

Bilecik İlinde Güneş Enerjisi Destekli Isı Pompasıyla  
Sıcak Su Üretiminin Performansı

Abide Banu GÜNDÜZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Mart 2007

The Performance of a Solar-Assisted Heat Pump  
Water Heating System in Bilecik

Abide Banu GÜNDÜZ

**MASTER OF SCIENCE THESIS**

Department of Mechanical Engineering

March 2007

BİLECİK İLİNDE GÜNEŞ ENERJİSİ DESTEKLİ  
ISI POMPASIYLA SICAK SU ÜRETİMİNİN  
PERFORMANSI

Abide Banu GÜNDÜZ

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı  
Enerji-Termodinamik Bilim Dalında  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Prof. Dr. Kemal TANER

Mart 2007

Abide Banu GÜNDÜZ' ün YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı **“Bilecik ilinde güneş enerjisi destekli ısı pompasıyla sıcak su üretiminin performansı”** başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Üye : Prof. Dr. Kemal Taner

Üye : Doç. Dr. Haydar ARAS

Üye : Doç. Dr. Neşe ÖZTÜRK

Üye : Yrd. Doç. Dr. İrfan ÜREYEN

Üye : Yrd. Doç. Dr. Necati MAHİR

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..... tarih ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Abdurrahman KARAMANCIOĞLU

Enstitü Müdürü

## BİLECİK İLİNDE GÜNEŞ ENERJİSİ DESTEKLİ ISI POMPASIYLA SICAK SU ÜRETİMİNİN PERFORMANSI

**Abide Banu GÜNDÜZ**

### ÖZET

Yapılan bu çalışmada Bilecik ilinde güneş enerjisi destekli ısı pompasıyla sıcak su üretiminin performansı hesaplanmıştır. Sistem düzlemsel bir sıcak su kollektörü tarafından desteklenmiş olup bir depo ve ısı pompası sisteminin elemanları olan kompresör, buharlaştırıcı, yoğuşturucu gibi elemanlardan meydana gelmektedir. Ayrıca sistemde ısı enerjisini aktaran soğutucu akışkan R-134a olarak kabul edilmiştir.

Teorik hesaplamalarda gerek duyulan veriler (aylık ortalama sıcaklık, güneşlenme süresi gibi) meteoroloji kayıtlarından elde edilmiştir. Sistem için belirlenen dairenin ısı kaybı hesabı klasik yöntemle yapılmıştır. Hazırlanan bilgisayar programı kullanılarak ısı ihtiyacı belirlenmiş daire için sistem kapasitesi hesaplanmıştır.

Ayrıca ısı yükü için gerekli olan kollektör eğimi ve kollektör alanı belirlenmiştir. Isı pompası elemanları da incelenerek kompresörün gücü, buharlaştırıcının kollektör sisteminden çekeceği ısı yükü, yoğuşturucudan ortama aktarılacak olan ısı yükü miktarı ve soğutucu akışkan debisi hesaplandı.

Yapılan hesaplamalarda bir dairenin ısıtılması ve sıcak su temini için ısı pompası sisteminin ihtiyaç duyduğu ısı yükünün ne kadarının kollektörden karşılandığı ve ne kadarının karşılanamadığı incelenmiş ve sistemin etkinlik katsayısı olan COP değeri hesap edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Güneş enerjisi, güneş kollektörü, ısı pompası.

## THE PERFORMANCE OF A SOLAR-ASSISTED HEAT PUMP WATER HEATING SYSTEM IN BİLECİK

Abide Banu GÜNDÜZ

### SUMMARY

In this study, having been done, the performance of a solar- assisted heat pump water heating system in Bilecik was calculated. The systems was supported by q flat-plate hot water collector and consist of components such as compressor, evaporator, condenser, which were the parts of depot and heat pump. In addition, coolant heat energy was accepted R-134a.

The data, which were needed in theoretical calculations, were obtained by the Meteorology's records (e.g. monthly average temperatures, daylight period etc.) by using conventional method, the heat loss of selected flat was calculated. The system capacity was calculated for the flat of which heat requirement had been determined by using a computer programme.

Furthermore, the collector grade and the collector area which were necessary required for the heat load were determined. Heat pump elements were also analyzed the power of the compressor, the heat load which evaporatör would absorb from the collector system, the amount of heat load transferred from condenser to the environment and coolant fluid amount were calculated.

In the calculation having been done, in order to heat a flat and supply hot water it was analyzed how much of heat load which heat pump system needs, was supplied from the collector or not and the Coefficiency of Performance of the system (COP), was calculated.

**Keywords:** Solar energy, solar collector, heat pump

## **TEŞEKKÜR**

Yüksek lisans çalışmalarında, gerek derslerimde ve gerekse tez çalışmalarında, bana danışmanlık ederek, beni yönlendiren ve her türlü olanağı sağlayan danışmanım Prof. Dr. Kemal Taner, manevi desteklerinden dolayı babam Fevzi Gündüz'e ve aileme aynı zamanda yardımlarını esirgemeyen çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 Deklinasyon Açısının Aylara Göre Değişimi.....	11
Şekil 2.3 Bilecik ilinde gün uzunluğunun aylara göre değişimleri .....	14
Şekil 2.4 Eğik düzleme gelen güneş açıları.....	14
Şekil 2.5 Yeryüzüne gelen toplam güneş ışıınımlı bileşenleri.....	17
Şekil 3.1 Tipik bir düzlemsel kollektör .....	25
Şekil 4.1 (a) Soğutma makinesinin ve (b) ısı pompasının çevrimi .....	40
Şekil 4.2 (a) İdeal buhar sıkıştırımalı soğutma çevrimi ve (b) T-s diyagramı.....	44
Şekil 5.1 Tesisatın çalışma şeması .....	51
Şekil 5.2 Daire planı.....	53
Şekil 5.3 Dış duvarda kullanılan yapı malzemeleri, malzemelerin kalınlıkları ve ısı iletkenlik değerleri .....	54
Şekil 5.4 İç duvarda kullanılan yapı malzemeleri, malzemelerin kalınlıkları ve ısı iletkenlik değerleri .....	55
Şekil 5.5 Tavanda kullanılan yapı malzemeleri, malzemelerin kalınlıkları ve ısı iletkenlik değerleri .....	56
Şekil 5.6 Döşemede kullanılan yapı malzemeleri, malzemelerin kalınlıkları ve ısı iletkenlik değerleri .....	57
Şekil 5.7 Yatay düzlemin birim alanına gelen anlık tüm güneş ışıınımlı değişimi.....	63
Şekil 5.8 Bilecik ilinde direkt, yayılı ve tüm güneş ışıınımlı yıl boyunca değişimi ....	64
Şekil 5.9 Yatay düzleme gelen anlık yayılı güneş ışıınımlı.....	65
Şekil 5.10 Yatay düzleme gelen anlık direkt güneş ışıınımlı .....	66
Şekil 5.11 Eğik düzleme gelen anlık ortalama güneş ışıınımlı .....	68
Şekil 5.12 Eğik Düzleme Gelen Anlık Toplam Güneş Işıınımlı.....	69
Şekil 5.13 Bilecik ilinde eğimli maksimum enerji alan düzlem eğimindeki, 50°, 55°ve 60° sabit eğimdeki yüzeylere gelen tüm güneş ışıınımlı yıl boyunca değişimi .....	71



**ŞEKİLLER DİZİNİ**

<b><u>Şekil</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
Şekil 5.14 Faydalı enerjinin saatlik değişimi.....	75
Şekil 5.15 Maksimum güneş ışınımı alan ve 55° sabit eğimli kollektör için verimin yıl boyunca değişimi .....	76
Şekil 5.16 Ekonomik analiz ve optimum kollektör alanı için akış şeması.....	81
Şekil 5.17 Ortalama maliyet eğrisi.....	82
Şekil 5.18 Kollektörde toplanan faydalı ısı ve binanın toplam enerji ihtiyacı .....	87
Şekil 5.19 Soğutucu akışkan R-134a'nın P-h diyagramı.....	88
Şekil 5.20 Bilgisayar programının akış şeması.....	90

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<b><u>Çizelge</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
Tablo 2.1 Aylık güneşlenme süreleri	8
Tablo 2.2 Bölgelere göre yıllık güneşlenme süreleri	9
Tablo 2.3 Ayın Ortalama Günündeki Deklinasyon Açılımları	10
Tablo 2.4 Ayların Ortalama Günlerindeki Gün Uzunluğu Değerleri (Bilecik)	13
Tablo 3.1 Bazı saydam örtülerin yüzey özellikleri	26
Tablo 3.2 Bazı yutucu yüzey malzemelerinin ısı iletim katsayıları	27
Tablo 3.3 Yutma geçirme çarpımı ve b katsayısı	30
Tablo 3.4 Bazı yalıtım malzemelerinin özellikleri	31
Tablo 3.5 Bazı durumlar için $a_k$ değerleri ( $\delta\beta = 0,09$ )	34
Tablo 4.1 Soğutucu akışkanlar	49
Tablo 5.1 Ocak ayı için ısı kaybı hesap cetveli	58
Tablo 5.2 Aylık ortalama sıcaklığa ve ortalama ısı kayıp katsayısına göre günlük ısı kayıpları (kcal/gün)	60
Tablo 5.3 Aylık ortalama değerlere göre dairenin günlük toplam ısı ihtiyacı	61
Tablo 5.4 Yatay düzleme gelen güneş ışınım değerleri ve enerji miktarları	67
Tablo 5.5 Maksimum güneş ışınımı alan düzleme gelen güneş ışınım değerleri ve enerji miktarları	70
Tablo 5.6 $55^\circ$ sabit eğimli düzleme gelen güneş ışınım değerleri ve enerji miktarları	72
Tablo 5.7 Maksimum güneş ışınımı alan düzlem için bulunan değerler	77
Tablo 5.8 $55^\circ$ sabit eğimli düzlem için bulunan değerler	78
Tablo 5.9 Yararlı enerji, yardımcı enerji, faydalanma oranı ve ortalama maliyet	80

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<b><u>Simgeler</u></b>	<b><u>Açıklama</u></b>
$k$	:Akışkan özgül ısısı.
$\gamma$	:Birleştirme malzemesinin kalınlığı (m)
$h_{td}$	:Dıştaki saydam örtü ile çevre arasındaki taşınım ile ısı geçiş katsayısı
$(\tau\alpha)$	:Düzlem kollektör optik verimi
$\epsilon_s$	:Saydam örtünün ışınım yayma oranı
$(\tau\alpha)_0$	:Saydam örtünün yutma-geçirme çarpımı
$\tau$	:Stefan-Boltzman sabiti ( $5.67 \times 10^{-8} \text{W/m}^2\text{K}$ )
$\delta$	:Yutucu yüzey kalınlığı
$\epsilon_L$	:Yutucu yüzeyin ışınım yayma oranı
$\rho$	:Çevrenin yansıtma oranı
$(\alpha)$	:Yüzeyin güneş ışınımını açısal yutma oranı
$(\rho_y)$	:Saydam ortamın levhadan yansıyan ışınımı yansıtma oranı
$a$	:Kapı ve pencerelerin 1 metre aralık uzunluğunun hava sızdırganlık katsayısı( $\text{m}^3/\text{hm}$ aralık)
$a_g$	:Güneş Azimut Açısı
$A_t$	:Faydalı yüzey alanı
$a_y$	:Eğik düzlem azimut açısı
$C$	:Toplam ilk yatırım maliyeti
$C_h$	:Güneş sisteminin yıllık ek maliyeti
$CRF$	:Anamal geri ödeme faktörü
$C_{se}$	:Güneş enerjisi sisteminin ortalama maliyeti
$COP_{IP}$	:Isı pompasının etkinlik katsayısı
$COP_{SM}$	:Soğutma makinesinin etkinlik katsayısı
$d$	:Boru dış çapı
$d$	:Deklinasyon açısı
$e$	:Enlem Açısı

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ(devam)

<b><u>Simgeler</u></b>	<b><u>Açıklama</u></b>
F	:Isı kaybeden yüzey alanı
F <sub>t</sub> :	:Kollektör ısı kazanç faktörü
F <sub>v</sub> :	:Kollektör verim faktörü
F <sub>i</sub>	:Faydalanma oranı
g	:Güneş geliş açısı
H	:Binaya ait özellik
H	:Gün uzunluğu
h	:Saat Açısı
h <sub>d</sub>	:Dış yüzeyin konveksiyon film sayısı (kcal/hm <sup>2</sup> °C)
h <sub>i</sub>	:İç yüzeyin konveksiyon film sayısı (kcal/hm <sup>2</sup> °C)
I <sub>d</sub>	:Anlık direkt güneş ışınımı
I <sub>ey</sub>	:Eğik düzleme gelen yayılı ışınım
I <sub>gs</sub>	:Güneş sabiti
I <sub>y</sub>	:Yatay düzleme gelen aylık ortalama güneş ışınımı
I <sub>ya</sub>	:Yansıtılarak gelen ışınım
İ	:Yıllık indirim oranı
K	:Birleştirme malzemesinin ısı iletim katsayısı (W/m <sup>2</sup> K)
K	:Isı geçirgenlik katsayısı (kcal/hm <sup>2</sup> °C)
K	:Yutucu yüzey ısı iletim katsayısı (W/m <sup>2</sup> K)
k <sub>a</sub>	:Yalıtım malzemesinin kalınlığı
K <sub>ort</sub>	:Ortalama ısı geçirme katsayısı
K <sub>t</sub>	:Berraklık endeksi
K <sub>y</sub>	:Yayılı ışınım oranı
l	:Kapı ve pencerelerin hava sızdıran kısımlarının uzunluğu
L <sub>a</sub>	:Yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısı
l <sub>i</sub>	:Duvar veya döşemeyi meydana getiren malzeme kalınlığı(m)
m	:Isıtılacak su miktarı
N	:Saydam örtü sayısı (adet)

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ(devam)

<b><u>Simgeler</u></b>	<b><u>Açıklama</u></b>
Nu	:Nusselt sayısı
Q	:Günlük güneş ışıınımı
Q	:Yatay düzlemin birim alanına gelen günlük tüm güneş ışıınımı
Q <sub>d</sub>	:Depolanan enerji
Q <sub>d</sub>	:Günlük direkt gün ışıınımı
Q <sub>e</sub>	:Enfiltrasyon ihtiyacı
Q <sub>f</sub>	:Faydalı enerji
Q <sub>h</sub>	:Saatteki toplam ısı ihtiyacı
Q <sub>k</sub>	:Işıınım, taşınım ve iletimle olan ısı kayıplarının toplamı
Q <sub>k</sub>	:İletimle oluşan ısı ihtiyacı
Q <sub>ssu</sub>	:Sıcak su için gerekli ısı ihtiyacı
Q <sub>y</sub>	:Günlük toplam yayılı ışıınım
R	:Odaya bağlı karakteristik
s	:Eğim açısı
S	:Güneş ışıınımı
T	:Güneşlenme süresi
T <sub>ç</sub>	:Suyun çıkış sıcaklığı (°C)
T <sub>çev</sub>	:Çevre sıcaklığı
t <sub>d</sub>	:Dış sıcaklık(°C)
t <sub>i</sub>	:İç sıcaklık(°C)
t <sub>o</sub>	:Aylık ortalama gün uzunluğu
T <sub>ort</sub>	:Günlük ortalama dış sıcaklık (K)
T <sub>ş</sub>	:Şebeke suyunun sıcaklığı(°C )
T <sub>y</sub>	:Yutucu yüzey sıcaklığı
V	:Rüzgar hızı (m/s)
w	:Borular arasındaki mesafe
W	:Yoğuşturulabilir su buharı miktarı
z	:Zenit açısı

**SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ(devam)**

<b><u>Simgeler</u></b>	<b><u>Açıklama</u></b>
$Z_D$	:Kesintili çalışma zamları
$Z_e$	:Köşe pencere katsayısı
$Z_H$	:Yön zammı
$Z_W$	:Rüzgar zammı
$\Delta T$	:Günlük ortalama maksimum ve minimum dış sıcaklık farkı
$\eta_k$	:Kanat verimi
$\lambda_i$	:Duvar veya döşemeyi meydana getiren malzeme ısı iletim katsayıları(kcal/hm°C)
$\Psi$	:Saat açısı ile ilgili düzeltme faktörü

## 1 GİRİŞ

Ekonomik kalkınmanın temel öğelerinden biri olan enerji, insanlığın vazgeçilmez gereksinimlerinden biridir. Dünya üzerinde enerji ihtiyacı, teknolojinin gelişmesine bağlı olarak her geçen gün artmaktadır. 1900 yılında nüfusu 1,6 milyar olan dünyanın, genel enerji tüketimi  $5 \times 10^{10}$  GJ düzeylerinde iken, 1995 yılında nüfusu 6 milyara, genel enerji tüketimi  $40 \times 10^{10}$  GJ düzeyine ulaşmıştır. Dünya Enerji Konseyi (WEC)'nin 1995 tarihli "Global Enerji Perspektifleri" başlıklı raporunda, dünya nüfusunun 2050 yılında 10,1 milyar ve 2100 yılında 11,7 milyar olacağını varsayarak, 2000–2100 döneminde dünyanın toplam enerji tüketiminin en az  $8250 \times 10^{10}$  GJ olacağını beklediğini belirtmiştir.

20. yüzyılın son üççeyreğinde fosil yakıtların payı %80-90'lık ağırlığını korumuş, değişen yalnızca fosil yakıtların kendi içindeki dağılımı olmuştur. 1925 yılında fosil yakıt tüketiminin % 80'i kömürden sağlanırken, 70 yıl sonrasında fosil yakıt tüketiminin % 45'i petrol, % 25'i doğalgaz ve % 30'u kömürden sağlanmıştır (Kaya, 2002). Kullanılmakta olan fosil yakıtları ise artan bu talep karşısında gün geçtikçe azalmaktadır. Kuşkusuz, yeni bulunacak rezervler ve üretim teknolojilerindeki gelişmelerle çıkarılabilir toplam rezervde artışlar olacaktır, ancak dünya petrol rezervlerine 40, doğalgaz rezervlerine 60, kömür rezervlerine ise 250 yıldan fazla ömür biçilememektedir. Bu nedenle son yıllarda alternatif enerji kaynaklarından faydalanan sistemler üzerinde çalışmalar yoğunlaşmıştır. Alternatif enerji kaynakları olarak güneş, rüzgâr, jeotermal enerji gibi enerjiler ön planda olup bunların içerisinde en yaygın olan ve bilinen en eski kaynak güneştir. Güneş enerjisi sürekli yenilenebilir ve masrafsız olması bakımından geniş bir kullanım alanına sahiptir. Su ısıtma başta olmak üzere kurutma, pişirme, ortam ısıtma, elektrik üretme gibi pek çok alanda güneş enerjisinden faydalanılmaktadır. Güneş enerjisi sistemleri olarak çoğunlukla su ısıtma sistemleri olan kollektörler kullanılmaktadır. Bu sistemler basit teknolojiye sahiptirler ve güneş enerjisinden direkt olarak faydalanırlar. Kollektörler genel olarak emici plaka, üst örtü (şeffaf örtü), kollektör kasası ve depodan meydana gelir. Güneş enerjisi bu sistemlerde emici plaka tarafından yutulur ve sistemde dolaşan akışkana ısı transfer edilir. Isınan akışkan depoya gelerek buradaki diğer akışkanı ısıtır veya ısınan su direkt olarak kullanılır.

Güneş enerjili kollektörlerden yurdumuzda yılda yaklaşık 120.000 TEP (Ton eşdeğer petrol) enerji sağlanmaktadır. Bu rakam ise kollektör alanı olarak su ısıtma için yaklaşık 3.000.000 m<sup>2</sup> civarındadır (Yamaç, 2005).

Kollektörler genel olarak su ısıtma amacıyla kullanılmalarının yanı sıra büyük ısı yükü gerektiren ortamları ısıtma için de kullanılırlar. Böyle bir ısıtma ihtiyacı kollektörlü sistemle desteklenmiş bir ısı pompası aracılığıyla gerçekleştirilebilir. Isı pompası, sıcaklığı düşük olan bir kaynaktan aldığı ısıyı kullanarak daha yüksek sıcaklığa sahip ortama aktaran sistemdir. Bu sistemler genel olarak buharlaştırıcı (evaporatör), yoğunlaştırıcı (kondenser), kompresör ve kılcal borulardan (kısılma vanası), meydana gelmiştir. Son yıllarda daha sık anılmasına rağmen ısı pompası sistemleri prensip olarak uzun yıllar öncesinden bilinir (Çengel ve Boles, 1996).

Isı pompası teknolojisi mantık olarak ilk defa 1824'te ortaya çıkmıştır. Carnot, buharlı güç çevriminin ters çalıştırılması ile çevreden alınan ısının başka bir ortama aktarılabilceğini fark etmiş ancak fikir olarak ilk defa Lord Kelvin tarafından 1852 yılında ortaya atılmıştır. Bu sistemler Avrupa'da ilk defa ev ısıtmak amacıyla 1927 yılında İskoçya'da Haldone tarafından kurulmuştur. 1945 yılında ise İngiltere'de soğutucu akışkan olarak SO<sub>2</sub> (kükürt dioksit) kullanan ve kaynak olarak nehir suyundan faydalanan bir ısı pompası sistemi ile büyük bir binanın ısıtılması gerçekleştirilmiştir. Avrupa ülkeleri dışında ısı pompası 1940 yılından sonra Amerika'da kullanılmaya başlanmıştır.

Bu sistemler uzun kış sezonu yaşayan Avrupa, Amerika ve İskandinav ülkelerinde sıkça kullanılmaktadır. Isı pompalarının kurulma maliyetleri yüksektir ancak uzun vadede diğer sistemlere oranla daha avantajlı duruma geçmektedir. İlk yatırım maliyetlerinin yüksek olmasına rağmen ısı pompası sistemlerinin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır.

Isı pompası teknolojisi oldukça eski olmasına rağmen ülkemizde kullanımı son yıllarda artış göstermeye başlamıştır (Yamaç, 2005).



## ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Isı pompası fikri 18.yy ortalarında Carnot tarafından ortaya atılmıştır. Carnot buhar çevriminin ters çalıştırılması ile ortamdaki ısı çekilerek başka bir yüksek sıcaklık ortamına bu ısının aktarılabilceğini gözlemlemiştir. Pratikte bu prensiple çalışan ısı pompası ise 1852 yılında William Thompson ve daha sonra Lord Kelvin tarafından denenmiştir. Daha sonraki yıllarda ısı pompaları hakkında pek çok çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Anonim 2).

Özgener ve Hepbaşlı, çalışmalarında güneş enerjisi destekli bir ısı pompası sistemini incelemiştir. Buhar sıkıştırımlı güneş destekli ısı pompası 1,4 kW'lık kompresör, 8,2 kW'lık evaporatör ve 1,5 m uzunluğunda kılcal borulardan oluşmuştur. Soğutucu akışkan olarak R-22 kullanılmıştır. Isı pompası için COP 2-3,125 arasında ve soğutma için COP ısı pompası değerlerinden %5-20 daha düşük bulunmuştur (Özgener and Hepbaşlı, 2007).

Yamaç, çalışmasında güneş enerjisi destekli bir ısı pompasını teorik olarak incelemiştir. Sistemde soğutucu akışkan olarak R-134a kullanmıştır. Hesaplamalarında bir işletmenin ihtiyacı olan günlük 5 ton şebeke suyunun 14°C'den 50°C'ye çıkarılması için ısı pompası sisteminin ihtiyaç duyduğu ısı yükünün ne kadarının kollektörden karşılandığı ve ne kadarının karşılanamadığı incelenmiş ve sistemin etkinlik katsayısını(COP) 4,39 olarak bulmuştur. Ayrıca ısı yükü için gerekli olan kollektör alanını ve ısı pompası elemanlarını da inceleyerek kompresörün gücünü 7,7 kW, buharlaştırıcının kollektör sisteminden çekeceği ısı yükünü 28,31 kW ve soğutucu akışkan debisini 0.23 kg/sn olarak hesaplamıştır (Yamaç, 2005).

Kuang ve diğerleri, düzlemsel kollektörlü basit ve pahalı olan güneş destekli ısı pompası sistemi üzerinde çalışmışlardır. Bir sıcak su depolama tankı ve bir su kaynaklı ısı pompası modeli oluşturarak, tüm sistemin ve bu sistemin temel elemanlarının termal performansını, Kuzey Çin'de 2000-2001 ısıtma sezonu boyunca deneysel olarak incelemiştir. Sistemde 11 m<sup>2</sup>'lik kollektör, 2,1 m<sup>3</sup>'lük su depolama tankı ve 2,2 kW'lık ısı pompası kullanmışlardır. COP değerini 2,55 elde etmişlerdir. Elde edilen sonuçlardan, potansiyel kullanıcılar için bir güneş destekli ısı pompası sisteminin gelişimi ve ilk dizaynında yardımcı olabilecek bazı önemli sonuçlar ve öneriler elde etmişlerdir (Kuang et al., 2003).

Badescu'nun termal enerji ünitesi alan ısıtması yapan bir güneş enerjisi destekli ısı pompası modeli üzerine yaptığı çalışmada güneş destekli ısıtıcıların ısı pompalarındaki buhar sıkıştırma işi ve başka amaçlara yönelik ısı enerji elde ettiğini ve ısı enerji ünitesinin güneş enerjisi kullanımında birçok yararlar sağladığını ortaya koymuştur (Badescu, 2001).

Kaygusuz, Karadeniz Bölgesi'ndeki konutların güneş enerjisi destekli ısı pompaları ile ısıtılabilirliğini incelemek amacıyla bir çalışma yapmıştır. Çalışmada model bir ortam seçilerek enerji depolu bir ısı pompası sistemi kurulmuş ve bu sistem üç değişik biçimde çalıştırılarak ortamın ısıtılabilirliği gözlemlenmiştir. Deneyde kollektör giriş-çıkışı, depo giriş-çıkışı, ısı değiştirici giriş-çıkışı, depo içi, dış ortam, ısıtılan ortam, yoğunlaştırıcı giriş-çıkış sıcaklıkları periyodik olarak kontrol edilmiştir. Seri ve paralel sistemlerde buharlaştırıcı, yoğunlaştırıcı ve kompresörün giriş-çıkış basınçları ölçülmüştür. Bu ölçümlerden faydalanılarak sistemlerin birbirine göre üstünlükleri ele alınmıştır. Ayrıca bu sistemler ekonomik yönden de birbirleriyle karşılaştırmak amacıyla iki farklı analiz yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemlerden ilki sistemin ekonomik ömrü boyunca sağladığı tasarruflar, ikincisi ise geri ödeme süresi yöntemidir. Yapılan çalışmalar sonunda Karadeniz Bölgesi'nin meteorolojik yapısı nedeniyle konutların tek başına güneş enerjisi ile ısıtılamayacağı sonucuna varılmıştır.

Bununla birlikte güneş enerjisi destekli ve enerji depolu seri ve paralel ısı pompası sistemlerinin ısıtmada gerekli olan ısı yükünü karşılama yüzdelerinin daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Sistemlerden sağlanan net ısı miktarına bağlı olarak yapılan ekonomik analiz sonucunda seri ısı pompası sisteminin paralel sisteme göre daha ekonomik olduğu anlaşılmıştır. Tüm bu çalışmalar sonucunda güneş destekli ve enerji depolu seri ısı pompası sistemlerinin Karadeniz Bölgesi'ndeki konutların ısıtılması için önerilebileceği sonucuna varılmıştır (Kaygusuz, 2000).

Hawlader ve diğerleri, güneş enerjisi destekli bir ısı pompası sistemi üzerinde çalışma yapmışlardır. Bu çalışma Singapur'un meteorolojik verileri kullanılarak hazırlanmıştır. Bu çalışmada sistemde R134a soğutucusu ve üzeri açık olan düz levha bir güneş kollektörü kullanılarak deneysel ve teorik incelemeler yapmışlardır. COP'un değerini 9 ve kollektörünün verimini % 75 olarak saptamışlardır. Ekonomik analiz sonucunda ise sistemin yaklaşık iki yıllık bir minimum geri ödeme süresine ihtiyaç duyduğu ortaya konmuştur (Hawlader, et al., 2000).

Huang ve Chyng, yaptıkları bir çalışmada integral tip güneş destekli ısı pompası su ısıtıcısının dizayn ve test değerlerini incelemişlerdir. Depolama tankı ve Rankine çevrim ünitesini daha küçük bir boyut yapmak için birleştirmişlerdir. Testler sonucunda 3,83'lük bir COP elde etmişlerdir (Huang ve Chyng, 1999).

Kurun çalışmasında, ısı pompası destekli güneş enerjili ısıtma sisteminin konut konforunda kullanımını analiz etmiştir. Güneş kolektörleri ve ısı pompaları ile elde edilecek sıcaklık seviyeleri yaklaşık 50°C civarında olduğunu, klasik radyatörlü ısıtmaya uygun olmadığını ancak yerden ısıtma sistemi için ideal olduğunu görmüştür. Aralık ve Ocak aylarındaki ısı ihtiyacının tamamı ısı pompası tarafından karşılandığını diğer aylarda, güneş enerjisinden faydalanma oranlarının % 0,8–68 arasında değiştiğini ve Nisan-Kasım arasındaki aylardaki sıcak su ihtiyacının tamamı güneş enerjisinden karşılanabildiğini hesaplamıştır (Kurun, 1994).

Öztürk, çalışmasında, güneş enerjisinin mahal ısıtması ve sıcak su temini için ortak kullanılmasıyla ilgili hesaplamalar yapmıştır. Eskişehir ilinde seçilen örnek bir binanın ortalama çevre sıcaklıklarına göre binanın toplam ısı ihtiyacını hesaplamıştır. Birkaç ekonomik analiz sonucunda optimum kolektör alanını 40–50 m<sup>2</sup> arasında bulmuştur. Evaporatörün depo içinde olduğu durumda -12°C çevre sıcaklığı için kompresör gücünü 1.91 kW, depo dışında ve toprağa gömülü durumda ise 2,1 kW bulmuştur (Öztürk, A., 1985).

Taner, yaptığı çalışmada Eskişehir ve Antalya illeri için bir binanın ısı kayıplarını ve eğimli yüzeyde radyasyon şiddetini hesaplamıştır. Eskişehir'de ısıtma ve sıcak su gereksiniminin % 55'inin, Antalya'da ise % 75'inin güneş enerjisinden karşılandığını görmüştür. Antalya'da en fazla soğutma yükü için güneş enerjisi ile çalışan soğutma makinesine gereken enerjinin 91.785 kJ/h olduğu ve Eskişehir ili için optimum kolektör alanının 90–125 m<sup>2</sup> olduğunu saptamıştır (Taner, 1984).

## 2 GÜNEŞ

Güneş,  $1,39 \times 10^9$  m çapında yoğun sıcak gazlar içeren bir küredir ve dünyadan  $1,5 \times 10^{11}$  m uzaklıktadır. Yüzey sıcaklığı 5770 K'dir. Radyasyon  $3 \times 10^8$  m/sn'lik bir hız ile 8 dakikada dünya atmosferine ulaşır (Taner, 1984). Hidrojenin sürekli çekirdek kaynaşmasına (füzyon) girmesi nedeniyle, merkezindeki sıcaklık  $15 \times 10^6$  K dolaylarına kadar çıkar (Anonim 1).

Güneş üç bölgeden oluşur. İlk bölge merkezdedir ve içten dışa doğru nükleer, radyasyon ve konveksiyon zon gibi bölümlere ayrılır. Nükleer zon çekirdektedir. Burada X ışınları ortaya çıkar. Sıcaklık 16 milyon°C ve basınç 200 milyar atmosfer değerindedir. Konveksiyon zonu  $150.000^\circ\text{C}$ 'dir. Bu zonda gaz molekülleri aşağı yukarı hareket ederler. Güneşteki zonlardan ikincisi ışık küredir. Işık küre güneşi çevreleyen saydam ve parlak bir gaz tabakasıdır. Bu zonda çeşitli büyüklüklerde lekeler meydana gelir. Bu oluşan lekeler çok büyük manyetik alanlar meydana getirir ve konveksiyon hareketleri 10 milyon amper olabilmektedir.

Güneşin üçüncü zonu renk küredir. Ay gölgesi etrafında kırmızı halka gibi görülür. Kalınlığı 10.000–16.000 km arasında değişir. Kromosfer, hidrojen ve nadir gazlardan oluşur. Renk kürede akkor gazların oluşturduğu fişkırmalar meydana gelir ve bu fişkırmalar 925.000 km yüksekliğe kadar olabilir (Yamaç, 2005).

### 2.1 Güneş Enerjisi

Güneşin çekirdeğinde yer alan füzyon süreci ile açığa çıkan ışın enerjisidir. Füzyon, dört hidrojen çekirdeği birleşerek, bir helyum çekirdeğini oluşturması şeklindedir. Bu füzyon reaktöründe her saniyede 564 milyon ton hidrojen 560 milyon ton helyuma dönüşür. Bu dönüşümde kaybolan 4 milyon ton kütle karşılığı olarak  $3,86 \times 10^{26}$  jul enerji açığa çıkar. Toplam enerji rezervi  $1,785 \times 10^{47}$  jul olan bu yıldız daha milyonlarca yıl ışımasını sürdüreceğinden dünya için sonsuz bir enerji kaynağıdır. Bu enerjinin güç olarak karşılığı  $3,86 \times 10^{20}$  MW'tır. Tüm uzaya yayılan bu gücün dünyaya ulaşan kısmı ise yaklaşık olarak 178 trilyon kW'tır. Dünyanın tüm yüzeyine bir yıl boyunca gelen güneş enerjisi  $0,709 \times 10^{14}$  TEP (ton eş değeri petrol) kadardır. Bu değer dünyanın bilinen petrol rezervinin 716 ve kömür rezervinin 157 katıdır. Işın gücünün

önemli bir bölümü okyanusların buharlaşması, su ve rüzgar dolaşımı, bitkisel ve hayvansal madde üretimi gibi doğal çevrimleri beslemede tüketilmesi yüzünden güneş enerjisinin tümünü toplamak olanaksızdır. Doğrudan kullanılabilir olacak öbür bölümünü, yeryüzüne gelen ve gücü yatay yüzeyde enleme göre  $0-1100 \text{ W/m}^2$  arasında değişen ışık ışınları oluşturur (Anonim 1).

Güneş enerjisi, elektromanyetik (radyasyon) olarak yayılır. Dalga boyu  $0,2-3 \mu\text{m}$  arasında olan bu ışın kısa dalga boyudur. Güneş spektrumu 3 ana bölgeden oluşur. Dalga boyu  $0,4 \mu\text{m}$  den küçük olan ultraviyole (mor ötesi) ışınlar ışınımın %9'unu oluşturur.  $0,4-0,7 \mu\text{m}$  arası dalga boyuna sahip ışınlar görünür ışık olup ışınımın %45' ini oluşturur. Dalga boyu  $0,7 \mu\text{m}$ 'den büyük ışınlar infrared (kızılötesi) ise ışınımın % 46' sını oluşturur ve ısıtma etkisine sahiptir. Dalga boyu açısından bakılırsa güneş  $6000 \text{ K}$  sıcaklıkta ısınım yapan bir kara cisim gibidir.

### **2.1.1 Güneş enerjisinin karakteristikleri**

Güneş enerjisi bilinen en eski enerji kaynağıdır. Temiz ve tükenmeyen (yenilenebilir) enerji kaynağıdır, tüm dünya ülkelerinde rahatlıkla yararlanabilir, coğrafi sınırlamalardan bağımsızdır, ısıtmada basit teknolojilerden yararlanıldığından ulaştırma harcamasına gerek yoktur. Her türlü siyasi bunalımlardan bağımsızdır, fotosentetik ve fotokimyasal reaksiyonları harekete geçirmek için gerekli özelliklere sahiptir.

Güneş enerjisinin sıralanan avantajlarına rağmen dezavantajları da bulunmaktadır. Birim alana gelen enerjinin az olması ve süreklilik göstermemesi, arz talep arsında zaman farkı sorununun ortaya çıkması, enerji miktarının kontrol edilmesi, direkt elektrik sistemleri için yatırım maliyetlerinin yüksek olması dezavantaj olarak ortaya çıkmaktadır. Bu dezavantajlarına rağmen güneş enerjisinde son yıllarda geniş bir yelpazeye sahip teknolojik uygulamalarda rahatlıkla faydalanılmaktadır.

### 2.1.2 Türkiye’de güneş enerjisi

Coğrafik olarak 36 – 42° kuzey enlemleri arasında bulunan ülkemiz, güneş kuşağı bölgesinde yer almaktadır. Güneş kuşağının bu bölümü iyi güneş almakla birlikte mevsim değişikliklerinin alt sınırdan az, üst sınırdan çok etkili olduğu bir bölgedir. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünde (DMİ) mevcut bulunan 1966–1982 yıllarında ölçülen güneşlenme süresi ve ışınım şiddeti verilerinden yararlanarak EİE tarafından çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmaya göre Türkiye’nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresinin 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam ışınım şiddetinin 1311 kWh/m<sup>2</sup> yıl (günlük toplam 3,6 kWh/m<sup>2</sup>) olduğu tespit edilmiştir (Anonim 1). Aylara göre Türkiye güneş enerji potansiyeli ve güneşlenme süresi değerleri ise Tablo 2.1 de verilmiştir (Anonim 3).

Tablo 2.1 Aylık güneşlenme süreleri

AYLAR	AYLIK TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ		GÜNEŞLENME SÜRESİ (Saat/ay)
	(Kcal/cm <sup>2</sup> -ay)	(kWh/m <sup>2</sup> -ay)	
OCAK	4,45	51,75	103,0
ŞUBAT	5,44	63,27	115,0
MART	8,31	96,65	165,0
NİSAN	10,51	122,23	197,0
MAYIS	13,23	153,86	273,0
HAZİRAN	14,51	168,75	325,0
TEMMUZ	15,08	175,38	365,0
AĞUSTOS	13,62	158,40	343,0
EYLÜL	10,60	123,28	280,0
EKİM	7,73	89,90	214,0
KASIM	5,23	60,82	157,0
ARALIK	4,03	46,87	103,0
TOPLAM	112,74	1311	2640
ORTALAMA	308,0 cal/cm <sup>2</sup> -gün	3,6 kWh/m <sup>2</sup> -gün	7,2 saat/gün

Türkiye’nin en fazla güneş enerjisi alan bölgesi Güney Doğu Anadolu Bölgesi olup, bunu Akdeniz Bölgesi izlemektedir. Güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi değerlerinin bölgelere göre dağılımı da Tablo 2.2’de verilmiştir (Anonim 3).

Tablo 2.2 Bölgelere göre yıllık güneşlenme süreleri

BÖLGE	TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ (kWh/m <sup>2</sup> -yıl)	GÜNEŞLENME SÜRESİ (Saat/yıl)
G.DOĞU ANADOLU	1460	2993
AKDENİZ	1390	2956
DOĞU ANADOLU	1365	2664
İÇ ANADOLU	1314	2628
EGE	1304	2738
MARMARA	1168	2409
KARADENİZ	1120	1971

Türkiye'nin güneşlenme süresi ve güneş ışınımı şiddeti değerleri temel alındığında, tüm yüzeyine bir yılda düşen güneş enerjisi  $3517 \times 10^{12}$  kJ olarak hesaplanmıştır. Yani Türkiye'nin bir yılda aldığı güneş enerjisi 80 milyar TEP (ton eşdeğer petrol) tir. Bu enerji  $1115 \times 10^8$  kJ' a karşılık gelmektedir.

Türkiye'ye düşen toplam güneş gücü kurulu elektrik santralleri gücünün 5300 katından fazladır. Bu açıdan güneş enerjisinden faydalanan sistemlerin geliştirilmesine önem vermek gerekmektedir (Yamaç, 2005).

## 2.2 Güneş Açıları

Dünya kendi etrafında ve güneş etrafında olmak üzere iki farklı yörüngede hareket yapmaktadır. Bundan dolayı; güneş enerjisinden yeterli miktarda yararlanmak için bir zaman diliminde bir yere gelen güneş ışınımının bilinmesi gerekmektedir. Yeryüzündeki bir düzlemin konumu güneş açıları ile belirlenmektedir.

### 2.2.1 Esas güneş açıları

Yeryüzünde bir noktaya gelen direkt güneş ışınımı doğrultusu o noktanın enlemi, saat açısı ve deklinasyon açısı biliniyorsa bulunabilir. Bu açılara esas güneş açısı denir (Kılıç ve Öztürk, 1983).

### Deklinasyon Açısı (d)

Yerin güneş etrafındaki yörünge düzleminin normali ile yerin kendi yörünge eksenini arasında 23,45 derecelik açı vardır. Bu açı; yeryüzündeki aynı noktaya gelen güneş ışınlarının doğrultusunun değişmesine ve mevsimlerin oluşmasına neden olmaktadır. Enlemi e olan yeryüzündeki bir noktaya düşen güneş ışınımının doğrultusu deklinasyon açısı ve saat açısı ile tespit edilmektedir. Dünya-güneş doğrultusunun yerin ekvator düzlemi ile yaptığı açığa deklinasyon açısı denilmektedir ve ekvator düzleminin kuzey tarafı pozitif alınmaktadır.

Yılın günleri  $n = 1,2,3,\dots,365$  olmak üzere Cooper (1969) deklinasyon açısını (d)

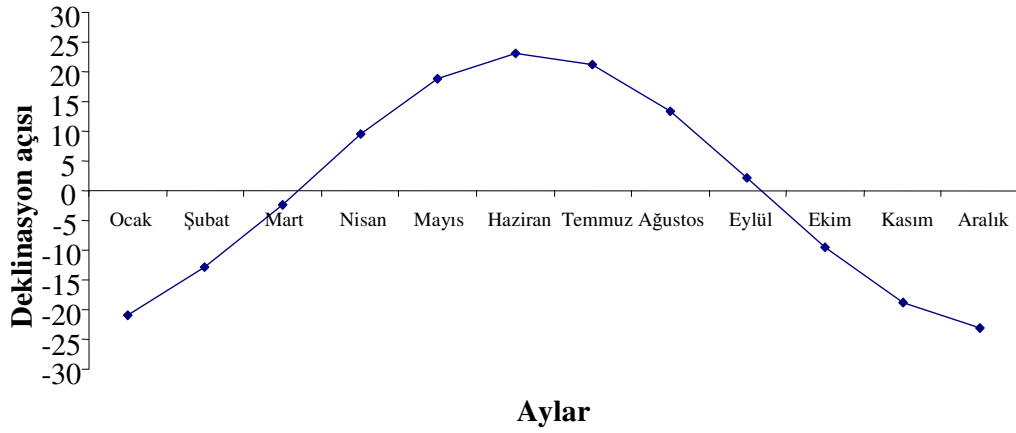
$$d = 23,45 \sin \left[ \frac{360}{365} (n + 284) \right] \quad (2.1)$$

olarak ifade etmiştir (Ballı, 2002; Goswami et al., 1999). Ayın ortalama günü için Denklem (1.1)'den elde edilen değerler Tablo 2.3'te verilmiştir. Deklinasyon açısının aylara göre değişimi Şekil 2.1'de görülmektedir.

Tablo 2.3 Ayın Ortalama Günündeki Deklinasyon Açıları

Aylar	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Tem	Ağu	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Gün	17	16	16	15	15	11	17	16	15	15	14	10
$n_o$	17	47	75	105	135	162	198	228	258	288	318	344
$d_o$	-20,92	-12,95	-2,42	9,41	18,79	23,09	21,18	13,45	2,22	-9,60	-18,91	-23,05





Şekil 2.1 Deklinasyon Açısının Aylara Göre Değişimi

### Saat Açısı(h)

Hesaplama yapılacak yerin boylamı ile güneşin bulunduğu boylam arasındaki açıdır. Saat açısı güneş öğlesine göre hesaplanır. Güneş öğlesinden önce saat açısı pozitif, güneş öğlesinden sonra negatiftir. İki boylam arası 1 saat veya  $15^\circ$  olduğundan saat açısı;

$$h = 15(12 - GS) \quad (2.2)$$

bağıntısı ile hesaplanır (Kılıç ve Öztürk, 1983; Ballı, 2002; Masters, 2004).

### Enlem Açısı (e)

Ekvator düzlemi ile göz önünde bulundurulmuş nokta arasındaki açıdır. Kuzey yarımkürede (+) ve güney yarımkürede (-) olarak kabul edilir (Ballı, 2002).

### 2.2.2 Türetilen güneş açıları

Yatay ve eğik düzleme gelen güneş ışınımının hesaplanmasında, düzlem ve güneş ışınlarının doğrultusu ile ilgili açılardan yararlanır.

### Güneş Zenit Açısı (z)

Yatay düzlemin normali ile güneş-dünya doğrultusundaki güneş ışınlarının yaptığı açıdır. Deklinasyon açısı d, saat açısı h, enlem e ve zenit açısı z olmak üzere zenit açısının kosinüs'ünü;

$$\cos z = \cos d \cdot \cos e \cdot \cosh + \sin d \cdot \sin e \quad (2.3)$$

şeklinde hesaplanır (Kılıç ve Öztürk, 1983).

### Güneş Yükseklik Açısı (y)

Güneş-dünya doğrultusundaki güneş ışınlarının yatay düzlem ile yaptığı açıdır. Güneş yüksekliği açısı y olmak üzere;  $z + y = 90^\circ$  veya  $\cos z = \sin y$  şeklindedir. Güneş yükseklik açısı; deklinasyon açısının, enlemin ve saat açısının fonksiyonu olarak;

$$\sin y = \cos d \cdot \cos e \cdot \cosh + \sin d \cdot \sin e \quad (2.4)$$

şeklinde hesaplanır.

### Gün Uzunluğu ( $t_g$ )

Güneş doğuşu ile batışı arasındaki zamana gün uzunluğu denir. Güneş doğuşunda ve batışında güneş zenit açısı  $z = 90^\circ$ , güneş öğlesinde güneş zenit açısı  $z = 0^\circ$  'dir.

Denklem (2.3)'de  $z = 90^\circ$  yazılarak güneş doğuşu ve batışındaki saat açısının (H) kosinüs'ü

$$\cos H = \frac{-\sin d \cdot \sin e}{\cos d \cdot \cos e} = -\tan d \cdot \tan e \quad (2.5)$$

şeklinde verilir. Derece cinsinden gün uzunluğu (H);

$$H = \arccos\left(\frac{-\sin d \cdot \sin e}{\cos d \cdot \cos e}\right) = \arccos(-\tan d \cdot \tan e) \quad (2.6)$$

Saat cinsinden gün uzunluğu;

$$t_g = \frac{2}{15} H = \frac{2}{15} \cdot \arccos(-\tan d \cdot \tan e) \quad (2.7)$$

ile hesaplanmaktadır.

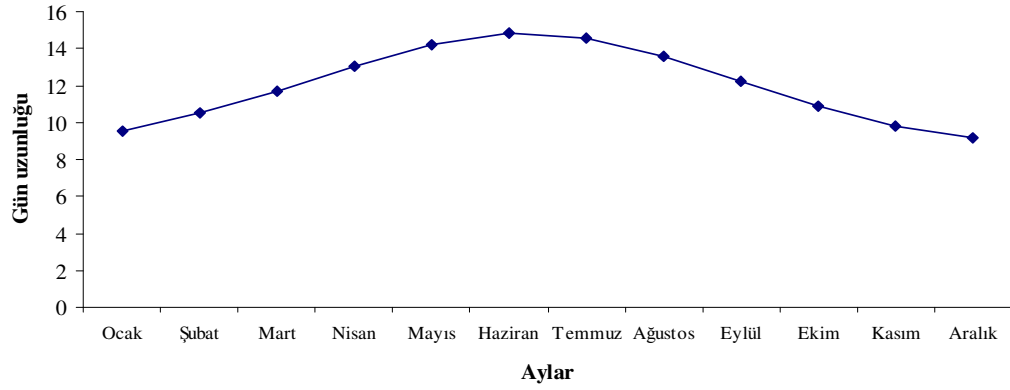
Aylık ortalama gün uzunluğu ( $t_0$ ) için deklinasyon açısının ortalama aylık değeri ( $d_0$ ), Denklem (2.6)'da yerine yazılarak bulunur ve;

$$t_0 = \frac{2}{15} H_0 = \frac{2}{15} \cdot \arccos(-\tan d_0 \cdot \tan e) \quad (2.8)$$

bağıntısından hesaplanmaktadır (Kılıç ve Öztürk, 1983; Goswami et al., 1999; Ballı, 2002). Bilecik'te ayların ortalama günlerindeki gün uzunlukları Tablo 2.4'te verilmiştir. Gün uzunluğunun aylara göre değişimleri ise Şekil 2.2'de gösterilmiştir.

Tablo 2.4 Ayların Ortalama Günlerindeki Gün Uzunluğu Değerleri (Bilecik)

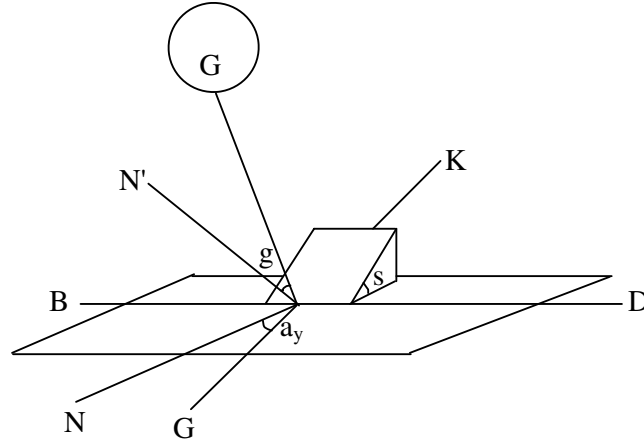
Aylar	Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki	Kas	Ara
Gün	17	16	16	15	15	11	17	16	15	15	14	10
$n_0$	17	47	75	105	135	162	198	228	258	288	318	344
$t_0$	9,55	10,54	11,73	13,05	14,17	14,74	14,48	13,52	12,24	10,93	9,81	9,26



Şekil 2.2 Bilecik ilinde gün uzunluğunun aylara göre değişimleri

### 2.2.3 Eğik yüzeyin açıları

Eğik bir düzlemin konumu yatay düzlemle yaptığı eğim açısı ve azimut açısı ile belirlenir (Kılıç ve Öztürk, 1983). Şekil 2.3'de eğik düzleme gelen güneş açıları gösterilmiştir.



Şekil 2.3 Eğik düzleme gelen güneş açıları.

### Eğim Açısı(s)

Eğim düzlemin yatay düzlemle yaptığı açıdır (Yamaç, 2005).

### Güneş Azimut Açısı ( $a_g$ )

Güneş-dünya doğrultusundaki güneş ışınlarının kuzey-güney doğrultusu ile yaptığı açıdır. Güneş azimut açısı  $a_g$  olmak üzere; azimut açısının sinüs'ünü;

$$\sin a_g = \sec y \cdot \cos d \cdot \sin h \quad (2.9)$$

bağıntısı ile ifade edilir (Kılıç, A. ve Öztürk, A., 1983) Hesaplama yapılan güneş saati; güneş öğlesinden önce ise  $a_g = a_g$  güneş öğlesinden sonra ise  $a_g = 360 - a_g$ 'dir (Ballı, 2002)

### Güneş Geliş Açısı ( $g$ ):

Güneş düzleminin eğik düzlemin normali ile yaptığı açıdır. Eğik düzlemin yatay düzlem ile yaptığı açıya eğim açısı( $s$ ), eğik düzlemin normalinin yatay düzlemdeki izdüşümünün güneyden kuzeye doğru yaptığı açıya eğik düzlem azimut açısı( $a_y$ ) denir ve

$$\begin{aligned} \cos a_g = \cos d \cdot \cos e \cdot \cos s \cdot \cosh + \cos a_y \cdot \cos d \cdot \cosh \cdot \sin e \cdot \sin s + \\ \sin a_y \cdot \cos d \cdot \sinh + \sin d \cdot \sin e \cdot \cos s - \cos a_y \cdot \sin d \cdot \csc e \cdot \sin s \end{aligned} \quad (2.10)$$

bağıntısı ile hesaplanır.

Ekvatora (güneye) doğru eğik düzlem için düzlem azimut açısı  $a_y = 0^\circ$  olduğundan dolayı, güneye eğik düzlem için güneş geliş açısının ( $g_g$ ) kosinüs'ü;

$$\cos g_g = \cos d \cdot \cos(e - s) \cdot \cosh + \sin d \cdot \sin(e - s) \quad (2.11)$$

Dik düzlem için düzlem eğim açısı  $s = 90^\circ$  olduğundan dolayı, dik düzlem için güneş geliş açısının ( $g_g$ ) kosinüs'ü;

$$\cos g_g = \cos a_y \cdot \cos d \cdot \cosh + \sin a_y \cdot \cos d \cdot \sinh - \cos a_y \cdot \sin d \cdot \csc e \quad (2.12)$$

bağıntısı ile ifade edilir (Kılıç ve Öztürk, 1983; Ballı, 2002).

### 2.3 Güneş Saati (GS)

Yılın günlerine ( $n = 1,2,3,\dots,365$ ) bağlı değişken  $\varphi$

$$\varphi = \frac{360}{365.242}(n-1) \quad (2.13)$$

olmak üzere, dünyanın dönme hızındaki ve yörüngesindeki düzensizlikten ileri gelen ve günden güne değişen zaman düzeltmesi (ZD);

$$ZD(\text{saat}) = 0,0043 \cdot \cos \varphi - 0,1236 \cdot \sin \varphi - 0,0608 \cdot \cos 2\varphi - 0,1538 \sin 2\varphi \quad (2.14)$$

bağıntısı ile ifade edilir.

Hesaplama yapılacak ülkenin standart ülke boylamı  $B_s$ , hesaplama yapılacak yerin boylamı  $B_y$  (Doğu-batı yönü pozitif) ve memleket saati MS olmak üzere güneş saati;

$$GS(\text{saat}) = MS - \frac{(B_s - B_y)}{15} + ZD \quad (2.15)$$

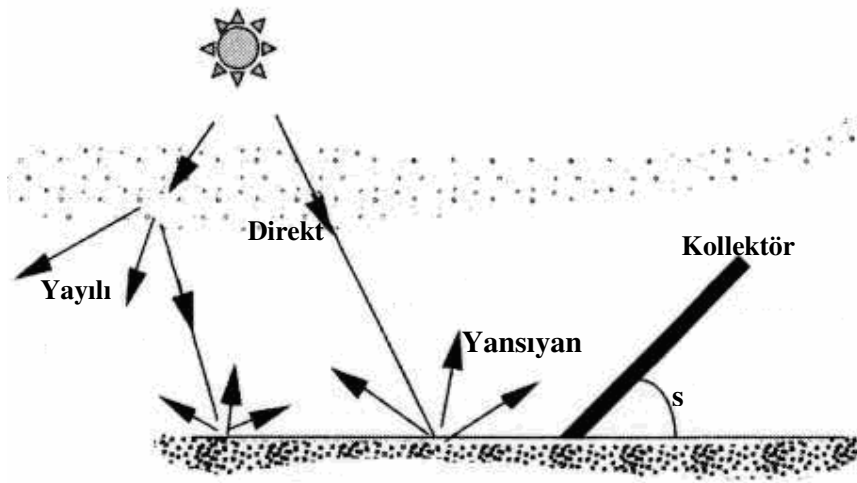
Güneş saati belli ise memleket saati MS;

$$MS(\text{saat}) = GS - \frac{(B_s - B_y)}{15} - ZD \quad (2.16)$$

ifadesi ile hesaplanır. Türkiye için standart ülke boylamı  $B_s = 30^\circ$  'dir (Ballı, 2002).

## 2.4 Yeryüzüne Gelen Güneş Işınımı

Güneşten gelen ışınlar yeryüzüne geldiğinde atmosferden geçerken kayıplara uğrar. Yeryüzüne ulaşabilen ışınlar ise % 10–80 arasında değişir. Güneş ışınlarının direkt yeryüzüne gelen kısmına direkt güneş ışınımı, dağılan kısmına yayılı (difüz) güneş ışınımı adı verilir. Her iki ışınımın toplamına da tüm güneş ışınımı adı verilir. Tüm güneş ışınımı 0,3–3,0  $\mu\text{m}$  dalga boyu aralığında olup bunlara kısa dalga boylu ışınım adı verilir. Tüm ışınımına yansıyan ışınlar dâhil edildiğinde toplam güneş ışınımı tanımı yapılır (Kılıç ve Öztürk, 1983). Şekil 2.4'de yeryüzüne gelen toplam güneş ışınımı bileşenleri gösterilmiştir (Masters, 2004).



Şekil 2.4 Yeryüzüne gelen toplam güneş ışınımı bileşenleri

### 2.4.1 Atmosfer dışına gelen güneş ışınımı

Güneş ışınımı hesaplamaları yapılırken atmosfer dışına gelen ışınımında bilinmesi önemli bir fayda sağlar. Dünya-Güneş arasındaki uzaklık sabit olmadığından atmosfer dışına gelen ışınımın değeri değişkendir.

Dünya güneş mesafesinde; atmosfer dışında güneş ışınlarının dik birim alana bütün dalga boylarında bir anda gelen güneş ışınımı değerine güneş sabiti adı verilir ve  $I_{gs}$  ile gösterilir (Yamaç, 2005).

Yapılan çalışmalarda güneş sabiti değerleri  $1353\text{--}1370 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$  arasında bulunmuştur. Helwa, N. (2000) çalışmasında  $I_{gs} = 1357 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$ , Kılıç, A. (1983) kitabında  $I_{gs} = 1353 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$ , Iqbal, M. (1983) kitabında  $I_{gs} = 1367 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$  değerini kullanmıştır (Ballı, 2002). Atmosfer dışında yatay düzleme gelen güneş ışınımı

$$Q_0 = \frac{24}{\pi} I_{gs} f \sin d \sin e \left( \frac{\pi}{180} H - \tan H \right) \quad (2.17)$$

olarak hesaplanır. Burada f düzeltme faktörüdür (Goswami et al., 1999).

$$f = 1 + 0.033 \cos \left( \frac{360n}{365} \right) \quad (2.18)$$

#### 2.4.2 Yatay Düzleme Gelen Günlük Tüm Güneş Işınımı

Açık gökyüzünde yeryüzündeki yatay düzlemin birim alanına gelen günlük tüm güneş ışınımı (Q); güneşlenme süresi (t) ve gün uzunluğuna ( $t_g$ ) bağlı olarak

$$\frac{Q}{Q_0} = a + b \frac{t}{t_g} \quad (2.19)$$

ifade edilir. Bu denklemdeki a ve b katsayıları

$$a = 0,103 + 0,000017Z + 0,198 \cos(e - d) \quad (2.20)$$

$$b = 0,533 - 0,165 \cos(e - d) \quad (2.21)$$

ifade edilir. Burada Z deniz seviyesinden yükseklik(m)tir. Türkiye için  $a = 0,19\text{--}0,47$  ve  $b = 0,14\text{--}0,42$  aralığında verilmiştir (Kılıç ve Öztürk, 1983). Saat açısı ile ilgili düzeltme faktörü



$$\psi = \text{Exp} \left( -4 \left( 1 - \frac{|h|}{H} \right)^2 \right) \quad (2.22)$$

olmak üzere yeryüzündeki yatay düzlemin birim alanına gelen anlık tüm güneş ışınımı ( $I$ ), günlük güneş ışınımına ( $Q$ ), saat açısı düzeltme faktörü ve gün uzunluğuna bağlı olarak

$$r_T = \frac{I}{Q} = \frac{\pi}{4t_g} \left( \text{Cos} \left( \frac{180h}{2H} \right) + \frac{2}{\sqrt{\pi}} (1 - \psi) \right) \quad (2.23)$$

bağıntısı ile hesaplanır.

#### 2.4.2.1 Günlük Direkt ve Yayılı Güneş Işınımı

Kılıç bütün dalga boylarında gün boyunca yatay düzleme gelen ortalama günlük direkt gün ışınımı için teorik olarak

$$Q_d = \frac{t}{t_0} Q_0 (0,6714 - 0,00423w + 0,223 \ln \cos(e - d)) \quad (2.24)$$

bağıntısını elde etmiştir. Burada  $w$ , yoğunlaştırulabilir su buharı miktarı (mm)'dir. Yatay düzleme gelen ortalama günlük yayılı güneş ışınımı miktarı

$$Q_y = Q - Q_d \quad (2.25)$$

olarak bulunur.

#### 2.4.2.2 Anlık direkt ve yayılı güneş ışınımı

Bir anda yatay birim düzleme gelen aylık ortalama güneş ışınımının ( $I_y$ ), günlük toplam yayılı ışınımına ( $Q_y$ ) oranı;

$$r_y = \frac{I_y}{Q_y} = \frac{\pi}{24} \left( \frac{\cosh - \cos H}{\sin H - \frac{\pi}{180} H \cos H} \right) \quad (2.26)$$

Yatay düzlemin birim alanına gelen anlık direkt güneş ışınımını ( $I_d$ ), anlık yayılı güneş ışınımına ( $I_y$ ) ve anlık tüm güneş ışınımına ( $I$ ) bağlı olarak

$$I_d = I - I_y \quad (2.27)$$

ifade edilir.

### 2.4.3 Yeryüzünde eğik düzleme gelen aylık ortalama güneş ışınımı

Uygulamalarda eğik düzleme gelen güneş ışınlarının bilinmesi gerekir. Eğik düzleme gelen ışınımın düzlemin eğim açısına, yatay düzleme gelen tüm güneş ışınımının direkt ve yayılı ışınım miktarın, azimut açısına ve çevrenin yansıtma oranına bağlı olarak değişir.

#### 2.4.3.1 Yeryüzünde eğik düzleme gelen anlık ortalama güneş ışınımı

Güneş ışınımına dik birim düzleme bir anda gelen direkt güneş ışınımı ( $I_n$ ), güneş ışınımının eğik düzleme geliş açısı ( $g_g$ ) ve zenit açısı miktarı ( $z$ ) olmak üzere, eğik ve yatay düzlemlere gelen güneş ışınım miktarı sırasıyla

$$I_{de} = I_n \cos g_g \quad (2.28)$$

$$I_d = \cos z I_n \quad (2.29)$$

olarak yazılır. Bunların birbirine oranı

$$R_d = \frac{I_{ed}}{I_d} = \frac{I_n \cos g_g}{I_n \cos z} = \frac{\cos g_g}{\cos z} \quad (2.30)$$

Güney-kuzey doğrultusuna dönük ( $a_w = 0$ ) düzlem için

$$R_d = \frac{\cos(e-s)\cos d \cosh + \sin(e-s)\sin d}{\cos e \cos d \cosh + \sin e \sin d} \quad (2.31)$$

Dik yüzeyler için ( $s = 90^\circ$ )

$$R_d = \frac{\cos d \sin e \cos a_w \cosh + \cos d \sin a_w \sinh - \sin d \cos e \cos a_w}{\cos e \cos d \cosh + \sin e \sin d} \quad (2.32)$$

$$I_{ed} = I_d R_d \quad (2.33)$$

#### 2.4.3.2 Anlık toplam güneş ışınnımı

Eğik düzlem üzerine gelen toplam ışınnım direkt ve yayılı güneş ışınnımları ile yansıyarak gelen ışınnların toplamıdır. Yatay düzleme bir anda gelen yayılı güneş ışınnımı ( $I_y$ ) ve düzlemin eğimi ( $s$ ) olmak üzere eğik düzleme gelen yayılı ışınnım

$$I_{ey} = I_y \frac{1 - \cos s}{2} \quad (2.34)$$

ifade edilir. Yansıyarak gelen ışınnım;

$$I_{ya} = I_p \frac{1 - \cos s}{2} \quad (2.35)$$

olarak ifade edilir. Burada  $\rho$  çevrenin yansıtma oranıdır. Çevrenin yansıtma oranı, bitki örtüsüne, topografik yapıya ve kar durumuna bağlı olarak değişir, ortalama değeri yaklaşık 0,2'dir.

Eğik düzlem üzerine gelen toplam ışınnım; direkt yayılı ve yansıyarak gelen ışınnımların toplamı;

$$I_e = R_d I_{ed} + I_{ey} + I_{ya} \quad (2.36)$$

$$I_e = R_d I_d + I_y \frac{1 - \cos s}{2} + \rho I \frac{1 - \cos s}{2} \quad (2.37)$$

olarak bulunur. Toplam ışınım tüm güneş ışınımına bölüldüğünde

$$R = \frac{I_e}{I} = R_d \frac{I_d}{I} + \frac{I_y}{I} \frac{1 - \cos s}{2} + \rho \frac{1 - \cos s}{2} \quad (2.38)$$

elde edilir. Düzlem eğimi arttıkça düzleme gelen yayılı ışınım miktarı azalmakta fakat yansıyarak gelen ışınım miktarı artmaktadır.

### 2.4.3.3 Günlük direkt ve toplam ışınım

Güneye dönük düzlemler için ( $a_w=0$ ) bir gün boyunca eğik düzleme gelen direkt güneş ışınımının, bir gün boyunca yatay düzleme gelen direkt gün ışınımına oranı

$$R = \frac{Q_e}{Q} = R_{dg} \frac{Q_d}{Q} + \frac{Q_y}{Q} \frac{1 - \cos s}{2} + \rho \frac{1 - \cos s}{2} \quad (2.39)$$

olarak bulunur (Kılıç ve Öztürk, 1983).

$$R_{dg} = \frac{\cos(e-s) \cos d \cos H_g + \frac{\pi}{180} H_g \sin(e-d) \sin d}{\cos e \cos d \sin H + \frac{\pi}{180} H \sin e \sin d} \quad (2.40)$$

$$H_g = \min[\arccos(-\tan e \tan d), \arccos(-\tan(e-s) \tan d)] \quad (2.41)$$

### 2.4.4 Maksimum güneş ışınımı alan düzlemin eğimi

Düzlem üzerine gelen güneş ışınımının maksimum olabilmesi için düzlemin ışınları takip etmesi gerekir. Bu zor ve pahalı bir yöntemdir. Belli bir yere sabit eğimle yerleştirilen güneşe dönük düzlemler üzerine gelen ışınımını maksimum olduğunda optimum eğim güneşe dönük düzlemler için verilir ve belli bir zaman aralığı için hesaplanır. Seçilen zaman aralığı enerji ihtiyacına göre tespit edilmelidir. Optimum

eğim yaz aylarında deklinasyon açısının değerine göre ( $d>0$ ) enlemde daha küçük, kış aylarında ( $d<0$ ) ise enlemden daha büyüktür. Optimum eğim Türkiye şartlarında sıcak su sistemleri için

$$s = e - 1,5 e \frac{|d|}{180} \quad (2.42)$$

bağıntısından hesaplanabilir (Kılıç ve Öztürk, 1983; Öztürk, A., 1985).

### 3 GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİ

Güneş kollektörleri sıcaklığı toplamak, depolamak ve güneş ısıl enerjisini taşımak için kullanılan aygıtlardır. Esasen güneş kollektörleri, akışkan-sıvı veya hava çalışmalarında gelen güneş ışınımını duyulur ısıya çeviren ısı değiştiricilerdir (Capehart, et al., 2002).

#### 3.1 Kollektörlü Sıcak Su Sistemleri

Yapılan bu çalışma ile doğrudan ilgili olan kolektörlü sıcak su sistemleri daha ayrıntılı olarak incelenecektir. Kollektörlü sıcak su sistemleri 100°C'nin altındaki düşük sıcaklıklarda hacim ısıtma su ısıtma, su havuzu ısıtma vb. amacıyla kullanılırlar. Kollektörlü sıcak su sistemleri genel olarak düzlemsel kollektörlerden meydana gelmektedir. Kollektörlü sıcak su sistemleri tabii dolaşımli ve pompalı olarak ikiye ayrılır.

##### 3.1.1 Tabii dolaşımli sistemler

Bu tür sistemlerde sıcaklıkla orantılı olarak suyun yoğunluğunun artması veya azalması özelliğinden faydalanılır. Güneş üzerine düştüğünde kollektör içindeki su ısınarak genleşir. Genleşen suyun özgül ağırlığı azalacağından yükselerek üstten depoya girer. Kollektörde ısınarak depoya giden suyun yerine deponun altındaki daha soğuk su gelir ve ısınarak depoya gider. Tabii dolaşımli sistemlerde ısınan suyun sistemde dolaşabilmesi için depo, kolektörün en üst seviyesinden en az 30 cm yüksekte olması gerekmektedir ve bu nedenle bu sistemlerin uygulama alanları sınırlıdır. Sıcak su ihtiyacı az olan yerlerde verimleri yüksektir ve basit yapıli olduklarından maliyetleri düşüktür.

##### 3.1.2 Pompalı Sistemler

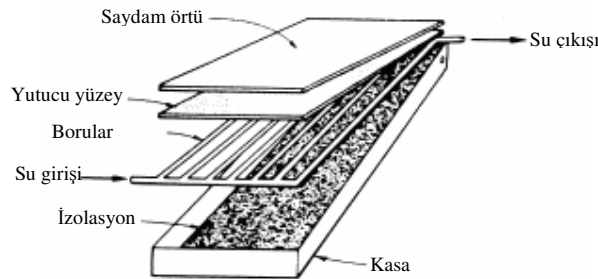
Kollektör sistemindeki suyun sistemde dolaşabilmesi için bir pompaya, ihtiyaç vardır. Büyük sistemlerde kullanıldıklarından depo kullanımı çok zordur ve ısıl dirençlerin fazla olması suyun dolaşımını büyük ölçüde engellemektedir.

- Pompalı Açık Sistemler: Sistemde ısıtma suyu ve kullanılan su aynıdır. Ucuz ve yüksek verimli olmalarının yanı sıra soğukta donma ve kireçlenme riski vardır.

- Pompalı Kapalı Sistemler: Kolektörde dolaşan ısıtma suyu ve kullanılan su ayrıdır. Bu sistemlerde eşanjör (ısı değiştirici) kullanıldığı için verim düşük ve maliyet fazladır (Deriş, 1979; Yamaç, 2005).

### 3.2 Düzlemsel güneş kolektörlerinin elemanları

Düzlemsel kolektörler genellikle cam veya plastik saydam örtü ve akışkanlara ısı transfer eden absorber plakaya sahip dar metal veya ağaçtan kasalardan oluşur. Güneşin kısa dalga ışınimleri saydam örtüden geçerek kolektöre girer ve akışkanı (genellikle antifrizli veya antifrizsiz su veya hava) ısıtır. Isınan akışkan kolektörden kullanma noktasına veya daha sonra kullanılmak üzere depoya hareket eder. Düzlemsel güneş kolektörleri çoğunlukla güneye dönük (Kuzey yarımkürede) ve açı verilerek yerleştirilir (Capehart, et al., 2002). Tipik bir düzlemsel kolektör Şekil 3.1'de gösterilmiştir (Kaygusuz, 2000).



Şekil 3.1 Tipik bir düzlemsel kolektör

#### 3.2.1 Sırdam örtü

Sırdam örtüler güneş ışınımının bir kısmını geçirirler ve üstten olan ısı kayıplarını önlerler. Uygulamada düzlemsel güneş kolektörlerinde sırdam örtü cam veya plastik esaslı malzemeler kullanılabilir. Çoğunlukla temperlenmiş cam kullanılmaktadır. Camlar güneş ışınlarının 0,3  $\mu\text{m}$  ile 3  $\mu\text{m}$  dalga boyuna sahip kısmını geçirirler ve yutucu yüzey tarafından yansıtılan 3,0  $\mu\text{m}$ –5,0  $\mu\text{m}$  aralığındaki uzun boylu

ışınımları tutarlar. Böylece sera etkisi ve kolektör verimi artar, aynı zamanda maliyette artmaktadır.

Camlar yüksek sıcaklığa, aşınmaya ve çizilmeye dayanıklıdır. Yüksek sıcaklıklardan etkilenmez. Bu avantajların yanı sıra kırılğan olması, işlenebilme zorluğu, hassas boyutların sağlanamaması, ağır olması, sızdırmayı önlemek için plastik contalara ihtiyacı olması gibi dezavantajları vardır.

Camların yapısında bulunan demir oksit ( $FeO_2$ ) toplam geçirme oranını ters orantılı olarak etkiler. Demir oksit oranı % 0,05'ten düşük olan camlar saydam örtü olarak kullanılmaya elverişlidir. Bu miktar pencere camında % 10 civarında iken su beyazı (water white) camlarda % 0,015'ten daha düşüktür. Camların üst yüzeylerinde yansıtma fazladır. Bunu azaltmak için yüzey teflon (FEP), porozsilika, magnezyum florür (MgFl) gibi kırma indeksi düşük (hava ile camın kırma indeksi arasında) malzemelerden yapılmış bir film ile kaplanmalıdır. Bazı saydam örtülerin yüzey özellikleri Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1 Bazı saydam örtülerin yüzey özellikleri

Saydam Örtü	Kalınlık (mm)	Kırma İndisi	Normal Geçirme Oranı		Dayanıklılığı (°C)
			Güneş Işınımı 0,2-4,0 $\mu m$	Yayılan Işınım 3,0-50 $\mu m$	
Lexan	3,2	1,586	0,73	0,02	120–130
Akrilik	3,2	1,49	0,80	0,02	80–90
Teflon, PVF	0,13	1,34	0,09	0,26	200
Tedlar, PVF	0,10	1,45	0,88	0,21	110
Mylar	0,13	1,65	0,80	0,18	150
Sunlite	0,64	1,54	0,75	0,08	90
Düzgün cam	3,2	1,52	0,79	0,02	730
Temper cam	3,2	1,52	0,79	0,02	230–260
Su beyazı cam	3,2	1,50	0,92	0,02	200



Camların dışındaki plastik esaslı örtülerin güneş ışınımı geçirme oranlarında yüksek olduğundan seçici yüzeyli olmayan kolektörlerde iç örtü olarak kullanılabilir. Ancak plastikler orta ve yüksek sıcaklıklarda özelliklerini kaybederler. Isıl genleşme katsayıları yüksek olduğundan bükülme ve sızdırma sorunları ortaya çıkmaktadır.

### 3.2.2 Yutucu yüzey (Absorber plaka)

Yutucu yüzey kolektörlerin en önemli kısmını oluşturur. Bu yüzey güneş ışınımını absorbe ederek ısıyı sistemdeki akışkana aktarır. Bu yüzden yutucu yüzeyin güneş ışınımı yutma oranının büyük ve uzun dalga boylu ışınımı yayıcılığı düşük olmalıdır. Yutucu yüzeylerde ısıyı akışkana çok iyi iletmek, ısı geçişinin hızlı olması ve ısı iletim katsayısının yüksek olması istendiğinden malzeme olarak metal levhalar kullanılır. Metal levha olarak genellikle bakır (Cu), alüminyum, çelik ve paslanmaz çelik kullanılır. Bunların dışında akrilik, polipropilen ve plastiklerde siyaha boyanarak yutucu yüzey olarak kullanılabilir. Yutucu yüzeylerde ısı geçişi borular arasındaki mesafeye ve malzemenin ısı iletim katsayısına bağlıdır. Tablo 2.1'de bazı yutucu yüzey malzemelerinin ısı iletim katsayıları verilmiştir.

Tablo 3.2 Bazı yutucu yüzey malzemelerinin ısı iletim katsayıları

Malzeme	Isı iletim katsayısı kW/m <sup>2</sup> K	Malzeme	Isı iletim katsayısı kW/m <sup>2</sup> K
Bakır	386	Akrilik	0,20
Alüminyum	204	Polietilen	0,35
Çelik	50	Polipropilen	0,20
Paslanmaz çelik	24	PVC	0,16

Pratikte borular ve emici plakalar bakır (Cu) ve alüminyum (Al) gibi iletkenliği yüksek malzemelerden seçilir. Bu malzemeler içinde bakır en pahalı malzeme olup, 0,25 mm kalınlığındaki 1 m<sup>2</sup>'lik yüzey için 1,3 kg alüminyum gerektiren, bakır için bu miktar 2,25 kg'a çıkmaktadır (Yamaç,2005).

Yutucu yüzeylerin ömürleri korozyona bağlı olarak değişir. Saydam örtü yüzeyinde yoğunlaşan suyun levhaya akması veya yağmur sularının içeri sızması yüzeyin dış korozyona uğramasına sebep olur. Çelik levhalar bu tür dış korozyonlara karşı dayanıklı değildir. Ayrıca sistemdeki akışkanın içinde bulunan çözülmüş oksijen çelik levhaların aşınmasına neden olur.

Seçilen malzemenin lehim ve kaynak yapılabilme özelliği göz önüne bulundurulmalıdır. Bakırın lehimi kolay ve pahalıdır. Alüminyumun ise kaynağı zordur (Kılıç ve Öztürk, 1983).

### 3.2.2.1 Yutucu yüzeylerin kaplanması

Yutucu yüzeylerde ışınım geçirilmeden, belli bir dalga boyunda, yansıtma ve yutma oranlarının toplamı birdir.

Uygulamalarda kolektörlerde kullanılan yutucu yüzey malzemelerinin yutma oranı düşüktür. Bu nedenle yutucu yüzeylerin üst kısımları yutma oranları yüksek malzemelerle kaplanır. Kaplama iki yöntemle yapılır.

- **Seçici (Selektif) kaplama**

İdeal bir siyah yüzey her açıdan gelen farklı dalga boylarındaki ışınımın tamamını yutar ve yayıcılığının yüksek olması istenir. Fakat ideal olmayan (gerçek) yüzeyler geliş açalarına bağlı olarak ışınımın bir kısmını geri yansıtır ve ısıl ışınımının tamamını yutar ve uzun dalga boyu ışınımı yayıcılığı düşük olan yüzey olarak tanımlanır. Seçici yüzeyler yutucu yüzeylere ince bir film halinde kaplanır. Kaplama işlemi kimyasal banyo, elektro kaplama ve püskürtme yöntemi yoluyla yapılır. Seçici yüzeyler pahalı ve kısa ömürlüdür. Bakır veya çelik üzerine yapılan kaplamalar sıcaklığa ve neme dayanıklı olduğu için ideal seçici yüzey olarak bilinir.

- **Siyah boya ile kaplama**

Konutlar için su ısıtma, hava ısıtma gibi düşük sıcaklıklarda çalışan sistemlerde siyah boya ile kaplamalar daha uygundur. Siyah boyalı yüzeylerin yutma ve yansıtma oranları yüksektir. Siyah boya olarak mat siyah boyalar kullanılır. Mat bir siyah boyanın yutma oranı 0,90–0,98 ve yansıtma oranı 0,85–0,92 arasındadır. En çok kullanılan boyalar demir oksit, asfalt amorf grafit, karbon siyahı boyalarıdır. Kolektörlerde 200 °C yutucu siyah yüzey sıcaklığına dayanabilen siyah boya kaplamalar seçici yüzeye oranla daha uzun ömürlüdür (Yamaç, 2005).

### 3.2.2.2 Yutma-geçirme çarpımı

Saydam örtüyü geçerek yutucu yüzey üzerine gelen güneş ışınımının büyük bir kısmı yüzey tarafından yutulurken bir kısmı yansır. Yansıtılan ışınım saydam örtünün alt kısmına gelir ve bir kısmı geçerken bir kısmı yeniden yansır ve böylece devam eder. Levha tarafından absorblanan toplam ışınım kesri;

$$(\tau\alpha) = \tau\alpha \sum_{N=0}^{\infty} ((1-\alpha)\rho_y)^N = \frac{\tau\alpha}{1-(1-\alpha)\rho_y} \quad (3.1)$$

şeklinde ifade edilir. Burada  $\tau\alpha$ , düzlemsel kollektörün optik verimi veya yutma geçirme çarpımı;  $(\alpha)$ , yüzeyin güneş ışınımını açısız yutma oranı;  $\rho_y$ , saydam ortamın levhadan yansıyan ışınımı yansıtma oranıdır.

Toplam yutma-geçirme çarpımı güneş ışınımının geliş açısı ile birlikte bulunan yerin enlemine, zamanına ve kollektörün eğimine bağlıdır. Saydam örtünün normal doğrultuda gelen direkt güneş ışınımı için yutma geçirme çarpımı yaklaşık olarak;

$$(\tau\alpha) = (\tau\alpha)_0 - b \left( 1 - \frac{I_d R_d}{IR} \left( 2 - \frac{1}{\cos g} \right) \right) \quad (3.2)$$

şeklinde yazılabilir. Burada  $\tau\alpha$ , saydam örtünün normal doğrultuda gelen direkt güneş ışınımı için yutma-geçirme çarpımı;  $b$ , saydam örtü ve yutucu yüzey malzemelerinin özelliklerine ve saydam örtü sayısına bağlı katsayıdır. Tablo 3.4'de yutma geçirme çarpımı ve  $b$  katsayısı verilmiştir (Kılıç ve Öztürk, 1983).

Tablo 3.3 Yutma geçirme çarpımı ve b katsayısı

	Cam sayısı	$(\tau\alpha)_0$	b
Düşük demir oksitli cam ( $\delta\beta = 0,0125$ )	1	0,87	0,07
	2	0,79	0,09
Pencere camı ( $\delta\beta = 0,0125$ )	1	0,80	0,08
	2	0,69	0,10

### 3.2.3 Kollektör kasası

Güneş kolektörlerinin kasaları çoğunlukla alüminyum olup ayrıca, plastik, paslanmaz çelik, galvanizli çelik sac, polipropilen ve ahşap kasalarda kullanılabilir. Kullanılan malzemeye göre gövde tasarımı değişiklik gösterir. Birçok kolektör ekstrüze alüminyum profilden yapılmıştır. Ekstrüze alüminyum profil hafiftir, modül boyutlarında mümkün olan en yüksek esnekliğe sahiptir. Daha karmaşık şekiller profile entegre edilebilir. Maliyetleri de oldukça düşüktür. Galvanize veya paslanmaz çelik uygulamalı gövdelerin kullanımıyla ağırlığı oldukça yüksek kasalar elde edilmektedir. Kasa yalıtkanın ıslanmasını önleyebilecek sızdırmazlıkta olmalıdır. Özellikle kolektör giriş ve çıkışlarında kasanın tam sızdırmazlığı sağlanmalıdır. Yapımda kullanılan malzemelerin ısıl genleşmeleri dikkate alınarak boyutlandırılmalıdır (Acaroğlu, 2003).

### 3.2.4 Yalıtım

Güneş kolektörlerinde sistemin güneş almayan yan ve alt bölümleri yalıtım malzemeleri ile yalıtılarak çevreye olan ısı geçişi önlenmelidir.

Kollektörlerde yalıtım malzemesi olarak strafor, cam yünü, köpük ve poliüretan kullanılmaktadır. Yalıtım malzemeleri ısı iletim katsayısı, sıcaklık, yoğunluk, mukavemet, neme direnç, yanıcılık ve fiyat gibi özellikleri dikkate alınarak seçilmesi gerekir. Uygulamada en çok kullanılan yalıtkan 250°C'ye kadar dayanabilen cam yünüdür. Tablo 3.4'de bazı yalıtım malzemelerinin özellikleri verilmiştir (Yamaç, 2005).

Tablo 3.4 Bazı yalıtım malzemelerinin özellikleri

Yalıtım malzemesi	Isı iletim katsayısı (W/m <sup>2</sup> K)	Çalışma sıcaklığı (°C)	Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )
Cam yünü	0,032	250	15–20
Taş yünü	0,036–0,055	650–1050	-
Polistiren köpük	0,029	70–80	20
Poliüretan köpük	0,023	104	35
PVC	0,035	100–130	40–80
Kalsiyum silikat	0,055	650	-
Perlit	0,048	820	-
Fenollük köpük	0,033	135	-
Gözenekli plastik	0,040	100	-

### 3.3 Düzlemsel Kollektörlerin Isıl Analizi

Kollektör üzerine gelen güneş ışınımının bir kısmı saydam örtüde yansır, bir kısmı yutulur ve geri kalan kısmı yutucu yüzeye ulaşır. Yutucu yüzeye gelen enerjinin bir kısmı taşıyıcı akışkana geçerken (faydalı ısı), bir kısmı kollektörde toplanır, geri kalan ışınım, taşınım ve iletimle çevreye gider. Düz kollektörler için enerji dengesi

$$A_t(\tau\alpha)I = Q_f + Q_k + Q_d \quad (3.3)$$

şeklinde yazılabilir. Burada  $Q_k$ , ışınım, taşınım ve iletimle olan ısı kayıplarının toplamı;  $Q_f$ , akışkana geçen enerji;  $Q_d$ , depolanan enerji;  $A_t$ , faydalı yüzey alanı;  $I$ , kollektör üzerine gelen güneş ışınımıdır (Kılıç ve Öztürk, 1983; Deriş, 1979).

#### 3.3.1 Kollektör sıcaklığı ve ısı kayıplar

Düzlemsel kollektörlerin ısı kayıpları kollektörün çalışma sıcaklığına bağlıdır. Ortalama kollektör akışkan sıcaklığı, sıvı için giriş ve çıkış sıcaklıklarının ortalaması olarak alınabilir,

$$\bar{T}_a = \frac{T_{ag} + T_{a\zeta}}{2} \quad (3.4)$$

Diğer bir formülle

$$\bar{T}_a = T_{ag} - \left( T_{ag} - T_{\zeta ev} - \frac{S}{K} \right) \left( 1 - \frac{F_t}{F_v} \right) \quad (3.5)$$

Burada  $T_{\zeta ev}$ , çevre sıcaklığı; S, güneş ışınımı;  $F_t$ , kolektör ısı kazanç faktörü;  $F_v$ , kolektör verim faktörüdür.

Bir kolektördeki ısı kaybı; alttan, üstten ve yanlardan oluşan ısı kaybının toplamıdır ve

$$K = K_{alt} + K_{üst} + K_{yan} \quad (3.6)$$

Alt yüzeyden oluşan ısı kaybı;

$$K_{alt} = \frac{k_a}{L_a} \quad (3.7)$$

şeklinde yazılır. Burada;  $k_a$ : yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısı;  $L_a$ : yalıtım malzemesinin kalınlığıdır.

Yan yüzeylerden olan ısı kaybı;

$$K_{yan} = \frac{k_a}{L_y} \left( \frac{\text{Kollektör ÇevresixK.Derinlik}}{\text{Kollektör Alanı}} \right) \quad (3.8)$$

yazılır. Burada  $L_y$ , kolektör alanıdır.

Kollektörlerde alt ve yan yüzeylerden olan ısı kaybı çok düşüktür. Kollektörde ısı kayıplarının % 70'i üst kısımdan meydana gelir. Kollektörde üstten olan ısı kaybı Larson ve Agarwall (1981) tarafından aşağıdaki bağıntıda bulunmuştur.

$$K_{\text{üst}} = \left[ \frac{N}{\frac{C}{T_y} \left[ \frac{T_y - T_{\text{ç}}}{N + f} \right]^{0.33}} + \frac{1}{h_{\text{td}}} \right]^{-1} + \left[ \frac{\sigma(T_y + T_{\text{ç}})(T_y^2 + T_{\text{ç}}^2)}{[\epsilon_L + 0.05N(1 - \epsilon_L)]^{-1} + \frac{2N + f - 1}{\epsilon_s} - N} \right] \quad (3.9)$$

$$h_{\text{td}} = 5,7 + (3,8V) \quad (3.10)$$

$$f = \left( 1 + 0,04h_{\text{td}} + 0,0005h_{\text{td}}^2 \right) (1 + 0,091N) \quad (3.11)$$

$$c = 250(1 - 0,0044(s - 90)) \quad (3.12)$$

Burada  $h_{\text{td}}$ , Dıştaki saydam örtü ile çevre arasındaki taşınım ile ısı geçiş katsayısı  $V$ , rüzgar hızı (m/s);  $N$ , saydam örtü sayısı (adet);  $T_y$ , yutucu yüzey sıcaklığı(K);  $\tau$ , Stefan-Boltzman sabiti ( $5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}$ );  $\epsilon_L$ , yutucu yüzeyin ışınım yayma oranı;  $\epsilon_s$ , saydam örtünün ışınım yayma oranı;  $s$ , kollektör eğimidir (Goswami, et al., 1999; Kılıç ve Öztürk, 1983; Deriş, 1979).

### 3.3.2 Efektif yutma geçirme çarpımı

Saydam örtü tarafından yutulan ışınım miktarı, saydam örtü sıcaklığını artıracığından saydam örtü ile yutucu yüzey arasındaki ısı geçiş katsayısı küçülür. Yani faydanılan ısı miktarı artar. Efektif yutma geçirme çarpımı saydam örtü sayısı ve özelliklerine ayrıca çevre sıcaklığına bağlı olarak

$$(\tau\alpha)_e = (\tau\alpha) - a_k \quad (3.13)$$

ifade edilir.

$A_k$  levha sıcaklığına, çevre sıcaklığına, rüzgâr hızına ve kollektör yüzeyine bağlı sabittir. Tablo 3.5'de bazı durumlar için  $a_k$  değerleri verilmiştir (Kılıç ve Öztürk, 1983).

Tablo 3.5 Bazı durumlar için  $a_k$  değerleri ( $\delta\beta = 0,09$ )

$T_L$ (°C)	$T_{\text{çev}}$ (°C)	Seçici Yüzey( $\varepsilon = 0,10$ )				Siyah Yüzey( $\varepsilon = 0,95$ )			
		V=0 m/s		V=5 m/s		V=0 m/s		V=5 m/s	
		1	2	1	2	1	2	1	2
40	0	0,025	0,054	0,011	0,039	0,039	0,076	0,020	0,056
	20	0,021	0,049	0,009	0,035	0,037	0,073	0,019	0,055
60	0	0,025	0,056	0,012	0,039	0,041	0,079	0,021	0,058
	20	0,023	0,052	0,010	0,037	0,039	0,077	0,021	0,058
	40	0,019	0,047	0,009	0,034	0,037	0,074	0,020	0,056
80	0	0,026	0,057	0,012	0,040	0,043	0,082	0,022	0,061
	20	0,024	0,054	0,011	0,039	0,041	0,080	0,022	0,060
	40	0,022	0,050	0,010	0,036	0,036	0,077	0,022	0,059

### 3.3.3 Kollektör ısı geçiş faktörleri

Yutucu yüzey sıcaklığı, akışkanın kollektöre giriş sıcaklığına, kollektör üzerine gelen güneş ışınımına ve kollektör tipine bağlıdır.

Bir borunun diğerinden bağımsız olduğunu ve boruların arasındaki levhanın ortasında yüzey sıcaklığı maksimum olduğu kabul edilirse yutucu yüzeye gelen ışınım;

$$S = (\tau\alpha)_e I \quad (3.14)$$

şeklinde yazılır.

### 3.3.4 Kollektör verim faktörü

Kollektör verim faktörü; gerçek haldeki faydalı enerjinin yutucu yüzey sıcaklığının akışkan sıcaklığında olması halindeki faydalı enerjiye oranıdır. Kollektör verim faktörü;



$$F_v = \frac{1/K}{(d+w) \left[ \frac{1}{(d-wn_k)K} + \frac{\gamma}{dk_b} + \frac{1}{\pi d_i h_{ti}} \right]} \quad (3.15)$$

olarak ifade edilir. Burada  $d$ , boru dış çapı;  $d_i$ , boru iç çapı;  $w$ , borular arasındaki mesafe;  $\frac{\gamma}{dk_b}$ , birleştirme ısı direnci;  $\gamma$ , birleştirme malzemesinin kalınlığı (m);  $k$ , birleştirme malzemesinin ısı iletim katsayısı ( $W/m^2K$ )'dır. Kanat verimi;

$$\eta_k = \frac{\tanh\left(\frac{mw}{2}\right)}{\left(\frac{mw}{2}\right)} \quad (3.16)$$

$$m^2 = \frac{K}{k\delta} \quad (3.17)$$

şeklinde hesaplanır. Burada  $\delta$ , yutucu yüzey kalınlığı;  $k$ , yutucu yüzey ısı iletim katsayısı ( $W/m^2K$ )'dır (Kılıç ve Öztürk, 1983; Deriş, 1979). Yutucu yüzey ile saydam örtü arasındaki ısı iletim katsayısı

$$h_t = \frac{Nuk_a}{L} \quad (3.18)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Nusselt(Nu) sayısı Reynolds(Re) ve Prandtl(Pr) sayılarına bağlı olarak

$$Nu = 0,027 Re^{0.8} Pr^{1/3} \quad Re > 2300 \quad (3.19)$$

$$Nu = 1,186 (Re Pr)^{1/3} \left(\frac{d}{1}\right)^{1/3} \quad Re < 2300 \quad (3.20)$$

olarak bulunur. Bir borudan faydanılan ısı miktarı

$$Q_f = (d + w)bF_v [S - K(T_a - T_{\text{çev}})] \quad (3.21)$$

bağıntısından hesaplanır (Kılıç ve Öztürk, 1983).

### 3.3.5 Kollektör ısı kazanç faktörü

Faydalı enerjinin yutucu yüzeyin her noktasında akışkan giriş sıcaklığında olması halindeki faydalı enerjiye oranı kollektör ısı kazanç faktörü olarak tanımlanır. Faydalı enerji akışkan giriş ( $T_{ag}$ ) ve çıkış sıcaklığına ( $T_{aç}$ ) bağlı olarak;

$$Q_f = mC_p (T_{aç} - T_{ag}) \quad (3.22)$$

şeklinde ifade edilir. Yutucu yüzeyin akışkan giriş sıcaklığında olması halindeki faydalı enerji

$$Q_{fi} = A_t (S - K(T_{ag} - T_{\text{çev}})) \quad (3.23)$$

olarak bulunur Denklem (3.22) ve (3.23) oranlanırsa kollektör ısı kazanç faktörü

$$F_t = \frac{mC_p (T_{aç} - T_{as})}{A_t [S - K(T_{ag} - T_{\text{çev}})]} \quad (3.24)$$

bağıntısı yazılabilir. Bu eşitliğin payındaki terime  $T_{aç}$  ve  $S/K$  eklenip Denklem (3.24)'de yerine konulduğunda

$$F_t = \frac{mC_p}{A_t K} \left( 1 - \exp \left( - \frac{A_t K F_v}{mC_p} \right) \right) \quad (3.25)$$

olarak bulunur. Burada  $A_t$ , kollektör alanı ( $m^2$ );  $m$ , akışkan özgül ısısıdır.

Faydanılan enerji akışkan giriş ve çevre sıcaklığına bağlı olarak

$$Q_f = A_t F_t \left( S - K(T_{ag} - T_{\text{çev}}) \right) \quad (3.26)$$

hesaplanır.  $F_v$  ve  $K$  değerlerinin sabit kaldığı kabul edilirse, akışkanın boruya giriş sıcaklığı

$$\frac{T_{a\text{ç}} - T_{\text{ç}} - \frac{S}{K}}{T_{ag} - T_{\text{ç}} - \frac{S}{K}} = \exp\left(-\frac{KA_t F_v}{mC_p}\right) \quad (3.27)$$

olarak bulunur. Akışkanın kollektörden çıkış sıcaklığı ile giriş sıcaklığı arasındaki fark kollektör uzunluğuna ve güneş ışınımının şiddetine bağlıdır.

### 3.3.6 Kollektör anlık verimi

Kollektörde toplanan enerjinin, kollektör üzerine gelen güneş ışınımına oranı kollektör verimi olarak ifade edilir. Anlık kollektör verimi;

$$\eta_K = \frac{Q_f}{A_t I} = F_t \left( (\tau\alpha)_e - K \left( \frac{T_{ag} - T_{\text{çev}}}{I} \right) \right) \quad (3.28)$$

olarak ifade edilir.

### 3.3.7 Ortalama kollektör verimi

Günlük ortalama kollektör verimi bir gün boyunca toplanan ışınımın kollektör üzerine gelen ışınımına oranıdır. Çevre sıcaklığının gün doğuşu ve batışı arasındaki değişimi;

$$T_{\text{çev}} = T_{\text{ort}} + \frac{\Delta T}{2} + \text{Cos}\left(\frac{180}{t_g}(Z_g - 14)\right) \quad (3.29)$$

bağıntısından hesaplanır. Burada  $Z_g$ , güneş zamanı;  $T_g$ , gün uzunluğu;  $T_{ort}$ , günlük ortalama dış sıcaklık (K);  $\Delta T$ , günlük ortalama maksimum ve minimum dış sıcaklık farkıdır.

Akışkanın kollektöre giriş sıcaklığının sabit olması halinde yaklaşık olarak günlük ortalama kollektör verimi

$$\eta_{ko} = F_t \left( (\tau\alpha)_e - K \left( \frac{T_{ag} - T_{ort}}{I} \right) \right) \quad (3.30)$$

ifade edilir (Kılıç ve Öztürk, 1983; Goswami, et al. 1999).

### 3.4 Maliyet Analizi

Güneş enerji kollektör ve yardımcı enerji maliyetleri için optimum bir kollektör boyutu vardır. Ekonomik analiz yapılarak en uygun kollektör boyutu bulunabilir.

Güneş sisteminin yıllık ek maliyeti

$$C_h = C \times CRF \quad (3.31)$$

bağıntısından hesaplanır. Burada toplam ilk yatırım maliyeti(C);

$$C = \text{Kollektör maliyeti} + \text{Depolama mal.} + \text{Çesitli mal.} \quad (3.32)$$

ve anamal geri ödeme faktörü(CRF);

$$CRF = \frac{\dot{I}_d (1 + \dot{I}_d)^t}{(1 + \dot{I}_d)^t - 1} \quad (3.33)$$

olarak hesaplanır. Burada  $\dot{I}_d$ ; yıllık indirim oranı, t; sistemin tahmin edilen ömrüdür. Güneş enerjisi sisteminin ortalama maliyeti, ortalama yıllık toplam güneş enerjisine bağlı olarak

$$C_{se} = \frac{C_h}{Q_{ty}} \quad (3.34)$$

hesaplanır. Toplam enerji maliyeti

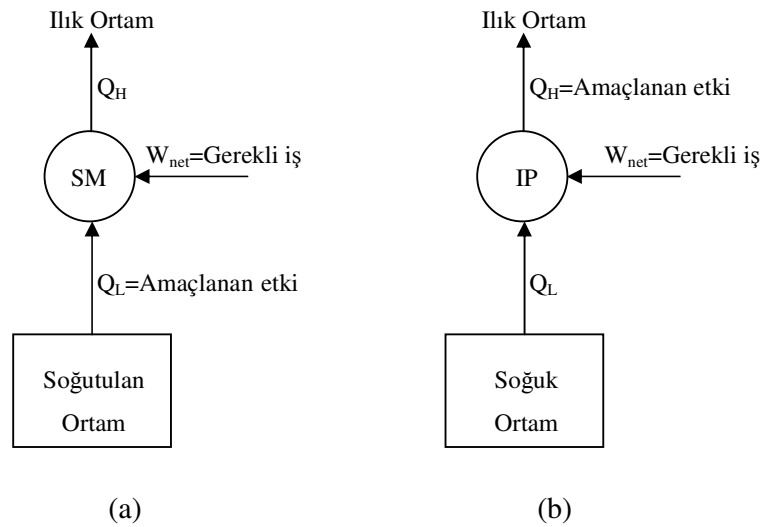
$$C_{top} = Q_{top} [f_s C_{se} + (1 - f_s) C_{yar}] \quad (3.35)$$

olarak hesaplanır. Burada  $f_s$ ; güneş enerjisi tarafından karşılanan enerji yüzdesi,  $C_{yar}$ ; yardımcı enerji birim maliyetidir (Kreider and Kreith, 1974).

#### 4 ISI POMPALARI

Isı geçişinin azalan sıcaklık yönünde, başka bir deyişle sıcak bir ortamdan soğuk bir ortama doğru gerçekleşir. Bu yönde ısı geçişi doğada kendiliğinden olur. Fakat bir ortamdan, daha yüksek sıcaklıktaki bir ortama ısı geçişi kendiliğinden olamaz, bunun bir soğutma makinesi aracılığıyla yapılması gerekir.

Soğutma makineleri bir çevrime göre çalışır, soğutma çevrimlerinde dolaşan akışkanlara da soğutucu akışkan adı verilir. Bir soğutma makinesinin genel çizimi Şekil 4.1 a'da gösterilmiştir. Burada  $Q_L$ , soğutulan ortamdan çekilen ısı,  $Q_H$  ise daha sıcak ortama verilen ısıdır.  $T_L$ , soğutulan ortamın sıcaklığı,  $T_H$  ısı verilen ortamın sıcaklığı ve  $W_{net}$ , çevrimde dolaşan akışkan üzerinde yapılması gereken sıkıştırma işini göstermektedir.



Şekil 4.1 (a) Soğutma makinesinin ve (b) ısı pompasının çevrimi

Düşük sıcaklıktaki bir ortamdan, daha yüksek sıcaklıktaki bir ortama ısı geçişi, ısı pompası aracılığıyla da gerçekleşebilir. Soğutma makineleri ve ısı pompaları aynı çevrime göre çalışırlar. Ancak kullanım amaçları farklıdır. Soğutma makinesinin amacı çevre sıcaklığından daha düşük sıcaklıkta olan bir ortamdan ısı çekerek, ortamı düşük sıcaklıkta tutmaktır. Daha yüksek sıcaklıktaki ortama ısı verilmesi sadece çevrimin tamamlanabilmesi için gerekli olan bir işlemdir. Isı pompasının amacı ise, ısıtılan bir

ortamı istenen sıcaklıkta tutmaktır. Bunun için düşük sıcaklıktaki bir kaynaktan çekilen ısı, daha yüksek sıcaklıktaki ortama verilir. Bir ısı pompasının genel çizimi Şekil 4.1b’de gösterilmiştir.

Bir soğutma makinesi veya ısı pompasının ısıl değerlendirilmesi, etkinlik katsayısı (COP) ile yapılır. Etkinlik katsayısı

$$\text{COP}_{\text{SM}} = \frac{\text{Elde edilmek istenen}}{\text{Harcanan}} = \frac{\text{Soğutma etkisi}}{\text{İş girişi}} = \frac{Q_L}{W_{\text{net}}} \quad (4.1)$$

$$\text{COP}_{\text{IP}} = \frac{\text{Elde edilmek istenen}}{\text{Harcanan}} = \frac{\text{Isı etkisi}}{\text{İş girişi}} = \frac{Q_H}{W_{\text{net}}} \quad (4.2)$$

olarak ifade edilir. Isı pompasının etkinlik katsayısı ve soğutma makinesinin etkinlik katsayısı birden büyük olabilir. Belirli  $Q_L$  ve  $Q_H$  değerleri için Denklem (4.1) ve (4.2) karşılaştırılırsa

$$\text{COP}_{\text{IP}} = \text{COP}_{\text{SM}} + 1 \quad (4.3)$$

elde edilir. Bu bağıntı ısı pompasının etkinlik katsayısının birden büyük olduğunu göstermektedir. Çünkü  $\text{COP}_{\text{SM}}$  her zaman sıfırdan büyüktür. Başka bir deyişle, bir ısı pompası en kötü durumda bir elektrikli ısıtıcının etkinliğinde olacak, tükettiği elektrik kadar ısı enerji sağlayacaktır. Bununla birlikte gerçek uygulamada  $Q_H$ ’ın bir bölümü borulardan ve kanallardan çevreye geçebilir ve dış hava sıcaklığı çok düşük olduğu zamanlarda ısı pompasının etkinlik katsayısı birin altına düşebilir. Bu durum gerçekleştiğinde ısı pompası, elektrikli ısıtıcı gibi çalıştırılır (Çengel ve Boles, 1996).

#### 4.1 Isı Pompası Sistemleri

Isı pompaları, diğer ısıtma sistemlerine oranla hem pahalı hem de kurulması ve işletilmesi problemlidir. Buna karşılık aynı sistemle yaz mevsiminde serinletme ihtiyacı da karşılanabildiğinden giderek kullanımı yaygınlaşmaktadır. 1984

yılı istatistiklerine göre ABD de yaşayan küçük ailelerin üçte biri ısıtma ihtiyacını ısı pompasıyla karşılamaktadır (Öztürk, vd; 2006).

Isı pompaları elektrikli ısıtmaya göre üç veya altı kat avantajlı olmaları, çevre kirliliğine yol açmamaları endüstriyel alanlarda kullanılmasını sağlamıştır.

Isı pompalarında ısı kaynağı olarak hava (güneş yardımcı), su, yeraltı ve endüstriyel kaynaklar kullanılır. Isı pompaları için en çok kullanılan enerji kaynağı çevre havadır. Bu tür sistemler, hava kaynaklı ısı pompası sistemleri diye adlandırılır. Kaynak olarak çevre havayı kullanan sistemlerde en büyük sorun, özellikle nemli yörelerde sıcaklık 2 ile 5°C'nin altına düştüğü zaman ortaya çıkan karlanmadır. Buharlaştırıcı boruları üzerinde karlanma istenmeyen bir olgudur çünkü ısı geçişini önemli ölçüde engeller. Karlanma, sistemi soğutma düzeninde çalıştırarak çözülebilir fakat buda sistemin etkinliğinin azalmasına neden olur.

Su kaynaklı sistemler, genellikle 80 m'ye kadar inebilen derinliklerde bulunan 5–18°C sıcaklık arasındaki yeraltı veya kuyu sularından yararlanırlar. Bu sistemler karlanma sorunu yoktur ve etkinlik katsayıları daha yüksektir (Çengel ve Boles, 1996). Problemlerin çoğu korozyon ve sudaki kirlenmelerden meydana gelir (Öztürk, A., 1985). Ayrıca suyun donma ihtimali de göz önünde alınmalıdır. Sistem olarak daha karmaşık olup, yeraltı suyu gibi büyük miktarda su kütlesine kolay erişim gerektirirler. Toprak kaynaklı sistemlerde karmaşıktır, çünkü yeraltında toprak sıcaklığının sabit kaldığı derinliklere uzun boruların yerleştirilmesini gerektirirler. Isı pompalarının etkinlik katsayıları, ısı kaynağına ve kullanılan sisteme bağlı olarak genellikle 1,5 ile 4 arasındadır. Hız kontrollü elektrik motorları kullanan yeni kuşak ısı pompalarının, eskilerine oranla en az iki kat daha etkin olduğu bildirilmektedir.

Hava kaynaklı ısı pompalarının ısıtma kapasitesi ve etkinliği, çevre sıcaklığının düşmesiyle hızla azalır. Bu bakımdan, bu tür ısı pompalarının kullanıldığı ısıtma sistemlerinde elektrikli ısıtıcı veya doğalgaz ısıtıcısı gibi ek bir sisteme gerek duyulur. Su ve toprak sıcaklıkları çok fazla değişmediği için, su kaynaklı veya toprak kaynaklı ısı pompası sistemlerinde ek bir ısıtıcıya gerek yoktur. Fakat bu durumda ısı pompası, en yüksek ısı gereksinimini karşılayacak büyüklükte tasarlanmadır.

Isı pompaları ve klima sistemlerinin mekanik parçaları aynıdır. Bu nedenle bir evin ısıtma ve soğutmasını ayrı sistemlerle yapmak ekonomik değildir. Aynı sistem



kışın ısıtma amacıyla, yazın da soğutma amacıyla kullanılabilir (Çengel ve Boles, 1996).

#### 4.2 Isı Pompası Çevrimi

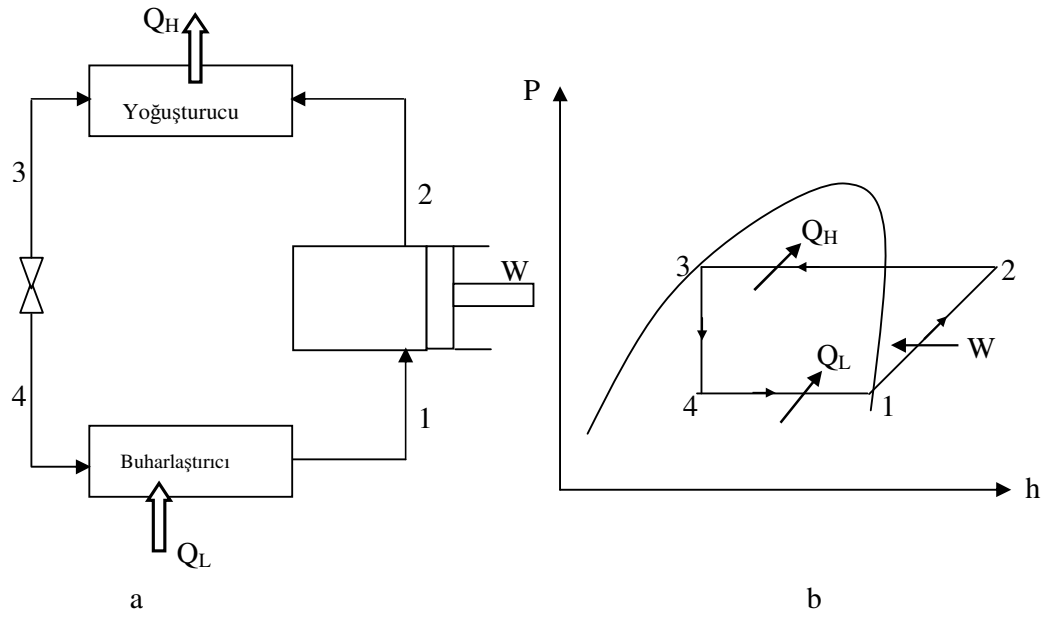
Isı pompaları ile soğutma makineleri ile benzer çalışma sistemine sahip olduğundan soğutma makineleri çevrimleri ısı pompaları içinde geçerlidir (Yamaç, 2005).

Buhar sıkıştırımlı çevrim soğutma makinelerinde, iklimlendirme sistemlerinde ve ısı pompalarında en çok kullanılan ideal buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimidir. Bu çevrimin genel çizimi ve T-s diyagramı Şekil 4.2'de verilmiştir. Bu çevrimi oluşturan hal değişimleri:

- 1-2 Kompresörde izentropik sıkıştırma
- 2-3 Yoğuşturucuda çevreye sabit basınçta ( $P = \text{sabit}$ ) ısı geçişi
- 3-4 Kısılma (genişleme ve basıncın düşmesi)
- 4-1 Buharlaştırıcıda akışkana sabit basınçta ( $P = \text{sabit}$ ) ısı geçişi

İdeal buhar sıkıştırımlı soğutma çevriminde, soğutucu akışkan kompresöre (1) doymuş buhar olarak girer ve izentropik olarak yoğuşturucu basıncına sıkıştırılır. Sıkıştırma işlemi sırasında, soğutucu akışkanın sıcaklığı çevre ortam sıcaklığının üzerine çıkar. Soğutucu akışkan daha sonra (2) halinde kızgın buhar olarak yoğuşturucuya girer ve yoğuşturucudan (3) halinde doymuş sıvı olarak ayrılır. Yoğuşma sırasında akışkandan çevreye ısı geçişi olur.

Doymuş sıvı halindeki akışkan daha sonra bir genişleme vanası veya kılcal borulardan geçirilerek buharlaştırıcı basıncına kısılır ve soğutucu akışkanın sıcaklığı ortam sıcaklığının altına düşer. Soğutucu akışkan buharlaştırıcıya (4) halinde kuruluk derecesi düşük bir doymuş sıvı-buhar karışımı olarak girer ve soğutulan ortamdan ısı alarak tümüyle buharlaşır, daha sonra buharlaştırıcıdan doymuş buhar halinde çıkar ve çevrimi tamamlamak üzere kompresöre girer.



Şekil 4.2 (a) İdeal buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimi ve (b) T-s diyagramı

Buhar sıkıştırırmalı bir soğutma çevriminde içinde sürekli akışın olduğu elemanlar yer alır, bu nedenle çevrimi oluşturan dört hal değişimi de sürekli akışlı açık sistem olarak tanımlanır. Soğutucu akışkanın kinetik ve potansiyel enerji değişimleri, iş ve ısı geçişi terimlerine oranla küçük olduğu için, ihmal edilirse enerji korunumu denklemi

$$q - w = h_{\dot{c}} - h_g \quad (4.4)$$

elde edilir. Kompresör adyabatik kabul edilir ve yoğuşturucu ve buharlaştırıcıda iş etkileşimi olmadığından soğutma makinesi ve ısı pompasının etkinlik katsayıları

$$\text{COP}_{\text{SM}} = \frac{q_L}{w_{\text{net}}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (4.5)$$

$$\text{COP}_{\text{IP}} = \frac{q_H}{w_{\text{net}}} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1} \quad (4.6)$$

olarak yazılır.

### 4.3 Isı Pompası Elemanları

Soğutma makineleri ve ısı pompaları çevrimlerinde kullanılan elemanlar genellikle şunlardır.

- 1) Yoğunlaştırıcı
- 2) Buharlaştırıcı
- 3) Kompresörler
- 4) Akışkan kontrol elemanları: Kılcal borular, kısılma vanaları, termostat, manometre ve termometre.

#### 4.3.1 Kondenser (yoğuşturucu)

Soğutma sisteminde akışkanın evaporatörden aldığı ısı ile kompresördeki sıkıştırma işlemi sırasında ilave olunan ısının sistemden alınması kondenserde yapılır. Böylece akışkan sıvı hale gelerek basınçlandırılır ve tekrar genişletilerek evaporatörden ısı alacak duruma getirilir (Taner, 2005).

Yoğuşturucudaki ısı alış-verişi üç bölümde gerçekleşir:

1. Kızgınlığın alınması: Bu bölümde ortalama sıcaklık aralığı fazla olmasına rağmen düşük bir ısı transfer kat sayısı mevcut olacaktır.
2. Aşırı Soğutma: Aşırı soğutma sırasında sıcaklık aralığı daha az ve ısı geçirme kat sayısı daha fazla olacaktır.
3. Akışkan Yoğuşması: Yoğuşma sırasında her iki değer de alt-üst seviyeleri arasında bulunacaktır. Yoğuşturucu hesabında kolaylık sağlamasından dolayı tek bir ısı geçirme katsayısı ve tek bir ortalama sıcaklık aralığı değerleri uygulanmaktadır (Yamaç, 2005).

Her üç bölge için yoğuşturucudan atılması gereken toplam ısı miktarı

$$Q_y = KA\Delta T_m \quad (4.7)$$

veya

$$Q_y = m_s c_{ps} (T_{sç} - T_{sg}) \quad (4.8)$$

olarak ifade edilir. Burada K yoğuşturucunun toplam ısı geçiş katsayısı ( $W/m^2K$ ); A, toplam ısı geçiş alanı ( $m^2$ );  $\Delta T_m$ , ortalama logaritmik sıcaklık farkı ( $^{\circ}C$ );  $m_s$ , kütleli debi ( $kg/s$ );  $c_{ps}$ , özgül ısı ( $kJ/kgK$ );  $T_{sg}$ , soğutma ortamının giriş sıcaklığı ( $^{\circ}C$ );  $T_{sç}$ , soğutma ortamının çıkış sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )'dır (Yamankaradeniz vd, 2002).

#### 4.3.2 Evaporatör (Buharlaştırıcı)

Buharlaştırıcı sistemde soğutucu akışkanın buharlaştığı ve bu sırada bulunduğu ortamdan ısıyı aldığı cihazdır. Yoğuşturucudan gelen soğutucu akışkan kılcal boru, kısılma vanası vb. basınç düşürücüde adyabatik olarak genişletildikten sonra buharlaştırıcıya sıvı buhar karışımı haline girer. Bu durumda soğutucu akışkanın büyük bir kısmı sıvıdır. Buharlaştırıcıda ısı alarak buharlaşan akışkan buradan kompresöre gider. Bu esnada buhar halindeki akışkan içerisinde bulunan bir miktar sıvı; sıvı-buhar ayırıştırıcısından (surge tank) geçerek sıvı kısmı ayrılır. Sıvı kısmı ayrıldıktan sonra buhar halinde kompresöre ulaşır. Sıvı akışkanın evaporatöre beslenmesi seviye kumandalı (flatörlü, manyetik vs.) bir vana ile yapılır. Sıvı ayırıştırıcı tankta biriken sıvı akışkan tekrar evaporatöre geri gönderilir ve soğutma işleminde yararlanılır (Taner, 2005)

Buharlaştırıcılar, uygulanma özelliklerine göre 3 grupta toplanabilir.

1. Hava gibi gaz halindeki akışkanlar için kullanılan buharlaştırıcılar
2. Sıvı haldeki su, antifriz gibi kimyasal akışkanlar için kullanılan buharlaştırıcılar
3. Katı haldeki buz, metaller, gibi maddeler için kullanılan buharlaştırıcılar

Buharlaştırıcıların dizaynında, soğutucu akışkanın çabuk ve iyi buharlaştırılması, ısı geçişinin iyi sağlanması, giriş ve çıkıştaki basınç kayıplarının minimum seviyede tutulması gibi kriterlere dikkat edilmelidir (Yamaç, 2005).

Buharlaştırıcı ile soğutulan ortamdan soğutucu akışkana taşınan ısı

$$Q_b = K A \Delta T_m \quad (4.9)$$

olarak ifade edilir. Burada K toplam ısı geçiş katsayısı( $W/m^2K$ ); A, buharlaştırıcı ısı geçiş alanı( $m^2$ );  $\Delta T_m$ , ortalama logaritmik sıcaklık farkı( $^{\circ}C$ )'dır (Yamankaradeniz vd, 2002).

### 4.3.3 Kompresörler

Kompresörlerin görevleri, soğutucudaki ısı ile yüklü akışkan yüksek basınçlara sıkıştırmak ve akışın sürekliliğini sağlamaktır (Yamaç, 2005).

Soğutma sistemlerinde kullanılan kompresörlerin çeşitli karakteristikleri taşınması beklenir. İdeal olduğu varsayılan kompresör için belirlenen karakteristikler şunlardır:

1. Sürekli bir kapasite kontrolü ve geniş bir yük değişimi-çalışma rejimine uyabilmesi
2. İlk kalkışta dönme momentinin mümkün olduğunca az olması
3. Kısmi yüklerde veriminin düşmemesi
4. Değişik alışma şartlarında emniyet ve güvenilirliği muhafaza etmesi
5. Titreşim ve gürültü seviyelerinin kısmi ve tam yüklerde ve değişik şartlarda belirli seviyenin üstüne çıkmaması
6. Ömrünün uzun olması ve arızasız alışması
7. Daha az bir güç harcayarak birim soğutma değerini sağlayabilmesi
8. Maliyetinin mümkün olduğu kadar düşük olması (Taner, 2005)

Fakat bu karakteristiklerin hepsinin kompresörde bulunması mümkün olmamaktadır. Uygulamadaki şartlara göre yukarıdaki karakteristiklerden en fazlasını sağlayabilen kompresör seçiminde tercih edilir.

### 4.3.4 Akışkan kontrol elemanları

- **Kılcal Borular (Kapiler)**

Buharlaştırıcı ile yoğuşturucu arasında bulunan çapları 0,76–2,16 mm arasında değişen boru sistemidir. apının çok küçük olmasından dolayı kılcal boru adı verilmektedir. Kılcal borular yoğuşturuculardan çıkan sıvı haldeki akışkanın basıncını düşürerek miktarını ayarlar ve buharlaştırıcıya ulaştırır. Ayrıca kompresör durduğunda alçak ve yüksek basınç devreleri arasında yüksek basınç bölgesindeki akışkanın alçak basınç bölgesine geçmesini sağlar. Böylece her iki basınç seviyesi arasında dengeleme

yapar. Kılcal borular genellikle küçük çaplı klima sistemlerinde ve soğutma yükünün yaklaşık sabit olduğu sistemlerde kullanılmaktadır. Soğutma veya ısıtma yükü fazla olan sistemlerde kılcal borular yerine termostatik genleşme valflerinin kullanılması daha uygundur. Kılcal boruların avantajları, maliyetlerinin düşük olması ve kompresörlerin başlatma basıncını düşük tutması olarak gösterilebilir.

Bunların yanı sıra kılcal borularda olan dezavantajlar da soğutucu akışkanının akışını ayarlayamaması nedeniyle sistem veriminin düşmesi ve sistemdeki çevrimin durmasına rağmen soğutucu akışkanının durdurulamaması sonucu kompresörün mekanik ömrünün kısaltılması olarak ortaya çıkar. Kılcal borular buharlaştırıcıda belirli miktarda akışkan akışına izin verirler bu miktarın belirlenmesi bazı parametrelere göre yapılır. Bu parametreler; buharlaştırıcı ısısı, yoğuşturucu ısısı ve kılcal boruya giden soğutucu alt soğutma ısısıdır. Kılcal boru uzunluğu uygulamada ideal olarak 1,5–2,5 m aralığında seçilir.

- **Termostat**

Genel olarak termostat, kapiler ve esnek bükümlü boru ve hassas bir uçtan meydana gelir. Sıcaklık ayarı istenen sıcaklığa göre tek kutupta değişen kanat üzerinden elektrik devreye kumanda edilir. Hassas uçta sıcaklığın yükselmesi ile kapiler boru ve esnek ölçümlü boru üzerinden ana yay ile dengeye gelinceye kadar yukarı hareket eder. Çalışma prensibi: termostatın hassas ucu soğutma sisteminin sıcaklığının kontrol edilecek kısma monte edilir. İstenen sıcaklığa göre elektrik devresi açılıp kapanarak kompresörü tahrik eden elektrik motoruna veya manyetik valfe kumanda edilir.

#### **4.4 Soğutucu Akışkanlar**

Bir soğutma sisteminde sıvı halden buhar haline (buharlaştırıcı devresi) ve buhar halinden sıvı haline dönüşerek (yoğuşturucu devresi) ısı alış verişi sağlayan akışkanlara soğutucu akışkanları veya refrijeran denir. Tablo 4.1'de soğutucu akışkanlar görülmektedir.

Tablo 4.1 Soğutucu akışkanlar

Soğutucu Madde	Kimyasal Tanımı	Kimyasal Formülü
R11 (CFC11)	Triklorflormetan	CFCL <sub>3</sub>
R12(CFC12)	Diklorflormetan	CF <sub>2</sub> CL <sub>2</sub>
R13(CFC13)	Klortriflormetan	CCLF <sub>3</sub>
R13B1 (BFC13)	Bromtriflormetan	CBRF <sub>3</sub>
R22 (HCFC22)	Klordiflormetan	CHF <sub>2</sub> CL
R23 (HCF23)	Triflormetan	CHF <sub>3</sub>
R32 (HCF32)	Diflormetan	CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub>
R113(CFC113)	Triklortrifloreten	C <sub>2</sub> F <sub>3</sub> CL <sub>3</sub>
R114(CFC114)	Diklortetrafloretan	C <sub>2</sub> F <sub>4</sub> CL <sub>2</sub>
R115(CFC115)	Klortentafloretan	C <sub>2</sub> F <sub>5</sub> CL
R123 (HCFC123)	Diklortrifloreten	C <sub>2</sub> HF <sub>3</sub> CL <sub>2</sub>
R125 (HFC125)	Pentafloretan	CF <sub>3</sub> CHF <sub>2</sub>
R134a(HCF134a)	Tetrafloretan	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> F <sub>4</sub>
R141b (HCFC141b)	Flordikloreten	C <sub>2</sub> CL <sub>2</sub> FH <sub>3</sub>
R143a(HFC143a)	Trifloreten	CF <sub>3</sub> CH <sub>3</sub>
R152a(HCF152a)	Difloreten	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> F <sub>2</sub>
R290 (HC290)	Propan	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>
R600 (HC600)	Bütan	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>
R600a (HC600a)	İzobütan	CH(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>
R717	Amonyak	NH <sub>3</sub>

Soğutucu akışkanların, soğutma sisteminin verimli ve emniyetli çalışabilmesi için bazı kimyasal ve fiziksel özelliklere sahip olmaları gerekir. Bu özellikler uygulama ve çalışma şartlarının durumuna göre değişeceği gibi her zaman bu özelliklerin hepsini yerine getirmek mümkün olmayabilir. Bir soğutucu akışkanda aranması gereken özellikler şunlardır:

1. Daha az bir enerji (güç) sarfı ile daha çok soğutma elde edilebilmelidir.
2. Soğutucu akışkanın buharlaşma ısısı yüksek olmalıdır.
3. Yoğuşma (Kondenser) basıncı düşük olmalıdır.
4. Viskitesi düşük olmalıdır.
5. Emniyetli ve güvenilir olmalı, nakli depolanması, sisteme şarjı kolay olmalıdır.
6. Yağlama yağları ile ve soğutma devresindeki elemanlar ile zararlı sonuç verebilecek reaksiyonlara girmemelidir ve yağlama yağında çözülebilmelidir.
7. Soğutma devresinde bulunmaması gereken rutubet (su) ile bulunması halinde bile çok zararlı reaksiyonlar meydana getirmemelidir.

8. Sistemden kaçması halinde, bilhassa yiyecek maddeleri üzerinde zararlı etki yapmamalıdır. Sistemden kaçması halinde kolay fark edilmeli ve saptanabilmelidir.
9. Sistemden kaçarak havaya karışması halinde civardaki insanlara, çevreye ve diğer canlılara zarar vermemelidir. Sistemden, gerektiğinde geri toplanıp kullanılabilirdir.
10. Havaya karıştığında yanıcı ve patlayıcı bir ortam oluşturmamalıdır.
11. Çalışma şartlarındaki basınç ve sıcaklıkların en uç sınırlarında dahi ayrışıp çözülmemeli, stabil olmalı ve bütün özelliklerini muhafaza etmelidir.
12. Elektriksel özellikleri, bilhassa hermetik ve yarı-hermetik tip kompresörler için uygun olmalıdır.
13. Temini kolay ve fiyatı düşük olmalıdır(Yamaç, 2005).

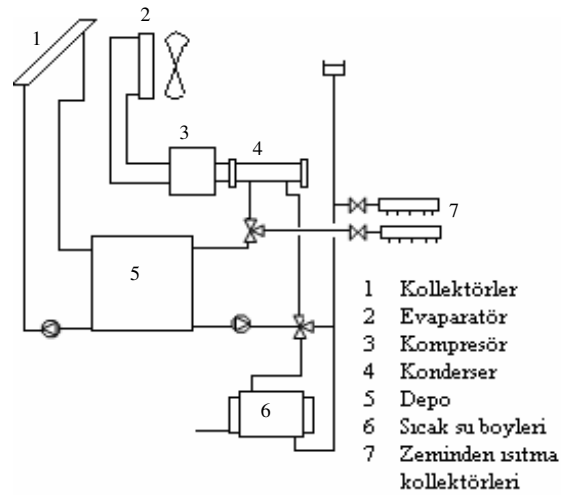


## 5 SİSTEM ANALİZİ

Bilecik'te bulunan bir daire için güneş enerjisinden faydalanılarak ısı pompası destekli bir ısıtma projelendirilmiştir. Projede dairenin ısıtılması için zeminden ısıtmalı sistem kullanılmıştır. Zeminden ısıtmada 40–50° C'lik ılık su ile sağlanır.

Sistemde kullanılan güneş kollektörü düzlemsel güneş kollektörleridir. Kollektördeki akışkan su-glikol karışımıdır.

Isı pompası -9 °C dış sıcaklıkta hava soğutmalıdır. Havadan alınan ısı shell-tube tipindeki kondenser ile ısıtma sistemine verilmektedir. Güneş ışınımının olmadığı geceler için ısı pompası ısı ihtiyacının tamamını karşılayacak kapasitede tasarlanmıştır. Güneş ışınımının olduğu saatlerde kollektörden elde edilen enerji ısı deposuna verilmekte ısı deposundan da sisteme gönderilmektedir. Günün değişik saatlerinde güneş ışınımı farklı olduğundan bazı saatlerde faydalı ısı negatif olmaktadır. Bu durumda kollektör çıkışındaki sıcaklığa duyarlı valf sayesinde kollektör pompası kapatılmaktadır. Tesisatın çalışma şeması Şekil 5.1'de gösterilmiştir.



Şekil 5.1 Tesisatın çalışma şeması

### 5.1 Dairenin Isı Kaybı Hesabı

Daire planı Şekil 5.2'de gösterilmiştir. Bina serbest bölgededir. Saatteki toplam ısı ihtiyacı  $Q_h$ 'ın hesaplanması için; iletimle oluşan ısı ihtiyacı  $Q_k$  ile enflitasyon ihtiyacının  $Q_e$  toplamı olarak bulunur.

$$Q_h = Q_k + Q_e \quad (5.1)$$

İletimle oluşan ısı ihtiyacı  $Q_k$

$$Q_k = Q_o(1 + Z_D + Z_H + Z_W) \quad (5.2)$$

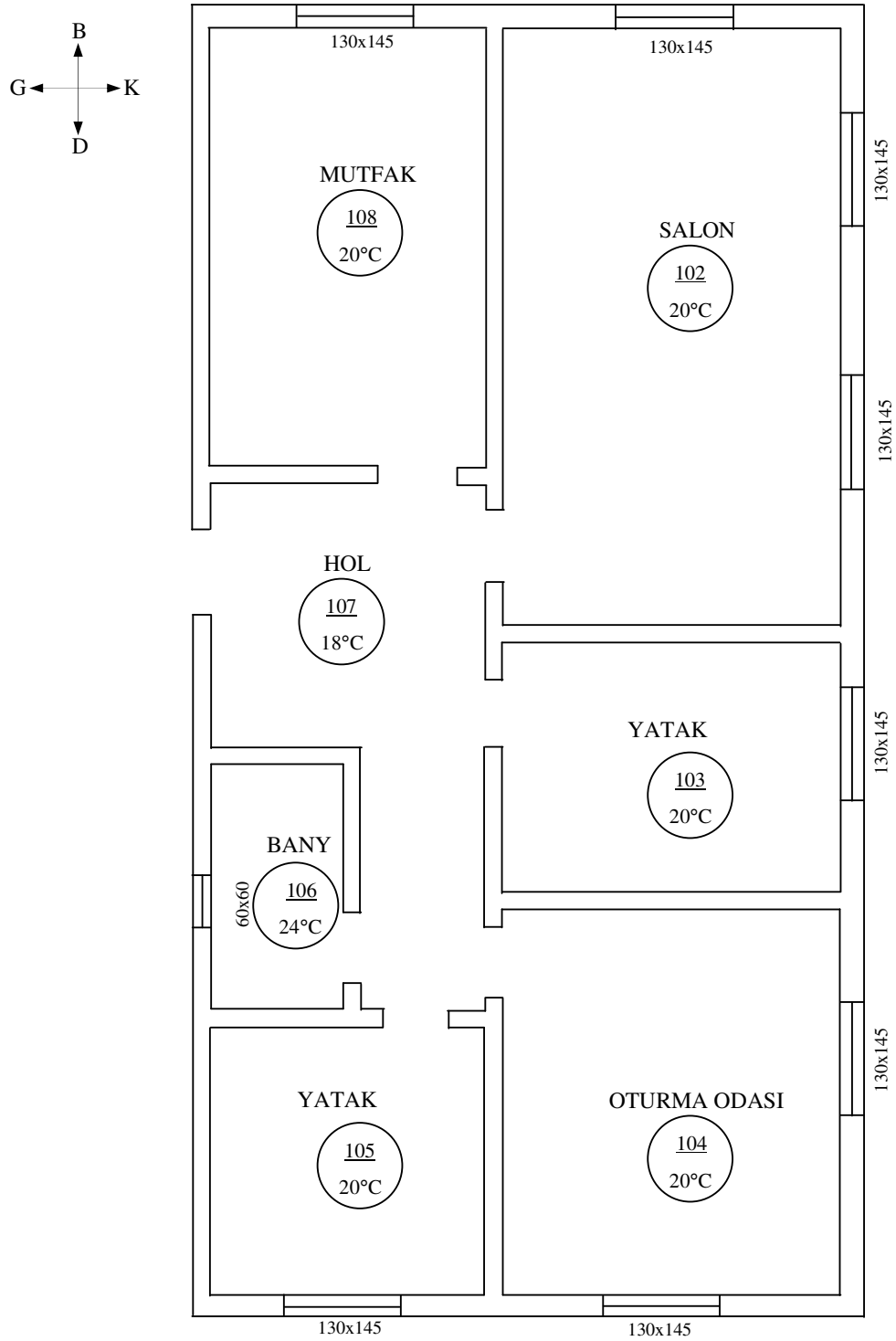
şeklinde hesaplanır. Bu bağıntıdaki  $Z_D$ , kesintili çalışma zamları;  $Z_H$ , yön zammı;  $Z_W$ , rüzgar zammıdır. Artırımsız ısı kaybı

$$Q_o = KF(T_i - T_d) \quad (5.3)$$

şeklinde hesaplanır. Bu bağıntıdaki  $K$ , ısı geçirgenlik katsayısı ( $\text{kcal/hm}^2\text{°C}$ );  $F$ , ısı kaybeden yüzey;  $t_i$ , iç sıcaklık( $\text{°C}$ );  $t_d$ , dış sıcaklık( $\text{°C}$ )'tır. Enflitasyon ihtiyacı

$$Q_E = \sum(a_l)RH(t_i - t_d)Z_e \quad (5.4)$$

olarak ifade edilir. Burada  $a$ ,: kapı ve pencerelerin bir metre aralık uzunluğunun hava sızdırganlık katsayısı( $\text{m}^3/\text{hm}$  aralık);  $l$ , kapı ve pencerelerin hava sızdıran kısımlarının uzunluğu( $\text{m}$ );  $R$ , odaya bağlı karakteristik;  $H$ , binaya ait özellik;  $Z_e$ , köşe pencere katsayısıdır.



Şekil 5.2 Daire planı

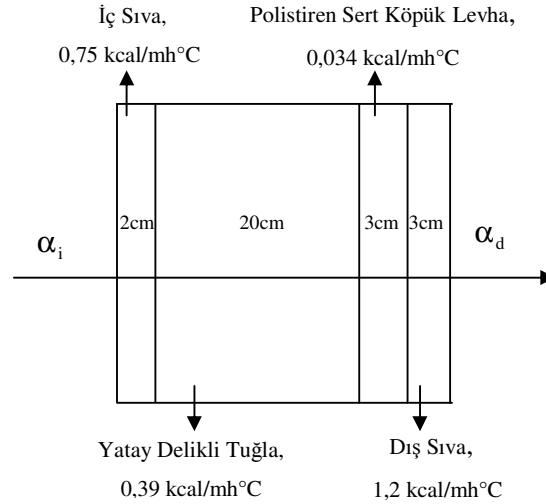
Dairenin ısı kaybını bulabilmek için daire elemanlarının ısı geçirme katsayısı hesaplanır. Isı geçirme katsayısı;

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{h_i} + \frac{l_1}{\lambda_1} + \frac{l_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{l_n}{\lambda_n} + \frac{1}{h_d} \quad (5.5)$$

olarak ifade edilir. Bu bağıntıda  $h_i$ , iç yüzeyin konveksiyon film sayısı ( $\text{kcal}/\text{hm}^2\text{°C}$ );  $h_d$ , dış yüzeyin konveksiyon film sayısı ( $\text{kcal}/\text{hm}^2\text{°C}$ );  $l_i$ , duvar veya döşemeyi meydana getiren malzeme kalınlıkları(m);  $\lambda_i$ , duvar veya döşemeyi meydana getiren malzeme ısı iletim katsayıları( $\text{kcal}/\text{hm}^2\text{°C}$ )dır (Dağsöz, A.K., 1995;Karakoç, H.,2001). Projelendirilen dairede için dış duvar, iç duvar ve tavanın ısı geçirgenlik katsayısı hesaplanmıştır.

### Dış duvar

Binadaki dış duvarda kullanılan yapı malzemeleri, malzemelerin kalınlıkları ve ısı iletkenlik değerleri Şekil 5.3'de verilmiştir. Bu değerlerden yararlanarak dış duvarın ısı geçirgenlik katsayısı hesaplanmıştır.



Şekil 5.3 Dış duvarda kullanılan yapı malzemeleri, malzemelerin kalınlıkları ve ısı iletkenlik değerleri

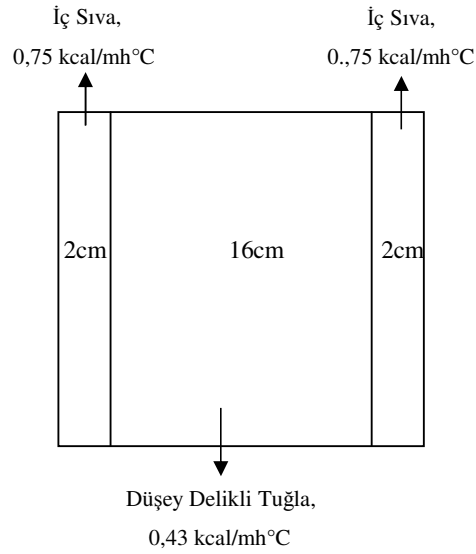
$$\frac{1}{K} = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \frac{d_4}{\lambda_4} + \frac{1}{\alpha_d}$$

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{7} + \frac{0,02}{0,75} + \frac{0,2}{0,39} + \frac{0,03}{0,034} + \frac{0,03}{1,2} + \frac{1}{20} = 1,639 \frac{\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}}{\text{kcal}}$$

$$K = 0,61 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}}$$

### İç duvar

Binadaki iç duvarda kullanılan yapı malzemeleri, malzemelerin kalınlıkları ve ısı iletkenlik değerleri Şekil 5.4'de verilmiştir. Bu değerlerden yararlanarak iç duvarın ısı geçirgenlik katsayısı hesaplanmıştır.



Şekil 5.4 İç duvarda kullanılan yapı malzemeleri, malzemelerin kalınlıkları ve ısı iletkenlik değerleri

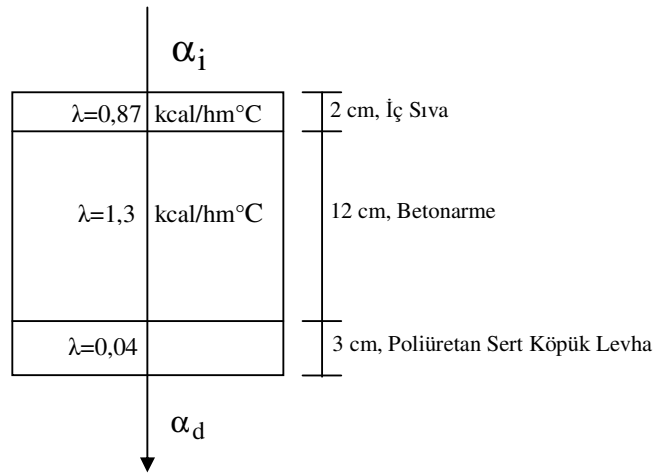
$$\frac{1}{K} = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_d}$$

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{7} + \frac{0,02}{0,75} + \frac{0,16}{0,43} + \frac{0,02}{0,75} + \frac{1}{7} = 0,711 \frac{\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}}{\text{kcal}}$$

$$K = 1,406 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}}$$

### Tavan

Binadaki tavanda kullanılan yapı malzemeleri, malzemelerin kalınlıkları ve ısı iletkenlik değerleri Şekil 5.5’de verilmiştir. Bu değerlerden yararlanarak tavanın ısı geçirgenlik katsayısı hesaplanmıştır.



Şekil 5.5 Tavanda kullanılan yapı malzemeleri, malzemelerin kalınlıkları ve ısı iletkenlik değerleri

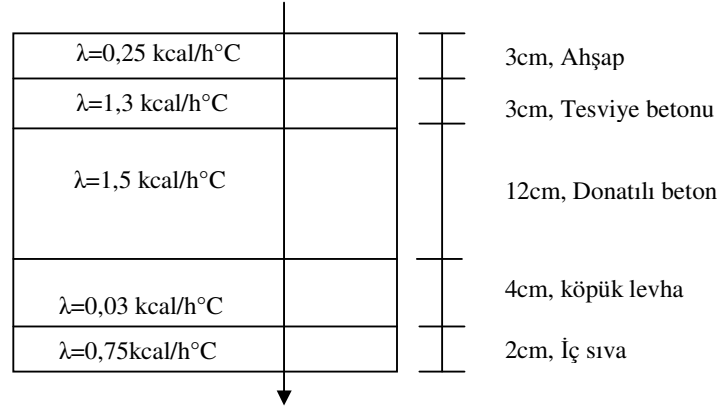
$$\frac{1}{K} = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_d}$$

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{7} + \frac{0,02}{0,87} + \frac{0,12}{1,3} + \frac{0,03}{0,04} + \frac{1}{20} = 1,288 \frac{\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}}{\text{kcal}}$$

$$K=0,77 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}}$$

### Döşeme

Binadaki döşemede kullanılan yapı malzemeleri, malzemelerin kalınlıkları ve ısı iletkenlik değerleri Şekil 5.6'da verilmiştir. Bu değerlerden yararlanarak tavanın ısı geçirgenlik katsayısı hesaplanmıştır.



Şekil 5.6 Döşemede kullanılan yapı malzemeleri, malzemelerin kalınlıkları ve ısı iletkenlik değerleri

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \frac{d_4}{\lambda_4} + \frac{d_5}{\lambda_5} + \frac{1}{\alpha_d}$$

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{7} + \frac{0,03}{0,25} + \frac{0,03}{1,3} + \frac{0,12}{1,5} + \frac{0,04}{0,03} + \frac{0,02}{0,75} + \frac{1}{7} = 1,87 \frac{\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}}{\text{kcal}}$$

$$K=0,53 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}}$$

Isı kaybı hesabı için; Hava sızdırganlık katsayısı  $a(2,5)$ , oda durum katsayısı  $R(0,9)$ , bina durum katsayısı  $H(0,84)$ , kesintili çalışma zammı  $Z_D(7)$ , yön zammı  $Z_H(5)$ , rüzgar zammı  $Z_W(10)$ , değerleri (Dağsöz, A.K., 1995; Karakoç, H.,2001) ile ısı pompasının sisteminin kapasitesini hesaplamakta kullanılacak olan standart ısı kaybı  $7319,69 \text{ kcal/h}$  olarak hesaplanmıştır ve aylık ısı kaybı değerleri Tablo 5.1'de verilmiştir.

Tablo 5.1 Ocak ayı için ısı kaybı hesap cetveli

İŞARET	YÖN	KALINLIK	UZUNLUK	YÜKSEKLİK VEYA GENİŞLİK	TOPLAM ALAN	MİKTAR	ÇIKARILAN ALAN	HESABA GİREN ALAN	ISI GEÇİRGENLİK KATSAYISI	SICAKLIK FARKI	ZAMANSIZ ISI KAYBI	Z <sub>b</sub>	Z <sub>w</sub>	Z <sub>H</sub>	Z <sub>top</sub>	ISI KAYBI	
		cm	m	m	m <sup>2</sup>	ad	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>		°C							
401 SALON 20°C																	
ÇCP	K		1	1,5	1,89	3		5,655	2,6	29	426,39						
DD	K	28	11	2,6	28,6	1	5,66	22,95	0,61	29	405,9						
İK	G		2	0,8	1,6	1		1,6	2	2	6,4						
İD	G	20	1	2,6	3,38	1	2	1,38	1,4	2	3,864						
DÖ		24	7	4	28	1		28	0,53	10	148,4						
TA		15	7	4	28	1		28	0,77	29	625,24						
Q=											1616,19	7	10	5	1,22	<b>1971,7</b>	
Q <sub>e</sub> =Σ(axl)R <sub>x</sub> H <sub>x</sub> ΔT <sub>x</sub> Z <sub>e</sub>											Q <sub>e</sub> =2x3x(0,5+0,5+1)x0,9x0,84x29x1,2					<b>315,71</b>	
402 YATAK ODASI 20°C																	
ÇCP	K		1	1,5	1,89	1		1,885	2,6	29	142,13						
DD	K	25	3	2,6	8,06	1	1,89	6,175	0,61	29	109,24						
İK			2	0,8	1,6	1		1,6	2	2	6,4						
İD		20	3	2,6	8,06	1	1,6	6,46	1,4	2	18,088						
DÖ		24	3	4	12,4	1		12,4	0,53	10	65,72						
TA		15	3	4	12,4	1		12,4	0,36	29	128,74						
Q=											470,31	7	10	5	1,22	<b>573,78</b>	
Q <sub>e</sub> =Σ(axl)R <sub>x</sub> H <sub>x</sub> ΔT <sub>x</sub> Z <sub>e</sub>											Q <sub>e</sub> =2x(0,5+0,5+1)x0,9x0,84x29x1					<b>87,696</b>	
403 OTURMA ODASI 20°C																	
ÇCP	K		1	1,5	1,89	2		3,77	2,6	29	284,26						
DD	K	28	4	4	16	1	3,77	12,23	0,65	29	231,95						
İK	G		2	0,8	1,6	1		1,6	2	2	6,4						
İD	G	20	4	2,6	10,4	1	1,6	8,8	1,4	2	24,64						
DÖ		24	4	4	16	1		16	0,53	10	84,8						
TA		15	4	4	16	1		16	0,77	29	357,28						
Q=											989,332	7	10	5	1,22	<b>1207</b>	
Q <sub>e</sub> =Σ(axl)R <sub>x</sub> H <sub>x</sub> ΔT <sub>x</sub> Z <sub>e</sub>											Q <sub>e</sub> =2x2x(0,5+0,5+1)x0,9x0,84x29x1,2					<b>210,47</b>	
404 YATAK ODASI 20°C																	
ÇCP	K		1	1,5	1,89	1		1,885	2,6	29	142,13						
DD	K	28	3	2,6	7,54	1	1,89	5,655	0,61	29	100,04						
İK	B		2	0,8	1,6	1		1,6	2	2	6,4						
İD	B	20	1	2,6	3,12	1	1,6	1,52	1,4	2	4,256						
DÖ		24	4	2,9	10,7	1		10,7	0,53	10	56,71						
TA		15	4	2,9	10,7	1		10,73	0,77	29	239,6						
Q=											549,133	7	10	5	1,22	<b>669,94</b>	
Q <sub>e</sub> =Σ(axl)R <sub>x</sub> H <sub>x</sub> ΔT <sub>x</sub> Z <sub>e</sub>											Q <sub>e</sub> =2x(0,5+0,5+1)x0,9x0,84x29x1					<b>87,696</b>	



Tablo 5.1(Devam) Ocak ayı ısı kaybı hesap cetveli

105 BANYO 24°C																	
ÇCP	G		1	0,6	0,36	1		0,36	2,6	29	27,144						
İD	G	20	2	2,6	6,24	1	0,36	5,88	1,4	29	238,73						
İK	K		2	0,8	1,6	1		1,6	2	6	19,2						
İD	K	20	4	2,6	10,7	1	1,6	9,06	1,4	6	76,104						
DÖ		24	2	1,7	4,08	1		4,08	0,53	14	30,274						
İD	D	20	2	2,6	4,42	1		4,42	1,4	4	24,752						
TA		15	2	1,7	4,08	1		4,08	0,77	29	91,106						
											Q=	507,308	7	10	-5	1,12	<b>568,18</b>
Qe=Σ(axl)RxHxΔTxZe											Qe=2x(0,6+0,6+0,6)x0,9x0,84x29x1						<b>78,926</b>
106HOL 18°C																	
DK	G		2	1,1	2,2	1		2,2	4	8	70,4						
DÖ		24	3	2,9	8,7	1		8,7	0,53	8	36,888						
DÖ		24	1	2,5	3	1		3	0,53	8	12,72						
İD	G	20	3	2,6	7,8	1	2,2	5,6	1,4	8	62,72						
TA		15	3	2,9	8,7	1		8,7	0,77	27	180,87						
TA		15	1	2,5	3	1		3	0,77	27	62,37						
											Q=	425,971	7	10	-5	1,12	<b>477,09</b>
Qe=Σ(axl)RxHxΔTxZe											Qe=2x(1,1+1,1+2)x0,9x0,84x29x1						<b>171,46</b>
107 MUTFAK 20°C																	
ÇCP	K		1	1,5	1,89	1		1,885	2,6	29	142,13						
DD	K	28	3	2,6	7,54	1	1,89	5,655	0,61	29	100,04						
İK	D		2	0,8	1,6	1		1,6	2	2	6,4						
İD	D	20	3	2,6	7,54	1	1,6	5,94	1,4	2	16,632						
DÖ		24	3	5	14,5	1		14,5	0,53	10	76,85						
TA		15	3	5	14,5	1		14,5	0,77	29	323,79						
											Q=	665,833	7	10	5	1,22	<b>812,32</b>
Qe=Σ(axl)RxHxΔTxZe											Qe=2x3x(0,5+0,5+1)x0,9x0,84x29x1						<b>87,696</b>
											Q <sub>top</sub> =	<b>6280,043088</b>		<b>Q<sub>top</sub> + Q<sub>etop</sub> = 7319,694288</b>			
											Q <sub>etop</sub> =	<b>1039,6512</b>					

Dairenin aylık ortalama ısı kaybını hesaplayabilmek için ortalama ısı geçirme katsayısına ihtiyaç vardır. Dairenin ortalama ısı geçirme katsayısı

$$K_{ort} = \frac{K_{dd}F_{dd} + K_pF_p + 0,8K_{ç}F_{ç} + K_kF_k + 0,5K_pF_p}{F_{çev}} \quad (5.6)$$

şeklinde hesaplanır. Burada F, alandır (Öztürk,A.,1985).

$$F_{çev}=15 \times 7,6 = 114 \text{ m}^2$$

$$F_p=(1,3 \times 1,45) \times 8 + 1,1 \times 2 = 24,2 \text{ m}^2$$

$$F_k=1,1 \times 1,2 = 2,42 \text{ m}^2$$

$$F_{\dot{c}} = 15 \times 7,6 = 114 \text{ m}^2$$

$$F_d = 15 \times 7,6 = 114 \text{ m}^2$$

$$F_{dd} = F_{\dot{c}ev} - F_p - F_k = 114 - 24,2 - 2,42 = 89,8 \text{ m}^2$$

$$K_{ort} = \frac{K_{dd}F_{dd} + K_pF_p + K_{\dot{c}}F_{\dot{c}} + K_kF_k + K_dF_d}{F_{\dot{c}ev}}$$

$$K_{ort} = \frac{0,61 \times 87,38 + 2,6 \times 24,2 + 114 \times 0,77 \times 0,8 + 0,5 \times 114 \times 0,53 + 2,42 \times 4}{87,38 + 24,2 + 114 + 114 + 2,42}$$

$$K_{ort} = 0,66 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \text{h}^\circ\text{C}}$$

Ayrıca ortalama çevre sıcaklığı (Anonim 4) ve ortalama ısı geçirme katsayısı kullanılarak ısıtma yapılan aylar için günlük ortalama ısı kayıp değerleri hesaplanarak Tablo 5.2'de verilmiştir.

Dairenin on iki ay için günlük sıcak su ihtiyacı kollektör tarafından sağlanacağı için sıcak su için gerekli ısı ihtiyacı Denklem (3.22)'den aylık olarak bulunur. Aylık ortalama değerlere göre dairenin günlük toplam ısı ihtiyacı Tablo 5.3'de verilmiştir.

Tablo 5.2 Aylık ortalama sıcaklığa ve ortalama ısı kayıp katsayısına göre günlük ısı kayıpları (kcal/gün)

Aylar	Ortalama sıcaklığı (°C)	Q <sub>e</sub> (kcal/gün)	Q <sub>t</sub> (kcal/gün)	Q <sub>h</sub> (kcal/gün)
Ocak	2, 5	16939,238	92294,64	109233,88
Şubat	3, 4	16377,48	90538,718	106916,2
Mart	6, 6	14380,2	84295,488	98675,688
Kasım	8, 4	13256,722	80783,304	94040,026
Aralık	4, 4	15753,336	88587,624	104340,96

Tablo 5.3 Aylık ortalama değerlere göre dairenin günlük toplam ısı ihtiyacı

Aylar	Ortalama sıcaklık(°C)	T <sub>ş</sub> (°C )	Q <sub>ssu</sub> (kcal/gün)	Q <sub>H</sub> (kcal/gün)	Q <sub>top</sub> (kcal/gün)
Ocak	2, 5	6, 3	8740	109233,88	117973,88
Şubat	3, 4	6, 8	8640	106916,2	115556,2
Mart	6, 6	7, 2	8560	98675,688	107235,69
Nisan	11, 6	9, 8	8040	-	8040
Mayıs	16	14	7200	-	7200
Haziran	19, 9	17, 4	6520	-	6520
Temmuz	22, 1	20, 8	5840	-	5840
Ağustos	22, 8	22, 3	5540	-	5540
Eylül	18, 3	22, 2	5760	-	5760
Ekim	13, 7	18	6400	-	6400
Kasım	8, 4	14, 2	7160	94040,026	101200,03
Aralık	4, 4	10, 4	7920	104340,96	112260,96

## 5.2 Güneş Işınımı Hesabı

Yapılan programa göre radyasyon değerleri önce maksimum güneş enerjisi alan düzlem eğimi için ve daha sonra sabit düzlem eğimi alınarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamaların yapılmasında takip edilen yolun gösterilmesi için Ocak ayında, saat on için hesaplamalar yapılmıştır.

Deklinasyon açısı Ocak ayının ortalama değeri Denklem (2.1)'de yerine koyularak

$$d = 23,45 \sin \left[ \frac{360}{365} (17 + 284) \right] = -20,917^\circ$$

bulunur. Saat açısı Denklem (2.2)'de saat on için

$$h = 15(12 - 10) = -30^\circ$$

gün uzunluğu; Denklem (2.6) ve (2.7) kullanılarak

$$H = \arccos(-\tan(-20,917) \cdot \tan 40,15) = 71,191^\circ$$

$$t_g = \frac{2}{15} \times 71,191 = 9,4921 \text{ saat}$$

Denklem (2.17) ve (2.18)'de  $1353 \text{ W/m}^2$  güneş sabiti koyularak atmosfer dışında yatay düzleme gelen güneş ışınımını

$$f = 1 + 0,033 \cos\left(\frac{360,17}{365}\right) = 1,0316$$

$$Q_0 = \frac{24}{\pi} 1353 \times 1,0316 \times \sin(-20,917) \sin 40,15 \left(\frac{\pi}{180} 71,191 - \tan 71,191\right) = 14,964 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2 \text{gün}}$$

bulunur. 500 m rakım değerinden yararlanarak Denklem (2.19), (2.20) ve (2.21)'den yatay düzlemin birim alanına gelen günlük tüm güneş ışınımı

$$a = 0,103 + 0,000017 \cdot 500 + 0,198 \cos(40,15 - (-20,917)) = 0,2073$$

$$b = 0,533 - 0,165 \cos(40,15 - (-20,917)) = 0,4532$$

$$Q = \left(0,2073 + 0,4532 \frac{3,3}{9,4921}\right) 14,964 = 5,4595 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2 \text{gün}}$$

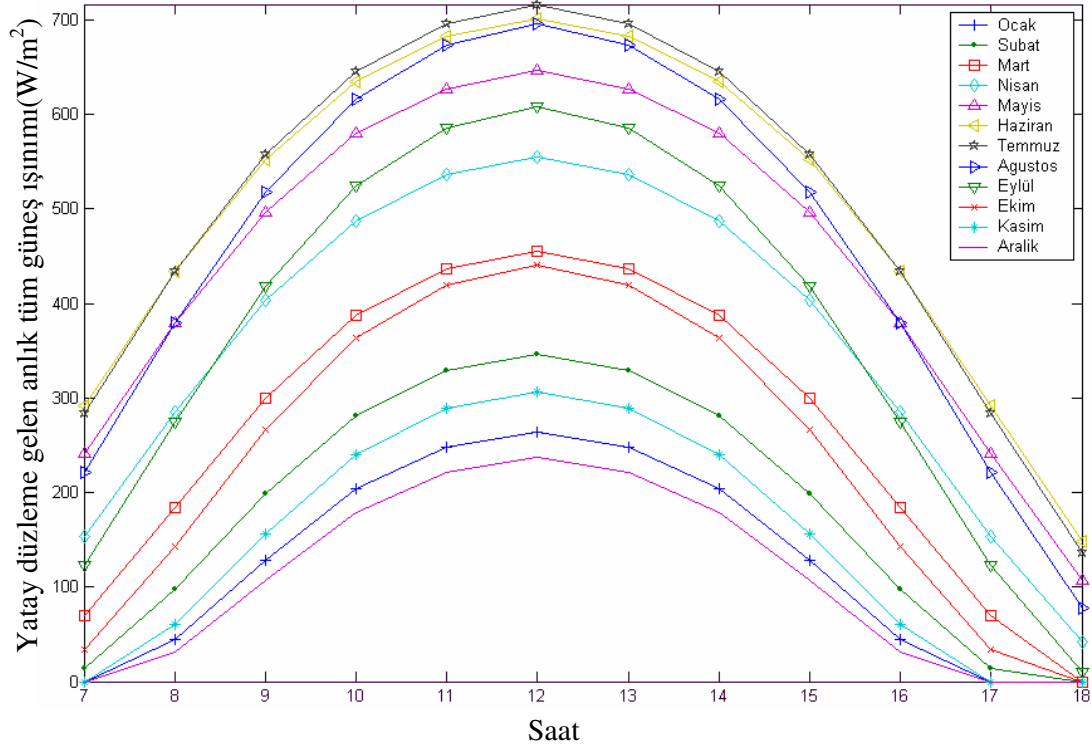
bulunur. Denklem (2.22), (2.23) ve (2.24)'den yararlanarak yatay düzlemin birim alanına gelen anlık tüm güneş ışınımı

$$\psi = \text{Exp}\left(-4 \left(1 - \frac{|-30|}{71,191}\right)^2\right) = 0,2621$$

$$r_T = \frac{\pi}{4 \times 9,4921} \left(\text{Cos}\left(\frac{180 \times 30}{2 \times 71,191}\right) + \frac{2}{\sqrt{\pi}} (1 - 0,2621)\right) = 0,1342$$

$$I = 0,1342 \times 5,4595 \times 277,77 = 203,4601 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

bulunur. Şekil 5.7 Bilecik ilinde aylık yatay düzlemin birim alanına gelen anlık tüm güneş ışınımının değerleri gösterilmiştir.



Şekil 5.7 Yatay düzlemin birim alanına gelen anlık tüm güneş ışınımının değişimi

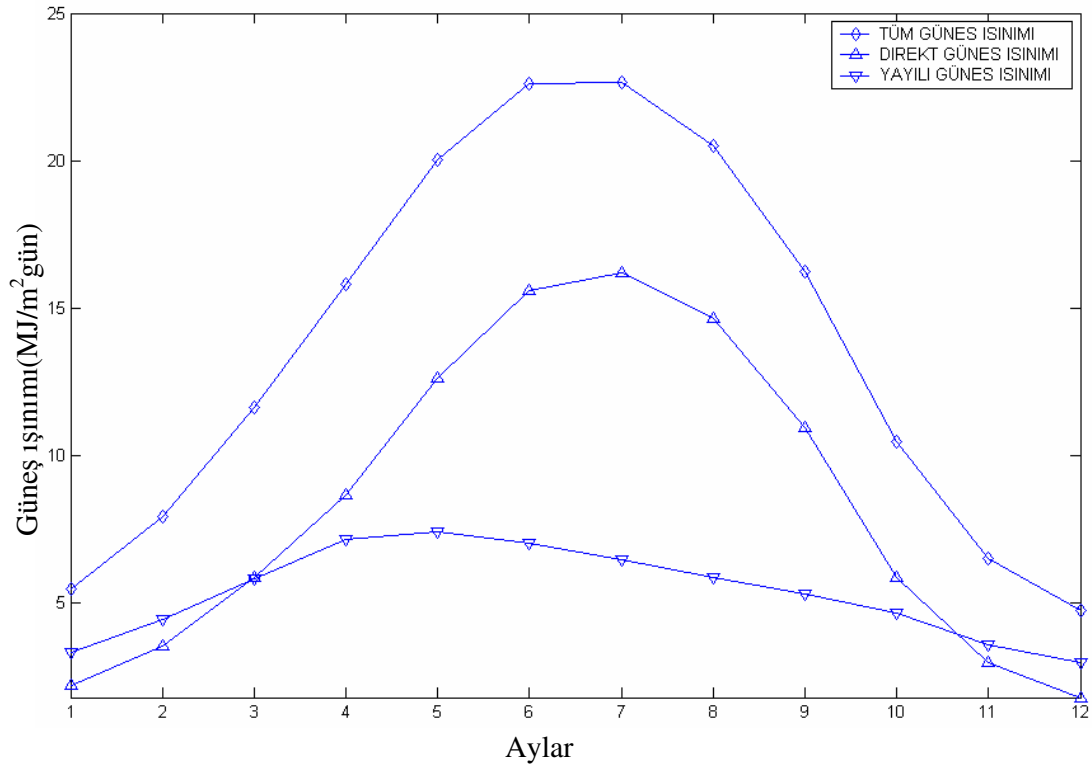
Denklem (2.24)'de  $w$ , yoğunlaştırulabilir su buharı miktarı 20 mm yerine konularak gün boyunca yatay düzleme gelen ortalama günlük direkt gün ışınımı

$$Q_d = \frac{3,3}{9,4921} 14,9(0,6714 - 0,00423 \times 20 + 0,223 \ln \cos(40,15 - (-20,91))) = 2,172 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2 \text{gün}}$$

ve Denklem (2.25)'den yararlanarak yatay düzleme gelen yayılı güneş ışınımı

$$Q_y = Q - Q_d = 5,4595 - 2,1726 = 3,2869 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2 \text{gün}}$$

bulunur. Şekil 5.8'de Bilecik ilinde direkt, yayılı ve tüm güneş ışınımının yıl boyunca değişimi gösterilmiştir.



Şekil 5.8 Bilecik ilinde direkt, yayılı ve tüm güneş ışınnımının yıl boyunca değışimi

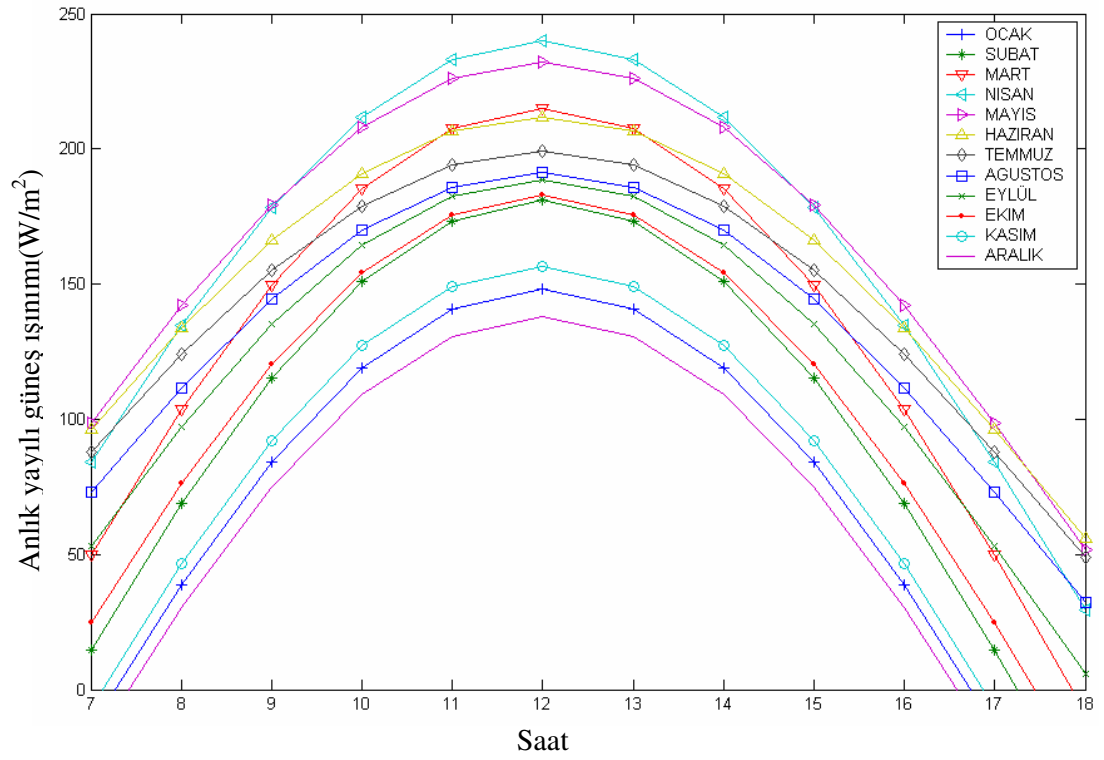
Yatay düzleme gelen anlık yayılı güneş ışınnımı değeri Denklemler (2.26) kullanılarak

$$r_y = \frac{\pi}{24} \left( \frac{\cos(-30) - \cos 71,191}{\sin 71,191 - \frac{\pi}{180} 71,191 \cos 71,191} \right) = 0,1303$$

$$I_y = 0,1303 \times 3,2869 \times 277,77 = 118,993 \frac{W}{m^2}$$

bulunur.

Şekil 5.9'da Bilecik ilinde yatay düzleme gelen anlık yayılı güneş ışınnımı değeri gösterilmiştir.

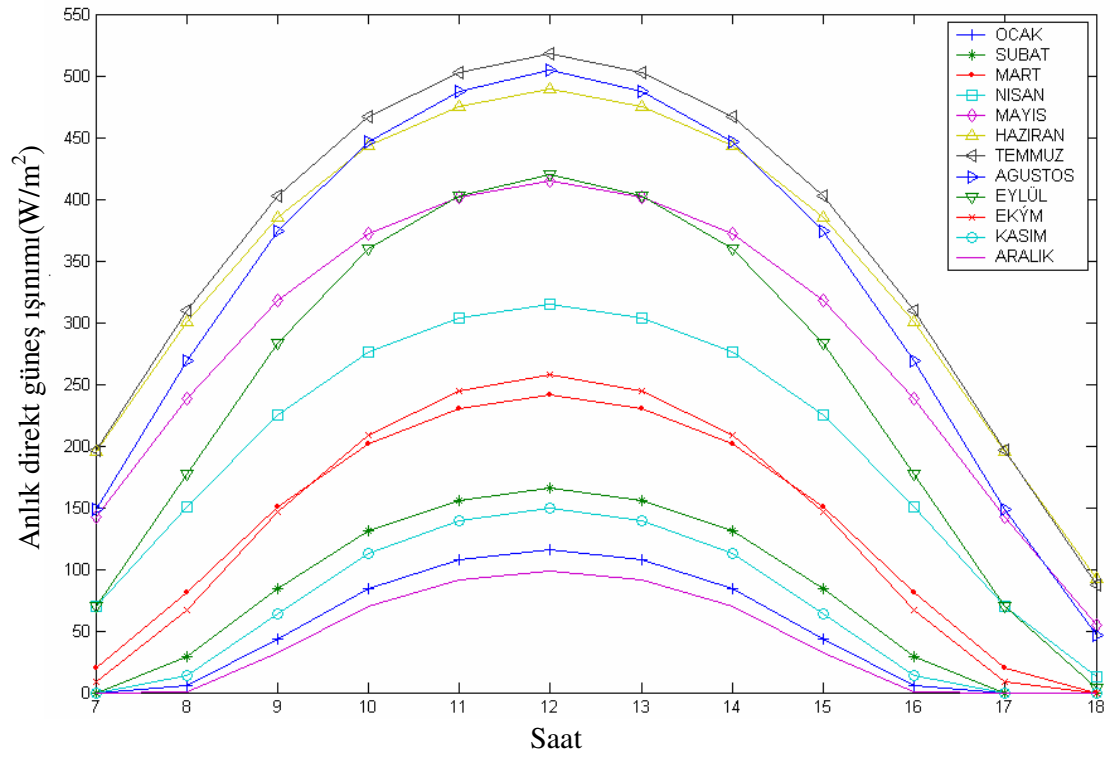


Şekil 5.9 Yatay düzleme gelen anlık yayılı güneş ışınımı

Denklem (2.27) kullanılarak yatay düzleme gelen anlık direkt güneş ışınımı

$$I_d = 203,4601 - 118,993 = 84,4671 \frac{W}{m^2}$$

bulunur. Şekil 5.10'da yatay düzleme gelen anlık direkt güneş ışınımı değerleri gösterilmiştir.



Şekil 5.10 Yatay düzleme gelen anlık direkt güneş ışınımı

Hesaplamalar sonucunda yatay düzleme gelen güneş ışınım değerleri ve enerji miktarları Tablo 5.4'de verilmiştir.



Tablo 5.4 Yatay düzleme gelen güneş ışınım değerleri ve enerji miktarları

Aylar	I (W/m <sup>2</sup> )	I <sub>d</sub> (W/m <sup>2</sup> )	I <sub>y</sub> (W/m <sup>2</sup> )	Q (MJ/m <sup>2</sup> gün)	Q <sub>d</sub> (MJ/m <sup>2</sup> gün)	Q <sub>y</sub> (MJ/m <sup>2</sup> gün)
Ocak	125,99	49,814	76,182	5,4595	2,1726	3,2869
Şubat	182,66	80,562	102,16	7,9238	3,5156	4,4083
Mart	267,83	133,97	133,86	11,628	5,8349	5,7931
Nisan	360,85	198,04	162,81	15,789	8,6658	7,1232
Mayıs	450,28	284,29	165,99	20,001	12,596	7,4052
Haziran	503,17	348,43	154,73	22,591	15,601	6,9893
Temmuz	507,34	363,32	144,02	22,663	16,195	6,4678
Ağustos	465,94	333,19	132,75	20,494	14,645	5,849
Eylül	372,43	250,8	121,63	16,214	10,928	5,286
Ekim	241,16	133,95	107,22	10,446	5,8307	4,6156
Kasım	149,63	67,429	82,197	6,4987	2,9354	3,5633
Aralık	109,52	40,475	69,043	4,7392	1,7704	2,9688

### 5.2.1 Maksimum güneş ışınımı alan eğimli düzleme göre hesaplamalar

Maksimum güneş ışınımı alan düzlemin eğimi Denklem (2.42)'de değerler yerine koyularak

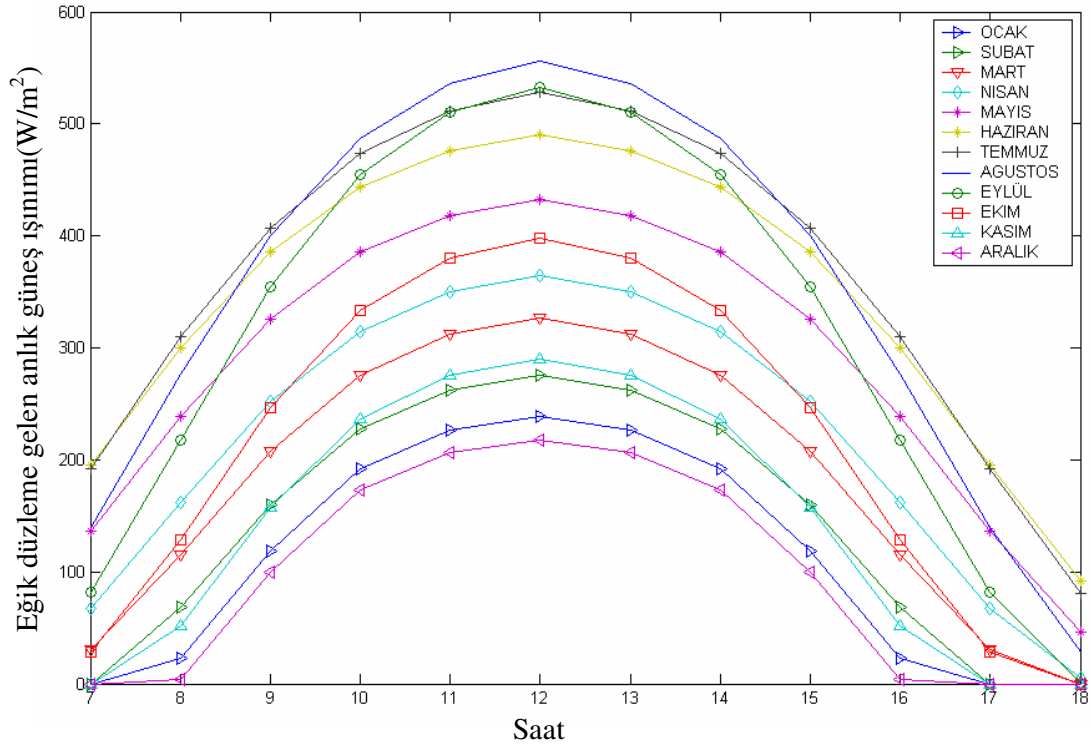
$$s = 40, -1,5 \times 40,15 \frac{|-20,917| 40,15}{180} = 66,8598^\circ$$

bulunur. Denklem (2.32) ve (2.3)'den yeryüzünde eğik düzleme gelen anlık ortalama güneş ışınımı

$$R_d = \frac{\cos(40,15 - 66,85)\cos(-20,91)\cos(-30) + \sin(40,15 - 66,85)\sin(-20,91)}{\cos 40,15 \cos(-20,91)\cos(-30) + \sin 40,15 \sin(-20,91)} = 2,27$$

$$I_{ed} = 84,4671 \times 2,2753 = 192,1851 \frac{W}{m^2}$$

bulunur. Şekil 5.11'da eğik düzleme gelen anlık ortalama güneş ışınımı değerleri verilmiştir.



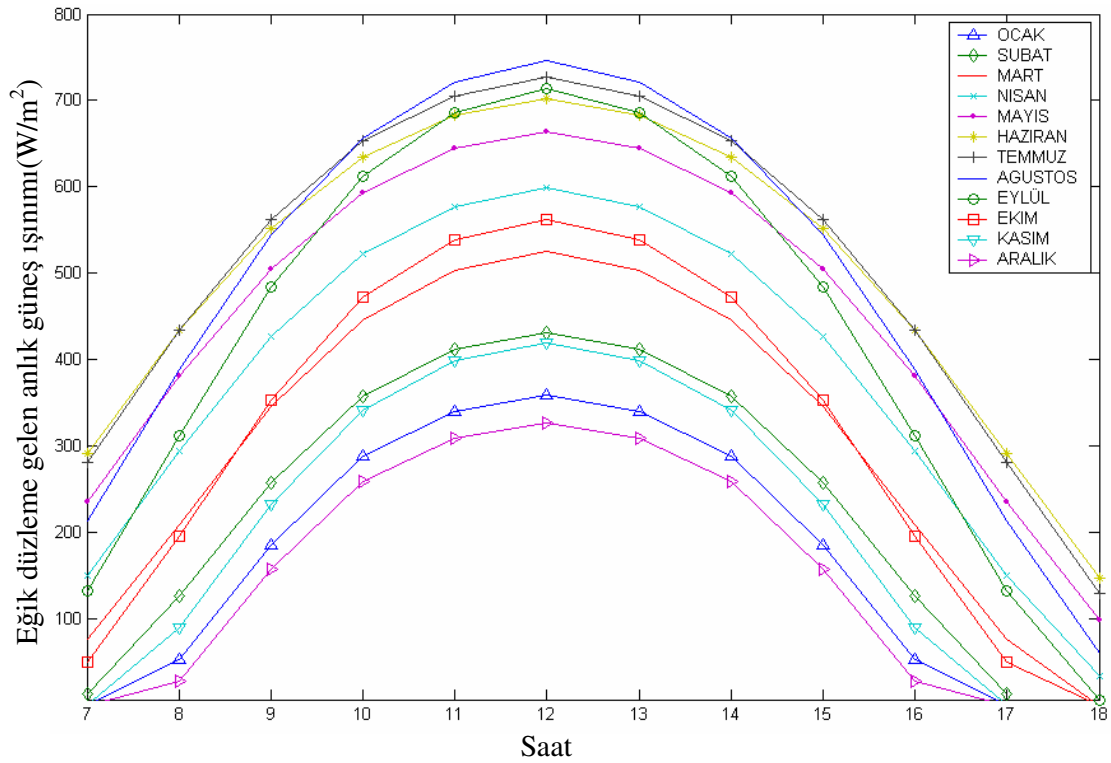
Şekil 5.11 Eğik düzleme gelen anlık ortalama güneş ışınımı

Denklem (2.37) ve (2.38)' den yararlanarak anlık toplam güneş ışınımı

$$R = 2,2753 \frac{84,4671}{203,4601} + \frac{118,963}{203,4601} \frac{1 - \cos 66,8598}{2} + 0,2 \frac{1 - \cos 66,8598}{2} = 1,4126$$

$$I_e = 1,4126 \times 203,4601 = 287,4131 \frac{W}{m^2}$$

bulunur. Şekil 5.12'de eğik düzleme gelen anlık toplam güneş ışınımı değerleri verilmiştir.



Şekil 5.12 Eğik Düzleme Gelen Anlık Toplam Güneş Işınımı

Günlük direkt ve toplam ışıınımları Denklem (2.39), (2.40) ve (2.41)'den yararlanarak  
 $H_g = \min[\arccos(-\tan 40,1 \tan -20,9), \arccos(-\tan(40,1 - 66,8) \tan -20,9)] = 71,1; 90,1$

$$R_{dg} = \frac{\cos(40,1 - 66,8) \cos -20,9 \cos 71,1 + \frac{\pi}{180} 71,1 \sin(40,1 - (-20,9)) \sin -20,9}{\cos e \cos(-20,9) \sin 71,19 + \frac{\pi}{180} 71,191 \sin 40,15 \sin(-20,9)} = 1,47$$

$$R = 1,47 \frac{2,126}{4,4595} + \frac{3,2869}{4,4595} \frac{1 - \cos 66,8598}{2} + 0,2 \frac{1 - \cos 66,8598}{2} = 0,8294$$

$$Q_e = 1,1238 \times 5,4595 = 4,528 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2 \text{gün}}$$

bulunur. Hesaplamalar sonucunda maksimum güneş ışıınımları alan düzleme gelen güneş ışıınımları değerleri ve enerji miktarları Tablo 5.5'de verilmiştir.

Aylar	$I_{ed}$ (W/m <sup>2</sup> )	$I_e$ (W/m <sup>2</sup> )	$Q_e$ (MJ/m <sup>2</sup> gün)
Ocak	113,4	180,35	4,528
Şubat	143,06	233,45	6,1991
Mart	184,13	307,67	8,756
Nisan	221,79	380,7	12,239
Mayıs	290,71	456,36	19,399
Haziran	348,71	503,45	25,995
Temmuz	366,56	510,54	25,986
Ağustos	355,41	487,29	21,017
Eylül	314,17	431,22	15,151
Ekim	219,33	316,97	9,1765
Kasım	144,4	213,39	5,622
Aralık	98,608	152,59	3,9348

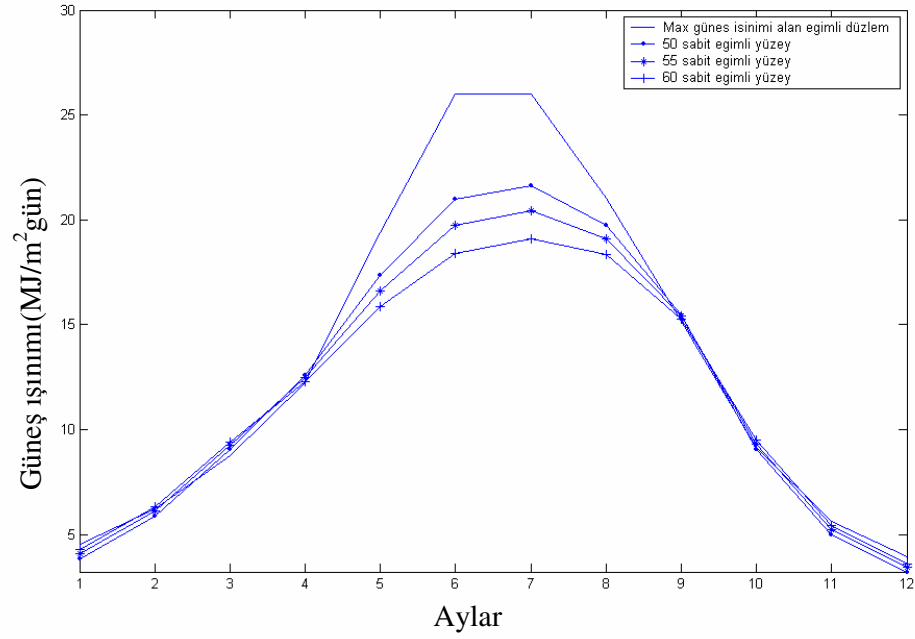
Tablo 5.5 Maksimum güneş ışıını alan düzleme gelen güneş ışıını değerleri ve enerji miktarları

### 5.2.2 Sabit eğim aısına göre güneş ışıını hesabı

Isıtma sistemlerinde eğim aısı

$$s = e \pm 15 \quad (5.7)$$

olarak hesaplanmaktadır. Bilecik için ısıtma sistemlerinde eğim aısı 55° olarak hesaplanmıştır. Maksimum enerji alan düzlem eğimindeki, 50°, 55° ve 60° sabit eğimdeki güneş ışıını değerleri hesaplanmış Şekil 5.13'de gösterilmiştir. Şekilde de enerjinin gerekli olduğu kış aylarında maksimum enerji alan düzlem eğimindeki enerjilerin sabit eğimdeki güneş ışıını değerlerinden fazla farklı olmadığı görülmüştür.



Şekil 5.13 Bilecik ilinde eğimli maksimum enerji alan düzlem eğimindeki, 50°, 55° ve 60° sabit eğimdeki yüzeylere gelen tüm güneş ışınımının yıl boyunca değişimi

Hesaplamalar sonucunda 55° sabit eğimli düzleme gelen güneş ışınım değerleri ve enerji miktarları Tablo 5.6'da verilmiştir.

Aylar	$I_{ed}$ (W/m <sup>2</sup> )	$I_e$ (W/m <sup>2</sup> )	$Q_e$ (MJ/m <sup>2</sup> gün)
Ocak	112,15	175,12	4,0651
Şubat	143,06	232,52	6,1204
Mart	180,31	297,58	9,2413
Nisan	195,93	339,41	12,47
Mayıs	217,8	367,6	16,632
Haziran	235,94	379,14	19,732
Temmuz	259,55	394,5	20,413
Ağustos	294,19	418,5	19,086
Eylül	298,88	410,46	15,414
Ekim	219,1	315,59	9,2997
Kasım	143,36	217,22	5,221
Aralık	97,063	159,02	3,4169

Tablo 5.6 55° sabit eğimli düzleme gelen güneş ışınım değerleri ve enerji miktarları

### 5.3 Kollektör Hesabı

Sistemde düzlemsel kollektör kullanılmıştır. Bakır absorber levha, ½" lik borular iki cam örtü kullanılmıştır. Kollektör için alınan değerler aşağıda verilmiştir.

Kollektör boru uzunluğu	$l=1170$ mm
Kollektör boru genişliği	$b=882$ mm
Kollektör boruları arası mesafe	$w=100$ mm
Cam kalınlığı	4 mm
Cam adedi	$N= 2$
Kollektör izolasyon kalınlığı	50 mm
Kollektör izolasyon ısı iletim katsayısı	$\lambda=0,0036 \frac{\text{kcal}}{\text{mh}^\circ\text{C}}$
Kollektör yüzey özelliği	$\varepsilon_1= 0,95$
Kollektör malzemesi	Bakır
Kollektör yüzey kalınlığı	$\delta= 2$ mm

Kollektör yüzeyinin güneş ışınımını yayma oranı	$\varepsilon_s = 0,88$
Kollektör yüzeyinin güneş ışınımını yutma oranı	$\alpha = 0,96$
Kollektör borularının çapı	$d = \frac{1}{2}'' = 0,0127 \text{ mm}$
Kollektör akışkan tipi	%50 Su-glikol karışımı
Kollektör akışkan debisi	$m = 0,04 \text{ kg/sn}$
Kollektör yutucu yüzey sıcaklığı	$T_L = 40^\circ\text{C}$
Rüzgar hızı	$V = 5 \text{ m/sn}$

Eğik düzleme gelen güneş geliş açısı Denklem (2.11)'den yararlanarak

$$\cos g_g = \cos(-20,91) \cdot \cos(40,15 - 66,8) \cdot \cos(-30) + \sin(-20,91) \cdot \sin(40,15 - 66,8) = 0,8831^\circ$$

Denklem (3.2)'den saydam örtünün normal doğrultuda gelen direkt güneş ışınımı için yutma geçirme çarpımı

$$(\tau\alpha) = 0,69 - 0,1 \left( 1 - \frac{84,46 \times 2,27}{203,46 \times 1,18} \left( 2 - \frac{1}{0,8831} \right) \right) = 0,6725$$

Denklem (3.13)'den efektif yutma geçirme çarpımı

$$(\tau\alpha)_e = 0,6725 + 0,019 = 0,6915$$

Denklem (3.14)'den yutucu yüzeye gelen ışınım

$$s = 0,6725 \times 203,46 = 140,698 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

bulunur. Denklem (3.9), (3.10), (3.11) ve (3.12)'den yararlanarak kollektörde üstten olan ısı kaybı

$$h_{td} = 5,7 + (3,8 \times 5) = 24,7$$

$$c = 250(1 - 0,0044(66,85 - 90)) = 275,454$$

$$f = \left( 1 + 0,04 \times 24,7 + 0,0005 \times 24,7^2 \right) (1 + 0,091 \times 1) = 0,3459$$

$$K_{\text{üst}} = \left[ \frac{2}{\left[ \frac{313,15 - 275,65}{21 + 0,3459} \right]^{0,33} + \frac{1}{24,7}} \right]^{-1} + \left[ \frac{(313,15 + 275,65)(313,15^2 + 275,65^2) 5,67 \times 10^{-8}}{[0,95 + 0,05 \times 1(1 - 0,95)]^{-1} + \frac{2 \times 1 + 0,3459 - 1}{0,98} - 2} \right] = 3,0631 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

ve Denklem (3.7)'den alt yüzeyden oluşan ısı kaybı

$$K_{alt} = \frac{0,036}{0,06} = 0,6 \frac{W}{m^2K}$$

bulunur. Bir kolektördeki ısı kaybı; alttan, üstten ve yanlardan oluşan ısı kaybının toplamıdır. Yanlardan olan ısı kaybı ihmal edilirse Denklem (3.6)'dan

$$K = K_{alt} + K_{üst} = 3,0631 + 0,6 = 3,6631 \frac{W}{m^2K}$$

kolektördeki ısı kaybı bulunur. Kolektör verim faktörü birleştirme ısı direnci ihmal edilerek, Denklem (3.15), (3.16), (3.17), (3.18), (3.19) ve (3.20)'den yararlanarak

$$m^2 = \frac{3,6631}{2 \times 10^{-4} \times 386} = 6,8883$$

$$\eta_k = \frac{\tanh\left(\frac{6,8883 \times 0,1}{2}\right)}{\left(\frac{6,8883 \times 0,1}{2}\right)} = 0,9622$$

$$h_t = \frac{47,2123 \times 0,628}{0,012} = 2334$$

$$Re = \frac{0,3174 \times 0,0127}{6,58 \times 10^{-7}} = 6,1210^3$$

$$Nu = \left(0,0276,12 \times 10^3\right)^{0,8} 4,3519^{1/3} = 47,2163$$

$$F_v = \frac{\frac{1}{3,6631}}{(0,0127 + 0,1) \left[ \frac{1}{3,6631} + \frac{1}{(0,0127 - 0,1 \times 0,9338) + \pi \times 0,0127 \times 1953} \right]} = 0,962$$

bulunur. Kolektör ısı kazanç faktörü Denklem (3.25)'den

$$F_t = \frac{0,02 \times 4178}{1 \times 0,662} \left( 1 - \exp\left(-\frac{1,6 \times 6,662 \times 0,962 \times 0,95}{0,02 \times 4178}\right) \right) = 0,95$$

bulunur. Denklem (3.26) ve (3.29)'dan faydalanılan enerji akışkan giriş ve çevre sıcaklığına bağlı olarak

$$T_{çev} = 2,5 + \frac{6,3}{2} + \cos\left(\frac{180}{9,4921}(10 - 14)\right) = 3,269^\circ$$

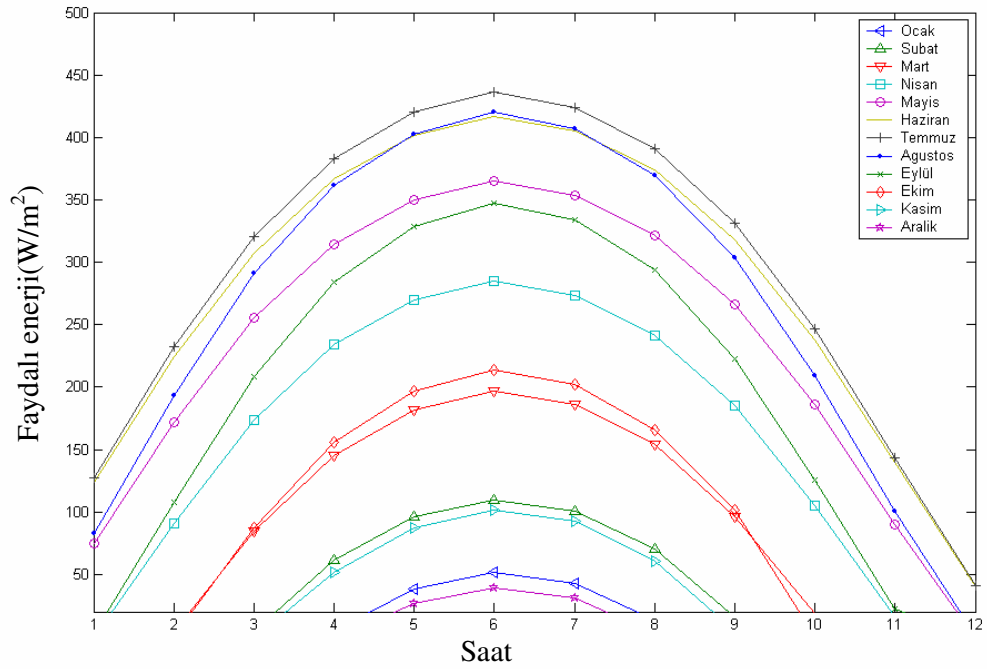


$$Q_f = 1 \times 0,89(152,068 - 6,66(40 - 3,269)) = 5,8465 \frac{W}{m^2}$$

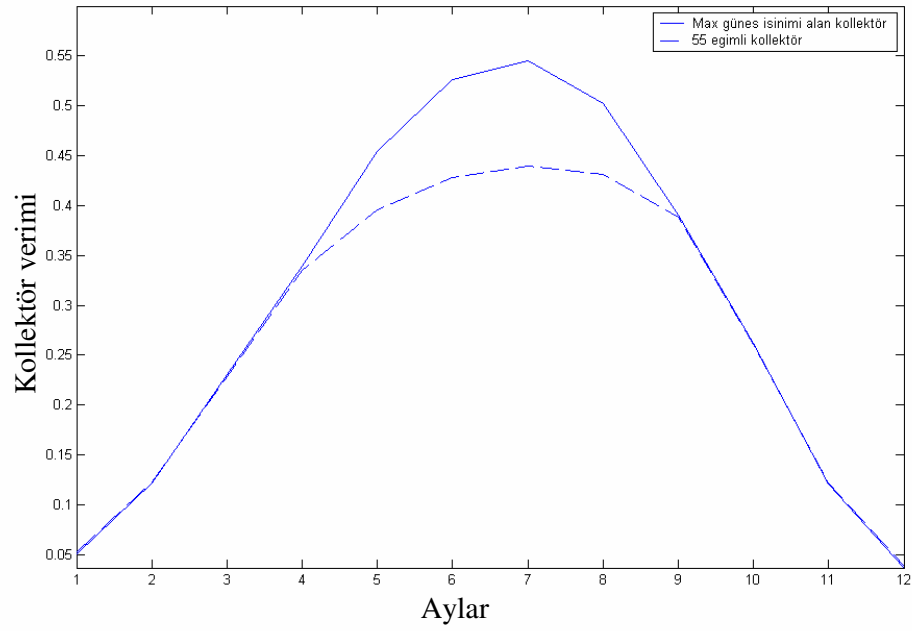
bulunur. Şekil 5.14'de faydalanılan enerjinin saatlik değişimi gösterilmiştir. Denklem (3.30)'dan yararlanarak kolektör verimi

$$\eta_{ko} = 0,8998 \left( 0,7474 - 3,6631 \left( \frac{40 - 3,269}{203,4601} \right) \right) = 0,0287$$

bulunur. Şekil 5.15'de maksimum güneş ışınlamı alan ve 55° sabit eğimli kolektörler için verimin yıl boyunca değişimi gösterilmiştir.



Şekil 5.14 Faydalı enerjinin saatlik değişimi



Şekil 5.15 Maksimum güneş ışıını alan ve 55° sabit eğimli kolektör için verimin yıl boyunca değişimi

Yapılan hesaplamalar sonucunda maksimum güneş ışıını alan düzleme için değerler Tablo 5.7 ve 55° sabit eğimli düzlem için değerler Tablo 5.8’de verilmiştir.

Tablo 5.7 Maksimum güneş ışınımı alan düzlem için bulunan değerler

Aylar	$\Delta T$	$(\tau\alpha)_e$	$S(W/m^2)$	$Q_f(W/m^2)$	$\eta_{ko}$
Ocak	6,3	0,63065	87,214	152,09	0,0514
Şubat	7,4	0,65073	127,14	458,05	0,12349
Mart	9	0,65266	188,16	1067,9	0,2313
Nisan	10,1	0,6511	252,7	1873,1	0,34818
Mayıs	11,2	0,709	319,17	2747,6	0,45466
Haziran	11,7	0,709	356,75	3355,5	0,52628
Temmuz	12,1	0,70899	359,69	3494,7	0,54502
Ağustos	12,1	0,71132	330,22	3144,3	0,50479
Eylül	11,8	0,65145	262,4	2277,6	0,40752
Ekim	9,8	0,65004	168,96	1140,1	0,2629
Kasım	7,7	0,63821	103,99	398,64	0,12148
Aralık	5,9	0,61708	75,592	100,87	0,0373

Tablo 5.8 55° sabit eğimli düzlem için bulunan değerler

Aylar	$\Delta T$	$(\tau\alpha)_e$	$S(W/m^2)$	$Q_f(W/m^2)$	$\eta_{ko}$
Ocak	6,3	0,52112	86,731	156,44	0,050444
Şubat	7,4	0,52595	125,105	456,64	0,12337
Mart	9	0,53021	179,4	1065,2	0,23237
Nisan	10,1	0,5342	234,62	1856,1	0,36628
Mayıs	11,2	0,65139	313	2747,6	0,48504
Haziran	11,7	0,709	356,75	3355,5	0,54177
Temmuz	12,1	0,70906	359,7	3494,8	0,5493
Ağustos	12,1	0,65157	325,59	3142,7	0,51669
Eylül	11,8	0,53352	247,74	2250,7	0,41285
Ekim	9,8	0,52959	164,66	1136,8	0,26305
Kasım	7,7	0,5242	103,5	401,86	0,12102
Aralık	5,9	0,51831	75,2157	106,88	0,036345

#### 5.4 Maliyet analizi

Sistemde kollektör alanının değişimine bağlı olarak maliyet hesaplaması yapılmıştır. Matlapta aşağıdaki veriler kullanılarak ekonomik analiz ve optimum kollektör alanı bulunmuştur.

Depo hacmi optimum kollektör alanına bağlı olarak  $V_d/A_k=60 \text{ lt/m}^2$  alınmıştır(Deriş, 1979).

Kollektör alanı birim maliyeti:	250 YTL/m <sup>2</sup>
Yardımcı enerji birim maliyeti:	31 YTL/kWh
Depolama maliyeti:	1,5 YTL/lt
Pompa	167 YTL
Isı değiştirici	1578 YTL
Çeşitli maliyetler:	1000 YTL
Yıllık indirim oranı:	%10
Sistemin tahmin edilen ömrü:	20 yıl

Anamal geri ödeme faktörü Denklem (3.33)'ten

$$CRF = \frac{0,1(1+0,1)^{20}}{(1+0,1)^{20} - 1} = 0,11$$

bulunur. Toplam ilk yatırım maliyeti 10 m<sup>2</sup>'lik kollektör alan için Denklem (3.32)'den

$$C = 10 \times 250 + 60 \times 10 \times 0,1 + (367 + 1000 + 1578) = 5505 \text{ YTL}$$

Güneş sisteminin yıllık ek maliyeti Denklem (3.31)'den

$$C_h = 5505 \times 0,11 = 605,55 \text{ YTL/yıl}$$

bulunur. Maliyeti hesaplarken güneş enerjisi sisteminden faydalanma oranının bulunması gerekir. Faydalanma oranı binanın toplam ısı kaybına(Q<sub>t</sub>) ,faydalı enerji(Q<sub>f</sub>) ve yardımcı enerjiye bağlı olarak

$$f_i = \frac{\sum Q_t - \sum_{12} Q_y}{\sum Q_t} \quad (5.8)$$

bulunur. 10 m<sup>2</sup>'lik kollektör alanı için faydalanma oranı

$$f_i = \frac{23436 - 2155}{23436} \times 100 = 8$$

Güneş enerjisi sisteminin ortalama maliyeti Denklem (3.34)'ten

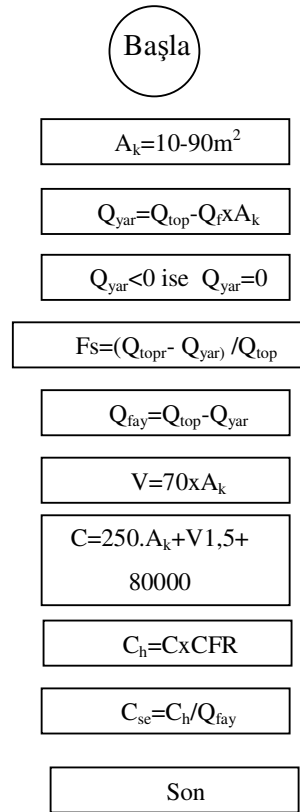
$$C_{se} = \frac{605,55}{1,879} = 322,31 \frac{\text{YTL}}{\text{kWh}}$$

bulunur. Yararlı enerji, yardımcı enerji faydalanma oranı ve ortalama maliyet hesaplanmış sonuçlar Tablo 5.9'da gösterilmiştir.

Tablo 5.9 Yararlı enerji, yardımcı enerji, faydalanma oranı ve ortalama maliyet

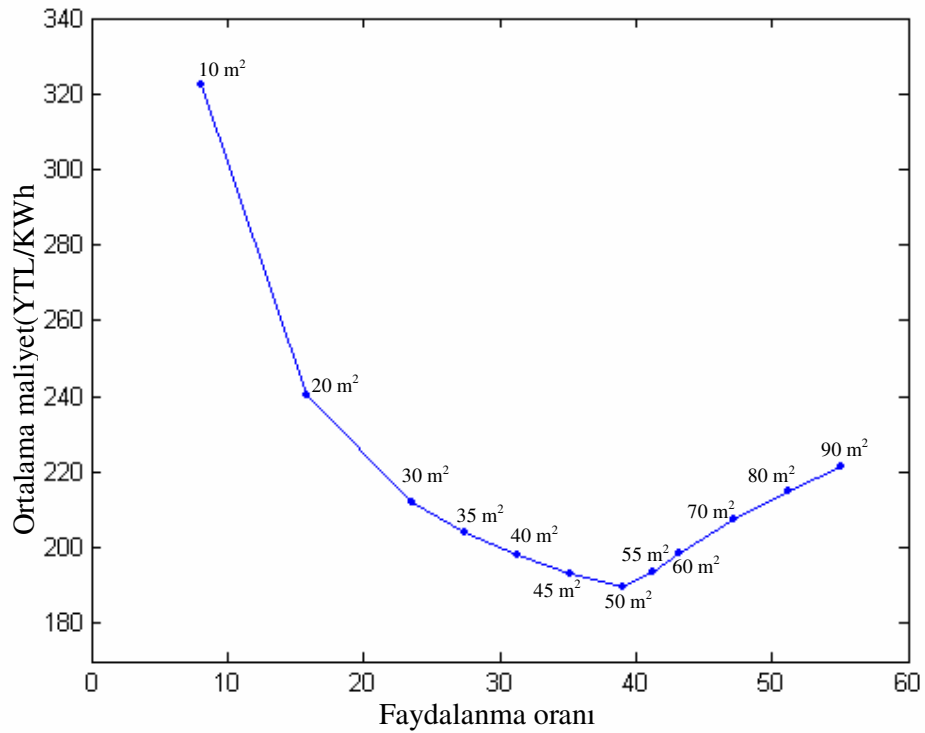
Kollektör alanı (m <sup>2</sup> )	Yararlı enerji (kWh)	Yardımcı enerji (kWh)	Faydalanma oranı(%)	Cse (YTL/kWh)
10	1,8794	21,557	8,0191	322,21
20	3,694	19,742	15,762	240,16
30	5,5087	17,927	23,505	212,17
35	6,416	17,02	27,377	204,11
40	7,3233	16,113	31,248	198,04
45	8,2307	15,206	35,119	193,32
50	9,138	14,298	38,991	189,53
55	9,677	13,759	41,291	193,53
60	10,139	13,297	43,264	198,59
70	11,064	12,372	47,209	207,44
80	11,989	11,447	51,155	214,93
90	12,913	10,523	55,101	221,35

Bilgisayar programı içindeki ekonomik analiz ve optimum kollektör alanı bulmak için kullanılan akış şeması Şekil 5.16'da verilmiştir.



Şekil 5.16 Ekonomik analiz ve optimum kollektör alanı için akış şeması

Elde edilen verilere göre ortalama maliyet eğrisi Şekil 5.17’de gösterilmiştir. Ortalama maliyet eğrisinde minimum ortalama maliyet(189,5 YTL) için kollektör alanı  $50 m^2$  olarak bulunmuştur.



Şekil 5.17 Ortalama maliyet eğrisi

Güneş enerjisi ile ısıtma sisteminin maliyeti Bayındırlık bakanlığının 2006 yılı birim maliyetlerine (Anonim 5) göre hesaplanmıştır.

Güneş kolektörü:	50 m <sup>2</sup>	250 YTL/m <sup>2</sup>
Kompresör:	7 kW	3422 YTL
Hava soğutmalı evaporatör		1685 YTL
Kondenser	20000 kcal/h	1515 YTL
Sirkülasyon pompası	2-6 m <sup>3</sup> /h(0,25-0,7 mSS)	167 YTL
Bakır boru serpantinli ısı değiştirici(Eşanjör)		1578 YTL
3 yollu kapatma vanası		131 YTL
Bakır boru(10 m)	1/2"	30,8 YTL/m
Depo		1,5 YTL/m <sup>2</sup>
Koryer boru(polipropilen)(95 m)	1/2"	2,61 YTL/m
Elektrik enerjisi birim fiyat		0,169 YTL/kWh



İlk yatırım maliyeti 26.053,95 YTL  
 Güneş enerjili sistem için yardımcı enerji günlük 14.298 kWh olarak hesaplanmıştır.  
 Bir yıldaki toplam yardımcı enerji maliyeti  
 EM= 14,28x30x5x0,169=374,02 YTL  
 Klasik ısıtma sistemi için maliyet hesabı enerji kaynağı olarak kömür, fuel-oil ve doğalgaz için yapılmıştır.

#### **Enerji kömürle karşılanırsa**

Duman borulu kalorifer kazanı	40000 kcal/h	2.489 YTL
Dökme dilimli radyatör(9 m)	(114/800)	47,30 YTL/m <sup>2</sup>
Galvaniz demir boru(20 m)	1/2"	3,2 YTL/m
İlk yatırım maliyeti		2.978 YTL
Kömür		300 YTL/ton
Kalorifer kazanının günde 24 saat çalıştırılırsa aylık ortalama yakıt sarfiyatı		

$$B_a = \frac{Q_t Z_g Z_a}{H_u \eta_k} \quad (5.9)$$

olarak hesaplanır. Burada  $Z_g$ , günlük çalışma süresi;  $Z_a$ , aylık çalışma süresi;  $H_u$ , yakıtın alt ısı değeri;  $\eta_k$ , kazan verimidir. Yakıt olarak seçilen kok kömürünün alt ısı değeri 6000 kcal/kg ve kazan verimi % 70 alınır

$$B_a = \frac{7319,694 \times 24 \times 30}{6000 \times 0,7} = 1,25 \frac{\text{ton}}{\text{ay}}$$

Sistem beş ay çalıştığında enerji maliyeti

$$EM=1.25 \times 300 \times 5=1875 \text{ YTL/yıl}$$

Eğer kömürlü sistem yıllık faiz oranı düşünülmeden güneş enerjili sistemle karşılaştırılırsa sistemlerin ilk yatırım maliyetlerinin farkı bulunur ve yıllık yakıt maliyetlerinin farkına bölüldüğünde güneş enerji sisteminin kendini amorti edebileceği zaman bulunur.

$$\text{Geri ödeme zamanı} = \frac{\text{İlk yatırım maliyeti farkı}}{\text{Yıllık yakıt maliyeti farkı}} \quad (5.10)$$

$$\text{Geri ödeme zamanı} = \frac{26053,95 - 2978}{1875 - 374,03} = \frac{23075,95}{1500,97} = 15,37 \text{ yıl}$$

Eğer sistemler yıllık faiz oranı hesaba katılarak karşılaştırılırsa ilk önce yıllık efektif faiz oranı hesaplanır.

$$i_{ef} = \frac{1+j}{1+i} \quad (5.11)$$

Burada i, yakıt için senelik fiyat artışı; j, yıllık faiz oranıdır. Geri ödeme zamanı;

$$n_e = \frac{\ln\left(\frac{C_e i_{ef}}{F_e} + 1\right)}{\ln(i_{ef})} \quad (5.12)$$

olarak hesaplanır. Burada  $C_e$ , ilk yatırım maliyeti;  $F_e$ , senelik yakıt tasarrufudur (Duffie and Beckman, 1991; Taner, 1984). Yıllık faiz oranı % 12, yakıt için senelik fiyat artışı %10 alınarak Denklem(5.11)'den efektif faiz oranı

$$i_{ef} = \frac{1+0,12}{1+0,10} = 1,018$$

bulunur. Kömürlü sistem yıllık faiz oranı hesaplanarak güneş enerjili sistemle karşılaştırılırsa Denklem (5.12)'den yararlanarak geri ödeme zamanı

$$n_e = \frac{\ln\left(\frac{26053,95(0,12 - 0,1)}{(1875 - 374,03)} + 1\right)}{\ln 1,045} = 16,71 \text{ yıl}$$

olarak bulunur.

#### **Enerji fuel-oille karşılanırsa;**

Kalorifer kazanı	100.000 kcal/h	4.814 YTL
Dökme dilimli radyatör(9 m)	(114/800)	47,30 YTL/m <sup>2</sup>
Galvaniz demir boru(20 m)	1/2"	3,2 YTL/m
İlk yatırım maliyeti		5.303 YTL
Fuel-oil		0,93 YTL/kg

Fuel-oilin alt ısı değeri 10.000 kcal/h ve kazan verimi % 80 alınırsa Denklem (5.9)'dan

$$B_a = \frac{7319,694 \times 24 \times 30}{10.000 \times 0,8} = 658,77 \frac{\text{kg}}{\text{ay}}$$

Sistem beş ay çalıştığında enerji maliyeti

$$EM = 0,93 \times 658,77 \times 5 = 3.063,28 \text{ YTL/yıl}$$

Eğer fuel-oil sistemi yıllık faiz oranı düşünülmeden güneş enerjili sistemle karşılaştırılırsa amorti zamanı Denklem (5.10)'dan

$$\text{Geri ödeme zamanı} = \frac{26053,95 - 5303}{3063,28 - 374,03} = \frac{2750,95}{2689,25} = 7,71 \text{ yıl}$$

Fuel-oil sistemi yıllık faiz oranı hesaplanarak güneş enerjili sistemle karşılaştırılırsa (5.12)'den yararlanarak

$$n_e = \frac{\ln\left(\frac{26053,95(0,12 - 0,1)}{(3063,28 - 374,03)} + 1\right)}{\ln 1,018} = 11 \text{ yıl}$$

bulunur.

#### **Enerji doğalgazla karşılanırsa;**

Kombi	24 kcal/h	2.510 YTL
Panel radyatör (9 m)		98,77 YTL/m
Galvaniz demir boru (20 m)	1/2"	3,9 YTL/m
İlk yatırım maliyeti		3.484 YTL
Doğalgaz		0,31 YTL/m <sup>3</sup>

Doğalgazın alt ısı değeri 8250 kcal/h ve kombi verimi % 80 alınırsa Denklem (5.9)'dan

$$B_a = \frac{7319,694 \times 24 \times 30}{8250 \times 0,8} = 798,51 \frac{\text{m}^3}{\text{ay}}$$

Sistem beş ay çalıştığında enerji maliyeti

$$EM = 798,51 \times 0,4 \times 5 = 1.597 \text{ YTL/yıl}$$

Eğer doğalgazlı sistem yıllık faiz oranı düşünülmeden güneş enerjili sistemle karşılaştırılırsa amorti zamanı Denklem (5.10)'dan

$$\text{Geri ödeme zamanı} = \frac{26053,95 - 3484}{1597 - 374,03} = \frac{22569,95}{1222} = 18,45 \text{ yıl}$$

Fuel-oil sistemi yıllık faiz oranı hesaplanarak güneş enerjili sistemle karşılaştırılırsa (5.12)'den yararlanarak

$$n_e = \frac{\ln\left(\frac{26053,95(0.12 - 0.1)}{(1597 - 374,03)} + 1\right)}{\ln 1,045} = 19.9 \text{ yıl}$$

bulunur. Görüldüğü gibi yıllık faiz oranı ve senelik yakıt artışı göz önüne alındığında geri ödeme için gereken zaman faizler göz önüne alınmadan yapılan hesaplama göre artmaktadır. Geri ödeme zamanı kömürlü sistemde 1,34 yıl, fuel-oil sisteminde 3,29 yıl, doğalgazlı sistemde 1,45 yıl artmaktadır.

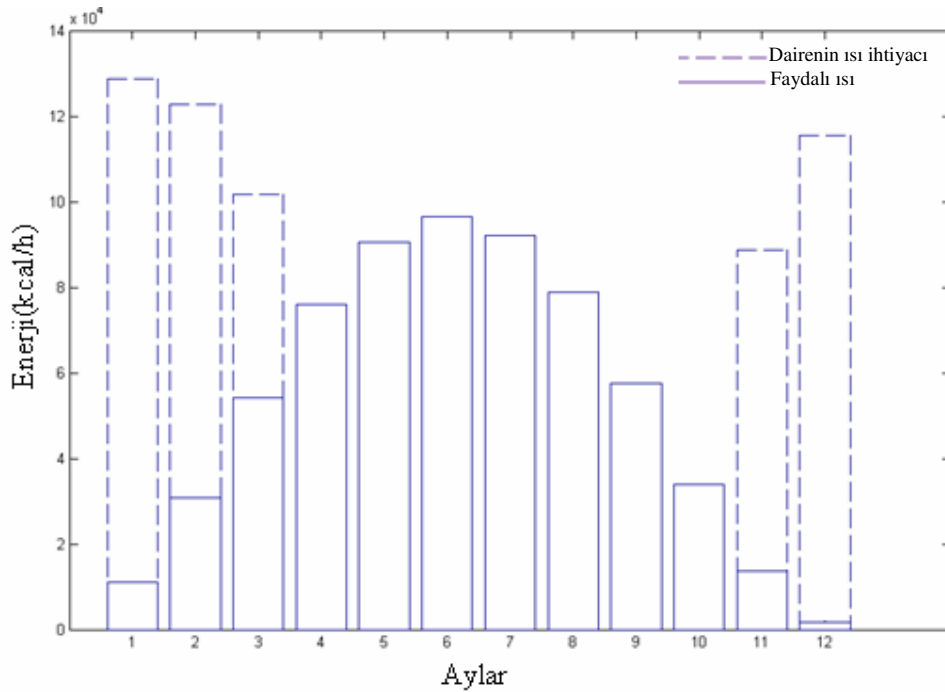
## 5.5 Isı Pompası Hesabı

Isı pompasının sistem tayininde kullanılacak olan dairenin standart ısı kaybı ( $-9^{\circ}\text{C}$ 'lik dış sıcaklığa göre)  $7937,698152 \text{ kcal/h}$  olarak hesaplanmıştır ve günlük sıcak su ihtiyacı  $8740 \text{ kcal/gün}$ 'dür. Dairenin toplam ısı ihtiyacı ikisinin toplamıdır.

$$Q_t = 7319,698 + 364,166 = 7683,86 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

Maliyet analizinde ocak ayında  $50 \text{ m}^2$ 'lik kollektöre gelen faydalı enerji  $0,69 \text{ kW}$  bulunmuştur. Faydalı enerji  $10,44 \text{ kcal/h}$  olarak hesaplanır.

Kollektörde toplanan faydalı ısı ve binanın toplam enerji ihtiyacı Şekil 5.18'de gösterilmiştir.



Şekil 5.18 Kollektörde toplanan faydalı ısı ve binanın toplam enerji ihtiyacı

Isı pompasından sağlanacak ısı miktarı

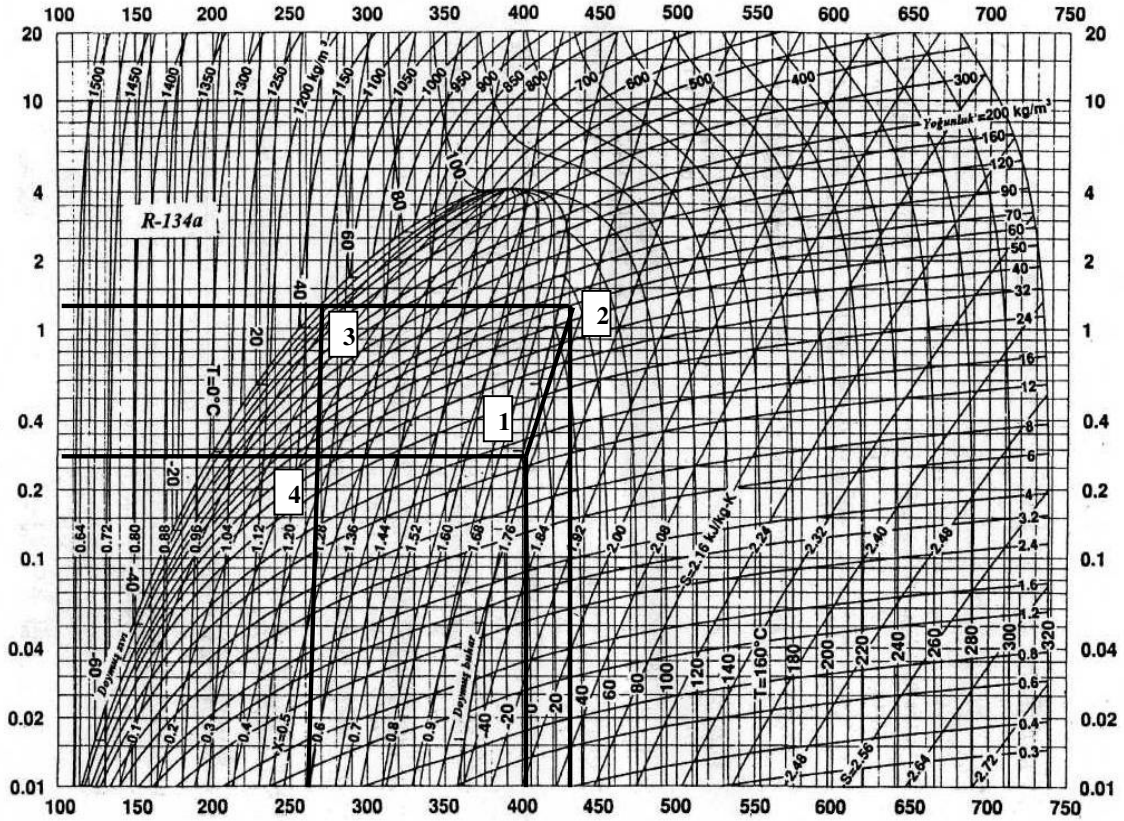
$$Q_{IP} = 7683,86 - 10,44 = 7673,42 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

Bu ısı miktarı kondenslerden alınacağına göre

$$Q_{IP} = Q_{\text{kondenser}}$$

$$Q_{\text{kon}} = m_{f12}(h_2 - h_3)$$

olarak hesaplanır. Şekil 5.19'de ısı pompası sisteminde kullanılan R-134a'nın P-h diyagramı verilmiştir.



Şekil 5.19 Soğutucu akışkan R-134a'nın P-h diyagramı

$h_2$  ve  $h_3$  değerleri P-h diyagramından sırasıyla 430 ve 275 kJ/kg olarak bulunur.

Bu değerler yerleştirildiğinde

$$m_{f12} = \frac{Q_{\text{kon}}}{(h_2 - h_3)} = \frac{7673,42 \times 4,187}{(430 - 275)} = 207,41 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 0,0576 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

kondenser ısı yükü bulunur. Sistemdeki debi ve entalpi değerleri bulunduğu göre kompresör içi gerekli güç

$$Q_{\text{kom}} = m_{f12}(h_2 - h_1)$$

$$Q_{\text{kom}} = 0,0576(430 - 380) = 2,88\text{kW}$$

Kompresör verimi %75 seçilerek

$$Q_{\text{kom}} = \frac{2,88}{0,75} = 3,84\text{kW}$$

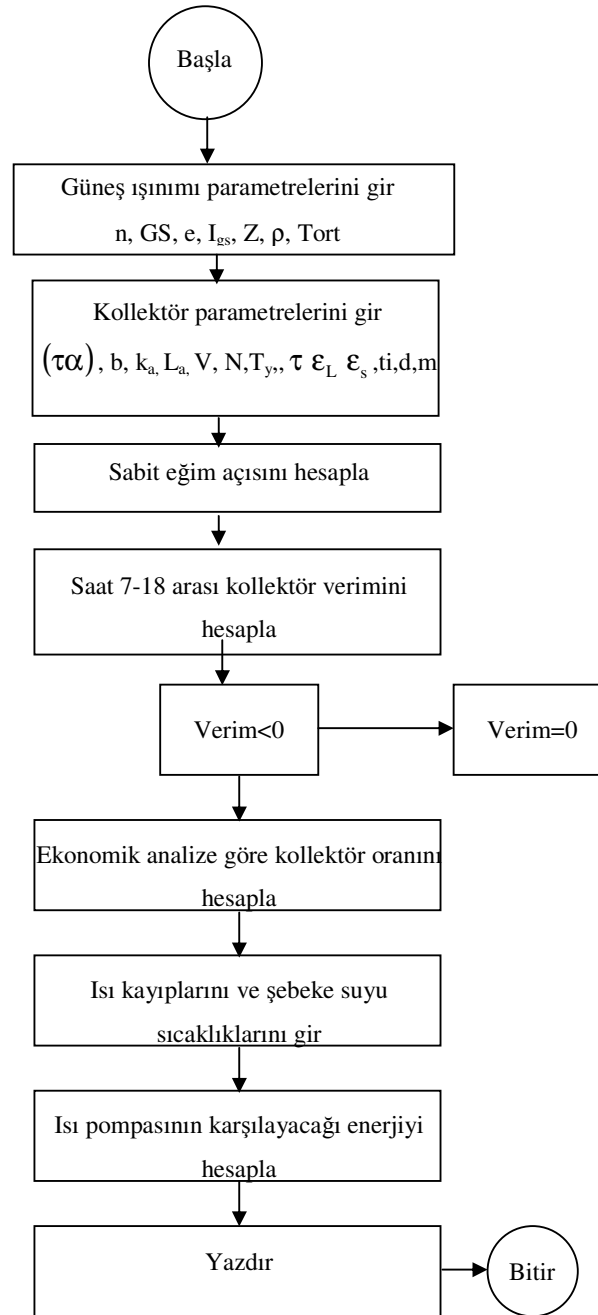
bulunur. Evaporatörden çekilen ısı yükü P-h diyagramından  $h_1$  değeri bulunarak

$$Q_{\text{ev}} = 0,0576(380 - 275) = 6,04\text{kW}$$

elde edilir. Isı pompası etkinlik katsayısı Denklem (3.6)'dan

$$\text{COP}_{\text{IP}} = \frac{430 - 275}{430 - 380} = 3,1$$

olarak bulunur. Ek 1'de verilen bilgisayar programının akış şeması Şekil 5.18'de verilmiştir.



Şekil 5.20 Bilgisayar programının akış şeması



## 6 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Enerji, insanlığın vazgeçilmez gereksinimlerinden biridir. Fosil kökenli enerjilerin sınırlı hale gelmesi alternatif enerji kaynaklı sistemler üzerinde çalışmalar yoğunlaşmıştır. Alternatif enerji kaynakları olarak güneş, rüzgâr, jeotermal enerji, biyomas gibi enerjiler ön planda olup bunların içerisinde en yaygın olan ve bilinen en eski kaynak güneştir. Güneş enerjisi sürekli yenilenen ve masrafsız olması bakımından geniş bir kullanım alanına sahiptir.

Isı pompaları sıcaklıkları düşük olan hava, su ve toprak gibi alternatif kaynaklardan enerji üretebilmektedir. Bu çalışmada güneş enerjisi destekli bir ısı pompasının çalışma prensibi ve sistem elemanları teorik olarak incelenmiştir.

Bu çalışmada güneş kolektörlerinin ve ısı pompasının çalışma sıcaklıkları göz önüne alınarak dairenin ısıtılması için zeminden ısıtılmalı sistem kullanılmıştır. Bilecik'te ısıtılmak istenilen dairenin ısı pompası sisteminin kapasitesinin tayininde kullanılacak olan  $-9^{\circ}\text{C}$ 'lik dış sıcaklığa göre ısı kaybı hesaplanmıştır. Ayrıca ortalama çevre sıcaklığı ve ortalama ısı geçirme katsayısı kullanılarak ısıtma yapılan aylar için ortalama ısı kayıpları hesaplanmıştır.

Dairenin on iki ay için günlük sıcak su ihtiyacı sistem tarafından sağlanacağı için sıcak su için gerekli ısı ihtiyacı ortalama şebeke sıcaklığına göre hesaplanmıştır.

Bilecik ilinin yeryüzü konumuna bağlı olarak eğik ve yatay düzleme gelen güneş ışınımı hesaplanmıştır. Hesaplamalar saat yediden onsekize kadar saat saat yapılmıştır. Enerjinin gerekli olduğu kış aylarında maksimum enerji alan düzlem eğimindeki enerjilerin sabit eğimdeki güneş ışınımı değerlerinden fazla farklı olmadığı görülmüştür. Kollektör için sabit eğim açısı  $55^{\circ}$  seçilmiştir.

Kollektör alanı seçiminde ekonomik analizden yararlanıldı. Kollektör alanı analizi yapılırken  $10-90\text{ m}^2$  arasında alanlar seçilmiştir. Maliyet analizi sonucunda ortalama maliyet eğrisinde kollektör alanı  $50\text{ m}^2$  seçilmiştir.

Sistemde kullanılan soğutucu akışkan R134-a'nin termodinamik özelliklerinden yararlanarak evaporatörden çekilen ısı yükü  $6,04\text{ kW}$ , kompresörün elektrik tahrik gücü  $3,84\text{ kW}$  bulunmuştur. Isı pompası sisteminin hesaplamalar sonucunda Bilecik ili için yedi aylık süre boyunca verimli bir şekilde çalışacak Ocak, Şubat, Mart, Kasım ve

Aralık ayları için ek ısıtıcıya ihtiyaç duyacağı belirlenmiştir. Sonuç olarak sistemin etkinlik katsayısı olan  $COP_{IP}$  değerinin 3,1 olduğu sonucuna varılmıştır.

## 7 KAYNAKLAR

Acaroğlu, M., 2003, Alternatif Enerji Kaynakları, Atlas Yayın Dağıtım Ltd. Şti., 341 s.

Anonim 1, <http://www.gesk.yildiz.edu.tr/GESK-GunesEnerjisi.pdf>

Anonim 2; <http://www.kongre.org./makine/teskon97/036/index.html>

Anonim 3, <http://www.eie.gov.tr/turkce/gunes/tgunes.html>

Anonim 4, <http://www.meteor.gov.tr/2006/tahmin/tahmin-iller.aspx?secimNo=16>

Anonim 5; <http://www.birimfiyat.com>

Badescu, V., 2002, Model of solar-assisted heat-pump system for space heating integrating a thermal energy storage unit, *Energy and buildings*, 34, 715-726

Ballı, Ö., 2002, Eskişehir'de yatay dŐzleme gelen gŐnlŐk tŐm, yayılı ve direkt gŐneŐ iŐınımını hesaplama modeli, Master Tezi, Osmangazi Őniversitesi Fen Bilimleri FakŐltesi, 82 s.

Capehart, B., Turner, W. and Kennedy, W., 2002, *Guide to Energy Management (Fourth Edition)*, Marcel Dekker Incorporated , 566 p

Çengel, Y.A ve Boles, M.A, 1996, *MŐhendislik yaklaŐımıyla termodinamik*, LiteratŐr Yayıncılık, 887 s

Dağsöz, A.K., 1995, *Isı geçişi (transferi)*, Beta basın yayım dağıtım A.Ő., 463 s.

Deriş, N., 1979, *GŐneŐ enerjisi sıcak su ile ısıtma tekniği*, Sermet matbaası, 172 s.

**KAYNAKLAR(devam)**

- Duffie, J.A. and Beckman, W.A., 1991, Solar Engineering of thermal processes, John Wiley and sons, 919 p.
- Goswami, Y.D., Kreith, F. and Kreider, J.F., 1999, Principles of solar engineering, George H. Buchanan Co., 694 p.
- Hawlader, M.N.A., Chou, S.K. and Ulah, M.Z., 2000, The performance of a solar assisted heat pump water heating system, Applied thermal engineering, 21, 1049-1065
- Huang, B.J. and Chyng, J.P., 1999, Integral type solar assisted heat pump water heating, Renewable energy, 16, 731-734
- Karakoç, H.T., 2001, uygulamalı TS 825 ve kalorifer tesisatı hesabı, İzocam A.Ş., 259 s
- Kaya,E., 2002, Hidrojen enerjisi ve yakıt pilleri, Yüksek lisans tezi, Dumlupınar üniversitesi fen bilimleri enstitüsü, 90s.
- Kaygusuz K., 2000, Experimental and theoretical investigation of a solar heating system with heat pump, Renewable energy, 21, 79-102
- Kılıç, A. ve Öztürk, A., 1983, Güneş Enerjisi, Kipaş Dağıtımçılık, 328 s.
- Kuang, Y.H., Wang, R.Z. and Yu, L.Q., 2003, Experimental study on solar assisted heat pump system for heat supply, Energy conversion and management, 44, 1089-1098
- Kurun, E., 1994, Güneş toplacından faydalanmanın bilgisayarla hesabı, Osmangazi üniversitesi fen bilimleri enstitüsü, 84 s.
- Kreider, J., F, 1975, Solar heating and cooling, Hemisphere publishing co., 212p

**KAYNAKLAR(devam)**

Masters, G.M., 2004, Renewable and efficient electric power systems, John Wiley and sons, 676 p

Özgener, Ö. and Hepbaşlı, A., 2007, A review on the energy and exergy analysis of solar assisted heat pump systems, Renewable and sustainable energy reviews, 11, 482-496

Öztürk, A., 1985, Güneş enerjili ve ısı pompalı ısıtma sistemleri, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 84 s.

Öztürk, E., Gülmez, E., Öztürk, T.M. ve Eker, U., 2006, Mühendislik termodinamiği, Birsen yayınevi Ltd. Şti., 426s.

Taner, K., 1984, Güneş enerjisinden konut konforunda yararlanma, Anadolu üniversitesi basımevi, 123 s.

Taner, K., 2005, Soğutma, Nobel Yayın Dağıtım Ltd. Şti., 366 s.

Uyarel, Y.A. ve Öz, E.S., 1987, Güneş enerjisi ve uygulamaları, Birsen yayınevi Ltd. Şti, 239s.

Yamaç, Ö., 2005, Güneş enerjili destekli ısı pompalarının teorik incelenmesi, Master Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 95s.

Yamankaradeniz, R., Horuz, İ. ve Coşkun, S., 2002, Soğutma tekniği ve uygulamaları, Vipaş A.Ş., 607 s.

**EKLER**

Ek.1. Bilgisayar programı

Ek.1. Yerden ısıtma sistemi

## Ek 1 Bilgisayar programı

```

n=[17,47,75,105,135,162,198,228,258,288,318,344];
d=23.45.*sin(((360/365).*(n+284)).*(pi/180));
GS=[7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18];
h=15.*(GS-12);
e=40.15;
cosH=-tan(d*pi/180)*tan(e*pi/180);
H=acos(cosH)*180/pi;
to=2.*H/15;
for i=1:12
    for j=1:12

cosZ(i,j)=cos(d(i)*(pi/180))*cos(e*(pi/180)).*cos(h(j).*(pi/180))+sin(d(i)*(3.14/180))*sin(e*(3.14/180));
        end
    end
cosZ;
f=1+(0.033*cos((360.*n/365).*pi/180));
f2=[f;f;f;f;f;f;f;f;f;f;f];
Igs=1353;
Io= f2.*cosZ.*Igs;
Qo=(24/pi).*f.*Igs.*sin(d*pi/180).*sin(e*pi/180).*((pi/180).*H)-tan(H*pi/180)).*0.0036;
z=500;
a=0.103+(0.000017.*z)+(0.198.*cos((e-d)*pi/180));
b=0.533-0.165.*cos((e-d)*pi/180);
t=[3.3,3.9,4.9,6.0,8.0,9.7,10.2,9.8,8.5,5.9,4.1,3.0];
tbto=t./to;
Q=Qo.*(a+(b.*(tbto)));
W=20;
Qd=(tbto).*Qo.*(0.6714-(0.00423.*W)+0.233.*log(cos((e-d).*pi/180)));
Qy=Q-Qd;
for i=1:12
    for j=1:12
        F1(i,j)=exp((-4).*(1-((abs(h(j))./abs(H(i))))).^2);
    end
end
F1;
for i=1:12
    for j=1:12
        aa(i,j)=(cos(abs(h(j))*pi*180)./(2*H(i)*180));
    end
end
aa;
to2=[to;to;to;to;to;to;to;to;to;to;to];
ae=((1-F1).*(2./(pi^0.5)));
rt=(pi./(4*to2)).*((aa)+(ae));
Q2=[Q;Q;Q;Q;Q;Q;Q;Q;Q;Q;Q;Q];
I=rt.*Q2.*277.7777;
for i=1:12
    for j=1:12
        ry(i,j)=(pi/24).*((cos(h(j)*pi/180)-cos(H(i)*pi/180))./(sin(H(i)*pi/180)-
((pi/180).*H(i).*cos(H(i)*pi/180))));
    end
end

```

```

end
end
ry;
Qy1=[Qy;Qy;Qy;Qy;Qy;Qy;Qy;Qy;Qy;Qy;Qy;Qy];
Iy=ry.*Qy1.*277.7777;
Id=I-Iy;
s1=e-(1.5.*d)-(abs(d).*e/180);
s=[s1;s1;s1;s1;s1;s1;s1;s1;s1;s1];
ss=55;
d1=[d;d;d;d;d;d;d;d;d];
h1=[h;h;h;h;h;h;h;h;h;h];
%değişen eğim açısı için anlık direkt güneş ışınımı
Rd=(cos((e-s).*pi/180).*cos(d1.*pi/180).*cos(h1.*pi/180)+sin((e-
s).*pi/180).*sin(d1.*pi/180))./(cos(e.*pi/180).*cos(d1.*pi/180).*cos(h1.*pi/180)+sin(e.*pi/180).*sin(d1.*
pi/180));
Ied=Rd.*Id
wua1=mean(Rd')
%sabit eğim açısı için anlık direkt güneş ışınımı
Rds=(cos((e-ss).*pi/180).*cos(d1.*pi/180).*cos(h1.*pi/180)+sin((e-
ss).*pi/180).*sin(d1.*pi/180))./(cos(e.*pi/180).*cos(d1.*pi/180).*cos(h1.*pi/180)+sin(e.*pi/180).*sin(d1.
*pi/180));
Ieds=Id.*Rds;
g=0.2;
%değişen eğim açısı için anlık toplam güneş ışınımı
R=(Rd.*(Id./I))+((Iy./I).*((1-cos(s.*(pi/180)))/2)+(g.*((1-cos(s.*(pi/180)))/2)));
Ie=R.*I
%sabit eğim açısı için anlık toplam güneş ışınımı
Rs=(Rds.*(Id./I))+((Iy./I).*((1-cos(ss.*(pi/180)))/2)+(g.*((1-cos(ss.*(pi/180)))/2)));
Ies=Rs.*I;
Iese=mean(Ies');
Hg1=acos(-tan(e*pi/180).*tan(d.*pi/180))*180/pi;
Hg2=acos((-tan((e-s1)*pi/180).*tan(d.*pi/180))*pi/180).*180/pi;
for i=1:12
    if Hg1(i)>Hg2(i)
        Hg(i)=Hg2(i);
    else Hg1(i)<Hg2(i)
        Hg(i)=Hg1(i);
    end
end
Hg;
%sabit eğim açısı için
Hg1s=acos(-tan(e*pi/180).*tan(d.*pi/180))*180/pi;
Hg2s=acos((-tan((e-ss)*pi/180).*tan(d.*pi/180))*pi/180).*180/pi;
for i=1:12
    if Hg1s(i)>Hg2s(i)
        Hgs(i)=Hg2s(i);
    else Hg1s(i)<Hg2s(i)
        Hgs(i)=Hg1s(i);
    end
end
end
Hgs;
Hg3=[Hg;Hg;Hg;Hg;Hg;Hg;Hg;Hg;Hg;Hg;Hg;Hg];
H1=[H;H;H;H;H;H;H;H;H;H;H;H];
Qd1=[Qd;Qd;Qd;Qd;Qd;Qd;Qd;Qd;Qd;Qd;Qd;Qd];
Rdg=((cos((e-s).*pi/180).*cos(d1.*pi/180).*sin(Hg3.*pi/180))+((pi/180).*Hg3.*sin((e-
s).*pi/180).*sin(d1.*pi/180)))./(cos(e.*pi/180).*cos(d1.*pi/180).*sin(H1.*pi/180))+((pi/180).*sin(e.*pi/180
).*sin(d1.*pi/180));

```



```

Rdgs=((cos((e-ss)*pi/180).*cos(d*pi/180).*sin(Hgs*pi/180))+((pi/180).*Hgs.*sin((e-
ss)*pi/180).*sin(d.*pi/180)))/((cos(e*pi/180).*cos(d*pi/180).*sin(H*pi/180))+((pi/180).*sin(e*pi/180).*
sin(d*pi/180)));
Rg=(Rdg.*Qd1./Q2)+((Qy1./Q2).*((1-cos(s.*(pi/180)))./2))+g.*((1-cos(s.*(pi/180)))./2));
Rgs=(Rdgs.*Qd./Q)+((Qy./Q).*((1-cos(ss.*(pi/180)))./2))+g.*((1-cos(ss.*(pi/180)))./2));
Qe=Rg.*Q2;
Qe1=mean(Qe');
Qes=Rgs.*Q;
%kollektör hesabı
%değişen eğim açısı için cos teta
ag=(cos(d1.*pi./180).*cos(h1.*pi./180).*cos((e-s).*pi./180))+sin((e-s).*pi./180).*sin(d1.*pi./180))
wer=mean(ag');
%sabit eğim açısı için cos teta
ags=(cos(d1.*pi./180).*cos(h1.*pi./180).*cos((e-ss).*pi./180))+sin((e-ss).*pi./180).*sin(d1.*pi./180))
wer1=mean(ags')
taualphao=0.69;
b1=0.1;
%değişen eğim açısı için tualpha
tualpha=taualphao-(b1.*((1-((Id.*Rd)/(I.*R))).*(2-(1./ag))))
for i=1:144
    if tualpha(i)>0.9
        tualpha(i)=0;
    end
end
tualpha
tyu=mean(tualpha')
%sabit eğim açısı için tualpha
tualphas=taualphao-(b1.*((1-((Id.*Rds)/(I.*Rs))).*(2-(1./ags))))
for i=1:144
    if tualphas(i)<-1
        tualphas(i)=0;
    end
end
tualphas
for i=1:144
    if tualphas(i)>0.9
        tualphas(i)=0;
    end
end
tualphas
ak=0.019;
taualphae=taualpha+ak;
%sabit eğim açısı için;
taualphaes=taualphas+ak;
S=taualphae.*I;
hal=mean(S')
%sabit eğim açısı için efektif güneş ışınımı
Ss=taualphaes.*I;
hal1=mean(Ss')
v=5;
htd=5.7+(3.8.*v);
N=2;
F=(1-(0.04.*htd)+(0.0005.*htd^2)).*(1+(0.091.*N));
C=250.*(1-(0.0044.*(s1-90)));
%sabit eğim açısı için
Cs=250.*(1-(0.0044.*(ss-90)));
Ty1=40;

```

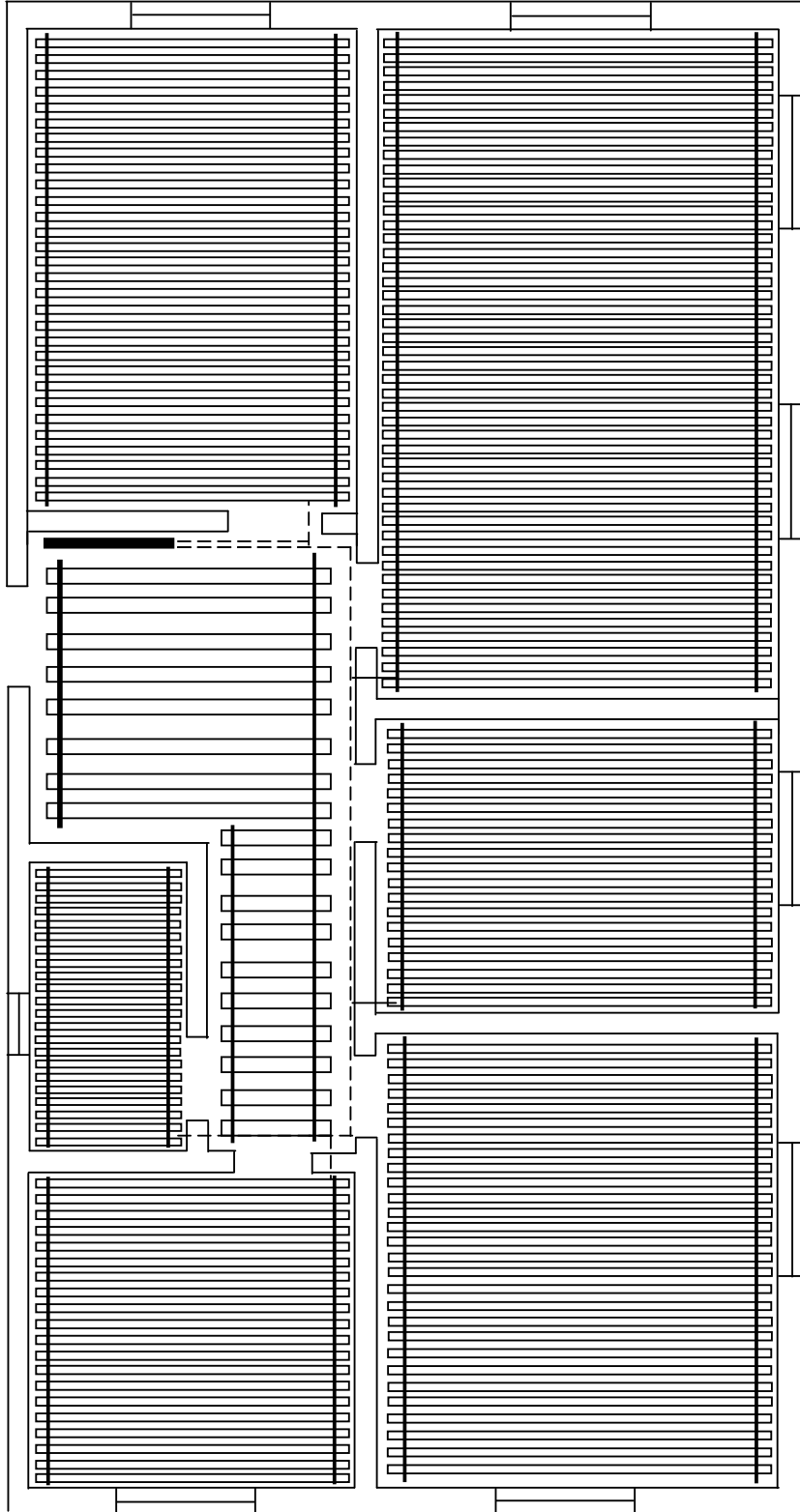
```

Ty=Ty1+273.15;
Tcev1=[2.5,3.4,6.6,11.6,16.0,19.9,22.1,21.8,18.3,13.7,8.4,4.4];
Tcev=Tcev1+273.15;
tork=5.67*10^-8;
Es=0.88;
El=0.95;
Kust=(tork.*(Ty+Tcev).*(Ty.^2+Tcev.^2))./(((El+(0.05.*N.*(1-El)))^-1)+((2.*N+F-1)/Es)-
N)+((N./((C./Ty).*((Ty-Tcev)/(N+F)).^0.33))+(1/htd)).^-1;
%sabit eğim açısı için
Kusts=(tork.*(Ty+Tcev).*(Ty.^2+Tcev.^2))./(((El+(0.05.*N.*(1-El)))^-1)+((2.*N+F-1)/Es)-
N)+((N./((Cs./Ty).*((Ty-Tcev)/(N+F)).^0.33))+(1/htd)).^-1;
Ky=0.036;
l=0.06;
Kalt=Ky./l;
K=Kalt+Kust;
%sabit eğim açısı için
Ks=Kalt+Kusts;
m1=0.04;
At=1;
ro=994.59;
D1=1.27*10^-2;
V=(m1*At)/(ro*(pi*(D1^2)/4));
Vu=0.658*10^-6;
Re=V*D1/Vu;
alpha=15.12*10^-8;
Pr=Vu/alpha;
if Re>2300
    Nu=0.027.*Re.^0.8*Pr.^(1/3);
else Re<2300
    Nu=1.86.*(Re.*Pr)^(1/3).*(D1/1)^(1/3);
end
Nu;
k=0.628;
ht=Nu*k/D1;
kb=386;
yut=0.0002;
m=sqrt(K./(yut.*kb));
%sabit eğim açısı için
ms=sqrt(Ks./(yut.*kb));
w=0.1;
kv=(tanh(m.*w./2))./(m.*w./2);
%sabit eğim açısı için
kvs=(tanh(ms.*w./2))./(ms.*w./2);
Fv=(1./K)./(D1+w).*(((1./K)./(D1+(w.*kv)))+(1./(pi.*D1.*ht))));
%sabit eğim açısı için
Fvs=(1./Ks)./(D1+w).*(((1./Ks)./(D1+(w.*kvs)))+(1./(pi.*D1.*ht))));
Cp=3430;
%değişen eğim açısı için toplayıcı verim faktörü
Ft=(m1*Cp./(At.*K)).*(1-exp(-(At.*K.*Fv)/(m1.*Cp)));
%sabit eğim açısı için
Fts=(m1.*Cp./(At.*Ks)).*(1-exp(-(At.*Ks.*Fvs)/(m1.*Cp)));
deltaT=[6.3,7.4,9,10.1,11.2,11.7,12.1,12.1,11.8,9.8,7.7,5.9];
Tcev2=[Tcev1;Tcev1;Tcev1;Tcev1;Tcev1;Tcev1;Tcev1;Tcev1;Tcev1;Tcev1;Tcev1;Tcev1];
deltaT2=[deltaT;deltaT;deltaT;deltaT;deltaT;deltaT;deltaT;deltaT;deltaT;deltaT;deltaT];
for i=1:12
    for j=1:12
        u1(i,j)=cos((180./to(i)).*(GS(j)-14)*(pi/180));
    end
end

```



```
Qyar=Qtop-Qfay2
for i=1:144
    if Qyar(i)<0
        Qyar(i)=0;
    end
end
Qyar;
Qyar1=mean(Qyar)*12
fi23=((QTOP-(Qyar1))./QTOP);
Qfay=QTOP-Qyar1;
Qfay3=Qfay.*0.001
V1=60.*A1;
Chtop=((A1.*250)+(V1.*0.1)+(367+1000+1578))
i=0.1
n=20
Crf=((i+1).^20.*i)./(i+1).^n-1)
Ch=Chtop.*Crf
Chtop1=Ch
Cse=Chtop1./(Qfay3)
```

**Ek 2 Yerden Isıtma Sistemi**

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖZET</b> .....	HATA! YER İŞARETİ TANIMLANMAMIŞ.
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	Vi
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	Vii
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	İx
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	x
<b>1 GİRİŞ</b> .....	1
<b>2 GÜNEŞ</b> .....	6
2.1 Güneş Enerjisi.....	6
2.1.1 Güneş enerjisinin karakteristikleri .....	7
2.1.2 Türkiye’de güneş enerjisi .....	8
2.2 Güneş Açıları.....	9
2.2.1 Esas güneş açıları .....	9
2.2.2 Türetilen güneş açıları .....	11
2.2.3 Eğik yüzeyin açıları.....	14
2.3 Güneş Saati (GS) .....	16
2.4 Yeryüzüne Gelen Güneş Işınımı.....	17
2.4.1 Atmosfer dışına gelen güneş ışınımı .....	17
2.4.2 Yatay Düzleme Gelen Günlük Tüm Güneş Işınımı .....	18
2.4.3 Yeryüzünde eğik düzleme gelen aylık ortalama güneş ışınımı .....	20
2.4.4 Maksimum güneş ışınımı alan düzlemin eğimi .....	22
<b>3 GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİ</b> .....	24
3.1 Kollektörlü Sıcak Su Sistemleri.....	24
3.1.1 Tabii dolaşımli sistemler .....	24
3.1.2 Pompalı Sistemler .....	24
3.2 Düzlemsel güneş kolektörlerinin elemanları.....	25
3.2.1 Saydam örtü .....	25
3.2.2 Yutucu yüzey (Absorber plaka) .....	27

## İÇİNDEKİLER(devam)

	<u>Sayfa</u>
3.2.3	Kollektör kasası.....30
3.2.4	Yalıtım.....30
3.3	Düzlemsel Kollektörlerin Isıl Analizi .....31
3.3.1	Kollektör sıcaklığı ve ısı kayıplar .....31
3.3.2	Efektif yutma geçirme çarpımı .....33
3.3.3	Kollektör ısı geçiş faktörleri .....34
3.3.4	Kollektör verim faktörü .....34
3.3.5	Kollektör ısı kazanç faktörü.....36
3.3.6	Kollektör anlık verimi .....37
3.3.7	Ortalama kollektör verimi .....37
3.4	Maliyet Analizi .....38
<b>4</b>	<b>ISI POMPALARI .....40</b>
4.1	Isı Pompası Sistemleri.....41
4.2	Isı Pompası Çevrimi.....43
4.3	Isı Pompası Elemanları .....45
4.3.1	Kondenser (yoğuşturucu) .....45
4.3.2	Evaporatör (Buharlaştırıcı) .....46
4.3.3	Kompresörler .....47
4.3.4	Akışkan kontrol elemanları.....47
4.4	Soğutucu Akışkanlar .....48
<b>5</b>	<b>SİSTEM ANALİZİ .....51</b>
5.1	Dairenin Isı Kaybı Hesabı .....52
5.2	Güneş Işınımı Hesabı .....61
5.2.1	Maksimum güneş ışınımı alan eğimli düzleme göre hesaplamalar .....67
5.2.2	Sabit eğim açısına göre güneş ışınımı hesabı .....70
5.3	Kollektör Hesabı .....72

**İÇİNDEKİLER(devam)**

	<b><u>Sayfa</u></b>
5.4 Maliyet analizi .....	78
5.5 Isı Pompası Hesabı.....	87
<b>6 SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>	<b>91</b>
<b>7 KAYNAKLAR.....</b>	<b>93</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>96</b>
Ek 1 Bilgisayar programı .....	97
Ek 2 Yerden Isıtma Sistemi .....	103