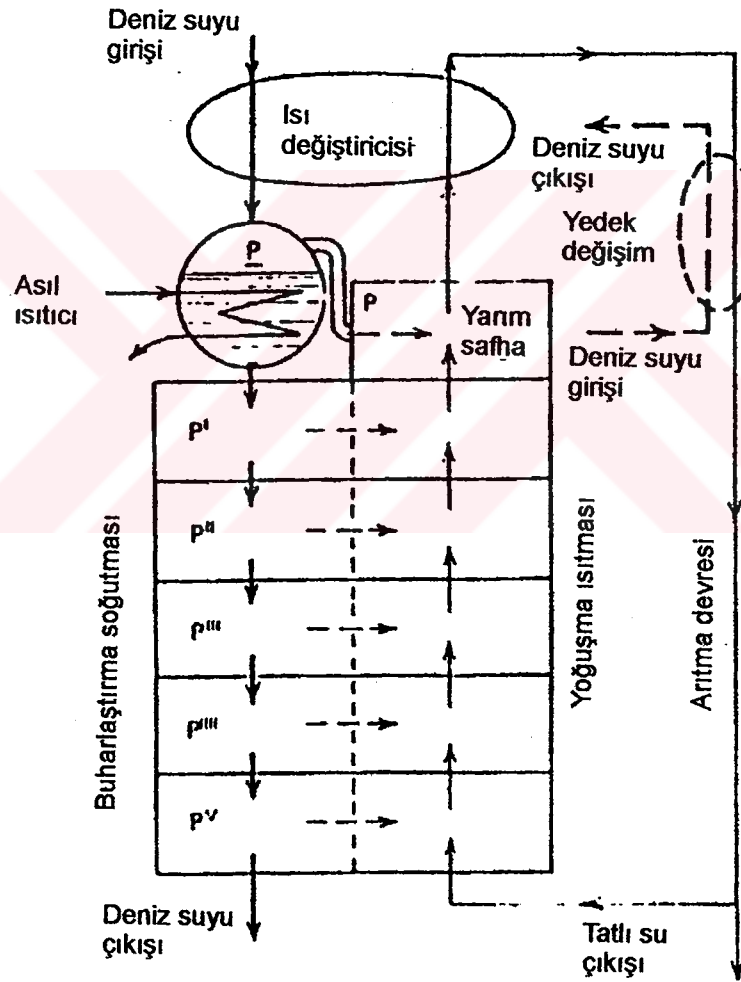
Tropik denizlerde yüzey ve dip akıntıları arasındaki ısı farkından elde edilen termal enerji miktarı büyük olduğundan tatlı su üretimi ve elektrik gücü elde etmede de kullanılır. CFE bunun için tercih edilen sistemdir.



Şekil 4.8. Kontrollü ani ısı tesisi (Kirk-Othmer, 1970)

4.1.3.3. Çoklu ani buharlaştırma: Buharın yeniden ısıtılması prosesi (VR)

Buharlaştırıcılar sıvının kaynatılması ve buharın yoğunlaştırılması için ısı transfer yüzeyleri içerirler. Bir buhar sıkıştırma ünitesinde ve bir çoklu sistemde, bu fonksiyonlar buharın ısı transfer yüzeyinin bir tarafında yoğunlaştırılması ve sıvının diğer tarafta kaynatılmasıyla birleştirilirler. Alışılmış MSF buharlaştırıcı, buharlaştırma için ısı transfer yüzeyini ortadan kaldırır, fakat kondensasyon yüzeyini kaldırmaz. Buharın yeniden ısıtılması prosesi, modifiye edilmiş bir MSF'dir ve buharlaştırma ile kondensasyonda metalik ısı transfer yüzeyini elimine eder. Bugüne kadar ve sadece deneme ölçüsünde kullanılmıştır (Farwati, 1994).



Şekil 4.9. Buharın yeniden ısıtıldığı MSF buharlaştırması
(American Water Works Association Inc., 1971)

MSF'nin VR şeklinin çeşitli incelemeleri, belli başlı ısı ekonomisi, tesis maliyetinin düşmesi ve diğer avantajlarının sonuçlarını gösterir. VR'nin soğutma-buharlaştırma kısmı şekil 4.9'da görüldüğü gibi geleneksel MSF'ninki ile aynıdır. Buhar ısıtma-yoğuşturma kısmına geçmektedir. CFE sistemi de solda kullanılabilir. Tuzlu suyun aşağıya akış dönüşümü gösterilmemiştir.

VR'de, MSF'nin her aşamasında oluşan buhar direkt olarak dönüşümdeki damlacık ya da diğer şekillerde dağılmış akış halindeki tatlı suyla temas eder. Buhar tatlı suyun yüzeyinde yoğunlaşarak onu ısıtır ve ters akımla bölümden bölüme akar.

Isıtma-yoğuşturma kısmındaki soğuk tatlı suyun açık akışı yukarıya gösteren oklarla gösterilmiştir. Soğutma-buharlaştırma için açık akış aşağıyı gösteren oklarla temsil edilmektedir.

VR herhangi bir ısı transfer yüzeyi olmadan çalışır. Şu anda dizayn edilen tek büyük alışılmış MSF tesisleri çok fazla miktarda pahalı bakır ve nikel alaşımları gerektirmektedir. Tüplerin, tüp tabakalarının ve ilgili parçaların maliyeti MSF tesisindeki ekipman maliyetinin % 40-55'ini kapsamaktadır. Gerçekte, dünyanın ihtiyaç duyduğu tatlı su, dünya kaynaklarından ayrılan fazla miktarda bakır ve nikeli içeren alışılmış MSF buharlaştırıcılarla sağlanabilmektedir. MSF'deki yoğuşturucu tüplerin elimine edilmesi, yüksek sıcaklıkta tüplerde kabuklanma oluşumu ve korozyon olasılığını da ortadan kaldırmaktadır. Kalsiyum sülfat ve diğer kabuklanma oluşturmalar yüksek sıcaklıklarda sıvı-sıvı ısı değiştiricilerde ısınmakta olan deniz suyunda çökerler. Yumuşak çamur kolaylıkla süzülebilir veya çöktürülebilir ya da MSF içinde devretmesine izin verilerek yoğuşturulmuş tuzlu su ile atılması sağlanabilir. Alışılmış MSF buharlaştırıcıların tek akışı yerine, VR'nin her bölümünün iki yarısında ayrı ayrı sıvı akışı vardır. Bu nedenle işlemin daha büyük bir esnekliği vardır.

VR ile daha çok sayıda bölüm kullanıldığı için optimize edilen tesis için ısı maliyeti düşmektedir. Bununla beraber çok sayıdaki bölümün (kazanç oranını arttırmak için kondensasyon yüzeyinde büyük artışla sağlanmıştır) VR ile gerekli olmadığı gösterilebilir.

Basamak sayısı arttıkça avantajlar daha da azalmaktadır ve tesis maliyetini dengelemede CFE için olduğu gibi VR için de optimum önemli ölçüde düşüktür. Kazanç oranının büyük olması ve tesis maliyetinin dikkate değer miktarda düşük olması nedeniyle ürün için hesaplanan toplam maliyet VR'de önemli ölçüde düşüktür (Darwish vd., 1997).

VR buharlaştırıcının daha alt aşamasından alınan buhar, yüksek basınçlı ilk ısıtıcı ya da yarı basamakta buhar olarak yeniden kullanmak üzere yeniden sıkıştırılabilir. 15 bölümlü VR'de 232-214°F (128.8°C-118.8°C) aralığında 4,54 m³ tatlı su başına kullanılan toplam elektrik gücü tüketimi 60 kwh'dir.

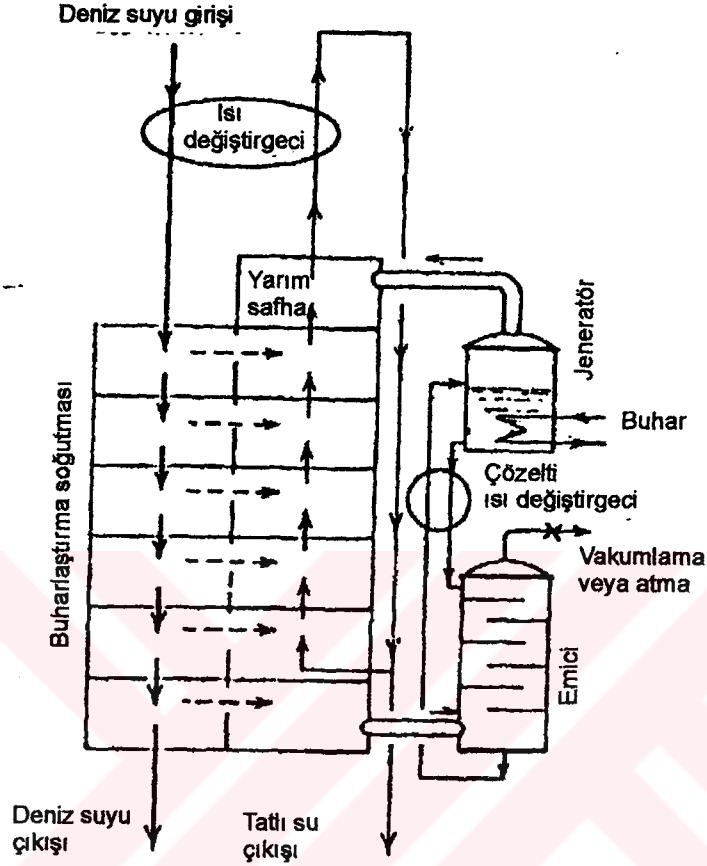
Kompresör güç gerektirir; bu nedenle alışılmış MSF veya VR modifikasyonu buhar gibi ısı kullanılabilir. Bir kaynatıcı-güç tesisi böyle iki amaçlı bir tesis tarafından üretilen iki ürün olarak elektrik gücü ve suyu sağlar. Herbirinin gereklilikleri mevsime ve günün saatine göre değişebilir. Bununla birlikte bir turbo jeneratör elektrik gücü sağlayabilir ve çok büyük bir VR buharlaştırıcı, orta derecede bir basınçta türbin eksozundan veya dışarı çıkan buhardan aldığı düşük basınçlı ısıyı kullanarak tatlı su üretebilir.

Bu buharlaştırıcı bir türbine ya da motorla çalışan bir buhar kompresörüne de bağlanabilir. VR buharlaştırıcısına sağlanan mekanik enerji (buhar sıkıştırma) ve termal enerji (buhar) miktarı elektrik gücü yükündeki farklılıklara bağlı olarak su ve elektrik enerjisi miktarının optimizasyonunun bir sonucudur.

4.1.3.4. Buharın absorpsiyonu

Bu yöntem, alışılmış absorpsiyon soğutma makinalarında olduğu gibi, yeniden sıkıştırma sisteminin temeli için mekanik kompresör yerine kullanılabilir. Düşük basınçlı su buharı çok daha düşük buhar basıncı olan bir çözücüye absorplanır . Yüklenen çözücü daha yüksek bir basınçta bu yüksek basınçtaki su buharını vermek ve solventi yeniden kullanım için dejenere etmek üzere ısıtılır. Şekil 4.10'da buhar, absorplayıcı jeneratör sıkıştırmasıyla düşük basınçlı ve bölümünden yarı bölümüne giderek yeniden

sıkıştırılmaktadır. Böylece alt bölümdeki buharın ısıyı yarı bölümdeki veya ilk ısıtmadaki basınç ve sıcaklığa yükseltilir.



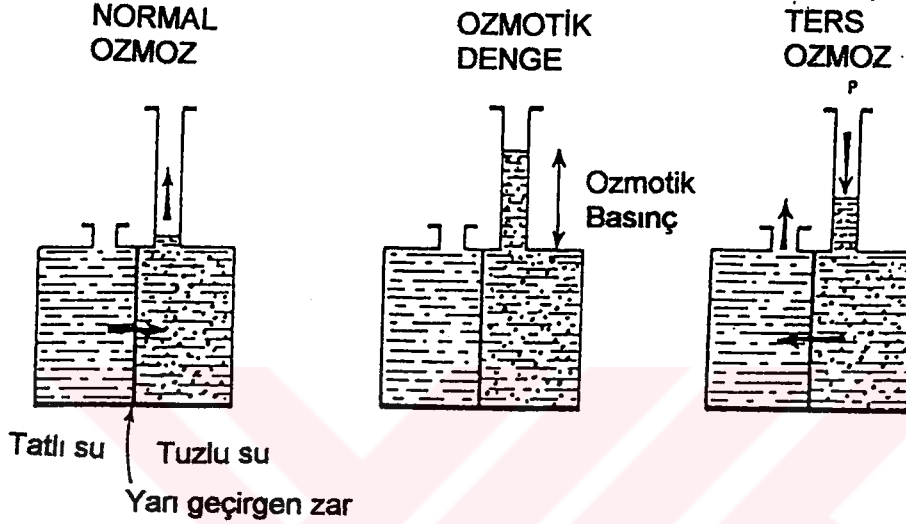
Şekil 4.10. Absorpsiyonla buharın yeniden sıkıştırılması ile yeniden buharlaşması (American Water Works Association Inc., 1971)

4.2. Ters Ozmoz

4.2.1. Ozmotik basınç

İdeal bir yarı geçirgen zar (solventi geçiren fakat çözüneni geçirmeyen) biri saf çözücüye diğeri çözeltiyi (çözücü ve çözünen) içeren iki bölüm arasına yerleştirildiğinde solvent membran içinden çözelti tarafına geçer. Bu olay ozmoz olarak adlandırılır. Bu taşınma çözünenin varlığı nedeniyle meydana gelen hareket kuvvetinin kimyasal potansiyeli

nedeniyle olmaktadır. Çözücü akışını durdurmak için çözelti tarafına uygulanması gereken basınç ozmotik basınç olarak adlandırılır. Ters ozmozda çözeltiye ozmotik basınçtan daha büyük bir basınç uygulanarak akış tersine çevrilir ve çözelti tarafındaki çözücünün saf çözücü tarafına akışı sağlanır. Bu nedenle bu işlem ters ozmoz olarak adlandırılır. Şekil 4.11’de prensip şekli görülmektedir.



Şekil 4.11. Ters ozmoz prosesi prensibi (Ed. Bigin, 1988)

Membrandan akış modeline, ozmotik basınç oluşturan kuvvetlerin etkisi gözönüne alınmalıdır. Gerçek zarlarda bir miktar çözünen de geçebilir. Bu nedenle zarın her iki tarafındaki çözeltinin ozmotik basıncı gözönüne alınmalıdır. Zar boyunca uygulanan etkili hareket kuvveti basıncı uygulanan basınç farkı eksi ozmotik basınç farkı olarak tanımlanabilir. Zar boyunca meydana gelen ozmotik basınç farkı olarak tanımlanabilir. Zar boyunca meydana gelen ozmotik basınç farkı iki bölüm arasındaki konsantrasyon farkıyla lineer olarak ilişkilidir.

Ozmotik basınç, çözeltinin termodinamik bir özelliğidir. Zar geçişlerinde birkaç hareket kuvveti vardır. Bunlardan başlıcaları basınç, konsantrasyon, elektrik potansiyeli ve sıcaklıktır. Bunların herbiri sırasıyla; çözücü ve çözünen akışını, elektrik akımını, termal enerjiyi etkiler (Jawad vd., 1996).

Ters ozmozda ilgili hareket kuvvetleri basınç ve sıcaklıktır. Bunlar sırasıyla çözücü ve çözünenin akışına yardımcı olur.

4.2.2. Zar performansı

Ozmoz olayında membran performansı akış ve ayrılma terimleriyle tanımlanır. Akış, her birim zar alanı başına maddenin taşınma hızıdır. Ayrılma, besleme kısmıyla sızıntı kısmı, arasındaki bağıl konsantrasyon değişikliğidir.

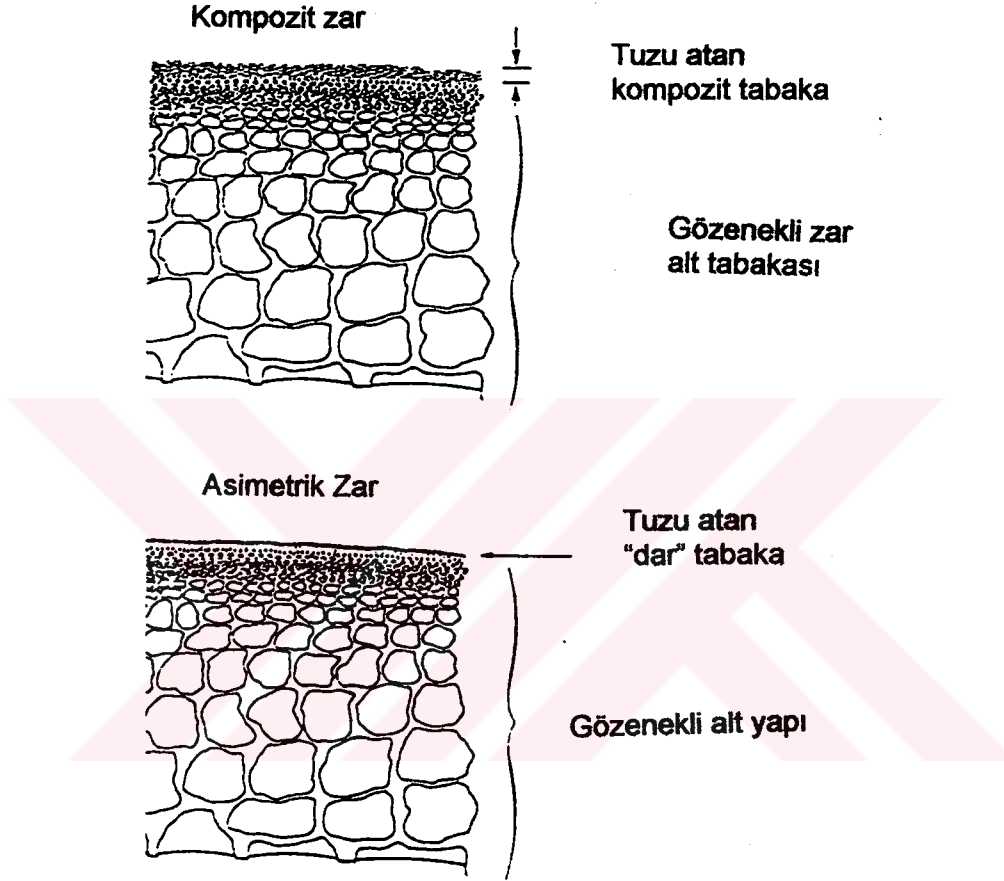
Zar üreticilerinin yayınlarına ve literatürlere dayanarak her bir zarın işlem koşullarından bağımsız olarak her bir çözüne karşı karakteristik bir performansı olduğu anlaşılabilir. Ancak bu, yanlış yönlendirmez. Zarın gerçek performansı işlem koşullarının kuvvetli bir fonksiyonu olabilir ve bir zar sistemi tasarlanırken gözönünde bulundurulmalıdır. Konsantrasyon, basınç, besleme akış hızı, sıcaklık ve pH başlıca işlem değişkenleridir ve membran performansını etkiler.

4.2.3. Zarların fiziksel ve kimyasal yapısı

Pekçok polimer çalışmasının bir sonucu olarak, zar araştırmacıları tutulmada azalma olmaksızın ve bazı durumlarda ilerleme elde ederek sızıntı seviyesini arttırmışlardır. İnce membran aktif bir tabaka, çözünenler membran yüzeyi tarafından reddedildiği için, daha yüksek sızıntı sağlar ve çözünenin tutulmasını etkilemez. Pratikte ince zarlar, asimetrik zarların kabuk tabakasını ya da birleşik zarların uygulama tabakasını en aza indirerek üretim prosesinin gelişmesini sağlarlar.

İlk selüloz asetat zarların, asimetrik yapıları nedeniyle mükemmel özelliklere sahip olduğu bulunmuştur. Asimetrik yapı zarın karşılıklı bölgelerindeki gözenekliliğin eğimiyle ilgilidir. Zarın besleme akışı tarafındaki yüzeyinde çok küçük gözenekler vardır. Yaklaşık 1000-2000 °A'luk derinlikte gözenek bulunmaktadır. Zarın kalınlığı boyunca gözeneklilik artar. Çözünmüş maddenin tutulmasının bir yüzey olayı olması ve zar kalınlığından bağımsız olması nedeniyle bu yapı işe yarar. Şekil 4.12'de zar yapısı görülmektedir.

Ancak zar sızıntısı katıyı tutan kabuk tabakasının kalınlığıyla ters yönde ilgilidir. Bu nedenle daha ince çözüneni tutan yüzey tabakası akış direncini en aza indirirken çözüneni tutar. Zarın diğer kısımlarındaki daha büyük gözenekler akışa daha az dirençlidir (Reali vd., 1997; Bakish, 1973).



Şekil 4.12. İki başlıca tip zar yapısı (Ed. Bigin, 1988)

Ters ozmoz zarları kimyasal açıdan selülozik olanlar ve selülozik olmayanlar olarak sınıflandırılır. Selülozik zarlar selüloz triasetat, selüloz asetat ya da bunların karışımıdır. Selülozik zarlar ilk ticari RO zarlarıdır ve hâlâ kullanılmaktadırlar. Başlıca avantajları pürüzlü olmaları, klora nispeten duyarsız olmaları ve ucuz olmalarıdır. Dezavantajları ise selülozik olmayan zarlara göre karşılaştırılabilir tutuculuk ve yüksek sızıntılarının olmamasıdır. Ayrıca dar pH aralığıyla sınırlandırılmıştır.

4.2.4. Ters ozmozun (RO'nun) kullanımı

Ters ozmoz sistemleri iki genel amaçla kullanılır.

- 1) Saflaştırılmış su elde etmek. Bu durumda istenen ürün olan saf suyun zarıdan geçişine izin verilir. Kalan çözünenler tuzlu su olarak atılır.
- 2) Besleme suyundaki çözünmüş maddeleri derişikleştirmek. Bu bazen “suyun arıtılması” olarak görülür. Bu uygulamaların çoğu atıkların arıtılması içindir. Burada suyun içeriğindeki azalma uzaklaştırma maliyetini azaltır.

4.2.5. Tuz giderilmesinde ters ozmozun kullanımı

Ters ozmozla tuzlu sudan suyun ayrılması pek çok araştırmacının ilgilendiği bir konudur. Ters ozmozda su molekülleri çok yüksek basınç etkisiyle yüksek polimer filmler veya zarlardan geçirilir. Daha yoğun olan tuzlu su membranın besleme yüzeyinden atılır. Uygulanacak basınç, normal ozmotik geçirgenliğe dönmek için gerekli olan tuzlu suyun ozmotik basıncından yüksek olmalıdır. Deniz suyunun ozmotik basıncı yaklaşık 25 bar ($=25 \times 10^5 \text{N/m}^2$), 2000 ppm katı içeren tuzlu suyun ise yaklaşık 1,4 bar ($=1,4 \times 10^5 \text{N/m}^2$)'dir. Ters ozmoz için gerekli basınç bu değerlerden fazla olmalıdır. (Ed.Bipin, 1988).

RO'nun diğer yöntemlere göre çeşitli özellikleri vardır:

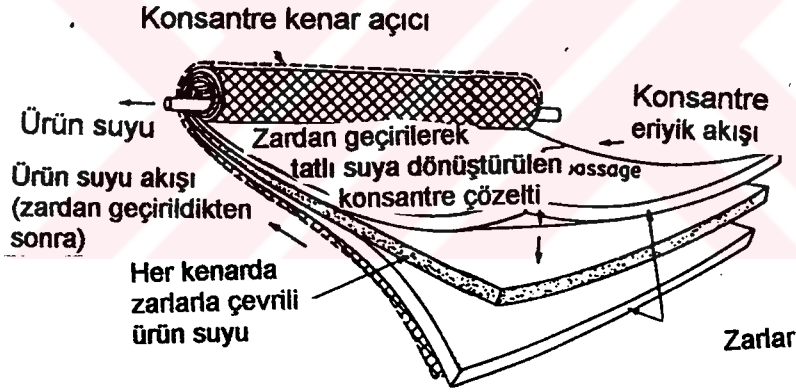
- 1) Temel anlamda basit bir yöntemdir.
- 2) Destilasyondaki gibi ısı transferi gerektirmez.
- 3) Selüloz asetatından elde edilen ilk pratik zarlar nispeten ucuz materyallerdir.
- 4) Daha ileri geliştirme çalışmalarıyla, prosese tuzlu su arıtımı, atık su arıtımı ve nihayet deniz suyu arıtımı için uygun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

4.2.5.1. Yarı geçirgen zarlar ve modüller

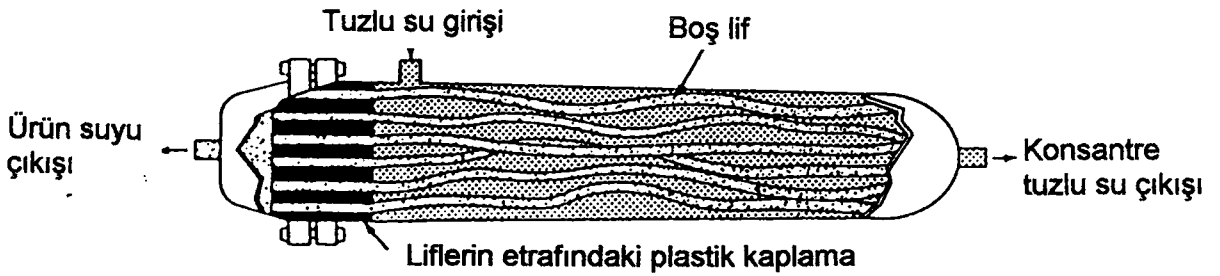
RO ile tuz gidermede ideal olan zar son derece ince kusursuz polimerik madde filminden ibarettir. Maddenin taşıma özellikleri suyun az bir engellemeyle geçirilmesi ve tuzun

geçirilmemesidir. Suyun büyük ölçüde geçişini sağlamak için gerçek bir zar son derece ince olmalı, ideal olarak birkaç angstromdan kalın olmamalıdır (Ed.Bipin, 1988).

Ters ozmoz zarları besleme akışı ile geçirilmeyen kısmı geçirilen akıştan ayırmayı sağlayan aletlerde paketlenmiş olarak satılırlar. Bu aletler genellikle modül olarak adlandırılır ve besleme akışının hızını ve türbülansını kontrol edecek şekilde düzenlenmiştir. Bu zar modülünün verimliliği günde geçirilen su miktarı (gpd:gallon Per day: galon/gün) ya da günde geçirilen m^3 , ($m^3/gün$) olarak verilir ve zar alanı başına zar geçirgenliğini ifade eder. Kullanılan zar tipine göre dört çeşit modül vardır. Bunlar, düz zarlar için kullanılan spiral-sarmal ve düz-çerçeve şeklindeki modüller ile, lif şeklindeki zarlar için kullanılan boru şeklindeki ve içi boş lif modülleridir. Tuz giderilmesinde başlıca iki modül kullanılır. Bunlar spiral sarmal (Şekil 4.13) ve içi boş lif modülleridir (Şekil 4.14).



Şekil 4.13. Spiral sarmal ters ozmoz modülü (Spiegler, 1966)



Şekil 4.14. Lif şeklindeki ters ozmoz modülü (Ed. Bigin, 1988)

4.2.6. Ters ozmoz (RO) problemleri

RO alanında karşılaşılan bazı problemlerle ilgili çalışmalar yapılmakta ve çeşitli ilerlemeler sağlanmaktadır. Bunlar:

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

2) RO zarları, suyu tam anlamıyla süzdüğünden, RO belirli maddelere; demir, manganez, bulanıklık, organik maddeler ve sudaki diğer çözünmemiş maddelere karşı duyarlıdır. Bu nedenle RO tesislerinde ön işlemlere büyük bir önem verilmektedir. Acı su RO sistemlerinde en yaygın membran sorunu besleme suyundaki kalsiyum karbonat ve kalsiyum sülfatın çökmesi nedeni ile görülmektedir.

3) Selüloz asetata dayalı membran yüzeyi için m^2 başına hammadde maliyeti çok düşük olmasına rağmen; fiyat artışları, dayanıklılık, membranların değiştirilmesi problemleri tesis ve yer değiştirme maliyetlerinde önemli artışlara neden olur.

4) RO ekipmanında kullanılan yüksek basınç (genellikle 2,75 MPa 10,34 MPa) yeterli ve emniyetli pompalama cihazları ve nispeten pahalı borular, basınç kapları ve donanım gerektirir.

4.3. Dondurma

Sulu çözeltiler donduklarında tatlı suyun buzunu oluştururlar. Buzun tatlı su olmak üzere ayrılması ve başka bir suyu dondurma sırasında soğutucu etkisinden yararlanmak üzere yeniden eritilmesi çeşitli tipteki ekipmanlarda kullanılmaktadır. Fakat henüz hiçbir proses günde 113,65 m^3 -227,3 m^3 galondan büyük tesis ölçüsünde başarıyla kullanılamamıştır.

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

- 1) Gizli erime ısısı, gizli buharlaşma ısısının sadece yaklaşık yedide biridir.
- 2) İstenilen yapı materyalleri olan yumuşak çeliğin ya da önceden sıkıştırılmış ve plastikle doldurulmuş betonun deniz suyuyla korozyonu donma noktasında kaynama noktasındakinden daha az ve ani buharlaştırmanın daha yüksek sıcaklıklarındakinden çok daha azdır.
- 3) zellikle tuzlu su iki üç kezden daha fazla konsantre edilmezse donma prosesinde kabuklanma oluşmaz.
- 4) Donma prosesi, buharlaşma prosesine göre oda sıcaklığına çok daha yakın sıcaklıkta gerçekleşir. Bununla birlikte soğutmadaki maliyet ısıtmadan çok daha büyüktür. Bu nedenle daha etkili bir Şekilde korunmalıdır (Spiegler, 1963).
- 5) Donma prosesinde iki ya da daha fazla sıvının farklı sıcaklıklarda direkt temasının kullanılmasıyla ısı transfer yüzeyi elimine edilmiştir.

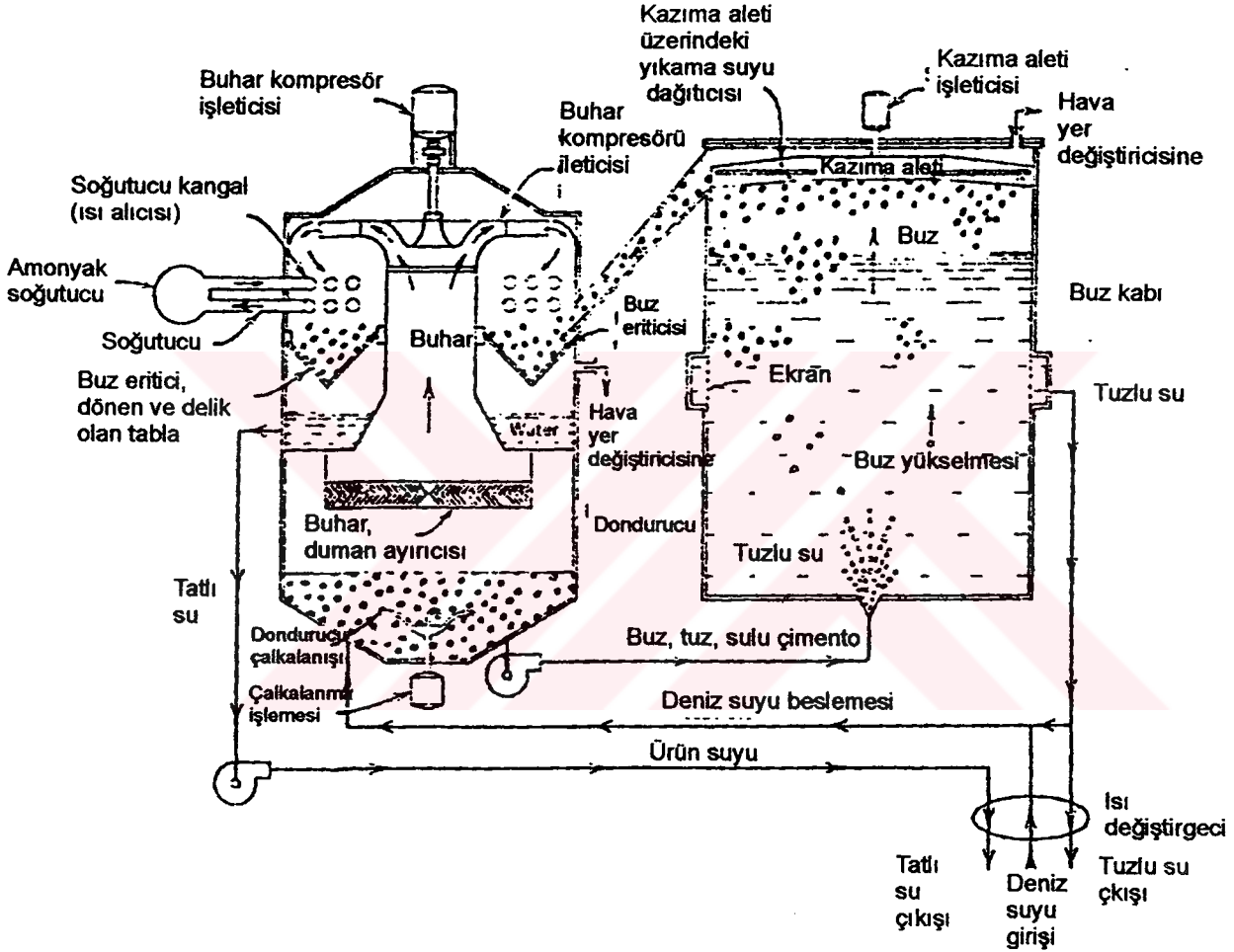
Diğer taraftan, dondurmanın bazı temel dezavantajları vardır:

- 1) Sıvı halden katı hale geçiş için gerekli süre sıvı halden buhar haline dönüşüm için gerekenden daha büyüktür.
- 2) Son deniz suyu fazının ayrılması zordur, buhar fazıyla karşılaştırıldığında uygulaması imkansızdır.
- 3) Buz kristallerinin taşınması buharlaştırma prosesindeki sıvının taşınmasından çok daha zordur.
- 4) Pratik sınırlar içindeki basınç değişimleri buharlaşmada olduğu gibi esnek proses sıcaklığı sağlamadığından dondurma prosesi işlemleri sabit sıcaklıkta yapılmalıdır. Dondurma prosesi gizli faz geçişi ısısının yeniden kullanımını için çok basamaklı ya da çok etkili olamaz.

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

4.3.1. Soğutucu olarak su buharı

Zarchin-Colt Dondurma prosesinde (Şekil 4.15), tuzlu suyun donma noktasında spesifik hacim, kaynama noktasındakinin 150 katı olmasına rağmen, su buharı soğutucu olarak kullanılır. Tuzlu suyun donma noktasında suyun buhar basıncı atmosfer basıncının yaklaşık 1/200'ü kadardır.



Şekil 4.15. Zarchin Colt dondurma prosesi (Chow vd, 1996)

Büyük ve karıştırılan bir dondurucu, bir ısı değiştiricide hemen hemen tuzlu suyun donma noktasına kadar saf suyun donma noktasının biraz altında soğutulmuş deniz suyu ile beslenir. Daha fazla soğutma liyofilizasyonla (dondurma yöntemi adı) yapılır. Burada; dondurma; bir kompresörün emişi yardımıyla, buharlaşmanın sağlanması sonucunda ısı

kayıyla gerçekleşir. Suyun buharlaşması sıvıyı donma noktasına kadar soğuttuğunda küçük kristaller oluşur. Bu kristaller 20-60 dakika içinde 0,5 mm'ye kadar büyürler. Kristalleri içeren tuzlu su bir buz ayırıcısına pompalanır. Burada buzlar sıvı yüzeyinde yüzmektedir. Daha sonra buzları tatlı su püskürtülerek yıkanır. Yıkama suları tuzlu su ile birleştirilir ve dönen bir ayırıcıyla üst tabakadan buzlar ayrılır. Kristaller sıkıştırılmış buhar verilen bir boşluğa geçer. Sıkıştırılmış buhar delikli bir plaka üzerinde bulunan kristalleri eriterek yoğunlaşır ve tatlı su oluşturur. Soğuk tatlı su ve tuzlu su, sisteme verilen deniz suyunu soğuturlar.

4.3.2. Direkt temaslı soğutucular

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

4.3.3. Basınçlı dondurma prosesi

Basıncı artışı, suyun donma noktasını 1 bar'lık (10^5 Pa) basınç başına $-0,01^\circ\text{C}$ düşürür.

Aksine hidrokarbon karışımları gibi yaklaşık 250°C 'de kaynayan ve tuzlu suyun donma noktasından daha düşük sıcaklıklarda donan organik sıvılar yüksek basınçta daha yüksek donma noktasından daha düşük sıcaklıklarda donan organik sıvılar yüksek basınçta daha yüksek donma veya erime noktasına sahiptir.

Önceden soğutulmuş deniz suyunda bazı sıvı ve donmuş hidrokarbon karışımında atmosferik basınçta donar ve daha önceki proseslerde olduğu gibi deniz suyundan

ayrılarak yıkanır. Saf buz sıvı hidrokarbonla yeniden karıştırılır ve basınç yaklaşık 13,8 MPa'a çıkarılır. Bu basınçta sıvı hidrokarbon küçük kristaller halinde donarak ısı verir, sıcaklık 3-4°C'ye yükselir ve buz ısıyı absorplayarak erir. Saf su ürün olarak elde edilir ve sıvı hidrokarbon yeniden devrettirilir.

4.3.4. Hidrate donma prosesleri

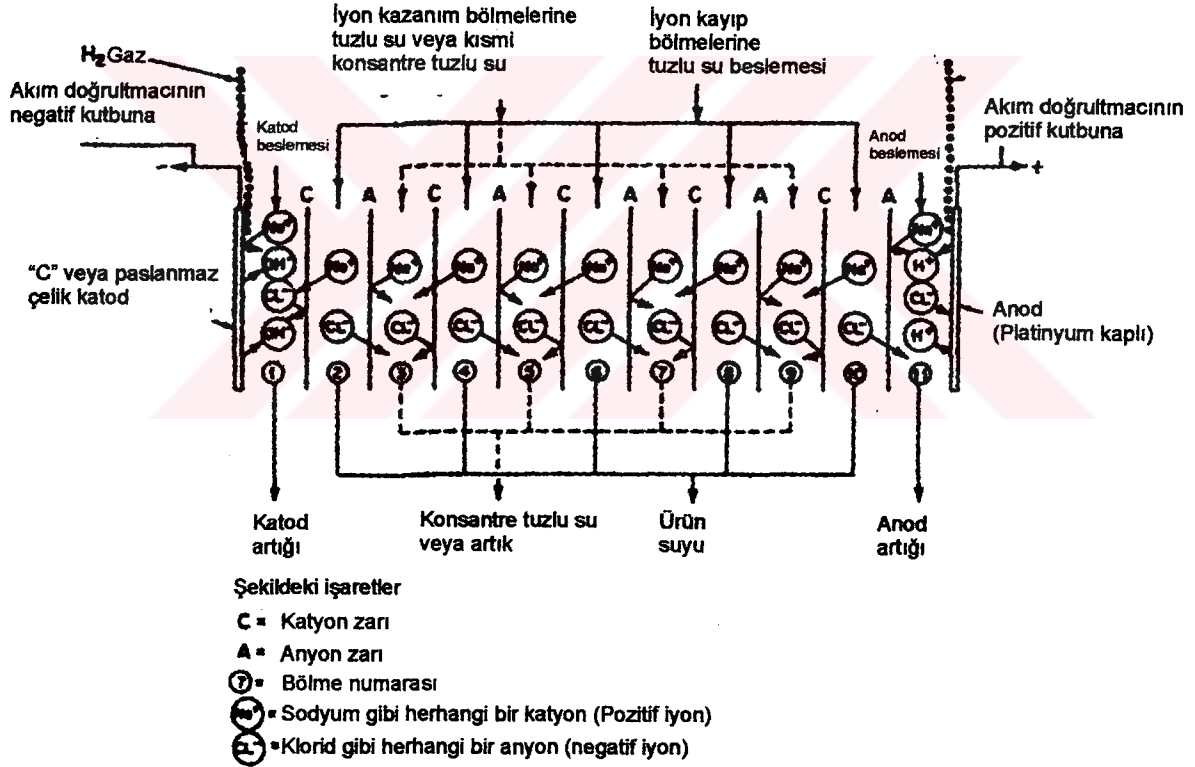
Donma proseslerinin önemli bir çeşidi propan, soğutucu-12 (CF_2Cl_2), soğutucu-31 ($CH_2 FCl$) ve diğerleri gibi soğutucu olarak kullanılan gazların hidratlarının oluşumuna dayanır. Bazılarının bir gaz molekülünde 17 molekül su içerebildiği böyle hidrate kompleksler katılaştırılır veya dondurulur. Bu donma sırasında diğer moleküller tutulmaz fakat su tutulur. Bunlar 17,7°C gibi yüksek sıcaklıklarda stabil olabilirler, sudan daha çok ya da az yoğun olabilirler. Dondurma proseslerindeki bazı dezavantajlar ve avantajlar kristallerin dondurulması, tuzlu sudan ayrılması ve eritilmesi açısından karşılaştırıldığında farklı derecelerde görülmektedir, fakat proses basamakları benzerdir. Avantajı daha yüksek donma ve erime sıcaklıklarıdır (Veysel, 1984).

4.4. Elektrodializ

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

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

ED’de, tuzlar ve mineraller, tuzlu su akımının direkt elektrik akımının etkisiyle özel plastik zarlardan geçirilmesiyle uzaklaştırılır. Tuzlar ve mineraller membranlardan pozitif ve negatif yüklü iyonlar halinde geçer. Bu iyonlardan ayrılan su membranlar arasından akar ve borular yardımıyla zarlar arasından kısmen demineralize ürün olarak toplanır. Sudan ayrılan tuz ve mineraller membranlardan geçerek zarların diğer yüzünü sürekli olarak yıkayan diğer su akışına katılırlar ve daha fazla konsantre su akışı olarak borulardan çıkarlar. Tuzun giderilmesi için gerekli elektrik akımı ve zar yüzeyi uzaklaştırılacak minerallerin tipine ve miktarına bağlıdır. Bu nedenle ED işleminin maliyeti uzaklaştırılacak mineralin tipine ve miktarına bağlıdır. Bu proses acı sular için daha uygundur. Şekil 4.16’da sistem görülmektedir.



Şekil 4.16. Elektrodializ zarlarında temel iyon ve su akışı (Pophin, 1968)

Sudan yararlanma mühendisliği açısından, aşağıdaki faktörler önemlidir:

- 1) Dünyadaki pek çok yerleşim yerinde çalışır durumda günde yaklaşık $4,5 \times 10^3$ m³'den fazla kapasiteli ED tesisi vardır ve bunların tatlı su üretiminde güvenilir olduğu henüz kanıtlanmamıştır.
- 2) Optimum operasyon için; demir, manganez, bulanıklık ve organik madde içermeyen temiz su gerekir. ED tesisine vermeden önce yeraltı sularının bazen yüzey sularının her zaman bilinen yöntemlerle uygun bir ön işlemden geçirilmesi gerekir.
- 3) Kurulacak sistemin toplam maliyetini belirlemek için tesisin ana bileşenlerinin, zarların, elektrotların kullanım süreleriyle ilgili bilgiler önemlidir.
- 4) ED tesislerinde derişik tuz ve mineral çözeltilerinin uzaklaştırılması için besleme suyunun % 10-30'u gerekir (Popkin, 1968).

4.5. İyon Değişimi

En basit iyon değişimi prosesinde sentetik iyon değiştirici yatağından geçen Na⁺, H⁺ ile yer değiştirir. Bu yataktan çıkan seyreltik HCl çözeltisi farklı reçine yatağından geçer. Burada Cl⁻, OH⁻ ile yer değiştirerek deiyonize ya da tatlı su oluşturur. Bu işlem yatakların herbiri tamamen Na⁺ ve Cl⁻ iyonlarıyla yüklenene kadar devam eder.

Daha sonra ilk reçine yatağı ayrı ayrı aktive edilir. Birinci yataktan sülfirik asit çözeltisi geçirilerek sodyum iyonlarının hidrojen iyonlarıyla yer değiştirmesi sağlanır. Aynı şekilde sodyum hidroksit çözeltisi ikinci yataktan geçirilerek klorür iyonları hidroksil iyonlarıyla değiştirilir ve yeniden tuz çözeltisi oluşturulur. Bu çözelti atık olarak yataktan geçer. Bu proses sülfirik asit ve sodyum hidroksitin en az % 50-100 kullanımını gerektirir. Bu; deniz suyunun, büyük ölçekli tuzunun giderilmesinin çok yüksek ve karşılanmaz kimyasal maliyeti olacağını göstermektedir. Özel durumlarda ve özellikle acı sudan tuz gidermede nispeten daha az kimyasal gerektiğinden iyon değişimi kullanılmaktadır.

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

Esas olarak tuz gidermede kullanılan iyon değiştirici reçineler; a) kuvvetli asitler, b) zayıf asitler, c) kuvvetli bazlar, d) zayıf bazlarla çalışır gibi düşünülür (American Water Works Association Inc., 1971).

IE proseslerinin çeşitli avantajları vardır. Bunlar:

- 1) 500-1500 ppm aralığında nispeten düşük çözünmüş katı içeriği olana sular için sermaye yatırımı membran proseslerinden düşüktür.
- 2) Büyük miktarda bikarbonat içeren sular için anyon dönüşümü ihmal edilebilir.

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

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

4.6. Ekstraksiyon (Ayrıştırma)

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

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

Alternatif olarak, suyun solventin farklı sıcaklıklarındaki çözünürlüğünün farklı olmasından yararlanılabilir. Su maksimum çözünürlüğünün olduğu sıcaklıkta ekstrakte edilir. Sonra sıcaklık minimum çözünürlüğün olduğu noktaya getirilir. Böylece suyun bir kısmı ayrılır. İki faz için de solventin geri kazanılması için destilasyon gerekir. Bu enerji ve ekipman açısından pahalı bir yöntemdir. Termodinamik olarak pek çok ekstraksiyon prosesi buharlaşma ve dondurmadan daha az yeterlidir.



5. TUZ AYIRMA TESİSLERİNDE GENEL MALİYETLER

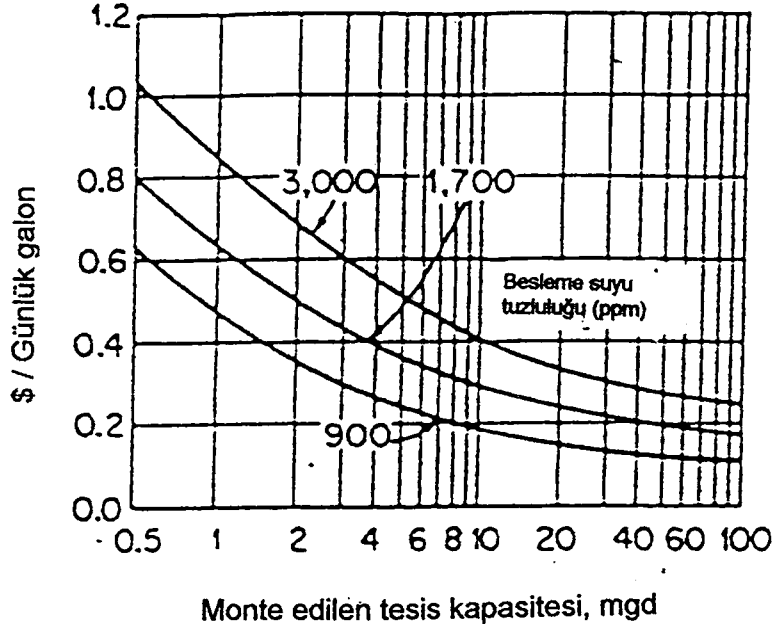
5.1. Acı su

Acı su dönüşüm maliyetleri pek çok değişkenden etkilenir. Bunlar:

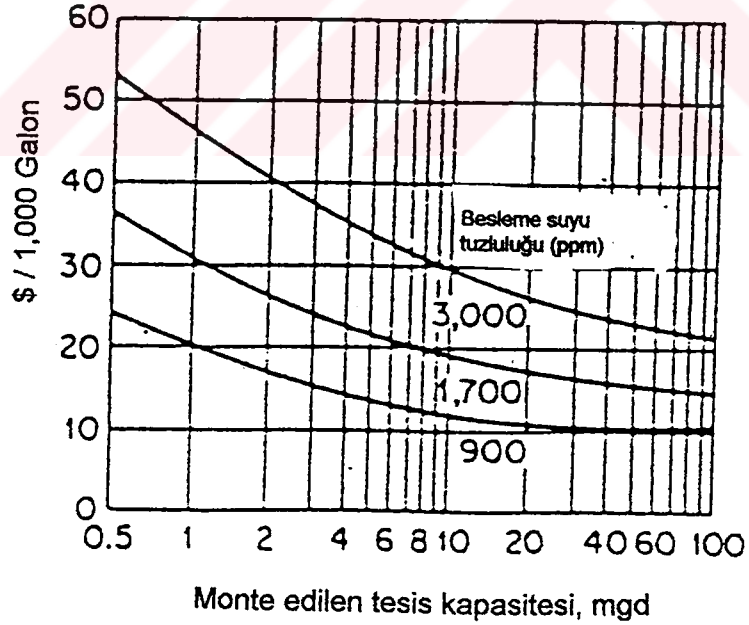
- 1) Seçilen prosesin tipi,
- 2) Tesisin büyüklüğü,
- 3) Arıtılan suyun kimyasal bileşimi ve sıcaklığı,
- 4) Uzaklaştırılması gereken mineral derecesi,
- 5) Elektrik enerjisinin birim maliyeti,
- 6) İklim ve diğer yapı şartları,
- 7) Yıllık yükleme faktörü,
- 8) Aşınma payı ve faiz oranları,
- 9) Membran,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

Nispeten uygun şartlar için genelleştirilmiş maliyetlerin grafiksel ilişkileri Şekil 5.1 ve Şekil 5.2'de görülmektedir. Bu maliyetler ED prosesi, % 90 yükleme faktörü, ılık su, orta derecede ılık iklim, mineral içeriğinin 500 ppm toplam çözünmüş katıya düşürülmesi, kWh başına 4-8 millik elektrik enerjisi ve % 7'lik aşınma payı yükü için verilmiştir.

Şekil 5.1, 500.000-100.000.000 galon/gün ($2\ 273-45\ 4596\text{m}^3/\text{gün}$) arasındaki kapasiteler 900-3000 ppm nominal toplam katı içerikleri için 1968'de gpd (gün başına üretilen galon su) başına dolar olarak bir ED tesisinde gerekli sermaye yatırımını göstermektedir. Bu maliyetler tuzlu suyun tatlı suya dönüşümü için işleme, bakım ve aşınma maliyetlerini içermektedir (Veysel, 1984; İSİGM, 1973).



Şekil 5.1. Gpd başına dolar olarak toplam yatırım maliyeti (ED acı su tesis için)
(1 galon=4,54 lt = $4,54 \times 10^{-3}$ m³ (Veysel, 1984)



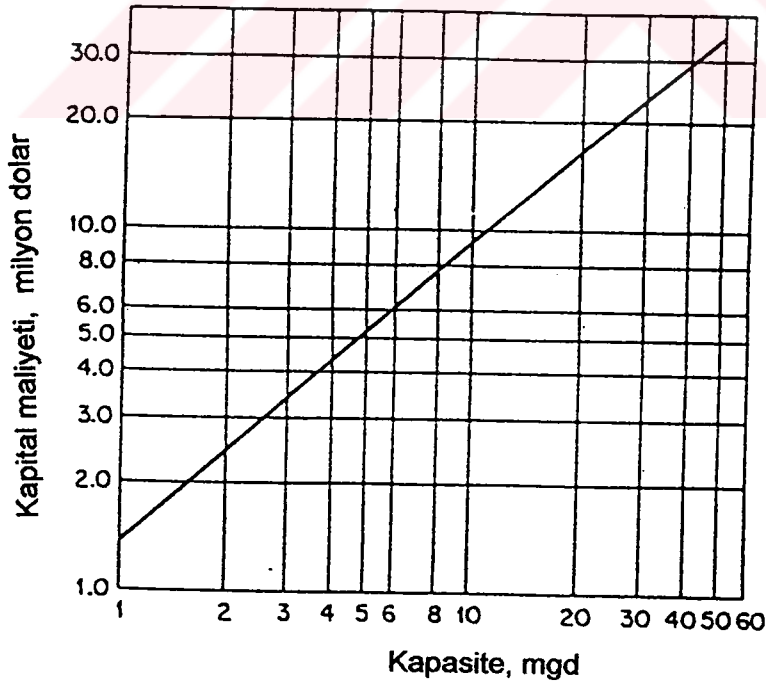
Şekil 5.2. Bin galon başına cent olarak toplam su maliyeti (Veysel, 1984)
(1000 galon = 4,54 m³)

5.2. Deniz Suyu

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

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

Şekil 5.3'de 1-50 mgd kapasiteli çok aşamalı flash destilasyon tesislerinin toplam maliyetinin kapasiteye karşı grafiği görülmektedir. Buhar üretme ekipmanları dahil edilmemiştir.



Şekil 5.3. Çok aşamalı flash destilasyon tesis maliyetleri (buhar üretim aletlerini kapsamamaktadır) (Darwish vd., 1997)

Bu maliyetler 1.5 milyon dolardan yaklaşık 35 milyon dolara kadar değişmektedir. Buhar üretim tesisinin dahil edilmesi bu maliyetlerde yaklaşık % 20'lik bir artış getirmektedir. Temel işleme ve bakım maliyetleri; elektrik gücü, yakıt, kimyasallar, stok ve bakım materyalleri, işleme ve bakım emeği, ek masraflar ve aşırı ısıyı kapsamaktadır.

1-5 mgd kapasiteli pek çok tesiste tahmin edilen işleme maliyetleri uygun şartlarda ve % 90 civarında yükleme faktörlerinde 1000 galon (4,54m³) başına 75 cent-1 dolar civarındadır. 10 mgd aralığında 40 cent gibi düşük tahminler yapılmıştır. Bu maliyetler, özellikle ısı transfer alanının değiştirilmesi ve korozyon nedeniyle olan bakım maliyetleriyle ilgili olanlar deneyimlerle doğrulanmaktadır.

% 90'ın altındaki yükleme faktörlerinde deniz suyu tesislerinde üretilen maliyeti hızlı bir şekilde artmaktadır. Çünkü deniz suyu dönüşüm tesisleri için her gpd (galon/gün) başına birim sermaye maliyetleri acı su tesisleri için olandan birkaç kat daha yüksektir (American Water Works Association Inc., 1971).

5.3. Yükleme Faktörünün Maliyet Üzerine Etkisi

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

- 1) Kullanılan su miktarındaki mevsimlik düzensizlikler,
- 2) Bir emniyet faktörü olarak aşırı kapasitesinin önlenmesi,
- 3) Gelecekteki büyümelerin gözönüne alınması,

nedenleriyle böyle yüksek yükleme faktörlerinde nadiren su sağlanmaktadır. ABD'de aralığındaki yıllık yükleme faktörü uygulanmaktadır. Aşağıdaki tabloda şekil 5.1 ve şekil 5.2'deki verilere göre 1700 ppm'lik su arıtan 3 mgd kapasiteli bir ED tesisi için % 50, % 70, % 90'lık yükleme faktörlerinin toplam su maliyetine etkisi görülmektedir.

Çizelge 5.1. Değişik yükleme faktörlerinin toplam su maliyetine etkisi (3 mgd'lik ED tesisi için) (Darwish vd., 1997).

Yükleme faktörü %	Toplam su maliyeti, 1700 ppm'lik besleme suyu
90	24 cent/1000 gal
70	27 cent/1000 gal
50	32 cent/1000 gal

1000 galon \cong 4,54 m³

6. GÜNEŞ ENERJİSİ YARDIMI İLE TATLI SU ÜRETİMİ ve KULLANILAN SİSTEMLER

Artan su gereksinmesini karşılayabilmek için faydalanılabilecek en büyük kaynak denizlerdir. Tuzsuzlaştırılmış su elde edilmesinde süzme filtreler veya elektrik gücü kullanılması, pahalı yöntemler olduğundan, gelecekte sürekli olarak ihtiyacı karşılayabileceği ileri sürülemez.

Diğer taraftan, doğanın cömertçe verdiği güneş enerjisinden faydalanılarak arıtılmış su elde edilebilir. Nitekim havuz sistemiyle deniz suyundan ve acı sulardan içme suyu elde edilmesi yöntemi, bugün; Avustralya, Şili, Yunan adaları, Kıbrıs vb. ülkelerde uzun zamandır kullanılmaktadır. Güneş enerjisi ile damıtma yönteminin diğer yöntemlere üstünlüğü, enerjinin toplanmasındaki kolaylık, buharlaştırma sistemi ve buharı sıvılaştırma sisteminin tek bir birimde toplanabilmesidir.

Değişik bir damıtma yöntemi olarak J.P. Coffey'in düşey bir tüp içinde gerçekleştirdiği damıtma sistemini örnek olarak verebiliriz. Şekil 6.1'da bu sistem görülmektedir.

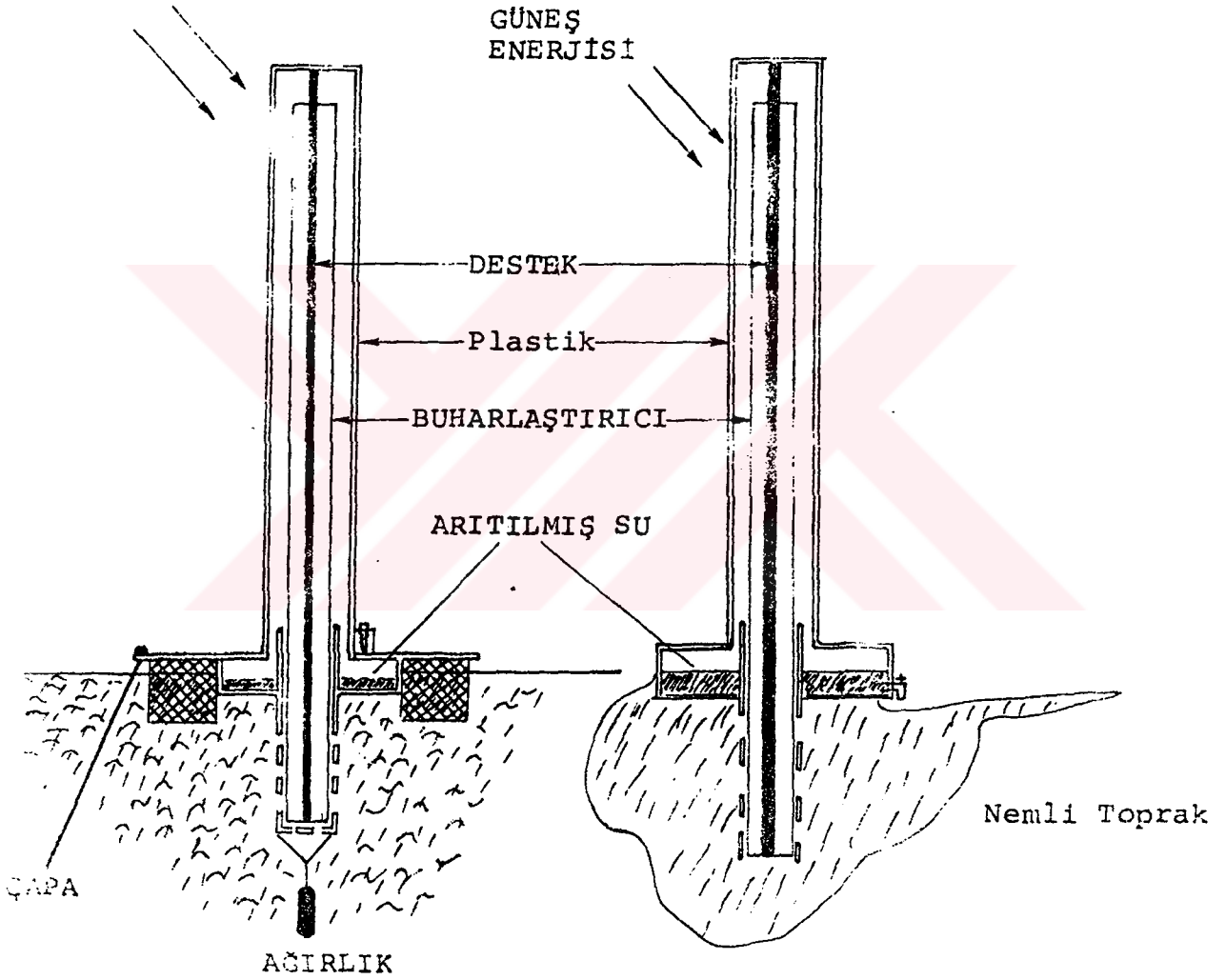
Coffey'in önerdiği bu düşey damıtma sistemiyle deniz suyunun ve yeraltında küçük derinliklerde bulunan suyun damıtılması gerçekleştirilecektir (Uyarel ve Öz, 1987; Rajvanshi, 1981)

Güneş enerjisiyle yapılan damıtmalarda etkiyen en önemli faktörler olarak;

- a) Gelen güneş enerjisi şiddetini,
- b) Ortam sıcaklığını,
- c) Rüzgârı,
- d) Yağmuru,
- e) Sisteme giren tuzlu su miktarını
- f) Isıl kayıpları

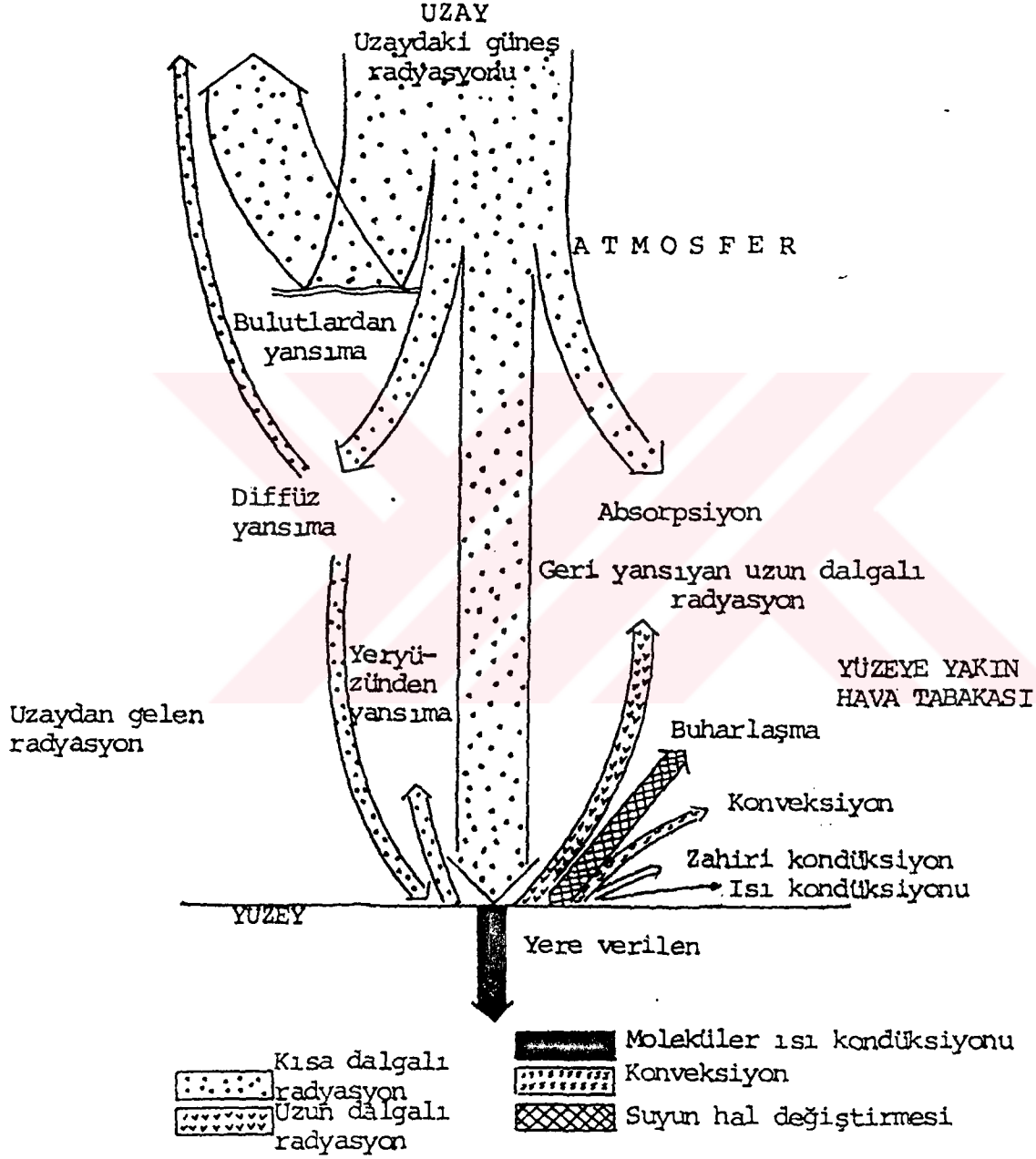
vb. büyüklükleri sayabiliriz. Löff, yaptığı çalışmalardan artılmış su üretiminin; (Löff vd., 1962).

- 1) Güneş enerjisi şiddetiyle artacağı,
 - 2) Rüzgâr hızıyla azalacağı,
 - 3) Yoğunlaşma yüzeyinin küçük olması gerektiği,
- sonucunu çıkarmıştır.



Şekil 6.1. J.P. Coffey'in düşey bir tüp içinde gerçekleştirdiği damıtma sistemi (Coffey, 1975)

Dünyaya ulaşan güneş enerjisinin % 30'u doğrudan doğruya geri yansır, % 47'si atmosferde veya kara ve denizler tarafından ve geriye kalan % 23'ü ise buharlaşma, konveksiyon, fotosentez vb. için harcanır. Güneşten gelen enerjinin atmosfere girdikten sonra kısımlara ayrılışı Sanky diyagramı ile gösterilir. Şekil 6.2'de gösterilmektedir.



Şekil 6.2. Güneşten gelen enerjinin atmosfere girdikten sonra kısımlara ayrılışını gösteren Sanky diyagramı (Ültanır, 1975)

Solar distilasyonu uzun zamandan beri uygulanmaktadır. Malik ve diğerlerine göre, belgelenmiş en eski çalışma, 1869'da Mauchat tarafından rapor edilen 15.yüzyılda bir Arap alşimiste aittir. Mauchat, Arap alşimistin solar distilasyon için cilalı Şam aynaları kullandığını yazmıştır. Lavoisier (1862) damıtma şişelerinin muhtevası üstüne solar enerji konsantre etmek için, ihtimamla yapılmış destekli yapıya monte edilmiş büyük cam mercekler kullanmıştır. Distilasyon için güneş enerjisi konsantrede gümüş veya alüminyum kaplı cam reflektör kullanımı Mauchat tarafından tasvir edilmiştir.

Solar ekipmanlar, büyük ölçüde damıtma suyu üretiminde kullanılan ilk aletlerdi. İlk kurulan su damıtma tesisi, 1874'de Los Salinas, Şili'de kurulan bir sistem idi. Ekipman 4700 m²'yi kaplamıştır. Berrak güneşte hergün ($4 \times 10^{-3} - 9 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{m}^2$) taze suyun 23 m³'ünü üretmiştir. Ekipman 40 yıl çalıştırdıktan sonra dağlardan bölgeye su tedarik edecek taze su hattı döşendikten sonra bırakılmıştır (Labo ve Ardujo 1978).

Güneş distilasyonunda güneş toplayıcı makina kullanımı Pasteur (1928) tarafından bildirilmiştir. Pasteur, güneş ısınlarını su içeren bakır kazana odaklamak için bir toplayıcı makina kullanmıştır. Kazandan sağlanan buhar içinde damıtık suyun toplandığı bir konvansiyonel su ile soğutma kondensatörüne boru ile nakledilmiştir. Solar distilasyona olan ilginin yenilenmesi Birinci dünya Savaşı'ndan sonra meydana gelmiştir. Bu sürede çatı-tipi, eğik-fitilli, meyilli-tabla gibi bir çok yeni aletler geliştirilmiştir.

Deniz suyunun tuzunun çıkarılıp kullanılır hale getirilmesi işlemleri genel olarak iki kategoride sınıflandırılabilir: 1) Faz değişikliği veya termal prosesler, 2) Membran veya tek-faz işlemleri.

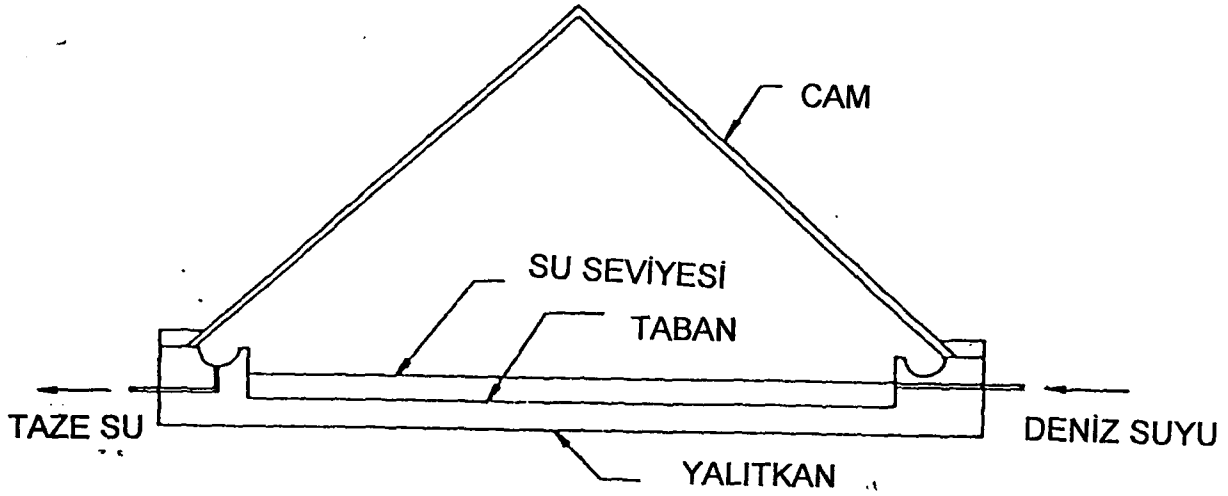
Faz değişikliği veya termik işlemlerde, deniz suyunun damıtılması, bir termik enerji kaynağı kullanılarak elde edilir. Termik enerji, bir konvansiyonel fosil-yakıt kaynağından elde edilebilir. Membran işlemlerinde, yüksek basınç pompalarını kullanmak için veya deniz suyunda mevcut olan tuzun iyonizasyonu için elektrik kullanılır.

Deniz suyunun tuzunun arıtılması için ya faz değişimi proseslerinin kullanımında gerekli termal enerjinin üretilmesi ya da membran işlevlerinin kullanımında gerekli elektriğin üretilmesi vasıtasıyla güneş enerjisi kullanılabilir. Böylece, güneş enerjisi yardımı ile tatlı su üretimi sistemi iki kategoriyle sınıflandırılır: 1) direkt ve 2) indirekt toplama sistemi. İsimlerinden de belirtildiği gibi direkt toplama sistemleri, solar kollektörde direkt damıtma ürünü üretmek için güneş enerjisi kullanır. Bunun aksine indirekt sistemde iki alt sistem kullanılır: bir tanesi güneş enerjisi toplaması için, diğeri deniz tuzunu arıtmak içindir. Aynı tip araç uygulaması nedeniyle konvansiyonel desalinasyon (deniz suyunun tuzunun çıkarılıp kullanılır hale getirilmesi) sistemleri solar sistemlere benzemektedir. Başlıca fark; birincide gerekli ısıyı sağlamak için ya konvansiyonel kazan kullanılır ya da gerekli elektrik gücünü sağlamak için ana elektrik kullanılır, bunun aksine ikincisinde güneş enerjisi kullanılmaktadır (Zarza vd., 1991).

Burada daha evvel ele alınan desalinasyon sistemlerinin güneş enerjisinden yararlanacak şekilde nasıl olabileceği hususuna da değinilecektir.

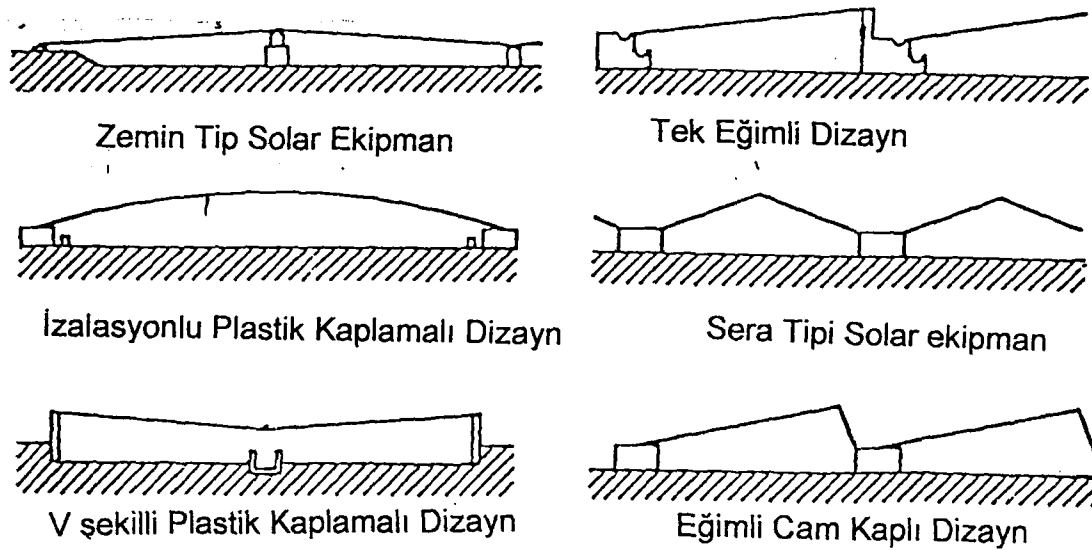
6.1. Direkt Toplama Sistemleri

Tuzlu suyu buharlaştırmak için sera etkisini kullanan konvansiyonel solar ekipman direkt toplama sistemlerine bir örnek temsil eder. Bu tipte sabit miktarda deniz suyunun bir V-şeklindeki cam örtü ile çevrelendiği düz bir havzadan oluşmaktadır. Güneş ışınları cam çatıdan geçer ve siyahlaştırılmış havzanın tabanı tarafından absorbe edilir. Suyun ısıtılmasıyla onun buhar basıncı arttırılmış olur. Ürün su buharı çatının iç yüzeyinde yoğunlaşır ve damıtılmış suyun rezervuara doğru yönlendirildiği kanallara doğru akar. Bu tip ısı kapanı gibi davranmaktadır. Çünkü gelen güneş ışınlarına karşı çatı saydamdır, fakat sıcak su tarafından (sera etkisi) emilen kızıl ötesi radyasyona karşı opaktır. Çatı bütün buharı çevreler, kayıpları önler ve yanı zamanda rüzgârın tuzlu suya ulaşması ve soğutmasını engeller. Şekil 6.3'de sistem şeması görülmektedir.



Şekil 6.3. Solar tipte sistemin şeması (Zarza, 1991)

Bir çok denemeler sonucunda daha ucuz plastik gibi malzemelerin kullanılmasına sebep olmuştur. Bunlar daha az kırılabilir, taşımak için hafif, kurulması ve monte edilmesi daha kolaydır. Onların ana dezavantajı daha kısa ömürlü olmalarıdır. Şekil 6.3'de gösterilen ana şekil, birtakım değişimlerle solar ekipmanların üretim oranlarını arttırmak için geliştirilmiştir. En popüler birkaç tip, Şekil 6.4'de gösterilmiştir.



Şekil 6.4. Solar tiplerinin ana dizaynları (Zarza, 1991)

Diğer araştırmacılar ekipmanların üretimini arttırmak için değişik teknikler kullanmışlardır. Rajvanshi performans değerini arttırmak için değişik boyalar kullanmıştır (Rajvanshi, 1981). Bu boyalar suyu koyulaştırır ve onun solar radyasyon emiciliğini artırır. Siyah naftülaminin 172.5 ppm'lik bir konsantrasyonunda kullanımı ekipmanın çıktısında % 29'luk bir artış sağlar. Bu boyaların kullanımı güvenilirdir çünkü buharlaşma tesiste 60°C'de görülür. Halbuki boyanın buharlaşma noktası 180°C'dir.

Akinsete ve Duru, bir ekipmanın dibini odun kömürü ile kaplayarak, damıtma üretimini arttırmıştır (Akinsete ve Duru, 1979). Odun kömürünün hazır bulunması başlangıç zamanında gözle görülür bir azalmaya neden olur. Suyun içine daldırılmış odun kömürünün yarattığı kılcal etki ve odun kömürünün siyah rengi ile pürüzsüz yüzeyi, sistemin ısı ataletini düşürür.

Lobo ve Araujo çok etkili taban tipi solar damıtıcı geliştirmiştir. Solar radyasyonun yoğunluğuna dayanılarak standart tipe kıyasla bu tip taze su üretiminde % 40-55 arasında bir artış sağlar. Amaç, iki ekipmanın, birinin diğerinin üzerinde kullanılmasıdır. Üstte olan tamamen camdan veya plastikten yapılmış ve küçük kısımlara ayrılmıştır (Lobo ve Araujo, 1978).

6.2. Endirekt Toplama Sistemleri.

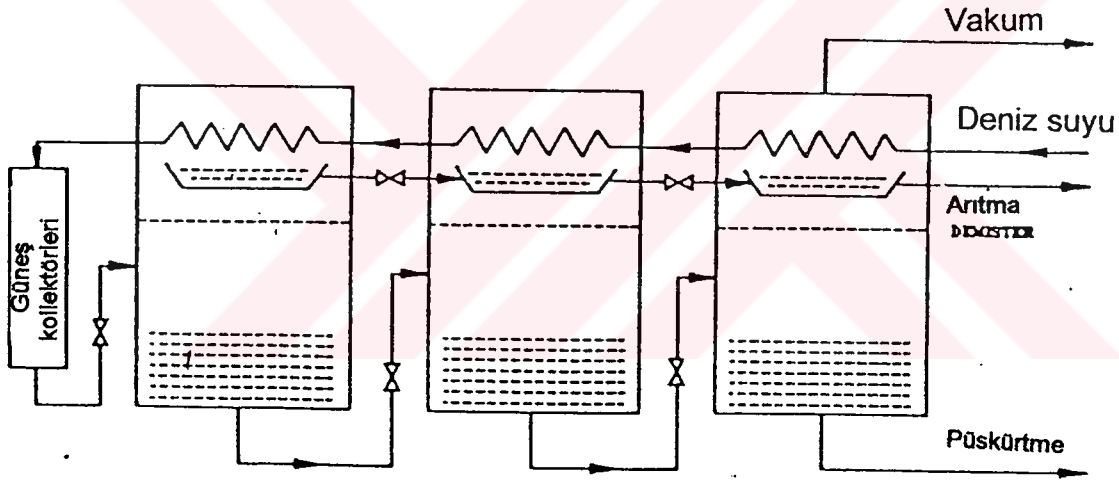
Bu sistemlerin çalışma prensibi iki ayrı alt sistemin yerine getirilmesini gerektirmektedir. Bunlar; güneş enerjisi bir kollektör ve toplanan enerjiyi taze suya dönüştürmek için bir tesisdir. Tesis alt sistemleri şu çalışma prensiplerine dayandırılmıştır:

- 1) Faz değişikliği prosesi için ya çok fazlı ani proses, çok etkili kaynama prosesi ya da buhar sıkıştırma prosesi kullanılır.
- 2) Membran prosesleri için ters ozmoz ya da elektrodializ uygulanır. Faz değişimi proseslerinin çalışma prensibi; aynı zamanda yoğunlaşan buharın, taze su üretirken beslemenin tekrar ısıtılmasında buharlaşma gizli ısısının yeniden kullanımını gerektirmektedir. Membran proseslerinin çalışma prensibi, tesisi çalıştırmak için

kullanılan güneş enerjisinden direkt elektriğin üretimine dayanmaktadır. Enerji tüketimi kWh/m^3 şeklinde ifade edilmiştir (Kalogiran, 1996).

6.2.1. Çok fazlı ani proses (MSF)

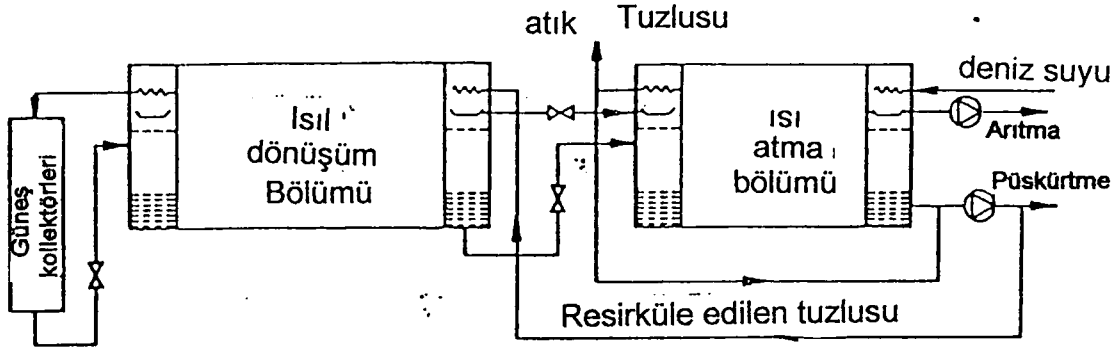
MSF prosesi kademeler olarak adlandırılan bir dizi elementlerden meydana gelmektedir. Herbir kademede besleme deniz suyunun ön ısıtması için yoğuşan buhar kullanılır. Sıcak kaynak ve deniz suyu arasındaki bütün sıcaklık farkını büyük sayıdaki kademeler şeklinde bölümlere ayrılma yolu ile sistem ideal toplam gizli ısıya yeniden ulaşır. Tesiste bu sistemin çalışması basınç gradyanlarını gerektirir. Şekil 6.5'te sistemin çalışma prensibi gösterilmektedir. Bugünkü ticari tesisler 10-30 kademeli olarak dizayn edilirler (Her kademede 2°C 'lik sıcaklık düşüşü). Tipik günlük çıktılar kademelerin sayısına bağlı olarak $(60-100)\times 10^{-3}\text{m}^3/\text{m}^2$ civarındadır.



Şekil 6.5. MSF sisteminin çalışma prensibi (Tabor, 1990)

Şekil 6.6'da MSF prosesini temsil eden pratik çevrimler gösterilmektedir. Sistem ısı dönüşüm ve ısı atma bölümüne doğru beslenir ve mümkün olan en düşük sıcaklıkta ürün ile tuzlu su boşaltılır. Besleme daha sonra tesiste devir daim olan büyük bir su kütlesi ile karışır. Bu su daha sonra sıcaklığını yükseltmek için bir dizi ısı değiştirgeçlerinden geçer. Su daha sonra maksimum sistem basıncına yaklaşık doyma sıcaklığı civarı sıcaklığını arttırmak için güneş kolektörü düzeneğine veya konvansiyonel tuzul su ısıtıcısına girer ve bu şekilde yapılarak basıncı azaltılmış olur. Su daha yüksek bir basınç için doyma

sıcaklığında olduğundan kızdırılmış olur ve buhara dönüşür (Kalogiran, 1997; Tabor, 1990).



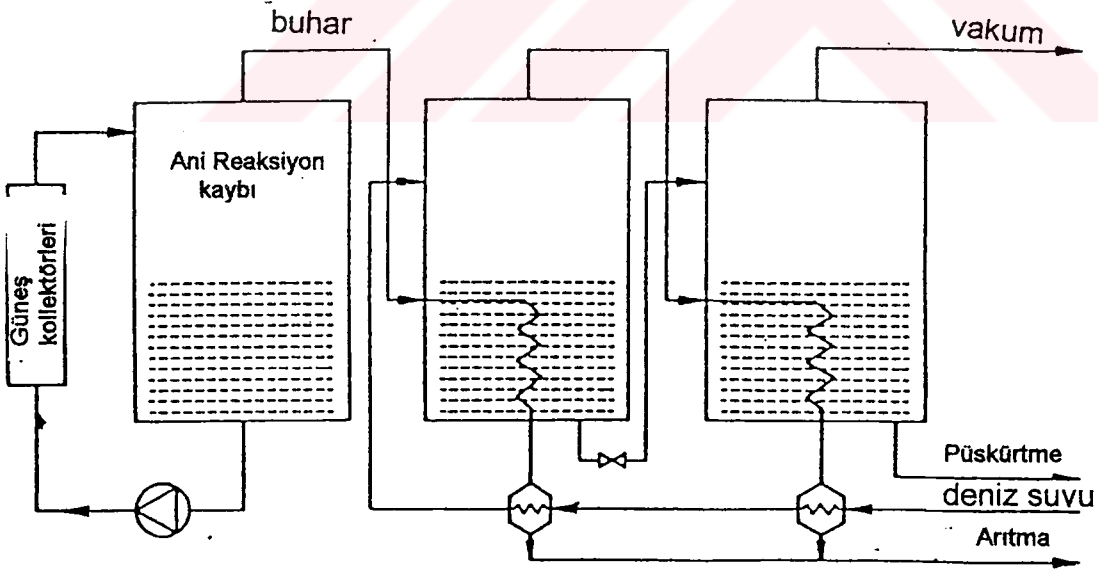
Şekil 6.6. MSF prosesi tesisi (Tabor, 1990)

Kapasite yönünden en çok kullanılan desalinasyon yöntemi MSF'dir. Bu; prosesin basitliğinden, performans karakterlerinden ve derece kontrolünden kaynaklanır. MSF'nin bir dezavantajı da değişik kademelerde kesin basınç seviyelerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yüzden normal çalıştırılan operasyonu kurmak için geçici bir süreye ihtiyaç vardır. Bir depolama tankı "termal buffering" (termal tampon olarak) için kullanılmadıkça, bu gelecek MSF sistemini güneş enerjisi uygulamaları için oldukça elverişsiz yapar.

Moustafa, Kuveyt'te test edilen günlük 10 m^3 performansındaki solar MSF sistemini analiz etmiştir. Sistem 220 m^2 bir parabolik çukur kolektör, 7 m^3 'lük termal depo ve 12 kademelik bir MSF desalinasyon sisteminden meydana gelir. Termal enerji kaynağını düzeltmek, düşük radyasyon ve gece periyodlarında taze suyun üretimini sürdürmek için termal depolama sistemi kullanılmıştır. Sistemin çıktısı, solar ekipmanlarının aynı solar toplama alanlarının alanları için çıktısından yaklaşık 10 kat daha fazla olduğu rapor edilmiştir (Moustafa vd., 1985).

6.2.2. Çok etkili kaynama prosesi (MEB)

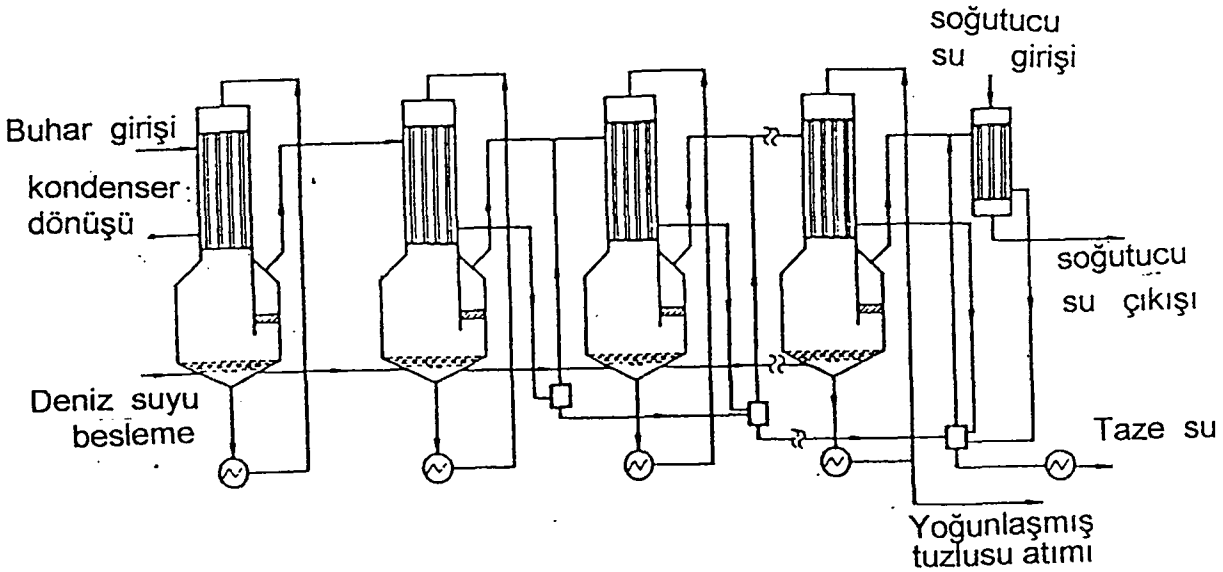
Şekil 6.7’de gösterilen MEB işlevi çok sayıda etkileyici elemandan oluşmaktadır. Bu etkileyiciden gelen buhar, diğer bir etkide ısıtıcı sıvı olarak kullanılır ki bu durum yoğuşma esnasında tuz çözeltinin bir kısmında buharlaşmaya neden olmaktadır. Üretilen buhar, bir sonraki etki boyunca uzanır ve yoğuşma esnasında orada diğer bazı çözeltilerin buharlaşmasını sağlar, bu böylece devam eder. Bu prosesin mümkün olması için ısıtılmış etkinin, ısıtma buharının meydana geldiği etkininkinden daha aşağıda bir basınçta tutulması şarttır. Bütün etkiler tarafından yoğuşturulan çözeltiler, sistemi ön ısıtma için kullanılır. Bu işlevde, buhar yanma ve kaynama tarafından meydana getirilir. Fakat damıtma ürününün çoğu kaynama vasıtasıyla elde edilir. Bir MSF prosesinden farklı olarak, MEB prosesi sistemin etrafında büyük kütle tuzlu su tekrar dolaşımı olmadan, genelde bir kez sistem dolaşımı şeklinde çalışmaktadır. Bu dizayn, hem pompalanma gereksinimlerini ve hem de ölçüm eğilimlerini azaltmaktadır. Şekil 6.7’de sistem görülmektedir.



Şekil 6.7. MEB sisteminin çalışma prensibi (Kalogirou, 1997)

MSF tesisinde olduğu gibi, MEB prosesindeki tuzlu su seri halde ısıtıcılardan geçer, fakat sonuncusundan geçtikten sonra tuzlu ısıtıcısına girmek yerine besleme üst etkiye girer ve burada etki basıncı için ısıtıcı buhar sıcaklığının doyma sıcaklığına yükseltir. İster güneş kollektör sisteminden, isterse de konvansiyonel kazandan olsun daha ileri buhar miktarları, bu etki içinde buharlaşma meydana getirmek için kullanılır. O zaman buhar, kısmen giren beslemeyi ısıtmak için ve kısmen de ikinci etkiye ısı stoku sağlamak için gider. İkinci etki daha düşük basınçta ve beslemesini birinci etkinin tuzlu suyundan alır. Bu proses tüm tesis boyunca tekrarlanır. Damıtma ürün de ayrıca tesisin aşağısına geçer. Hem tuzlu su ve hem de damıtma ürünü basınçta ilerleyen azalmaya bağlı olarak, tesisin aşağısına giderlerken parlarlar (Kalogiou, 1997).

Isı transfer konfigürasyonuna ve kullanılan akış diyagramına bağlı olarak, MEB tesisinin birçok değişkenlikleri vardır. İlk tesisler batık tüp dizaynlı olup, iki veya üç etki kullanmışlardır. Modern sistemlerde, bu düşük buharlaşma ayarı problemi, ince film dizaynlarından faydalanılması suretiyle çözülmüştür. Böyle tesislerin dikey veya yatay tüpleri olabilir. Dikey tüp dizaynları iki modeldir. Tırmanma filmi, tabii ve basınçlı devir daim modeli veya uzun dikey tüp (LTV), düz düşen film modeli. Şekil 6.8'de gösterilen LTV tesisinde tuzlu su tüp içinde kaynar ve buhar dışarıda yoğuşur. Yatay tüpte, düşen-film dizaynı, buhar tüp içinde yoğuşur ve de tuzlu su dışarıda buharlaşmaktadır.



Şekil 6.8. Uzun dikey tüp (LTV) MEB tesisi (Kalogiou, 1997)

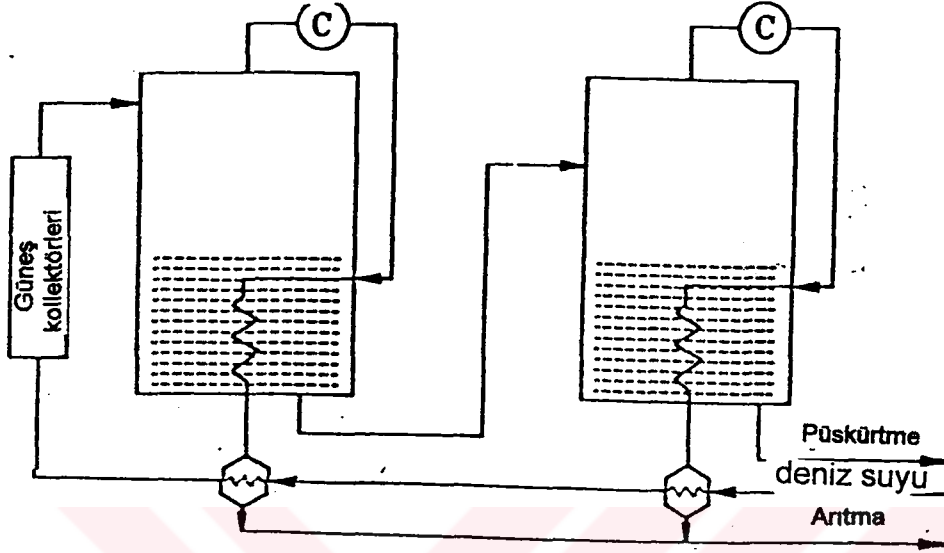
MSF tesisinden farklı olarak, bir MEB tesisinin performans oranı tesis içindeki etkilerin sayısı tarafından bir limit setini aşmadan daha fazla gergin olarak bağlanmıştır. Örneğin 13 etkili bir tesisin tipik performans oranı 10 olabilir. Fakat, 10 performans oranlı bir MSF tesisi dizayna bağlı olarak 13 ile 35 arası kademeye sahip olabilir. MSF tesislerinin tahmini maksimum performans oranı 13 olabilir. Normalde bu, 6 ile 10 arasındadır. MEB tesislerinin çoğunlukla 12 ile 14 yüksekliğinde performans oranları mevcuttur. Bu proses ile MSF arasındaki esas fark, her etkinin buharı, bir sonraki etkiye gider ve orada beslemeyi ön ısıtma için derhal kullanılır. Bu prosesin MSF'den farklı, daha komplike dolaşım aracına gereksinimi vardır; diğer taraftan, solar enerji kullanımına uygun avantajı vardır, Çünkü çalışma sıcaklık seviyeleri ve basınç dengesi daha az kritik durumdadır (Luft, 1982).

14 etkili 3 m³/saat nominal çıkışlı, 2.762 m²'lik parabolik, kolektörler boyunca bağlantılı bir MEB tesisi Zorza ve diğerleri tarafından sunulmuştur. Sistem güney İspanya'da kurulmuştur. Ayrıca, 155 m³'lük bir ısı depolama tankı içermektedir. Solar kolektörler boyunca sirküle olan sıvı, bir sentetik yağ ısı-transfer sıvısıdır (3 M Santotherm 55). Sistemden elde edilen performans oranı, buhar boru-demeti yüzeylerinin durumuna bağlı olarak 9.3 ile 10.7 arasında değişir. Yazarlar, sistemin verimini oldukça arttırmayı, son kondenser içinde soğutma suyunun bir kısmı elendiği zaman harcanan enerjinin yenilenmesi şeklinde hesaplamışlardır. Enerjinin tekrar elde edilmesi bir çift etkili abrobsiyon ısı pompası ile sağlanacaktır.

6.2.3. Buhar sıkıştırma prosesi (VC)

Bir buhar sıkıştırma tesisinde ısı dönüşüm bir kompresör vasıtasıyla bir kademedan buharın artan basıncına göre kurulmuştur (Şekil 6.9). Yoğuşma sıcaklığı bu suretle artırılıp ve buhar aynı kademedan geldiği veya diğer kademelere doğru enerji sağlamak için kullanılabilir. Bir konvansiyonel MEB sisteminde, birinci etkide üretilen buhar daha düşük bir basınçta olan ikinci etkiye ısı girişi şeklinde kullanılır. En son etkide üretilen buhar, (daha sonra onun sıkıştırıldığı ve ilk etkiye dönmeden önce doyma sıcaklığının arttığı buhar) sıkıştırmaya geçmektedir. Kompresör, sisteme ana enerji ihtiyacını gösterir

ve ertirme ısısının tesis etrafında etkili olarak tekrar kullanılmasından itibaren, proses yüksek performans oranlarını dağıtabilecek potansiyele sahip olur (Tsitingris, 1995).



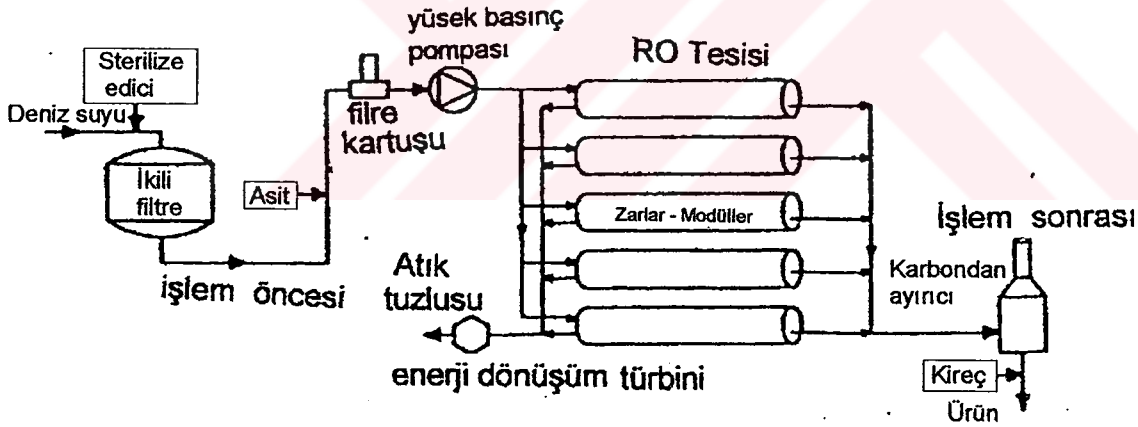
Şekil 6.9. Buhar sıkıştırma sisteminin çalışma prensibi (Trilingris, 1995)

Tahmin edilen parametrik maliyet ve gerçekleştirilen proses dizaynlarından bu tip bir tesisin bir MEB sistemiyle birlikte kullanılmadıkça kullanışlı olmadığını göstermektedir. Bundan başka, anlaşılacağı gibi mekanik enerji ihtiyaçları dizel motor gibi ilk hareket ile sağlanması gereklidir. Böyle bir motorun radyatörünün soğutulması, prosesin termik ihtiyaçları için gereğinden fazla ısı sağlayarak güneş kolektörü sisteminin gereğinden fazla çalıştırılmamasını sağlar. Onun için VC sistemi bir MEB sistemi ile birlikte gece veya güneş ışınımının düşük olduğu dönemlerde kullanılır. VC prosesi ile ilgili ana problemler şunlardır:

- 1) Bunların içinde bulunan tuz kompresöre taşınır ve bu da kompresör kanadının korozyonlanmasına yol açar.
- 2) Kompresör kapasitesinin kısıtlı olması sebebiyle tesis büyüklüğü sınırlamalar vardır (Ginekstern, 1995).

6.2.4. Ters ozmoz (RO)

Ters ozmoz sistemi, ozmik basıncının etkisi altında taze suyun tuzlu su bölmesinin içinden geçmesini sağlayan ve suyun bir tuzlu eriyik karışımından ayırmaya kullanılan yarı geçirgen zarların özelliklerine bağlıdır. Eğer tuzlu eriyiğe uygulanan basınç fazla bir değerde ise; taze su tuzlu sudan, su bölümünün içine geçecektir. Teorik olarak, tek enerji gereksinimi ozmik basıncın üzerindeki bir basınçta besleme suyunu pompalamak içindir. Pratikte, zarın birim alanı içinden yeterli miktarda suyun geçişine sahip olmak için daha yüksek basınçlar kullanılmalıdır. Tipik olarak $(50-80) \times 10^5$ Pa şekil 6.10'da görüldüğü gibi besleme bir yüksek basınç pompası vasıtasıyla basınçlandırılmış ve zar yüzeyi içinden akışı yapılmıştır. Bu beslemenin bir kısmı çoğunlukla çözünmüş katıların ayrıldığı zar içine doğru geçer. Artan tuzlar ile birlikte yüksek basınçta atılır. Büyük tesislerde uygun bir tuzlu su türbini ile atılan tuzlu suyun enerjisinin yeniden kazanılması ekonomik olarak uygulanabilir. Bu tür sistemle, enerji geri kazanımlı ters ozmoz sistemleri şeklinde adlandırılır (Rahim ve Mabil, 1994).



Şekil 6.10. Bir RO sisteminin çalışma prensibi (Rahim ve Nabil, 1994)

Güneş enerjisi, pompaları çalıştıracak birincil hareket kaynağı olarak ters ozmoz sistemleriyle birlikte ya da fotoelektrik panelleri vasıtasıyla elektriğin direkt üretilmesiyle kullanılabilir. Fotoelektrik pillerden üretilen elektriğin birim maliyeti yüksek olduğundan, fotoelektrikle çalıştırılan RO tesisleri enerji geri kazanım türbinleriyle birlikte kurulmuştur. RO sistemlerinin günlük çıktısı zarın durumuna ve ham suyun içindeki tuz

miktarına bağı olarak, zarın metre karesinden 0,5-1 m² kadardır. Zarlar gerçekte çok ince filtrelerdir, biyolojik ve biyolojik olmayan kirlenmeye karşı çok hassaslardır. Kirlenmeden kaçınmak için beslemenin zar yüzeyi ile temas etmeden önce dikkatlice hazırlayıcı işleme tabi tutulması gerekmektedir.

Tabor, solar fotoelektrik paneller vasıtasıyla çalıştırılan RO desalinasyon ünitesini veya bir solar-termal tesisi kullanılan bir sistem analiz etmiştir. Taze suyun üretim maliyeti yaklaşık olarak ana güç kaynağından çalıştırılan bir RO sistemiyle birlikte aynıdır. Bu sonuç solar ekipmanların yüksek maliyetli olmasındandır.

6.2.5. Proses seçimi

Dizayn safhası süresince, tasarımcının belirli bir uygulama için uygun bir yöntem ihtiyacı vardır. Böyle bir seçim için düşünülen faktörler şöyle sıralanabilir:

- 1) Güneş enerjisi uygulaması için yöntem uygunluğu,
- 2) Enerji tüketimi ile ilgili olarak yöntemin tesirliliği,
- 3) Deniz suyu davranış gereksinimleri,
- 4) Tesis malzemelerinin masrafları,
- 5) Tesis arazi gereksinimi veya ekipmanların kurulabilmesi için kullanılabilir hale getirilmesi (Saghafi, 1994).

Güneş enerjisi ya solar havuzlar ve güneş kolektörleri ile ısıya ya da fotoelektrik piller vasıtasıyla elektriğe dönüştürülebilir. Her iki yöntem de desalinasyon sistemlerine güç sağlamak için kullanılmıştır. Direkt toplama sistemleri, güneş enerjisini ortam (şartlar) uygun olduğu zaman kullanır ve bu da yetersizdir. Endirekt toplama sistemlerinde ise güneş enerjisi; sıcak su veya buhar şeklinde solar kolektörler vasıtasıyla daha verimli toplanır. Bununla birlikte güneş enerjisi günün yarısında kullanılabilir. Buradan, birtakım depolama cihazı kullanılmadıkça prosesin çalışmasının yalnız zamanın yarısında olduğu anlaşılır. Çoğunlukla pahalı olan depolama cihazı, düşük güneş ışınlarının geldiği akşam zamanlarında sistemi çalıştırmak için ızgaradan elektrik ya da yedek bir kazanla yer değiştirebilir. Böyle bir sistem termal bufferingsiz çalıştığı zaman, desalinasyon alt sistemi

zararsız bir şekilde değiştirilebilir enerji kaynağını takip edebilir olmalıdır. Bütün güneş enerjisi desalinasyon sistemlerinde, güneş enerjisi kolektörleri maliyetine, depolama cihazlarının maliyetine (kullanılmışsa), desalinasyon sisteminin maliyetine dayandırılarak bir optimum performans oranı hesaplanmalıdır.

Birbirinden farklı desalinasyon proseslerinden talep edilen enerji, bir imalatçının datalarından incelenerek Tablo 6.1'de gösterildiği gibi elde edilir. Tablo 6.1'den de görüleceği gibi enerji kazanımı ile ilgili en düşük enerji talep eden proses RO'dir. Fakat bu sadece enerji geri kazanım türbinin yüksek maliyeti olmasından dolayı çok büyük sistemler için uygulanabilir. Sonraki ise enerji kazanımsız RO ve MEB prosesidir. Gözönünde bulundurulmuş sistemlerin en ucuzu solar stilinde olmaktadır. Bu sistem kurulması ve işletilmesi çok kolay olan bir direkt toplama sistemidir. Bu sistemin dezavantajı çok az ürün elde edilmesi, bu da büyük alanlı düz zeminlere ihtiyaç duyulması anlamına gelir. Denize yakın kullanılabilir çöl tipi arazi ucuz olmadıkça böyle prosesler için uygulanabilirliği şüphe uyandırabilir. Bütün en direkt toplama sistemlerinin içinde en ucuz olan ve ayrıca en basit deniz suyu özellikleri isteyen sistem MEB'dir. RO, düşük miktarda enerjiye ihtiyaç duymasına rağmen pahalı ve kompleks deniz suyu özelliklerini talep etmektedir (Mustocchi ve Cera 1981).

Çizelge 6.1. Desalinasyon sistemlerinin enerji tüketimleri (Mustachi ve Cena, 1981)

PROSES	Isı İhtiyacı (kj/kg ürünün)	Mekanik Güç İhtiyacı (kWh/m ³ ürünün)	Ana Enerji Tüketimi (kj/kg ürünün)
MSF	294	3.7	338.4
MEB	123	2.2	149.4
VC	-	16	192
RO	-	12	144
ER-RO	-	7.9	94.8
ED	-	12	144
SOLAR TİP	2330	0.3	2333.6

Not: Elektrik üretiminin dönüşüm veriminin %30 olduğu kabul edilmiştir.

Güneş enerjili desalinasyon için genelde düşünülen bir alternatif, fotoelektrik pil ile güçlendirilmiş bir RO sistemi kullanılmasıdır. Bu, konvansiyonel distilasyon prosesinden ziyade fasıllı çalışmaya daha uygundur. Toplanan enerjinin herbir birim randımanı daha fazladır. Fotoelektrolitik pili olan RO ile parabolik tekneli kollektöre bağlı MEB tesisini mukayese eden Zarza ve diğerlerine göre şunlar uygulanmaktadır:

1) Parabolik tekneli kollektöre bağlı MEB tesisi tarafından üretilen taze suyun toplam masrafı, fotoelektrolitik üretilen elektriğin yüksek fiyatına bağlı olarak, fotoelektrolitik pilli RO tesisinden daha azdır.

2) Oldukça yüksek emniyetteki MEB tesisinin, güneşe maruz kalması yüksek seviyelerde olan ülkelerde tesisatı mümkün olmaktadır. Fakat tecrübeli personel eksikliği vardır. Çünkü bir RO tesisinin işletimi esnasındaki herhangi ciddi hata membranı tahrip edebilir. Bu tesisler becerisi olan insan gücü tarafından işletilmelidir. Ayrıca, yenilenebilir enerjinin toplanması ve depolanmasının pahalı olması nedeni ile, bir enerji geri kazanım türbini normal olarak elenmiş tuzlu su akımında enerji elde etmek için ayarlanmıştır. Buna ilaveten, hava kirliliği olan bölgelerde, distilasyon prosesleri desalinasyona tercih edilmektedir. Çünkü su kaynatılır ve bu da distile edilen (artılan) suyun hiçbir mikroorganizma içermediğinin güvencesidir. Tablo 6.2'de desalinasyon tesislerinin karşılaştırılması görülmektedir (Daniels, 1971).

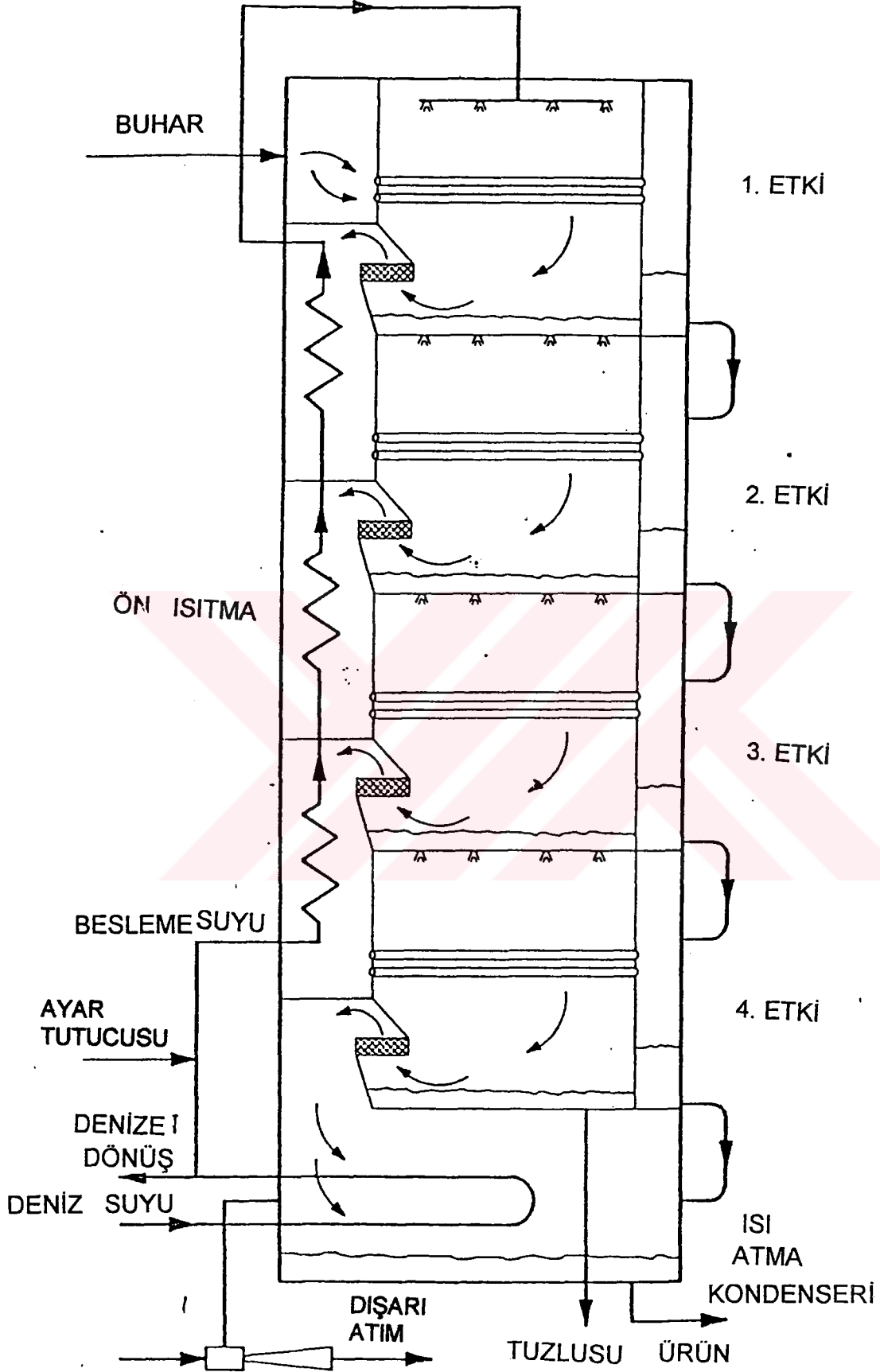
Çizelge 6.2. Desalinasyon sistemlerinin karşılaştırılması (Kalogirou, 1992)

Unsur	MSF	MEB	VC	RO	Solar Tip
Uygulama ölçüsü	Orta-büyük	Küçük-orta	Küçük	Küçük-büyük	Küçük
Deniz suyu özellikleri	Ölçü İnhibiter Köpük giderici kimyasal	Ölçü İnhibiter	Ölçü İnhibiter	Sterilizatör pıhtılaştırıcı asit, O ₂ giderici	-
Ekipman fiyatı (≅£/m ³) (1993 fiyatları)	1200-2000	1250-1900	1800-2900	2000-2550 her 3-4 yılda bir membran değişimi	900-1000

Güneş enerjisinin, termal enerji toplama sistemleriyle birlikte en iyi ve ucuza yaklaştığına inanılmaktadır. Bu sebepten dolayı MSF ve MEB tesisleri kullanılan iki sistemdir. Her iki sistemde de birbirinden farklı uygulamalarda güneş enerjisi, kolektörleriyle birlikte kullanılmıştır. Tablo 6.1 ve Tablo 6.2'ye göre, MEB prosesi daha az özgül enerji ve çok basit deniz suyu özellikleri ile birlikte gerektiğinden ucuzdur. Buna ilaveten MEB prosesi diğer distilasyon prosesleriyle kıyaslandığında birtakım avantajları vardır. Bu avantajlar Porteous'a göre şöyle sıralanır:

- 1) Enerji ekonomisi var çünkü tuzlu su MSF prosesi içinde olduğu gibi kaynama noktasının üzerine ısıtılamaz.
- 2) Besleme en yüksek tesis sıcaklığında onun en düşük konsantrasyonundadır, kazan taşı oluşum riskleri minimize edilir.
- 3) Besleme tesis içinde; seri içinden akar ve en son etkide maksimum konsantrasyon meydana gelir. Bu yüzden en kötü kaynama noktası yükseltilmesi bu etkiyle sınırlanmaktadır.
- 4) Diğer prosesler, VC sistemindeki buhar kompresörü veya MSF'deki ve sirkülasyon pompası nedeniyle yüksek elektrige ihtiyaç duyulmaktadır.
- 5) MSF; performans oranındaki azalma boyunca yansıtılan denge problemlerine yatkındır. MEB tesislerinde bir sonuçta üretilen buhar diğerinde kullanılır ve performans oranı denge problemlerine bağlı değildir.
- 6) Tesis basitliği MEB prosesi vasıtasıyla desteklenmekte çünkü verilen bir performans oranı için daha az etkiler gerektirir.

Birbirinden farklı tipteki MEB buharlaştırıcıları arasında, MES (Çok etkili baca) güneş enerjisi uygulamaları için en uygun olanıdır. Şekil 6.11'de dört etkili bir MES evaporatörü gösterilir. Deniz suyu, evaporatörün tepesine püskürtülür. Herbir etkide yatay olarak düzenlenen boru demeti boyunca ince bir film şeklinde aşağı akar. En baştaki (en sıcak) solar kolektör sisteminden buhar, tüplerin içinde yoğuşur. Vent-ejektör sistemi vasıtasıyla tesiste üretilen düşük basınç yüzünden ince deniz suyu filmi, tüplerin dış kısmında aynı zamanda kaynar, böylece yoğuşan buhardan daha düşük bir sıcaklıkta yeni buhar üretilir (Kalogiou, 1997).



Şekil 6.11. MES buharlaştırıcısının şeması (Kalogirou, 1997)

İlk etkinin tabanına düşen deniz suyu; düşük bir basınçta olan ikinci etkiye, memeden hızlı bir şekilde geçmesi vasıtasıyla soğutulur. İlk etkide üretilen buhar, ürünün bir kısmını oluşturmak için yoğuştuğu ikinci etkide tüplerin içine akıtılır. Ayrıca yoğuşan sıcak buhar dış soğutucu deniz suyu tarafından soğutulduğu bir boru demetinin dış kısmında yoğuşur. İlk deniz suyunun büyük bir kısmı daha sonra denize döndürülür. Fakat küçük bir kısmı besleme suyu olarak tesiste kullanılır. Besleme suyu, kazan taşı teşkil eden bileşiği yok etmek için asitle beslendikten sonra, bir ön ısıtma serisi boyunca geçer. Ön ısıtma serisi, ısınıp giderek arttırmak için her etkiden, buharın birazını kullanır. Bu durum, tesisin üstüne püskürtme yapılmadan olur. her etkiden üretilen su, tesisin alt kısmında bir şelaleye yayılabilir. Böylece yığının dibinde serin duruma çekilebilir. Konsantre olan tuzlu su da ayrıca yığının dibine geri çekilir.

MES prosesi işlem sırasında tamamen sabittir ve aniden uygulanmalarına rağmen değişen buhar durumlarını otomatik olarak ayarlar. Bu nedenle takip eden uygulamalara yük için uygundur. Bu, kimyasal kazan taşı dozajının büyük bir masrafına hedef olmadan, kazan taşı formasyon riskini en aza indiren bir prosestir. Tipik ürün saflığı 5 ppm TDS daha azdır. Bu nedenle, güneş enerjisi ile birlikte kullanım için buharlaştırıcının bulunduğu MES tipiyle birlikte MEB prosesi en uygun olanıdır. Bu amaç için; denenmiş teknolojinin kollektörleri, parabolik oluğa benzer şekilde düşük basınç buharı formundaki MEB sistemine giriş gücü üretmek için kullanılabilir. Isıtma için gerekli olan minimum sıcaklık 70 ile 100°C arasında % 65 verimle birlikte böyle kollektörle üretilebilir (Kalogirou, 1997).

7. SONUÇLAR

Değişik şartlara ve ihtiyaçlara göre insanların su ihtiyacı artmaktadır. Tatlı su eldesi için değişik yöntemler geliştirilmiştir ve hâla da geliştirilmektedir.

Tatlı su eldesinde kullanılacak en büyük iki doğal kaynak güneş ve denizdir. Güç tüketimi, deniz suyu özellikleri, maliyet ve ticari açıdan değişik tipteki solar desalinasyon (güneş enerjisi ile deniz suyundan tatlı su eldesi) sistemleri ele alınmıştır. Bunun yanı sıra diğer tatlı, su eldesi yöntemleri detaylı olarak incelenmiştir. Yeni yöntem arayışları içerisinde güneş enerjili yöntem, en iyilerinden biridir. Güç tüketimi, deniz suyu özellikleri ve maliyet açısından değişik tipteki solar desalinasyon tipleri analiz edilmiştir.

Yüksek proses yeterliliği, düşük ekipman maliyeti ve deniz suyunun basit işlemine bağlı olarak MEB prosesi ve bilhassa çok etkili baca tipinin solar enerji ile çalışması en iyi metod olarak gözükmektedir. Bu yaklaşım değişik enerji malzemesiyle, bozulma olmadan kullanılabilir.

Güneşli elektrik santrallerinden elde edilen elektrik enerjisi ile damıtma yapılabilir. Ancak bilinen yakıtlar ile elektrik eldesi güneş enerjisine göre maliyet açısından daha düşüktür. Güneşten elde edilen ısı ile damıtma sistemlerinde, güneşli buharlaştırma bilinen metodlardan daha ucuz olabilir. Yapılması mümkün olan, özel dizayn edilmiş güneş enerjili basınçlı damıtma üniteleri kullanılarak uygun saf su maliyetlerine erişilebilir.

Batı Amerika'da basit cam ve odun veya cam ve beton kullanılan güneşli damıtıcılarla uygun maliyet değerlerine ulaşılmıştır. Bu değerlerin uygun dizaynla ve işletmede yapılacak değişikliklerle daha da aşağı ineceği düşünülmektedir. Eğer hava geçirmez ve ıslanabilir ucuz plastikler geliştirilebilirse, rijit plastiği güneşli damıtıcılarla birleştiren dizaynlar ümit verici olabilir. İnce, güçlendirilmiş ve dayanıklı plastikle damıtıcılar geliştirilirse maliyet açısından çok uygun damıtma yapılabilir.

Yapılan çalışmalar basit direkt ısıtmalı güneşli damıtıcıların da verimli olarak çalışabileceğini göstermiştir. Özellikle Körfez ülkelerinde kullanım alanı giderek büyüyen damıtma sistemlerinden güneş enerjili metodlara olan ilgi giderek artmaktadır ve gelecekte en önemli seçeneklerden biri olacaktır.



KAYNAKLAR

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

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

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

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

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

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

Barron, J. M., Dowdy, J., Golding, P., Hein, H., D.Jr. ve Swift, A.H.P.Jr., (1994), “Groundwater Desalting Using Low Temperature Sub-Atmospheric Technologies”, Solar Engineering ASME-JSES-JSME International Solar Energy Conference, 1994, San Francisco/USA.

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

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

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

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

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

Eroğlu, V., (1984), Su Tasfiyesi, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.

Farwati, M.A., (1997), “Theoretical Study of Multi-Stage Flash Distillation Using Solar Energy”, Energy (The International Journal), 22 (1): 1-5

Hall, D.O. ve Morton, J., (1981), "Solar World Forum", Proceedings of the International Solar Energy Society Congress, 23-28 Aug. 1981, England.

İstanbul Sular İdaresi Genel Müdürlüğü, (1973), İçme Suyu Mühendisliği, İnkılap ve Aka Basımevi, İstanbul.

Jawad, M.A., Ebrahim, S., Al-Atram, F., ve Al-Shammari, S., (1997), "Pretreatment of the Municipal Wastewater Feed for Reverse Osmosis Plants", Desalination, 109: 221-223.

Loba, P.C. ve Araujo, S.R., (1978), Proceedings of the International Solar Energy Society, New Delhi, India, Pergamon, Oxford, 3: 2026-2030.

Löf, G., Fester, A. ve Duffie, J.A., (1962), "Energy Balances on a Parabolic Cylinder Solar Collector", Transactions of the ASME, January 1962, New York.

Matrinos, D., Assimacopoulos D. ve Provatias, F., (1991), Proceedings of the New Technologies for the Use of Renewable Energy Sources in Water Desalination, Athens, Greece, Sec 5: 48-56.

Morris, R.M., ve Hanbury, W.T., (1991), Proceedings of the New Technologies for the Use of Renewable Energy Sources in Water Desalination, Athens, Greece, Sec 1: 30-50.

Moustafa, S.M.A., Jarrar, D.I. ve Mansy, H.I., (1985), "Solar Energy", Solar Energy, 35 (333).

Mustacchi, C. ve Cena, V., (1981), Solar Desalination Design, Performances, Economic, Sogesta.

Othmer, K., (1970), Encyclopedia of Chemical Technology, Second Ed., Vol. 22.

Popkin, R., (1968), Desalination, Frederick A. Praeyer, New York.

Rajvanshi, A.K., (1981), "Sun", Solar Energy, 27 (51).

Reali, M., Gerloni, M. Ve Sampaolo, A., (1977), "Sub-marine and Underground Reverse Osmosis Schemes for Energy-Efficient Sea Water Desalination", Desalination, 109: 269-275.

Spiegler, K.S., (1962), Salt Water Purification, John Wiley and Sons Inc., New York.

Spiegler, K.S., (1966), Principles of Desalination, Academic Press, New York and London.

Tabur, H., Euro-Med Solar, (1990), Proceedings of the Mediterranean business Seminar on Solar Energy Technologies, 152-158, 1990, Micosia, Cyprus.

Tsilingiris, P.T., (1995), "Analysis and Performance of Large-Scale Stand-Alone Solar Desalination Plants", *Desalination*, 103: 249-255.

Uyarcı, Y. Ve Öz, S.E., (1987), *Güneş Enerjisi ve Uygulamaları*, Gazi Üniversitesi Yayını, Ankara.

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

Zarza, E., Ajona, J.I., Leon, J., Genthner, K., Gregorzewski, A., Alefeld, G., Kahn, R., Haberle, A., Gunzbourg, J., Scharfe, J. Ve Cord'homme, C., (1991), *Proceedings of the New Technologies for the Use of Renewable Energy Sources in Water Desalination*, Athens, Greece, Sec 3: 62-81.



ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	02.10.1974
Doğum Yeri	İstanbul
Lise	1985-1992 Özel Bilgi Lisesi
Lisans	1992-1996 Yıldız Teknik Üniversitesi Mühendislik Fak. Makina Mühendisliği Bölümü
Çalıştığı kurum (lar)	1997- Devam ediyor Mitsubishi Asansör Firması.



TEKİRNEZ İL MİLLÎ EĞİTİM İDARESİ BAŞKANLIĞI
TEKİRNEZ İL ORTAOKULU
TEKİRNEZ İL MİLLÎ EĞİTİM İDARESİ BAŞKANLIĞI