

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MERSİN ŞARTLARINDA DENİZ SUYUNDAN TEMİZ SU ELDESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mehtap ERMEK KARAHASANOĞLU

Anabilim Dalı : Makine Mühendisliği

Programı : Isı - Akışkan

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Seyhan U. ONBAŞIOĞLU

EYLÜL 2010

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MERSİN ŞARTLARINDA DENİZ SUYUNDAN TEMİZ SU ELDESİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mehtap ERMEK KARAHASANOĞLU
(503021116)**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 02 Eylül 2010

Tezin Savunulduğu Tarih : 28 Eylül 2010

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Seyhan U. ONBAŞIOĞLU

**Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Olcay KINCAY (YTÜ)
Prof. Dr. Emin Fuad KENT (İTÜ)**

EYLÜL 2010

ÖNSÖZ

Enerji ve doğal su kaynaklarının hızlıca tükendiği ve ihtiyaçların aynı oranda arttığı günümüzde, deniz suyundan tatlı su üretiminde, kullanılabilir hale dönüştürülmesi en kolay olan yenilenebilir enerji kaynağı Güneş'in kullanıldığı damıtma sistemlerinden ikisinin verim değerlerinin karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi bu çalışmanın konusudur.

Tez çalışmama başladığım günden itibaren, engin bilgisinden beni yoksun bırakmayan, bana her türlü desteği tereddütsüz sunan ve tez çalışmamla ilgili karşılaştığım zorluklar karşısında dirayetle durabilmemde bana yardımcı olan değerli hocam Prof. Dr. Seyhan UYGUR ONBAŞIOĞLU'na, tez savunmamda ek süreye ihtiyacım olduğuna karar veren ve daha tatminkar bir çalışma ortaya çıkarmama vesile olan değerli jüri üyelerim Prof. Dr. Olcay KINCAY'a ve Prof. Dr. Emin Fuad KENT'e teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans öğrenimim ve tez çalışmam boyunca daima yanımda olan, benden anlayış ve yardımlarını esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

Tez çalışmam için farklı konular araştırmam esnasında, bana bu konu ile ilgili kendisinde bulunan makaleleri vererek keyifli bir konu belirlememe vesile olan çok değerli çalışma arkadaşım ve sayın meslektaşım Hayati ŞİMŞEK'e teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak da arkadaşlığıyla ve desteğiyle yüksek lisans öğrenimim boyunca beni hiç yalnız bırakmayan sevgili eşim Çetin KARAHASANOĞLU'na teşekkür ederim.

Eylül 2010

Mehtap Ernek Karahasanoğlu
(Makine Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER	v
SEMBOL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	x
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ	1
1.1 Güneş Enerjisi	2
1.2 Türkiye’deki Güneş Enerjisi Potansiyeli.....	4
1.3 Deniz Suyu Özellikleri ve İçme Suyu Bakımından Tuzlu Su.....	6
1.4 Damıtma ile Temiz Su Üretimi	8
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	11
3. GÜNEŞ ENERJİLİ DAMITMA SİSTEMLERİNİN VE VAKUM TÜPLÜ	
 GÜNEŞ KOLEKTÖRLERİNİN SINIFLANDIRILMASI	21
3.1 Güneş Enerjili Damıtma Sistemlerinin Sınıflandırılması.....	22
3.1.1 Direkt güneş enerjili damıtma sistemleri	22
3.1.1.1 Sera tipi damıtma sistemleri	23
3.1.1.2 Yüksek sıcaklıklı aktif çalışan sistemler	24
3.1.1.3 Nemlendirme-nemini alma tekniği ile çalışan sistemler	25
3.1.1.4 Basamaklı tipte havuzlu ve dış yoğunlaştırıcılı sistemler	26
3.1.1.5 Çok kademeli ani buharlaştırmalı sistemler	27
3.1.1.6 Açık ısı borulu sistemler	28
3.1.1.7 Fitilli (sıvı emicili) sistemle	29
3.1.1.8 Çok katlı ısı geri kazanımlı sistemler	30
3.1.1.9 Doğal vakum tekniği ile çalışan sistemler	31
3.1.1.10 Parabolik yansıtıcı sistemler	32
3.1.1.11 Boşaltılmış tüplü kolektörlü sistemler	33
3.1.1.12 Termosifonlarla birlikte kullanılan sistemler	33
3.1.1.13 Hibritli dizayn edilmiş sistemler	34
3.1.2 Dolaylı güneş enerjili damıtma sistemleri	35
3.1.2.1 Çok adımlı flaş damıtma sistemleri (MSF)	35
3.1.2.2 Çok etkili damıtma sistemleri (MED)	36
3.1.2.3 Buhar sıkıştırma damıtma sistemleri (VC)	37
3.1.2.4 Membranlı (zarlı) damıtma sistemleri (MD)	37
3.1.2.5 Dondurarak ayırma tekniği ile çalışan sistemler	38
3.2 Vakum Tüplü Güneş Kolektörlerinin Sınıflandırılması.....	39
3.2.1 Açık devreli sistemler	40
3.2.1.1 Doğal dolaşım sistemler	41
3.2.1.2 Zorlanmış dolaşım sistemler	41
3.2.2 Kapalı devreli sistemler	42
3.2.2.1 Doğal dolaşım sistemler	42

3.2.2.2 Zorlanmış dolaşımli sistemler	43
4. SİSTEM TASARIMLARI	45
4.1 Sistemlerin Tanıtılması	46
4.1.1 Çalışma prensipleri	46
4.1.1.1 Sera tipi damıtma sisteminin çalışma prensibi	46
4.1.1.2 Vakum tüplü güneş kolektörünün çalışma prensibi	48
4.1.1.3 Yüksek sıcaklıklı aktif çalışan damıtma sisteminin çalışma prensibi	50
4.1.2 Tasarım parametreleri	51
4.1.2.1 Havuzdaki suyun derinliği (d)	51
4.1.2.2 Cam örtünün kalınlığı (L_c)	51
4.1.2.3 Cam örtünün eğim açısı (β_c)	52
4.1.2.4 Yalıtım malzemesinin kalınlığı (L_y)	52
4.1.2.5 Rüzgar hızı (v)	52
4.1.2.6 Yoğuşturucu yüzeyin malzemesi	53
4.1.2.7 Çevre hava sıcaklığı (T_c)	53
4.1.2.8 Havadaki suyun buhar basıncı (P_b)	54
4.1.2.9 Havanın basıncı (P_h)	54
4.1.2.10 Güneş ışınlı (I)	54
4.1.2.11 Suyun fiziksel özellikleri	55
4.1.2.12 Kolektör sayısı (N)	55
4.1.3 Tasarım değerlerinin belirlenmesi	56
4.1.3.1 Sistem bileşenlerine ait tasarım varsayımları	57
4.2 Teorik Temeller	57
4.2.1 Isı geçişi denklemleri	57
4.2.1.1 İç ısı geçişi denklemleri	58
Işınlı ile olan ısı geçişi ($\dot{q}_{rs}$)	58
Taşınım ile olan ısı geçişi ($\dot{q}_{cs}$)	59
Buharlaştırma ile olan ısı geçişi ($\dot{q}_{es}$)	60
4.2.1.2 Dış ısı geçişi denklemleri	60
Saydam cam örtünün birim alanından olan ısı kayıpları ($\dot{q}_c$)	60
Havuz taban ve yan yüzeylerinin birim alanından olan ısı kayıpları ($\dot{q}_b$)	61
4.2.2 Damıtma havuzunun ısı analizi	62
4.2.2.1 Saydam cam örtüye ait enerji korunumu denklemi	63
4.2.2.2 Havuzdaki su kütlesine ait enerji korunumu denklemi	64
4.2.2.3 Havuz taban-yan yüzeylerine ait enerji korunumu denklemi	64
4.2.2.4 Havuzdaki suyun ve saydam cam örtünün sıcaklıklarının belirlenmesi	65
4.2.2.5 Damıtılan su miktarının belirlenmesi	66
4.2.2.6 Verim değerinin hesaplanması	66
4.2.3 Yüksek sıcaklıklı aktif çalışan damıtma sisteminin ısı analizi	67
4.2.4 Eğimli yüzeylere gelen güneş ışınlının hesaplanması	68
5. HESAPLAMALAR	71
5.1 Verim Tanımı	71
5.2 Kabuller	72
5.3 Güneş Işınlı Hesaplamaları	73
5.4 Verim Hesaplamaları	76
5.4.1 Sera tipi damıtma sisteminin verim hesaplamaları	76
5.4.2 Yüksek sıcaklıklı aktif çalışan sisteminin verim hesaplamaları	79
6. SONUÇLAR	81
6.1 Yapılan hesaplamalardan elde edilen sonuçlar	81

6.2 İki Tip Damıtma Sistemi İçin Karşılaştırmalı Değerlendirmeler	85
6.2.1 Havuzdaki su sıcaklıklarının (T_s) karşılaştırılması	85
6.2.2 Saydam cam örtü sıcaklıklarının (T_c) karşılaştırılması	85
6.2.3 Buharlaşma ısı katsayılarının (h_{es}) karşılaştırılması	86
6.2.4 Elde edilen temiz su miktarlarının ($\dot{m}_{es}$) karşılaştırılması	86
6.2.5 Verim değerlerinin (η) karşılaştırılması	88
6.3 Öneriler	89
KAYNAKLAR	91

SEMBOL LİSTESİ

A	: Alan, [m ²]
b	: Grashof sayısına ait katsayı, [-]
C	: Özgül ısı, [kJ/kg K]
d	: Deklinasyon açısı, [°]
d	: Mesafe, [m]
e	: Enlem açısı, [°]
f	: Güneş sabitini düzeltme faktörü, [-]
F_R	: Kolektör ısı kazanç faktörü, [-]
F'	: Kolektör verimi, [-]
g	: Yerçekimi ivmesi, [m/s ²]
Gr	: Grashof sayısı, [-]
h	: Taşınım ısı geçişi katsayısı, [W/m ² °C]
I	: Güneş radyasyonu şiddeti, [W/m ²]
I_c	: Güneş sabiti, [W/m ²]
k_d	: Difüz ışıyım oranı, [-]
k_t	: Berraklık indeksi, [-]
k	: Isı iletim katsayısı, [W/m °C]
L	: Kalınlık, [m]
L	: Gizli buharlaşma ısı, [J/kg °C]
m	: Grashof sayısına ait katsayı, [-]
m	: Kütle debisi, [kg/gün]
M	: Kütle, [kg]
n	: İterasyon adım sayısı [-], 1.Ocak'tan itibaren gün sayısı [-]
N	: Kolektör adedi, [-]
Nu	: Nusselt sayısı, [-]
Pr	: Prandtl sayısı, [-]
P	: Kısmi basınç, [N/m ²]
q	: Birim zamandaki ısı akısı, [W/m ²]
Q	: Birim zamandaki toplam ısı geçişi, [W/m ²]
R	: Işıyım dönüşüm katsayısı, [-]
t	: Saat açısı, [rad]
T	: Sıcaklık, [°C]
U	: Isı geçiş katsayısı, [W/m ² °C]
v	: hız, [m/sn]
w	: Saat açısı, [rad]

Yunan Sembolleri:

β	: Eğim açısı, [°]
β'	: Hacimsel genleşme katsayısı, [1/K]
Δ	: Miktarla sonlu fark
ε	: Yayma oranı, [-]
η	: Isıl verim, [-]
θ	: Güneş yükseklik açısı, [rad]

θ_z	: Zenit açısı, [rad]
α	: Yutma oranı, absorptivite, soğurganlık [-]
α'	: Absorbe edilen ısı akısı, [-]
μ	: Dinamik viskozite, [kg/m sn]
ρ	: Yoğunluk, [kg/m ³]; yüzey yansıtma oranı [-]
σ	: Stefan Boltzman sabiti, [5,67.10 ⁻⁸ W/m ² °C ⁴]
τ	: Geçirme oranı [-]

Alt İndisler:

b	: Havuz taban ve yan yüzeyleri, siyah cisim
b	: Yatay düzleme gelen direkt ışıınım
be	: Eğimli yüzeye gelen direkt ışıınım
c	: Saydam cam örtü
cb	: Havuz iç yüzeyinden taşınımla
cc	: Saydam cam örtüden taşınımla
cs	: Havuzdaki su yüzeyinden taşınımla
ç	: Çevre hava, dış ortam
d	: Yatay düzleme gelen difüz ışıınım
de	: Eğimli yüzeye gelen difüz ışıınım
e	: Havuz yan yüzeyleri
eff	: Efektif
ek	: İlave
es	: Havuzdaki su yüzeyinden buharlaşma
f	: Sıvı film tabakası
k	: Güneş kolektörü
L	: Toplam
rc	: Saydam cam örtüden ışıınım
rb	: Havuz iç yüzeyinden ışıınım
re	: Eğimli yüzeye gelen yansıyan ışıınım
rs	: Havuzdaki su yüzeyinden ışıınım
s	: Havuzdaki su yüzeyi
s0	: Havuzdaki su yüzeyi başlangıç şartı
t	: Havuzun taban yüzeyi
TE	: Eğimli yüzeye gelen toplam ışıınım
y	: Yalıtım malzemesi, havuz iç yan yüzeyleri toplamı
0	: Başlangıç şartı
1	: İlk şart
1c	: Saydam cam örtüye ait toplam
1s	: Havuzdaki suyun yüzeyine ait toplam
2	: Son şart

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : Bölgelerimize göre güneşlenme miktarları ve süreleri.....	6
Çizelge 1.2 : Dünya üzerindeki çeşitli denizlerin tuzluluk oranları.	7
Çizelge 4.1 : Mersin'e ait aylık ortalama iklimsel veriler.	46
Çizelge 4.2 : Damıtma havuzu ve vakum tüplü kolektöre ait tasarım değerleri.....	56
Çizelge 4.3 : Kolektörden sağlanan ilave ısıtmanın değiştirdiği bağıntılar.....	57
Çizelge 6.1 : Sera tipi güneş enerjili damıtma sistemi sonuçları.....	82
Çizelge 6.2 : Yüksek sıcaklıklı aktif çalışan damıtma sistemi sonuçları.....	82
Çizelge 6.3 : Aylara göre hesaplanan ortalama güneş ışıınımı değerleri.....	83
Çizelge 6.4 : Her iki sisteme ait verim değerleri arasındaki farklar.	88

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Güneşin yapısı ve sıcaklık değerleri.	3
Şekil 1.2 : Güneşten gelen ışıının dağılımı.	4
Şekil 1.3 : Türkiye'nin güneş radyasyonu atlası.	5
Şekil 1.4 : Dünya denizlerinin tuzluluk oranı.	7
Şekil 1.5 : Deniz suyunun kimyasal bileşenleri.....	8
Şekil 1.6 : Hidrolojik çevrim.....	9
Şekil 1.7 : Eski zamanlarda uygulanan damıtma tekniği.	10
Şekil 3.1 : Güneş enerjili damıtma sistemlerinin sınıflandırılması.	22
Şekil 3.2 : Sera tipi damıtma sistemi çift cam örtülü bir örnek.....	24
Şekil 3.3 : Çok etkili sera tipi güneş enerjili damıtma sistemi.	24
Şekil 3.4 : Yüksek sıcaklıklı aktif çalışan damıtma sistemi.	25
Şekil 3.5 : Nemlendirme-nemini alma tekniği ile çalışan sistemler.	26
Şekil 3.6 : Basamaklı-havuzlu ve dış yoğunlaştırıcı damıtma sistemi.	27
Şekil 3.7 : Çok kademeli ani buharlaştırma ünitesi.....	28
Şekil 3.8 : Açık ısı borulu damıtma sistemi ısı borusu çalışma prensibi.	29
Şekil 3.9 : Fitilli (sıvı emicili) damıtma sistemi.....	30
Şekil 3.10 : Çok katlı ısı geri kazanımlı damıtma sistemi.....	30
Şekil 3.11 : Doğal vakum teknikli serbest taşınımlı sistem.	31
Şekil 3.12 : Parabolik yansıtıcı damıtma sistemi.	32
Şekil 3.13 : Boşaltılmış tüplü kolektörlü damıtma sistemi.	33
Şekil 3.14 : Termosifonla birleştirilmiş güneş enerjili damıtma sistemi.....	34
Şekil 3.15 : Hibritli dizayn edilmiş damıtma sistemi.	34
Şekil 3.16 : Çok adımlı flaş damıtma sistemine bir örnek.	36
Şekil 3.17 : Çok etkili damıtma sistemine bir örnek.	36
Şekil 3.18 : Buhar sıkıştırımlı damıtma sistemine bir örnek.	37
Şekil 3.19 : Ters ozmoz yöntemine bir örnek.	38
Şekil 3.20 : Elektrodializ yöntemine bir örnek.	38
Şekil 3.21 : Dondurarak ayrıştırma tekniği ile çalışan sistemler.....	39
Şekil 3.22 : Vakum tüplü güneş kolektörlerinin sınıflandırılması.	40
Şekil 3.23 : Isı borulu kapalı devreli tüpün çalışma prensibi.	43
Şekil 3.24 : Kapalı devreli doğal dolaşımlı bir sisteme örnek.	43
Şekil 3.25 : Kapalı devreli zorlanmış sisteme örnek.	44
Şekil 4.1 : Sera tipi güneş enerjili damıtma sistemi.	47
Şekil 4.2 : Vakum tüplü güneş kolektörü bileşenleri.	48
Şekil 4.3 : Vakumlu cam tüpün yapısı.	49
Şekil 4.4 : Vakum tüplü kolektörün çalışma prensibi.	49
Şekil 4.5 : Yüksek sıcaklıklı aktif çalışan güneş enerjili damıtma sistemi.	50
Şekil 4.6 : Damıtma havuzunda gerçekleşen ısı geçişinin sınıflandırılması.	58
Şekil 4.7 : Damıtma havuzunda gerçekleşen temel ısı benzeşim diyagramı.	63
Şekil 4.8 : Damıtma havuzundaki ısı akısı bileşenleri diyagramı.	64
Şekil 4.9 : Yeryüzüne gelen güneş ışıını çeşitleri.	69
Şekil 4.10 : Güneş açıları.	69

Şekil 5.1 : Cam örtü ve kolektör üzerine düşen güneş ışıını algoritması.	74
Şekil 5.2 : Sera tipi sistemin verim hesabında kullanılan algoritma.	77
Şekil 5.3 : Yüksek sıcaklıklı aktif sistemin verim hesabı algoritması.	79
Şekil 6.1 : Kolektör, cam örtü ve yeryüzüne düşen güneş ışıını miktarları.	83
Şekil 6.2 : Sera tipi sistem için su ve cam örtü sıcaklıkları.	84
Şekil 6.3 : Yüksek sıcaklıklı aktif sistem için su ve cam örtü sıcaklıkları.	84
Şekil 6.4 : Sera tipi ve yüksek sıcaklıklı sistemler için su sıcaklıkları.	85
Şekil 6.5 : Sera tipi ve yüksek sıcaklıklı sistemler için cam örtü sıcaklıkları.	86
Şekil 6.6 : Sera tipi ve yüksek sıcaklıklı sistemler için buharlaşma ısı katsayıları.	87
Şekil 6.7 : Sera tipi ve yüksek sıcaklıklı sistemler için günlük temiz su eldesi miktarları.	87
Şekil 6.8 : Sera tipi ve yüksek sıcaklıklı sistemler için verim değerleri.	89

MERSİN ŞARTLARINDA DENİZ SUYUNDAN TEMİZ SU ELDESİ

ÖZET

Bu çalışmada, Mersin ili iklim koşullarında güneş enerjisinden faydalanılarak deniz suyunun damıtılması işlemi teorik olarak değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme sera tipi ve yüksek sıcaklıklı aktif çalışan güneş enerjili damıtma sistemleri için yapılmıştır. Her iki sistem için de verim değerleri hesaplanmıştır. Birim alana gelen güneş enerjisi değerleri ile havuzdaki deniz suyundan ne kadar ısı çekilerek buharlaşmanın gerçekleştirilebildiğini belirlemek için, bir verim tanımı yapılmıştır. Bu tanıma göre verim; birim alandaki su kütlesinden taşınım ile çekilen enerjinin, yine birim alana gelen güneş enerjisine oranıdır.

Güneş enerjili pasif bir damıtma sisteminden maksimum verim ile faydalanabilmek için, sisteme güneş kolektörü ilave edilmiştir ve aktif bir güneş enerjili damıtma sistemi elde edilmiştir. Her iki sistem için de sistem bileşenleri; sistemin üzerini örten saydam cam örtü, havuzdaki deniz suyu kütlesi ve havuzun yalıtım malzemesidir. Aktif güneş enerjili damıtma sisteminde bu bileşenlere bir de vakum tüplü güneş kolektörü eklenmiştir. Her bileşenin ısı analizi yapılmıştır. Verim hesapları için ise iterasyon yapılmıştır. İterasyonun ilk adımında havuzdaki suyun sıcaklığı deniz suyu sıcaklığına, saydam cam örtü sıcaklığı ise çevre hava sıcaklığına eşit olarak kabul edilmiştir. Havuzdaki suyun ve saydam cam örtünün sıcaklıkları arasındaki fark, verim üzerindeki etken parametredir.

Mersin iline ait olan ve Mersin Meteoroloji İstasyonu Müdürlüğünden temin edilen, 1999 – 2009 yılları arasındaki aylık ortalama verilerin kullanıldığı damıtma sistemleri verim hesaplamalarında, yüksek sıcaklıklı aktif sisteme ait sonuçların genel olarak sera tipi sistemden yüksek olduğu görülmüştür. Söz konusu 10 yıl için, özellikle Temmuz ve Ağustos aylarının ortalama verilerinden elde edilen sonuçlar arasında önemli ölçüde farklılıklar vardır. Düşük maliyetli bir vakum tüplü güneş kolektörünün sisteme entegre edilmesi ile önemli derecede verim farklılıklarının olduğu görüldüğünden, böyle bir uygulamanın yüksek sıcaklıklı aktif güneş enerjili damıtma sistemi ile gerçekleştirilmesinin daha elverişli olacağı sonucuna ulaşılmıştır.

FRESH WATER FROM SEAWATER BY DESALINATION IN MERSIN

SUMMARY

In this study, the solar distillation processes was evaluated as theoretically in Mersin city climate conditions. This evaluation was made for active and pasif solar stills. The daily productivity, the yield was calculated for both of these active and passive systems. The productivity or the yield values are the fresh water quantity obtained from one square meter as daily. The yield values were presented as percentage and ten percentage. On the other hand, the fresh distilled water was presented as water mass in litre.

To be able to get more benefit from a passive solar still, an evacuated tube solar collector was integrated to a passive solar still and an active solar stil has been produced. The solar stills component for both of passive and active systems are the glass cover over the still, the still that contains the seawater and the insulation material inside the stil inner surfaces. An evacuated tube solar collector was added to these components for the active solar stills. The thermal analysis was performed for all components for both of the passive and active solar stills. Iteration method was used to obtain the daily yield values. For the first step of the iteration, the water temperature in the still was accepted as equal to the sea water temperature of Mersin city and the glass cover temperature was accepted equal to air temperature of Mersin city. The difference between the temperatures of water in stills and glass covers is the main parameter to obtain the daily yield results.

The results of the active solar stills are generally higher than the passive stills in terms of the daily yield that calculated from the monthly average climate data of Mersin city between the years of 1999 – 2009. These climate data were supplied by Mersin Meteorological Station. Between the mentioned years, especially for the months of July and August, there were obtained big differences between the yield result of passive and active stills. With addition of an cost effective evacuated tube solar collector to a passive solar still, an important yield difference was obtained; that's why, an active solar still is more effective to obtain fresh water from seawater by distillation process by using solar energy.

1. GİRİŞ

Su, dünya üzerindeki en bol ve önemli maddedir. Yerküremizin 2/3 oranından fazlası su kaynakları ile kaplıdır. Bu su kaynakları çoğunlukla okyanuslar, denizler, göller, nehirler ve kutup bölgelerindeki aysberglerdir. Tüm bu kaynakların sadece %2,6 kadarı tatlı su, kalanı tuzlu sudur. Bu tatlı su oranının %1'inden daha azı insan için ulaşılabilir. İnsan vücudunun yaklaşık %90'ı sudan oluşmaktadır. Yiyecek ve oksijenle birlikte su, insan yaşamının devam ettirilebilmesindeki en temel enerji kaynağı ve vazgeçilemez ihtiyaçtır. İnsanın bir şey yemeksizin yaklaşık bir ay kadar yaşaması mümkün olmasına rağmen, su içmeden en fazla bir hafta yaşayabileceği bilinmektedir. İnsanoğlunun her aktivitesi için su gereklidir; bu ihtiyacın %6'sı domestik kullanım, %92'si tarımsal, %2'si ise endüstriyel kullanım içindir. İnsanoğlu'nun yanı sıra, doğadaki her türlü canlının yaşamı en temelde suya bağlıdır (Hough, 2007; Can vd., 2002).

Dünyada ve ülkemizdeki temiz su kaynaklarının giderek tükenmesi ve mevcut kaynakların kullanılamayacak hale gelmesi, temiz su eldesi konusunu son yıllarda daha acil şekilde gündeme getirmiştir. Dünya nüfusunun hızlı artışı ve toplumların endüstriyelleşmesi, su tüketimini sürekli arttırmaktadır. Önceleri yeterli olan temiz su kaynakları artık yetersiz kalmaya başlamıştır. Bilhassa iklimi kurak ülkelerde su sıkıntısı daha büyük boyutlardadır. Bu durum ise, endüstriyelleşmeyi ve ekonomik gelişimi engellemektedir. Endüstriyelleşme sürecini tamamlamış ve gelişmiş ülkeler, temiz su ihtiyacı problemine alışık değillerdir. Hem kurak hem de kurak olmayan ülkelerde ciddi bir büyüme görülmektedir. Bu ülkelerin temiz su ihtiyacının karşılanabilmesi; uzun vadeli su kaynakları yönetimi, su kaynaklarının korunması ve temizlenmesi ile ilgili çözümlere bağlıdır. Kurak iklim kuşağında yer alan birçok ülkenin denizlerle irtibatı vardır. Ancak tuzlu olan deniz suyunun içilmesi ve tarımsal amaçlarla kullanılması mümkün değildir (Yiğit ve Atmaca, 2010).

Temiz su ihtiyacı, temiz su kaynaklarının karşılayabildiğinden fazla olduğunda, düşük kalitedeki deniz suyunun ya da diğer tuzlu su kaynaklarının tuzdan arındırılması işlemi devreye girmektedir. Deniz suyunun veya tuzlu suyun tuzdan arındırılma işlemi oldukça temel bir prosestir ve çevreye karşı hiçbir zararı yoktur.

Bundan dolayıdır ki, damıtma işlemlerinde ve tesislerinde dünya çapında ciddi bir artış görülmektedir.

Deniz suyundan tatlı su üretiminde faydalanılan sistemlerin enerji ve işletme maliyetlerinin yüksek oluşu, hava kirliliğine yol açmaları, pahalı ve hassas cihazlar gerektirmeleri bu sistemlerin kullanımını olumsuz yönde etkilemektedir. Deniz suyunun içilebilir hale getirilmesinde güneş enerjisi kullanmak yukarıda sayılan sakıncaları ortadan kaldırmaktadır. Su sıkıntısı çekilen ülke ve adalarda güneş enerjisinin yoğun olması, bu enerjinin suyun damıtılmasında kullanımını daha da cazip hale getirmektedir. Su sıkıntısı çeken birçok ülkenin diğer enerji maliyetlerini karşılayabilecek kadar zengin olmadıkları da dikkate alındığında, tatlı su üretiminde tek çözüm yolu güneş enerjisinden faydalanmaktır. Tüm bu avantajlara ilave olarak, güneş enerjisinden faydalanılarak deniz suyundan veya tuzlu su kaynaklarından temiz su üretimi; bedava enerji, basit teknoloji ve çevre dostu olma özellikleri ile de gelecek vadeden bir alternatiftir (Yiğit ve Atmaca, 2010; Öztürk, 2008).

Bu çalışmada, Mersin ili sahilinden temin edilen deniz suyunun, güneş enerjisi kullanılarak en temel damıtma sistemlerinden olan damıtma havuzları aracılığıyla damıtılması ele alınmıştır. Bu çalışma oldukça iyi seviyelerde güneş enerjisi potansiyeline sahip olan ülkemizde, güneş enerjili damıtma prosesi çalışmaları için referans alınabilecek teorik bir çalışmadır. Özellikle Akdeniz bölgemizin güneş enerjisi potansiyeli göz önüne alınırsa, Mersin için gerçekleştirilen bu çalışmanın iyi bir adım olabileceği düşünülmektedir. İki farklı tipteki (sera tipi ve yüksek sıcaklıklı aktif çalışan güneş enerjili damıtma sistemleri) damıtma havuzlarının verim değerlerinin karşılaştırılması bu çalışmanın konusudur. Söz konusu yüksek sıcaklıklı aktif çalışan damıtma sisteminde vakum tüplü güneş kolektörü kullanılmıştır. Literatürdeki diğer çalışmaların neredeyse hepsinde güneş kolektörü olarak düz tip kolektörler üzerinde durulması, bu çalışmada vakum tüplü güneş kolektörü kullanılmasının sebebidir.

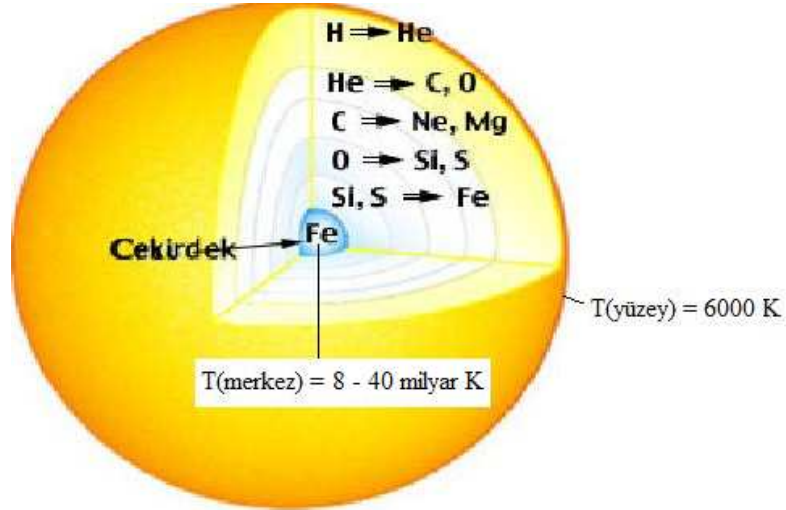
1.1 Güneş Enerjisi

Güneş, etrafında dönen diğer gezegenlerle birlikte güneş sistemimizin en büyük üyesidir. Sıcaklığı merkezine doğru artar, merkezde yaklaşık 8 - 40 milyar K'dir. Güneş, yüzey sıcaklığı yaklaşık 6000 K olan siyah bir cisim gibi kabul edilebilmektedir (Şekil 1.1). Bu yüksek sıcaklıktaki efektif yapısından dolayı,

devamlı çalışan bir füzyon reaktörü gibidir. Güneşteki elektronlar bu yüksek sıcaklıktan dolayı atom çekirdeklerinden ayrılmaktadırlar. Güneşte maddedeki gibi atom ve moleküller değil, serbest elektronlar ve atom çekirdekleri bulunur. Bu karışıma plazma denir. Güneşin içi; yakıtı H, ürünü ise He olan büyük bir fırın gibi düşünülebilir. Yani, 4 H çekirdeği birleşerek bir He çekirdeği oluşturur. Harcanan H miktarı, oluşan He miktarından daha fazladır. Aradaki bu fark reaksiyon sırasında kaybolan kütledir ve enerjiye dönüşmektedir. Bu reaksiyon (1.1) bağıntısında gösterilmiştir.



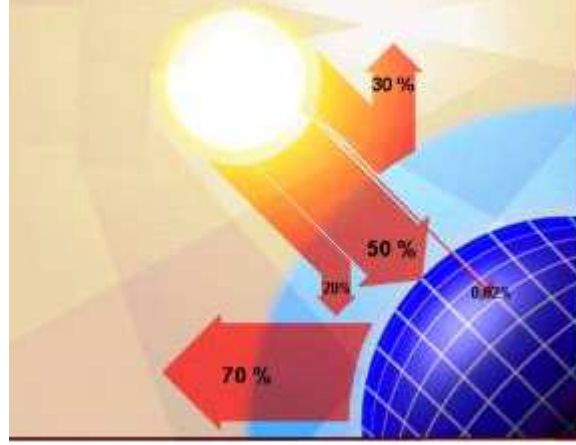
Bu enerji güneş küresinin içinde yüksek sıcaklıklardan dolayı oluşmakta, güneşin yüzeyine doğru transfer edilmekte ve uzaya yansıtılmaktadır (Hough, 2006; Tiwari, 2004).



Şekil 1.1 : Güneşin yapısı ve sıcaklık değerleri (Hough, 2006).

Güneşin 1 saniyede ürettiği enerji miktarı, insanlığın şimdiye kadar kullandığından fazladır. Dünyamız güneşten gelen toplam enerjinin sadece milyarda birini alır. Bu enerji miktarı sadece 15 dakika depolanabilseydi, toplam dünya nüfusunun yıllık enerji ihtiyacı karşılanabilirdi. Dünyaya güneşten gelen enerji, dünyamızda bir yılda kullanılan enerjinin 20 bin katıdır. Güneş ışınımının tamamı yeryüzeyine ulaşmaz, %30 kadarı dünya atmosferi tarafından henüz dünyamıza ulaşmadan geri yansıtılır. Güneş ışınımının %50'si atmosferi geçerek dünya yüzeyine ulaşır. Bu enerji ile dünyanın sıcaklığı yükselmekte ve yeryüzünde yaşam mümkün olmaktadır. Işınlardan zararlı olanları dünyaya ulaşmadan 22 km yukarıdaki ozon tabakası tarafından yutulur. Ozon gazı, güneşin morötesi ışınlarını yutma özelliğine sahiptir. Güneş

enerjisinin uzaydan geçerek dünyaya ulaşması elektromanyetik radyasyonla olmaktadır. Yeryüzüne gelen güneş ışınımının %1'den azı bitkiler tarafından fotosentez olayında kullanılır. Dünya'ya ulaşan güneş ışınımı, sonunda ısıya dönüşür ve uzaya döner (Şekil 1.2).



Şekil 1.2 : Güneşten gelen ışınımın dağılımı.

Güneş enerjisinin kullanılabilir hale getirilebilmesi için ısıya dönüştürülmesi gerekmektedir. Birim yüzeye düşen güneş enerjisinin azlığı nedeniyle, ısı enerjisi elde etmek için geniş yüzeylere ihtiyaç vardır. Güneş radyasyonunu, ısı enerjisine dönüştüren aygıtlara güneş kolektörleri denir. Güneş enerjisinin ısı enerjisine dönüşümünde, güneşten gelen elektromanyetik radyasyonu absorbe eden materyalin sıcaklığı yükselir ve yüzeyin ısısı alt kısmında bulunan sıvı ya da gaz akışkanlara iletilir. İletilen bu ısı enerjisi direkt veya dolaylı olarak kullanılabilir (Yiğit ve Atmaca, 2010).

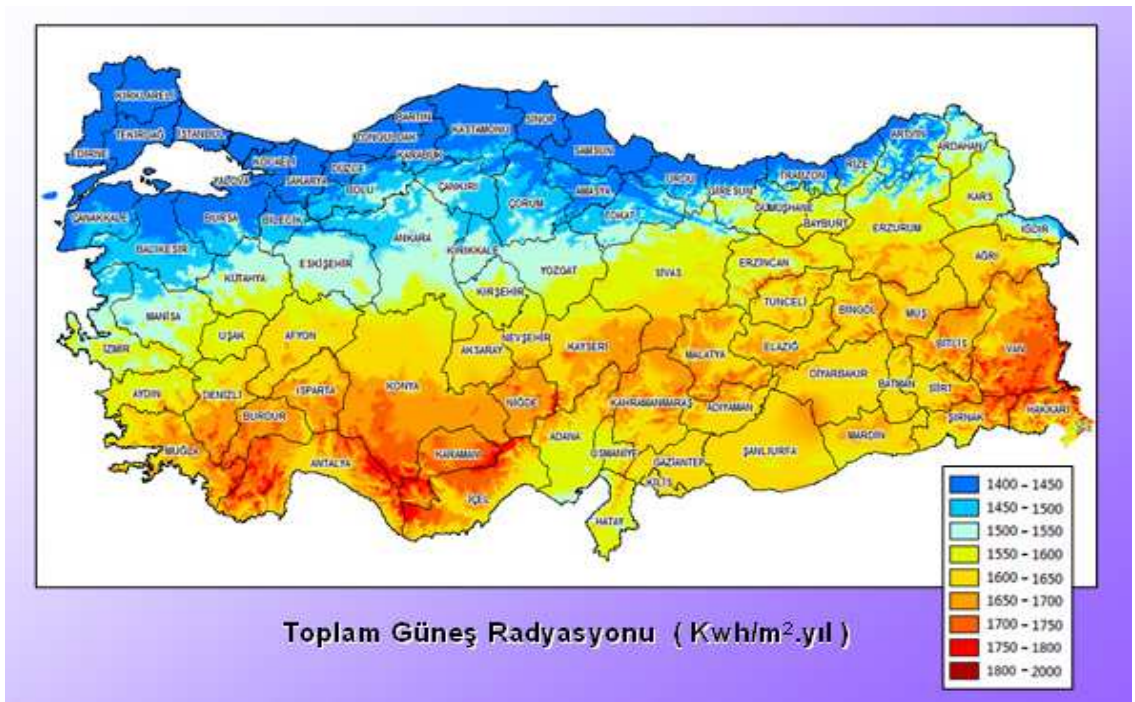
Güneş enerjisi diğer yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde kullanımı ve enerjiye dönüştürülmesi en kolay enerji kaynağıdır. Diğer enerji kaynakları gibi yüksek teknolojiler gerektirmemekte ve insan sağlığını tehdit etmemektedir.

1.2 Türkiye'deki Güneş Enerjisi Potansiyeli

Dünya'nın küre şeklinde olması nedeniyle ekvator ile kutuplar arasında kalan alanlar yıl içinde güneş enerjisinden farklı oranlarda yararlanmaktadırlar. Ekvator hattı üzerindeki alanlar güneş enerjisini en üst seviyelerde alırken, kutuplara doğru gidildikçe enerji miktarında bir azalma meydana gelir. Bundan dolayı da, ekvator dan kutuplara doğru atmosfer kütlelerinin ısınma değerleri farklıdır. Nitekim ekvator ve

dönenceler arasında kalan bölgeler yıl boyunca daha fazla enerji alarak daha fazla ısınmaktadır. Ülkemizin de içinde bulunduğu konumdan dolayı, ekvatora daha yakın olan güney illerimizin güneşlenme miktarları, kuzey illerimize göre çok daha yüksek değerlerdedir (Şekil 1.3).

Coğrafi konumu itibarıyla, dünyanın güneş kuşağı içerisinde yer alan ülkemizin güneş enerjisi potansiyeli oldukça yeterli düzeydedir. Türkiye'de yüzeyin aldığı ortalama güneşlenme miktarı yılda 1300 kWh/m², günde ise 3,6 kWh/m² civarındadır. Bir günlük güneşlenme süresi ise 7,2 saat olarak hesaplanmaktadır. Güneşten verimli oranlarda yararlanılabilen gün sayısı yılda 110 gün gibi yüksek bir seviyededir. Türkiye'nin güneş enerjisinden yararlanma potansiyeli en fazla olan bölgesi Güneydoğu Anadolu Bölgesi'dir. Akdeniz Bölgesi de ikinci sıradaki bölgemizdir (Çizelge 1.1) (Url-1, 2010).



Şekil 1.3 : Türkiye'nin güneş radyasyonu atlası (Url-1, 2010).

Çizelge 1.1 : Bölgelerimize göre güneşlenme miktarları ve süreleri (Url-1, 2010).

BÖLGELER	Toplam Enerji kWh / m² - yıl	Güneşlenme Saati
Güney Doğu Anadolu	1460	2993
Akdeniz	1390	2956
Doğu Anadolu	1365	2664
İç Anadolu	1314	2628
Ege	1304	2738
Marmara	1168	2409
Karadeniz	1120	1971

1.3 Deniz Suyu Özellikleri ve İçme Suyu Bakımından Tuzlu Su

Dünya yüzeyinin 2/3'ünü kaplayan sular içilebilir nitelikte değildir. Bir çöl faresinin kullanıldığı bir deneyde, çöl faresine deniz suyu içirilmiş ve zarar görmeden hayatta kalabildiği gözlemlenmiştir. Oysa bu durum insanoğlu için mümkün değildir. Bir miktar deniz suyunun içilmesi sağlık için zararlı olmayabilir, ancak sürekli deniz suyu içen bir insan, böbrekleri böyle yoğun bir çözelti ile baş edemeyeceği için, kısa sürede su kaybından ölebilir. İnsanın içtiği suların tuzluluk oranlarına değinecek olursak; musluk sularında bu oran %0,08; şişe sularında ise %0,03 civarlarındadır.

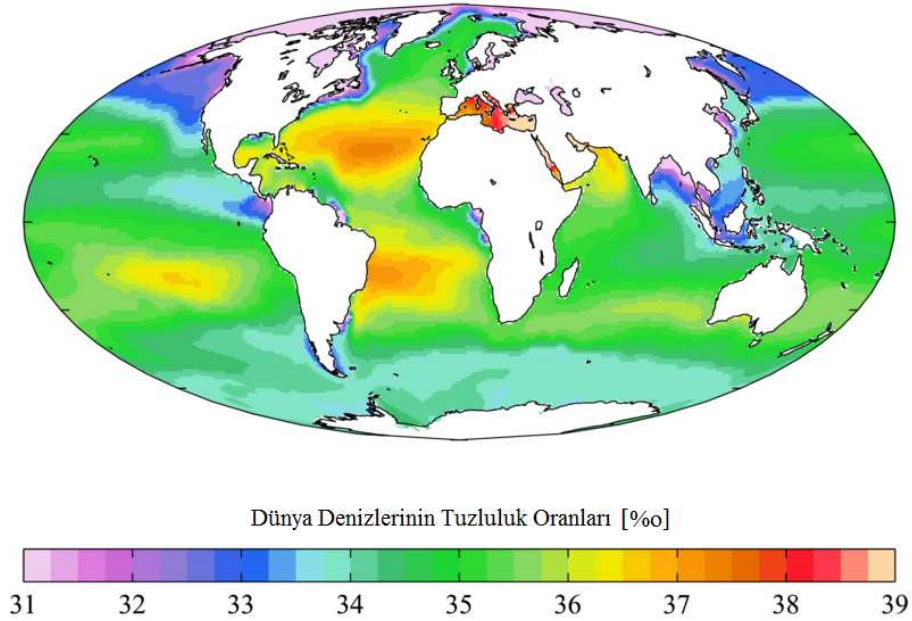
Dünya üzerindeki denizlerin tuzluluk oranlarının %0,7 - %4,3 arasında değiştiği görülmektedir (Çizelge 1.2). Denizlerin tuzluluk oranları, denizlere akan tatlı su miktarına bağlı olarak değişmektedir. Karadeniz; Marmara, Ege ve Akdeniz'e göre daha az tuzlu bir denizdir. Bu düşük tuzluluk oranının sebebi, Karadeniz'e dökülen Tuna, Bug, Dinyester, Dinyeper, Don, Kızılırmak gibi büyük akarsulardır. İstanbul ve Çanakkale boğazları aracılığıyla Karadeniz ile Ege Denizi arasında su alışverişi sağlayan Marmara Denizi'nin yüzey suları Ege ve Akdeniz'e göre daha az, Karadeniz'e göre ise daha tuzludur. 15 - 20 m derinlikte yüzey katmanında %2,2 olan tuzluluk oranı, 30 m'de %3,7'ye; 150 m'de ise %3,85 değerlerine ulaşmaktadır. Ege Denizi'nin Karadeniz ve Marmara'dan daha tuzlu olmasının nedeni, Karadeniz ve Marmara'dan gelen yüzey sularının Ege Denizi'nde saatte 2 km'yi aşan bir üst akıntı oluşturmasıdır. Bu üst akıntı Yunanistan kıyılarını izleyerek güneyde Akdeniz'e ulaşır. Tuzluluk oranı genelde %3,8 olan Ege Denizi'nin batı kesimindeki

suların daha az tuzlu olmasının nedeni de budur. Akdeniz, kavurucu yaz günlerinde buharlaşma ile yitirdiği suyun pek azını akarsu ve yağışlarla geri alabildiği için, tuzluluğu yaz başlangıcından itibaren giderek artmaktadır (Can vd., 2002).

Çizelge 1.2 : Dünya üzerindeki çeşitli denizlerin tuzluluk oranları (Can vd., 2002).

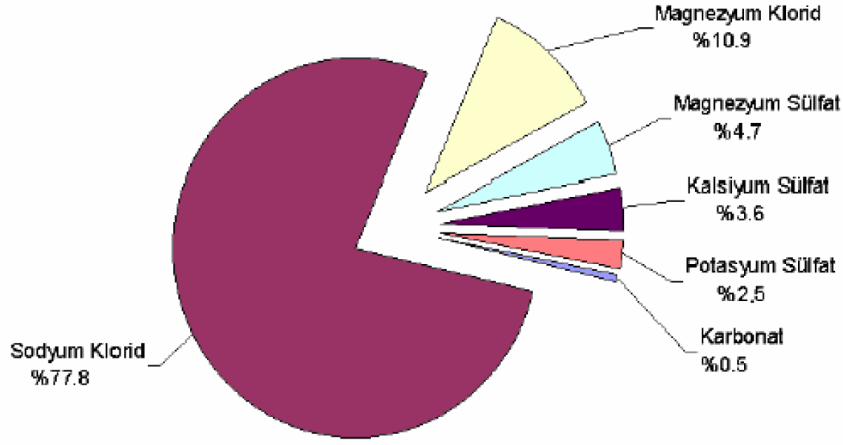
<u>Denizler</u>	<u>Tuz konsantrasyonu (%)</u>
Standart deniz suyu	3,5
Baltık denizi	0,7
Hazar denizi	1,3
Pasifik okyanusu	3,4
Atlantik okyanusu	3,6
Kızıldeniz	4,3
Basra körfezi	4,3
Karadeniz	1,8
Marmara denizi	2,2
Ege denizi	3,8
Akdeniz	4,3

Başka bir kaynaktan sağlanan, dünya üzerindeki deniz ve okyanusların tuzluluk oranlarına dair bir atlas da Şekil 1.4'te gösterilmiştir.



Şekil 1.4 : Dünya denizlerinin tuzluluk oranları (Url-2, 2010).

Deniz suyunun tuzluluğunu oluşturan belli başlı erimiş tuzlar; klor, sodyum, sülfatlar, magnezyum, kalsiyum, potasyum bikarbonat ve bromdur. Deniz suyu doğada mevcut bulunan ve bilinen tüm elementleri içermektedir. Aşağıdaki şekilde deniz suyunun kimyasal bileşenleri % lerle gösterilmiştir (Şekil 1.5).



Şekil 1.5 : Deniz suyunun kimyasal bileşenleri (Can vd., 2002).

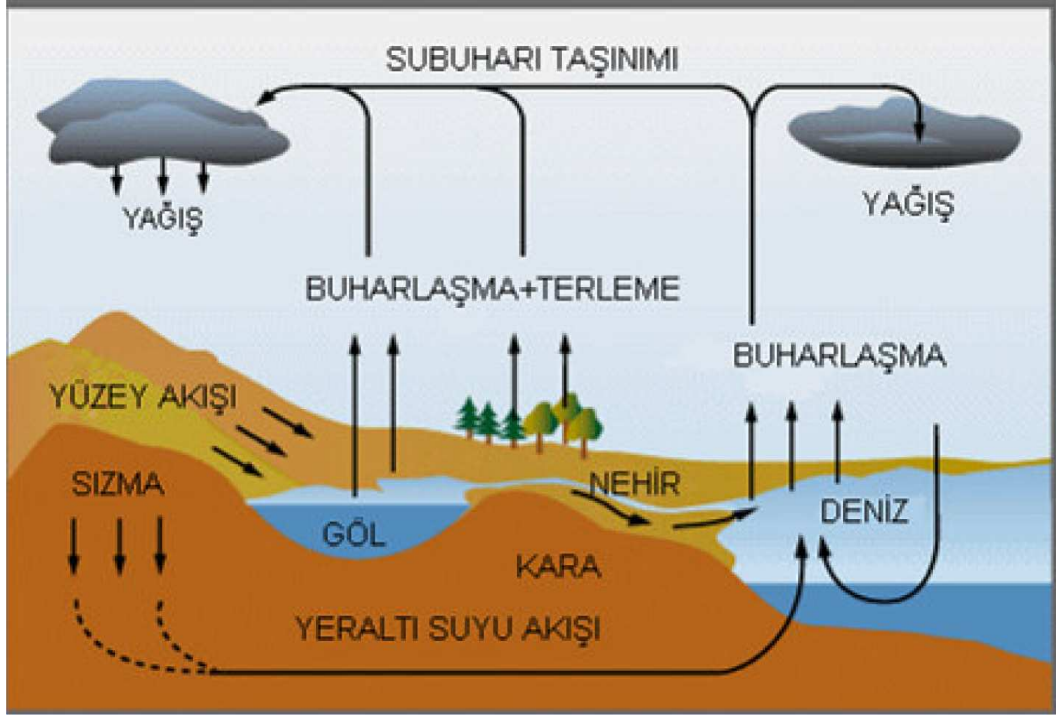
1.4 Damıtma ile Temiz Su Üretimi

Su, doğada her yerde çeşitli fiziksel hallerde bulunmakta ve yeryüzü, yeraltı ve atmosfer arasında sıvı, katı ve gaz olmak üzere üç değişik hâlde devamlı dolaşmaktadır. Suyun bulunduğu kütlelerden (deniz, göl, nehir, vs.) çeşitli sebeplerle sıvı halden gaz haline geçmesi, atmosfere intikal etmesi ve tekrar yoğunlaşarak yeryüzüne düşmesine Hidrolojik Çevrim denir (Şekil 1.6). Atmosfere taşınan su buharının büyük kısmı tuzlu göl ve denizlerden, kirli su alanlarından sağlanmaktadır. Bundan dolayıdır ki, hidrolojik çevrim doğal bir arıtma (tuzlu ve kirli suyun tatlı suya dönüştürülmesi) metodudur (Öztürk, 2004).

Karalar ve denizlerden çeşitli şekillerde ve şartlarda buharlaşan su, atmosfere ulaşarak bulutları oluşturmaktadır. Hava akımları ile sürüklenen bulutlar yeryüzüne yağış şeklinde temiz su bırakırlar. Bilindiği gibi; gökten yağmur, kar, dolu, sulusepken, çığ, sis gibi değişik şekillerde yağın ölçülebilir su miktarına yağış denir. Yağışların küçük bir kısmı henüz düşme aşamasında buharlaşır ve kısa yoldan tekrar atmosfere döner. Yağış şeklinde yeryüzüne ulaşan suyun bir kısmı zeminin geçirgen olması hâlinde, aşağıya doğru sızar. Geriye kalanı ise, akışa geçerek yüzeysel akış olarak akarsu, göl, bataklık, deniz gibi su kütlelerine ulaşır. Sızan sudan artakalan miktar, yeraltındaki boşlukların serbest aralıklarında düşey hareketine devam ederek yeraltı sularını oluşturur. İşte bu sular özellikle kurak bölgelerde içme suyu ve sulama açısından büyük önem taşımaktadır (Cingiz, 2007).

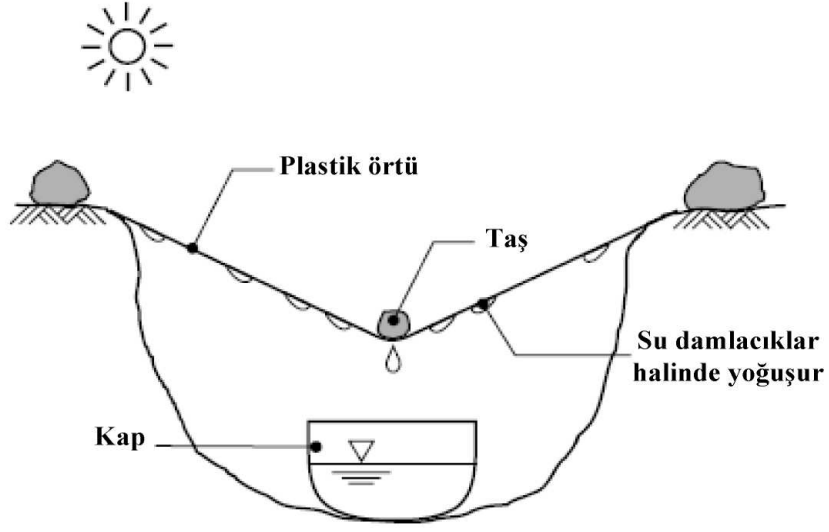
Damıtma ile temiz su üretimi basit, etkili ve aynı zamanda güvenli bir yöntemdir. Bu işlem enerji gerektirmektedir ve güneş enerjisi bu işlem için oldukça verimli bir ısı

kaynağı olarak kullanılabilir. Bu işlem sırasında su buharlaşır, böylece içindeki maddelerden ayrılır ve saf su olarak yoğunlaşır. Güneş enerjili damıtma havuzları sudaki tuzu, ağır metalleri ve sudan kaynaklanan hastalıkları yok etmektedir. Güneş enerjili damıtma sistemleri ile elde edilen saf su pek çok şişelenmiş sudan çok daha sağlıklıdır (Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, 2004).



Şekil 1.6 : Hidrolojik çevrim (Cingiz, 2007).

Damıtma ve yoğunlaştırma yoluyla temiz su elde etmek eskiden beri uygulanan bir tekniktir. Yere bir oyuk yapılmış, oyuğun dibine bir kap konulmuştur. Oyuğun üstüne plastik bir örtü gerilmiş, plastiğin uçlarına ağırlığı kaldırması için ise taşlar bırakılmıştır. Küçük bir taş da tam merkeze yerleştirilmiştir. Böylece örtüye, kabın üzerine doğru bir eğim verilmiştir. Toprakta gelen su buharlaşmış, plastik örtünün iç kısmında yoğunlaşmış ve kabın içinde birikmiştir (Şekil 1.7) (Cingiz, 2007).



Şekil 1.7 : Eski zamanlarda uygulanan damıtma tekniği (Cingiz, 2007).

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Su ve enerji kaynaklarının hızla tükenmesi, yenilenebilir enerji kaynakları ile entegre edilmiş damıtma sistemlerini daha da önemli hale getirmiştir. Bu tip sistemlerin uygulaması, özellikle geleneksel enerji kaynaklarının kısıtlı olduğu kurak ve kıyısal bölgelerde her geçen gün daha da artmaktadır. Damıtma sistemlerinde kullanılan yenilenebilir enerji kaynakları; güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, fotovoltaik ve jeotermal enerji kaynaklarıdır. Yenilenebilir bir enerji kaynağı ile desteklenen damıtma sistemleri genel olarak iki kategoride incelenmektedir; birincisi, enerji kaynağından elde edilen ısı enerjisinin kullanıldığı, ikincisi ise yine yenilenebilir enerji kaynağından elde edilen mekanik ve elektrik enerjisinin kullanıldığı sistemlerdir. Yenilenebilir enerji kaynakları ile birleştirilmiş damıtma sistemlerinin bazıları uygulamada pratik değildir. Dizayn parametrelerinin optimum şekilde belirlenerek, damıtma sistemlerinin tasarlanması gerekmektedir. Tüm bu sistemler içerisinde en fazla araştırılan ve değerlendirmeye alınan, damıtma havuzları aracılığıyla temiz su eldesinin sağlandığı ve direkt güneş ışıınının kullanıldığı damıtma sistemleridir (Eltawil vd., 2009).

Güneş enerjisinin kullanıldığı damıtma sistemleri, en fazla umut vadeden uygulamalardır. Damıtma sistemlerinde güneş ışıını direkt veya dolaylı olarak kullanılabilir. Direkt kullanımda, güneş enerjisi kolektörde veya damıtma havuzunda doğrudan suyun damıtılmasında kullanılır. Dolaylı kullanımda ise, geleneksel damıtma tekniklerinin farklı kombinasyonları söz konusudur; çok adımlı flaş damıtması, çoklu etki damıtması, buhar sıkıştırımalı damıtma yöntemi, ters ozmos yöntemi, membran damıtması ve elektrodializ yöntemleri güneş enerjisi kolektörleri ile entegre edilmiştir. Doğrudan güneş enerjili damıtma teknolojileri dolaylı yöntemlerle kıyaslandığında, daha büyük ölçekte alanlar gerektirmekte ve düşük verimlerle çalışmaktadırlar. Buna karşın; küçük ölçekli talepleri karşılamadaki düşük maliyeti ve gerekli sistemin yalınlığı, direkt güneş enerjili damıtma yöntemlerini daha cazip kılmaktadır (Qiblawey ve Banat, 2008).

Güneş enerjili damıtma, insanlığın temiz su ihtiyacını özellikle kırsal bölgelerde basit bir teknoloji ile ve çevreyle dost bir biçimde karşılayabilecek en verimli uygulama

türüdür. İklim koşulları uygun ve temiz su talebi 200 m³/gün'den az olduğunda, güneş enerjili damıtma sistemleri talepleri karşılayabilmektedir. Güneş enerjili damıtma sistemlerinin gelecekteki başarısı için, bazı işletme ve dizayn parametrelerinin kombinasyonları birlikte düşünülmelidir. Bu parametreler; yüksek havuz sıcaklığı (düşük su seviyesi, basamaklı yapı kullanımı, emici yüzeyin siyah boyalı olması, vs.), düşük üst örtü sıcaklığı (örtü soğutması, çoklu etki, kondenser ilavesi, enerji depolama mekanizması), geniş buharlaşma ve yoğuşma yüzeyleri, yoğuşmada ortaya çıkan gizli ısıнын yeniden kullanımı (çoklu etki), ısı kayıplarının minimuma indirgenmesi (yan yüzey ve taban yüzeyi yalıtımlarının iyi yapılması), gölgeli alanların da kullanılabilmesidir (Fath, 1998).

Güneş enerjili damıtma sistemleri, termodinamik ve ekonomik açıdan analiz edilmelidir; yenilenebilir enerji kaynaklı bir damıtma sistemi teknik açıdan oldukça verimli iken, ekonomik açıdan o kadar verimli olmayabilir. Sonuçta elde edilen temiz suyun maliyeti kesinlikle analiz edilmelidir (Goosen vd., 2000).

Yenilenebilir enerji kaynaklarından herhangi birinin kullanıldığı damıtma sistemleri farklı düzeneklere sahiptir.

Doğal vakum tekniğinin kullanıldığı yenilenebilir enerji destekli bir sistemin fizibilite çalışması yapılmıştır. Sisteme ait orijinal model kullanılarak, sistemin çalışma prensipleri açıklamalı olarak gösterilmiştir. Bu tip bir sistemin çevre dostu olduğu, ekonomik ve ekolojik çözümler üretebildiği sonucuna ulaşılmıştır (Ayhan ve Madani, 2009).

Rejeneratif bir güneş enerjili damıtma ünitesinin modellenmesi ve performans analizi yapılmıştır. Bu damıtma ünitesi 2 etkili birimden oluşmaktadır. Birinci etki aşaması, içinde tuzlu su bulunan havuz, ikinci etki aşaması ise cam örtünün altında bulunan ikinci cam örtüdür. Bu sistemdeki soğutma suyunun ikinci aşamadan da geçirilmesi sağlanmıştır. Bu tür bir düzenleme, birinci aşamada su ve saydam cam örtü arasındaki sıcaklık farkının artması, ikinci aşamada ise cam örtü üzerinde yoğuşan su buharının gizli ısıнын kullanılması avantajlarını sağlamaktadır. Bu sayede, daha fazla miktarda temiz su elde edilebilmektedir. Bu düzendeki bir rejeneratif damıtma havuzunun performansı, aynı çevre koşullarında çalışan bir klasik damıtma havuzunun performansı ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada ortaya çıkartılan simülasyon sonuçları göstermiştir ki; rejeneratif bir güneş enerjili damıtma

sisteminin verimi klasik tek havuzlu sisteme göre %20 daha yüksektir. Damıtma havuzlarının yalıtımının mükemmel şekilde yapılması, sistem verimini 1,5-2 kat daha artırabilmektedir. Rejeneratif sistemdeki yalıtımın sistem verimine etkisi, klasik sisteme göre çok daha fazladır. Rüzgâr hızının da her iki tipteki sistem veriminde etkisi oldukça önemlidir. Örneğin rüzgâr hızının 0 m/s değerinden 10 m/s değerine ulaşması, sistem verimini %50 den daha fazla artırmaktadır. İç taraftaki cam örtü üzerinde bulunan su tabakası kalınlığının ve ikinci aşamaya geçen su debisinin, rejeneratif damıtma sistemi üzerindeki etkisi oldukça önemli seviyelerdedir (Zurigat vd., 2004).

Deniz suyunun, inovatif güneş enerjisi destekli membran sistem ile damıtılmasının, Medesol projesi adı altında incelendiği bir çalışmada, yüksek verimli ve düşük maliyetli sistemlerin geliştirilmesi için güneş enerjisi destekli çok aşamalı membran damıtma kavramı geliştirilmiş ve deneysel olarak incelenmiştir. Bu projedeki deney düzeneği değişik membran damıtma modüllerinin, spesifik enerji tüketiminin minimum değerlere indirilebilmesi için, çok aşamalı bir MD (Membran Damıtma) sistemine entegre edilmesini gerektirmektedir. Bu projenin amacı günlük 0,5 – 50 m³ arasındaki kapasitelerde su eldesi sağlamaktır. Basit teknoloji, uzun soluklu bakım ve ücretsiz operasyon periyotları, yüksek kalitedeki taze su eldesi en önemli parametrelerdir. MD esaslı sistemler tüm bu parametreleri başarıyla sağlamaktadır. Isı kaynağı olarak, parabolik güneş enerjili odaklayıcı kullanılmıştır. Bu sayede, geliştirilen spesifik odaklanma oranı ile, gerekli sıcaklık seviyelerine ulaşılabilmiştir (Galvez vd., 2009).

Deniz suyunun damıtılmasında odaklayıcı fotovoltaiik/termal sistemlerin kullanıldığı bir çalışmada, çoklu etkiye sahip bir buharlaştırma tesisi mevcuttur. Bu birleşik sistem, güneş enerjisinden elektrik üretmekte ve damıtma için devamlı olarak güneş pillerinin atık ısını kullanmaktadır. Yıllık elektrik ve temiz su üretiminin belirlenebilmesi için detaylı bir simülasyon çalışması yapılmıştır. Damıtılmış suyun maliyeti tahmin edilmiş ve alternatif damıtma sistemleri ile kıyaslanmıştır. Değişik maliyet senaryolarının ortaya atıldığı bu çalışmanın sonuçları göstermiştir ki; birleşik damıtma tesisleri diğer alternatiflerine göre oldukça avantajlıdır. Bazı durumlarda, bu çalışmada kullanılan odaklayıcı fotovoltaiik/termal damıtma sisteminin diğer sistemlere nazaran çok daha düşük maliyetli olabileceği de görülmüştür (Mittelman vd., 2009).

Güneş enerjisinden hidrojen üretimi için, su arıtma sistemlerinden elde edilen atık ısının değerlendirildiği uygulamadaki deney düzeneği merdivenimsi bir yapıya sahiptir. Eğimli bir emici yüzey ve hem tepede hem de tabanda olmak üzere iki havuz mevcuttur. Su, tepedeki havuzdan aşağıdakine doğru merdivenimsi yapı üzerinden akmaktadır. Akış sırasında buharlaşmayan suyun yeniden tepedeki havuza dönmesi için küçük bir pompa kullanılmıştır. Bir saatte damıtılan su miktarı çift cam örtülü düzenekte, tek cam örtülü olana göre daha yüksektir. Her iki tipteki düzenek için de ortalama verim değerleri, sırasıyla yaklaşık olarak 2,2 ve 5,51 Lt/m² gün'dür. Tek cam örtülü merdivenimsi tipteki havuzun verimi aynı zamanda aynı mekânda, geleneksel havuz tipi damıtıcılarla da kıyaslanmıştır. Merdivenimsi yapıdaki havuzun verimi yaklaşık olarak %20 daha yüksektir (Sadineni vd., 2008).

Sera tipi ve yüksek sıcaklıklı aktif güneş enerjili damıtma sistemleri, deniz suyunun veya diğer kaynaklardan temin edilen tuzlu suların damıtılmasında bugüne kadar kullanılan en yaygın düzeneklerdir. Yüksek sıcaklıklı aktif güneş enerjili damıtma sistemlerinde kullanılan güneş kolektörleri de genellikle düz tiptedir. Her iki tipteki damıtma sistemleri, sistemin verimini etkileyen parametreler açısından hem deneysel hem de teorik olarak ele alınmış ve çoğunlukla karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Saydam cam örtünün iç ve dış sıcaklıklarının sistem performansı üzerindeki etkilerinin araştırılmasında, iki kabulle oluşturulmuş ısı model kullanılmıştır. Bu kabullerden birincisi, iç ve dış cam örtü sıcaklıklarının eşit olduğu ($T_{ci} = T_{co}$), ikincisi ise iç ve dış cam örtü sıcaklıklarının eşit olmadığı kabulüdür ($T_{ci} \neq T_{co}$). Sera tipi ve yüksek sıcaklıklı aktif güneş enerjili damıtma sistemlerinin saatlik verim değerlerinin karşılaştırılmasında, aktif sistemin ısı performansını etkileyen faktörlerin; havuzdaki suyun derinliği, saydam cam örtünün ve yalıtım malzemesinin kalınlıkları, yoğunlaştırıcı yüzey malzemesi, kolektör türü ve sayısı, çevre hava sıcaklığı, rüzgâr hızı ve güneş ışıınım miktarı olduğu varsayılmıştır. Düz tip güneş kolektörü ile entegre edilmiş olan aktif güneş enerjili damıtma sisteminin ısı model sonuçları göstermiştir ki; günlük verim değerleri $T_{ci} = T_{co}$ için 3,08 litre, $T_{ci} \neq T_{co}$ için 2,85 litredir. Benzer olarak sera tipi güneş enerjili damıtma sisteminde ise, $T_{ci} = T_{co}$ için 1,14 litre, $T_{ci} \neq T_{co}$ için ise 1,09 litredir. Aktif güneş enerjili damıtma sisteminde, ısı borulu vakum tüp kolektörlü bir güneş kolektörünün kullanılması halinde, sistem verimi 4,24 kg/m²gün olarak en yüksek değerdedir. Normal vakum tüp kolektörlü

sistemin verimi ise $4,00 \text{ kg/m}^2\text{gün}$ ile ikinci sıradadır. Düz tip kolektörlü sistem dördüncü sırada iken, sera tipi damıtma sistemi beşinci sırada ve en düşük verim değerine sahiptir (Tiwari vd., 2009).

Hem sera tipi hem de yüksek sıcaklıklı aktif güneş enerjili damıtma sistemleri için farklı havuz suyu derinliklerinin esas parametre olarak incelendiği bir çalışmada, iç ısı taşınım katsayı artan havuz suyu yüksekliği (azalan su sıcaklığı) ile azalmaktadır. İç ısı taşınım katsayısının bu azalma eğilimi her iki tipteki güneş enerjili damıtma sistemi için de geçerlidir (Tripathi ve Tiwari, 2006).

Saydam cam örtüye ait iç yüzey sıcaklık değerlerinin kullanıldığı, sera tipi ve yüksek sıcaklıklı aktif güneş enerjili damıtma sistemleri modellemesinin yapıldığı bir çalışmada, havuz suyu ve cam örtü sıcaklıklarına ait matematiksel bağıntılar, her iki tip sistem için de saatlik ve anlık verim değerlerini ortaya koymuştur. İşletme sıcaklığı seviyelerinin, iç ısı geçişi katsayıları üzerinde önemli bir etkisi vardır ve saydam cam örtünün iç yüzey sıcaklığı da hesaba katıldığında, deneysel ve öngörülen teorik sonuçlar birbirini desteklemektedir (Tiwari vd., 2003).

Sadece sera tipi ve yüksek sıcaklıklı aktif güneş enerjili damıtma havuzlarının incelendiği çalışmalar da mevcuttur.

Güneş enerjili bir damıtma sisteminin zamandan bağımsız ve geçici teorik kullanılabilirlik analizi, sistem bileşenlerindeki kullanılabilirliğin azalmasına odaklanılarak yapılmıştır. En fazla tersinmezlik, güneş ve kolektör arasındaki etkileşimde oluşmaktadır. Bu değer yaklaşık olarak tüm sisteme gelen 1000 W/m^2 güneş ışıınım miktarı için, exerji girişinin %80'idir. Buna karşın, tuzlu sudaki ve cam örtüdeki tersinmezlikler ihmal edilebilmektedir. Daha iyi kolektör dizaynlarının yapılması, farklı örtü malzemelerinin kullanılması ve kolektör-tuzlu su sıcaklıkları arasındaki farkın azaltılması, tersinmezlik oranını artırabilir. Isıl exerji ataletinin, güneş enerjili damıtma sisteminin gece performansının modellenmesinde önemli derecede etkili olduğu gözlemlenmiştir (Torchia-Nunez vd., 2008).

Yaz ve kış koşulları için yoğunlaştırıcı yüzeye ait farklı eğim açılarının (15° , 30° , 45°) değerlendirildiği parametrik bir çalışmada, en fazla eğimdeki (45°) yoğunlaştırıcı yüzeye sahip olan damıtma sistemi, hem yaz hem de kış aylarında en iyi performansı sergilemiştir. 30° eğimli sistem için ise, farklı su derinlikleri (0,04 m; 0,08 m; 0,12 m; 0,16 m) sadece yaz ayları şartlarında dikkate alınmıştır. Havuzdaki su derinliğinin

sistem performansı üzerindeki etkilerini gösterebilmek için, saydam cam örtü eğiminin 15^0 , su derinliklerinin ise 0,01 m ve 0,04 m olduğu durumlardaki anlık kazanç ve kayıp verimleri karşılaştırılmıştır. Birçok araştırmacının da hemfikir olduğu gibi, düşük derinlik değerlerindeki su seviyesinin daha yüksek verimler sağladığı görülmüştür (Dev ve Tiwari, 2009).

Damıtılmış suyun ve sıcak kullanım suyunun eşzamanlı üretilbildiği bir damıtma havuzunda, sisteme beslenen su debisi etkisinin ve sistem üzerindeki ısıtım şiddetinin incelenmesi göstermiştir ki; modellenen sistemde, günde (07.00 ve 19.00 saatleri arasında) 1 m^2 emici yüzey alanında 3,5 – 5,4 kg damıtılmış su üretebilmektedir. Damıtılmış su ile eş zamanlı üretilen sıcak su 60°C sıcaklıklara ulaşabilmekle birlikte, ortalama sıcaklık yaklaşık 40°C seviyelerindedir. Bu sıcaklıklar, sisteme beslenen suyun kalitesine bağlı olarak domestik kullanım için oldukça yeterlidir (Aybar, 2006).

Tek havuzlu basit yapıda bir damıtma sisteminde, sisteme giren tuzlu suyun çift cam örtü tabakası arasında akması, saydam cam örtü sıcaklığını düşürmekte ve bu sayede havuzdaki tuzlu su ve cam örtü sıcaklıkları arasındaki farkı artırmaktır. Bu sıcaklık farkının artması ise, sistem performansının yani havuzdaki sudan cam örtüye doğru olan buharlaşma hızının yükselmesini sağlamaktadır. Modellenen çift cam örtülü güneş enerjili damıtma havuzunun performansı, eşit koşulların geçerli olduğu geleneksel tek cam örtülü bir havuzla kıyaslandığında, bağıl performansın havuz yüzeylerinde kullanılan yalıtım malzemesi kalınlığına bağlı olarak değiştiği görülmüştür. Isıl kayıplar belirli bir seviyenin üzerine çıktığında, çift cam örtülü sistemlerin performansı daha üstün iken; mükemmel bir biçimde yalıtılmış sistemler söz konusu olduğunda, klasik güneş enerjili damıtma havuzunun performansı daha iyidir (Abu-Arabi vd., 2002).

Yüksek sıcaklıklı aktif çalışan güneş enerjili damıtma sistemlerindeki önemli parametrelerden biri de, güneş kolektörünün eğim açısıdır. Düz tip güneş kolektörünün eğim açısı 20^0 , havuz üzerindeki saydam cam örtünün eğim açısı ise 15^0 olduğunda, yıllık verim değerleri optimum seviyelere ulaşabilmektedir (Kumar vd., 2000).

Çift eğimli aktif bir sistemin doğal sirkülasyon şartları altında değerlendirildiği bir ısı modelde; iç ve dış cam örtü sıcaklıklarının, su sıcaklığının ve verim değerlerinin

saatlik verilerle değerlendirilmesi sonucunda; çift eğimli aktif güneş enerjili damıtma sisteminin ısı veriminin, çift eğimli sera tipi sisteme göre daha düşük olduğu görülmüştür. Buna karşın, çift eğimli aktif sistemin exerji verimi, çift eğimli sera tipi sisteminkinden daha yüksektir (Dwivedi ve Tiwari, 2010).

Cam örtünün i ve dış sıcaklıklarının ve verim üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi için bir teşebbüste bulunulmuştur. Sera tipi güneş enerjili damıtma sistemi ile kıyaslandığında; su ve cam örtünün i yüzey sıcaklıkları arasındaki yüksek farktan dolayı, aktif güneş enerjili damıtma sistemi veriminin daha yüksek değerlere ulaştığı gözlemlenmiştir. Kolektör emici yüzey alanının, rüzgâr hızının ve su derinliğinin değişmesi günlük verim değerleri üzerinde önemli farklılıklar yaratmıştır. Yoğuşma yüzeyi malzemesi için Cu ve PVC kullanılarak günlük verim değerleri kıyaslandığında; Cu malzemeden imal edilen yoğuşma yüzeyli sistem için günlük verim değeri Cu'nun yüksek ısı iletim katsayısından dolayı cam veya PVC malzemeden daha yüksektir (Dimri vd., 2008).

İklim koşullarının da etkili bir parametre olduğu damıtma sistemleri farklı coğrafik koşullarda incelenmiştir.

Umman'ın Maskat şehrinde, Cezayir'in Sahra ve Adrar cllerinde, Hindistan'ın Yeni Delhi ve Gaziabad şehirlerinde, Kuzey Kıbrıs'ta, ülkemizde ise Düzce şartlarında gerçekleştirilen çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmaların çoğu, kuraklığın hüküm sürdüğü ve güneş enerjisi potansiyelinin yüksek olduğu iklim koşullarında yapılmıştır. Örneğin cl koşullarının var olduğu bölgelerde, temiz su ihtiyaı hayati boyutlardadır. Bu bölgelerde yaşayan insanlar temiz su ihtiyaçlarını yeraltındaki su kaynaklarından karşılayabilmektedirler; ancak bu kaynaklardan temin edilen su tuz oranına bağlı olarak her zaman içilebilir nitelikte değildir (Boukar ve Harmim, 2005).

Cezayir'in kırsal bölgelerinde güneş enerjili damıtma proseslerinin test edilmesi, yaşam kalitesinin yükseltilmesinde ve özellikle çocukların sağlık standartlarının iyileştirilmesinde oldukça mit vericidir. Nüfusun artışı ve sosyo-ekonomik gelişmeler sonucu doğal su kaynakları hızla tükenmektedir. Artan temiz su talebi, yer altı su kaynakları üzerinde büyük zorluklar yaratmaktadır; bu durum ise su seviyelerinin düşmesine ve su içerisindeki tuz oranlarının artmasına sebep olmaktadır (Boukar ve Harmim, 2001).

Söz konusu çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre, çöl koşullarında güneş enerjisi ile damıtma sistemlerinin performans değerleri, diğer bölgesel çalışmalara göre oldukça yüksektir.

Ülkemizde Düzce koşullarında gerçekleştirilen çalışmadaki deneylerde, beş çeşit damıtma düzeneği kurulmuştur. Çift eğimli yoğunlaşma örtülü (1 numaralı yöntem), tek eğimli yoğunlaşma örtülü (2 numaralı yöntem), silindirik form verilmiş yoğunlaşma örtülü (3 numaralı yöntem), çift eğimli yoğunlaşma örtüsü ve güneş kolektörünün birleştirildiği (4 numaralı yöntem) ve tek eğimli yoğunlaşma örtüsü ve güneş kolektörünün birleştirildiği (5 numaralı yöntem) düzeneklerdir. Damıtma havuzlarındaki su seviyesi ve elde edilmiş temiz su miktarlarına göre; en fazla su eldesi 5 numaralı yöntem sonucunda temin edilmiştir. 4 numaralı yöntem ile elde edilen temiz su miktarı 5 numaralı yöntemdekine oldukça yakındır. Diğer yandan, 1 ve 2 numaralı yöntemler birbirine yakın olmakla birlikte, sonuçları 4 ve 5 numaralı yöntemlere göre çok daha düşüktür. 3 numaralı yöntemdeki temiz su eldesi ise oldukça düşük miktarlardadır. Yapılan deneyler sonucunda sistem verimi; iklim şartlarına, damıtma yöntemlerine, damıtıcının üzerindeki saydam örtü şekillerine ve havuzdaki tuzlu su derinliğine göre değişmektedir (Çay vd., 2007).

Ülkemizin ve özellikle güney bölgelerimizin güneş enerjisi potansiyeli dikkate alındığında, Mersin şartlarında gerçekleştirilen bu teorik çalışmanın iyi bir adım olacağı düşünülmektedir. Dünya ile birlikte elbette ki ülkemizin de temiz su ve enerji kaynaklarının hızlı bir biçimde tükenmesi, bu tür çalışmaların önemini ve uygulanması gerekliliğinin arttığını göstermektedir.

Bu çalışmada ortaya konan sera tipi ve yüksek sıcaklıklı aktif sistem verimlerinin kıyaslanmasında, normal vakum tüp kolektörlü aktif bir damıtma sistemi için hesaplamalar yapılmıştır. Literatürdeki diğer çalışmaların neredeyse hepsinde güneş kolektörü olarak düz tip kolektörlerin incelenmesi, bu çalışmada vakum tüplü güneş kolektörü tercih edilmesinin sebeplerinden biridir. Isı borulu vakum tüplü kolektörün verimi daha yüksek olmasına rağmen, bu çalışmada değerlendirmeye alınmamasının sebebi ise, sisteme entegre edilmesinin çok daha maliyetli olmasıdır.

Bu çalışmanın, ülkemizde deniz suyu damıtılması konusunun teorik ve deneysel olarak incelenmesine katkıda bulunacağı düşünülmektedir. Yapılacak çalışmalar

zerindeki iyileştirmeler, temiz su ihtiyaının gelecek zamanlarda insanlık için daha fazla tehdit oluşturmasına engel olabilecektir.

3. GÜNEŞ ENERJİLİ DAMITMA SİSTEMLERİNİN VE VAKUM TÜPLÜ GÜNEŞ KOLEKTÖRLERİNİN SINIFLANDIRILMASI

Deniz suyunun damıtılmasında iki temel yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan birincisi suyu çözeltiden ayıran buharlaştırma, dondurma ve kristalleştirme, filtreleme; ikincisi ise elektrodializ, iyon değişimi ve difüzyon yöntemleridir (Yiğit ve Atmaca, 2010). Bu sistemlerden bazılarında geleneksel enerji kaynaklarının (hidrokarbon yakıtlar, vs.) kullanılması, bu sistemleri pahalı ve çevreyi tehdit eden damıtma sistemleri haline getirmiştir. Enerji kaynağı olarak yenilenebilir bir enerji kaynağının kullanılabilmesi sayesinde insanoğlunun temiz su ihtiyacı, bedava enerji ile çevreye zarar vermeden ve basit bir teknolojiyle sağlanabilmektedir. Bu yüzden özellikle kurak, bol güneş alan bölgelerde ve gelişmeye devam eden ülkelerde güneş enerjili damıtma sistemleri optimum bir metot olarak geliştirilmiştir (Fath, 1998).

Güneş enerjili damıtma sistemlerinde kullanılan güneş kolektörleri genellikle düzlemsel tiptedir. Düzlemsel kolektörlerde, güneş ışınımının absorbe edildiği yüzeyden cam örtüye doğru olan ısı geçişleri bu arada taşınım ile olan ısı kayıplarından dolayı azalma eğilimi göstermektedir. Güneş ışınımının absorbe edildiği yüzeyle cam örtü arasındaki havanın alınması ile bu kayıplar azaltılabilir ve geriye sadece ışınlama ile olan ısı kayıpları kalır. Cam örtü tabakası üzerinde çevre havadan dolayı oluşan gerilmeler, düz tip kolektörlerde vakum kullanılabilme olasılığını kısıtlamaktadır. Bundan dolayı da, cam örtü tabakası sık aralıklarla desteklenmelidir. Ayrıca bu kolektörlerde, vakumu sürekli kılmak zor olduğundan vakum tüplü güneş kolektörleri geliştirilmiştir (Tiwari, 2004).

3.1 Güneş Enerjili Damıtma Sistemlerinin Sınıflandırılması

Güneş enerjili damıtma sistemleri, enerji kaynaklarına veya damıtma proseslerine göre sınıflandırılabilir. Enerji kaynaklarına göre yapılan sınıflandırmada, güneş enerjisinden elde edilen ısı enerjisinin veya elektriksel/mechaniksel enerjisinin kullanıldığı sistemler mevcuttur. Damıtma proseslerine göre yapılan sınıflandırmada ise, güneş enerjisinin direkt veya dolaylı olarak kullanıldığı sistemler vardır (Eltawil vd., 2009). Bu çalışmada damıtma prosesleri açısından yapılan sınıflandırma, daha detaylı olabildiğinden tercih edilmiştir (Şekil 3.1).



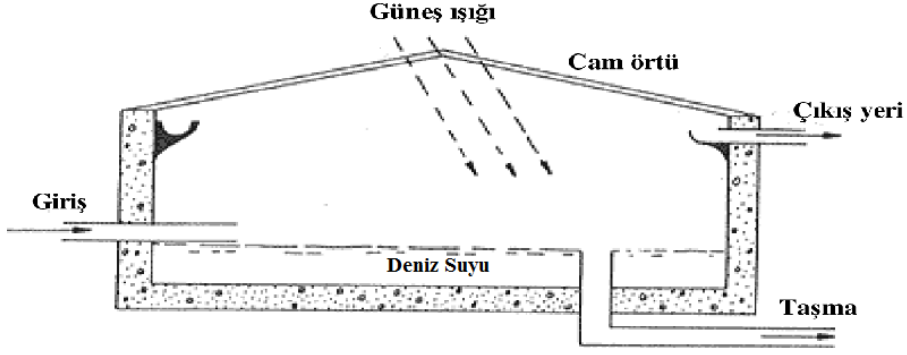
Şekil 3.1 : Güneş enerjili damıtma sistemlerinin sınıflandırılması.

3.1.1 Direkt güneş enerjili damıtma sistemleri

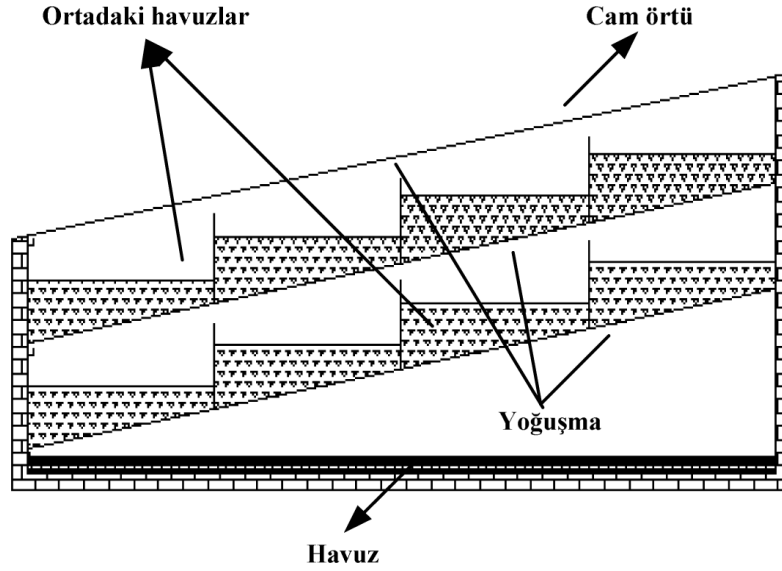
Bu tip sistemlerde damıtılmış suyun oluşturulmasında, güneş enerjisi kolektörde direkt olarak kullanılmaktadır. Dolaylı güneş enerjili damıtma sistemlerine göre, daha fazla güneşlenme alanları gerektirmekte ve düşük verimler elde edilmektedir. Ancak, temiz su taleplerinin $200 \text{ m}^3/\text{gün}$ 'den az olduğu koşullarda, düşük maliyet ve basit teknoloji gereksiniminden dolayı, dolaylı sistemlere tercih edilmektedir. Direkt sistemlerin hepsinde az miktardaki temiz su taleplerini karşılayabilmek için, basit yapıda ve çeşitli tasarımlarda güneş havuzları kullanılmaktadır (Qiblawey ve Banat, 2008).

3.1.1.1 Sera tipi damıtma sistemleri

Bu tip sistemler üzeri saydam camla örtülü ve tabanı siyaha boyanmış bir havuzdan oluşmaktadır (Şekil 3.2). Bu tip sistemler, basit yapıda olmalarına ve güneşten başka herhangi bir enerji kaynağına ihtiyaç duymamalarına rağmen performansları yaklaşık olarak %30 mertebelerindedir. Camdan geçerek gelen güneş ışınları siyah havuz tabanı tarafından emilerek havuz içindeki suyu 30 – 60⁰C sıcaklıklarına kadar ısıtır. Isınan su buharlaşmaya başlar ve havuzun içindeki hava doyma noktasına ulaşır. Cam örtünün sıcaklığı içerdeki doymuş havadan daha düşük olduğundan, buharlaşmış su cam örtünün iç yüzeyinde yoğunlaşır ve yanlardaki oluklara akarak burada toplanır, sonra dışarı alınır (Yiğit ve Atmaca, 2010). Bunlar klasik tipte sera tipi damıtıcılardır. Bu tip damıtma sistemleri; tek cam örtülü, çift cam örtülü, simetrik veya asimetrik cam örtülü gibi farklı tasarımlarda oluşturulabilmektedir. Ayrıca, sistem verimlerini artırmak amacı ile çok etkili sera tipi damıtma havuzları da geliştirilmiş ve performansları %40 değerlerine kadar çıkarılabilmektedir. Çok etkili sera tipi sistemlerin klasik olanlardan farkı, saydam üst örtü ile havuz arasına yerleştirilen çift katlı havuz bölmeleridir (Şekil 3.3). Havuz bölmelerindeki su, ya bölmeler arasında tutucu levhalar yardımıyla sabit olarak tutulmakta, ya da saydam bir plaka üzerinde sürekli olarak akmaktadır. Film halinde yoğunlaşma elde etmek için, her iki durumda da plakanın alt yüzeyinin ıslak tutulmasına ve yoğunlaşan su buharının akış yönünde pürüzsüz bir şekilde akmasına özellikle dikkat edilmelidir. Havuzların yan yüzeyleri, deniz suyu kaçaklarına karşı iyi derecede yalıtılmalıdır. Çok etkili havuzlar iki veya daha fazla bölümden oluşabilmektedir. Alt bölümün yoğunlaşma yüzeyi aynı zamanda üst bölümün tabanıdır. Alt bölümde yoğunlaşma için sağlanan ısı üst bölümde buharlaşma için kullanılmaktadır. Bu yüzden bu tip damıtma sistemlerinin verimleri, klasik sistemlere göre %10 daha fazladır. Ancak, bu sistemler daha pahalı ve karmaşıktır (Cingiz, 2007).



Şekil 3.2 : Sera tipi damıtma sistemi çift cam örtülü bir örnek (Cingiz, 2007).

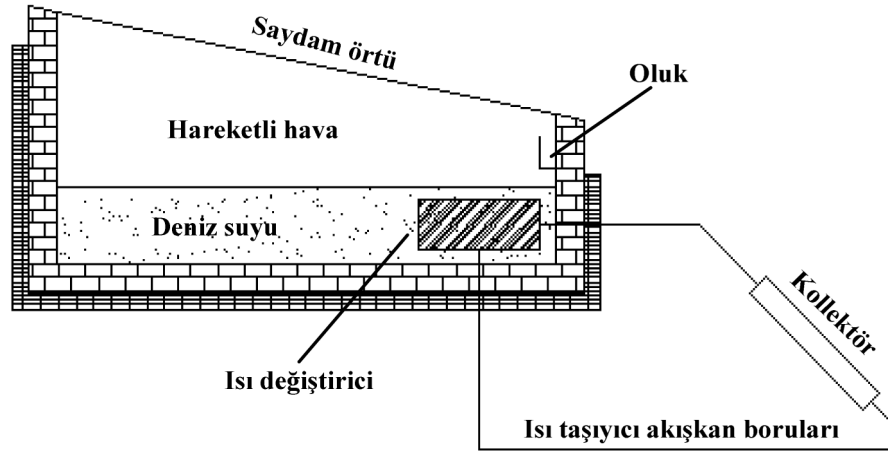


Şekil 3.3 : Çok etkili sera tipi güneş enerjili damıtma sistemi (Cingiz, 2007).

3.1.1.2 Yüksek sıcaklıklı aktif çalışan sistemler

Sera tipi bir damıtma sisteminde maksimum verim elde etmenin en ekonomik yolu, bir enerji kaynağından elde edilen ısıнын, ilave ısı olarak havuzu beslemesiyle, saydam örtü ile deniz suyu arasındaki sıcaklık farkını artırmaktır. Bu ilave enerji kaynağının, damıtma sisteminin çevresindeki bir termik santral olabileceği düşünülerek yeni sistemler geliştirilmiştir. Atık sıcak su, sabit bir debide havuzu beslerken, saydam örtü üzerinden su geçirilerek hareketli bir film tabakasının oluşturulması düşünülmüştür. Saydam örtü ile deniz suyu arasındaki sıcaklık farkını artırabilmek için ise, saydam örtü üzerinden su akışı sağlanarak örtü sıcaklığı düşürülebilmekte veya havuz içerisine ısı değiştiricisi yerleştirilerek tuzlu deniz suyunun sıcaklığı artırılabilir. Bunların her ikisi de aynı anda uygulanabilir.

Böylece, yüksek sıcaklıklı damıtma sistemleri geliştirilmiştir (Şekil 3.4). Güneş ışınları yine saydam örtüden geçip, siyah emici yüzey tarafından absorbe edilmektedir. Kolektör içerisindeki ısıtıcı akışkan ısınarak yükselir ve geride kalan boş kısım, meydana gelen basınç farkı sebebiyle soğuk akışkanla dolar. Isıtıcı akışkan güneş ışınımı sayesinde yüksek sıcaklıklara ulaşır ve damıtma havuzu içerisindeki ısı değişiricisine gönderilir. Isı değişiricisi deniz suyuyla temas halinde olduğundan ısınıp deniz suyuna verir ve böylece tuzlu suyun ısınması sağlanmış olur. Aynı zamanda havuzun içerisine direkt olarak gelen güneş ışınımı sayesinde de deniz suyu buharlaşır. Oluşan buhar üst cam örtüde yoğunlaşarak havuz dışına alınır. Kolektör kullanılan sistemlerde, kolektörle sera tipi damıtıcının birlikte çalışmasıyla işletme sıcaklığı artırılmaktadır (Cingiz, 2007).

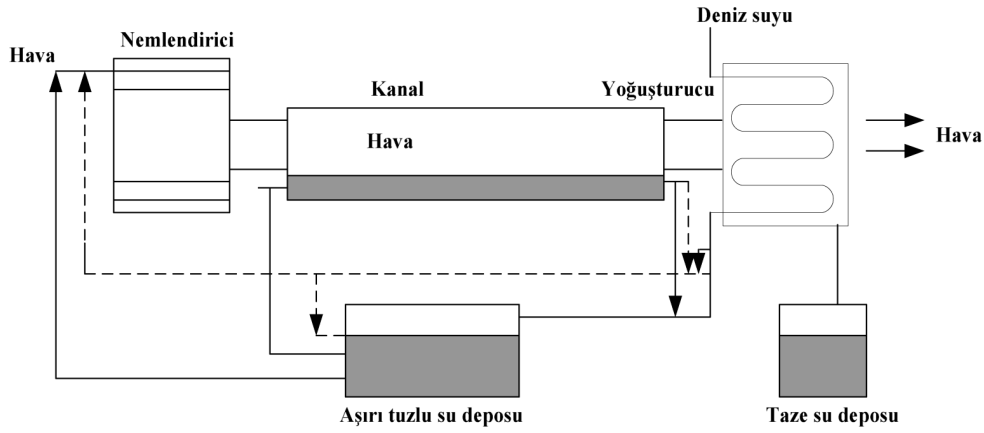


Şekil 3.4 : Yüksek sıcaklıklı aktif çalışan damıtma sistemi (Cingiz, 2007).

3.1.1.3 Nemlendirme-nemini alma tekniği ile çalışan sistemler

Güneş kolektörü ve tuzlu suyun damıtma sistemlerinde direkt olarak temas etmesi, kolektörde meydana gelebilecek aşınma ve korozyon problemlerinden dolayı sistem performansını olumsuz yönde etkilemekte ve sistemin ısı verimini düşürmektedir. Nemlendirme – nemini alma tekniğinde, ısı geçişi akışkanı olarak su yerine havanın kullanılması bu problemi elimine etmiştir. Bu teknikteki proses, havanın su buharı ile önemli ölçüde karışabilmesi esasına dayanmakta ve kütle difüzyonu prensibi ile işlemektedir. Yani, bu tip proseslerde tuzlu suyu buharlaştırmak için kuru hava kullanılmaktadır. Nemlendiriciye giren kuru hava burada nemlendirilmekte ve depodan alınan sıcak ve aşırı tuzlu su ile ısıtılmaktadır. Deniz suyu kanaldan akarken nemlendiriciden gelen sıcak hava, kanal üzerinden geçerek kanaldaki suyu

buharlaştırır. Böylece ilk aşama olan nemlendirme prosesi tamamlanmaktadır. İkinci aşama olan nemini alma prosesinde ise, kanalı terk eden nemli hava yoğuşturucuya gelir, ısısını denizden alınan tuzlu suya vererek yoğuşur. Böylece temiz su eldesi sağlanmış olur. Yoğuşturucuda elde edilen temiz su ve saydam örtü üzerinde yoğuşan su depoda toplanır. Nemlendiriciye, hava ısıtması için gönderilen sıcak tuzlu su daha sonra atılır veya tekrar depoya ya da kanala gönderilebilir. Ayrıca, kanaldan çıkan aşırı tuzlu suyun sıcaklığı çevre sıcaklığından yüksekse su deposuna gönderilir, değilse dışarı atılır. Bu tekniğin en önemli avantajı ise, düşük basınç ve sıcaklık değerlerinde çalışabilmesi ve temiz su eldesi sağlamasıdır. Bu sayede, maliyet açısından da oldukça ekonomik bir yöntemdir (Qiblawey ve Banat, 2008).

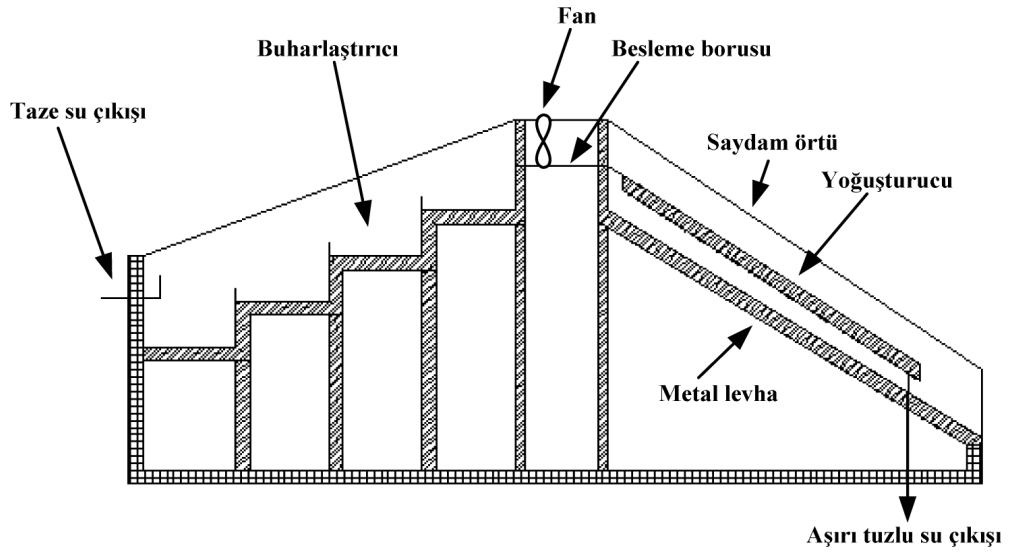


Şekil 3.5 : Nemlendirme-nemini alma tekniği ile çalışan sistemler (Cingiz, 2007).

3.1.1.4 Basamaklı tipte havuzlu ve dış yoğuşturuculu sistemler

Basamaklı tipteki bir güneş enerjili damıtma havuzu, metal plakalarla ayrılmış bölmelerden oluşmaktadır (Şekil 3.6). Damıtma sistemi ise buharlaştırıcı ve yoğuşturucu ünitelerden meydana gelmiştir. Bölmelerin oluşturulmasındaki amaç; havuzdaki deniz suyunun hızlı bir şekilde buharlaştırılmasını sağlamak, havuz tabanı ile saydam üst yoğuşma örtüsü arasındaki mesafeyi az ve sabit tutarak hava ve su buharı karışımının dolaşımını kolaylaştırmak ve tabanda oluşturulan eğimle deniz suyunun kendiliğinden boşalan yere akmasını sağlamaktır. Bütün bunlar sistemin verimini artırmaktadır. Basamaklı tipte damıtma sistemleri, diğer bir çalışma şekli olarak kış mevsiminde tuzlu suyun dondurulması prensibe göre de çalıştırılabilmektedir. Bu sistemlerde geceleri damıtma havuzunun yan duvarlarındaki delikler açılarak iç sıcaklık ve dış sıcaklık değerleri eşitlenmektedir. Basamaklar içindeki tuzlu suyun soğuktan donması sağlanarak, donmamış olan aşırı tuzlu su dışarıya alınmaktadır. Sabah olduğunda delikler kapatılmakta ve güneş

ışınımı ile havuzdaki buz tabakasının erimesi sağlanarak temiz su elde edilmektedir (Cingiz, 2007).

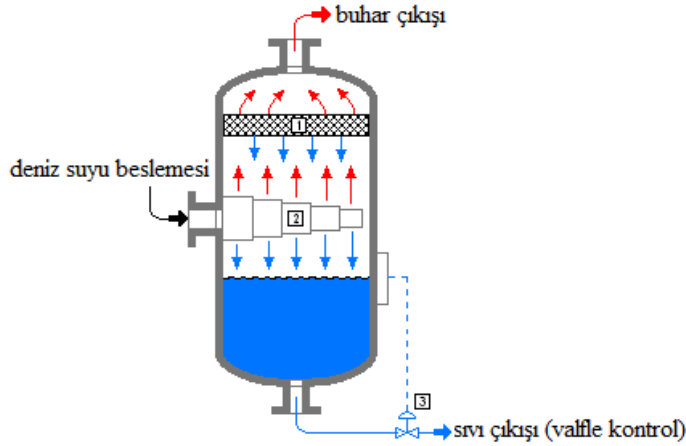


Şekil 3.6 : Basamaklı-havuzlu ve dış yoğuşturuculu damıtma sistemi (Cingiz, 2007).

3.1.1.5 Çok kademeli ani buharlaştırmalı sistemler

Daha yüksek enerji verimleri elde etmek ve su buharının sıcak deniz suyu yüzeyinden ayrılması için gereken enerjiyi en aza indirmek amacıyla geliştirilmiş sistemlerdir. Bu tip sistemlerde, tuzlu deniz suyunun ısıtılmasında saydam cam örtüler değil, sisteme entegre edilmiş güneş kolektörleri kullanılmaktadır. Kolektörde ısıtılan suyun ani olarak buharlaştırıldığı ve genellikle de çok kademeli olarak kullanılan buharlaştırma üniteleri mevcuttur (Şekil 3.7). Çok kademeli ani buharlaştırıcıya giren soğuk su, ani buharlaşma ile oluşturulmuş buharın yoğunlaşması esnasında bir miktar ısınır ve daha sonra kolektöre gönderilir. Güneş ışınımı şiddetine, toplayıcı yüzey alanına, sayısına ve tasarımına bağlı olarak kolektörde 60 - 90°C sıcaklık değerlerine kadar ısıtılır. Devamında ise çok kademeli ani buharlaştırıcıya gönderilerek kademeli bir biçimde buharlaştırılması sağlanmaktadır. Buharlaştırıcının ilk kademesinde, yüksek sıcaklıktaki deniz suyunun bir kısmı buharlaşır. Oluşan buhar yoğuşturucuda gizli ısını, damıtılmak üzere sisteme sevk edilen deniz suyuna vererek yoğunlaşır, yoğunlaşan su ürün olarak sistemden çekilir. Kalan deniz suyu soğuyarak basınç seviyesinin daha düşük olduğu ikinci kademeye geçer. Burada da bir kısmı buharlaşır, yoğunlaşır ve işlemler en son kademeye kadar tekrarlanır. En son kademe, deniz suyu sıcaklığının en düşük ve vakum seviyesinin (basıncın en düşük) en yüksek olduğu kademedir. En son kademede oluşan buhar ise, soğuk deniz suyu yardımıyla yoğunlaştırılmakta ve temiz su elde edilmektedir. Geriye

kalan tuzlu su, atık su borusu aracılığıyla sistemden dışarı atılmaktadır (Cingiz, 2007).



Şekil 3.7 : Çok kademeli ani buharlaştırma ünitesi (Url-2, 2010).

3.1.1.6 Açık ısı borulu sistemler

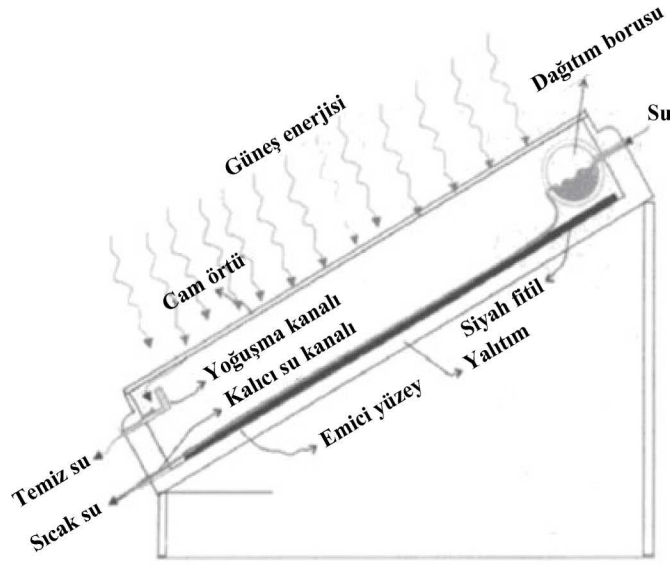
Bu tip sistemler yoğuşma bölgesinde yoğuşmayan gazların ısı geçişini kötüleştirdiği damıtma sistemlerinde, yoğuşmayan gazların bölgeden uzaklaştırılmasını sağlamak için tasarlanmışlardır. Açık ısı borularının çalışma prensibinden yararlanılarak, klasik tipteki cam örtüden ısı geçişini iyileştirmek ve yoğuşma gizli ısısını da değerlendirmek amacıyla geliştirilmiş sistemlerdir. Sistem, bir güneş kolektörü ve buharlaştırıcı bölgesi bu kolektöre bağlanmış açık uçlu bir ısı borusundan oluşmaktadır. Isı borusunun her iki ucu da açıktır ve havası boşaltılmıştır. Deniz suyu giriş bağlantısı ve aşırı tuzlu atık suyun çıkış bağlantısı, ısı borusunun buharlaştırıcı kısmı ile birleştirilmiştir. Buharlaştırıcıdaki deniz suyu, güneş ışınımı sayesinde ısınarak buharlaşır. Ortaya çıkan su buharı, daha düşük sıcaklıktaki yoğuşturucu bölgeye yönlendirilerek, gizli ısısını yoğuşturucu bölgesine bırakmaktadır. Oluşan temiz su, yerçekimi ya da fitil aracılığı ile geri döndürülerek, temiz su çıkışından dışarı alınır. Yoğuşmayan gazlar ise bu sayede yoğuşma bölgesinde kalmaktadır. Çevrim sırasında bu gaz miktarı sürekli artacağından, toplanan gazların periyodik olarak boşaltılması gerekmektedir (Cingiz, 2007).



Şekil 3.8 : Açık ısı borulu damıtma sistemi ısı borusu çalışma prensibi (Url-2, 2010).

3.1.1.7 Fitilli (sıvı emicili) sistemler

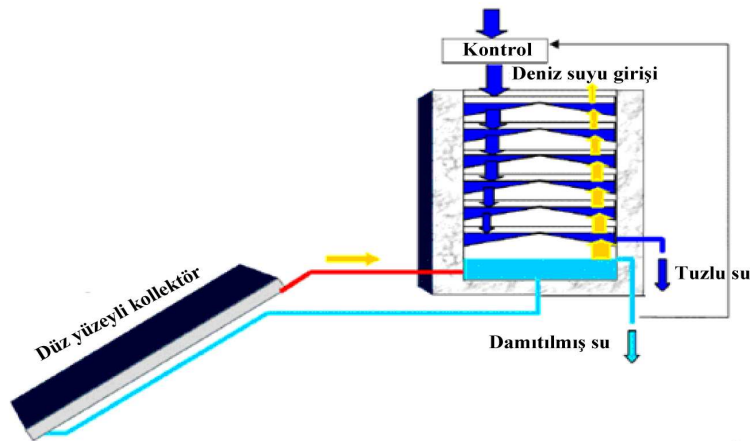
Bu sistemlerde damıtma havuzları yerine su emici fitiller kullanılmaktadır. Bu sistemler güneş kolektörlerine benzetilebilir. Damıtma işleminin yapıldığı kap; galvaniz çeliği, paslanmaz çelik, bakır veya pirinç malzemeden imal edilebilmektedir. Bu kabın tabanı ısı ve suya karşı yalıtılmaktadır. Üst yoğuşma örtüsü olarak cam kullanılmaktadır. Yalıtılmış yüzeyin üzerine, buharlaşmanın gerçekleşeceği sıvı emici malzeme (fitil) veya keçe konmaktadır. Fitil veya keçe, güneş ışınımını maksimum derecede absorbe etmesi için siyah renkte olmalıdır. Fitilin uçları, damıtılması gerçekleştirilecek olan tuzlu suyun içerisine daldırılır (Şekil 3.9). Besleme suyu güneş ışınımı sayesinde fitil tarafından yavaş bir biçimde emilmektedir. Bu damıtma sisteminin iki büyük avantajı vardır. Birincisi, fitil veya keçeye istenilen eğimin verilebilmesi, ikincisi ise damıtıcıda daha az miktarda besleme suyu bulunmasıdır. Böylece besleme suyu, güneş ışınımından daha uygun açıyla ve daha fazla miktarlarda yararlanabilmekte ve daha kısa sürede ısınıp buharlaşabilmektedir. Yoğuşma prosesi üst cam örtüde olmaktadır. Ayrıca damıtıcıya belli bir eğim verildiği takdirde suyun damlama işlemi de hızlandırılabilir. Su, eğimden dolayı siyah emici yüzeye ve siyah renkli fitile gelir. Böylece siyah emici yüzeydeki su seviyesi artar. Güneş enerjisi, emici yüzeyi ve suyu ısıtarak suyun cam örtü yüzeyinde yoğuşmasını sağlamaktadır. Geride kalan sıcak besleme suyu ise ayrı bir kanalla dışarı alınmaktadır. Temiz su ve sıcak su ayrı depolarda toplanır. Bu tip damıtma sistemlerinin dezavantajları, fitillerin zaman içerisinde kirlenmesi ve zararlı bakterilerin oluşarak fitillerde barınmasıdır. Bu durum, elde edilen temiz suyun sıhhi özelliklerini düşürmektedir (Cingiz, 2007).



Şekil 3.9 : Fitilli (sıvı emicili) damıtma sistemi (Can vd., 2002).

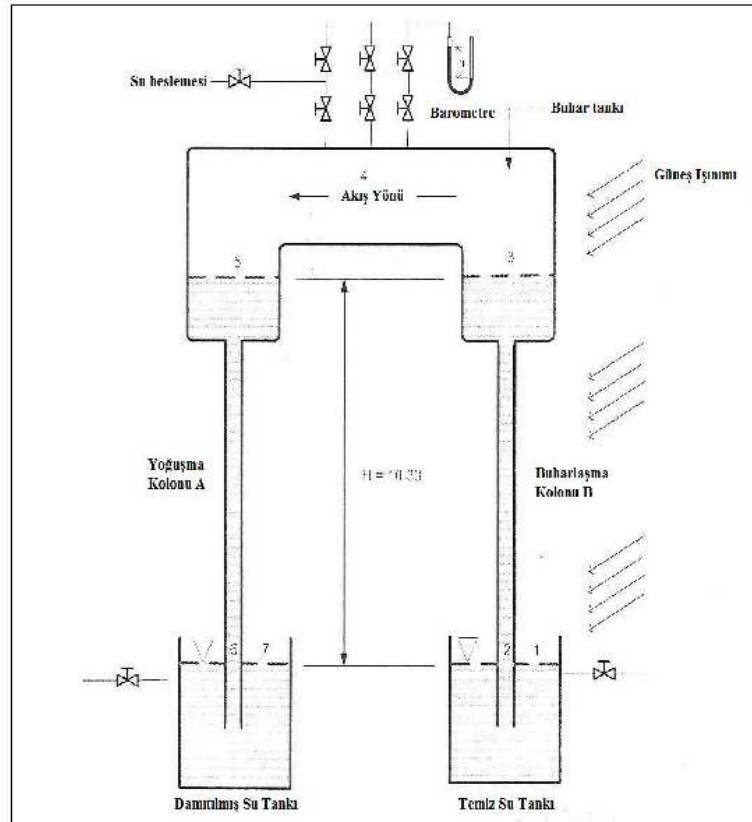
3.1.1.8 Çok katlı ısı geri kazanımlı sistemler

Çok katlı ısı geri kazanımlı sistemlerde, deniz suyu ısısının artırılarak damıtılması sırasında, buharlaştırma işlemi için büyük miktarlarda enerji gerekmektedir. Enerji kaynağı olarak güneş enerjisinin kullanılması ise, geniş bir yüzey alanı gerektirmektedir. Geniş alan gereksinimi ve çok sayıda donanımın kullanılması maliyeti artırdığından, bu tip sistemleri ekonomik hale getirmek için, enerji tasarruflu damıtma teknolojisi kullanmak gerekmektedir. Çok katlı bir yapı ile enerji verimliliği artırılabilir (Şekil 3.10). Böyle bir yapının kullanılabilirliği pratiktir ve pompa veya elektronik kontrole imkân tanımamaktadır. Ayrıca bu sistemler elektrik kaynağı gerektirmediğinden, ekonomik olarak iyi bir alternatiftir. Bu tip damıtma sistemleri 50-500 Lt/m²gün değerlerinde içilebilir temiz su üretebilmektedir (Cingiz, 2007).



Şekil 3.10 : Çok katlı ısı geri kazanımlı damıtma sistemi (Url-2, 2010).

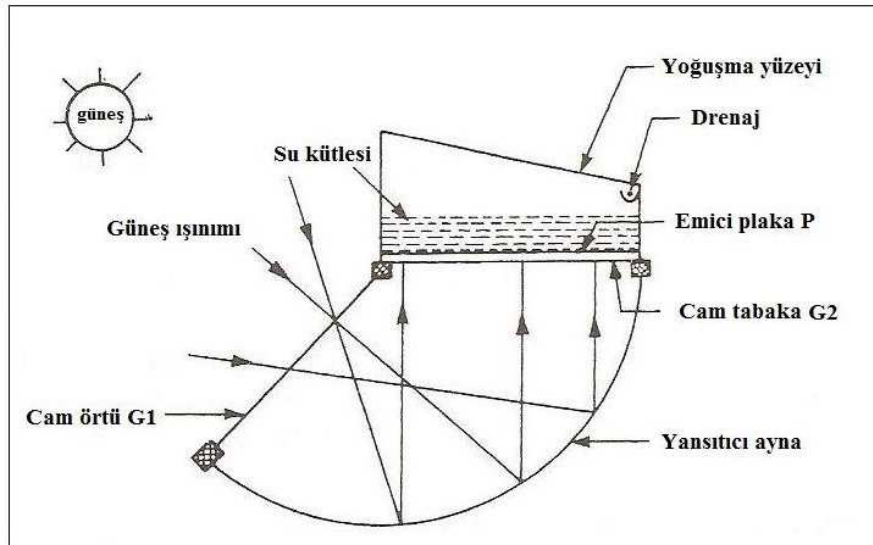
Bu sistemlerde bir buharlaştırma sütunu, bir su buharı tankı ve bir de yoğunlaştırma sütunu bulunmaktadır. B sütununda buharlaşma, A sütununda ise yoğunlaşma işlemleri gerçekleşmektedir. Deniz suyunun buharlaştırılması vakum ile sağlanmakta ve eşit kapasitelerdeki temiz su eldesi için herhangi bir geleneksel damıtma sistemine göre daha az elektrik enerjisi gerekmektedir. Bu tipteki bir sistem atmosferik basınç ve yerçekimi gibi doğal işlemleri kullanmaktadır. Suyun düşük sıcaklık değerlerinde hızlı bir şekilde buharlaştırılabilmesi için, düşük enerjili bir vakum ortamı yaratılmaktadır. Temiz su tankına bağlı olan B sütununda sabit sıcaklıkta basınç değeri düşürülmekte ve devamında bu kez sabit basınçta ısıtma prosesi sağlanmaktadır. Böylece bu sütunda buharlaştırma işlemi gerçekleştirilmektedir (Şekil 3.11). Daha sonra B sütununa paralel yerleştirilen A sütununda yoğunlaşma sağlanarak, sabit basınç altında su buharının ısısı alınmakta ve sabit sıcaklıkta basıncının artması sağlanmaktadır. Basınç, sabit bir değere ulaştığında ise, çevreye ısı kayıpları olmaktadır (Ayhan ve Madani, 2009).



31

3.1.1.10 Parabolik yansıtıcı sistemler

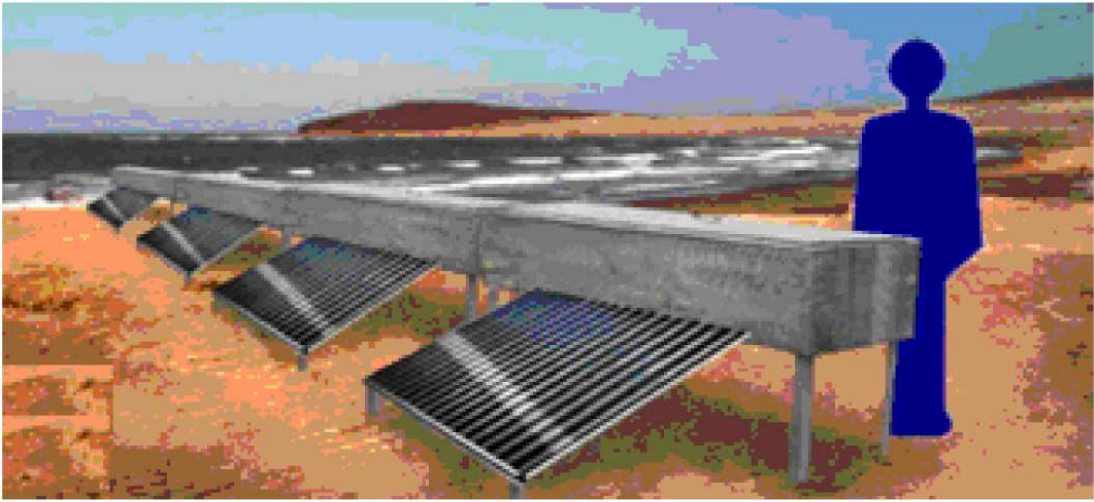
Parabolik yansıtıcılı damıtma sistemlerinde yoğuşma yüzeyi, geleneksel damıtma havuzlarının tersine, güneş ışınımının alındığı yüzeyden ayrı tutulmuştur. Güneş ışınımı, cam örtüden geçtikten sonra havuz tabanında absorbe edilmektedir. Bu tasarımdaki sistemlerde damıtma havuzuna entegre edilmiş parabolik bir yansıtıcı mevcuttur. Absorbe edilen güneş ışınımı, taşınım ile deniz suyuna iletilmekte ve böylece suyun ısıtılması sağlanmaktadır. Yoğuşma örtüsünün iç yüzeyinde yoğuşan su, yerçekimi etkisiyle oluklarda toplanmaktadır (Şekil 3.12) (Tiwari, 2004). Bu tip sistemler daima doğu-batı yönünde yerleştirilmelidir. Bu yüzden yansıtıcının odak noktası, gün boyunca absorber yüzeyinde 20 cm ölçüsünde hareket edecek şekilde ayarlanmaktadır. Yani, coğrafi durumuna bağlı olarak yalnızca bir günlük ayarlama, odak çizgisi pozisyonu için yeterli olmaktadır. Rüzgârlı hava koşullarında ısı kayıpları çok fazla olmaktadır, çünkü absorber gölgede kalmaktadır. Gece saatlerinde tabanda yoğun bir ısı kaybı olduğundan sistem hızla soğumaya başlamaktadır. Bazı rüzgârlı bölgelerde absorber, cam kapakla korunarak bu soruna çözüm getirilebilmektedir. Fakat camın üzerinde yansıma olacağı için bu kez de enerji kayıpları dikkate alınmalıdır. Güneş ışınları dar açıyla geldiğinde birçok ünite mümkün olduğunca birleştirilmeli ve parabolik yansıtıcının kenarındaki ısı kaybı bu yolla minimize edilmelidir. Parabolik yansıtıcı sistemler hızla ısıtma sağlarken diğer yandan geceleri de hızla ısı kayıplara meydan vermektedir (Cingiz, 2007).



Şekil 3.12 : Parabolik yansıtıcılı damıtma sistemi (Tiwari, 2004).

3.1.1.11 Boşaltılmış tüplü kolektörlü sistemler

Geleneksel damıtma sistemlerine alternatif olarak geliştirilen başka bir sistem de boşaltılmış tüplü kolektörlerin kullanılmasıdır. Sistemde boşaltılmış tüpler direkt olarak buharlaşma kısmına bağlanmıştır. Deniz suyu bu tüplerden geçerken aynı zamanda ısı geçişini de gerçekleştirmektedir. Bu tip sistemler genellikle düşük maliyetli sistemlerdir. Boşaltılmış tüplü kolektörlü damıtma sistemlerinde kullanılan kolektörler, rüzgâra karşı oldukça duyarlıdır ve 100°C sıcaklıkta dahi yüksek bir verimle çalışabilmektedirler. Bu sistemlerde dikkat edilmesi gereken bir nokta, etkili alandaki tüplerin arasındaki geniş alan azaltılarak performansın %40 mertebelerine kadar artırılabilir (Cingiz, 2007).



Şekil 3.13 : Boşaltılmış tüplü kolektörlü damıtma sistemi (Cingiz, 2007).

3.1.1.12 Termosifonlarla birlikte kullanılan sistemler

Bu sistemlerde, güneş enerjisiyle su ısıtma ve damıtma işlemleri bir araya getirilmiştir. Bu sistemler, üniteye su besleyen su tankı, termosifon ve yoğuşturucudan oluşmaktadır (Şekil 3.14). Ilıman iklim özelliklerinin hâkim olduğu bölgelerde daha faydalı bir biçimde kullanılmaktadır, çünkü bu bölgelerdeki güneş ışınlamı geleneksel tipteki damıtıcılarda yoğuşmanın olabilmesi için yeterli değildir. Bundan dolayıdır ki, sisteme entegre edilen termosifon, suyu yoğuşturucuya gitmeden önce ısıtmaktadır (Cingiz, 2007).

3.1.2 Dolaylı güneş enerjili damıtma sistemleri

Bu tip damıtma sistemlerinde ise, güneş enerjisi dolaylı olarak kullanılmaktadır. Güneşten elde edilen enerji, damıtma sistemi için gereken ısı enerjisi ve/veya sisteme entegre edilen geleneksel damıtma ünitelerine gereken elektriksel gücü sağlamak amacıyla elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Dolaylı güneş enerjili damıtma sistemlerinde iki ayrı alt bileşen gereksinimi vardır. Birincisi, güneş enerjisinin toplanıp gerekli enerjiye dönüştürülebileceği bir kolektör, ikincisi ise bu sisteme entegre edilen geleneksel bir damıtma ünitesidir (Qiblawey ve Banat, 2008).

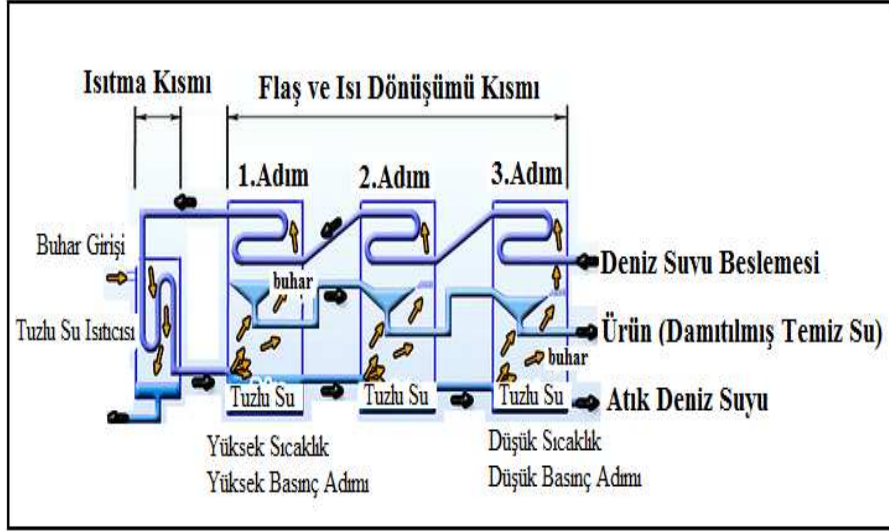
3.1.2.1 Çok adımlı flaş damıtma sistemleri (MSF)

Bu tip damıtma işlemi bazı adımlardan oluşmaktadır. Temel olarak, deniz suyundan veya tuzlu sudan buhar oluşumuna ve buhardan elde edilen ısı enerjisinin kullanımı esasına dayanmaktadır. Tuzlu su tahliye çevrimine girdiğinde meydana gelen ani basınç düşümünden dolayı su buharı oluşmaktadır. Bu işlem, basınç istenen seviyelere düşürülene kadar adım adım devam etmektedir. Sisteme dışarıdan ilave edilen, yaklaşık 1000°C sıcaklık değerine sahip bir buhar kaynağına ihtiyaç vardır (Şekil 3.16). Damıtma işleminin performansı, ulaşılabilen maksimum sıcaklık değerine bağlıdır, ancak maksimum sıcaklık değerini belirleyen de tuzlu sudaki tuz yoğunluğudur. Tuz yoğunluğunun belirli bir seviyenin üzerinde çıkması sistemde aşınmalara sebep olabileceğinden, ulaşılacak maksimum sıcaklığın da bir limiti vardır. Bu tip dizayn edilmiş sistemlerde kaynama prosesinin olması sayesinde ısı geçişinin gerçekleştiği bölümlerdeki aşınma problemi kısmen giderilebilmektedir (Eltawil vd., 2009). Tipik bir havuz tipi damıtma sistemi ile kıyaslandığında; havuz tipi damıtma sisteminde günlük temiz su eldesi $3 - 4 \text{ L} / \text{m}^2$ iken, çok adımlı flaş damıtma sisteminde bu değer günlük $6 - 60 \text{ L} / \text{m}^2$ seviyelerine ulaşabilmektedir (Qiblawey ve Banat, 2008).

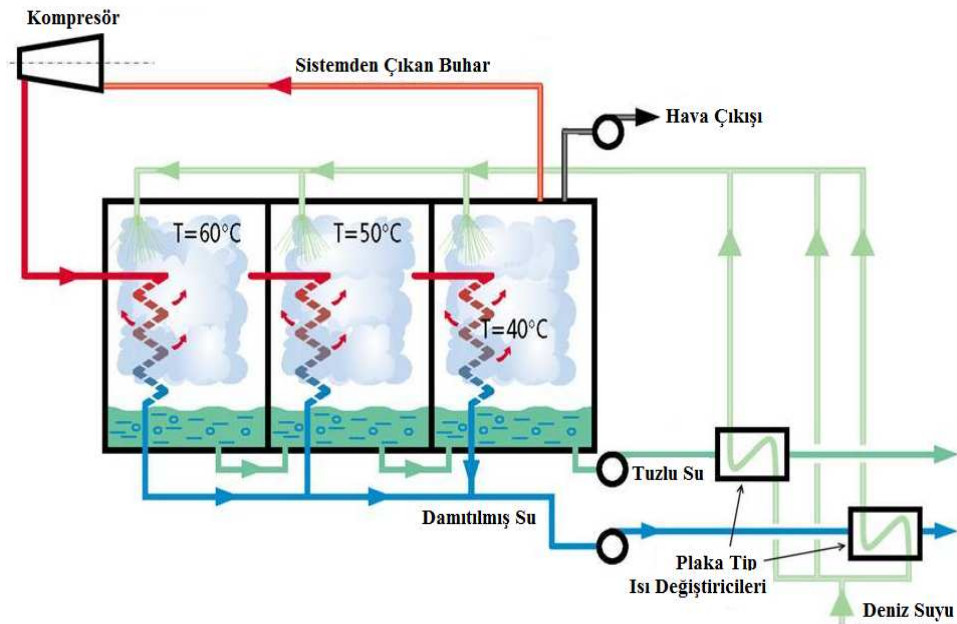
3.1.2.2 Çok etkili damıtma sistemleri (MED)

Bu sistemlerde su buharı, deniz suyu aracılığıyla ısı enerjisinin soğurulması sayesinde oluşturulmaktadır. Herhangi bir etki aşamasında oluşturulan buhar, bir sonraki daha düşük basınç ve sıcaklıkta olan etki aşamasında yoğunlaşarak tuzlu çözeltiyi ısıtmak için kullanılmaktadır. Bu tip damıtma sistemlerinin performansı etki aşamaları sayısına bağlıdır. Çok etkili damıtma sistemlerinde de flaş damıtma sistemlerinde olduğu gibi sisteme dışarıdan buhar sağlayan bir kaynağa ihtiyaç vardır (Şekil 3.17).

Ancak bu tip sistemlere entegre edilen buhar kaynağındaki buharın sıcaklığının yaklaşık 70°C değerinde olması yeterlidir. Çok adımlı flaş damıtma sistemlerine göre daha düşük sıcaklıkta buhara ihtiyaç duyulması bu tip sistemlere bazı avantajlar sağlamaktadır. Bu avantajlar; enerji tüketiminin daha düşük seviyelerde olması, ısı transfer katsayısının artması ve daha yüksek kalitede temiz su elde edilmesidir (Eltawil, 2009). Elde edilen temiz su kalitesinin yükselmesi ile birlikte günlük temiz su eldesi miktarı 6 – 25 L/m² değerlerine düşmektedir.



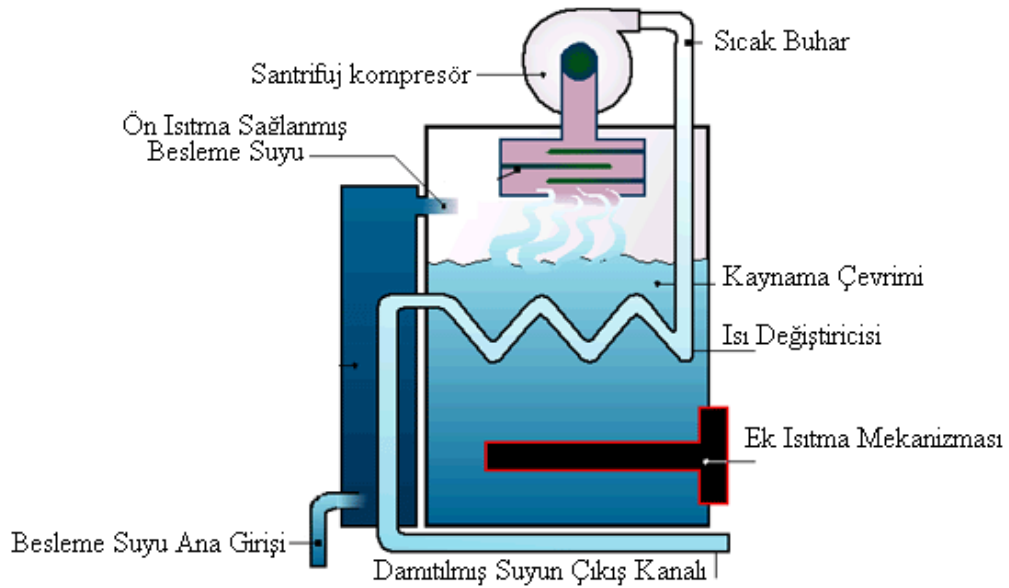
Şekil 3.16 : Çok adımlı flaş damıtma sistemine bir örnek (Eltawil vd., 2009).



Şekil 3.17 : Çok etkili damıtma sistemine bir örnek (Url-2, 2010).

3.1.2.3 Buhar sıkıştırmalı damıtma sistemleri (VC)

Bu tip sistemler termal ve mekanik buhar sıkıştırmalı olmak üzere iki çeşittir. Temelde faz değişimine dayalı proseslerdir. Tuzlu sudan buharın oluşturulduğu ilk aşamadan sonra buhar, ilave bir ürün oluşturabilmek için termal veya mekanik olarak sıkıştırılmaktadır (Şekil 3.18). Düşük sıcaklıktaki bir buhar sıkıştırmalı damıtma sistemi basit ve güvenilir bir prosestir. Dünya çapında çok sayıda endüstriyel ve belediye ile ilgili uygulamaları mevcuttur ve bu uygulamalarda yüksek kalitede temiz su eldesi sağlanabilmektedir. Buna karşın; bu tip sistemlerin yüksek boyuttaki buhar sıkıştırma işlemleri için ölçü sınırlamalarından dolayı kısıtlı bir kapasitesi vardır (Eltawil, 2009).

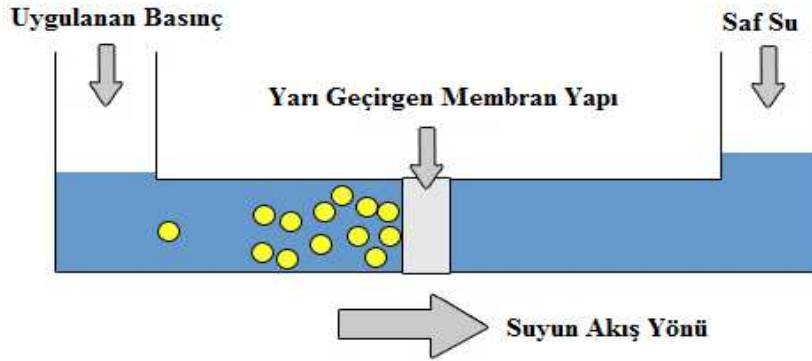


Şekil 3.18 : Buhar sıkıştırmalı damıtma sistemine bir örnek (Url-2, 2010).

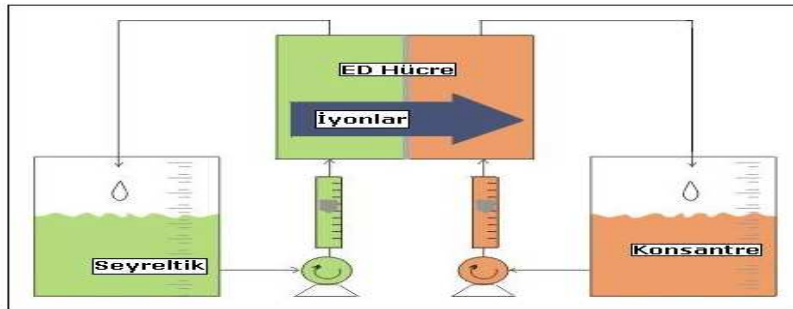
3.1.2.4 Membranlı (zarlı) damıtma sistemleri (MD)

Faz değişimi gerektirmeyen ve geleneksel yöntemlerin aksine düşük dereceli ısılarda da çalışabilen proseslerdir. Ters Ozmoz (RO) ve Elektrodializ (ED) olmak üzere iki çeşittir. Özellikle RO, membranlı damıtma sistemlerinin kapsadığı pazarın yaklaşık %59 payına sahiptir. Her iki tipteki membranlı sistem de, tuzlu su ve temiz su arasındaki ozmotik basıncı yenebilmek için sisteme enerji girişine ihtiyaç duymaktadır. ED yöntemi genellikle hafif tuzlu suyla çalışabilme kısıtına sahipken (Şekil 3.19), RO yönteminde her iki tipteki tuzlu su da (hafif tuzlu su ve deniz suyu) kullanılabilir (Şekil 3.20). ED yöntemi, seçici membran yüzeyden tuzu

ekebilmek ve temiz suyu geride atık olarak bırakabilmek için elektrik akımını kullanmaktadır. RO yönteminde ise, tuzlu su membrana karşı yüksek bir basınca sıkıştırılmaktadır. Böylece, su molekülleri membrandan geçmekte ve yoğunluklu tuzlu çözelti atık olarak geride bırakılmaktadır. Bu sistemlerdeki seçici membran yüzeyler genellikle ince plastik selüloz veya aromatik poliamid malzemeden imal edilmektedir (Eltawil, 2009).



şekil 3.19 : Ters ozmoz yöntemine bir rnek (Eltawil, 2009).

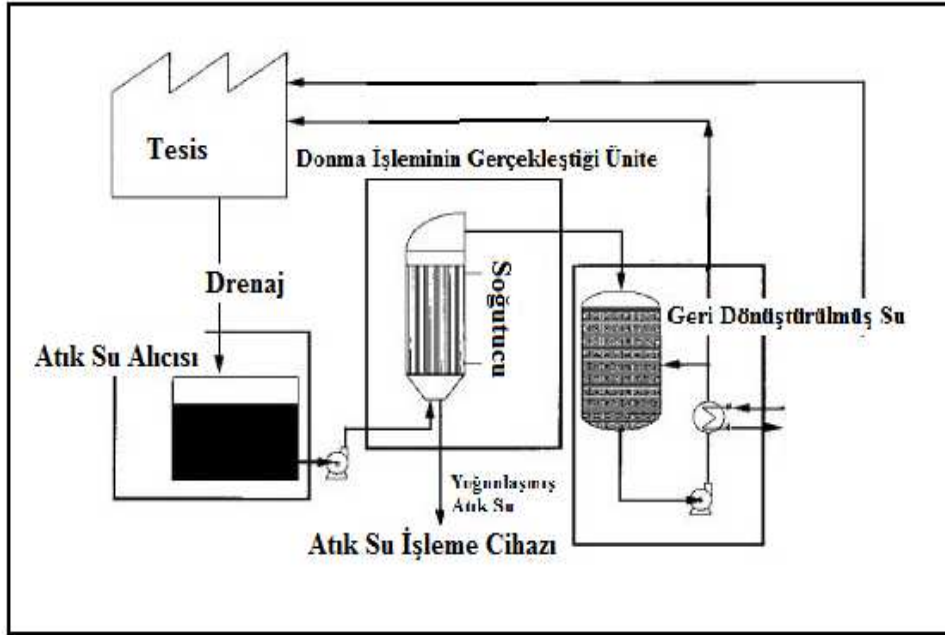


şekil 3.20 : Elektrodializ yöntemine bir rnek (Eltawil, 2009).

3.1.2.5 Dondurarak ayırıştırma tekniği ile çalışan sistemler

Bu yöntemde donma işlemi için gereken minimum termodinamik enerji, buharlaştırma için gerekenden daha düşüktür. Suyun füzyonundan ortaya çıkan gizli ısı 6,01 kJ/mol iken; 100°C sıcaklıktaki suyun buharlaşmasından çıkan gizli ısı 40,66 kJ/mol'dür. Teorik olarak, donma işleminin damıtma üzerinde bazı avantajları vardır. Bunlar; düşük enerji gereksinimi, minimal bir korozyon, aşınma ve çökelme potansiyelidir. Buna karşın, bu tip sistemlerde buz-su karışımına ihtiyaç duyulması, bu karışımın hareket ettirilmesinde mekanik olarak zorluklar yaratmaktadır (Qiblawey ve Banat, 2008). Bu tip damıtma işlemlerinde de faz değişimi gerekmektedir (şekil 3.21). Avantajları yüksek bir damıtma işlemi olmasına rağmen,

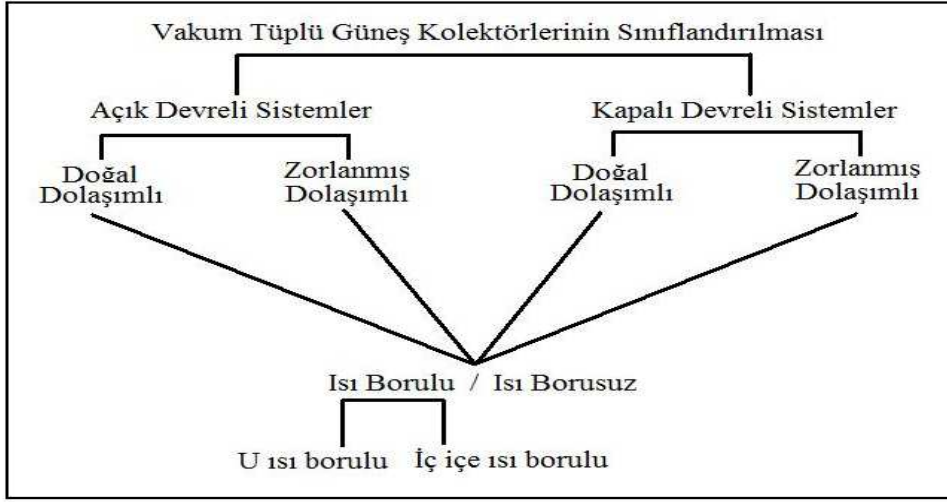
yüksek maliyet ve karmaşık soğutma sistemi gereksinimlerinden dolayı endüstriyel olarak kendine bir yer edinememiştir (Eltawil, 2009).



Şekil 3.21 : Dondurarak ayrıştırma tekniği ile çalışan sistemler (Eltawil, 2009).

3.2 Vakum tüplü güneş kolektörlerinin sınıflandırılması

Vakum tüplü güneş kolektörleri esas olarak; güneş enerjisini yutan toplayıcı yüzey, ısı geçişi akışkanı, bu akışkanın içinde dolaştığı vakumlu cam boru ve elde edilen sıcak suyun depolandığı sıcak su deposundan oluşmaktadır. Vakumlu güneş kolektörlerinin düz tip kolektörlere göre avantajları; yüksek sıcaklıklarda su elde edilebilmesi, az yer kaplaması, kolay monte edilmesi ve mimari görünüme uygunluğudur. Günümüzde piyasada kullanılan vakum tüplü güneş kolektörleri, çalışma prensiplerine göre açık ve kapalı devreli sistemler olmak üzere iki ana başlık altında sınıflandırılmaktadır (Yiğit ve Atmaca, 2010). Açık ve kapalı devreli sistemler de yine doğal ve zorlanmış dolaşımli sistemler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Şekil 3.22). Tüm bu açık, kapalı, doğal dolaşımli ve zorlanmış dolaşımli sistemler ise ısı borulu ve ısı borusuz biçimde olabilmektedir. Isı borulu olanlar da U tipi ısı borulu veya iç içe ısı borulu olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Url-4, 2010).



Şekil 3.22 : Vakum tüplü güneş kolektörlerinin sınıflandırılması.

3.2.1 Açık devreli sistemler

Açık devreli sistemler, kullanım suyu ile kolektörlerde dolaşan suyun aynı olduğu sistemlerdir. Kapalı sistemlere göre verimleri yüksek ve maliyeti ucuzdur. Suyu kireçsiz ve donma problemlerinin olmadığı bölgelerde kullanılırlar (Url-3, 2010). Çünkü kullanım suyu toplayıcıda dolaştığı için antifrizli su kullanılabilme imkânı yoktur. Bu yüzden kış aylarında dış ortam sıcaklığının 0'ın altına düştüğü yerlerde suyun sistemden boşaltılması gerekir. Aksi takdirde su donarak, sistemde çatlama ve hasarlar meydana getirir. Bu tip sistemlerde, kullanım suyu aynı zamanda ısı geçişi akışkanı olarak kullanılmaktadır. Açık devreli sistemlerin ısı borulu olanları, ısı borularının yapım şekillerine göre ikiye ayrılmaktadır; bunlar iç içe ısı borulu ve U ısı borulu vakum tüplü güneş kolektörleridir (Yiğit ve Atmaca, 2010).

İç içe ısı borulu olanlar düzlemsel kolektörler gibi çalışırlar. Isınan suyun toplandığı depodan soğuk su manifolduna gelen su, absorban plakalar boyunca tespit edilmiş olan büyük borunun içindeki soğuk su borusuna girer. Bu borular yardımı ile kolektörün alt kısmına inen su, güneş enerjisi ile ısınarak iki borunun arasında yükselir. Sıcak su borusu içinde yükselen su, sıcak su manifolduna geçer ve depoya gönderilir. Bazı uygulamalarda iç içe boru sisteminde dış boru olarak cam boru kullanılır. İçteki metal soğuk su borusundan gelen su, dış yüzeyi absorban plaka ile kaplanmış ve alt ucu kapalı olan dıştaki cam boru içinde ısınarak yükselir (Yiğit ve Atmaca, 2010).

U ısı borulu vakum tüplü güneş kolektörlerinde absorber, U borunun sıcak su manifolduna bağlı olan kısmına monte edilir. U'nun bir tarafından aşağıya inen

soğuk su ısıtarak diğer tarafta yükselir. U'nun her iki ayağının da absorbere monte edildiği durumlarda, su her iki kolda da ısınır. Bu yüzeyden dolaşım doğal olarak gerçekleşmeyeceği için bu tür kolektörlerde pompa kullanılmaktadır. Sıcak suyun yukarıda, soğuk suyun aşağıda konumlanması nedeniyle deponun alt kısmından çıkan ve üst kısımlara nazaran daha soğuk olan su vakum tüplü kolektöre girmek için soğuk su manifolduna gider. Bu dolaşım sonucu ısınan su kullanılmak üzere, deponun üst kısmından açılan bir vana ile sistemden çıkar ve depo altından şebeke suyu bağlantısı ile beslenir (Yiğit ve Atmaca, 2010).

3.2.1.1 Doğal dolaşimli sistemler

Doğal dolaşimli sistemler ısı transfer akışkanının sistem içerisinde kendiliğinden dolaştığı sistemlerdir. Kolektörlerde ısınan suyun yoğunluğunun azalması ve yükselmesi özelliğine dayanmaktadır. Deponun alt seviyesinden alınan soğuk (ağır) su kolektörlerde ısıtarak hafifler ve deponun üst seviyesine yükselir. Gün boyu devam eden bu olay sonunda depodaki su ısınmış olur. Doğal dolaşimli sistemler daha çok küçük miktarda su ihtiyaçları için uygundur. Deponun yukarıda bulunması zorunluluğu nedeniyle büyük sistemlerde uygulanamazlar. Pompa ve otomatik kontrol devresi gerektirmediği için zorlanmış taşınimli sistemlere göre biraz daha ucuzdur (www.eie.gov.tr). Sade teçhizatlı olmalarından dolayı ısı kaybının azaltılması ile verimlilikleri kolayca artırılabilir. Buna karşın; verimin düşmemesi için de kolektör eğiminin iyi ayarlanması gerekir. Doğal dolaşimli sistemlerde üst üste iki depolu sistemler kullanılabilir. İki depolu sistemlerde soğuk suyun girişi üstteki depoya bir şamandıra ile bağlanır. Üstteki depodan alttaki depoya su bağlantısı yapılır ve alt depo tamamen dolu olmalıdır. Kolektör bağlantıları da bir depolu sistemlerdeki gibi alt depo ile toplayıcı arasında yapılır. Bu sistemin avantajı alt depoda tamamen sıcak su depolandığı için geceleri sıcak su kullanma imkânı bir depolu sistemlere göre fazladır (Url-4, 2010).

3.2.1.2 Zorlanmış dolaşimli sistemler

Isı transfer akışkanının sistemde bir pompa aracılığıyla dolaştırıldığı sistemlerdir. Basınçlandırma işlemi pompa ile sağlandığından, deposunun yukarıda olma zorunluluğu yoktur. Büyük sistemlerde su hatlarındaki direncin artması sonucu doğal dolaşımın olmaması ve büyük bir deponun yukarıda tutulmasının zorluğu nedeniyle, bu tip sistemlerde pompa kullanılmaktadır. Zorlanmış dolaşimli (pompalı) sistemler

otomatik kontrol devresi yardımı ile çalışırlar. Depo tabanına ve kolektör çıkışına yerleştirilen diferansiyel termostatta bulunan sensörler; kolektörler ve depodaki su sıcaklıkları farkının 10°C olması durumunda pompayı devreye sokarak sıcak suyu depoya alır, bu fark 3°C olduğunda ise pompayı durdurur. Pompa ve otomatik kontrol devresinin zaman zaman arızalanması nedeniyle, bu sistemlerin işletilmesi doğal dolaşımli sistemlere göre daha zordur (Url-3, 2010).

3.2.2 Kapalı devreli sistemler

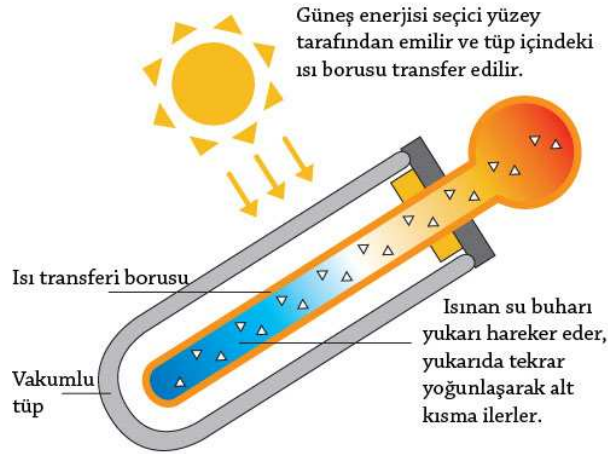
Kapalı devreli vakum tüplü güneş kolektörlerinde, kullanım suyu ısı transfer akışkanı olarak kullanılmaz. Bu tür sistemlerde buharlaşma basıncı yüksek olan gazlar kullanılır. Kolektör içinde kapalı bir çevrim vardır. Kapalı devreli sistemlerde kolektörde dolaşan sıcak akışkan, boyler adı verilen bir ısı değiştiricisi aracılığıyla ısısının bir kısmını kullanım suyuna aktarır. İki su birbirine karışmaz. Böyle yapılmasının amacı toplayıcıda dolaşan akışkanın içinde antifrizli su konularak kış aylarında donmanın önlenmesidir. Kış aylarında da güneşli günlerde sıcak su temin edilmesi sağlanmış olur (Url-4, 2010). Bu tip sistemlerin ısı borulu olanlarında, ısı borusu içinde ısınan akışkan kondensere yükselir. Kullanım suyu içerisinde bulunan kondenser, ısıyı kullanım suyuna transfer eder. Soğuyan akışkan tekrar ısı borusunun içinde aşağıya iner ve bu çevrim devam eder (Şekil 3.23) (Yiğit ve Atmaca, 2010).

Bu tür sistemlerde daha yüksek sıcaklıklara ulaşmak amacıyla ısı borusu etrafına yansıtıcı parabolik aynalar yerleştirilir. Bu aynalar, üzerine gelen güneş enerjisini odaklarında bulunan ısı borusuna yansıtır. Parabolik ayna dizaynli bu kolektörler absorberden olan ısıtım yoluyla ısı kayıplarının azaltılması açısından avantajlıdır (Yiğit ve Atmaca, 2010). Kapalı devreli sistemler; donma, kireçlenme ve korozyona karşı, açık devreli sistemlere alternatif olarak kullanılmaktadırlar. Maliyetleri açık sistemlere göre daha yüksek, verimleri ise ısı değiştiricisinin kullanılmasından dolayı daha düşüktür (Url-3, 2010).

3.2.2.1 Doğal dolaşımli sistemler

Doğal dolaşımli kapalı devreli sistemlerde, kolektörün üst kısmı ile deponun (boylerin) alt kısmı arasında belirli bir yükseklik farkı olmalıdır. Bu sistemlerde boyler içindeki serpantini iyi tasarlamak gerekir, aksi takdirde sistem verimli çalışmaz. Serpantin borularında basınç kaybı fazla olduğundan ve bu kayıplar doğal dolaşımın etken basıncı ile karşılanamadığından, su sirkülasyonu istenilen düzeyde

olmaz. Kolektör kısmı kapalı devre olduğu için, ısınan suyun genleşmesinin alınabilmesi için sisteme açık ya da kapalı genleşme tankı konulmalıdır. Boylerler kapalı sistem olduklarından, binanın kullanım suyu basıncı boylerdeki basınçla aynı olur. Bu da çeşme vb. gibi elemanlardaki su debilerinin iyi olmasını sağlar. Kullanım suyunun giriş borusu boylerlerin alt kısmına, çıkış borusu da üst kısmına bağlanır (Url-4, 2010).



Şekil 3.23 : Isı borulu kapalı devreli tütün çalışma prensibi (Url-5, 2010).

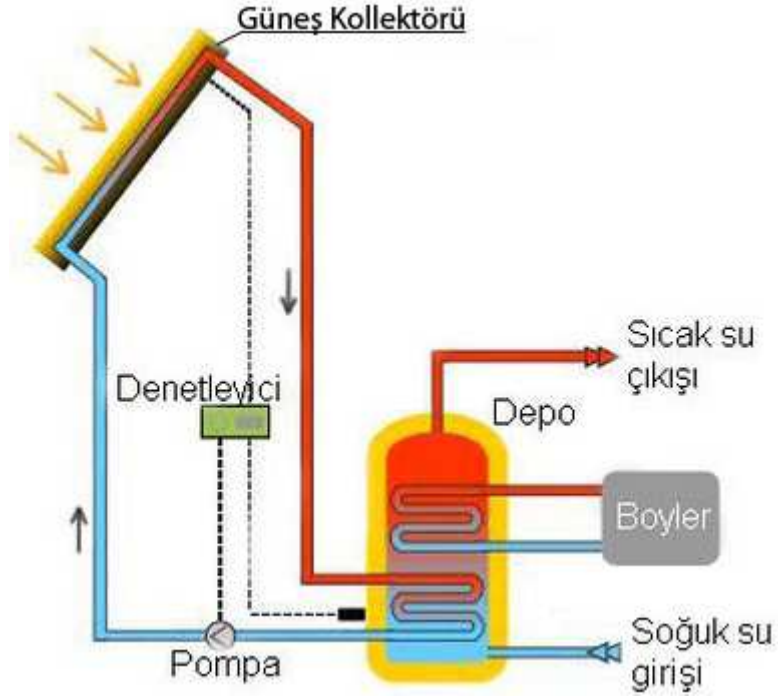


Şekil 3.24 : Kapalı devreli doğal dolaşımli bir sisteme örnek (Url-2, 2010).

3.2.2.2 Zorlanmış dolaşımli sistemler

Zorlanmış dolaşımli sistemler daha çok kapalı devreli sistemlerde kullanılmaktadır. Zorlanmış dolaşımli sistemlerde, kolektör ile depo arasında ki su dolaşımı sirkülasyon pompası ile sağlanır. Bu yüzden deponun toplayıcıdan daha yukarıda olmasına gerek yoktur. Kapalı devreli zorlanmış dolaşımli sistemlerde kullanılan sirkülasyon pompaları basınçlı olmadıklarından, sisteme suyun doldurulması kullanım suyu tesisatı ile gerçekleşir. Sirkülasyon pompalarının basıncı kolektör ile depo arasındaki bağlantı borularında ki basınç kayıplarını karşılayacak kadar olması

yeterlidir. Çok sayıda kolektör kullanılan tesisatlarda mutlaka sirkülasyon pompası kullanılmalıdır. Kapalı devreli olarak yapılan zorlanmış dolaşımli sistemlerde kapalı genleşme deposu, otomatik hava purjörü ve emniyet vanası sisteme mutlaka entegre edilmelidir (Şekil 3.25) (Url-4, 2010).



Şekil 3.25 : Kapalı devreli zorlanmış sisteme örnek (Url-4, 2010).

4. SİSTEM TASARIMLARI

Güneş enerjisi potansiyeli oldukça iyi olan ülkemizde güneş enerjili damıtma sistemlerinden temel olan iki tanesinin karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi bu çalışmanın konusudur. Bu çalışmada, klasik tipte bir güneş enerjili damıtma sistemi olan sera tipi damıtıcı ve bu tip bir sisteme vakum tüplü bir güneş kolektörü ilavesiyle elde edilen yüksek sıcaklıklı aktif çalışan bir damıtıcı için verim hesaplamaları yapılmıştır. Diğer güneş enerjili damıtma sistemlerinin maliyetleri yüksek olduğundan, bu çalışmada düşük maliyete sahip ve klasik tipte damıtma sistemleri seçilmiştir. Ayrıca yüksek sıcaklıklı aktif çalışan damıtıcılarda bugüne kadar neredeyse hep düzlemsel tipte kolektör kullanılması, bu çalışmadaki ikinci tip damıtıcının vakum tüplü bir güneş kolektörü ile tasarlanmasının sebebidir. Diğer yandan, günümüzde vakum tüplü güneş kolektörlerinin birim fiyatlarının düzlemsel kolektöre yakın ve verimlerinin de daha yüksek olduğu (Tiwari vd., 2009) bilgisinden hareketle, vakum tüplü güneş kolektörlü yüksek sıcaklıklı aktif çalışan bir damıtma sisteminin, klasik tipte sera tipi güneş enerjili damıtıcı ile karşılaştırılmasının amacı ortaya konulmaktadır. Bu çalışmadaki tüm hesaplamalar Mersin ili şartlarında gerçekleştirilmiştir. Mersin ilinin enlemi: $36^{\circ} 48'$, boylamı: $34^{\circ} 38'$ değerlerindedir. Yapılan tüm hesaplamalar Mersin iline ait atmosferik veriler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bunun yanı sıra, damıtma havuzunda kullanılan deniz suyunun Mersin ili merkezindeki sahilden temin edildiği varsayılmıştır. Teorik hesaplamalarda kullanılan güneş ışıınımı miktarları, çevre hava sıcaklıkları, deniz suyu sıcaklıkları, rüzgâr hızları gibi veriler Mersin Meteoroloji İstasyon Müdürlüğünden temin edilmiştir. Meteoroloji Müdürlüğünden temin edilen bu veriler, son on yılın (1999 – 2009 yılları arasındaki) aylık ortalama değerleridir (Çizelge 4.1). Daha önce de ülkemizde Düzce koşullarında sera tipi güneş enerjili damıtıcının farklı tasarımlarındaki verim değerlendirmeleri yapılmıştır. Ancak söz konusu bu çalışmada, tek tip bir güneş enerjili damıtma sistemi (sera tipi) üzerinde durulmuştur (Çay vd., 2007).

Çizelge 4.1 : Mersin’e ait aylık ortalama iklimsel veriler (Mersin Meteoroloji Md.).

Aylar	$T_{\text{ç}} [^{\circ}\text{C}]$	$T_{\text{deniz_suyu}} [^{\circ}\text{C}]$	$v [\text{m/s}]$	$I [\text{W/m}^2]$
Ocak	10,5	16,0	1,8	207,92
Şubat	11,0	15,2	1,9	251,67
Mart	13,8	16,0	2,1	306,25
Nisan	17,7	18,1	2,2	349,17
Mayıs	21,5	21,3	2,3	414,17
Haziran	25,2	25,1	2,6	465,83
Temmuz	27,9	28,5	2,7	477,08
Ağustos	28,2	29,5	2,6	459,58
Eylül	25,8	27,6	2,3	417,50
Ekim	21,4	25,8	1,9	329,58
Kasım	15,9	21,0	1,7	256,25
Aralık	11,9	17,7	1,8	193,33

4.1 Sistemlerin Tanıtılması

Bu bölümde, seçilen sistemlere ait çalışma prensiplerinden, sistem bileşenleri için seçilen tasarım değerlerinden ve bu değerlerin belirlenmesinde etkili olan parametrelerden bahsedilmektedir.

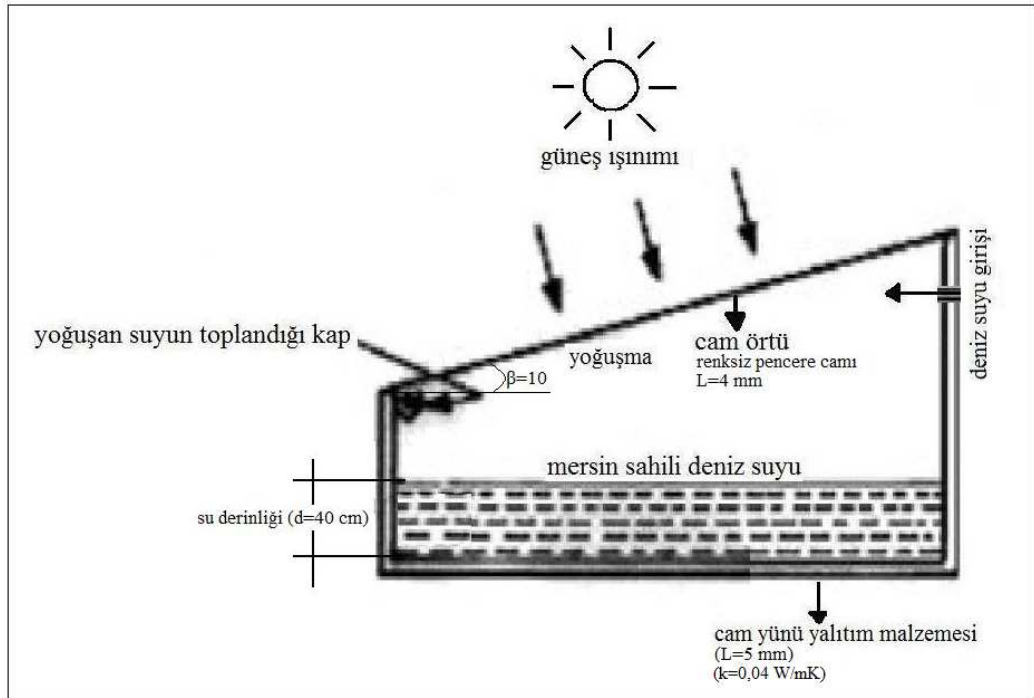
4.1.1 Çalışma prensipleri

Seçilen her iki tip sistemde ortak olan bileşen, damıtmanın gerçekleştiği tabanı siyaha boyanmış olan damıtma havuzudur. Sera tipi güneş enerjili damıtma sistemi sadece bu havuzdan ibaretken; yüksek sıcaklıklı aktif çalışan sistem, söz konusu bu havuza vakum tüplü bir güneş kolektörünün entegrasyonu ile oluşturulmuştur.

4.1.1.1 Sera tipi damıtma sisteminin çalışma prensibi

Sera tipi damıtma sisteminin bileşenleri; maksimum güneş ışıınının emilebilmesi için tabanı siyaha boyanmış havuz, havuzun üstünü örten camdan imal edilmiş saydam örtü, havuzdaki deniz suyu kütlesi, temiz su toplama kanalı, havuzun iç yüzeyinin kaplandığı yalıtım malzemesidir (Şekil 4.1).

Cam örtüden yansıma ve emilme sonrası kalan ışınlam, cam örtüyü geçerek havuzun siyah boyalı tabanı tarafından yutulur. Havuzdaki suyun sıcaklığı bu sayede 30-60°C değerlerine kadar ulaşabilmektedir. Suyun sıcaklığının artma derecesi, suyun derinliğine ve emilim kapasitesine bağlı olarak değişir. Suyu geçen güneş ışınlamı ise, emilimin en fazla olduğu siyah boyalı tabanı yüzeyine ulaşır. Bu yüzey tarafından emilen ışınlam, çoğunlukla ısıl enerji olarak taşınilma su kütleline geçerek suyun ısınmasını sağlarken, ısıl kayıplar şeklinde de iletimle az miktarda çevreye geçer. Havuzdaki su sıcaklığının artması, su ve cam örtü sıcaklıkları arasındaki farkın da artmasına sebep olur. Damıtma havuzu içerisinde su yüzeyinden saydam cam örtüye doğru üç tip ısı geçişi gerçekleşir; ışınlam, taşınilm ve buharlaşmayla (Hough, 2007). Havuzda ısınan su, yüzeyinden buharlaşarak havuz içerisindeki havayı doyma noktasına ulaştırır. Cam örtünün sıcaklığı, içindeki doymuş havanın sıcaklığından daha düşük olduğu için, buharlaşan su cam örtünün iç yüzeyinde yoğunlaşmaya başlar. Suyun sıcaklığı daha da yükseldikçe, cam örtü ile su sıcaklıkları arasındaki fark artacağından, buharlaşan ve yoğunlaşan su miktarı da artar. Cam örtünün iç yüzeyinde yoğunlaşan su, yerçekiminin etkisiyle yan taraflardaki oluklara doğru akar ve buralarda birikerek dışarı alınır (Yiğit ve Atmaca, 2010). Saydam cam örtünün eğimi, iç yüzeyinde yoğunlaşan suyun tekrar havuza düşmeden oluklara akabilmesi için yeterli ve optimum değerde tasarlanmalıdır (Duffie ve Beckman, 2006).



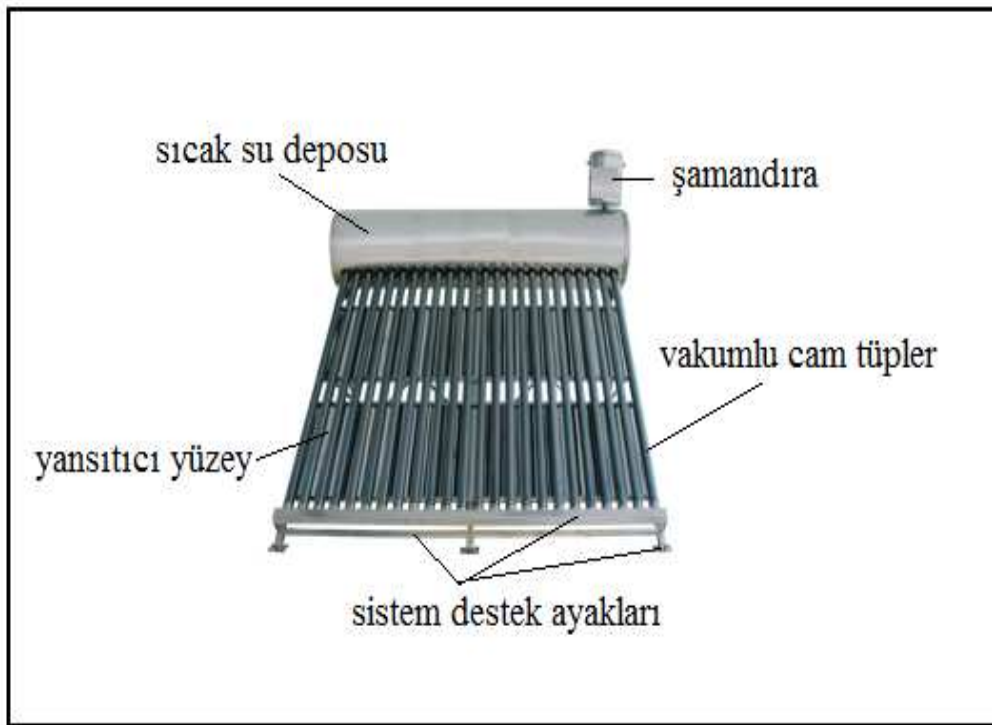
Şekil 4.1 : Sera tipi güneş enerjili damıtma sistemi.

4.1.1.2 Vakum tüplü güneş kolektörünün çalışma prensibi

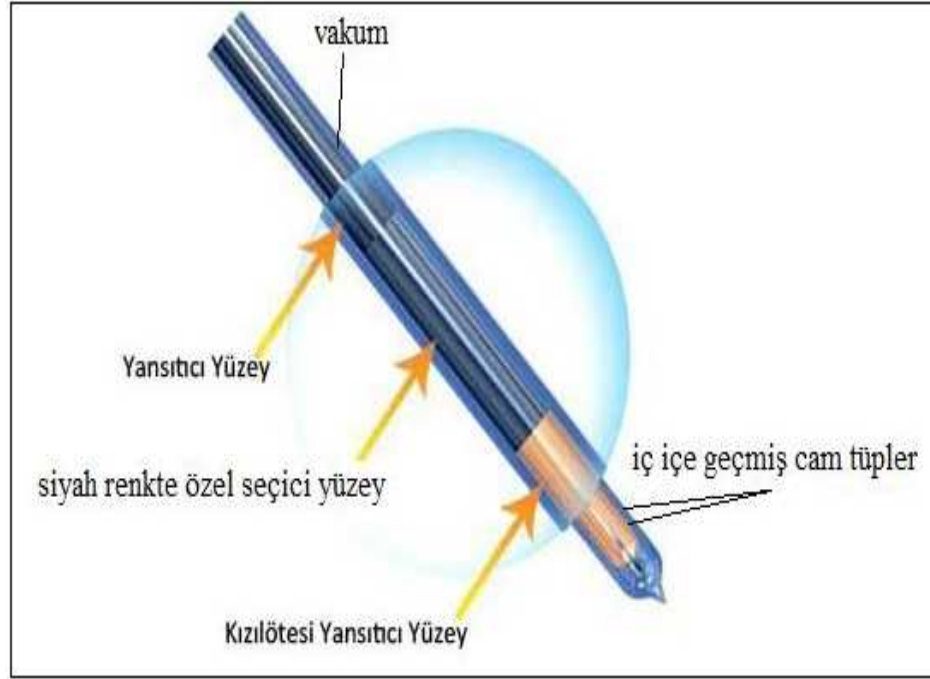
Bu çalışmadaki damıtma havuzu ve vakum tüplü güneş kolektörü devresinde ilave bir ısı değıştiricisi kullanılmadığından, seçilen vakum tüplü güneş kolektörü açık sistem prensibine göre çalışmaktadır. Damıtılan su aynı zamanda vakumlu cam tüpler içinden akan ısı geçişi akışkanıdır.

Vakum tüplü güneş kolektörleri, esas olarak havası boşaltılmış ve içinden ısı geçişi akışkanının geçtiği cam tüplerden, tüplerin birleştiği yüzeyin hemen altına monte edilen yansıtıcı yüzeyden, sistem destek ayaklarından, ısı geçişi akışkanından, ısınan akışkanın toplandığı depodan ve depodaki su seviyesini kontrol ederek sisteme su sağlayan şamandıra mekanizmasından oluşmaktadır (Şekil 4.2).

Bu çalışmada kullanılan vakum tüplü güneş kolektörüne ait vakumlu cam tüpler ise iç içe geçirilmiş iki cam tüpten oluşur. Bu iki cam tüp arasında vakum vardır ve akışkan içteki cam tüp içerisinden akmaktadır. İçteki cam tüpün üzeri siyah renkte özel bir seçici yüzey malzemesi ile kaplıdır (Şekil 4.3).

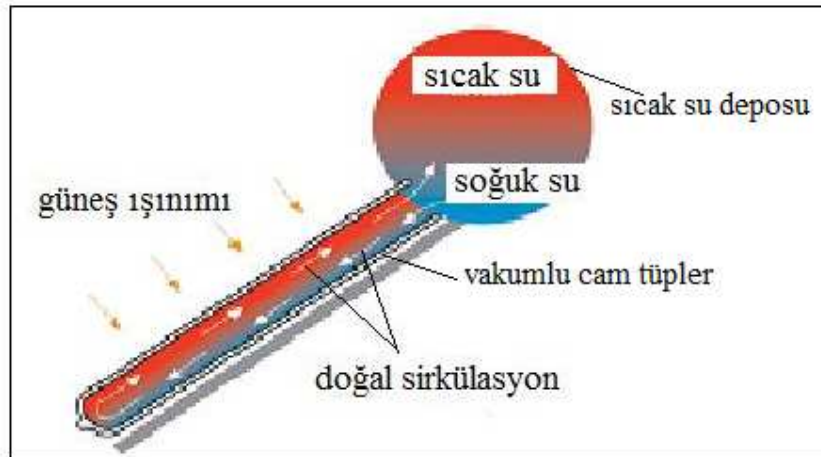


Şekil 4.2 : Vakum tüplü güneş kolektörü bileşenleri (Url-5, 2010).



Şekil 4.3 : Vakumlu cam tüpün yapısı (Url-4, 2010).

Yutucu yüzey tarafından yutularak ısıya dönüşen güneş enerjisi, vakumlu cam boruların içinden akan suya geçer. Vakum tüp içerisinde ısınan suyun yoğunluğu azaldığından yukarısında bulunan ve tüplerin bağlı olduğu sıcak su deposuna doğru hareket eder. Sıcak su deposundaki soğuk suyun yoğunluğu daha fazla olduğundan, aşağı doğru hareket ederek sıcak su ile yer değiştirir. Böylelikle oluşan doğal sirkülasyon sayesinde ısınan su, kolektörün deposunda toplanır (Şekil 4.4). Doğal sirkülasyon gün boyunca sürekli ve ağır bir şekilde devam eder. Ağır sirkülasyonun sebebi, suyun vakum tüplü güneş kolektöründe ısınmasının ve yoğunluk farkından dolayı depoya doğru hareket etmesinin, sıcak ve soğuk su arasındaki yoğunluk farkı ile gerçekleşmesidir.

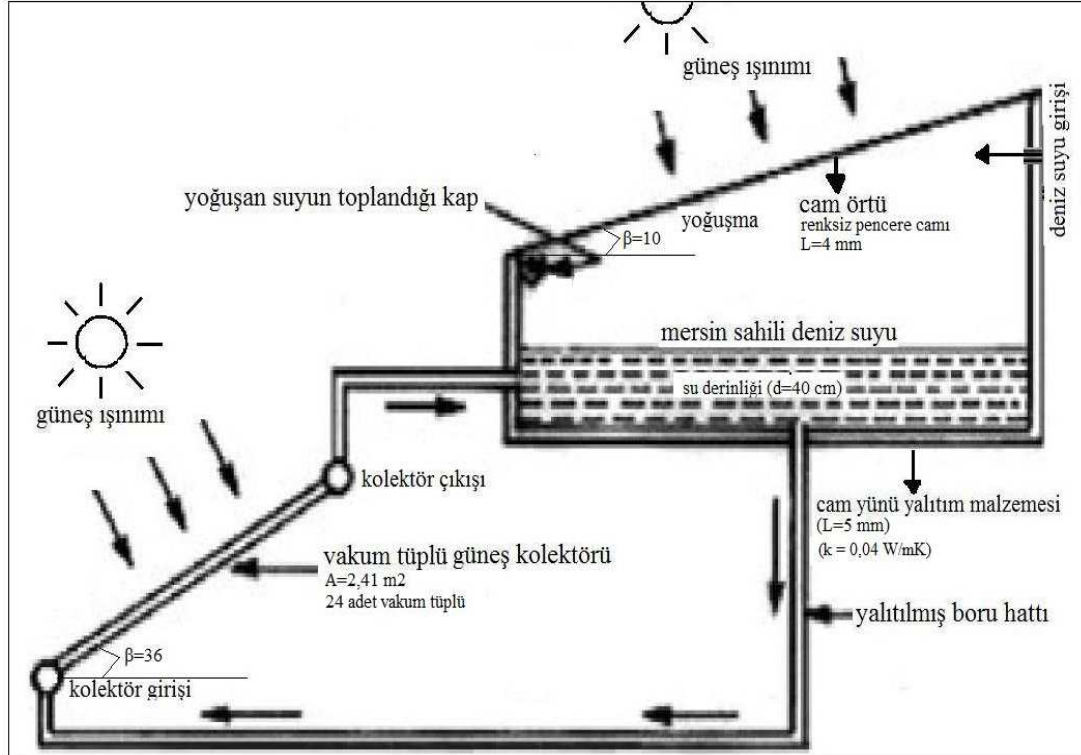


Şekil 4.4 : Vakum tüplü kolektörün çalışma prensibi (KUZEYMAK 2010 Kataloğu).

4.1.1.3 Yüksek sıcaklıklı aktif çalışan damıtma sisteminin çalışma prensibi

Yüksek sıcaklıklı aktif çalışan damıtma sistemi bileşenleri; yine tabanı siyah boyalı damıtma havuzu, havuzun üstünü örten camdan imal edilmiş saydam örtü, temiz su toplama kanalı, havuzun iç yüzeyinin kaplandığı yalıtım malzemesi, vakum tüplü bir güneş kolektörü ve kolektör ile damıtma havuzu arasındaki boru bağlantılarıdır (Şekil 4.5).

Havuzda bulunan deniz suyu yalıtılmış borular aracılığı ile vakum tüplü güneş kolektörüne girmekte ve burada tüpler vasıtasıyla ısınarak doğal sirkülasyon sayesinde kolektörün deposuna, depodan da tekrar deniz suyunun bulunduğu havuza dönmektedir. Bu doğal sirkülasyon vakum tüplü güneş kolektörünün çalışma prensibinde anlatıldığı üzere gün boyunca sürekli ve ağır bir şekilde devam etmektedir. Doğal sirkülasyonda sıcak su, havuz suyu ve sıcak besleme suyu arasındaki basınç farkından dolayı kendiliğinden hareket etmektedir. Bu yüzden bu çalışmada kullanılan yüksek sıcaklıklı aktif damıtma sisteminde pompa kullanılmamıştır. Bu sistemde, damıtma havuzuna ilave edilen kolektörden dolayı, saydam cam örtü ve su yüzeyi arasındaki sıcaklık farkı artmaktadır (Hough, 2006).



Şekil 4.5 : Yüksek sıcaklıklı aktif çalışan güneş enerjili damıtma sistemi.

4.1.2 Tasarım parametreleri

Her iki damıtma sistemi için belirlenen tasarım değerlerinin, ortak bileşen olan damıtma havuzunun verimini etkileyen parametrelere göre belirlenmesi önemlidir. Her bir parametrenin optimum değerlerde seçilmesi, hem sistemlerin verimlerini olumlu yönde etkilemekte hem de gereksiz maliyetlerden kaçınılmasını sağlamaktadır. Damıtma havuzunun verimi esas olarak iklimsel ve havuz tasarım parametrelerine bağlıdır. İklimsel parametreler; güneş ışıınımı miktarı, rüzgar hızı ve çevre hava sıcaklık değerleridir. Havuz tasarım parametreleri ise; saydam cam örtünün kalınlığı ve eğimi, havuz tabanındaki yalıtım malzemesinin kalınlığı, havuzdaki deniz suyunun derinliği ve deniz suyunun sahip olduğu fiziksel özelliklerdir (Hough, 2006). Tüm bu parametreler; havuzdaki suyun, saydam cam örtünün, havuz tabanının teorik sıcaklık değerlerinin hesaplanmasında kullanılmaktadır. Böylece, bir damıtma havuzunun verimini etkileyen esas parametreyi (saydam cam örtü ve havuz suyu sıcaklıkları arasındaki fark) etkilemektedir. Bu fark ne kadar fazla olursa, damıtma sisteminin verimi de o kadar yüksek olmaktadır (Tiwari vd., 2009).

4.1.2.1 Havuzdaki suyun derinliği (d)

Su derinliğinin ve dolayısıyla kütesinin az olduğu damıtma havuzlarında su, buharlaşma için gereken sıcaklığa daha kısa sürede ulaşır ve buharlaşma başlar. Böylece, damıtma sistemine gelen enerjinin büyük bir kısmı, suyun sıcaklığının artırılmasından ziyade buharlaşma prosesi için harcanabilir ve damıtıcı daha kısa sürede devreye girer. Su derinliğinin fazla olduğu havuzlarda ise gelen enerjinin büyük bir bölümü, su sıcaklığının buharlaşma için gereken seviyeye ulaştırılmasında kullanıldığından damıtıcı daha geç devreye girer (Çay vd., 2007). Ayrıca havuzdaki su derinliğinin artması, suyun özgül ısı kapasitesini de artırdığından verim düşmektedir (Tiwari vd., 2009). Derinliği fazla olan su kütleleri hava sıcaklığındaki değişimlere daha geç cevap verdiklerinden, su yüzeyinden buharlaşma yaz aylarında daha fazla, kış aylarında ise daha az olmaktadır (Cingiz, 2007).

4.1.2.2 Cam örtünün kalınlığı (L_c)

Cam örtünün kalınlığı arttırıldıkça, saydam üst örtüden çevre havaya olan kayıplar azaldığından ve dolayısıyla da cam örtü sıcaklığı nispeten daha yüksek kaldığından, yoğunlaşma oranı düşmektedir. Bu durum günlük verimin de düşmesi anlamına gelir.

Ayrıca, kalınlığı fazla olan cam örtülerin ısı geçirgenliği de azaldığından, havuzdaki suyun sıcaklık değerlerindeki yükselmeler daha aşağı seviyelerde kalmaktadır. Daha az ısınan havuz suyu ise yine daha düşük verim demektir (Tiwari vd., 2009).

4.1.2.3 Cam örtünün eğim açısı (β_c)

Saydam cam örtünün eğim açısı, damıtma sisteminin üzerine gelen güneş ışınımının yansıtılma oranını etkileyen en önemli parametredir. Eğim açısının artması, sisteme giren enerji miktarını azaltacağından, sistem verimini de düşürmektedir. Söz konusu bu eğim açısı, cam örtünün iç yüzeyinde yoğunlaşan suyun toplama kanallarına akışını da kontrol etmektedir. Eğim açısının küçük olması, suyun toplama kanallarına akış süresini uzatmakta ve alınan yolun da kısalmasını sağlamaktadır. Bu durum ise, cam örtünün iç yüzeyinde yoğunlaşan suyun toplama kanalına ulaşmadan havuza damlama durumunu ortaya çıkarır (Çay vd., 2007). Saydam cam örtünün optimum eğim açısı, değişen güneş ışınımının miktarının alınmasında dolayı mevsimlere göre değişmektedir. Buna karşın, bu eğim açısı yıllık verim değerlerinden hareketle optimize edilebilir (Hough, 2006).

4.1.2.4 Yalıtım malzemesinin kalınlığı (L_y)

Güneş enerjili damıtma havuzunda kullanılan yalıtım malzemesinin kalınlığı optimum bir seviyeye kadar artırıldıkça, günlük verim değeri de artmaktadır. Ancak optimum yalıtım malzemesi kalınlığından sonra, kalınlık artırılmaya devam ederse verim değerleri düşmeye başlamakta ve belirli bir değerde ise sabit kalmaktadır (Tiwari vd., 2009). Optimum yalıtım malzemesi kalınlığı, havuz içindeki suyun derinliğine bağlı olarak değişmektedir. Su derinliğinin fazla olduğu havuzlarda, gece meydana gelen damıtma prosesinden dolayı, yalıtım malzemesi kalınlığı daha da önemli hale gelmektedir. Çünkü geceleri buharlaşma daha hızlıdır. Yalıtım malzemesinin optimum kalınlığı aynı zamanda malzemenin sıklık derecesine de bağlıdır (Hough, 2007).

4.1.2.5 Rüzgâr hızı (v)

Cam örtü üzerinden esen rüzgâr, cam örtünün iç yüzeyinde gerçekleşen buharlaşma prosesini hızlandırmaktadır. Rüzgâr hızı arttıkça, cam örtüden çevre havaya doğru olan ısı taşınım katsayısı artmakta, cam örtünün sıcaklığı düşmekte ve su ile cam örtü sıcaklıkları arasındaki fark, dolayısıyla da günlük verim, durgun hava koşullarına

kıyasla artmaktadır (Tiwari vd., 2009). Ancak, rüzgâr hızının belli seviyeleri de aşmaması gerekir. Çünkü daha yüksek değerlerdeki rüzgâr hızları, cam örtü içindeki su sıcaklığının düşmesine ve buharlaşma miktarının azalmasına sebep olarak, damıtma sisteminin verimini düşürmektedir (Çay vd., 2007). Rüzgar hızı etkisi ile verim değerlerindeki bu değişimler oldukça küçük aralıklardadır. Su derinliği az olan havuzlarda rüzgar hızının etkisi, derinliği yüksek olanlara kıyasla daha fazladır. Hatta su derinliğinin fazla olması durumunda, rüzgar hızı neredeyse hiçbir etki yaratmamaktadır (Hough, 2006). Derinliği az olan damıtma havuzlarında, 5 m/s değerlerine kadar olan rüzgar hızları için verim değerleri bir miktar yükselmektedir (Tiwari vd., 2009).

4.1.2.6 Yoğuşturucu yüzeyin malzemesi

Yoğuşturucu yüzey malzemesinin ısıl geçirgenliğine bağlı olarak günlük verim artmakta veya azalmaktadır. Örneğin, bakırın (Cu) ısıl iletkenliği yüksek olduğu için, bu malzemenin yoğuşturucu yüzey olarak kullanılması günlük verimin daha yüksek olmasını sağlamaktadır. PVC malzeme kullanıldığında ise verim en düşüktür. Cam malzeme ise PVC den daha yüksek verim oluşturmakta ve daha düşük maliyetlerle sisteme entegre edilebilmektedir (Tiwari vd. 2009).

4.1.2.7 Çevre hava sıcaklığı (T_c)

Yoğuşmanın gerçekleşmesi için cam örtü ile su yüzeyi arasındaki havanın buhara doyması gerekir. Doymuş buhar basıncı sıcaklığa bağlı olduğundan buharlaşma oranı, hava ve su sıcaklıklarından oldukça etkilenmektedir. Gün boyunca buharlaşma sabah saatlerinde minimum, öğleden sonra 12:00-15:00 saatleri arasında ise maksimum değerlere ulaşmaktadır. Yine çevre hava sıcaklığıyla ilgili olarak, buharlaşma soğuk mevsimlerde az, sıcak mevsimlerde ise fazla olmaktadır (Çay vd., 2007). Çevre hava sıcaklığının yüksek olması; ilk olarak yoğuşmanın olduğu yüzey sıcaklığının artmasına, bununla birlikte damıtma havuzundan çevreye olan ısı kayıplarının da azalmasına sebep olur. Bununla birlikte yüksek çevre hava sıcaklığı ile havuzdaki su sıcaklığı ve su yüzeyi ile cam örtü sıcaklıkları arasındaki fark da artmaktadır. Böylece damıtma sisteminin verimi yükselmektedir. Diğer yandan, elde edilen ürün miktarının da artması, tüm damıtma sisteminin sıcaklığında genel bir düşüşe sebep olmaktadır (Hough, 2006).

4.1.2.8 Havadaki suyun buhar basıncı (P_b)

Suyun buharlaşması, su yüzeyindeki buhar basıncı ile suyun üstündeki havada bulunan buhar basıncı arasındaki fark ile doğru orantılıdır. Su yüzeyindeki buhar basıncı, havadaki buhar basıncından fazla olduğu sürece buharlaşma devam etmektedir. Söz konusu bu basınç değerleri eşit olduğunda ise buharlaşma prosesi durmaktadır. Buna göre de havanın buhar basıncı arttıkça buharlaşan su miktarı da azalmaktadır (Cingiz, 2007).

4.1.2.9 Havanın basıncı (P_h)

Havanın basıncı arttıkça birim hacimdeki molekül sayısı artmakta ve sudan havaya sıçrayan moleküllerin hava moleküllerine çarpıp yeniden suya dönme ihtimali yükselmektedir. Böylece, buharlaşan su miktarı azalmaktadır. Ancak bu etki diğer parametrelerin yanında oldukça önemsizdir. Yükseklikle birlikte hava basıncı azaldığından, yüksek yerlerde kurulan güneş enerjili damıtma sistemlerinde buharlaşma miktarı daha fazla olmaktadır (Cingiz, 2007).

4.1.2.10 Güneş ışıınımı (I)

Güneş enerjili damıtma sistemlerinde ısıнын başlıca kaynağı güneşten gelen radyasyondur. Azalan veya artan ısıl değişimler, buharlaşma miktarı için önemli bir parametredir, çünkü sistem verimini direkt olarak etkilemektedir. Güneşten gelen enerji miktarı mevsime, günün saatine, havanın bulutlu veya açık oluşuna ve sistemin kurulu olduğu bölgenin enlem, boylam ve yönüne göre değişmektedir (Cingiz, 2007). Damıtma işlemindeki amaç, deniz suyunun veya tuzlu suyun buharlaştırılması olduğu için, güneş ışıınımı oldukça önemlidir. Bu nedenle, damıtma sistemine bir enerji girişi olmadığında, havuz içerisindeki su hızla soğumakta, yüzeyindeki buhar basıncı düşmekte ve buharlaşma işlemi kesintiye uğramaktadır (Çay vd., 2007). Güneş ışıınımı miktarının yüksek olması, çevre hava sıcaklığını da devamlı yüksek değerlerde tuttuğundan, ısıl kayıpların da azalmasını sağlar (Tiwari, 2004). Yüksek sıcaklıklı aktif çalışan damıtma sistemlerinde güneş ışıınımı miktarı daha da önemli hale gelmektedir. Çünkü bu sistemlerde hem havuz üzerindeki cam örtüden güneş ışıınımı direkt olarak suya alınmakta hem de güneş kolektörü aracılığıyla sisteme ilave enerji sağlanmaktadır.

4.1.2.11 Suyun fiziksel özellikleri

Damıtma sisteminin verimi üzerinde etkili olan suya ait fiziksel özellikler; suyun tuzluluk oranı, kirlilik derecesi ve hareketidir.

Tuzlu sular, tatlı sulara göre daha az buharlaşmaktadır. Çünkü suda bulunan erimiş tuzlar buhar basıncını azaltmakta ve dolayısıyla buharlaşma miktarını düşürmektedir (Cingiz, 2007). Tuzluluk oranı doyma noktasına doğru arttıkça, sistem verimi de lineer olarak düşer (Hough, 2006). Ayrıca, suyun tuz oranının fazla olması sistem bileşenleri üzerinde korozif etkilere sebep olacağından, elde edilen su kalitesini de olumsuz yönde etkilemektedir (Tiwari, 2004).

Durgun suyun yüzeyinde zamanla yabancı maddeler, toz veya yağ tabakaları birikir. Bu maddelerin oluşması da buharlaşma oranına olumsuz etki yapmakta ve sistem verimini düşürmektedir (Cingiz, 2007). Suyun içerisinde kirliliğe sebep olan bazı materyaller (arsenik, florid, demir bileşenleri gibi) bulunabilir. Ancak bu materyaller, sistem verimi üzerinde tuzluluk oranı kadar etkili değildir (Hough, 2006).

Akış halindeki suların buharlaşma miktarının, durgun haldeki sulara göre %7 - %9 oranlarında daha fazla olduğu araştırmalar sonucunda kanıtlanmıştır (Cingiz, 2007).

4.1.2.12 Kolektör sayısı (N)

Yüksek sıcaklıklı aktif çalışan damıtma sistemlerinin verimi üzerinde etkili olan diğer bir parametre ise güneş kolektörü sayısıdır. Kolektör sayısı arttıkça, günlük verim de artmaktadır; ancak sistemin yatırım maliyeti de eklenen kolektör sayısı kadar artış göstermektedir (Tiwari vd., 2009). Bu durumda ekonomik analiz yapılmalı ve eklenecek kolektör sayısının verimi yeterince artırabileceğinden emin olunmalıdır.

Tüm bu parametrelerin sistem verimi üzerindeki etkisini tek ve esas bir parametrede toparlayacak olursak; birim havuz yüzeyinden elde edilecek damıtılmış su miktarı, havuz suyu ve saydam cam örtü sıcaklıkları arasındaki farka bağlı olarak değişmektedir. Yukarıda bahsedilen tüm parametreler, bu iki değişkenden birine veya her ikisine de etki ettiğinden, verimi etkileyen tek faktör bu sıcaklık farkıdır diyebilmekteyiz. Bundan dolayı; havuz taban ve yan yüzeylerinin ısı kaybına karşı iyi derecede yalıtılması, havuzdaki su derinliğinin azaltılması ve temizliğinin sağlanması, cam örtünün dış yüzeyi ile temasta bulunan rüzgar hızının artırılması,

cam örtünün iç yüzeyinde durgun halde bulunan ve ısı geçişi için direnç oluşturan havaya hareket verilmesi günlük verimin iyileştirilmesi açısından önemlidir.

4.1.3 Tasarım değerlerinin belirlenmesi

Bu çalışmada performansları teorik olarak hesaplanan güneş enerjili damıtma sistemlerine ait tasarım değerleri, daha önce yapılmış çalışmalardan alınmıştır. İklimsel özellikleri Mersin ilimize yakın olan bölgelerde gerçekleştirilmiş çalışmalar ve ilgili tasarım değerleri kullanılmıştır (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2 : Damıtma havuzu ve vakum tüplü kolektöre ait tasarım değerleri.

Tasarım parametresi	Sembolü	Değeri [Birimi]
Havuz taban alanı	A_t	1 [m ²]
Havuz tabanı ısıl soğurganlığı	α_b	0,8 [-]
Havuz tabanı efektif yansıtma katsayısı	$(\alpha\tau)_{eff}$	0,82 [-]
Havuz iç yüzey yalıtım malz. kalınlığı	L_y	0,005 [m]
Havuz iç yüzey yalıtım malz. iletkenliği	k_y	0,04 [W/mK]
Havuzdaki deniz suyu derinliği	d	0,4 [m]
Havuzdaki deniz suyu kütlesi	M_s	40 [kg]
Havuzdaki deniz suyu özgül ısısı	C_s	4190 [J/kgK]
Havuzdaki deniz suyu yutma oranı	α_s	0,05 [-]
Havuzdaki deniz suyu yayma oranı	ε_s	0,95 [-]
Üst yoğuşma örtüsü kalınlığı	L_c	0,004 [m]
Üst yoğuşma örtüsü yutma oranı	α_c	0,05 [-]
Üst yoğuşma örtüsü ısıl geçirgenliği	τ_c	0,88 [-]
Üst yoğuşma örtüsü yayma oranı	ε_c	0,94 [-]
Üst yoğuşma örtüsü eğim açısı	β_c	10 [°]
Güneş kolektörü sayısı	N	1 [adet]
Güneş kolektörü yüzey alanı	A_k	2,41 [m ²]
Güneş kolektörü eğim açısı	β_k	36 [°]
Güneş kolektörü ortalama ısı kazanç faktörü	F_R	0,95 [-]
Sistem verimi için seçilen zaman aralığı	Δt	1 [saat]
Havuz iç yüzeyinden suya olan ısı taşınım katsayısı	h_s	9,3 [W/m ² °C]
Yüzey yansıtma oranı	ρ	0,2 [-]

4.1.3.1 Sistem bileşenlerine ait tasarım varsayımları

Damıtma havuzunun galvaniz çeliğinden imal edildiği, tabanının ve iç kısımlarının epoksi astar ve siyah mat boya ile boyanarak yüzey emiciliğinin iyileştirildiği ve bu sayede boyanın da aşınmasının engellenebildiği,

Isı kayıplarını minimuma indirmek için damıtma havuzunun iç yüzey çevresinin yalıtım malzemesi olarak cam yünü ile kaplandığı,

Damıtma havuzunun iç kısmına monte edilen, siyah mat boya ile boyanmış temiz su toplama kanalının galvaniz çeliğinden eğimli olarak imal edildiği ve üst yoğunlaşma örtüsünde yoğunlaşan suyun bu kanala doğal akışla akarak biriktirildiği,

Üst yoğunlaşma örtüsünün renksiz pencere camından imal edildiği, damıtma havuzu üzerine eğimli bir biçimde monte edildiği ve buhar sızıntılarının önlenmesi için etrafının silikon malzeme ile kaplandığı; bu sistem bileşeninin üstten oluşabilecek ısı kayıplarını önlediği ve yutucu yüzeyi yağmur, kar, dolu veya toz gibi dış etkenlerden koruduğu,

Yüksek sıcaklıklı aktif çalışan damıtma sisteminde kullanılan güneş kolektörünün vakum tüplü güneş kolektörü olduğu ve yılın her ayında maksimum güneş ışımasını alabilecek bir eğimle damıtma havuzuna entegre edildiği varsayılmıştır.

4.2 Teorik Temeller

Bu bölümde, bu çalışmada verim hesaplamaları yapılan sera tipi ve yüksek sıcaklıklı aktif çalışan güneş enerjili damıtma sistemlerinin bileşenleri arasında gerçekleşen ısı geçişinden bahsedilmektedir.

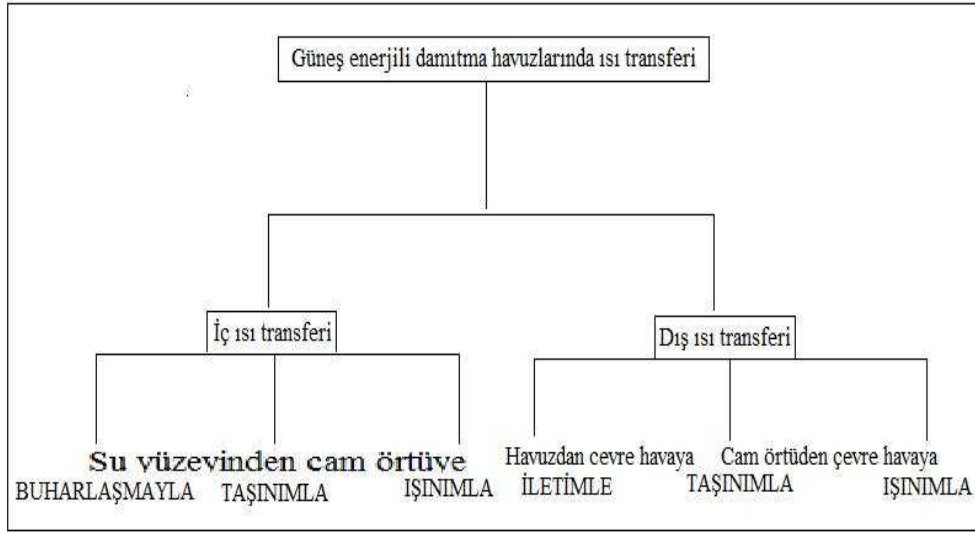
4.2.1 Isı geçişi denklemleri

Güneş enerjili damıtma sistemlerindeki ısı geçişi damıtma havuzu bünyesinde, iç ve dış ısı transferleri şeklinde gerçekleşir. Dış ısı geçişi iletim, taşınım ve ışınlama birbirinden bağımsız olarak ve damıtma havuzunun dış yüzeyinden (üstte saydam cam örtüden, taban ve yan yüzeylerde ise yalıtım malzemesinden) çevreye doğrudur. Damıtma havuzunun iç bölgesinde gerçekleşen ısı geçişi ise ışınlama, taşınım ve buharlaşma prosesleriyle olmaktadır. İç ısı geçişindeki taşınım ısı geçişi, buharlaşma işleminden dolayı sürekli haldedir ve bu iki ısı geçişi ışınlama prosesinden

bağımsızdır. Damıtma havuzunda gerçekleşen iç ve dış ısı transferlerinin sınıflandırılması şekil üzerinde özetlenmiştir (Şekil 4.6) (Tiwari, 2004).

4.2.1.1 İç ısı geçişi denklemleri

İç ısı geçişi olarak belirtilen ışınlım, taşınım ve buharlaşma yoluyla birim alanda gerçekleşen ısı geçişleri ($\dot{q}_{rs}$, $\dot{q}_{cs}$, $\dot{q}_{es}$) ve ilgili katsayıları (h_{rs} , h_{cs} , h_{es}) aşağıda tanımlanmıştır (Tiwari, 2004).



Şekil 4.6 : Damıtma havuzunda gerçekleşen ısı geçişinin sınıflandırılması.

İşinimla olan ısı geçişi ($\dot{q}_{rs}$)

Su yüzeyi ve saydam cam örtü birbirine paralel iki sonsuz düzlem kabul edilerek; T_s su sıcaklığı, T_c cam örtü sıcaklığı, σ Boltzman sabiti ($\sigma=5,67.10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$), ϵ_{eff} efektif yayma oranı, ϵ_s suyun yayma oranı, ϵ_c cam örtünün yayma oranı, h_{rs} su yüzeyinden ışınlımla ısı geçişi katsayısı olmak üzere, $\dot{q}_{rs}$ su yüzeyinden cam örtüye olan ısı geçişi (4.1) eşitliği ile hesaplanmaktadır.

$$\dot{q}_{rs} = \epsilon_{\text{eff}} \sigma [(T_s + 273)^4 - (T_c + 273)^4] \quad (4.1)$$

$$\dot{q}_{rs} = h_{rs} (T_s - T_c) \quad (4.2)$$

$$h_{rs} = \epsilon_{\text{eff}} \sigma [(T_s + 273)^2 + (T_c + 273)^2] [T_s + T_s + 546] \quad (4.3)$$

$$\epsilon_{\text{eff}} = 1 / [(1 / \epsilon_s) + (1 / \epsilon_c)^{-1}] \quad (4.4)$$

Su yüzeyi ve saydam cam örtü birbirine paralel sonsuz düzlemler olarak kabul edildiğinden ışıma faktörü 1 olarak alınmıştır (Tiwari, 2004).

Taşıymımla olan ısı geçişi ($\dot{q}_{cs}$)

Sudaki sıcaklık farklarından dolayı, damıtma havuzu içerisindeki nemli hava yoğunluğunun değişiminden kaynaklanan ve yine su yüzeyinden cam örtüye olan $\dot{q}_{cs}$ doğal taşıymımla ısı geçişi aşağıdaki bağıntı (4.5) ile hesaplanmaktadır.

$$\dot{q}_{cs} = h_{cs} (T_s - T_c) \quad (4.5)$$

Nu Nusselt boyutsuz sayısı, d_f sıvı filmi tabakası kalınlığı, k_f sıvı filmi iletim katsayısı, b ve m değerleri Grashof sayısına (Gr) ait kaysayılar, Pr Prandtl boyutsuz sayısı, g yerçekimi ivmesi, ρ_f sıvı filmi yoğunluğu, β' hacimsel genleşme katsayısı, ΔT su ve cam örtü sıcaklık farkları, μ_f sıvı filmi dinamik viskozitesi, C_f sıvı filmi özėül ısısı, T_{s0} suyun ilk sıcaklığı, P_{s0} ve P_{c0} su buharının T_{s0} değerindeki su yüzeyindeki ve cam örtü iç yüzeyindeki basınç değerleri olmak üzere, h_{cs} ısı taşıym katsayısı aşağıdaki bağıntılardan (4.6, 4.7, 4.8, 4.9, 4.10) yararlanılarak hesaplanmaktadır (4.11).

$$Nu = (h_{cs} * d_f) / k_f = b (Gr * Pr)^m \quad (4.6)$$

$$Gr = (d_f^3 * g * \rho_f^2 * \beta') * (\Delta T) / \mu_f^2 \quad (4.7)$$

$$Pr = \mu_f * C_f / k_f \quad (4.8)$$

$$\Delta T' = \Delta T + [(P_{s0} - P_{c0}) * (T_{s0} + 273)] / [(268,9 * 10^3) - P_{s0}] \quad (4.9)$$

Normal şartlardaki bir çalışma sıcaklığında (mesela 50°C) $\Delta T' = 17^0C$ için, Grashof sayısının ifadesi kısaltılabilmektedir (4.10) (Tiwari, 2004).

$$Gr = 2,81 * 10^7 * d_f^3 \quad (4.10)$$

Grashof sayısı normal şartlardaki çalışma sıcaklıkları için, su yüzeyi ve cam örtü arasındaki mesafeye bağlı olarak değişmektedir (4.10). b ve m katsayıları ise yine bu mesafeye bağlıdır. Damıtma havuzlarında normal koşullardaki çalışma sıcaklıkları için (50°C seviyelerinde) cam örtü ve su yüzeyi arası mesafesi $d_f = 0,25$ [m] olarak kabul edilmektedir. Bu d_f değeri için b katsayısı 0,075; m katsayısı ile 1/3'tür. Bu ortalama değerlerle elde edilen ısı taşıym katsayısı h_{cs} , su buharının T_s ve T_c sıcaklıklarında, su yüzeyinde ve cam örtü iç yüzeyindeki P_s ve P_c basınç değerleri ile,

$$h_{cs} = 0,884 * [T_s - T_c + ((P_s - P_c) * (T_s + 273) / (268,9 * 10^3 - P_s))]^{1/3} \quad (4.11)$$

olarak ifade edilmektedir (Tiwari, 2004).

Buharlaşma ile olan ısı geçişi ($\dot{q}_{es}$)

Su yüzeyinden saydam cam örtüye buharlaşma yoluyla olan ısı geçişi $\dot{q}_{es}$, h_{es} buharlaşma ile ısı geçiş katsayısı olmak üzere, (4.12) numaralı bağıntıdan hesaplanmaktadır (Tiwari, 2004).

$$\dot{q}_{es} = h_{es} (T_s - T_c) \quad (4.12)$$

$$h_{es} = [16,273 * 10^{-3} * h_{cs} * (P_s - P_c)] / (T_s - T_c) \quad (4.13)$$

Buradaki buharlaşma ile ısı geçiş katsayısının (h_{es}), daha gerçekçi değerlerde çıkması için su ve cam örtü sıcaklıkları ($T_s - T_c$) farkı büyük boyutlarda olmalıdır. Havuz içerisindeki havada bulunan su buharının, su yüzeyindeki (P_s) ve saydam cam örtü i yüzeyindeki (P_c) kısmi basınçları ($10^0\text{C} - 90^0\text{C}$ aralığında) ise sıcaklık değerlerine bağlı olarak (4.14) ve (4.15) bağıntılarından hesaplanmaktadır (Tiwari, 2004).

$$P_s(T_s) = \exp [25,317 - (5144 / (T_s + 273))] \quad (4.14)$$

$$P_c(T_c) = \exp [25,317 - (5144 / (T_c + 273))] \quad (4.15)$$

h_{1s} toplam i ısı geçiş katsayısı olmak üzere (4.16) numaralı bağıntıdan hesaplanmaktadır (Tiwari, 2004).

$$h_{1s} = h_{rs} + h_{cs} + h_{es} \quad (4.16)$$

4.2.1.2 Dış ısı geçiş denklemleri

Dış ısı geçişi, damıtma havuzunun st bölümünden (saydam cam örtüden) ve taban-yan yüzeylerinden (yalıtım malzemesinden) olan ısı kayıplar olmak üzere iki alt başlık altında incelenmektedir (Tiwari, 2004).

Saydam cam örtünün birim alanından olan ısı kayıplar ($\dot{q}_c$)

Damıtma havuzlarının üstünü rtn saydam cam örtü kalınlıkları düşük değerlerde olduğundan, cam yüzeydeki sıcaklık dağılımını üniform kabul edilmektedir. $\dot{q}_c$ saydam cam örtüden dış çevreye olan toplam ısı kayıplar (4.17), $\dot{q}_{rc}$ ışınım ile ıř geçişi (4.18 ve 4.19) ve $\dot{q}_{cc}$ taşınım ile ısı geçişi (4.21) şeklinde olmaktadır (Tiwari, 2004). $T_{gkyz}$ gökyüzü sıcaklığı, T_c evre hava sıcaklığı, h_{cc} cam örtüden evre havaya ısı taşınım katsayısı, h_{1c} cam örtüden evre havaya toplam ısı geçiş katsayısı olmak üzere,

$$\dot{q}_c = \dot{q}_{rc} + \dot{q}_{cc} \quad (4.17)$$

$$\dot{q}_{rc} = \epsilon_c \sigma [(T_c + 273)^4 - (T_{gkyz} + 273)^4] \quad (4.18)$$

$$\dot{q}_{rc} = h_{rc} (T_c - T_{\zeta}) \quad (4.19)$$

$$h_{rc} = \epsilon_c \sigma [(T_c + 273)^4 - (T_{gökyz} + 273)^4] / (T_c - T_{\zeta}) \quad (4.20)$$

$$\dot{q}_{cc} = h_{cc} (T_c - T_{\zeta}) \quad (4.21)$$

(4.17) numaralı bağıntı aşağıdaki bağıntı (4.22) ile de ifade edilebilir.

$$\dot{q}_c = h_{1c} (T_c - T_{\zeta}) \quad (4.22)$$

h_{1c} toplam ısı geçişi katsayısı, v rüzgar hızı olmak üzere $0 \leq v \leq 5$ [m/s] aralığındaki değerleri için (4.23) bağıntısı ile hesaplanmaktadır. Rüzgar hızının $v=0$ [m/s] olduğu durumlarda (4.23) bağıntısı doğal taşınım ile gerçekleşen ısı kayıp katsayısını vermektedir (Hough, 2006).

$$h_{1c} = 5,7 + 3,8 * v \quad (4.23)$$

Toplam ısı kayıp katsayısı yerine, taşınım ile ve ışınlama ile olan kayıp katsayıları ayrı ayrı hesaplanarak (4.17) bağıntısında kullanılabilir. Bu durumda, taşınım ile olan ısı kayıp katsayısı (4.24) bağıntısı ile ışınlama ile olan ise (4.20) bağıntısıyla hesaplanarak toplanmakta ve toplam ısı kayıp katsayısı elde edilebilmektedir. Her iki durumda da elde edilen sonuçlar arasında önemli derecede bir fark çıkmamaktadır (Tiwari, 2004).

$$h_{cc} = 2,8 + 3 * v \quad (4.24)$$

(4.24) bağıntısı ise $0 \leq v \leq 7$ [m/s] aralığındaki hız değerleri için kullanılabilir. Havuzun iç yüzeyinden suya olan ısı taşınımı katsayısı h_s değeri de aynı bağıntı ile hesaplanabilmektedir. Gökyüzü sıcaklığı $T_{gökyz}$ değerini çevre hava sıcaklığı T_{ζ} açısından tanımlamış birçok bağıntı vardır. Tüm bu çalışmalarda ifadelerin kullanımı oldukça basittir, ancak hepsi birer yaklaşık çözümdür. Bu bağıntılardan en çok kullanılan bağıntı (4.25) numaralı ifadedir (Tiwari, 2004). Bu çalışmada da bu bağıntı (4.25) kullanılmıştır.

$$T_{gökyz} = T_{\zeta} - 6 \quad (4.25)$$

Havuz taban ve yan yüzeylerinin birim alanından olan ısı kayıpları ($\dot{q}_b$)

Damıtma havuzunun içinde bulunan su kütlesinden dış ortama doğru olan ısı kayıpları, havuz iç yüzeylerinin kaplandığı yalıtım malzemesinden iletimle gerçekleşmektedir. U_b havuzun taban yüzeyinden olan toplam ısı kayıp katsayısı ve U_e yan yüzeylerinden olan toplam ısı kayıp katsayısı; h_s havuz iç yüzeyinden suya

olan ısı taşınım, h_b ise havuz iç yüzeyi ısı taşınım katsayısı, k_y yalıtım malzemesi ısı iletim katsayısı, L_y yalıtım malzemesi kalınlığı, h_{cb} ve h_{rb} havuz iç yüzeyinden çevreye sırasıyla taşınım ve ışınlama olan ısı geçiş katsayıları olmak üzere, (4.26) ve (4.27) numaralı bağıntılarla hesaplanmaktadır (Tiwari, 2004).

$$U_b = [(1 / h_s) + (1 / h_b)]^{-1} = [(1 / h_s) + (1 / (k_y / L_y)) + (1 / (h_{cb} + h_{rb}))]^{-1} \quad (4.26)$$

$$U_e = U_t * (A_y / A_t) \quad (4.27)$$

A_y havuz içerisinde suyla teması olan toplam yan yüzey alanı, A_t ise havuzun taban alanıdır. Havuzdaki su derinliğinin az olduğu uygulamalarda, A_y değeri, A_t değerine göre çok küçük olduğundan, yan yüzeylerden olan ısı kayıpları ihmal edilebilmektedir. Böylece, $\dot{Q}_b$ havuz iç yüzey birim alanından dış çevreye doğru olan toplam ısı kayıp, T_b havuz iç yüzey sıcaklığı olmak üzere, (4.28) numaralı bağıntı ile hesaplanabilmektedir (Tiwari, 2004).

$$\dot{Q}_b = h_b (T_b - T_\infty) \quad (4.28)$$

h_b havuz iç yüzeyi ısı taşınım katsayısı ise (4.29) bağıntısı ile bulunmaktadır (Tiwari, 2004).

$$h_b = [(L_y / k_y) + (1 / (h_{cb} + h_{rb}))]^{-1} \quad (4.29)$$

4.2.2 Damıtma havuzunun ısı analizi

Sera tipi güneş enerjili damıtma havuzunun ısı analizine ait elektriksel benzeşim diyagramı, havuzda gerçekleşen ısı geçişi biçimlerinin birbiriyle ilişkisini ve yönünü göstermektedir (Şekil 4.7). Havuzun ısı analizi için, her bileşene ait enerji korunum denklemleri oluşturulmaktadır (Duffie ve Beckman, 2006). Enerji korunumu yasası; bir sisteme giren ısı-mekanik enerji ile sistem içinde üretilen enerji toplamının, sistemden çıkan ısı-mekanik enerji ile sistem içinde depolanan enerjinin toplamına eşit olduğunu belirtmektedir (Incropera ve DeWitt, 2007).

Damıtma havuzuna ait ısı akısı bileşenleri Şekil 4.8’de gösterilmektedir. Söz konusu bu ısı akılarından yararlanılarak oluşturulan enerji korunumu denklemlerinde beş temel kabul esas alınmıştır. Bu kabuller; saydam cam örtü eğiminin oldukça küçük olduğu, cam örtü, emici yüzey ve yalıtım malzemelerinin ısı kapasitelerinin ve cam örtü ile su kütlelerinin ısı emiciliğinin ihmal edilebileceği, damıtma prosesinin

zamandan bağımsız gerçekleştiği ve havuzun buhar sızdırmazlığının mükemmel olduğudur (Hough, 2006).

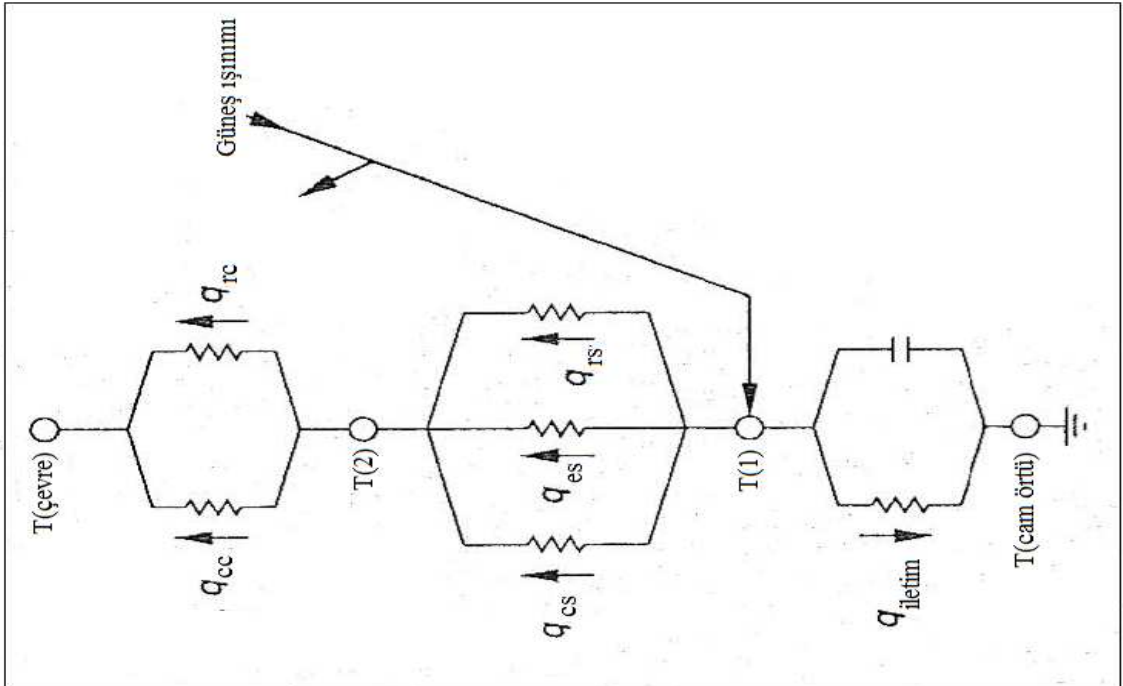
4.2.2.1 Saydam cam örtüye ait enerji korunumu denklemi

Saydam cam örtü için enerji korunumu eşitliği; α_c cam örtü güneş ışıınımı yutma oranı, R_c cam örtü ışıınım dönüşüm katsayısı, α'_c cam örtü tarafından absorbe edilen ısı akısı, $I(t)$ güneş ışıınımı miktarı olmak üzere; dış çevreye kaybedilen enerji akısı, cam örtünün absorbe ettiği enerji akısı ile havuzdaki su yüzeyinden ışıınım, taşınım, buharlaşma ile cam yüzeye taşınan enerji akısının toplamına eşittir. Bu tanıımı bir eşitlikle (4.30) gösterirsek (Tiwari, 2004),

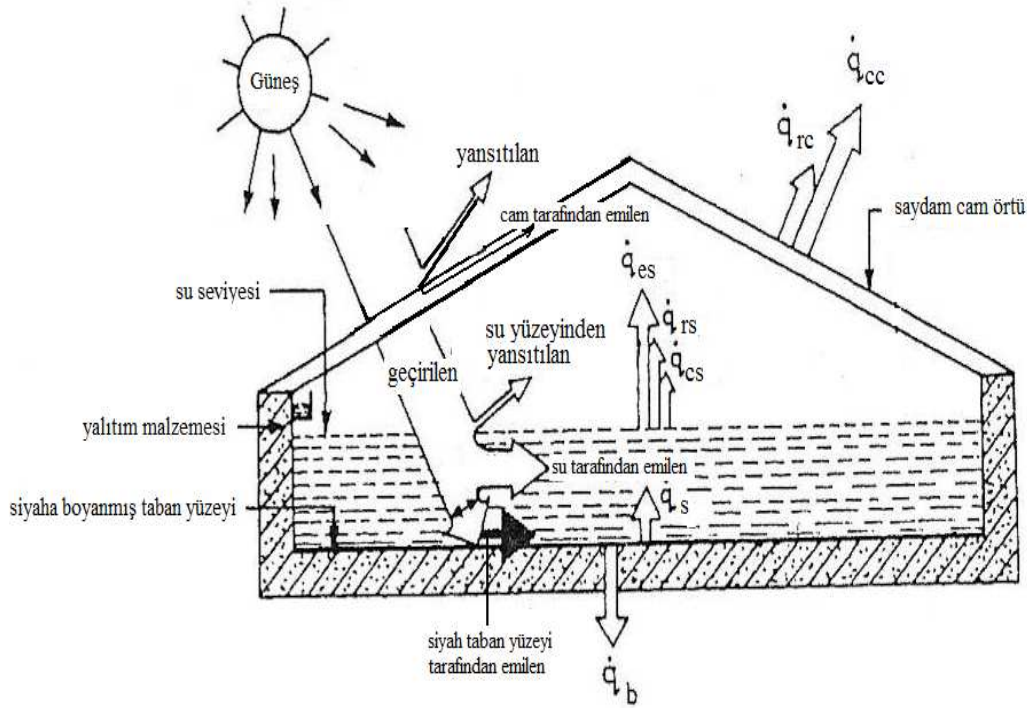
$$\dot{q}_{rc} + \dot{q}_{cc} = [\dot{q}_{rs} + \dot{q}_{cs} + \dot{q}_{es}] + [\alpha'_c * I(t)] \quad (4.30)$$

$$h_{1c} (T_c - T_\varphi) = h_{1s} (T_s - T_c) + [\alpha'_c * I(t)] \quad (4.31)$$

$$\alpha'_c = (1 - R_c) * \alpha_c \quad (4.32)$$



Şekil 4.7 : Damıtma havuzunda gerçekleşen temel ısı benzeşim diyagramı.



Şekil 4.8 : Damıtma havuzundaki ısı akısı bileşenleri diyagramı (Tiwari, 2004).

4.2.2.2 Havuzdaki su kütlesine ait enerji korunumu denklemi

Havuzdaki su kütlesi için enerji korunumu eşitliği; α'_s havuzdaki su tarafından absorbe edilen ısı akısı, $\dot{q}_s$ suyun birim zamanda absorbe ettiği enerji miktarı, M_s su kütlesi ve C_s suyun özgül ısısı olmak üzere; havuz tabanından taşınım ile geçen enerji akısı ile suyun absorbe ettiği enerji akılarının toplamı, suyun depoladığı enerji akısı ile saydam cam örtüye ışıma, taşınım, buharlaşma ile transfer edilen enerji akısının toplamına eşittir (4.33) (Tiwari, 2004).

$$[\alpha'_s * I(t)] + \dot{q}_s = [\dot{q}_{rs} + \dot{q}_{cs} + \dot{q}_{es}] + (MC)_s dT_s/dt \quad (4.33)$$

$$[\alpha'_s * I(t)] + h_s(T_b - T_s) = [(MC)_s dT_s/dt] + h_{1s}(T_s - T_c) \quad (4.34)$$

4.2.2.3 Havuz taban-yan yüzeylerine ait enerji korunumu denklemi

Havuz taban ve yan yüzeyleri için enerji korunumu eşitliği; α'_b havuz iç yüzeyi tarafından absorbe edilen ısı akısı ve $\dot{q}_b$ yine havuz iç yüzeyi tarafından birim zamanda absorbe edilen ısı enerjisi olmak üzere; havuz taban ve yan yüzeylerinden iletimle kaybedilen ısı akısı ile bu yüzeylerden suya transfer edilen ısı akılarının

toplamı, bu yüzeyler tarafından absorbe edilen toplam ısı enerjisi eşittir (4.35) (Tiwari, 2004).

$$[\alpha'_b * I(t)] = \dot{q}_s + \dot{q}_b + [\dot{q}_b * (A_y / A_t)] \quad (4.35)$$

(4.35) numaralı bağıntıdaki (A_y / A_t) ifadesi ihmal edilerek (4.36) bağıntısı elde edilmektedir. A_y alanı, A_t alanına göre çok küçük boyutlarda olduğundan bu oran sifıra yakındır, bu yüzden sıfır kabul edilmiştir (Tiwari, 2004).

$$[\alpha'_b * I(t)] = h_s(T_b - T_s) + h_b(T_b - T_c) \quad (4.36)$$

4.2.2.4 Havuzdaki suyun ve saydam cam örtünün sıcaklıklarının belirlenmesi

Havuzdaki su kütesinin ve saydam cam örtünün sıcaklıklarının belirlenebilmesi için, bu iki değişkenin (T_s ve T_c) (4.31) ve (4.36) numaralı bağıntılardan çekilerek (4.34) ifadesinde yerine konulması ve basitleştirilmesi sonucu yeni bir bağıntı elde edilmektedir (4.37) (Tiwari, 2004).

$$[dT_s / dt] + a * T_s = f(t) \quad (4.37)$$

Bu bağıntıdaki a ve $f(t)$ ifadeleri ve bu ifadelerin bağlı olduğu diğer veriler; U_L damıtma havuzunun toplam ısı geçişi katsayısı, U_t cam örtüden olan toplam ısı kayıp katsayısı, U_b havuz taban yüzeyinden olan ısı kayıp katsayısı, $(\alpha\tau)_{eff}$ havuz tabanı efektif yansıtma katsayısı, Δt zaman aralığı olmak üzere; aşağıdaki bağıntılarla hesaplanabilmektedir (Hough, 2006).

$$a = U_L / (MC)_s \quad (4.38)$$

$$f(t) = [(\alpha\tau)_{eff} * I(t) + U_L * T_c] / (MC)_s \quad (4.39)$$

$$(\alpha\tau)_{eff} = [\alpha'_b * h_s / (h_s + h_b)] + \alpha'_s + [\alpha'_c * h_{1s} / (h_{1s} + h_{1c})] \quad (4.40)$$

U_L damıtma havuzunun toplam ısı geçişi katsayısı, U_t ile U_b toplamına (4.41) eşittir (Tiwari, 2004).

$$U_L = U_b + U_t = [h_s * h_b / (h_s + h_b)] + [h_{1s} * h_{1c} / (h_{1s} + h_{1c})] \quad (4.41)$$

Havuzdaki suyun sıcaklık değerinin (T_s) yaklaşık olarak bulunabilmesi için (4.37) numaralı bağıntıdan yararlanılmakta ve T_s sıcaklık değeri,

$$T_s = (f(t) / a) [(1 - e^{-a\Delta t}) / a] + [T_{s0} * e^{-a\Delta t}] \quad (4.42)$$

denkleminde dönüştürülmektedir (Hough, 2006). (4.42) numaralı bağıntıdaki $f(t)$ değeri, $f(t)$ değerinin $t=0$ ve t zaman aralığındaki ortalama değeridir (Tiwari, 2004).

T_s ilgili zaman aralığındaki ortalama su sıcaklığı (4.43), T_c aynı zaman aralığındaki ortalama cam örtü sıcaklığı ise (4.44) bağıntılarından elde edilmektedir. (4.44) numaralı bağıntı (4.31) bağıntısından çıkarılmaktadır (Tiwari, 2004).

$$T_s = (f(t) / a) * [1 - ((1 - e^{-a\Delta t}) / a)] + [T_{s0} * (1 - e^{-a\Delta t}) / a] \quad (4.43)$$

$$T_c = ((\alpha'_c * I(t)) + (h_{1s} * T_s) + (h_{1s} * T_c)) / (h_{1s} + h_{1c}) \quad (4.44)$$

T_s ve T_c değerleri hesaplanarak, damıtma havuzunun toplam iç ısı geçişi katsayısı h_{1s} bulunmaktadır. Bir Δt zaman aralığının sonundaki T_s değeri, bir sonraki aralığın başlangıç koşulunu oluşturmaktadır. Elde edilen T_s ve devamındaki değerlerin doğruluk derecesi, seçilen zaman aralığı Δt 'ye bağlıdır. Zaman aralığı Δt genellikle 1 saat olarak alınmaktadır (Tiwari, 2004).

4.2.2.5 Damıtılan su miktarının belirlenmesi

Sera tipi güneş enerjili damıtma havuzundan 1 saatte birim alandan (1 m^2) elde edilen temiz su miktarı $\dot{m}_{es}$; gizli buharlaşma ısısı L olmak üzere (4.45) bağıntısından hesaplanmaktadır (Hough, 2006).

$$\dot{m}_{es} = [\dot{q}_{es} * 3600] / L \quad (4.45)$$

$$\dot{q}_{es} = h_{es} (T_s - T_c) \quad (4.12)$$

Gizli buharlaşma ısısı L , sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir. Sistemin çalışma sıcaklığı 70°C değerinden düşük ise (4.46) bağıntısı ile 70°C değerinden yüksek ise (4.47) bağıntısı ile hesaplanarak (4.45) bağıntısında yerine konmaktadır. Çalışma sıcaklığı sistemde kullanılan havuz suyunun sıcaklığıdır (Hough, 2006).

$$L = 3,1615 * 10^6 [1 - 7,616 * 10^{-4} T_s] \quad (4.46)$$

$$L = 2,4935 * 10^6 [1 - 9,4779 * 10^{-4} T_s + 1,3132 * 10^{-7} T_s^2 - 4,7974 * 10^{-9} T_s^3] \quad (4.47)$$

4.2.2.6 Verim değerinin hesaplanması

η damıtma havuzunun verimi olmak üzere (4.48) bağıntısı ile hesaplanmaktadır. Söz konusu bu verim değeri anlık verim değeridir (Tiwari, 2004).

$$\eta = \dot{q}_{es} / I(t) = h_{es} (T_s - T_c) / I(t) \quad (4.48)$$

$$\eta = [(h_{es} * h_{1c}) / (h_{1s} + h_{1c})] * (T_s - T_c) \quad (4.48a)$$

Verim ifadesinde T_s bağıntısı yerine konularak **(4.48b)** eşitliğine ulaşılmaktadır (Hough, 2006).

$$\eta = [(h_{es} * h_{1c}) / (h_{1s} + h_{1c})] * (1/U_L) * [((\alpha\tau)_{eff} (1 - e^{-a\Delta t})) + U_L(T_{s0} - T_c) * e^{-a\Delta t} / I(t)] \quad (4.48b)$$

4.2.3 Yüksek sıcaklıklı aktif çalışan damıtma sisteminin ısı analizi

Sera tipi güneş enerjili damıtma sistemine entegre edilerek oluşturulan yüksek sıcaklıklı aktif çalışan bir damıtma sisteminin ısı analizinde, damıtma havuzunun analizine ilave olarak, $\dot{Q}_{ek}$ kolektörden sisteme fazladan sağlanan kullanılabilir ilave ısı enerji **(4.49)** devreye girmektedir (Dimri vd., 2008). Bu enerji havuzda bulunan suya ek ısıtma sağladığından, bu tip sistemlerdeki havuz suyu ve saydam cam örtü sıcaklıkları daha yüksek değerlere ulaşabilmektedir. Bunun yanı sıra, ilave ısı enerji damıtma havuzu için geçerli olan bazı bağıntılarda da küçük değişikliklere (Çizelge 4.3) sebep olmaktadır (Dwivedi ve Tiwari, 2010). **(4.49)** bağıntısındaki k alt indisli tüm veriler vakum tüplü güneş kolektörüne aittir. F_R kolektöre ait ısı kazanç faktörü, F' kolektör verimi, A_k kolektör yüzey alanı, $(\alpha\tau)_k$ kolektör yansıtma katsayısı, I_k kolektör üzerine düşen güneş ışıınımi miktarı ve U_{Lk} kolektöre ait toplam ısı kayıp katsayısıdır.

$$\dot{Q}_{ek} = A_k F_R [(\alpha\tau)_k I_k - U_{Lk} (T_s - T_c)] \quad (4.49)$$

Bu çalışmada kullanılan vakum tüplü güneş kolektörüne ait tüm bu veriler Çin’li bir üretici firmanın dokümanlarından sağlanmıştır. Fabrikada üretim sonrasında yapılan deneysel çalışmaların sonucu olarak belirlenmiştir. Henüz ülkemizde vakum tüplü güneş kolektörü üretimi yapılmadığından, bu veriler Çin’li bir firmadan sağlanmıştır.

Çizelge 4.3 : Kolektörden sağlanan ilave ısıtmanın değiştirdiği bağıntılar.

<u>Sera tipi damıtıcıda</u>	
$a = U_L / (MC)_s$	
$f(t) = [(\alpha\tau)_{eff} * I(t) + U_L * T_c] / (MC)_s$	
<u>Yüksek sıcaklıklı aktif çalışan damıtıcıda</u>	
$a = (U_L' + F'A_k'U_L) / (MC)_s$	(4.38a)
$f(t) = [(\alpha_s' + h_s \alpha_b') * I(t) + (U_L + U_L'F'A_k') * T_c + F'A_k'I_k(t)(\alpha\tau)] / (MC)_s$	(4.39a)

Bu bağıntılar dışındaki diğer tüm bağıntılar her iki tipteki damıtma sisteminde de aynıdır (Tiwari vd., 2003).

4.2.4 Eğimli yüzeylere gelen güneş ışıınının hesaplanması

Bu çalışmada güneş ışıınınına maruz kalan iki eğimli yüzey vardır; damıtma havuzunun üst örtüsü olan saydam cam örtü ve vakum tüplü güneş kolektörüdür. Eğimli yüzeylere gelen güneş ışıınınının hesaplanmasında, yatay düzleme gelen, Meteoroloji İstasyonlarının kaydettiği ölçümlerden yararlanılır. Yatay düzlemler belirli bir açı yapan yüzeyler, yatay düzlemlere göre daha fazla miktarda güneş ışıınınına maruz kalmaktadırlar. Bu yüzden, güneş enerjili sistemlerin uygulama alanlarında da genellikle eğimli yüzeyler kullanılmakta ve güneş enerjisinden maksimum düzeyde faydalanılabilmesi için eğimli yüzeyler en doğru pozisyonda bulundurulmaktadır (Yiğit ve Atmaca, 2010). Ayrıca, bu uygulamalarda güneş enerjisinin ısı veya elektrik enerjisine dönüştürüldüğü yüzeylere gelen güneş ışıınınını hesaplamaları önemli ve temel bir işlemdir (Bulut, 2008).

Eğimli yüzeye gelen; I_{TE} toplam güneş ışıınını, I_{be} direkt, I_{de} difüz, I_{re} ise yansıyan güneş ışıınınıdır (Şekil 4.10) (Yiğit ve Atmaca, 2010). Bu bileşenlerin hesaplanabilmesi için ise yatay yüzeye gelen I toplam, I_d difüz ve I_b direkt güneş ışıınınlarının bilinmesi gerekmektedir (Bulut, 2008). Eğimli yüzeye gelen toplam güneş ışıınını I_{TE} 'nin hesaplanmasında (4.50) denklemi kullanılır.

$$I_{TE} = I_{be} + I_{de} + I_{re} \quad (4.50)$$

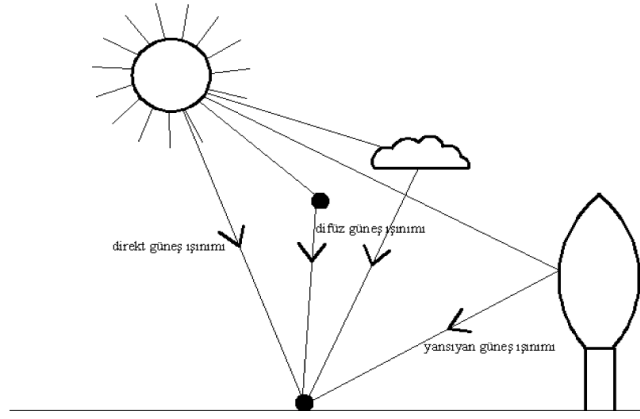
R_b direkt ışıının dönüşüm katsayısı, θ_z zenit açısı, d deklinasyon açısı, e enlem açısı, w ise saat açısı, θ güneş yükseklik açısı, β güneş ışıınınına maruz yüzeyin eğim açısı olmak üzere (Şekil 4.11); güneye yönlendirilmiş eğimli yüzeyler için aşağıdaki bağıntılarla hesaplanmaktadır (Bulut, 2008).

$$I_{be} = I_b * R_b \quad (4.51)$$

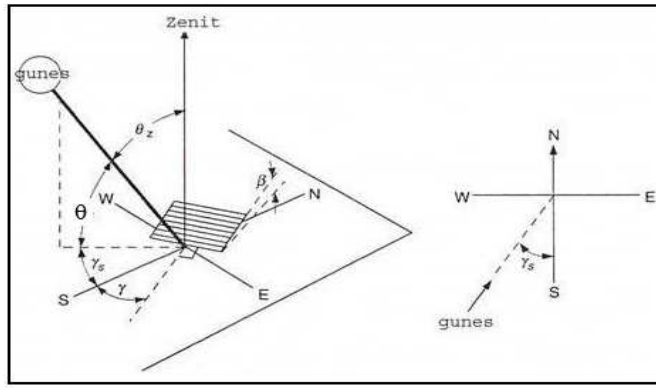
$$R_b = (\cos \theta) / (\cos \theta_z) \quad (4.52)$$

$$\cos \theta_z = (\sin d) (\sin e) + (\cos d) (\cos e) (\cos w) \quad (4.53)$$

$$\cos \theta = (\sin d) (\sin (e - \beta)) + (\cos d) (\cos (e - \beta)) (\cos w) \quad (4.54)$$



Şekil 4.9 : Yeryüzüne gelen güneş ışıması çeşitleri.



Şekil 4.10 : Güneş açıları (Duffie ve Beckman, 2006).

n değeri, 1.Ocak tarihinden itibaren yılın günleri olmak üzere, d deklinasyon açısı aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmaktadır.

$$d = 23,45 \sin [(n+284) * (2 \Pi n / 365)] \quad (4.55)$$

I_b yatay düzleme gelen direkt güneş ışıması, yatay düzleme gelen toplam ışıma I ile difüz ışıma I_d arasındaki farktır **(4.56)**.

$$I_b = I - I_d \quad (4.56)$$

Bu çalışmada Mersin ilimize ait yatay düzleme gelen toplam güneş ışıması miktarları, Mersin Meteoroloji Müdürlüğünden alınmış olan 1999 – 2009 yılları arası aylık ortalama değerlerdir.

Eğimli yüzeylere gelen difüz güneş ışıması miktarı literatürde bulunan modeller yardımı ile hesaplanabilmektedir. Bu modellerde eğimli yüzeye gelen difüz ışıma; yatay düzleme gelen difüz ışıma, yüzey eğim açısı ve direkt ışıma dönüşüm

katsayısının fonksiyonu olarak ifade edilmektedir. Bu çalışmada difüz güneş ışıyım bileşenleri için Liu ve Jordan modeli kullanılmaktadır (Bulut, 2008).

Eğimli yüzeye gelen difüz ışıyım miktarı I_{de} aşağıdaki bağıntı (4.57) ile hesaplanabilmektedir.

$$I_{de} = (I_d / 2) * (1 + \cos \beta) \quad (4.57)$$

k_t berraklık indeksi ve k_d difüz ışıyım oranı olmak üzere, yatay düzleme gelen difüz güneş ışıyımı I_d şiddetinin belirlenmesinde kullanılan modeller k_t veya k_d gibi parametrelerin fonksiyonu olarak (4.58) verilmektedir (Bulut, 2008).

$$I_d = I_0 (0,384 - 0,416 k_t) \quad (4.58)$$

I_0 atmosfer dışı yatay düzleme gelen güneş ışıyımı değeri olup (4.60) bağıntısı ile hesaplanmaktadır.

$$k_t = I / I_0 \quad (4.59)$$

$$k_d = I_d / I_0 \quad (4.59a)$$

I_c güneş sabiti, w_1 ve w_2 saat açıları, t_1 ve t_2 güneş saatleri, f güneş sabitini düzeltme faktörü olmak üzere (4.61), (4.62) ve (4.63) bağıntıları ile hesaplanır (Bulut, 2008).

$$I_0 = ((12 * 3600) / \Pi) I_c f [(\cos \epsilon)(\cos \delta)(\sin w_2 - \sin w_1) + (w_2 - w_1)(\sin \epsilon)(\sin \delta)] 10^{-6} \quad (4.60)$$

Güneş sabiti I_c 'nin farklı kaynaklarda farklı değerlerde alındığı bilinmektedir, ancak Mersin için genellikle $I_c = 1353 \text{ [W/m}^2\text{]}$ olarak alınmaktadır (Güngör vd., 2006).

$$w_1 = 15 (t_1 - 12) \quad (4.61)$$

$$w_2 = 15 (t_2 - 12) \quad (4.62)$$

$$f = 1 + 0,033 \cos (2 \Pi n / 365) \quad (4.63)$$

ρ yüzey yansıtma oranı olmak üzere, eğimli yüzeye gelen difüz güneş ışıyımı I_{re} (4.64) bağıntısı ile hesaplanır (Yiğit ve Atmaca, 2010).

$$I_{re} = (\rho I / 2) (1 - \cos \beta) \quad (4.64)$$

ρ yüzey yansıtma oranının; yerde kar bulunması durumunda 0,7, kar olmaması durumunda ise 0,2 olarak alınması önerilmektedir. Yerin yansıtma oranı yerdeki kar durumunun yanında, bitki örtüsüne ve topografik yapıya da bağılı olarak değişmektedir ve ortalama 0,2 değeri hesaplamalarda kullanılabilir (Yiğit ve Atmaca, 2010).

5. HESAPLAMALAR

Bu çalışmada yapılan hesaplamaların amacı, damıtma sistemlerinin ısı verim değerlerine ulaşmaktır. Diğer yandan güneş enerjili damıtma sistemlerinden elde edilen birim alandaki günlük temiz su eldesi de, sistemler için yapılan hesaplamaların sonuçları sayılabilmektedir. Sonuçlar bölümünde her iki tip sonuçlar da çizelgeler halinde gösterilmektedir, ancak hesaplamalarda ısı verim değerleri sonuçları baz alınmaktadır. Bu yüzden bu bölüme damıtma sistemleri için ortaya konmuş verim tanımları ile başlanmıştır.

5.1 Verim Tanımı

Birim alana gelen güneş ışıınımı değerleri ile havuzdaki deniz suyundan ne kadar ısı çekilerek buharlaşmanın gerçekleştirilebildiğini belirlemek için bazı verim tanımları yapılmıştır. Güneş enerjili bir damıtma sisteminin verimi belirli bir miktarda ve zaman aralığında, damıtılmış su eldesi için kullanılan ısı enerjisinin, sistemin cam örtüsü üzerine düşen güneş ışıınımı miktarına oranıdır (Tiwari, 2004). Diğer bir deyişle, damıtıcı içinde herhangi bir andaki buharlaşma - yoğunlaşma prosesi ile oluşan ısı geçişinin, sistem örtüsünün maruz kaldığı güneş ışıınımına oranıdır **(5.1)** (Duffie ve Beckman, 2006).

$$\eta = Q_{es} / I(t) \quad (5.1)$$

Bağıntıdan **(5.1)** çıkarılan diğer bir tanım da, birim alandaki su kütlesinden taşınım ile çekilen enerjinin, yine birim alana gelen güneş enerjisine oranıdır. Tüm bu tanımlar aslında aynı sonucu ifade etmektedir. **(5.1)** bağıntısındaki verim anlık verim değeridir, bu ifade uzun dönem performanslarının belirlenebilmesi için, gün veya ay gibi zaman dilimlerine kadar genişletilebilmektedir. Eğer damıtılan su miktarından herhangi bir kayıp söz konusu ise, verim değerleri bu bağıntıda ifade edilenden daha düşük olmaktadır. Damıtılan su miktarından kayıplar, saydam cam örtüden tekrar havuza damlayan su olarak veya toplama kanallarındaki sızıntı ve buharlaşmalarla gerçekleşmektedir (Duffie and Beckman, 2006).

5.2 Kabuller

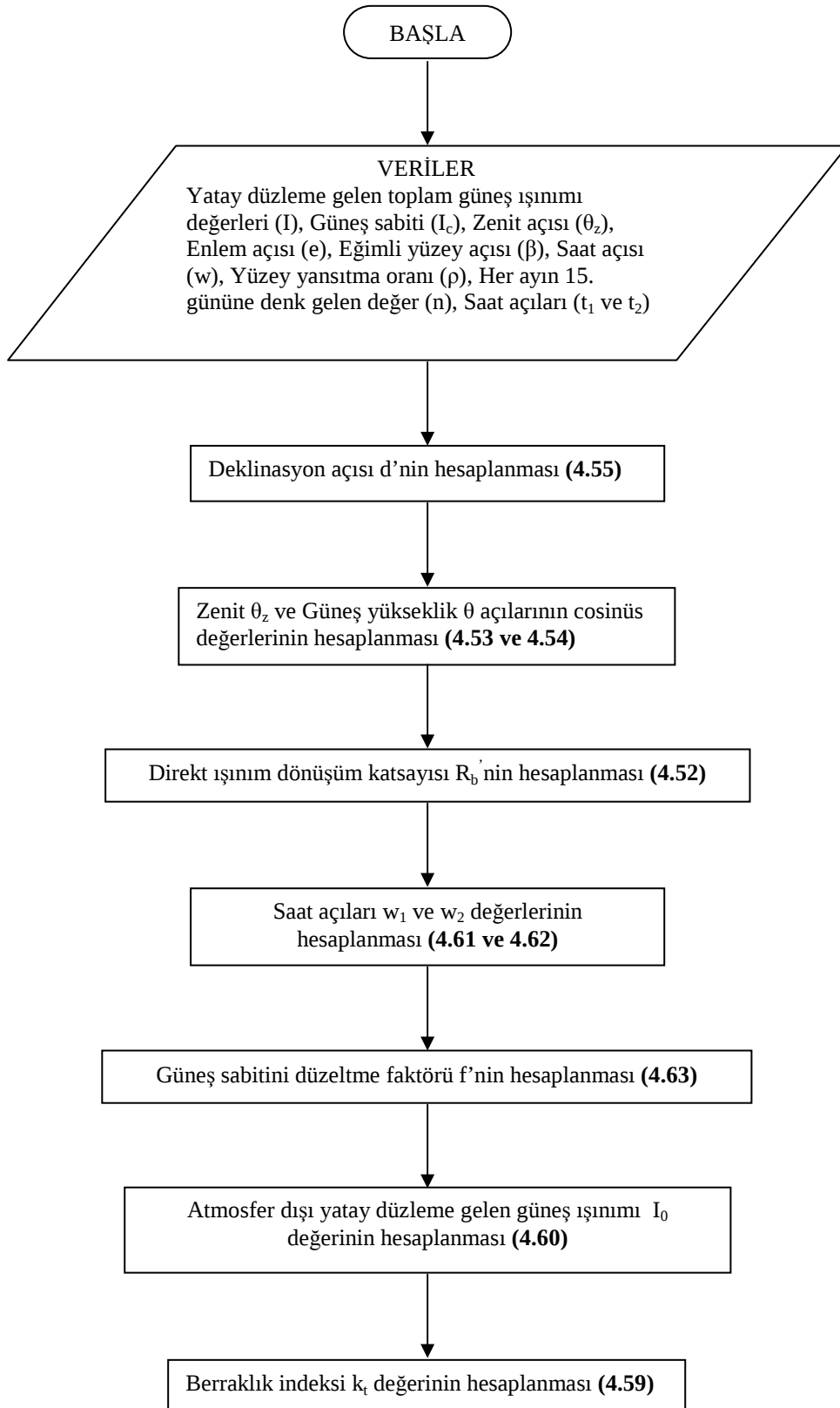
Bu çalışmada tasarımı yapılan sera tipi ve yüksek sıcaklıklı aktif çalışan güneş enerjili damıtma sistemlerinin bileşenlerine ait enerji korunumu denklemlerinin oluşturulmasında aşağıdaki kabuller yapılmıştır:

- Her iki tip güneş enerjili damıtma sisteminde de saydam cam örtüden buhar sızdırmazlığı ve havuzdan su sızdırmazlığının en iyi şekilde sağlandığı,
- Saydam cam örtünün, içinde deniz suyu bulunan havuz malzemesinin ve havuz taban ve yan yüzeylerinin kaplandığı yalıtım malzemesinin ısıl kapasitelerinin ihmal edilebilecek mertebelerde olduğu,
- Cam örtü sıcaklığı ve havuzdaki deniz suyu sıcaklığı değişimlerinin zamandan bağımsız olduğu,
- Düşük su derinliğinden dolayı havuzun yan yüzeylerinin, taban yüzeyine göre oldukça küçük bir yüzey alanına sahip olduğu,
- Yüksek sıcaklıklı aktif çalışan güneş enerjili damıtma sisteminde, kolektöre giden boru hattındaki ısı kayıpların ihmal edilebildiği,
- Havuzdaki deniz suyunda herhangi bir katmanlaşmanın oluşmadığı,
- Yüksek sıcaklıklı aktif çalışan güneş enerjili damıtma sisteminde, vakum tüplü güneş kolektörüne giriş suyu ilk sıcaklığının yılın o ayındaki deniz suyu sıcaklığı ile eşit değerde olduğu,
- Saydam cam örtünün sıcaklığı, ilk iterasyonda çevre hava sıcaklığı ile eşit olarak kabul edilip iterasyona başlandığı,
- Havuzdaki deniz suyu sıcaklığının, iterasyonun ilk adımı için Mersin deniz suyu sıcaklık değerine eşit olduğu,
- Havuzdaki su derinliğinin az olduğu uygulamalarda, A_y değeri, A_t değerine göre çok küçük olduğundan, yan yüzeylerden olan ısı kayıplar ihmal edilebildiği,

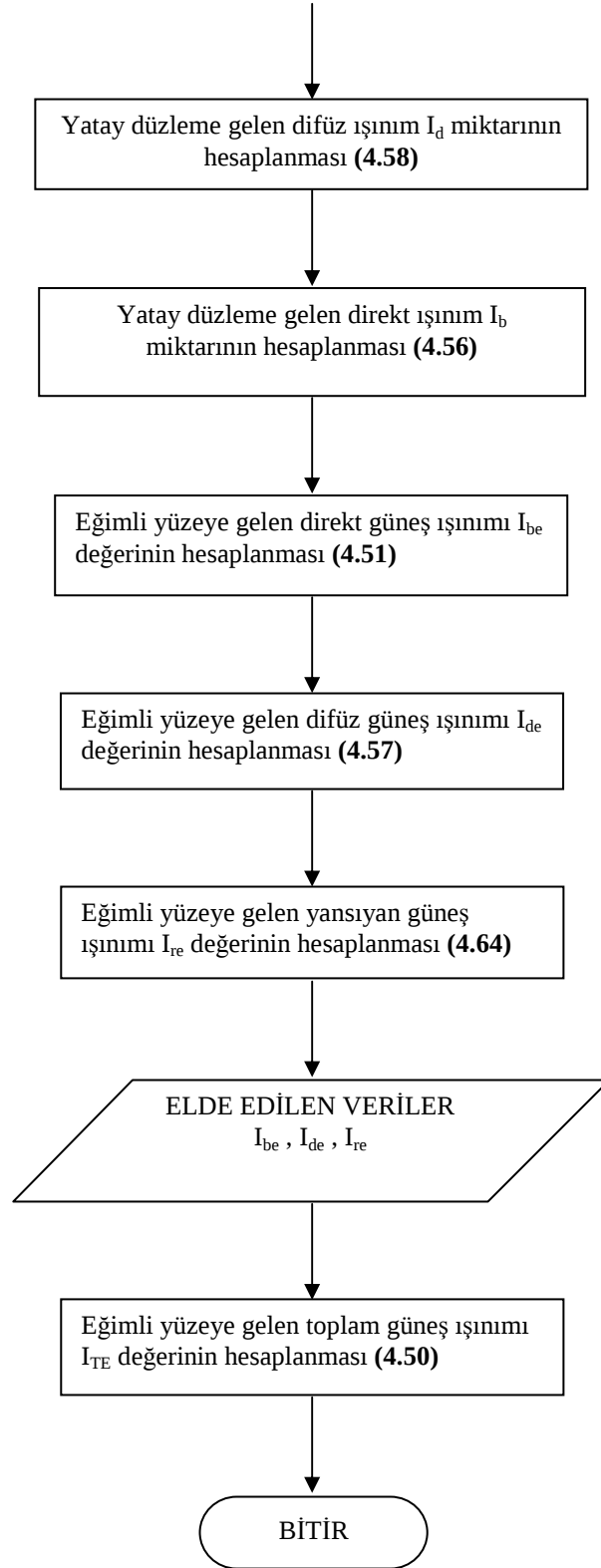
- Damıtma havuzlarının üstünü örten saydam cam örtü kalınlıkları düşük değerlerde olduğundan, cam yüzeydeki sıcaklık dağılımının üniform olduğu,
- Su yüzeyi ve saydam cam örtünün birbirine paralel iki sonsuz düzlem olduğu varsayılarak aralarında ışınlama olan ısı geçişinin gerçekleştiği,
- Her iki tip güneş enerjili damıtma sisteminin de yıl boyunca aralıksız çalıştığı (aktif oldukları) kabul edilmektedir.

5.3 Güneş Işınımı Hesaplamaları

Mersin Meteoroloji Müdürlüğü'nden alınan yatay düzleme gelen güneş ışınlama değerleri, 1999 – 2009 yılları arasında kaydedilen aylık ortalama değerlerdir. Güneş ışınlama değerleri, Mersin ili enlem açısı ve diğer gerekli tüm veriler ortaya konduktan sonra, damıtma sistemleri bileşenlerinden saydam cam örtü ve vakum tüplü güneş kolektörü üzerine düşen güneş ışınlama miktarları hesaplanmıştır. Hesaplanan ışınlama değerleri, aylık ortalama değerlerdir. Saydam cam örtünün eğim açısı 10° , Mersin ili enlem açısı 36° , vakum tüplü güneş kolektörü kurulum açısı ise yine 36° 'dir. Güneş kolektörleri, yıl boyu çalışan bir işletme durumu için bulunulan yerin enlem derecesine eşit bir açı ile veya yalnız yaz sezonunda sıcak suyun istenildiği işletme durumunda bulunulan yerin enlem derecesinden 15° eksik bir açı ile veya yalnız kışın kullanılması durumunda ise enlem derecesinden 15° fazla bir açı ile yerleştirilmesi tavsiye edilmektedir (Bulut, 2008). Bundan dolayı, bu çalışmadaki damıtma sistemlerinin yıl boyunca aktif oldukları kabul edildiğinden, kolektörün eğim açısı Mersin ili enlem açısına eşit olarak alınmıştır. Saydam cam örtü ve vakum tüplü güneş kolektörü üzerine düşen güneş ışınlamalarının hesaplanmasında, gerekli tüm veriler ortaya konduktan sonra, öncelikle düz yüzeye gelen direkt ve difüz ışınlama miktarlarını hesaplamak için gereken bazı değerler belirlenmelidir. Belirlenen bu değerlerle yatay düzleme gelen ışınlama miktarları hesaplanır ve bu ışınlama değerlerinden yararlanılarak da eğimli yüzeylere gelen ışınlama miktarları bulunabilmektedir (Şekil 5.1).



Şekil 5.1 : Cam örtü ve kolektör üzerine düşen güneş ışıınımı algoritması.



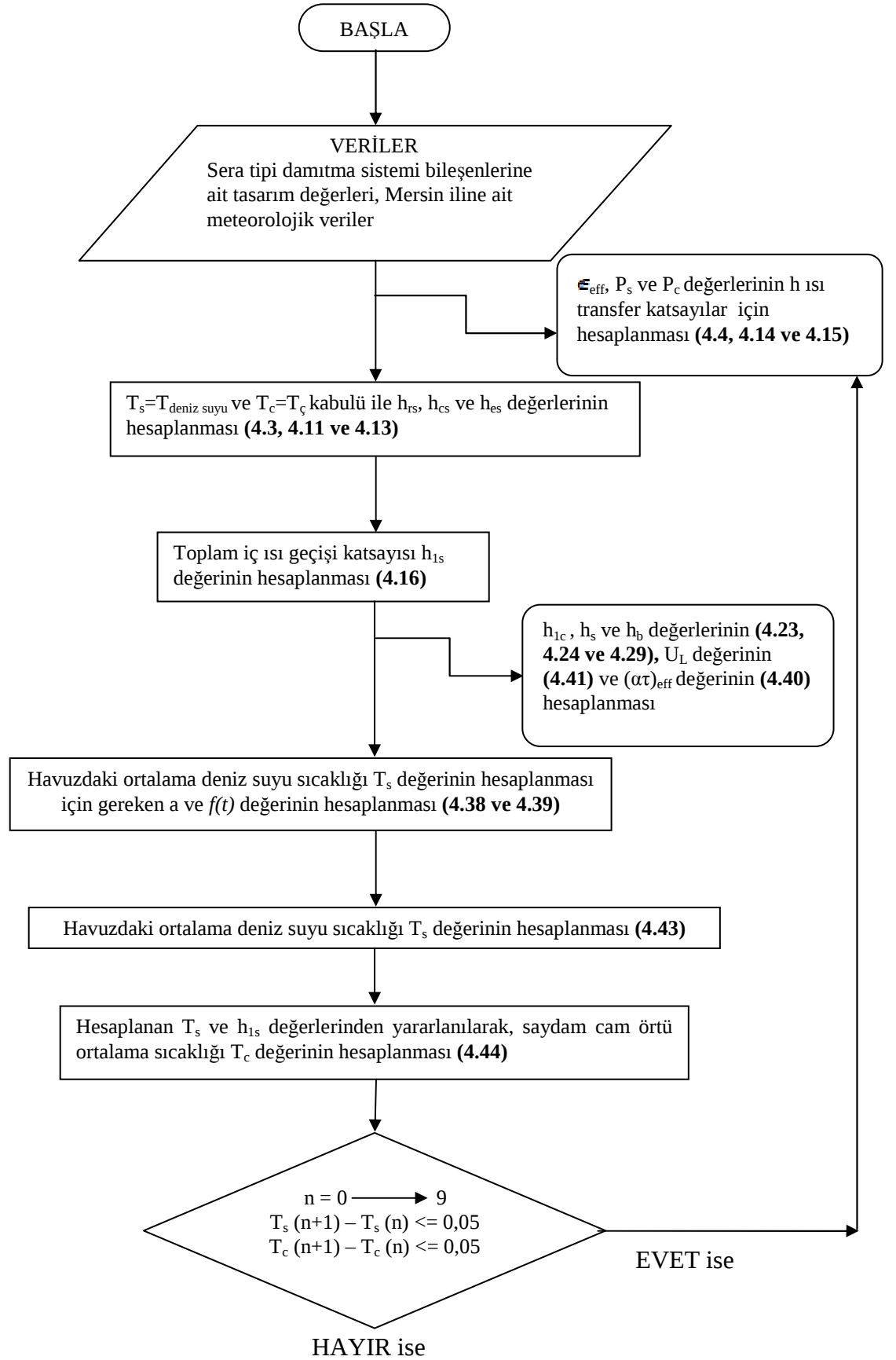
Şekil 5.1 : Cam örtü ve kolektör üzerine düşen güneş ışıınımı algoritması (devam).

5.4 Verim Hesaplamaları

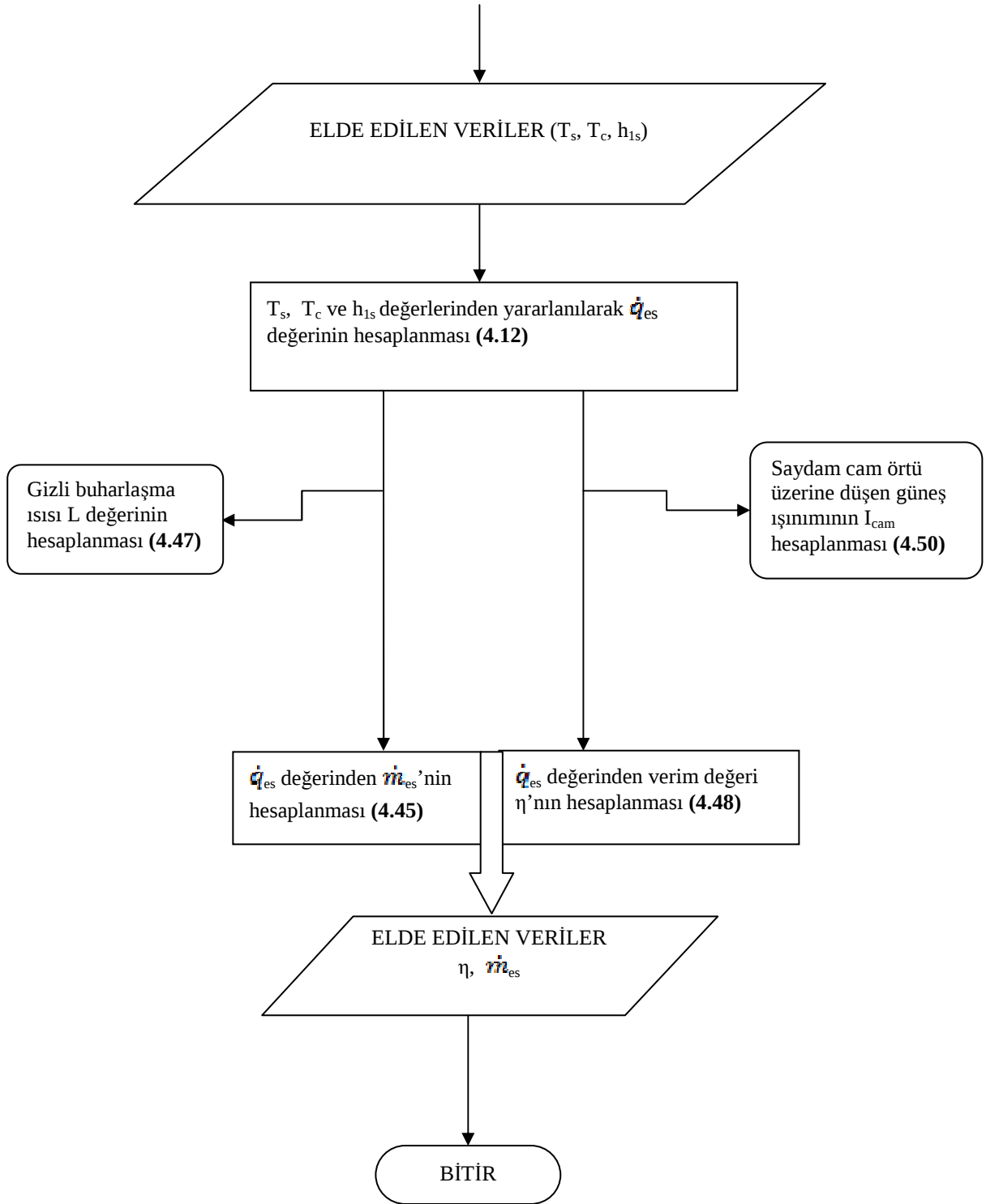
Verim değerlerinin hesaplanması için gereken tüm veriler (sistemlerin tasarım değerleri, Mersin iline ait meteorolojik veriler) belirlendikten sonra, her iki tip güneş enerjili damıtma sistemi için hesaplamalara başlanmıştır. Hesaplamalar 10 adımda iterasyon ile gerçekleştirilmiştir. Saydam cam örtü sıcaklığının çevre hava sıcaklığına, havuzdaki su sıcaklığının ise Mersin sahili deniz suyuna eşit kabul edildiği birinci iterasyon ile işlemler başlamaktadır. Birinci iterasyondan elde edilen yeni havuz suyu ve saydam cam örtü sıcaklıkları, ikinci iterasyonun girdi değerleridir. Bu işleyiş 10 numaraları iterasyona kadar bu şekilde ilerlemektedir (Şekil 5.2 ve 5.3). 10 adımlık iterasyonun kararlı sonuçlar elde etmek için yeterli olduğu gözlemlenmiştir.

5.4.1 Sera tipi damıtma sisteminin verim hesaplamaları

$n=0$ adımlı iterasyonda $T_s = T_{\text{deniz_suyu}}$ ve $T_c = T_{\text{ç}}$ kabul edilerek hesaplamalara başlanmıştır. İterasyonun her adımında T_s , T_c ve h_{1s} değerleri hesaplanmaktadır. Ancak herhangi bir n . adımdaki T_c değerlerinin hesaplanmasında, n . adımdaki T_s değeri kullanılırken, h_{1s} katsayısının $n-1$. adımdaki sayısal değeri kullanılmaktadır (Şekil 5.2). Bunun nedeni, ilk adımda T_s ve T_c değerlerinin deniz suyu ve çevre hava sıcaklıklarına eşit olduğu kabul edilerek h_{1s} hesaplanmıştır; yani h_{1s} için bir ilk kabul yapılamamıştır.



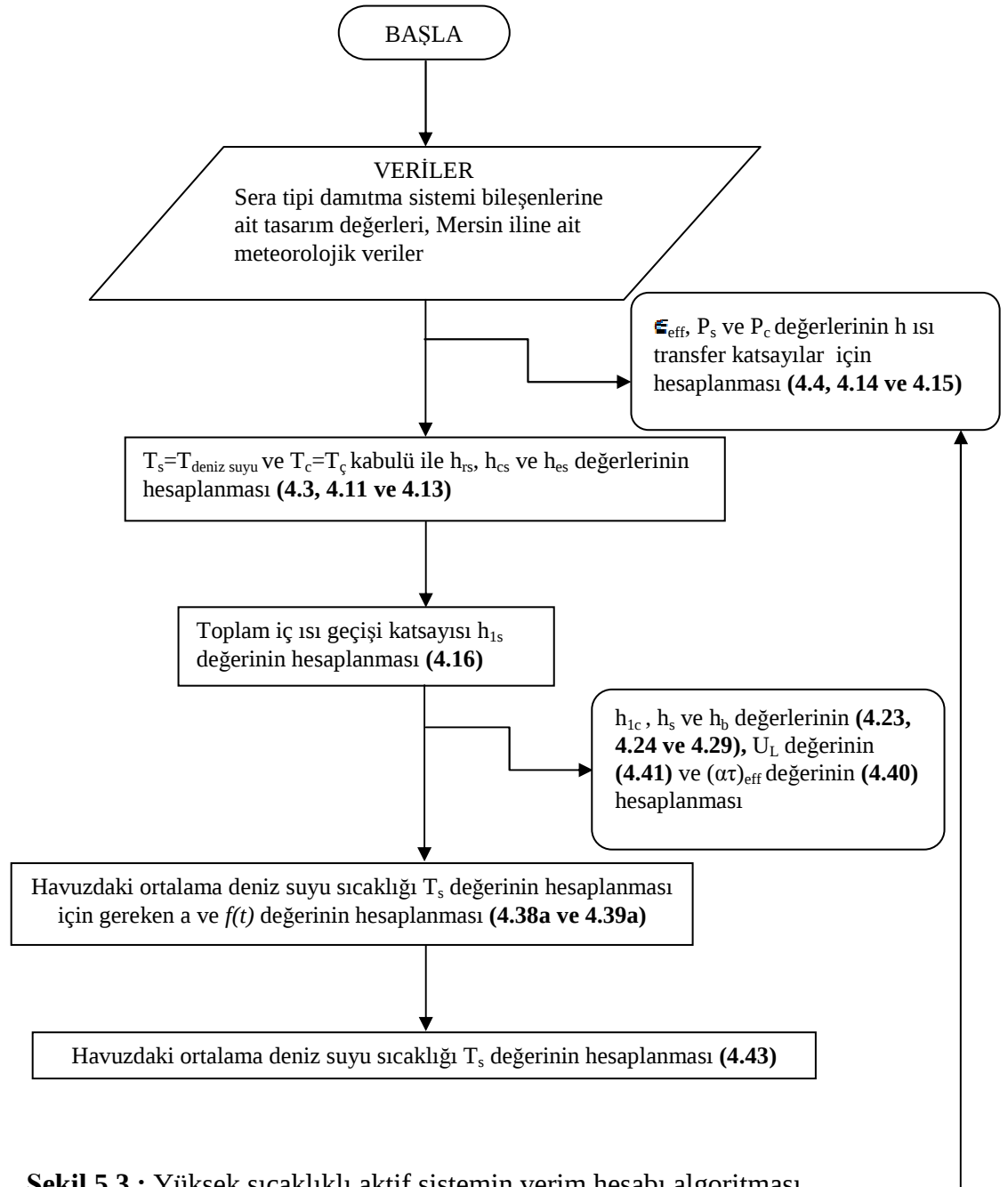
Şekil 5.2 : Sera tipi sistemin verim hesabında kullanılan algoritma.



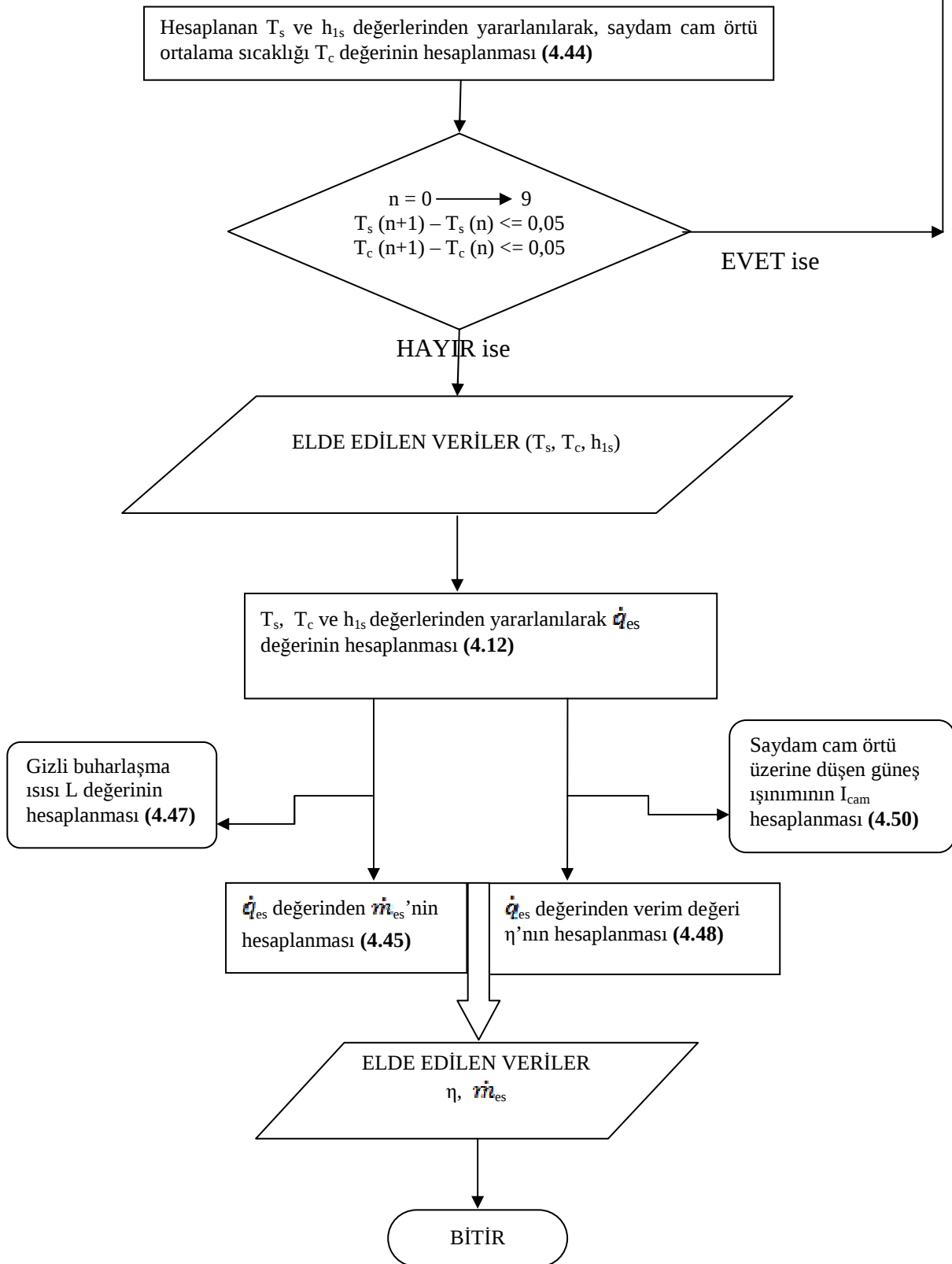
Şekil 5.2 : Sera tipi sistemin verim hesabında kullanılan algoritma (devam).

5.4.2 Yüksek sıcaklıklı aktif çalışan damıtma sisteminin verim hesaplamaları

Yüksek sıcaklıklı aktif çalışan damıtma sisteminde kullanılan algoritma esas olarak sera tipi sistemdeki ile aynıdır. Aradaki fark, sadece a ve $f(t)$ bağıntılarında, kolektörden sağlanan ilave ısıdan kaynaklanan değişikliklerdir (Çizelge 4.6). Bu bağıntıların sonuçlarındaki farklılardan dolayı T_s ve T_c değerleri de değişmektedir. İterasyon akışı bu sistem için de aynı şekilde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.3 : Yüksek sıcaklıklı aktif sistemin verim hesabı algoritması.



Şekil 5.3 : Yüksek sıcaklıklı aktif sistemin verim hesabı algoritması (devam).

6. SONUÇLAR

Bu çalışmadaki amaç, iki farklı tipte güneş enerjili damıtma sistemlerine ait sonuçların karşılaştırılmasıdır. Söz konusu damıtma sistemlerine ait sonuçlar; havuzdaki su sıcaklık (T_s) değerleri, havuzun üstünü örten saydam cam örtü sıcaklık (T_c) değerleri, havuzdaki suyun buharlaşma ısı katsayıları (h_{es}), günlük elde edilen temiz su miktarları ($\dot{m}_{es}$) ve verim (η) değerleridir.

6.1 Yapılan Hesaplamalardan Elde Edilen Sonuçlar

Bu bölümde sera tipi ve yüksek sıcaklıklı aktif çalışan güneş enerjili damıtma sistemleri için yapılmış hesaplamalara ait sonuçlar çizelgeler ve grafikler halinde sunulmuştur. Her iki tip damıtma sistemi için havuzdaki su sıcaklıkları T_s , saydam cam örtü sıcaklıkları T_c , buharlaşma ısı katsayıları h_{es} , günlük elde edilen temiz su miktarları $\dot{m}_{es}$ ve verim değerleri % η aylık ortalama değerler olarak hesaplanmıştır. Sera tipi damıtma sistemine ait sonuçlar Çizelge 6.1’de, yüksek sıcaklıklı damıtma sistemine ait sonuçlar ise Çizelge 6.2’de verilmiştir. Bu hesaplamaların yapılmasında ihtiyaç duyulan diğer bir veri grubu ise güneş ışıınımı şiddetidir. Yeryüzüne düşen, sistemlerimizdeki eğik yüzeyler üzerine düşen güneş ışıınımı miktarları için yapılan hesaplamaların sonuçları ise Çizelge 6.3’te verilmiştir. Sistemlerin verim hesaplamalarında kullanılan iki ana değişken olan cam örtü ve su sıcaklıklarının birbiriyle ilişkisinin daha net görülebilmesi için, sonuçlar grafiksel olarak da sunulmuştur. Şekil 6.1’de yeryüzüne düşen, vakum tüplü güneş kolektörü ve saydam cam örtü üzerine düşen güneş ışıınımı miktarları görülmektedir. Şekil 6.2 ve Şekil 6.3’te ise, sırasıyla sera tipi ve yüksek sıcaklıklı aktif damıtma sistemleri için hesaplanmış aylık ortalama sıcaklık değerleri ve arasındaki farkın aylara göre değişimi görülmektedir.

Çizelge 6.1 : Sera tipi güneş enerjili damıtma sistemi sonuçları.

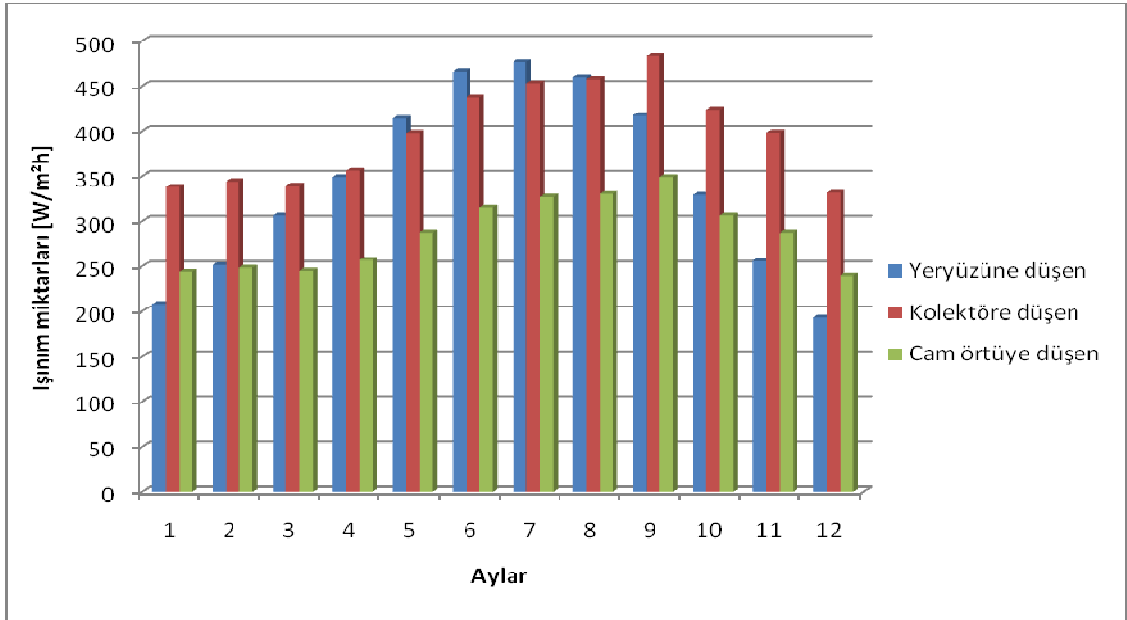
Aylar	$T_s [^{\circ}\text{C}]$	$T_c [^{\circ}\text{C}]$	$h_{es} [\text{W/m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}]$	$\dot{m}_{es} [\text{Lt}]$	$\eta [\%]$
Ocak	22,7	15,5	3,93	0,416	11,55
Şubat	25,3	17,7	4,75	0,536	14,58
Mart	30,3	22,3	6,23	0,744	20,41
Nisan	35,7	28,7	8,30	0,870	22,64
Mayıs	41,7	36,5	11,28	0,885	20,45
Haziran	46,5	42,9	14,40	0,789	16,53
Temmuz	49,1	47,3	16,41	0,459	9,27
Ağustos	48,8	47,6	16,29	0,296	5,92
Eylül	45,6	43,6	13,87	0,420	7,96
Ekim	38,6	34,9	9,72	0,536	11,68
Kasım	30,3	24,8	6,27	0,516	12,05
Aralık	23,2	16,8	4,21	0,399	11,26

Çizelge 6.2 : Yüksek sıcaklıklı aktif çalışan damıtma sistemi sonuçları.

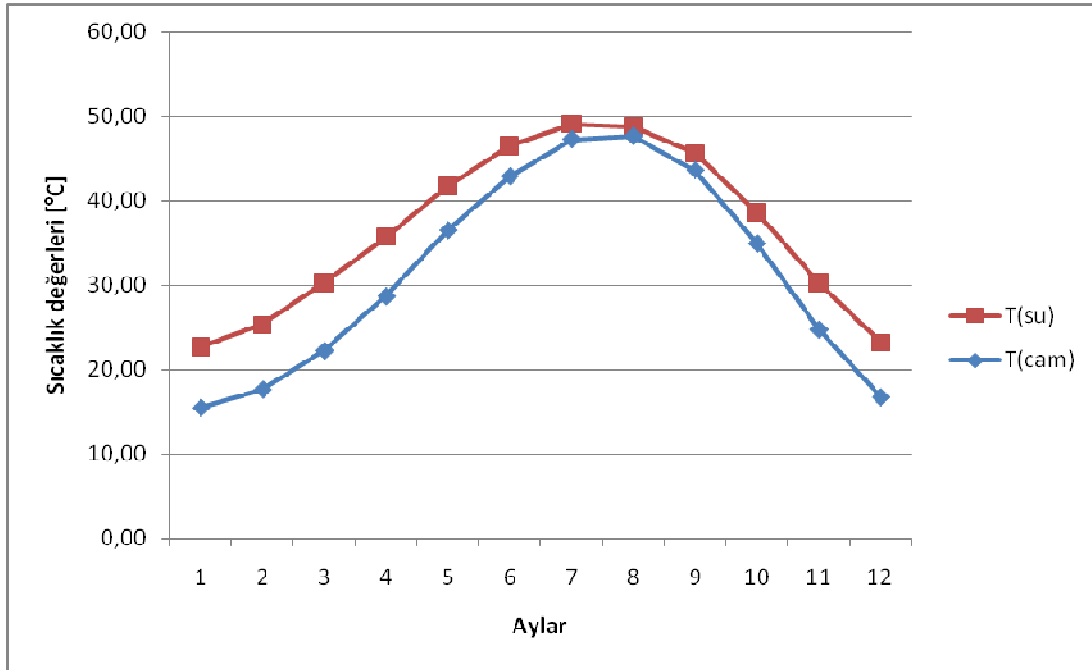
Aylar	$T_s [^{\circ}\text{C}]$	$T_c [^{\circ}\text{C}]$	$h_{es} [\text{W/m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}]$	$\dot{m}_{es} [\text{Lt}]$	$\eta [\%]$
Ocak	29,7	50,2	12,19	0,371	23,57
Şubat	29,4	50,8	12,39	0,392	24,51
Mart	30,3	54,1	13,82	0,488	30,84
Nisan	33,5	59,4	15,95	0,615	37,00
Mayıs	38,7	67,0	17,46	0,739	39,49
Haziran	44,3	78,9	15,14	0,791	38,32
Temmuz	47,7	73,6	41,53	1,627	75,79
Ağustos	48,7	74,0	42,29	1,619	74,59
Eylül	48,8	89,0	8,90	0,542	23,63
Ekim	43,6	71,2	13,94	0,579	28,96
Kasım	37,5	59,4	15,52	0,509	27,24
Aralık	31,0	52,1	12,97	0,406	26,29

Çizelge 6.3 : Aylara göre hesaplanan ortalama güneş ışıınımı değeri.

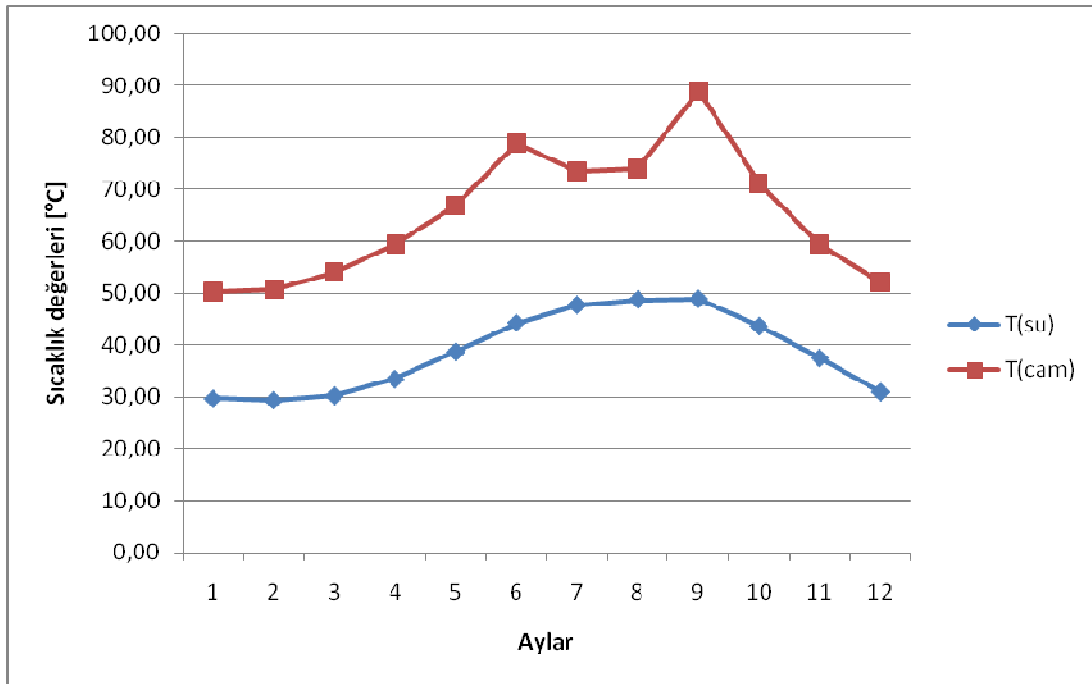
Aylar	$I_{\text{yeryüzü}} [\text{W/m}^2\text{h}]$	$I_{\text{cam örtü}} [\text{W/m}^2\text{h}]$	$I_{\text{kolektör}} [\text{W/m}^2\text{h}]$
Ocak	207,92	244,23	338,17
Şubat	251,67	248,57	344,17
Mart	306,25	245,22	339,53
Nisan	349,17	257,17	356,09
Mayıs	414,17	287,66	398,30
Haziran	465,83	315,79	437,25
Temmuz	477,08	327,20	453,04
Ağustos	459,58	330,49	457,60
Eylül	417,50	349,18	483,48
Ekim	329,58	306,20	423,97
Kasım	256,25	287,81	398,51
Aralık	193,33	239,66	331,84



Şekil 6.1 : Kolektör, cam örtü ve yeryüzüne düşen güneş ışıınımı miktarları.



Şekil 6.2 : Sera tipi sistem için su ve cam örtü sıcaklıkları.



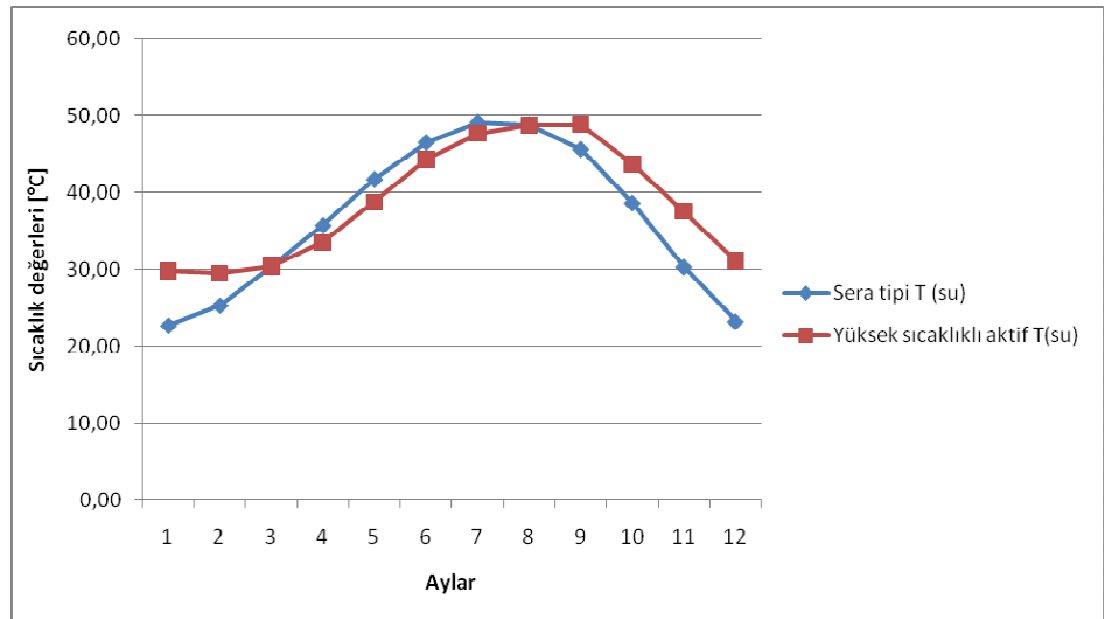
Şekil 6.3 : Yüksek sıcaklıklı aktif sistem için su ve cam örtü sıcaklıkları.

6.2 İki Tip Damıtma Sistemi İçin Karşılaştırmalı Değerlendirmeler

Sera tipi ve yüksek sıcaklıklı aktif çalışan damıtma sistemlerine ait sonuçlar ayrı başlıklar altında karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

6.2.1 Havuzdaki su sıcaklıklarının (T_s) karşılaştırılması

Damıtma havuzunda bulunan suyun sıcaklık değerlerine ait sonuçlarda sera tipi damıtma sisteminin, Mart – Ağustos ayları arasında daha yüksek değerlerde olduğu görülmektedir. Diğer aylarda ise yüksek sıcaklıklı aktif damıtma sisteminin su sıcaklık değerleri daha yüksek seviyelerdedir (Şekil 6.4). Mart – Ağustos ayları arasında, güneş ışıınımı şiddetleri diğer aylara nazaran daha yüksek değerlerdedir, bu yüzden havuz üzerindeki saydam cam örtüden geçerek havuzdaki suya taşınan enerji, su sıcaklığının bu aylar aralığında, her iki damıtma sisteminde de daha yüksek olmasını sağlamaktadır. Bu periyotta, sera tipi damıtma sisteminin su sıcaklık değerleri diğer sisteme nazaran daha yüksektir. Güneş ışıınınının yüksek olduğu bu dönemde, kolektörden su sirkülasyonu durumu söz konusu olmadığından, havuzdaki durağan suyun sıcaklık değerleri daha yüksektir.

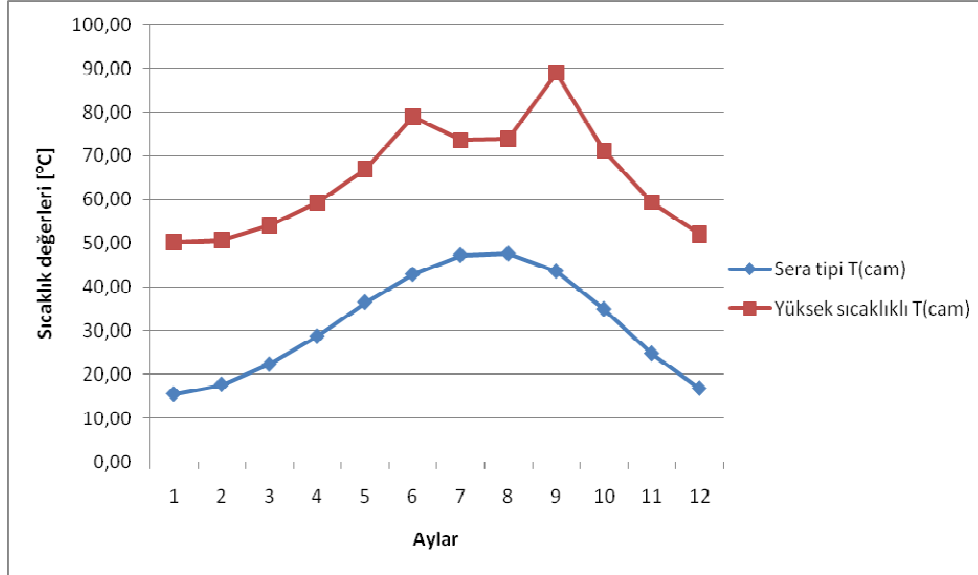


Şekil 6.4 : Sera tipi ve yüksek sıcaklıklı sistemler için su sıcaklıkları.

6.2.2 Saydam cam örtü sıcaklıklarının (T_c) karşılaştırılması

Damıtma havuzunun üzerini örten saydam cam örtünün sıcaklık değerlerine ait sonuçlarda yüksek sıcaklıklı damıtma sisteminin tüm yıl boyunca daha yüksek değerlerde olduğu görülmektedir (Şekil 6.5). Yüksek sıcaklıklı aktif çalışan damıtma

sisteminde, sistemde bulunan ilave bileşen kolektörden dolayı, tüm sisteme giren güneş enerjisi miktarı artmaktadır. Bu durum dolaylı olarak, saydam cam örtünün sıcaklığının yıl boyunca daha yüksek olmasını sağlamaktadır.



Şekil 6.5 : Sera tipi ve yüksek sıcaklıklı sistemler için cam örtü sıcaklıkları.

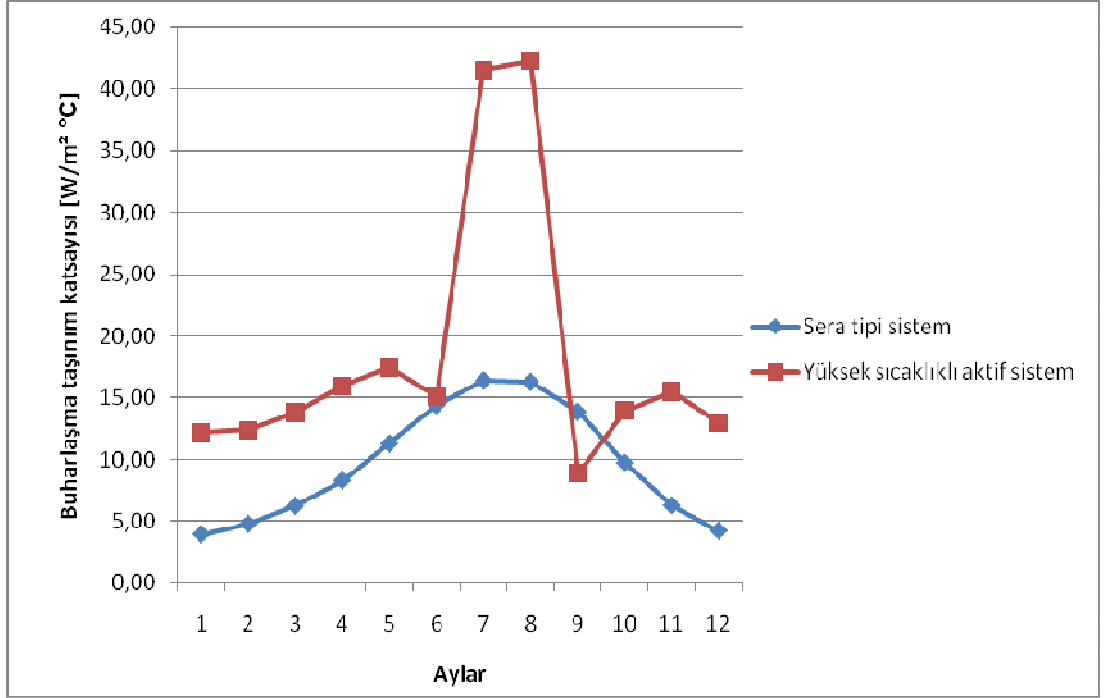
6.2.3 Buharlaşma ısı katsayılarının (h_{es}) karşılaştırılması

Sistemlere ait buharlaşma katsayıları, su ve cam örtü sıcaklıkları arasındaki fark ile ters orantılıdır. Yüksek sıcaklıklı aktif sistemde, Temmuz – Ağustos aylarındaki söz konusu sıcaklık farkı minimum olduğundan, bu aylardaki buharlaşma ısı katsayısında ciddi bir sıçrama görülmektedir (Şekil 6.6). Eylül hariç, Temmuz ve Ağustos ayları dışındaki dönemlerde ise, yüksek sıcaklıklı aktif sistemin buharlaşma ısı katsayısı sera tipi sistemden daima yüksektir. Yine her iki sistem için de, buharlaşma ısı katsayısı yıl boyunca parabolik bir değişim sergilemektedir. Yaz döneminde, su ve cam örtü sıcaklık farkları kışa nazaran daha düşük olduğundan, buharlaşma prosesinde yaz aylarında genel bir yükselme vardır.

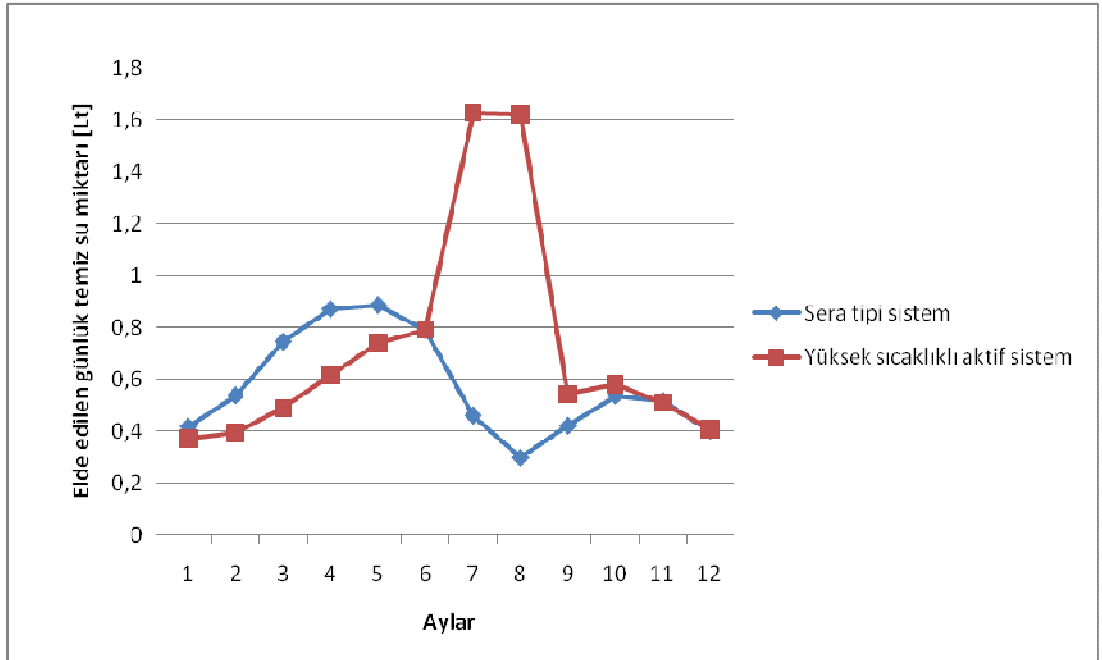
6.2.4 Elde edilen temiz su miktarlarının ($\dot{m}_{es}$) karşılaştırılması

Elde edilen temiz su miktarını etkileyen en önemli faktör buharlaşma ısı katsayısıdır. Bundan dolayı da, buharlaşma ısı katsayısı grafiği ile aynı eğilimdedir (Şekil 6.7). Diğer yandan, temiz su miktarı, havuz suyu ve saydam cam örtü sıcaklıkları arasındaki farka da bağlıdır. Sera tipi güneş enerjili damıtma sisteminde bu fark ($T_s - T_c$) en fazla 10^0C değerlerinde iken, yüksek sıcaklıklı aktif çalışan sistemde 20^0C

değerlerine çıkabilmektedir (Şekil 6.2 ve 6.3). Ancak bu fark, elde edilen temiz su miktarını direkt etkilememekte, esas etki buharlaşma ısı katsayısından olmaktadır.



Şekil 6.6 : Sera tipi ve yüksek sıcaklıklı sistemler için buharlaşma ısı katsayıları.



Şekil 6.7 : Sera tipi ve yüksek sıcaklıklı sistemler için günlük temiz su eldesi miktarı.

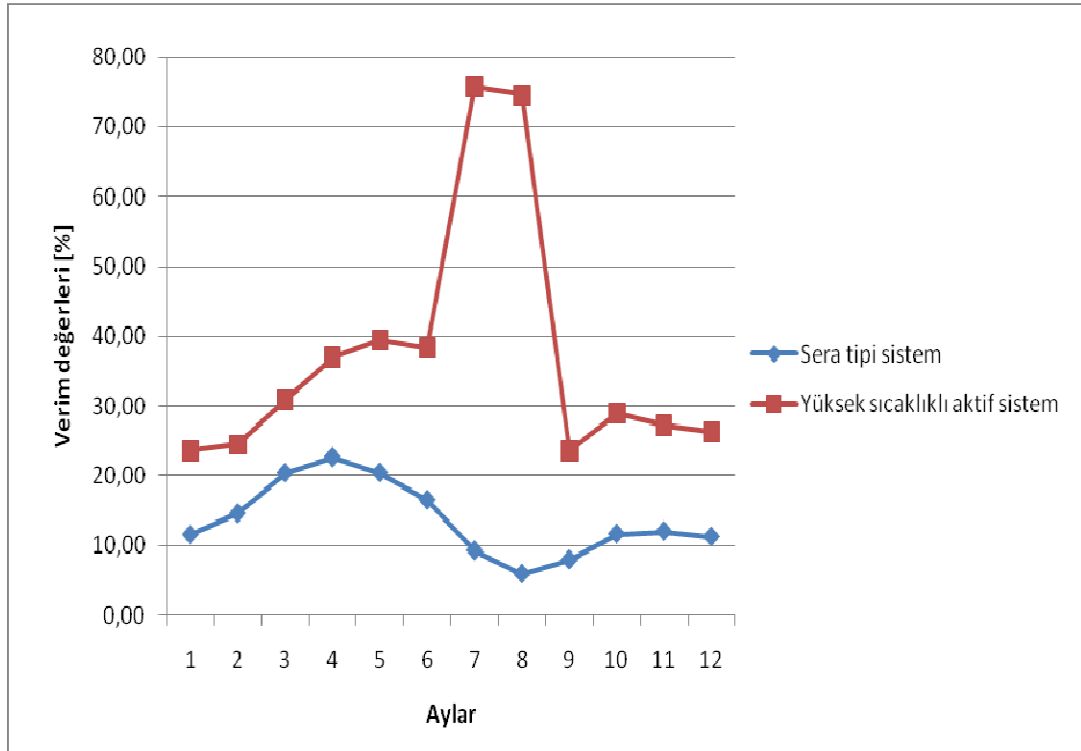
6.2.5 Verim değerlerinin (η) karşılaştırılması

Sera tipi damıtma sistemine ait en yüksek verim değeri Nisan ayı içerisinde iken, yüksek sıcaklıklı aktif sistemin en yüksek verimi Temmuz ayındadır. Bunun nedeni, buharlaşmaya etki eden tek parametrenin güneş ışıını olmaıdır. Sera tipi sisteme vakum tüplü güneş kolektörünün entegre edilmesi, güneş ışıını parametresini daha etkili hale getirmektedir.

Her iki sistemin de verim sonuçlarını karşılaştırdığımızda, verimler arası farkın Temmuz ve Ağustos aylarında maksimum değerlere ulaştığını görmekteyiz (Çizelge 6.4). Bu durum da, sera tipi sisteme entegre edilen bir güneş kolektörünün etkisini daha net açıklamaktadır. Yaz ayları dışında da güneş kolektörü sistem verimine katkıda bulunmuş, ancak güneş kolektörlerinin en fazla faydalanılabildiği Temmuz ve Ağustos aylarında (özellikle Güney illerimizde) bu fayda en yüksek seviyelere çıkabilmiştir. Şekil 6.8’de görüldüğü üzere, her iki sistemin verim eğrileri genellikle paralel bir şekilde giderken, yüksek sıcaklıklı aktif sistemde Temmuz ve Ağustos aylarında ciddi bir fark ortaya çıkmaktadır. Bunun nedeni, Mersin şartlarında Temmuz ve Ağustos aylarında, sisteme entegre edilmiş olan vakum tüplü güneş kolektörünün maksimum etki göstermesidir.

Çizelge 6.4 : Her iki tip sisteme ait verim değerleri arasındaki farklar.

Aylar	Sera tipi sistem	Yüksek sıcaklıklı sistem	Verim farkları (%)
Ocak	11,55	23,57	12,03
Şubat	14,58	24,51	9,92
Mart	20,41	30,84	10,43
Nisan	22,64	37,00	14,37
Mayıs	20,45	39,49	19,04
Haziran	16,53	38,32	21,79
Temmuz	9,27	75,79	66,52
Ağustos	5,92	74,59	68,68
Eylül	7,96	23,63	15,67
Ekim	11,68	28,96	17,28
Kasım	12,05	27,24	15,19
Aralık	11,26	26,29	15,03



Şekil 6.8 : Sera tipi ve yüksek sıcaklıklı sistemler için verim değerleri.

6.3 Öneriler

Sera tipi güneş enerjili damıtma sistemine ait bileşenler (saydam cam örtü, içinde deniz suyu bulunan havuz, havuzun ısı kayıplara karşı yalıtıldığı yalıtım malzemesi) üzerinde değişiklikler öngörülebilir, farklı özelliklerde malzemeler seçilerek, bu malzemelerin sistem verimi üzerindeki etkileri araştırılabilir.

Yüksek sıcaklıklı aktif çalışan güneş enerjili damıtma sisteminde, farklı tipte güneş kolektörleri seçilerek, yine sistem verimi üzerindeki etkileri incelenebilir.

Her iki sistemin termo-ekonomik analizi yapılarak, optimum bir güneş enerjili damıtma sistemi belirlenebilir.

Tüm bu değerlendirmeler, deneysel bir çalışma ile desteklenerek daha gerçekçi sonuçlar elde edilebilir.

Bu çalışmalar, ülkemizin başka bir iline ait iklimsel koşullarda uygulanarak verim sonuçları araştırılabilir. Örneğin, Mersin ilimizde yüksek sıcaklıklı aktif güneş enerjili damıtma sistemi genel olarak daha yüksek verimlere sahip iken, başka bir ilimizde sera tipi güneş enerjili damıtma sistemleri tercih edilebilir. Tüm bunlar, ilgili şehrin iklimsel koşullarına göre değişebilmektedir.

KAYNAKLAR

- Abu-Arabi, M., Zurigat, Y., Al-Hinai, H., Al-Hiddabi, S.,** Modeling and performance analysis of a solar desalination unit with double-glass cover cooling, *Desalination*, 143 (2002) 173-182.
- Aybar, H. Ş.,** Mathematical modeling of an inclined solar water distillation system, *Desalination*, 190 (2006) 63-70.
- Aybar, H. Ş., Egelioglu F., Atikol, U.,** An experimental study on an inclined solar water distillation system, *Desalination*, 180 (2005) 285-289.
- Ayhan, T., Madani, H. A.,** Feasibility study of renewable energy powered seawater desalination technology using natural vacuum technique, *Renewable Energy*, 35 (2010) 506-514.
- Boukar, M., Harmim, A.,** Performance evaluation of a one-sided vertical solar still tested in the Desert of Algeria, *Desalination*, 183 (2005) 113-126.
- Boukar, M., Harmim, A.,** Effect of climatic conditions on the performance of a simple basin solar still: a comparative study, *Desalination*, 137 (2001) 15-22.
- Bulut, H.,** Adana ilinde eğik yüzeylere gelen güneş ışıyım miktarının belirlenmesi, Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık fakültesi 30.yıl sempozyumu, (2008) 1-6.
- Can, M., Etemoglu, A.B., Avcı, A.,** Uludag Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Deniz Suyundan Tatlı Su Eldesinin Teknik ve Ekonomik Analizi, (2002), Cilt 7, No: 1, s. 147-160.
- Cingiz, Z.,** Güneş Enerjisiyle Deniz Suyu Damıtma Uygulaması, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Bilim Uzmanlığı Tezi, Ocak'2007.
- Çay, Y., Atik, K., Cingiz, Z.,** Güneş enerjisiyle damıtma sisteminin farklı havuz yüzeyleri için deneysel olarak incelenmesi, VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Poster Bildirisi, 931, Ekim'2007.
- Dev, R., Tiwari, G. N.,** Characteristic equation of a passive solar still, *Desalination*, 245 (2009) 246-265.
- Dimri, V., Sarkar, B., Singh U., Tiwari, G. N.,** Effect of condensing cover material on yield of an active solar still: an experimental validation, *Desalination*, 227 (2008) 178-189.
- Duffie J. A., Beckman W. A.,** Solar engineering of thermal processes, John Wiley & Sons, Inc. 2006.
- Dwivedi, V. K., Tiwari, G. N.,** Experimental validation of thermal model of a double slope active solar still under natural circulation mode, *Desalination*, 250 (2010) 49-55.

- Eltawil, M. A., Zhengming, Z., Yuan, L.,** A review of renewable energy Technologies integrated with desalination systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13 (2009) 2245-2262.
- Fath, H.,** Solar distillation: a promising alternative for water provision with free energy, simple technology and a clean environment, *Desalination*, 116 (1998) 45-56.
- Galvez, J. B., Garcia-Rodriguez, L., Martin-Mateos, I.,** Seawater desalination by an innovative solar - powered membrane distillation system: the MEDESOL Project, *Desalination*, 246 (2009) 567-576.
- Goosen, M. F. A., Sablani, S. S., Shayya, W. H., Paton, C., Al-Hinai, H.,** Thermodynamic and economic considerations in solar desalination, *Desalination*, 129 (2000) 63-89.
- Güngör A., Yıldız A., Kartal Y.,** Ülkemiz enlemleri açık gün ışıınının hesaplanması için bir algoritma, Örnek uygulama: Mersin, 2006.
- Hough, T. P.,** Recent developments in solar energy, Nova Science Publishers, Inc., NewYork, 2007.
- Hough, T. P.,** 2006, Trends in solar energy research, Nova Science Publishers, Inc., New York, "Advances in solar energy technology" by G. N. Tiwari, 134-170.
- Incropera F. P., DeWitt D. P.,** Isı ve kütle geçişinin temelleri, Purdue Üniversitesi, 2007.
- Kumar, S., Tiwari, G. N., Singh, H. N.,** Annual performance of an active solar distillation system, *Desalination*, 127 (2000) 79-88.
- Mittelman, G., Kribus, A., Mouchtar, O., Dayan, A.,** Water desalination with concentrating photovoltaic / thermal (CPVT) systems, *Solar Energy*, 83 (2009)1322-1334.
- Öztürk, Y.,** Güneş Enerjisiyle Tuzlu Su Damıtılması, Bilim Uzmanlık Tezi (2004), M.Ü., Makine Eğitimi, İstanbul.
- Öztürk, H. H.,** 2008, Güneş enerjisi ve uygulamaları, Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Birsen Yayınevi, İstanbul, 178-179.
- Perlin, J., Gordes, J.N.,** An Historical and Prospective Review of Solar Water Purification, *Bringing Water to the World*, ASES, Riverton, Santa Barbara, (2005).
- Qiblawey, H. M., Banat, F.,** Solar thermal desalination technologies, *Desalination*, 220 (2008) 633-644.
- Sadineni, S. B., Hurt, R., Halford, C. K., Boehm, R. F.,** Theory and experimental investigation of a weir-type inclined solar still, *ENERGY*, 33 (2008) 71-80.
- Sipahi, D.,** Sıfır enerji maliyeti ile büyük ölçekli desalinasyon senaryosu, VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, UTES'2008, İstanbul.
- Smith, M., Shaw, R.,** Waterlines: Journal for Appropriate Technologies for Water Supply and Sanitation, *Desalination*, 12, (1994), 29-32.

- Tiwari, G. N., Shukla, S. K., Singh, I. P.,** Computer modeling of passive / active solar stills by using inner glass temperature, *Desalination*, 154 (2003) 171-185.
- Tiwari, G. N., Dimri, V., Chel, A.,** Parametric study of an active and passive solar distillation system: energy and exergy analysis, *Desalination*, 242 (2009) 1-18.
- Tiwari, G. N.,** 2004: *Solar Energy: Fundamentals, Design, Modelling and Applications*, Narosa Publishing House. Centre for Energy Studies, Indian Institute of Technology, Delhi.
- Torchia-Nunez, J. C., Porta-Gandara, M. A., Cervantes-de Gortari, J. G.,** Exergy analysis of a passive solar still, *Renewable Energy*, 33 (2008) 608-616.
- Tripathi, R., Tiwari, G. N.,** Thermal modeling of passive and active solar stills for different depths of water by using the concept of güneş enerjili fraction, *Solar Energy*, 80 (2006) 956-967.
- Url-1** <<http://www.repa.eie.gov.tr>>, alındığı tarih 21.06.2010.
- Url-2** <<http://www.upload.wikimedia.org/wikipedia>>, alındığı tarih 23.06.2010.
- Url-3** <<http://www.eie.gov.tr>>, alındığı tarih 10.07.2010.
- Url-4** <<http://www.gunessistemleri.com>>, alındığı tarih 10.07.2010.
- Url-5** <<http://www.kuzeymak.com>>, alındığı tarih 12.07.2010.
- Yiğit, A. ve Atmaca, İ.,** 2010, Güneş Enerjisi, ALFA-AKTÜEL Yayınları, 32-71 ve 163-164.
- Zurigat, Y. H., Abu-Arabi, M. K.,** Modeling and performance analysis of a regenerative solar desalination unit, *Applied Thermal Engineering*, 24 (2004) 1061-1072.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Mehtap ERMEK KARAHASANOĞLU

Doğum Yeri ve Tarihi: İSTANBUL / 25.04.1978

Adres: Portakal Mah. 80023 Sok. No:2 Toroslar - MERSİN

Lisans Üniversite: İstanbul Teknik Üniversitesi

Yayın Listesi: -