



**TOPRAK KAYNAKLI VE GÜNEŞ ENERJİSİ
DESTEKLİ ISI POMPASININ BURSA'DA SERA
ISITILMASINDA KULLANILABİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI**

HAKAN KARADEMİR



T.C.

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TOPRAK KAYNAKLI VE GÜNEŞ ENERJİSİ DESTEKLİ ISI POMPASININ
BURSA'DA SERA ISITILMASINDA KULLANILABİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI**

HAKAN KARADEMİR

Prof. Dr. Abdulvahap YİĞİT

(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

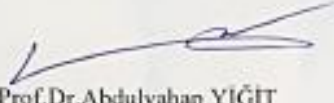
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA - 2017

TEZ ONAYI

Hakan KARADEMİR tarafından hazırlanan " Toprak Kaynaklı ve Güneş Enerjisi Destekli Isı Pompasının Bursa'da Sera Isıtılmasında Kullanılabilirliğinin Araştırılması" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

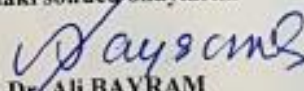
Danışman : Prof.Dr. Abdulvahap YİĞİT

Başkan : 
Prof.Dr.Abdulvahap YİĞİT
UÜ Mühendislik Fakültesi
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : 
Prof.Dr.Ömer KAYNAKLI
UÜ Mühendislik Fakültesi
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : 
Prof.Dr.Ali SÜRMEN
BTU Doğa Bilimleri, Mimarlık ve
Mühendislik Fakültesi
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım


Prof. Dr. Ali BAYRAM
Enstitü Müdürü

11.06.2017

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

06/01/2017

Hakan KARADEMİR

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TOPRAK KAYNAKLI VE GÜNEŞ ENERJİSİ DESTEKLİ ISI POMPASININ BURSA'DA SERA ISITILMASINDA KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Hakan KARADEMİR

Uludağ Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman :Prof.Dr.Abdulvahap YİĞİT

Bu çalışmada, Bursa-Merkezde yer alan örnek bir seranın, kış sezonu boyunca ortaya çıkan ısıtma ihtiyacının, yenilenebilir enerji kaynaklarıyla karşılanması ele alınmıştır. Bunun için saat saat hesaplanan sera ısı kaybının karşılanması amacıyla, güneş kollektörü ve yatay toprak kaynaklı ısı pompası kurulup, elde edilen fazla enerji faz değişim malzemesi olarak seçilen $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (Kalsiyum klorür heksahidrat) ile doldurulmuş ısı enerjisi deposunda depolandığı düşünülerek hesaplamalar buna göre yapılmıştır.

Toprağın yıl boyunca hemen hemen değişmeyen özellikleri nedeniyle, soğuk iklimler için ısı kaynağı olarak kullanımı hava ve suya göre daha caziptir. Bu yüzden yapılan bu çalışmada toprak kaynaklı ısı pompası kullanılmıştır. Saat saat yapılan hesaplamalar sonucunda kurmuş olduğumuz sistemin yatırım ve işletme maliyetleri toplamı, konvansiyonel ısıtma sistemlerinden olan, motorin kazanı, fuel oil kazanı ve kömür kazanı yatırım ve işletme maliyetleri toplamıyla karşılaştırılarak sistem geri ödeme süreleri, Bugünkü Değer Teoremi ile hesaplanmış sonuçlar grafikler ve tablolar halinde gösterilmiştir. Isı pompası COP değerleri ekim ayı için 5,28, kasım ayı için 4,79, aralık ayı için 4,07 ocak ayı için 3,67 şubat ayı için 3,92 ve mart ayı için 4,38 olarak bulunmuştur. Sistem motorin yakıtlı kazana göre 36 ayda, fuel-oil yakıtlı kazanlı sisteme göre 126 ayda, kömür yakıtlı kazanlı sisteme göre ise 158 ayda kendisini amorti etmektedir.

Anahtar Kelimeler :Sera, faz değişim malzemeleri, toprak kaynaklı ısı pompası, yenilenebilir enerji, ısı enerjisi deposu

2017, xi +128 sayfa

ABSTRACT

MSc Thesis

INVESTIGATION OF USABILITY OF A GROUND SOURCE AND SOLAR ENERGY ASSISTED HEAT PUMP FOR HEATING OF GREENHOUSE IN BURSA

Hakan KARADEMİR

Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor : Prof.Dr.Abdulvahap YİĞİT

In this study, it is aimed to investigate the heat demands of a sample greenhouse for winter season, which is located in Bursa Downtown, by using the renewable energy sources . For this purpose, in order to supply heat losses of the greenhouse which were calculated hourly, a solar assisted and horizontal ground source heat pump was set and excess energy was stored in the thermal energy storage filled with $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ chosen as a phase change material.

Thanks to almost not changing the properties of the soil all the year, that is more appealing to use the soil as a source when compared to air and water. For this reason, ground source heat pump was used in this study. The results of hourly calculations, in term of total investment and operational costs, are compared with those obtained three conventional boilers; diesel fuel boiler, fuel oil boiler and coal boiler. At the end of this study, the depreciation time of the system which was calculated through present value theorem was presented in graphics and tables. Coefficient of Performance of heat pump (COP) was found as 5,28 for October 4,79 for November, 4,07 for December, 3,67 for January, 3,92 for February and 4,38 for March . The system we established pay off in 36 months compared to fuel boiler, in 126 months compared to fuel oil boiler and 158 months compared to coal boiler.

Key Words :Greenhouse, phase change material, ground source heat pumps, renewable energy , thermal energy storage

2017, xi +128 pages

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım sırasında değerli bilgilerini benimle paylaşıp, desteğini hiçbir zaman esirgemeyen tez danışmanım değerli Hocam Sayın Prof.Dr.Abdulvahap YİĞİT'e, yalnızca mühendislik kariyerime değil aynı zamanda kişisel hayatıma da büyük katkıları olan değerli arkadaşım Mak.Müh. E.Melih EREZ'e ve yaşamımın her anında yanımda bulunup maddi manevi destek olan ve özellikle bu tezin bitirilmesinde büyük katkıları olan canım anneme, canım babama ve ailemin diğer fertlerine teşekkürü bir borç bilirim.

Hakan KARADEMİR

06/01/2017

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGE ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ (GENEL BİLGİLER)	4
2.1. Güneş Enerjisi	8
2.1.1. Türkiye’de Güneş Enerjisi	8
2.1.2. Güneş Açıları	10
2.1.2.1. Deklinasyon Açısı	10
2.1.2.2. Saat Açısı	11
2.1.2.3. Enlem Açısı	11
2.1.2.4. Güneş Geliş Açısı.....	11
2.1.2.5. Zenit Açısı	11
2.1.2.6. Eğim Açısı	11
2.1.2.7. Yüzey Azimut Açısı	11
2.1.2.8. Eğimli Yüzey Açıları	11
2.1.2.9. Eğik Düzleme Düşen Güneş Işınımı	12
2.1.3. Anlık Işınım Hesabı	13
2.2. Isı Pompaları	14
2.2.1. Isı Pompası Teorisi.....	14
2.2.1.1. Carnot Çevrimi.....	14
2.2.1.2. Isı Pompalarının Sınıflandırılması	15
2.2.1.2.1. Kullanılan Isı Kaynaklarına Göre Sınıflandırma	16
2.2.1.2.2. Termodinamik Çevirim Tipine Göre Isı Pompaları	18
2.2.1.2.3. Isı Kaynağı Tipine Göre Isı Pompaları	23
2.2.1.2.4. Isı Dağıtımına Göre Isı Pompaları	25
2.2.1.2.5. İşletme Şekline Göre Sınıflandırma	26
2.2.2. Toprak Kaynaklı Isı Pompaları	27
2.2.2.1. Toprak Serpantinli Isı Pompaları	29
2.2.2.2. Toprak Kaynaklı Isı Pompası Dizaynı	35
2.2.2.3. Toprak Isı Değiştiricisindeki Isı Geçişi İle İlgili Temel Bilgiler	36
2.2.2.4. Toprak Sıcaklığının Hesaplanması	40
2.2.2.5. Topraktan Suyu Aktarılan Isının Hesaplanması.....	41
2.3. Güneş Enerjisi ile Sera Isıtma Sistemleri.....	43
2.3.1. Seralarda Güneş Enerjili Isıtma Sistemi Yöntemleri	45
2.3.2. Seralarda Güneş Enerjili Pasif Isıtma Sistemleri	47
2.3.2.1. Faz Değiştiren Materyal Kullanılan Pasif Isıtma Sistemleri.....	48
2.4. Isı Depolama ve Faz Değişim Malzemeleri	50
2.4.1. Duyulur Isı Depolama	50
2.4.2. Gizli Isı Depolama	51
2.4.3. Gizli Isı Depolama İçin Faz Değişim Malzemeleri	55

2.4.3.1. İnorganik Faz Değişim Malzemeleri.....	58
2.4.3.1.1. Tuz Hidratlar	58
2.4.3.1.2. Parafinler	61
2.4.4. Gizli Isı Depolama Sistemlerinin Etkinliği	63
3. MATERYAL VE YÖNTEM	65
3.1. Sistem Tasarım Değişkenleri Seçimi	66
3.1.1. Sera Isı Kaybının Hesaplanması	66
3.2. Isı Pompası Tasarımı.....	71
3.3. Toprak Isı Değiştiricisinde Suya Aktarılan Isı Miktarının Hesaplanması	75
3.4. Toprak Isı Değiştiricisi Boru Boyunun Hesaplanması	78
3.5. Güneşten Elde Edilen Faydalı Isının Hesaplanması	83
3.6. Sistemde Termal Enerji Deposu Kullanılması.....	86
3.6.1. Faz Değişim Malzemesinin ve Termal Enerji Deposunun Hacminin Hesaplanması	87
4. BULGULAR.....	88
4.1. Saatlik Olarak Hesaplanan Değerler	88
4.2. EKONOMİK ANALİZ	95
4.2.1. Sistem Yatırım Maliyeti	95
4.2.2. Yer Isı Değiştiricisi Boru Maliyeti.....	95
4.2.3. Yer Isı Değiştiricisi Hafriyat Maliyeti	96
4.2.4. Termal Enerji Deposu Yatırım Maliyeti	98
4.2.4.1. Faz Değişim Malzemesi Maliyeti	98
4.2.5. Güneş Kollektörü Yatırım Maliyeti	98
4.2.6. Isı Pompası Yatırım Maliyeti	99
4.2.7. Toplam Yatırım Maliyeti	99
4.2.8. Isı Pompası İşletme Maliyetinin Bugünkü Değer Teoremi ile Hesaplanması	99
4.2.9. Sistem Maliyetinin Konvansiyonel Sistemlerle Kıyaslanması	101
4.2.10. Sistem - Fuel oil - Kömür Kazanı Maliyetlerinin Hesaplanması.....	103
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	110
KAYNAKLAR	112
EKLER.....	115
ÖZGEÇMİŞ	128

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
ω	Açısal hız (rad)
h_1	Buharlaştırıcı çıkışındaki özgül entalpi (kJ/kg)
Q_{depo}	Depo enerjisi (kWh)
W_k	Gerçek kompresör işi (kWh)
β	Eğim açısı (°)
R_b	Geometrik faktör
t^*	Periyot başlangıcından itibaren süre(gün)
I_{bT}	Eğik yüzeye düşen anlık direkt ışıınım (kWh/m ²)
I_b	Yatay yüzeye düşen anlık direkt ışıınım (kWh/m ²)
$\ln p$	Logaritmik basınç (Pa)
h	Özgül entalpi (kJ/kg)
s_1	Kompresör girişindeki özgül entropi (kJ/kg/K)
s_{2s}	Kompresör çıkışındaki özgül entropi (kJ/kg/K)
W_{ki}	İdeal ısı pompası kompresör işi (kWh)
W_k	Gerçek kompresör işi (kWh)
GS	Güneş saati (°)
η_k	Kompresör iç verimi
h_2	Kompresör çıkışında özgül entalpi (kJ/kg)
θ	Güneş geliş açısı (°)
$\dot{m}_s$	Soğutucu akışkan debisi (kg/s)
h_3	Yoğuşturucu çıkışındaki özgül entalpi (kJ/kg)
Q_y	Yoğuşturucudan atılan ısı (kWh)
γ	Yüzey azimut açısı (°)
Q_b	Buharlaştırıcıya verilen ısı (kWh)
W_k	Kompresörün yaptığı iş miktarı (kWh)
η_{Mk}	Mekanik verim
θ_z	Zenit açısı (°)
η_{EM}	Kayış kasnak verimi
η_{KK}	Elektrik motor verimi
T_s	Sabit yüzey sıcaklığı (°C)
T_m	Yıllık ortalama toprak sıcaklığı (°C)
T_o	Toprak sıcaklık değişiminin genliği (°C)
$\emptyset$	Enlem açısı (°)
t	Zaman (h)
a_t	Isıl yayılım katsayısı (ısıl difüzivite) (m ² /gün)
P	Periyot (gün)
x	Toprak derinliği (cm)
k_t	Toprak ısı iletim katsayısı (W/m°C)
Q_t	Topraktan suya gecen ısı miktarı (kWh)
n	Modül sayısı (adet)
m	Bir modüldeki su debisi (kg/s)
c_p	Özgül ısı (J/kg°C)

T_{s1}	Suyun toprak ısı değiştiricisine giriş sıcaklığı (°C)
L	Toprak ısı değiştiricisi modül boru boyu (m)
$F(z)$	İntegral işlemi sonucu yerine kullanılan değer
ρ_s	Suyun yoğunluğu (kg/m ³)
δ	Deklinasyon açısı (°)
u	Modül boru su akış hızı (m/s)
A_{mb}	Modül boru akış kesit alanı (m ²)
d_i	Modül boru iç çapı (m)
r	Boru yarıçapı (m)
A_1	Sera yanal alanı (m ²)
A_2	Sera çatı alanı (m ²)
ω	Saat açısı (°)
R_1	Yanal alan malzemesinin ısı direnci (m ² K/W)
R_2	Çatı alanı malzemesinin ısı direnci (m ² K/W)
T_i	Minimum sera iç sıcaklık değeri (°C)
T_d	Dış hava sıcaklık değeri (°C)
f_w	Rüzgar faktörü
f_c	Yapı faktörü
f_s	Sistem faktörü
Q_s	Sera ısı kaybı (kWh)
h_4	Buharlaştırıcı girişindeki soğutucu akışkan entalpisi(kj/kg)
T_{top}	Toprak sıcaklığı (°C)
L	Toprak ısı değiştiricisi modül boru boyu (m)
L_1	kW başına gerekli olan boru uzunluğu (m/kW)
COP_1	Isı pompası ısıtma tesir (performans) katsayısı
R_t	Toprak direnci (m ² K/W)
R_b	Boru direnci (m ² K/W)
T_d	En düşük toprak sıcaklığı (°C)
T_{min}	Isı değiştiricisine giren minimum su sıcaklığı (°C)
F_i	Isıtma çalışma faktörü
r	Modül boru dış çapı (m)
Q_t	Topraktan elde edilen ısı (kWh)
η_{kol}	Kollektör verimi
η_m	Kollektör dışındaki sistem verimi
Q_{fay}	Faydalı ısı (kWh)
H_{FDM}	Faz değişim malzemesinin gizli ısı enerjisi (kj/kg)
m_{FDM}	Faz değişim malzeme kütlesi (kg)
V_d	Termal depo hacmi(m ³)
ρ_{FDM}	Faz değişim malzemesi yoğunluğu (kg/m ³)
A_c	Kollektör yüzey alanı (m ²)
Q_{dk}	Depodan kullanılan ısı miktarı (kWh)
C_{sistem}	Sistemin toplam işletme ve yatırım maliyeti (TL)
C_y	Sistemin toplam yatırım maliyeti (TL)
M_{yak}	Kullanılan yakıt miktarı (kg/h)
η_{ka}	Kazan verimi
D	Yakıt alt ısı değeri(kcal/kg)

Kısaltmalar**Açıklama**

COP	Coefficient of Performance (Etkinlik Katsayısı)
DMİGM	Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü
EİE	Elektrik İşleri Etüt İdaresi
FDM	Faz Değişim Malzemeleri
SASA	Sürekli Akış Sürekli Açık Sistem
TEP	Ton Eşdeğer Petrol
TKIP	Toprak Kaynaklı Isı Pompası
YASIP	Yer Altı Suyu Isı Pompaları
YSIP	Yüzey Suları Isı Pompaları



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1.	Birim alana düşen yıllık güneş ışınlamı değerleri	10
Şekil 2.2.	Eğik düzleme gelen güneş açıları	13
Şekil 2.3.	Isı pompasının termodinamik modeli	15
Şekil 2.4.	Carnot çevrimi	16
Şekil 2.5.	Buhar sıkıştırırmalı çevrim.....	20
Şekil 2.6.	ln P-h diyagramı.....	21
Şekil 2.7.	Gerçek soğutma çevrimi	22
Şekil 2.8.	Hava-hava kaynaklı ısı pompası	25
Şekil 2.9.	Hava-Su kaynaklı ısı pompası	26
Şekil 2.10.	Su-Su kaynaklı ısı pompası.....	26
Şekil 2.11.	İkili alternatif çalışan ısıtma sistemleri	28
Şekil 2.12.	Açık sistem toprak kaynaklı ısı pompası	30
Şekil 2.13.	Kapalı sistem toprak kaynaklı ısı pompası tipleri.....	31
Şekil 2.14.	Dikey toprak serpantinli ısı	32
Şekil 2.15.	Dikey toprak ısı değiştiricilerinin paralel ve seri bağlanması.....	33
Şekil 2.16.	Tek borulu yatay TSIP sistemi.....	33
Şekil 2.17.	Yatay borulu TSIP sistemi	34
Şekil 2.18.	4 yatay borulu TSIP sistemi	34
Şekil 2.19.	Slinky tipi yatay TSIP sistemi.....	35
Şekil 2.20.	Yatay TSIP sistemlerinin paralel ve seri bağlanması	35
Şekil 2.21.	Bir boyutlu ısı iletimi	37
Şekil 2.22.	Matematiksel olarak öngörülen toprak sıcaklığı değişimi	40
Şekil 2.23.	Sera sistemleri	45
Şekil 2.24.	Serada yetiştiricilik	46
Şekil 2.25.	Toprak altında FDM ile enerji depolayan sistemler	49
Şekil 2.26.	FDM'nin dönüşüm evreleri.....	50
Şekil 3.1.	Güneş enerjisi destekli toprak kaynaklı ısı pompası sistem şeması.....	67
Şekil 3.2.	Çalışma yapılan seranın 3 boyutlu görünümü	68
Şekil 3.3.	Saatlik sera ısı kaybı	72
Şekil 3.4.	Isıl enerji depo kaynaklı ısı pompası çalışma ilkesi P-h ve T-s diyagramları	72
Şekil 3.5.	Computer-aided thermodynamic tables -3 programının arayüzü	73
Şekil 3.6.	Aylık COP değerleri	76
Şekil 3.7.	Bursa-Merkez yüzeydeki ortalama toprak sıcaklığı	78
Şekil 3.8.	1 metre derinlik için hesaplanan günlük toprak sıcaklığı	84
Şekil 3.9.	Yatay düzleme gelen güneş ışınlamı şiddeti değerleri	84
Şekil 3.10.	Eğik düzleme gelen anlık toplam ışınlam şiddeti	85
Şekil 3.11.	Güneş kolektörlerinden suya geçen faydalı ısı değerleri	87
Şekil 4.1.	Hafriyat boyutları.....	98
Şekil 4.2.	Sistemin konvansiyonel sistemlerle maliyetinin kıyaslanması	110

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1.	Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli.....	10
Çizelge 2.2.	Farklı ısı kaynaklarının karşılaştırılması.....	19
Çizelge 2.3.	Seralarda FDM kullanılarak depolanan gizli ısıyla yapılan ısıtma uygulamalarına ilişkin bazı araştırmalar	51
Çizelge 2.4.	Güneşle ortam ısıtma ve sıcak su üretimi uygulamaları için farklı depolama tekniklerinin karşılaştırılması	53
Çizelge 2.5.	Faz değişim malzemelerinin sınıflandırılması	57
Çizelge 2.6.	FDM seçiminde dikkate alınan değişik ölçütler	58
Çizelge 2.7.	İnorganik tuz hidratları ve fiziksel özellikleri.....	60
Çizelge 2.8.	Teknik saflıktaki bazı parafin mumlarının termofiziksel özellikleri	64
Çizelge 2.9.	Gizli ısı depolama sistemlerinin etkinliği ve tasarım etmenleri.....	65
Çizelge 3.1.	Rüzgar faktörü	69
Çizelge 3.2.	Yapı faktörü	69
Çizelge 3.3.	Sistem faktörü	70
Çizelge 3.4.	Sera yapı malzemelerinin ısı dirençleri	70
Çizelge 3.5.	Bazı bitkilerin yetiştirme devrelerinde istedikleri optimum sıcaklıklar	71
Çizelge 3.6.	Aylık ortalama toprak sıcaklıklarına göre kabul edilen buharlaştırıcı sıcaklıkları	74
Çizelge 3.7.	Buharlaştırıcı sıcaklıklarına göre hesaplanan COP değerleri	75
Çizelge 3.8.	Bursa Merkezde son 20 yıla ait çeşitli derinliklerdeki ortalama toprak sıcaklıkları	77
Çizelge 3.9.	Değişik toprak tiplerinin ısı özellikleri	78
Çizelge 3.10.	Farklı tipteki toprak için ısı dirençler	80
Çizelge 3.11.	Boru direnci	80
Çizelge 3.12.	Boru anma çapları ve iç çapları	82
Çizelge 3.13.	Çeşitli seçici yüzeyli kollektörlerin mevsimlere bağlı olarak verim değerleri.....	86
Çizelge 4.1.	Saatlik olarak hesaplanan değerler için örnek gösterim	89
Çizelge 4.2.	Ekim ayına ait günlük değerler	90
Çizelge 4.3.	Kasım ayına ait günlük değerler	91
Çizelge 4.4.	Aralık ayına ait günlük değerler.....	92
Çizelge 4.5.	Ocak ayına ait günlük değerler	93
Çizelge 4.6.	Şubat ayına ait günlük değerler.....	94
Çizelge 4.7.	Mart ayına ait günlük değerler	95
Çizelge 4.8.	6 atü PE boru birim fiyatları	97
Çizelge 4.9.	Kazanın ve kazanlı sistemin diğer komponentlerinin maliyeti.....	102
Çizelge 4.10.	Konvansiyonel sera ısıtma sisteminde kullanılan yakıtlara ait bilgiler	103
Çizelge 4.11.	Kurulan sistem ve konvansiyonel ısıtma sistemlerinin işletme ve toplam maliyetleri	105
Çizelge 4.11.	Kurulan sistem ve konvansiyonel ısıtma sistemlerinin işletme ve toplam maliyetleri (devam)	106
Çizelge 4.11.	Kurulan sistem ve konvansiyonel ısıtma sistemlerinin işletme ve toplam maliyetleri (devam)	107

Çizelge 4.11. Kurulan sistem ve konvansiyonel ısıtma sistemlerinin işletme ve toplam maliyetleri (devam)	108
Çizelge 4.11. Kurulan sistem ve konvansiyonel ısıtma sistemlerinin işletme ve toplam maliyetleri (devam)	109



1.GİRİŞ

Enerji, geçmişten günümüze insanoğlu için önemini korumuştur. Fosil kökenli yakıt rezervleri için öngörülen sürelerin azaldığı, yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının önem kazandığı günümüzde, insanoğlu artık enerji ihtiyaçlarını karşılamak üzere ısı pompaları, güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, jeotermal enerji, dalga enerjisi gibi farklı kaynaklardan yararlanma yoluna gitmiştir. Bunlar içerisinde yer alan ısı pompası sistemleri, yenilenebilir enerji kaynağı olarak toprak, hava, su ve güneşi kullanabilmekte, ısıtma ve soğutma sistemlerinde uygulama ve kullanımı giderek artmaktadır.

Çevre dostu olarak görülen ve son yıllarda yaygınlaşmaya başlayan ısı pompası sistemleri de başka bir çözüm yöntemi olarak enerji gereksinimine ışık tutmaktadır. Teorikte ısı enerjisini düşük sıcaklıktaki ısı kaynağından alıp, yardımcı ekipmanlar vasıtası ile yüksek sıcaklıktaki mahale sevk eden sistemler olan ısı pompaları kaynak olarak toprak, su veya havayı kullanmaktadır.

Birçok sahada kullanım imkânına sahip olan ısı pompalarının temel prensibi aslında bir soğutma çevrimidir ve bu prensip Nicolas Leonard Sadi Carnot tarafından 1824 yılında ortaya atılmıştır. 1850 yılında Lord Kelvin 'in soğutma cihazlarının, ısıtma maksadı ile kullanılabileceğini ileri sürmesiyle ısı pompası uygulamaya girmiştir. II. Dünya Savaşı'ndan önce ısı pompasının geliştirilmesi ve kullanılır hale getirilmesi için birçok mühendis ve bilim adamı bu alanda araştırmalar ve çalışmalar yapmıştır. Savaş yıllarında endüstri, imkânlarını daha acil problemlere yönelttiği için bu çalışmalara ara verilmiştir. Savaştan sonra çalışmalara tekrar başlanılmıştır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılabilirliği için yapılmış olan çalışmalar seracılık alanında da gelişmelere yol açmıştır. Öncelikle ucuz ve kolay bulunabilir olmaları seracılık açısından oldukça önemlidir. Seracılıkta kullanılan sera ısıtması, ürün hâsılâtının yanı sıra ürün kalitesi ve yetiştirme zamanı üzerinde büyük etkiye sahiptir. Özellikle iklimin soğuk geçtiği bölgelerde ürün yetiştirmek için sınırlı süre olması sebebiyle seraları ısıtmak daha fazla önem arz etmektedir. Çiftçiler açısından ürün yetiştirmek için gerekli olan fidelerin erken zamanda tedarik edilmesi ürünlerin

hâsılâtının erken yapılması anlamına gelmesi sebebiyle elde edilen maddi kazanç açısından da oldukça önemli bir avantajdır. Çünkü erken yapılabilen hâsılat yüksek maddi kazanç sağlamaktadır. Dolayısıyla ısıtmada kullanılabilen yenilenebilir enerji kaynakları artık seracılık açısından da önemli bir yer teşkil etmektedir.

Elde edilen enerjini depolanması ve gerektiğinde kullanılması da üzerinde çalışmalar yapılan başka bir konudur. Isı depolama kapasitesinin daha büyük olması nedeniyle gizli ısı depolama yapan sistemler daha fazla tercih edilmektedir ve bunlarında başında faz değişim malzemeleri (FDM) gelmektedir.

Faz değişim malzemeleri termal enerjiyi gizli ısı şeklinde depolayan maddelerdir. Maddelerin üç temel fazı, katı, sıvı ve gaz (buhar) halidir. Bunların yanında amorf ve plazma halleri gibi haller de faz olarak kabul edilir. Faz termodinamikte heterojen bir karışımdan mekanik yolla ayrılabilen, kimyasal ve fiziksel bakımdan homojen madde olarak açıklanır. Eğer katı bir cismin sıcaklığı, ısı verilerek arttırılırsa, sıcaklık belirli bir değere geldiğinde katı cisim sıvı hale geçecektir. Katı cismin tamamı sıvı hale geçinceye kadar sıcaklık sabit kalacaktır. Bundan sonra da ısıtmaya devam edilirse, zamanla sıcaklık yine yükselir. Ancak belirli bir sıcaklığa erişildiğinde, sıcaklığın yükselmesi durarak, buharlaşma başlar. Maddenin katı halden sıvı veya gaz haline geçiş olayına "faz değişimi" ismi verilir (Özonur 2004).

Seraların birincil derecede gereksinimi olan optimum sera iç sıcaklığı, yetiştirilmesi istenen ürünün verimi açısından büyük önem teşkil etmektedir. Bu ihtiyacın giderilmesi için sene içindeki dış sıcaklık değerlerinin iyi analiz edilmesi ve buna göre hesaplamalar yapmak gerekmektedir.

Yapmış olduğumuz çalışmada 40 m² taban alanına sahip bir seranın ısıl ihtiyacı, güneş enerjisi ve toprak kaynaklı ısı pompası ile karşılanmaya çalışılmış olup, ortaya çıkan maliyetlerin konvansiyonel ısıtma sistem maliyetleriyle (motorin,fuel oil ve kömür kazanıyla) kıyaslanması yapılmıştır. Sistemde ayrıca faz değişim malzemeleriyle doldurulmuş ısıl enerji deposu kullanılmakta böylece gündüzlerin güneş enerjisinin fazla olduğu durumlarda, kazanılan fazla enerji ısıl enerji deposunda depolanmakta,

geceleyin ise depolanan bu enerji seranın ısıtılması için kullanılmaktadır. Güneş enerjisinin yetersiz kaldığı durumlarda ise toprak kaynaklı ısı pompası devreye girerek, seranın ısı ihtiyacı karşılanmaktadır. Isıl enerji deposunda faz değişim malzemesi olarak gizli ısı depolama kapasitesinin fazla oluşu ve düşük sıcaklıklarda erime özelliği nedeniyle $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (kalsiyum klorür hekzahidrat) seçilip kullanılmıştır.



2. KAYNAK ÖZETLERİ (GENEL BİLGİLER)

Givoni (1977), güneş enerjisinin yeraltında mevsimlik depolanmasının önemini ortaya koyarak 150 x 150 m' lik bir yalıtım tabakası ile kaplanan 100 x 100 m² alan ve 20 m kalınlıktaki toprağı yeraltı ısı deposu olarak incelemiştir. Toprağın ısı iletkenliği 2 W/mK, depo ile etrafındaki ortam arasındaki sıcaklık farkı 50 °C olarak tahmin edildiğinde, aşağıya doğru yanal yüzeylerden kaybolan yıllık ısı miktarının 5.000.000 MJ olduğu hesaplanmıştır.

Kern ve Aldrich (1979), 36 m² taban alanına sahip bir serada kalsiyum klorür heksahidrat(CaCl₂.6H₂O)'ı faz değiştiren madde(FDM) olarak kullanmışlardır. Tasarladıkları sistemde biri sera içinde diğeri sera dışında olacak şekilde iki enerji depolama ünitesinden oluşturmuştur. Bu sistemde toplam 1650 kg kalsiyum klorür heksahidrat silindirik kaplara yerleştirilerek kullanılmıştır. Araştırma sonucunda dış ünite de depolanan enerjiyi 105,5 - 158,25 MJ, iç ünite de depolanan enerjiyi 21,1-31,65 MJ arasında olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Takakura ve Nishina (1981), taban alanı 7,2 m² olan üç tip enerji depolama ünitesi geliştirmişlerdir. Faz değiştiren madde olarak CaCl₂.6H₂O'ın kullanıldığı bu çalışmada, depolama üniteleri sırasıyla kutu tipi, kollektör depo tipi ve aktif kollektör tipi olarak adlandırılmıştır. Kullanılan sistemlerden birinci sistem en ucuz, üçüncü sistem ise en pahalı sistem olarak tasarlanmış ve tip 2'de 56 kg, tip 3'te 300 kg CaCl₂.6H₂O kullanılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda tip 2 sisteminde enerji depolama verimi %27 ve tip 3 sisteminde enerji depolama verimi % 59 olarak belirlenmiştir

Takakura ve Nishina (1984), yılında Japonya'da yaptığı bir çalışmada, termal enerji depolama yöntemiyle seranın ısıtılması için FDM olarak 173,4 kJ/kg erime gizli ısısına sahip 2500 kg Na₂SO₄.10H₂O kullanmışlardır. Çalışma sonucunda 8 °C olarak hedeflenen sera iç sıcaklığına ulaşmayı başarmışlardır.

Catan ve Baxter (1985), yapmış oldukları çalışmalarda kuzey iklim uygulamalarında TKIP'in ekonomik açıdan optimum analizini incelemiştir. Pittsburgh'da bulunan 167 m²'lik bir ev için, yatay tip toprak ısı değiştirgeci olan su kaynaklı ısı pompasının

yapım-kullanım maliyetini 7 yıllık ekonomik ömür için minimize etmişlerdir. Geleneksel hava kaynaklı ısı pompası sistemlerine göre, optimize edilen ısı pompasının geri ödeme süresi 3 yılın altında bulunmuştur.

Ataman (1991), yüksek lisans tez çalışmasında, Göztepe'de inşa edilen bir konutun toprak kaynaklı ısı pompası ile ısıtılmasını ele almıştır. Konutun ısı kaybını, derece-gün metoduyla hesaplayarak uygun ısı pompası seçimi yapmıştır. Seçilen bu ısı pompasının çalışma şartlarına uygun olarak, toprak ısı değiştiricilerinin boyutlandırılmasını da yapmıştır. Yapmış olduğu çalışma sonucunda, topraktan çekilen aylık net ısıyı Şubat ayı için 2031,4 kwh, Mart ayı için 2145,8 kwh ve Nisan ayı için 1767,5 kwh olarak bulmuştur.

Miles (1994), “Heat Pumps: Theory and Service” adlı kitabında toprak kaynaklı ısı pompalarına geniş yer vermiştir. Bu kitapta toprak direnci ve boru direnci değerleri bir tablo halinde verilmiş olup toprak ısı değiştiricisinin boru boyunun hesaplanmasında metodoloji geliştirmiştir.

Diz (2001), İstanbul Göztepe’de bir binanın ısıtma ve soğutma ihtiyacını karşılamak üzere yapmış olduğu çalışmada, 1 m derinlikteki toprak sıcaklığını geliştirdiği denklem ile hesaplamış ve Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğüne ölçülen toprak sıcaklığı ile kıyaslama yaptığında, ± 1 °C hata payı olduğunu bulmuştur. Isı pompasının çalışma süresini BIN yöntemine göre hesaplamış ve ısıtma sezonunda sistemin 80 gün, soğutma sezonunda ise 38 gün çalıştığını belirlemiştir.

Niğdelioğlu (2006), Kütahya’da deneysel yöntemle yapmış olduğu çalışmada, toprak kaynaklı ısı pompasının Kütahya’da kullanılabilirliğinin araştırmıştır. Bunun için slinky tipi serpantinli toprak ısı değiştirgecini 1m derinliğe yerleştirmiştir. Sistemin ortalama COP değerinin 3,41 olarak bulmuştur.

Tokgöz (2006), İstanbul Göztepe’de boyutları belirli bir sera için, yenilebilir enerji kaynaklarının kullanılması ve bunun serada uygulanması durumunda ortaya çıkabilecek maliyetleri hesaplayıp, aynı seranın fuel-oil yakıtlı kazan kullanılması durumunda

sistemin kendisini amorti etme süresini hesaplamıştır. Yapmış olduğu çalışma sonucunda sistemin geri ödeme süresini 59 ay olarak bulmuştur.

Siyahhan (2009), güneş enerjisi kaynaklı ısı pompası destekli ısıtma sistemlerinin termodinamik ve termoeconomik performansını incelemiştir. Güneş enerjisinin sistem tarafından ne kadar etkili kullanıldığını araştırmak için enerji ve ekserji analizleri yapmıştır. Analizde elde edilen denklemleri nümerik yöntemle çözmek için bir bilgisayar programı yazmıştır. Oluşturmuş olduğu sistem elde ettiği sonuçlara göre, yıllık 4457 m³ doğalgaz tasarrufu sağlamakta, bu tasarrufun ekonomik karşılığını ise 1286 €/yıl olduğunu belirtmektedir. Oluşturmuş olduğu sistemin amorti süresini 27 yıl olarak hesaplamıştır.

Sharma (2009), faz değişim malzemelerin gizli ısı depolamada kullanımını araştırmıştır. Yapmış olduğu araştırma neticesinde faz değişim malzemelerin sahip olması gereken özelliklerini, termal, kinetik veya fiziksel, kimyasal ve ekonomik olarak incelenmiş ve sonuçları tablolar halinde belirtmiştir.

Yamankaradeniz ve ark. (2009), yaptıkları çalışmada Türkiye, Bursa'daki kış iklim koşulu için çeşitli sistem parametrelerini göz önüne alarak yatay TKIP performansını değerlendirmişlerdir. 2004 Aralık ayı'ndan 2005 Mart ayı'na kadar mekanların ısıtılmasıyla ilgili olarak laboratuvar koşullarında testler yapılmıştır. Tüm sistemin ve ısı pompası ünitesinin COP sırasıyla 2.46–2.58 ve 4.03–4.18 arasında bulmuşlardır. Ekonomik analizde TKIP sistemi, konvansiyonel ısıtma metotlarıyla karşılaştırılmış ve TKIP sisteminin diğer tüm konvansiyonel ısıtma sistemlerinden daha maliyet etkinliği olduğunu göstermişlerdir.

Özsolak (2011), güneş ve toprak enerjisi kaynaklı ısı pompasının Elazığ şartlarında konut ısıtmada kullanımını araştırmıştır. 12 m² lik deney odasının Elazığ şartlarında güneş ve toprak kaynaklı ısı pompasıyla ısıtılmasını incelemiştir. Kurulan sistemde, yatay ve dikey slinky (spiral) toprak ısı değiştiricisi ayrı ayrı çalıştırıldığı gibi güneşli günlerde yatay slinky toprak ısı değiştiricisiyle güneş, dikey slinky toprak ısı değiştiricisiyle güneş ve sadece güneş kaynaklı olarak da ısı pompası çalıştırmıştır.

Böylece çalıştırılan sistemlerin performansları karşılaştırılarak sistemin enerji ve ekserji analizini yapmıştır. Ekserji analizi hesaplamalarıyla; ısı pompasının ünite bazında 0.1 kg/s debili yatay slinky toprak ısı değiştirgeçli (TID) ısı pompası için ekserji verimi %44.8, 0.1 kg/s debili dikey slinky TID ısı pompası için ekserji verimi %43.3, güneş kaynaklı ısı pompası için ekserji verimi %41.1 iken sistem bazında bu değerler sırasıyla %36.7, %35.4 ve % 36.6 olarak hesaplamıştır.



2.1. Güneş Enerjisi

Dünyaya en yakın yıldız olan güneş, yer kürenin başlıca enerji kaynağıdır. Çapı 1.400.000 km olan yıldızın bu büyüklüğü dünyanın yaklaşık 109 katıdır. Yoğunluğu ise dünyanın $\frac{1}{4}$ ü kadardır. Güneş kendi çevresinde dönüşünü yaklaşık 90 günde tamamlamaktadır. Samanyolu galaksisinde 200 milyar yıldızdan biridir. Yapı olarak bakıldığında güneşin %90'ı hidrojen, %10 u helyumdan oluşmaktadır. Bunun yanında çok az miktarlarda da ağır metaller içermektedir (Yiğit ve Atmaca 2010).

Güneş enerjisi tükenmeyen, bol, temiz ve bedava bir enerji kaynağı olduğundan optimum kullanılmasına yönelik çalışmalar sürmektedir. Toplam enerji rezervi $1,785 \times 10^{47}$ joule 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. Dünyanın tüm yüzeyine bir yıl boyunca gelen güneş enerjisi $0,709 \times 10^{14}$ TEP kadardır. Bu değer dünyanın bilinen petrol rezervinin 716 ve kömür rezervinin 157 katıdır.

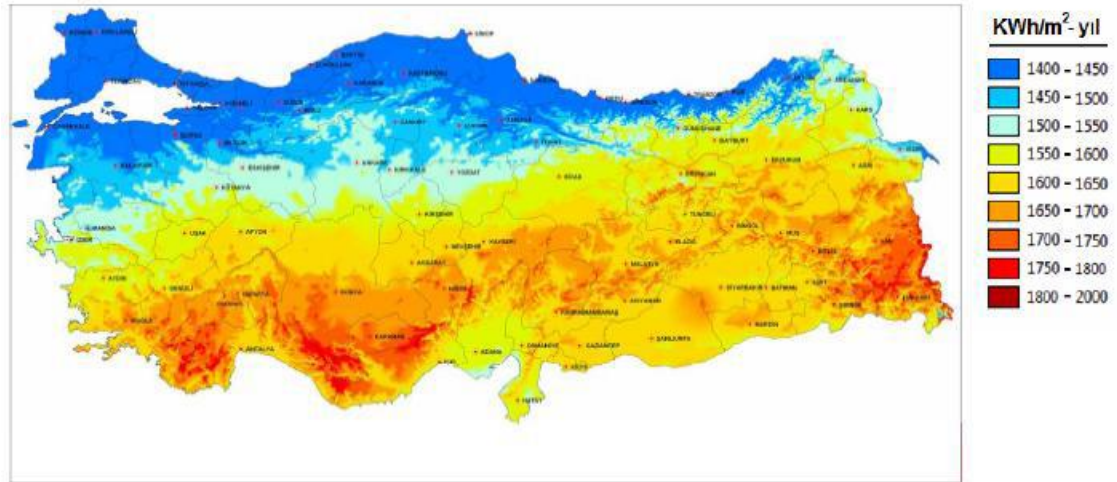
2.1.1. Türkiye’de Güneş Enerjisi

Coğrafi olarak 36 – 42° kuzey enlemleri arasında bulunan ülkemiz, güneş kuşağı bölgesinde yer almaktadır. Güneş kuşağının bu bölümü iyi güneş almakla birlikte mevsim değişikliklerinin alt sınırda az, üst sınırda çok etkili olduğu bir bölgedir. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü’nce (DMİGM) mevcut bulunan ölçülen güneşlenme süresi ve ısıtım şiddeti verilerinden yararlanarak Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) tarafından çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmaya göre Türkiye’nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresinin 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam ısıtım şiddetinin 1311 kWh/m^2 yıl (günlük toplam $3,6 \text{ kWh/m}^2$) olduğu tespit edilmiştir. Aylara göre Türkiye güneş enerji potansiyeli ve güneşlenme süreleri Çizelge 2.1’ de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli

Türkiye'nin Aylık Ortalama Güneş Enerjisi Potansiyeli			
Kaynak: EİE Genel Müdürlüğü			
AYLAR	AYLIK TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ		GÜNEŞLENME SÜRESİ
	(Kcal/cm ² -ay)	(kWh/m ² -ay)	(Saat/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 ² -gün	3,6 kWh/m ² -gün	7,2 saat/gün

Türkiye'nin en fazla güneş enerjisi alan bölgesi Güneydoğu Anadolu Bölgesi olup, bunu Akdeniz Bölgesi izlemektedir. Güneş enerjisi potansiyeli ve birim alana düşen yıllık güneş ışıınımı değerlerinin dağılımı Şekil 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.1. Birim alana düşen yıllık güneş ışıınımı değerleri

Türkiye'nin güneşlenme süresi ve güneş ışıınımı şiddeti değerleri temel alındığında, tüm yüzeyine bir yılda düşen güneş enerjisi 3517×10^{12} kJ olarak hesaplanmıştır. Yani Türkiye'nin bir yılda aldığı güneş enerjisi 80 milyar TEP (ton eşdeğer petrol) tir. 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).

2.1.2. 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 ışıınının bilinmesi gerekmektedir. Yeryüzündeki bir düzlemin konumu güneş açıları ile belirlenmektedir.

2.1.2.1. Deklinasyon Açısı (δ)

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

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

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

olarak ifade etmiştir.

2.1.2.2. Saat Açısı (ω)

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° olduğundan saat açısı;

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

bağıntısı ile hesaplanır (Kılıç ve Öztürk 1983). GS ise güneş saatini ifade eder.

2.1.2.3. Enlem Açısı ($\emptyset$)

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

2.1.2.4. Güneş Geliş Açısı(θ)

Yüzeye gelen direkt güneş ışıınımı ile yüzeyin normali arasındaki açıdır.

2.1.2.5. Zenit Açısı (θ_z)

Yatay yüzey ($\beta = 0$) için tanımlanan güneş geliş açısıdır.

2.1.2.6. Eğim Açısı (β)

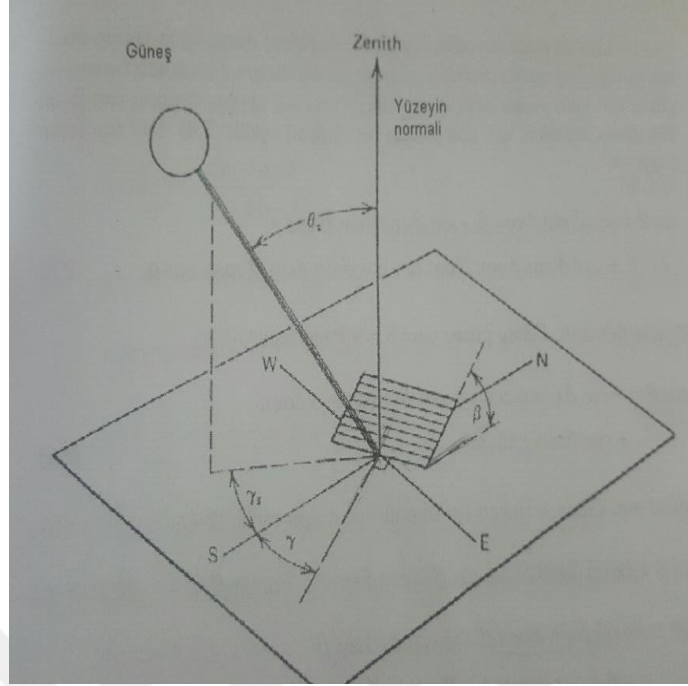
Ele alınan yüzeyin yatay ile yaptığı açıdır. $0 \leq \beta \leq 180^\circ$

2.1.2.7. Yüzey Azimut Açısı (γ)

Tam güneyde sıfır, doğuya doğru negatif, batıya doğru pozitif olmak üzere yüzeyin normalinin yatay düzlemdeki izdüşümü ile güney doğrultusu arasındaki açıdır (Yiğit ve Atmaca 2010).

2.1.2.8. Eğimli Yüzey Açıları

Eğik bir düzlemin konumu yatay düzlemle yaptığı eğim açısı ve azimut açısı ile belirlenir (Kılıç ve Öztürk 1983).



Şekil 2.2. Eğik düzleme gelen güneş açıları

Zenit açısı (θ_z), eğim açısı (β) ve yüzey azimut açısı (γ) Şekil 2.2’de gösterilmiştir. Direkt ışınımın geliş açısı (θ) ise diğer bahsedilen açılar cinsinden şu şekilde verilmiştir (Yiğit ve Atmaca 2010);

$$\begin{aligned} \cos \theta = & \sin \delta \sin \phi \cos \beta - \sin \delta \cos \phi \sin \beta \cos \gamma + \cos \delta \cos \phi \cos \beta \\ & + \cos \omega + \cos \delta \sin \phi \sin \beta \cos \gamma \cos \omega \\ & + \cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin \omega \end{aligned}$$

2.1.2.9. Eğik Düzleme Düşen Güneş Işınımı

Sıklıkla kullanılan belli bir eğimi haiz düz yüzeyli kolektörler hem direkt, hem yayılı hem de yansıyan ışıını yutarlar. Güneş enerjili sistemlerin uygulama alanlarında genellikle eğik yüzeylere ihtiyaç duyulmaktadır. Eğik yüzeye gelen anlık ve günlük ışıının hesabında hemen yukarıda hesap yöntemi verilen yatay yüzeye düşen anlık ve günlük toplam güneş ışıını miktarları ile bunların direkt ve yayılı ışıını kısımlarının miktarlarından yararlanılmaktadır (Yiğit ve Atmaca 2010).

2.1.3. Anlık Işınım Hesabı

Güneş enerjili sistemlerin dizayn ve performans hesaplarını yapabilmek için yatay düzleme düşen güneş ışınımının ölçülmesi veya hesaplanması vasıtasıyla tespit edilebilecek olan eğik yüzeye düşen anlık ışınlm miktarlarının elde edilmesine ihtiyaç duyulur. Genellikle elde edilebilen data yatay yüzeye düşen günlük veya anlık toplam ışınlm miktarlarıdır. Halbuki eğik yüzeye düşen ışınlm miktarlarının belirlenmesinde yatay yüzeye düşen toplam ışınlm miktarının yerine bunun yayılı ve direkt kısımlarına ihtiyaç duyulmaktadır (Yiğit ve Atmaca 2010).

Geometrik faktör R_b eğik yüzeye düşen anlık direkt ışınlımının (I_{bT}), yatay yüzeye düşen anlık direkt ışınlıma (I_b) oranı olarak tanımlanmaktadır ve

$$R_b = \frac{I_{bT}}{I_b} = \frac{\cos\theta}{\cos\theta_z} \quad (2.3)$$

olarak hesaplanabilir.

Kuzey yarımkürede optimum yüzey azimut açısı $\gamma = 0^\circ$ (Güneye dönük yüzey) dir. Güney yarımkürede ise 180° dir. Kuzey yarımküre için güneye dönük yüzey ($\gamma = 0$) için;

$$R_b = \frac{\cos(\phi - \beta)\cos\delta\cos\omega + \sin(\phi - \beta)\sin\delta}{\cos\phi\cos\delta\cos\omega + \sin\phi\sin\delta} \quad (2.4)$$

olarak tespit edilir.

Güney yarımkürede $\gamma = 180^\circ$ için eşitlik

$$R_b = \frac{\cos(\phi + \beta)\cos\delta\cos\omega + \sin(\phi + \beta)\sin\delta}{\cos\phi\cos\delta\cos\omega + \sin\phi\sin\delta} \quad (2.5)$$

şeklindedir.

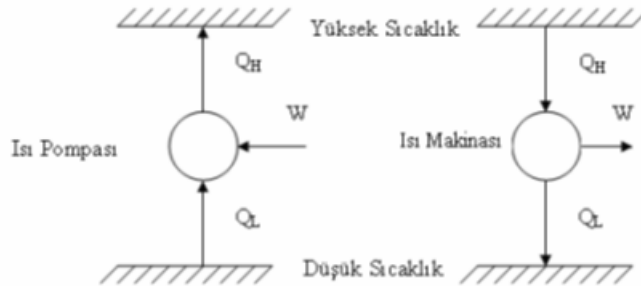
2.2. Isı Pompaları

Isı pompaları ve soğutma sistemlerinin mekanik parçaları aynıdır. Isı pompası ile soğutma sistemlerini ayıran tek fark kullanım amaçlarıdır. Isı pompalarının kullanımındaki amaç, ısıtma aylarında düşük sıcaklıktaki ısı kaynağından ısı çekerek, bu ısıyı yüksek sıcaklıktaki ısı kaynağına ısıtmakta kullanmaktır.

2.2.1. Isı Pompası Teorisi

2.2.1.1. Carnot Çevrimi

1824 yılında bir prosesi tanımlamak için termodinamik çevrimi kullanan ilk kişi Carnot'tur. Isı pompası ısı makinesinin tersi olarak düşünülebilir. Isı makinesi, ısıyı yüksek kaynaktan alır ve daha düşük ısı kaynağına transfer eder ve böylece iş elde eder. Isı pompasının ise, ısıyı düşük kaynaktan alıp yüksek kaynağa transfer edebilmesi için ise ihtiyacı vardır. Isı pompası ve makinesinin termodinamik modeli Şekil 2.3' de gösterilmektedir (Çatan ve Baxter 1985).



Şekil 2.3. Isı pompasının termodinamik modeli

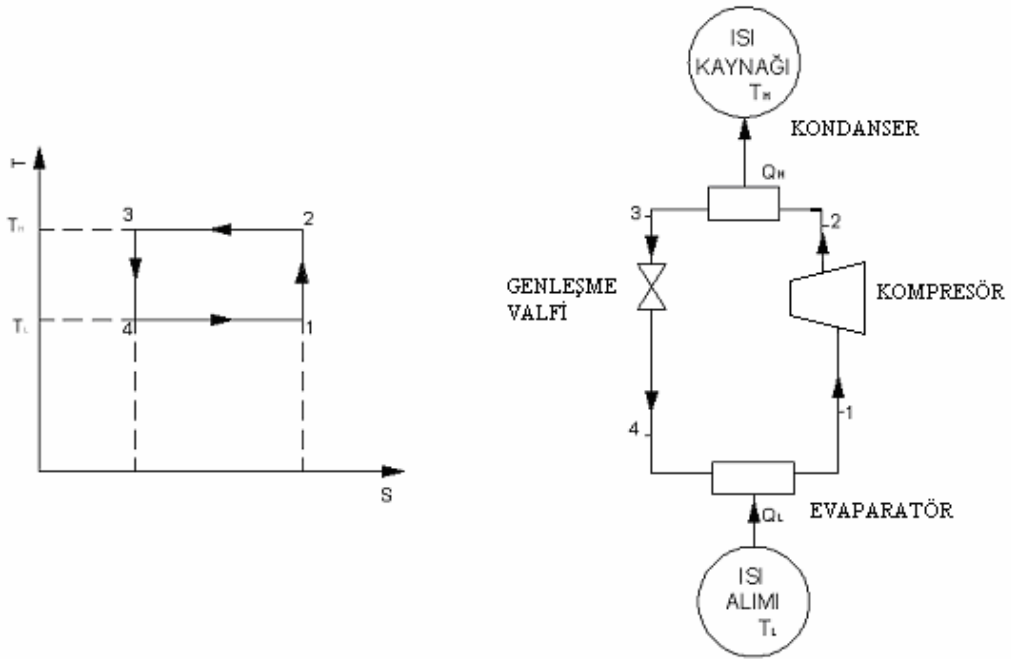
Eğer bu makineler tersinir iseler kolayca görülebileceği gibi, ikisinin de verimliliklerinin sonlu bir limitleri vardır. Aslında Q_H / W oranı her iki durumda da eşittir. Eğer böyle olmasaydı, her ikisini de bir araya getirerek devamlı bir hareket makinası elde edilebilirdi.

Isı makinasında bu oran W / Q_H ' dir ve termal verimlilik diye adlandırılır. Isı pompasında ise Q_H / W olarak yazılır ve performans katsayısı veya COP olarak isimlendirilir (Loomis ve ark. 1985).

Şekil 2.4’ deki Carnot çevrimi iki ısı arasında çalışan basit bir ısı pompasını gösterir. Isı izotermal olarak T_H sıcaklığında dağıtılır ve T_L sıcaklığında izotermal olarak alınır. Genişleme ve kompresyon izantropik olarak yapılır ve kompresör dışardan tahrik edilir. Bu ifadelerden sonra performans katsayısı;

$$\text{COP} = \frac{T_H}{T_H - T_L} \quad (2.6)$$

biçiminde yazılır. Newtonian dünyamızda yapılmış herhangi bir ısı pompasının daha iyi bir performans vermesi mümkün değildir (Niğdelioğlu 2006).



Şekil 2.4. Carnot çevrimi

2.2.1.2. Isı Pompalarının Sınıflandırılması

Isı pompaları 5 ana başlık altında sınıflandırılabilir:

- Kullanılan ısı kaynağına göre
- Termodinamik çevrim veya proses tipine göre
- Isı kaynağı tipine göre
- Isı dağıtım sistemine göre

- İşletme türüne göre (Dursun 2006).

2.2.1.2.1. Kullanılan Isı Kaynaklarına Göre Sınıflandırma

Isının çekildiği ve atıldığı kaynakların aynı sıcaklıkta olmaları halinde, ısı pompası maksimum performansla çalışır. Dolayısıyla mümkün olan en sıcak kaynak, ısı pompası için en uygun kaynaktır. Ancak, kaynak sıcaklığının doğrudan kullanıma imkan vermeyecek bir değerde olması gerekir. Aksi takdirde ısı pompasına gerek duyulmaz. Isı pompalarında hava, su, toprak ve güneş enerjisi olmak üzere başlıca dört kaynaktan yararlanılır. Bunlardan ilk üçü tek başlarına kullanılabilirle beraber, güneş enerjisi genellikle yardımcı kaynak olarak kullanılmaktadır (Ataman 1991). Çizelge 2.2 'de farklı ısı kaynaklarının karşılaştırılması görülmektedir.

Hava

Hava, ısı pompası için ucuz, bol ve her yerde bulunabilen bir ısı kaynağıdır. Bu sebeple tüm ülkelerde kullanılır. Hava kaynaklı ısı pompalarının en büyük avantajları, sürekli bulunabilmesinden başka, geniş bir uygulama alanının bulunması; kullanılan ekipmanların makul boyutlarda olması ve nispeten düşük işletme ve yatırım maliyetleri gerektirmeleridir. Ayrıca kompakt halde çok geniş çalışma şartlarına uygun olarak, nispeten ucuza üretimleri yapılabilir. Hava kaynaklı ısı pompalarının iki büyük dezavantajı vardır:

- 1) Hava sıcaklığının çok değişken olması
- 2) Buzlanma problemi

Isı ihtiyacımızın yüksek olduğu anlarda kaynak yani hava sıcaklığı düşüktür. Soğutma yükünün fazla olduğu zaman da, hava sıcaklığı yüksektir. Bu da, ısı pompasının ısıtma ve soğutma kapasitelerinin düşmesine neden olur. Bu durumda ya cihaz minimum ve maksimum sıcaklıklardaki kapasiteleri karşılayabilecek şekilde seçilir ya da ek bir sisteme ihtiyaç duyulur. Isı kaynağı sıcaklığının çok değişken olması, projelendirmeyi ve ekipman seçimini zorlaştırır (Ataman 1991).

Su

Kuyulardan, göllerden, nehirlerden, denizden, şehir şebekesinden ve üretim tesislerinden elde edilebilen su, ısı kaynağı olarak kullanılabilir. Kuyu suyu, 45-150 metre derinlikte ve kuzey ülkelerinde, yaklaşık 10°C, güney ülkelerinde ise yaklaşık 16°C civarındadır. Yıl boyunca su sıcaklığının fazla değişmemesi büyük bir avantajdır. Göl, nehir ve benzeri yer üstü sularında ise, sıcaklık, yıl boyunca kuyu sularına göre daha fazla değişmekle beraber; değişim havada olduğu kadar değildir. Ülkemizde yer üstü sularının genellikle 0°C'nin altına düşmemesi de ayrıca bir avantajdır (Ataman 1991).

Toprak

Isı kaynağı olarak toprağın kullanılması, diğer sistemlere göre daha pahalıdır. Toprak kaynaklı ısı pompaları, buharlaştırıcısında topraktan çekilen ısıyı kullanan ısı pompalarıdır. Toprakla olan ısı alışverişi, toprağa yatay veya dikey olarak gömülmüş toprak ısı değiştiricileriyle gerçekleştirilir. Toprak altına gömülen borulardan doğrudan soğutucu akışkan veya daha ucuz olması bakımından genellikle salamura geçirilir. Su veya salamura, toprak ısı değiştiricisini oluşturan borulardan geçirilerek elde edilen ısı enerjisi, ısı pompasındaki buharlaştırıcıda soğutucu akışkana aktarılır. Toprak kaynaklı ısı pompalarında her ne kadar ısı kaynağı toprak ise de, ısı topraktan sıvı akışkan vasıtası ile çekildiğinden, kullanılan ısı pompaları su (salamura)/hava, su (salamura)/su ısı pompalarıdır. Toprağın yoğunluğu, bileşimi, içerdiği nem miktarı ve gömme derinliği, toprak ısı değiştiricisinin seçimini ve boyutlandırılmasını etkiler. Toprak özelliklerinin zamana bağlı olarak değişmesi projelendirme de güçlük yaratan sebeplerden birisidir. Aynı şekilde ısı pompası da çalıştırıldığı andan itibaren toprağın özelliklerini etkiler. Soğuk yörelerde, ısıtma yapıldığı süre içerisinde toprağa yeteri kadar ısı girişi olmazsa; kış aylarında topraktan sürekli çekilen ısı nedeniyle, toprağın donması tehlikesi de mevcuttur. Ancak, toprak sıcaklığının havaya göre genellikle daha uygun sıcaklıklarda ve sıcaklık değişiminde bulunması, ayrıca salamura-soğutucu akışkan ısı değiştiricilerinin, hava-soğutucu akışkan ısı değiştiricilerine göre daha az bir sıcaklık farkında çalışabilmeleri, toprak kaynaklı ısı pompalarını, hava kaynaklı ısı pompalarına göre avantajlıdır (Ataman 1991).

Güneş

Isı kaynağı olarak güneş enerjisinden yararlanmanın en büyük avantajı, ısı pompası buharlaştırıcı sıcaklığının yüksek seçilebilmesine imkan vermesidir. Dolayısıyla ısıtma etkinliği yükselmiş olur. Güneş enerjisinden yararlanan ısı pompası sistemleri, daha düşük kolektör sıcaklığında çalıştılarından, kolektör verimi diğer güneş enerjisi sistemlerinde olduğundan yüksektir. Kaynak olarak güneş enerjisinden yararlanıldığında iki temel sistem söz konusudur. Bunlar direkt ve indirekt sistemlerdir. Direkt sistemlerde kolektörler buharlaştırıcı görevi görür. Endirekt sistemlerde ise kolektörden su veya su buharı geçirilerek kaynak olarak bunlardan yararlanır. Ancak, hava kaynağında olduğu gibi, ısı ihtiyacının yüksek olduğu günlerde güneş enerjisi de az olduğundan ek bir ısıtma sistemine gerek vardır (Ataman 1991).

Çizelge 2.2. Farklı ısı kaynaklarının karşılaştırılması

Isı kaynağı	Hava	Şehir suyu	Kuyu suyu	Yüzey suyu	Atık su	Toprak	Güneş enerjisi
Kaynak sınıflandırması	Birincil	Birincil veya yardımcı	Birincil	Birincil	Birincil veya yardımcı	Birincil veya yardımcı	Yardımcı
Isının atılması için uygunluğu	İyi	İyi	İyi	İyi	Kaynağa göre değişmekte	Genellikle zayıf	Isıyı havaya atmada kullanılır
Bulunabilirlik (Yöre)	Üniversal	Şehirler	Belirsiz	Nadir	Sınırlı	Yaygın	Üniversal
Bulunabilirlik (Zaman)	Sürekli	Sürekli	Sürekli	Sürekli	Değişken	Sürekli	Tahmin edilemez
İlk yatırım masrafı	Düşük	Genellikle en düşük	Kuyu açmanın maliyetine göre değişmektedir	Düşük	Düşük	Değişken	Yüksek
İşletme masrafı	İzafi olarak düşük	Yüksek	Düşük-Orta	İzafi olarak düşük	Düşük	İzafi olarak orta	Yardımcı kaynak olarak işletme maliyetlerini düşürür
Sıcaklık seviyesi	Uygun	Genellikle tatmin edici	Tatmin edici	Tatmin edici	Genellikle iyi	Aşırı miktarda ısı çekilmediği sürece iyi	Çok iyi
Sıcaklık değişimi	Aşırı	Yöreye göre değişmektedir	Düşük	Orta	Genellikle orta	Derinliğe göre değişmektedir	Aşırı
Ekipmanların boyutları	Orta	Küçük	Kuyu ekipmanları haricinde düşük	Küçük	Genellikle orta	Toprak ısı değiştiricileri haricinde küçük	Sadece bazı yöreler için elverişli

2.2.1.2.2. Termodinamik Çevirim Tipine Göre Isı Pompaları

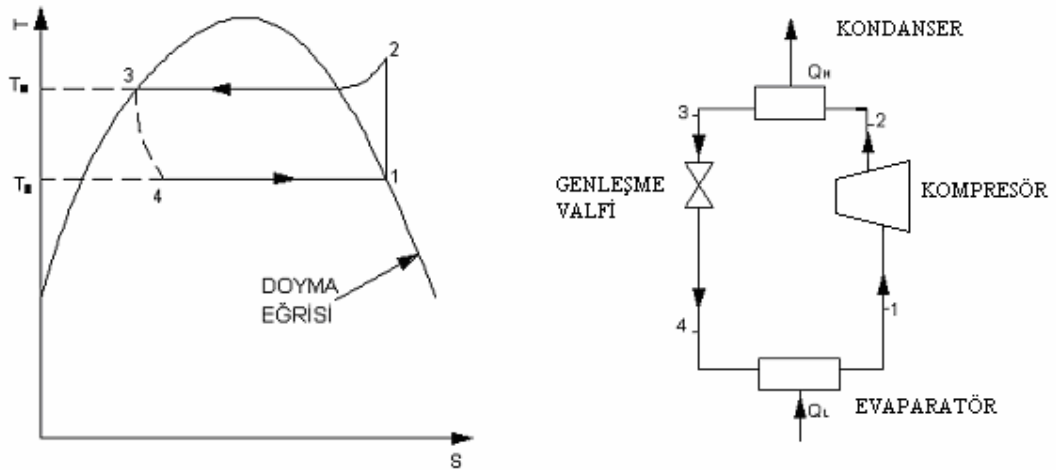
Isının düşük sıcaklıktaki ısı kaynağından yüksek sıcaklıktaki kaynağa aktarılması çeşitli şekillerde gerçekleştirilir. Termodinamik çevrim ve proses tiplerine göre ısı pompaları aşağıdaki gibidir:

- Buhar sıkıştırırmalı ısı pompası
- Absorbsiyonlu ısı pompası

- Gaz çevrimli ısı pompası
- Jet buhar püskürtmeli ısı pompası
- Stirling çevrimli ısı pompası
- Absorbsiyonlu ısı pompası
- Resorbsiyonlu ısı pompası
- Rankine/buhar sıkıştırırmalı ısı pompası
- Termoelektrik ısı pompası

Buhar Sıkıştırırmalı Çevrim

Carnot çevrimine yaklaşmak, daha doğrusu yararlı bir ısı pompası elde edebilmek için, ısı alımını ve dağıtımını büyük bir oranda izotermal şartlar altında yapmak gereklidir. Bundan sonra uygun sıcaklık ve basınçta, faz değiştirecek bir soğutucu akışkan seçmek gerekir. Soğutucu akışkan buharlaşmayla ısıyı alacak, yoğuşmayla çevresine ısı verecektir. Bu bölümler çevrimin izotermal kısımlarını oluşturmaktadır. Kullanılan birçok kompresör tipinin mekanik sınırlamaları yüzünden, çevrimde kompresöre kuru buhar gönderilir. Eğer önlem alınmazsa, kompresöre büyük hacimlerde sıvı girişi kompresörü tamamen bozabilir. Şekil 2.5’de buhar sıkıştırırmalı çevrim gösterilmektedir (Franch ve Berntsson 1985).

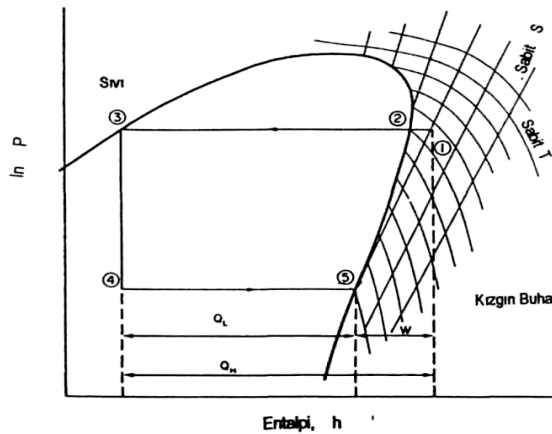


Şekil 2.5. Buhar sıkıştırırmalı çevrim

Kullanılan genleşme vanası dıştan ayarlı değişken bir nozul veya orifis de olabilir ya da

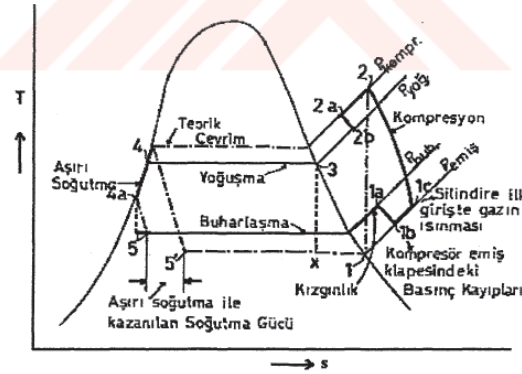
gereken kontrol miktarına göre ayarlanmış kapılarından da oluşabilir. Genişleme makinasının kullanılmaması yüzünden bir miktar iş elde edilemez bu da COP miktarını azaltır. Fakat yapılan araştırmalar bu işi elde etmenin maliyetinin çok olacağını ve makinanın kullanılması sonucu elde edilecek COP değerindeki artışı karşılamayacağını göstermiştir. Kısılma vanası çevrimi " tersinmez" yapar bu yüzden T -S diyagramında kesik çizgi ile gösterilmiştir. Kısılma prosesi adyabatik'tir (Fleming 1998).

Şekil 2.5'de ki çevrimi $\ln P - h$ diyagramına taşırsak; yüksek basınçlı buharın, kompresörü (1) noktasında terk ettiğini görürüz. İzantropik eğriler yüzünden kondenser basıncına ulasan buhar aşırı ısınmış olduğundan (2) noktasında yoğunlaşmaya başlamadan önce sabit basınçta soğutulması gerekir. (2) ve (3) noktaları arasında sabit sıcaklıkta hiç buhar kalmayacak şekilde yoğunlaşma meydana gelir. Adyabatik genişleme diyagramda (3) ve (4) eğrisi ile gösterilir. Genişleme sabit entalpi doğrusu boyunca olmaktadır. Buharlaşma (4) ve (5) doğruları boyunca sabit basınç ve sıcaklıkta meydana gelmektedir. Şekil 2.6 'dan da görüleceği gibi akışkan genişlemenin sonunda iki fazlı akım olarak çıkmaktadır ve buhar olarak çıkan akışkan bizim için kayıp olmaktadır, bazen akışkanın % 50'si buhar olarak çıkabilmektedir. (5) ile (1) noktaları arasında ise izantropik kompresyon meydana gelmektedir. Fakat gerçekte bu elde edilemezken ve ideal çevrim oluşturmaya çalışmamıza rağmen tersinmez genişleme nozulu yüzünden Şekil 2.6'da görüldüğü gibi Carnot çevriminin verimine ulaşamayız.



Şekil 2.6. $\ln P - h$ diyagramı

Gerçek Çevrim



Şekil 2.7. Gerçek soğutma çevrimi (Güven 2002)

Gerçek çevrim ile teorik çevrim arasında farklılıklar vardır. Teorik çevrimde basınç kayıpları, sürtünmeden dolayı meydana gelen kayıplar, mekanik sürtünmeler, sıkıştırma işleminde meydana gelen kayıpların dikkate alınmaması sistemin performansında düşüslere neden olur.

Buharlaştırıcı çıkışında işlemin tam olarak yapılması ve kompresöre sıvı girmesinin engellenmesi gereklidir. Çünkü kompresöre sıvı girişi olursa sistemde bozulmalar meydana gelir ve hasar görür.

Buharlaştırıcı ve yoğunlaştırıcıda soğutucu akışkanın hareketi esnasında sürtünmelerden dolayı kayıplar oluşur. Soğutucu akışkanı taşıyan gaz şebekesindeki basınç düşmeleri ve düşey yükselmelerde statik basınç farkları oluşur.

Yukarıda saydığımız kayıplar dolayısıyla teorik çevrim ile gerçek çevrim arasında farklılıklar oluşur, bu durum Şekil 2.7’de gösterilmiştir.

Buhar Sıkıştırılmalı Isı Pompası Çevrim Hesapları

İdeal buhar sıkıştırılmalı ısı pompası çevrim hesapları aynı soğutma çevrim hesapları gibi yapılır. Bir ısı pompası sisteminde, sistemi oluşturan her bir eleman açık sistem olarak (SASA) incelenmektedir.

İdeal ısı pompası çevriminde, s_1 kompresör girişindeki özgül entropi, s_{2s} ise kompresör çıkışındaki özgül entropi olmak üzere, termodinamiğin ikinci kanununa göre,

$$s_1 = s_{2s} \quad (2.7)$$

yazılabilir.

İdeal ısı pompası kompresör işi W_{ki} , gerçek kompresör işi W_k olmak üzere, kompresör iç verimi;

$$\eta_k = \frac{\text{ideal kompresör işi}}{\text{gerçek kompresör işi}} = \frac{w_{ki}}{w_k} = \frac{\dot{m}_s(h_{2s}-h_1)}{\dot{m}_s(h_2-h_1)} \quad (2.8)$$

ile elde edilir.

Gerçek ısı pompası çevriminde, kompresör çıkışında h_2 özgül entalpisi ise

$$h_2 = h_1 + \frac{h_{2s}-h_1}{\eta_{ik}} \quad (2.9)$$

şeklinde ifade edilir. Burada; h_1 kompresör girişindeki özgül entalpi, h_{2s} ise tersinir adyabatik sıkıştırma sonucunda kompresör çıkışındaki özgül entalpidir.

Yoğuşturucudan atılan ısı denklem (2.10) ile bulunur.

$$\dot{Q}_y = \dot{m}_s(h_2 - h_3) \quad (2.10)$$

Burada $\dot{m}_s$ (kg/s) sistemde dolaşan soğutucu akışkan debisidir.

Gerçek ısı pompasında, buharlaştırıcının çektiği ısı da denklem (2.11) ile hesaplanır.

$$\dot{Q}_b = \dot{m}_s(h_1-h_4) \quad (2.11)$$

Kısılma vanası ise;

$$h_4 = h_3 \quad (2.12)$$

şeklinde yazılabilir. Gerçek ısı pompasında, kompresöre verilen iş,

$$W_k = \frac{\dot{m}soğ (h_{2s}-h_1)}{\eta_K \times \eta_{Mk} \times \eta_{EM} \times \eta_{KK}} \quad (2.13)$$

Burada;

η_K : Kompresör iç verimi

η_{Mk} : Mekanik verim

η_{EM} : Kayış kasnak verimi

η_{KK} : Elektrik motor verimi' dir.

Performans katsayısı ise denklem (2.14) ile bulunur.

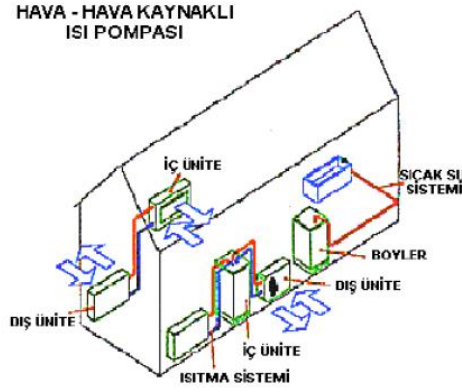
$$COP = \frac{Q_y}{w_k} \quad (2.14)$$

2.2.1.2.3. Isı Kaynağı Tipine Göre Isı Pompaları

Isı pompaları ısı kaynağına bağlı olarak; hava-hava, hava-su, su-hava, su-su olarak sınıflandırılabilir. Birinci eleman daima buharlaştırıcı, ikinci eleman ise kondenser bölgesine aittir. Bu sınıflandırmaya ek olarak ısı pompaları direkt veya dolaylı sisteme sahip olabilirler. Dolaylı sistemde, ısı dış havadan, sudan alınarak bir aracı akışkana aktarılır ve sonra buharlaştırıcıya gönderilir. Direkt sistemde ısı, direkt olarak ısı kaynağından soğutucu akışkana aktarılır ve soğutucu akışkandan da iklimlendirilecek ortama aktarılır (Akbiyık 1999).

Hava - Hava Isı Pompası

Hava-hava ısı pompası, dış havayı ısı kaynağı veya egzost yapılan yer olarak kullanırken kondenserden ısının atılması için de dış hava kullanılır. Bu tip bir ünitenin kapalı bir çevrim oluşturması, basitleştirici bir avantajdır. Ayrıca, kullanılmış suyu atma sorunu, su temini, sulu sistemlerde oluşan tortulanmalar gibi sorunlar da yoktur. Dış hava sıcaklığı, iklimlendirilecek ortam sıcaklığından biraz farklılaşınca bile yine yüksek bir performans katsayısında çalışması mümkündür. Fakat hava içinde çalışan ısı değiştiricileri, su içinde çalışanlara oranla, havanın ısı transfer katsayısının düşük olması nedeniyle, daha büyük olacaktır. Bu nedenle bu tip bir sistem oldukça büyük yer kaplayacaktır.



Şekil 2.8. Hava-hava kaynaklı ısı pompası (Yamankaradeniz 2007)

Su - Hava Isı Pompası

Su - hava ısı pompası, suyu ısı kaynağı, havayı iklimlendirilecek ortama ısıyı iletmek için kullanır. Isı kaynağı olarak su, genelde sabit sıcaklığa sahip bir kuyu, göl, doğa veya diğer kaynaklardan elde edilebilir (Akbıyık 1999).



Şekil 2.9. Hava-Su kaynaklı ısı pompası (Yamankaradeniz 2007).

Su - Su Isı Pompası

Su ısı kaynağı olduğundan, su -hava sistemindeki avantajlara sahiptir. Bu, su temininin yeterli ve uygun olduğu yerlerde sıcak ve soğuk suyun bir arada, endüstriyel bir işlemde gerektiği hallerde ve sıcak sulu ısıtmanın istendiği durumlarda kullanılır. Bu sistem radyatörlü ısıtma sistemlerine de uygulanır (Akbıyık 1999).



Şekil 2.10. Su-Su kaynaklı ısı pompası (Yamankaradeniz 2007).

2.2.1.2.4. Isı Dağıtımına Göre Isı Pompaları

Isı pompaları ısı dağıtım sistemlerine göre hava ısıtmalı ve su ısıtmalı olmak üzere iki gruba ayrılır. Hava ısıtmalı ısı pompaları doğrudan ortam havasını ısıtırlar. Örneğin split klimalar bu gruba girmektedir. Su ısıtmalı ısı pompaları ısınma ve kullanım amaçlı

sıcak su elde edilmesi işleminde kullanılırlar. Bu tip ısı pompalarıyla elde edilen sıcak su, radyatörlü sistemlerde veya döşmeden ısıtma sistemlerinde vb. kullanılmaktadır (Dursun 2006).

2.2.1.2.5. İşletme Şekline Göre Sınıflandırma

Göz önüne alman enerji taşıyıcısının sayısına bağlı olarak ısıtma tekniğinde üç çeşit işletme şeklinden söz edilir.

- Monovalent (tekli) işletme şekli
- Bivalent (ikili) işletme şekli
- Multivalent (çoklu) işletme şekli

Monovalent (Tekli) İşletme Şekli

Isı üreticisinin gerekli tüm ısıyı aynı enerji türü ile karşılanıyor ise bu tür işletmeye monovalent işletme denilir. Burada ısı ihtiyacı, bir veya birden fazla ısı üreticisiyle karşılanabilir.

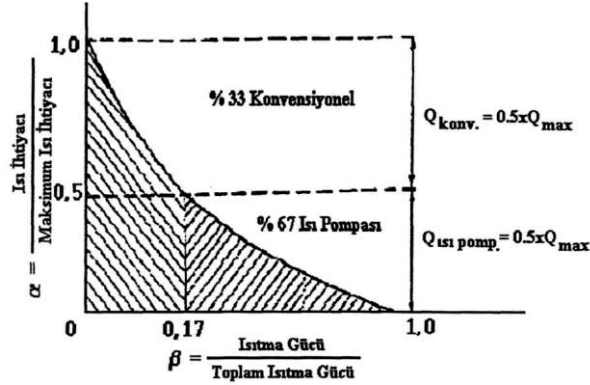
Birçok ısı üreticisinden oluşan ısıtma sistemleri alternatif ve paralel işletme şekline göre de ayrılabilir. Alternatif işletmeden kasıt, gerekli yıllık ısıtma gücü, aynı enerji türünün iki ısı üreticisi tarafından belirli bir dış sıcaklığa göre yedeklenmesidir. Paralel işletmede ise ısı ihtiyacı belirli bir dış sıcaklığın altına kadar her iki ısı üreticisi tarafından müşterek olarak karşılanabilir (Niğdelioğlu 2006).

Bivalent (İkili) İşletme Şekli

Bu işletme seklinde tüm ısı ihtiyacı daima iki ısı üreticisi tarafından karşılanır. Bivalent işletme şekli, alternatif ve paralel olarak sınıflandırılabilir.

Alternatif işletmede belirli bir dış sıcaklığın altındaki sıcaklıklarda ısı üretimi, yalnız yedek ısı üreticisiyle karşılanır. Belirli bir dış sıcaklığın altındaki sıcaklık bivalent sıcaklığı olarak adlandırılır.

Paralel işletmede ise bivalent sıcaklığın altındaki sıcaklıklarda ısı üretimi yedek ısı üreticisiyle tamamlanır. Pratikte en fazla ortaya çıkan ikili işletme şeklinde, yıllık işletme gücünün tamamının karşılanmasında ısı pompası yanında yedek ısı üreticisi olarak bir konvansiyonel ısıtma kazanı kullanılır (Ealv ve Ugursal 1997).



Şekil 2.11. İkili alternatif çalışan ısıtma sistemleri

Şekil 2.11' de, ısı pompası ve konvansiyonel ısı üreticisinden (örneğin, fuel-oil kazanı) oluşan ikili alternatif çalışan işletme şekli için tüm ısı ihtiyacının karşılanmasında her iki ısı üreticisinin payları gösterilmiştir. Isı pompasının ana yükü düştüğü zaman kalan yük yedek ısı üreticisi tarafından karşılanır ve tam gücün %50'sinde projelendirilen ısı pompasının ısıtma gücünde payının %67 olduğu görülmektedir.

Multivalent (Çoklu) İşletme Şekli

Çoklu işletme şeklinde ısı ihtiyacının karşılanması çeşitli enerji taşıyıcılarıyla çalışan ikiden fazla ısı üreticisiyle yapılır. Örneğin; güneş enerjisi ısı deposu, ısı pompası ve ısıtma kazanının kombinasyonu multivalent işletme şekli olarak tanımlanır (Leong ve ark. 1997).

2.2.2.Toprak Kaynaklı Isı Pompaları

Toprak - Su kaynaklı ısı pompası teknolojisi yeryüzünün belirli bir derinliğinde sıcaklığın yıl içinde nispeten sabit kalması gerçeğine dayanır. Bahsedilen derinlikte toprak tabakası kışın yeryüzünün altında veya yer altı sularında depolanmış ısıyı binaya, yazın bina içindeki ısıyı yeraltına taşıyarak doğanın bize verdiği bu avantajı kullanırlar. Kısaca yer altı; kışın bir ısıyı kaynağı olarak davranır. Toprak - Su kaynaklı ısı pompaları günümüzde ısıtma - soğutma ve sıcak kullanım suyu eldesin de

kullanılmaktadırlar. Bu ihtiyaçların tümüne tek makinayla cevap verebildikleri için de tercih sebebi olmuşlardır (Özsolak 2011).

Toprak kaynaklı ısı pompaları, toprağın kullanıldığı sistemlerin, yer sularının ve bir ısı kaynağı olarak yüzey sularının çeşitleri için tümü dahil bir terim olarak kullanılmaktadır. Pazar veya kuruluş ihtiyaçlarının çeşitliliğini karşılaştırmak için kullanılan birçok paralel ifadeler, örneğin jeotermal ısı pompaları (JIP), yer enerji sistemleri ve toprak kaynaklı sistemler bulunmaktadır. Bununla birlikte, ASHRAE (1995), ısı pompalarını standart bir adlandırma şekli olması bakımından üç grupta toplamıştır.

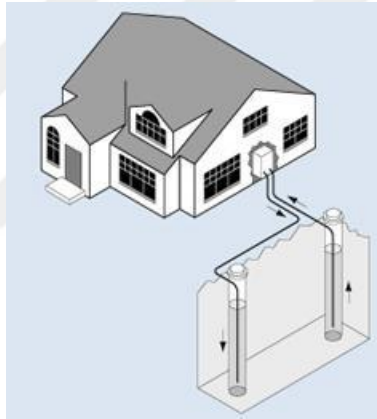
- Kapalı serpantin toprak kaynaklı ısı pompaları (TSIP)
- Yer altı suyu ısı pompaları (YASIP)
- Yüzey suları ısı pompaları (YSIP)

Toprağın veya yer altı suyunun enerjisinden yararlanmak için iki yöntem kullanılmaktadır.

- Açık Sistemler
- Kapalı Sistemler

Açık sistemler, kuyu, artezyen, göl, nehir gibi açık bir su kaynağından elde edilen suyun, bir hidrofor sistemi ile toprak kaynaklı ısı pompasına pompalanması suretiyle suyun sahip olduğu enerjiden doğrudan faydalanmak esasıyla çalışan sistemlerdir. Su kaynaklarına yakın ve suyun korozif özelliğinin fazla olmadığı durumlarda rahatlıkla kullanılmaktadırlar. Sudan doğrudan yararlanıldığı için verimleri kapalı sistemlere göre daha yüksektir. Ayrıca, kapalı devrelerde olduğu gibi ilave bir yeraltı ısı değiştiricisi gerektirmediği için ilk yatırım maliyeti daha az olmaktadır. Ancak suyun korozif etkilerini ve ısı değiştiricilerinin kirlenme riskini azaltmak için cihaz girişlerinde özel filtreler ve korozyona daha dayanıklı tipte özel alaşımlı ısı değiştiricilerine gereksinim vardır (http://www.klimaci.com/kutuphane/toprak_su.html, 2015). Şekil 2.12 'de açık sistemli bir toprak kaynaklı ısı pompası gösterilmiştir.

Kapalı sistemler, açık su kaynağının mevcut olmadığı yerlerde genellikle polipropilen borulardan yapılan boru demeti (yer altı ısı değiştiricisi) toprağa yatay veya dikey olarak daldırılarak toprağın veya yer altı suyunun enerjisinden faydalanmaktadır. Yatay uygulama genellikle arazinin büyük olduğu projelerde uygulanmakta olup, ısı değiştiricisi boruların toprağın toprağın 1.5 – 2 m altına döşenerek üstünün yine toprakla doldurulması suretiyle oluşturulmaktadır. Dikey uygulamalarda ise yer altı ısı değiştiricisi, arazinin geniş olmadığı projelerde genellikle 100 – 150 mm çapında yaklaşık 80 – 100 m derinlikte açılan kuyular içerisine daldırılan boru demeti ile oluşturulmaktadır. Kapalı sistemlerde genellikle boru içerisinden antifrizli su karışımı geçirilerek donmaya karşı önlem alınmaktadır. Kapalı devrelerin ilk yatırım maliyeti açık devrelere göre daha yüksektir (http://www.klimaci.com/kutuphane/toprak_su.html, 2016). şekil 2.13 'de kapalı sistem toprak kaynaklı ısı pompası tipleri gösterilmiştir.

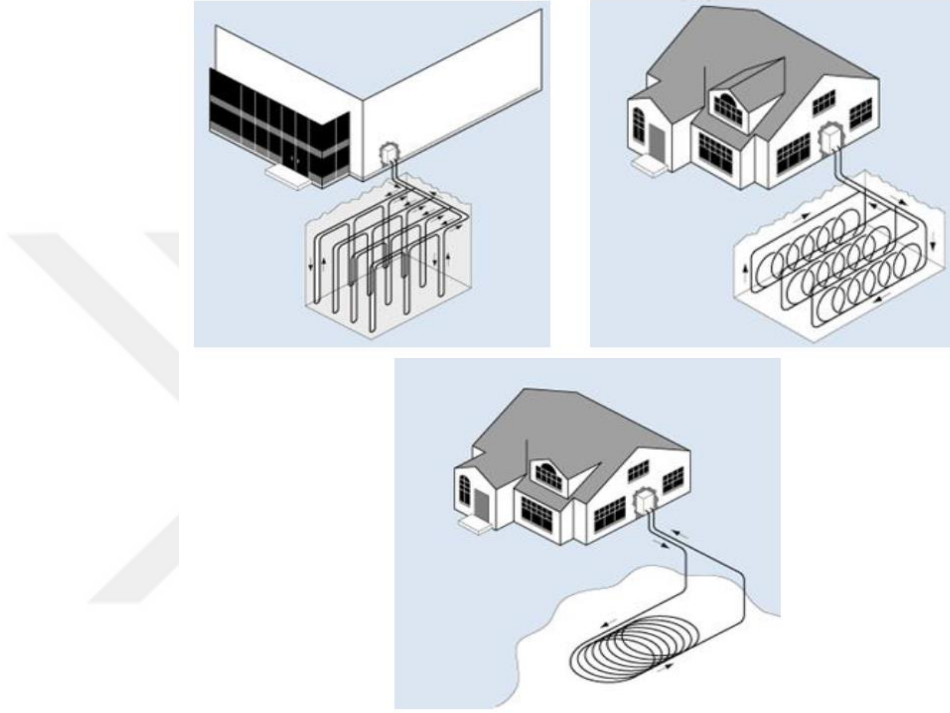


şekil 2.12. Açık sistem toprak kaynaklı ısı pompası

2.2.2.1. Toprak Serpantinli Isı Pompaları

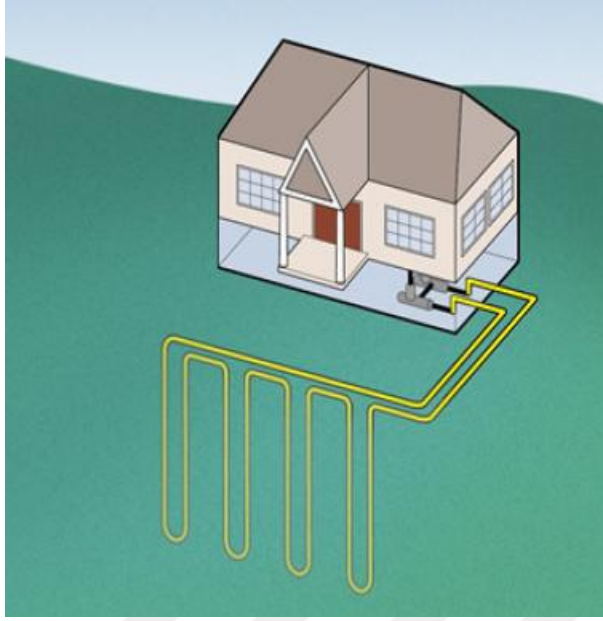
TSIP, TKIP'nın bir alt takımını oluşturur. TSIP, toprak içine gömülmüş kapalı bir yer ısı değiştiricisine bağlanmış olan tersine çevrilebilir bir buhar sıkıştırmalı çevrimden oluşan bir sistemdir. Çok yaygın bir şekilde kullanılan ünite, bir sıvı-soğutucu serpantin ve gömülmüş termoplastik boru şebekesine doğru bir su veya su-antifriz karışımının dolaştırıldığı, su-hava ısı pompasıdır. Isıtılmış veya soğutulmuş olan hava geleneksel üstün tüp hava-soğutucu serpantin ve kanal sistemleri vasıtasıyla dolaştırılır. Su-su ısı pompaları da, hidronik (sulu sistem) serpantin ile kuvvetlendirilmiş hava sistemlerine yerleştirmek suretiyle kullanılmaktadır. TSIP'nın üçüncü tipi, soğutucunun sirküle edilmesiyle ısı pompası serpantinlerinden biri olarak kazılmış bakır boru şebekesinin

kullanıldığı TSIP'nın direkt genişmesidir (DG). Bu sistemler, normal olarak, hidronik sistemin kullanılıyor olmasına rağmen, zorlanmış hava dağıtım sistemini içerirler. Su-hava ve su-su ısı pompalarının kullanıldığı sistemler, sıklıkla DG TSIP'ından ayırt etmek için ikincil solüsyonlu serpantin ile TSIP olarak gösterilmektedir. Bu sistemler, normal olarak, zorlanmış hava dağıtım sistemleri içermelerine rağmen, hidronik sistemlerde de kullanılmaktadır (Özsolak 2011).



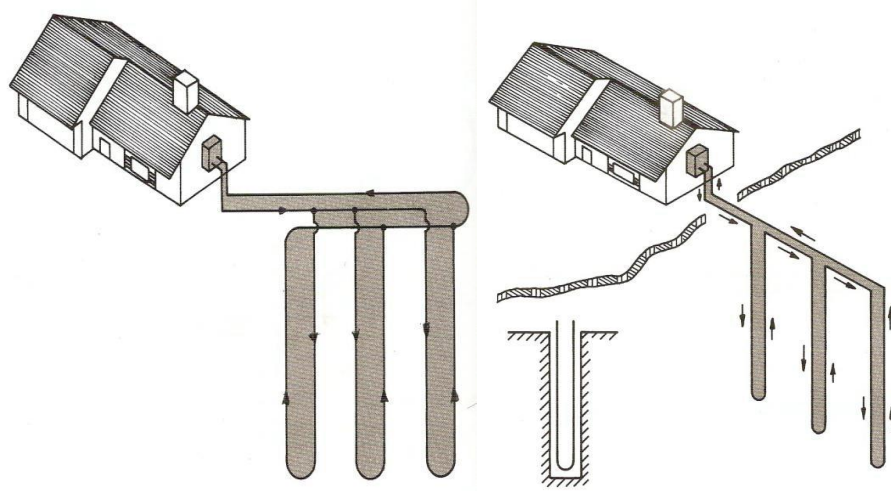
Şekil 2.13. Kapalı sistem toprak kaynaklı ısı pompası tipleri (<http://www.global-greenhouse-warming.com/ground-source-heat-pump.html>, 2015)

TSIP, toprak ısı değiştirici tasarımına göre de sınıflandırılmıştır. Dikey TSIP, genellikle dikey bir sondaj deliği içinde, iki küçük çaplı yüksek yoğunluklu polietilen (PE) tüplerin yerleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Borular, kapalı U şeklinde dönen deliğin altında termal olarak eritilip kaynaştırılmaktadır. Dikey tüp ölçüleri, 3/4 inç' ten 1 ½ inç nominal çapa kadar uzanmaktadır. Sondaj deliğinde yerel delme koşulları ve mevcut ekipmana bağlı olarak 15,24 m - 182,88 m arasında yer alır. Şekil 2.14. dikey TSIP' ı göstermektedir.



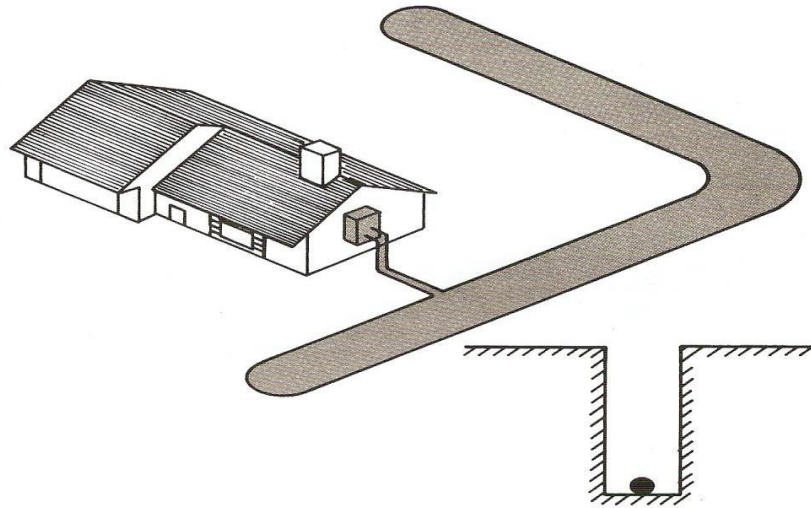
Şekil 2.14. Dikey toprak serpantinli ısı pompası(<http://www.mekenpro.com/akademi/isipompasi.pdf>, 2015)

Dikey TSIP'nın yararları; sıcaklık ve termal özellikler içinde çok küçük değişiklik gösteren toprak ile temasta olan yerin göreceli olarak küçük bir alanını gerektirmesi, boru ve pompalama enerjisinin en küçük olması ve en etkin TSIP sistem performansını vermesidir. Sakıncaları ise; uygun ekipman ve kurma personelinin sınırlı mevcudiyetinden dolayı, maliyetin tipik bir şekilde yüksek olmasıdır. Çoğu mühendis, çok devirli veya çeşitli devire sahip olan merkezi pompalar ile merkezi bir çevrimi birleştirmeyi tercih eder. Bu uygulamanın, geleneksel soğutulmuş su sistemlerinde birkaç ekonomik yararı varken, TSIP sistemlerinde, ekonomi ölçeğinde aynı derecede yararlı değildir. Mühendisler, değerleri çok özenli bir şekilde analiz etmek zorundadır. Toplam yer çevrimi, hafif bir şekilde merkezi bir çevrimden daha geniştir. Fakat, koruma, azaltılmış iç borulama ve birkaç kontrol vasıtasıyla gerçekleştirilebilir (yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) olduğu, böylece korozyon inhibitörleri için ihtiyaç seçimi yapılır (Erbil 2002). Şekil 2.15'de dikey TSIP' larının paralel ve seri bağlanmaları gösterilmiştir.



Şekil 2.15. Dikey toprak ısı değıştiricilerinin paralel ve seri bağlanması (Özsolak 2011)

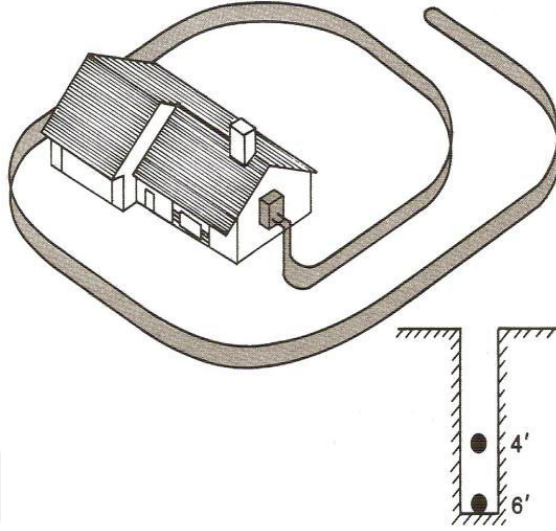
Yatay toprak ısı pompaları üç gruba ayrılmıştır: Tek borulu, çoklu borulu ve serpantinli borulu. Tek borulu yatay TSIP, ilk olarak en azından 4 feet derinlikte dar hendekler halinde yerleştirilmektedir. Bu tasarım, yer alanının büyük bir kısmını istemektedir. Şekil 2.16 tek borulu yatay TSIP sistemini göstermektedir (Özsolak 2011).



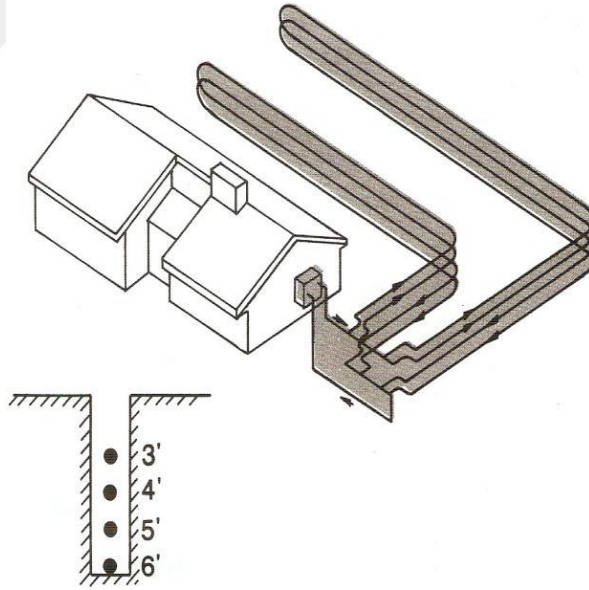
Şekil 2.16. Tek borulu yatay TSIP sistemi (Özsolak 2011)

Çoklu borular (genellikle 2 veya 4), istenen yer alanının miktarını azaltarak tek hendek içine yerleştirilir. Müteahhit tarafından, hem derin dar hendekler hem de geniş hendekler 12 inç' ten 24 inç' e kadar ayrılmış borular ile kullanılırlar. Hendek

uzunluğunun azaltılması mümkün olmasına rağmen, toplam boru uzunluğunun, bitişik borular ile ısı etkileşimini yenmek için çoklu borulu TSIP'nın ile arttırılması zorunludur. Şekil 2.17 ve Şekil 2.18 iki ve dört borulu yatay TSIP sistemlerini göstermektedir (Özsolak 2011).



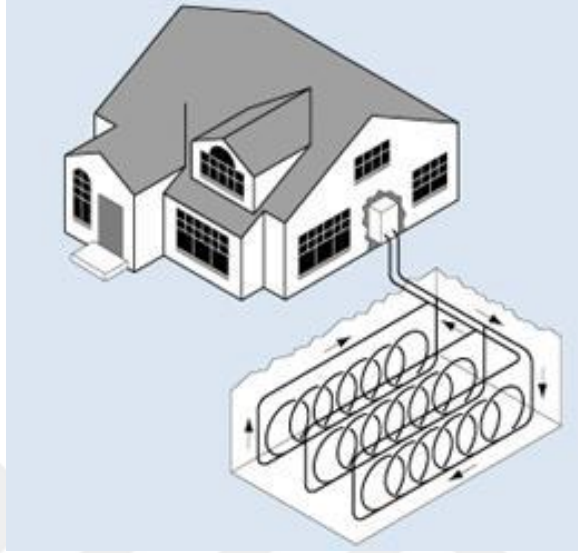
Şekil 2.17. Yatay borulu TSIP sistemi(Özsolak 2011)



Şekil 2.18. 4 yatay borulu TSIP sistemi(Özsolak 2011)

Slinky tipi serpantin, istenen yer alanını azaltmak için kullanılabilir. Bu yatay toprak ısı değiştiricileri, geniş hendeğin altında, dar hendek veya yayılmış kat içine dikey olarak yerleştirilen yayılan serpantin içine sıkı serpantinden küçük çaplı PE tüpü uzatarak,

kurulabilir. İstenen hendek uzunluğu, sadece tek borulu yatay TSIP'nın % 20 ile % 30 dur. Fakat boru uzunluğu, önemli bir şekilde, denk ısı performansı için artabilir. Şekil 2.19 slinky tipi yatay TSIP sistemini göstermektedir.



Şekil 2.19. Slinky tipi yatay TSIP sistemi (<http://www.global-greenhouse-warming.com/ground-source-heat-pump.html>, 2014)

Yatay TSIP'nın yararları, dikey TSIP'dan tipik bir şekilde daha ucuz olmasıdır. Çünkü; uygun yerleştirme elemanları geniş bir şekilde mevcuttur. Çoğu yerel uygulamalar yer alanına uygundur ve yetişmiş makine-eleman operatörleri daha geniş bir şekilde mevcuttur. Daha fazla toprak alanı gerektirmesine ek olarak diğer sakıncaları, mevsim, yağmur ve kazılmış derinlikle ilgili olarak yatay yer sıcaklıkları ve termal özellikleri düzensizce değiştiğinden dolayı performansında daha büyük zıt varyasyonla olması, hafif bir şekilde daha yüksek pompalama enerjisine ihtiyaç duymaları ve daha düşük sistem yeterlilikleri olmasıdır (Erbil 2002). Şekil 2.20'de yatay TSIP'larının paralel ve seri bağlanmaları gösterilmiştir.



Şekil 2.20. Yatay TSIP sistemlerinin paralel ve seri bağlanması (www.erec.org/fileadmin/erec_docs/.../GSHP_brochure_v_2008.pdf, 2015)

2.2.2.2. Toprak Kaynaklı Isı Pompası Dizaynı

Toprak kaynaklı ısı pompası sistemlerinde toprağın kendisi bir ısı kaynağıdır. Bu yüzden, arzu edilen ısı transfer oranını elde edebilmek için, sirküle edilen sıvı ve toprak arasında oluşturulması gereken sıcaklık farkı sonucunda, ısı pompası ünitesi min. -4°C ve max. 45°C arasında çalıştırılmalıdır.

Toprak kaynaklı bir sistem için ısı pompası seçerken, ünitenin bu sıcaklık değerleri arasında değişecek sıcaklıklarda çalışacağı göz önünde tutulmalıdır ve daha düşük çalışma aralıklarına sahip ısı pompalarıyla iyi sonuçlar alınamaz. Isı, toprak altına döşenmiş borular içindeki sıvı ve toprak arasında transfer edilmektedir. Bu akışkanı sirküle etmek için bir pompa kullanılmaktadır. Açılan hendeklere yatay sisteme göre ya da açılan çukurlara dikey sisteme göre plastik borular döşenerek yer altı ünitesi tamamlanır. Yatay borular, kuzey yarımkürede genellikle 0,9 m ile 1,8 m arasında gömülürler (Ersöz 2000).

Boruları derine gömmek, güneşin, topraktan kışın çekilen enerjiyi şarj etme kabiliyetini azaltır. Sığ derinlikler kullanıldığı için, sirküle edilen sıvının donmasını engellemek ve sistemin kapasitesi ile verimini elde edebilmek için, toprağın içindeki suyun donduğu zamanki gizli ısını alabilmek için antifriz kullanılmalıdır. Kullanılan antifrizler, % 20 propylene glycol, % 20 calcium chloride olabilir (Özışık 1994).

Güney yarımkürede borular 1,2 m ile 3,65 m arasında bir derinliğe gömülürler. Bu yaz güneşinden kaynaklanan yüksek toprak yüzey sıcaklığının sistem performansına olan etkisini azaltmak içindir. Dikey kazılan çukurların derinliği yaklaşık 90 m olabilir. Bu, kazma işleminde kullanılan malzemelere de bağlıdır. Birden fazla çukur, tek çukura göre daha çok istenilen bir durumdur. Seçilen herhangi bir sistemdeki boru uzunluğu aşağıdaki etkenlere bağlı olarak değişmektedir.

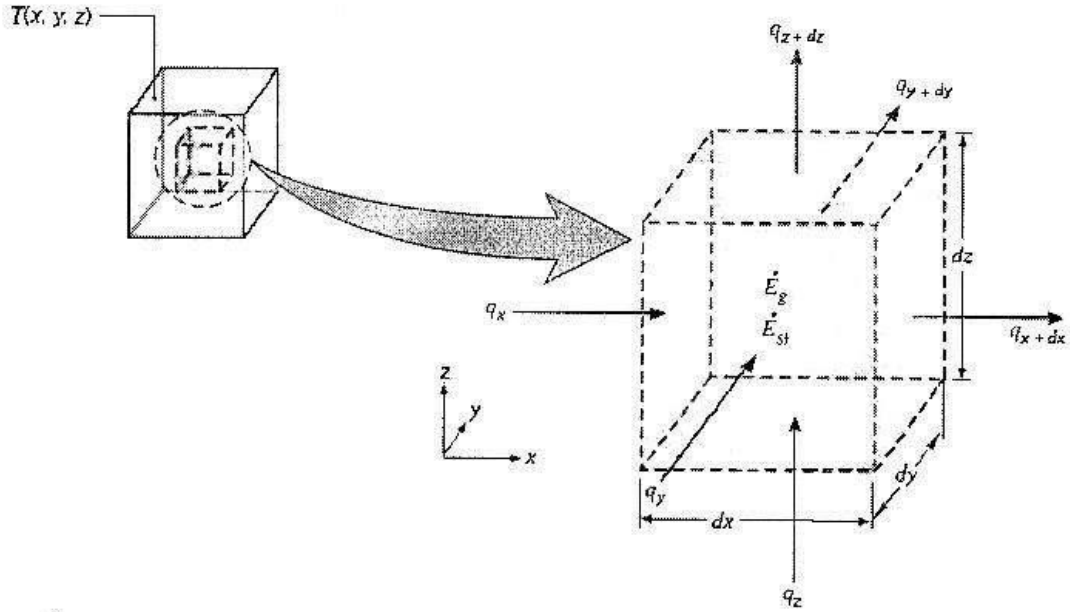
- Sistemin soğutma kapasitesi
- Soğutma için COP değeri
- Yıllık ortalama toprak sıcaklığı
- Toprak direnci

- Boru direnci
- Isı değiştiricisi tipi
- Soğutma için çalışma faktörü

2.2.2.3. Toprak Isı Değiştiricisindeki Isı Geçişi İle İlgili Temel Bilgiler

Bu bölümde toprak ile toprak ısı değiştiricisindeki ısı taşıyıcı akışkan arasında meydana gelen zamana bağlı geçici rejimdeki ısı geçişini ve toprak sıcaklığının zamana ve derinliğe bağlı değişimini hesaplamamızı sağlayan denklemler verilecektir.

şekil 2.21’de görülen kontrol hacmi için, enerjinin korunumu denklemi uygulanmasıyla elde edilen ısı yayılım denkleminin kartezyen koordinatlardaki en genel ifadesi de denklem (2.14)’de verilmiştir (Dewitt ve Incropera 2001). Denklem (2.14) ısı iletim çözümlemesinin temel aracıdır ve bir boyutlu periyodik ısı iletim denkleminin çözümüne de temel oluşurmaktadır.



şekil 2.21. Bir boyutlu ısı iletimi

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{\dot{q}}{k} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2.14)$$

Bir ortamda sıcaklık dağılımını belirlemek için, ortamın sınırlarında var olan fiziksel koşullara ve olay zamana bağlı ise, ortamın bir başlangıç anındaki haline bağlı olarak ısı denklemini çözmek gerekir (Dewitt ve Incropera 2001).

Isı denklemi zamana göre birinci mertebeden olduğundan başlangıç koşulu tektir.

En genel halde sıcaklık $T=T(x, y, z, t)$ olmak üzere 4 değişkene bağlıdır. Matematiksel olarak $t = 0$ tanında $T(x, y, z, t) = T(x,y,z,0)$ olacağından başlangıç şartı

$$T(x, y, z, 0) = T_i(x, y, z) \quad (2.15)$$

olarak yazılabilir. Başlangıç şartı $t = 0$ anında sistemin her noktasında sağlanmalıdır. Şayet yüzeyin her noktasında sıcaklık aynı değeri muhafaza etmekteyse izotermik durum söz konusudur (Dağsöz 1990).

Isı denklemi uzamsal eksenlerde ikinci mertebeden olduğundan sistemin çözümünde kullanılan eksenlerin her biri için iki sınır koşulu yazılmalıdır.

Isı geçişinde, genellikle karşılaşılan 3 çeşit sınır koşulu vardır. Koşullar $x = 0$ yüzeyinde bir boyutlu sistem için belirtilmektedir. Isı geçişi artı x yönündedir ve zamana bağlı olabilen sıcaklık dağılımı $T(x, t)$ ile gösterilmiştir (Dewitt ve Incropera 1990).

1) Yüzeyin sabit bir T_s sıcaklığında olduğu durum:

$$T(0, t) = T_s \quad (2.16)$$

2) Yüzeyde sabit veya değişmeyen bir ısı akısı (q_s'')nın var olma durumu:

a) Sonlu ısı akısı

$$-k \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=0} = q_s'' \quad (2.17)$$

b) Adyabatik veya yalıtılmış yüzey

$$\left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=0} = 0 \quad (2.18)$$

3) Yüzeyde taşınım olması durumu:

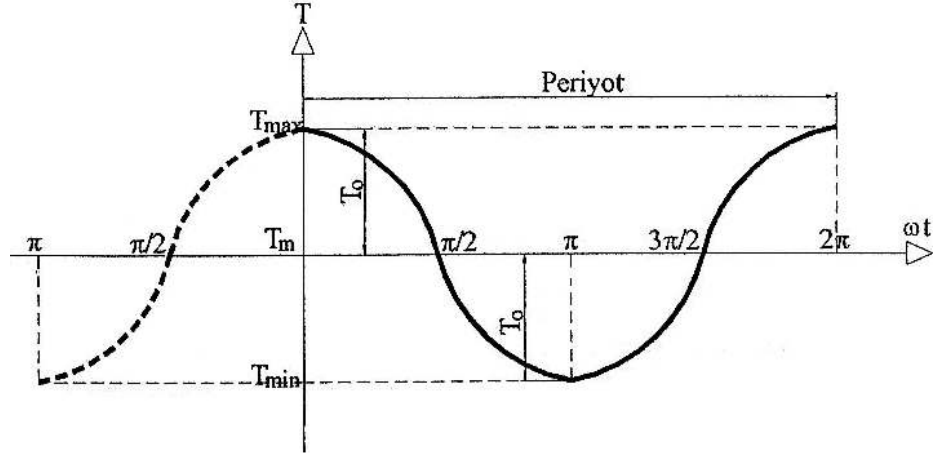
$$-k \left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=0} = h[T_{\infty} - T(0,t)] \quad (2.19)$$

Zamana bağlı rejim halinde $t = 0$ başlangıç anındaki sıcaklıklar verilerek sıcaklığın zamana göre değişiminin bilinmesi arzu edilir (Dağsöz 1990).

Toprağın sıcaklığının zamana ve derinliğe bağlı değişiminin belirlenebilmesi için; toprağın yüzeyindeki yıllık veya aylık sıcaklık değişimlerinin bilinmesi gerekir. Toprak sıcaklığı yaz ortasında maksimum, kış ortasında minimum değere sahiptir ve zamana bağlı sıcaklık değişimi sinüs veya kosinüs dalgalanmalarına çok yakın bir seyir izlemektedir. Dolayısı ile toprağın sıcaklığının belirli bir derinlikte zamanla periyodik olarak değiştiği kabulü yapılarak toprağın sıcaklığının zamana ve derinliğe bağlı değişimini matematiksel olarak ifade etmek için yüzeydeki toprak sıcaklığı değişimi

$$T(0,t) = T_m + T_0 \cdot \cos(\omega \cdot t) \quad (2.20)$$

olarak yazılabilir (Diz 2001). Burada; T_m yıllık ortalama toprak sıcaklığı, T_0 mevsimlik sıcaklık değişiminin genliği, ω açısal hız ve t zamandır. Denklem (2.20)' de t yerine “sıfır” değeri girildiğinde yüzeydeki toprak sıcaklığının maksimum değeri elde edilir (Şekil 2.22).



Şekil 2.22. Matematiksel olarak öngörülen toprak sıcaklığı değişimi

Toprak sıcaklığının derinliğe ve zamana bağlı değişimi denklem (2.21) ile ifade edilmiştir (Diz 2001).

$$T(x, t) = T_m + T_0 \cdot e^{-x \sqrt{\frac{\omega}{2a_t}}} \cdot \cos\left(\omega \cdot t - x \sqrt{\frac{\omega}{2a_t}}\right) \quad (2.21)$$

Denklem (2.21) ile sadece yüzeydeki toprak sıcaklığının zamana bağlı olarak değişiminin bilinmesi ile toprağın, herhangi bir derinlikte ve herhangi bir zamandaki sıcaklığını hesaplamak mümkündür. Bu denklemde yer alan açıl hız (ω) ifadesi açık olarak yazılırsa yani $\omega = 2\pi / P$ dönüşümü yapılsa;

$$T(x, t) = T_m + T_0 \cdot e^{-x \sqrt{\frac{\pi}{a_t P}}} \cdot \cos\left(2\pi \frac{t}{P} - x \sqrt{\frac{\pi}{a_t P}}\right) \quad (2.22)$$

ifadesi elde edilir. Denklemde ısı yayılım katsayısı (ısı difüzivite) " a_t " cgs biriminde ifade ediliyorsa, asal birimler olan uzunluğun " cm ", kütlenin " gr " ve zamanın da " s " biriminde kullanılması gerektiği unutulmamalıdır. Denklem (2.22) de yer alan kosinüs lü ifadenin solundaki " t / P " terimini oluşturan zaman " t " ve periyot " P " terimlerinin birimleri aynı olup birbirlerini götürdüğüne göre denklemin daha kullanışlı olması için söz konusu ifadenin elemanlarının " gün " biriminde yazılması mümkündür. Herhangi

bir karışıklığa sebep vermemek için birimi ‘‘gün’’ olan ifadeler değişik bir simge ile gösterilirse ifade aşağıdaki halini alır (Tokgöz 2006).

$$T(x, t) = T_m + T_0 \cdot e^{-x \sqrt{\pi/a_t P}} \cdot \cos\left(2\pi \frac{t^*}{P^*} - x \sqrt{\frac{\pi}{a_t P}}\right) \quad (2.23)$$

Denklem (2.23) de ‘‘t*’’ terimi gün biriminde zamanı temsil ederken, denklem (2.22) de ‘‘t’’ terimi saniye biriminde zamanı temsil etmektedir. Aynı şekilde ‘‘P*’’ terimi gün biriminde periyodu temsil ederken ‘‘P’’ terimi de saniye biriminde periyodu temsil etmektedir. Denklemde ‘‘x’’ terimi ise toprağın yüzeyden derinliğini ifade etmektedir.

Denklemde yer alan toprağın yüzeydeki ortalama sıcaklığı ‘‘T_m’’ ve toprak yüzeyindeki sıcaklığın değişim miktarı ‘‘T₀’’ terimlerinin belirlenmesinde; toprağın uzun dönemde kaydedilen yüzey sıcaklıklarına göre hareket edilmelidir ve bu kaydedilen değerlerin ortalamasına göre yüzeydeki, maksimum ve minimum sıcaklıklar ve dolayısıyla sıcaklık değişim miktarı tespit edilmelidir (Diz 2001).

Denklemlerde toprağın fiziksel özellikleri ısı yayılım katsayısı ‘‘a_t’’ terimi ile ele alınmıştır. Değişik toprak cinslerinin fiziksel özellikleri birbirinden farklı olduğuna göre; hesaplamaların yapıldığı yerin toprak cinsi deneysel olarak belirlenmelidir.

2.2.2.4. Toprak Sıcaklığının Hesaplanması

Bir önceki bölümde toprak sıcaklığının derinliğe ve zamana bağlı değişiminin denklem (2.23) ile ifade edildiğinden bahsedilmişti. Bu denklem vasıtasıyla, toprak sıcaklığının zamana ve derinliğe bağlı değişimi belirlenecektir.

Toprağın sıcaklığının zamana ve derinliğe bağlı değişiminin hesaplanması için belirlenmesi gereken üç önemli husus vardır. Bunlar; toprağın yüzeydeki ortalama sıcaklığı T_m, toprak yüzeyindeki sıcaklığın değişim miktarı T₀ ve periyodun başlangıç noktası (t = 0 değeri)’nin yılın hangi gününü ifade ettiğidir (Tokgöz 2006).

Yüzeydeki toprak sıcaklığının maksimum olduğu zamana, denklem (2.23)'teki t^* değişkeninin sıfır olması ile ulaşılabilir. Dolayısıyla yüzeydeki toprak sıcaklığının maksimum olduğu gün, periyodik hareketin başlangıç ve aynı zamanda bitiş noktasını belirtmektedir.

2.2.2.5. Topraktan Suya Aktarılan Isının Hesaplanması

Yer ısı değiştiricilerinin analitik olarak tasarımı aşağıda yer alan iki farklı modelden biri esas alınarak yapılmaktadır. Bunlardan birincisi “Sabit ısı akısı kabulü”, ikincisi “Sabit yüzey sıcaklığı kabulü”dur.

Sabit ısı akısı kabulü için en basit teori “çizgisel kaynak teorisi”dir. Isı kaynağının çok uzun fakat çok küçük çaplı olması durumunda, ısı kaynağı “çizgisel kaynak” olarak kabul edilebilir. Buradan hareketle toprak altındaki borularda ısı geçişi bu yöntem ile incelenebilir (Tokgöz 2006).

Bu modele göre, çizgisel kaynaktan “ r ” kadar uzakta bulunan bir bölgedeki sıcaklık değişimi; gecen ısı miktarı, zaman ve toprak özelliklerine bağlı olarak hesaplanabilir. Çizgisel kaynak teorisinde; toprak özelliklerinin düzgün dağılımlı ve sabit, hesap yapılan zaman aralığında birim boydaki ısı geçişinin sabit ve ısı kaynağının çizgisel bir kaynak olduğu (yani çok uzun ve ufak çaplı) kabulleri yapılmıştır (Ataman 1991).

Sabit ısı akısı için toprak sıcaklığındaki değişim bu teori ile uygun bir şekilde hesaplanabilir. Normal topraklarda, özellikle 100 mm’ den daha küçük ve bir günden daha uzun zaman aralıklarında basit çizgisel kaynak denklemi, pratik uygulamalar için en fazla % 2’ lik bir hata payıyla sonuç verir (Ingersoll ve Plass 1955)

Çizgisel kaynak denklemi, zamanın çok kısa, boru çapının çok büyük olması durumunda önemli miktarda hatalara sebep olmaktadır (Diz ve Koyun 2001).

Sabit yüzey sıcaklığı modelinde; toprak özelliklerinin uniform ve sabit, hesap yapılan zaman aralığında birim boydaki ısı geçişinin değişken, borunun yüzey sıcaklığının sabit bir değerde tutulduğu kabul edilmiştir.

Borunun içerisindeki akışkan özelliklerinin, boru cidarından merkezine doğru farklılık göstermediği ve tüm kesitte akışkanın ortalama özelliklerinin hüküm sürdüğü kabul edilmiştir (Diz ve Koyun 2001).

Bu kabullere dayanarak ısı taşıyıcı akışkanın çıkış sıcaklığının denklem (2.23) kullanılarak bulunabileceği ifade edilmiştir (Diz 2001).

n modüllü bir toprak ısı değiştiricisi için tüm boru boyunca topraktan suya aktarılan ısı denklem (2.24) ile bulunabilir.

$$Q_{top} = n.m.c_p.(T_{top}-T_{s1}).\left[1-e^{\frac{-kt.F(z).L}{m.Cp}}\right] \quad (2.24)$$

Modül su debisi aşağıdaki denklemle hesaplanabilir :

$$m = \rho_s.u.A_{mb} = \rho_s .u.\frac{\pi d_i^2}{4} \quad (2.25)$$

Burada;

- Q_{top} : Topraktan suya gecen ısı miktarı (W)
- n : Modül sayısı
- m : Bir modüldeki su debisi (kg/s)
- c_p : Özgül ısı (j/kg°C)
- T_{s1} : Suyun toprak ısı değiştiricisine giriş sıcaklığı (°C)
- L : Toprak ısı değiştiricisi modül boru boyu (m)
- k_t : Toprak ısı iletkenlik değeri(W/m°C)
- $F(z)$: İntegral işlemi sonucu yerine kullanılan değer
- ρ_s : Suyun yoğunluğu (kg/m³)
- u : Modül boru su akış hızı (m/s)
- A_{mb} : Modül boru akış kesit alanı (m²)
- d_i : Modül boru iç çapı (m)

Denklem (2.24) 'te yer alan $F(z)$ değerleri; aşağıda belirli aralıklar için z değerlerine bağlı olarak ifade edilmiştir (Diz ve Koyun 2001).

$$Z = \frac{a_t \cdot t}{r^2} \quad (2.26)$$

Burada;

a_t : Toprak ısı yayılım katsayısı (m^2/h)

t : Zaman (h)

r : Boru yarıçapı (m) dır.

‘ z ’ ifadesi içinse aşağıdaki geliştirilmiş denklemler kullanılır.

$$0,01 \leq z \leq 1 \text{ için } F(z) = 5,8555 \cdot z^{-0,3927}$$

$$1 \leq z \leq 100 \text{ için } F(z) = 5,8339 \cdot z^{-0,2261}$$

$$100 \leq z \leq 1000 \text{ için } F(z) = 4,1001 \cdot z^{-0,1392}$$

$$1000 \leq z \leq 25000 \text{ için } F(z) = 3,2006 \cdot z^{-0,1035}$$

(2.27)

2.3. Güneş Enerjisi ile Sera Isıtma Sistemleri

Bitki büyümesi ve gelişmesi ile verim ve kalitesi üzerinde esas etkiye sahip olan ortam sıcaklığının kontrol altında tutulması, sera tekniğinde önemli bir etkindir. Seralardan beklenen en yüksek verimin elde edilebilmesi için, dış ortam sıcaklığının düşük olduğu dönemlerde, seranın ısıtılması gerekir. Enerji fiyatlarının yüksek olduğu günümüzde, sera ısıtma giderleri yükselmekte ve yetiştirilen ürünlerin maliyeti artmaktadır. Bu nedenle seraların ısıtılmasında, kurulduğu yerde bulunan en ucuz enerji kaynakları kullanılmalıdır. Bulunan yre, yetiştirilen ürün çeşidi ve yapılan üretim şekline göre, klasik fosil yakıtlarla yapılan ısıtma uygulamalarında, ısıtma giderleri toplam üretim giderlerinin %60-70'ine ulaşmaktadır. Güney Avrupa koşullarında sera ısıtma giderleri, toplam işletme giderlerinin %30 undan fazladır (Popovski 1998).



Şekil 2.23. Sera sistemleri

Alışlagelene enerji kaynaklarından elde edilen enerji bedellerinin yüksek olması nedeniyle, sera ısıtma amacıyla yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanmak büyük önem kazanmıştır. Sera ısıtma uygulamalarında, günümüz enerji varlığını korumak ve çevre kirlenmesini önlemek amacıyla fosil enerji kaynakları yerine, alternatif enerji kaynaklarından yararlanılması öncelikli bir gereksinimdir.

Son yıllarda, örtü altı yetiştiriciliğinde enerji tüketiminin azalmasına yönelik olarak yapılan araştırmalar, ısıtma amacıyla yeni ve yenilenebilir doğal enerji kaynaklarının kullanılmasına ve fosil yakıtların tüketildiği geleneksel ısıtma sistemlerine alternatif olarak, düşük maliyetli ve etkinliği yüksek ısıtma sistemlerinin geliştirilmesine yönlendirilmiştir. En önemli yenilenebilir enerji kaynağı olan, güneş enerjisinden sera ısıtma amacıyla yararlanılması durumunda, sera tarımının toplam üretim giderleri içerisinde büyük yer tutan ısıtma giderleri azalacak ve buna bağlı olarak üretim maliyetleri azalacaktır.



Şekil 2.24. Serada yetiştiricilik

Dış ortam sıcaklığının sera iç ortam sıcaklığından daha düşük olduğu gündüz sürelerinde, sera ısı gereksiniminin bir bölümü sera içerisinde soğurulan güneş ışınımıyla karşılanır. Sera iç ortam sıcaklığının düşük olduğu dönemlerde, sera ısıtmada güneş enerjisinden etkin olarak yararlanabilmek için aşağıdaki iki koşulun sağlanması gerekir:

- 1-) Güneş ışınımını ısı enerjisine dönüştürmek
- 2-) Sera iç ortam sıcaklığı düşük olduğunda, ısı gereksinimini karşılamak amacıyla ısı enerjisini depolamak.

2.3.1. Seralarda Güneş Enerjili Isıtma Sistemi Yöntemleri

Sera ısıtmada güneş enerjisinden etkin olarak yararlanabilmek için, toplam güneş ışınımının ısı enerjisine dönüştürülmesinde uygulanan yöntemlere bağlı olarak, üç farklı yöntemle tasarımı olabilen güneş enerjili ısıtma sistemlerinden yararlanılabilir;

1. Sera dışına yerleştirilen ve ısı taşıyıcı akışkan olarak hava/su kullanılarak güneş toplaçlarından kazanılan ısı enerjisini, depolanacak ortama (ısı deposuna) göndermek

2. Sera içerisine yerleştirilen ve seranın bütünleşik bir elemanı olan güneş toplaçlarından kazanılan ısıyı, sera tabanına yerleştirilen ve içerisinde katı/sıvı durumunda ısı depolama materyali bulunan ısı depolarında depolamak. Bu yöntemde ısı toplama ünitesi olarak, çift kart örtü arasından akışkan dolaşımıyla, IR ışınımının soğurulması için, çift katlı çatı veya duvarlardan yararlanılır.
3. Sera yapısından bir toplaç gibi yararlanarak, sera içerisine ulaşan güneş ışınımının büyük bir bölümünü ısı enerjisine dönüştürmek.

Isı enerjisinin kısa (gündüzden–geceye) ve uzun süreli (yazdan-kışa) depolanmasında , ısı depolama materyali olarak su, toprak, çakıl veya kırma taş, güneş havuzları ve faz değiştiren materyallerinden (FDM) yararlanılır. Isı depolama ortamı olarak kullanılan toprak ve çakıl veya kırma taş gibi katı materyaller, aynı zamanda bir ısı değiştirici işlevine sahiptir. Sera ısıtma amacıyla ısı depolama sistemlerinin tasarımında bazı etmenler dikkate alınır;

- Isı depolama materyali
- Isı depolama kapasitesi
- Depolanan ve kazanılan ısı miktarı
- Isı depolama etkinliği
- Isı deposunun yerleşimi ve boyutları
- Isı depolama ve geri kazanma işlemlerinin tasarımı ve kontrolü

Isıtma amacıyla güneş enerjisinden yararlanılan farklı büyüklükteki birçok serada, güneş enerjili ısıtma sistemlerinin teknik ve ekonomik uygulanabilirliği açısından olumlu sonuçlar belirlenmiştir. Seralar için güneş enerjili ısıtma sistemlerinin tasarımında aşağıdaki etmenler dikkate alınmalıdır;

- Isıtma sisteminin tipi
- Güneş ışınımından ısı enerjisine dönüştürülebilecek enerji miktarı
- Isıtma dönemi süresince saatlik güneş ışınımı
- Sera ısıtma için gerekli enerji miktarı
- Sera ısı gereksiniminin güneş enerjisiyle karşılanabilen oranı

- Güneş enerjili ısıtma sistemi ile iç-dış ortam arasında sağlanabilecek sıcaklık farkı
- Ek ısıtma sistemi gereksinimi
- Güneş enerjili ısıtma sisteminin ekonomikliği

Sera ısıtmada uygulanan güneş enerjili ısıtma sistemleri; ısı toplama ve depolama ünitelerinin düzenlenmesine bağlı olarak *pasif ve aktif sistemler* şeklinde incelenebilir.

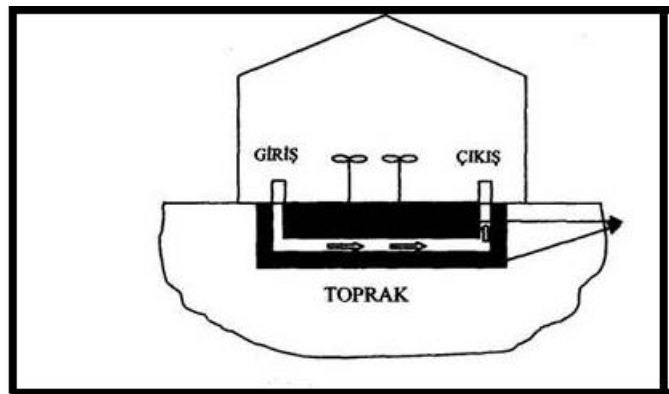
2.3.2. Seralarda Güneş Enerjili Pasif Isıtma Sistemleri

Güneş enerjili pasif ısıtma sistemlerinde, ısı toplama ünitesi sera içerisindedir. Pasif ısıtma uygulamalarının bazılarında, sera yapısı güneş ışınımının en yüksek oranda enerji kazanımına uygun olarak tasarımlanır. Böylece, seranın kendisinden bir toplaç olarak yararlanır. Sera iç ortamında, gündüz süresince güneş ışınımından kazanılan ısı, bir akışkan aracılığıyla ısı depolama materyalinde depolanır. Isı depolama ünitesi bulunmayan bazı pasif ısıtma sistemlerinde, sera ısı gereksiniminin karşılanması için etkin özellikte olmayan yöntemler uygulanır. Güneş ışınımından en yüksek oranda enerji kazanılması için seranın geometrik yapısından yararlanır. Soğuk dönemlerde, sera ortamında güneş ışınımından enerji kazanmak amacıyla, yansıtıcı yüzeyler kullanılır. Pasif ısıtma sistemlerinde depolama materyali olarak; su, toprak, çakıl veya kırma taş ve faz değiştiren madde (FDM) gibi değişik özellikte materyaller kullanılır. Seralardaki güneş enerjili pasif ısıtma sistemleri, kullanılan ısı depolama materyali ve depolama ünitesinin özelliklerine bağlı olarak incelenebilir. Herhangi bir pasif ısıtma sisteminin seradaki etkenliği, aşağıdaki etmenlere bağlıdır;

- Seranın boyutları
- Seranın yerleşimi
- Sera örtü malzemesi
- Uygulanan yetiştirme şekli
- Gündüz ve gece sürelerinde iç ortamda istenilen sıcaklık değerleri
- Dış ortam iklim koşulları

2.3.2.1. Faz Değiştiren Materyal Kullanılan Pasif Isıtma Sistemleri

Bu tip sistemlerde (şekil 2.25), faz değiştiren materyaller (FDM) sera tabanındaki toprak altına veya seranın kuzey kenarına yerleştirilen yalıtımlı bir ısı deposu içerisine doldurulur. Sera i ortamındaki sıcak ve nemli hava, gündüz süresince ısı deposu içerisinden dolaştırılır. Sera ortamındaki hava ile taşınan ısı, ısı deposu içerisindeki faz değiştiren materyal tarafından soğurularak, gizli ısı şeklinde depolanır. Isı deposu içerisinden sıcak hava dolaşımı süresince, FDM faz değiştirir. Gece süresince, sera ortamındaki soğuk hava, ısı deposu içerisinden dolaştırılarak, faz değiştiren materyaldeki gizli ısı, seranın ısıtılması için geri kazanılır. Isı geri kazanma süresince, FDM başlangıçtaki durumuna döner. Isı geri kazanım işlemi süresince, sera ortam havasının nem oranı artabilir. Yüksek nem oranının bitkilere neden olduğu olumsuzlukları önlemek için, ısı deposu genellikle havadan-havaya bir ısı pompasıyla birlikte düzenlenerek, nem oranı azaltılmış olan hava, sera ortamına gönderilebilir. Isı deposunun toprak altına yerleştirildiği uygulamalarda, FDM' nin gerektiğinde yenilenmesi işlemi oldukça güçtür. Sera ortamından taşınan hava ve FDM arasında ısı transferi sağlamak için kullanılan ısı değiştirici yüzeylerine, faz değiştiren materyalin yapışarak tutunması ısı transferini güçleştirdiğinden, ısı değiştirici yüzeylerinin düzenli olarak temizlenmesi gerekir.



şekil 2.25. Toprak altında FDM ile enerji depolayan sistemler

FDM kullanılarak ısı depolanan güneş enerjili pasif ısıtma sistemleri, sadece sera ortam havası sıcaklığının, ısı depolama materyalinin faz değişim sıcaklığından daha yüksek olması durumunda etkin olarak işletilebilir. Seralarda gizli ısı depolama materyali olarak genellikle tuz hidratları kullanılır. Groves(1984), ift kat PC rtl serada, 3/2 oranında klorit ve $\text{CaBr}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ bileşimi kullanmıştır. Faz değişirme sıcaklığı $14-16^\circ\text{C}$

ve faz değişimi sonunda açığa çıkan gizli ısısı 245 MJ/m^3 'dür. Isı depolama materyali bazı güçlüklerle karşılaşılmakla birlikte, çift kat çatı örtüsü arasına yerleştirilmiştir. Bu durumda seranın ışık geçirgenliği %50 oranında azalmıştır. Sistem, seranın ısı gereksiniminin %21 ini karşılamıştır.



şekil 2.26. FDM'nin dönüşüm evreleri

Seralarda FDM kullanılarak depolanan gizli ısıyla yapılan ısıtma uygulamalarına ilişkin bazı araştırmalar izelge 2.3 'de özetlenmiştir. Seralarda FDM kullanılarak ısı depolama amacıyla yapılmış olan birçok araştırmada, ergime sıcaklığı 25°C ve gizli ısısı $154\ 900 \text{ KJ/m}^3$ olan $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ kullanılmıştır. Özellikle cam seralar için kullanılan FDM miktarı, taban alanı başına yaklaşık olarak 9 kg/m^2 'dir. Sera ve ısı deposu boyutları, örtü malzemesi ve uygulanan yetiştirme şekline bağlı olarak, sera yıllık ısı gereksiniminin % 20-75 arasında değişen bir oranının bu tip sistemlerde karşılanabileceği belirlenmiştir.

Çizelge 2.3. Seralarda FDM kullanılarak depolanan gizli ısıyla yapılan ısıtma uygulamalarına ilişkin bazı araştırmalar

Bölge	Alan (m ²)	Sera Örtüsü	Üretim	Depolama Materyali	Yıl	Sonuçlar
Antibes,FR	445	Cam	Bitkisel	NaOH+Cr ₂ N	1978	5000 litre yakıt
Avignon,FR	176	PC	Domates	CaCl ₂ 6H ₂ O(3000kg)	1985	%30'ukarşılanmış
Canberra,AUS	20	Cam	Bitkisel	CaCl ₂ 6H ₂ O(100kg)	1983	1 °C daha yüksek
İsrail	200	Cam	Gül	CaCl ₂ 6H ₂ O(3000kg)	1979	-
İsrail	66	Cam	Sebze	CaCl ₂ 6H ₂ O+CaBr ₂ 6H ₂ O	1983	%21'i karşılanmış
Nice,FR	5000	Cam	Gül	CaCl ₂ 6H ₂ O(135000kg)	1979	%75'i karşılanmış
Nice,FR	500	Cam	Gül	CaCl ₂ 6H ₂ O	1986	%51'i karşılanmış
K.Karolina,USA	100	Fiberglass	Bitkisel	CaCl ₂ 6H ₂ O	1982	2 °C daha yüksek
Patras,GR	4	PE	Bitkisel	CaCl ₂ 6H ₂ O+Asetik asit	1983	2-3 °C daha yüksek
Rosignanao,IT	200	Cam	Çiçek	CaCl ₂ 6H ₂ O (2800)	1983	%22'i karşılanmış
Japonya	352	Cam	Domates	0.45 Na ₂ SO ₄ 10H ₂ O+ 0.45 Na ₂ CO ₃ 10H ₂ O+ 0.1NaCl (2500)	1983	3 °C daha yüksek

2.4. Isı Depolama ve Faz Değişim Malzemeleri

2.4.1. Duyulur Isı Depolama

Duyulur ısı depolama faz değişimsiz, sıcaklığın arttırılmasıyla veya azaltılmasıyla malzemede toplanan enerji vasıtasıyla sağlanır. Bu tip depolamada depoya ısı yükleme veya depodan ısı çekme esnasında ortamın sıcaklığı değişir. Depolanan ısıнын en basit değeri aşağıdaki gibi ifade edilir;

$$Q = m.C_p.\Delta T$$

$$Q = \rho.C_p.V.\Delta T \quad (2.28)$$

Burada C_p malzemenin özgül ısısı, ΔT sıcaklık farkı, V tankın hacmi, ρ malzemenin yoğunluğudur. Depolama ve boşaltmada sıcaklık değişiminin ve depo boyutunun büyük olması duyulur ısı depolama sistemlerinin iki temel dezavantajıdır. Yüksek sıcaklık değişimine izin veriyorsa aynı oranda depo boyutu küçültülmelidir. Bununla birlikte diğer depolama sistemleri ile karşılaştırılınca depo boyutu büyüktür. Hem

yüksek ısı kapasiteye hem de yüksek ısı yayılımına sahip depolama malzemesinin kullanılması ile boyutu azaltılabilir (Fath 1998).

Isı depolama materyali olarak, sıcaklığı arttırıldığında duyulur ısı şeklinde ısı depolayabilen katı ve sıvı materyaller kullanılır. Duyulur ısı depolama materyallerin birçoğu bol miktarda ve ucuzdur. Ayrıca, bu materyallerden ısı depolamak için yararlanılmak üzere geliştirilmiş olan mevcut teknoloji, etkin sistemlerin tasarımı için uygundur. Bu nedenle günümüzdeki birçok ısı depolama uygulanmasında, duyulur ısı depolama yönteminden yararlanılır. Bu yöntemle ısı depolamada, ısının depolanması ve geri kazanılması sürecinde depolama materyallerinin sıcaklığı değişir. Çok sayıda ısı depolama ve geri kazanma çevriminin gerçekleştirilebilmesi, duyulur ısı depolama yönteminin en çekici özelliklerinde birisidir.

2.4.2. Gizli Isı Depolama

Gizli ısı depolama, maddelerin faz değişimi esnasında, iç enerjilerindeki artış ile sabit sıcaklıkta faz değiştirerek ısı depolama olayıdır. Faz değiştiren maddeler (FDM), duyulur ısı depolayan maddeler ile karşılaştırıldığında daha yüksek depolama yoğunluğuna sahip olduğu ve sabit sıcaklıkta faz değişiminden yararlanılarak büyük oranda enerji alışverişinin mümkün olduğu görülür. Bu yöntemin diğer bir avantajı da, gizli ısı depolama maddesinin faz değiştirmesi(donma-erime),sınırlı sıcak aralığında veya hemen hemen sabit basınçta meydana gelmesidir. Ayrıca, faz değiştiren maddelerin küçük sıcaklık değişimleri nedeniyle bir miktar duyulur ısısında depolanması mümkündür. Fakat depolanan bu enerji faz değişim gizli ısı yanında küçük kalır. Çakıl taşı ve suya göre daha pahalı sistemlerdir.

Gizli ısı depolamanın diğer tekniklere göre bazı üstünlükleri şunlardır:

- Duyulur ısı depolamaya göre ısı depolama kapasitesi yüksektir ve ısı deposu hacmi daha küçüktür.
- FDM birim kütlesinin ısı depolama kapasitesi yüksektir.
- FDM'lerin faz değiştirme sıcaklıkları, sabit sıcaklıkta depolama ve geri kazanma için uygundur.

- Sabit sıcaklıkta ısı gerektiren uygulamalar için uygundur.
- Büyük ısı depolama sistemlerinde ekonomik olarak uygulanabilir.

Bu avantajlarına karşılık özellikle ticari değeri olan inorganik maddeler açısından bazı sıkıntılar bulunmaktadır. Bunlar:

- Uygulama alanlarında gereksinim duyulan sıcaklık aralığında kullanılabilecek inorganik FDM sayısı azdır.
- Uzun kullanımlarda kararlılık göstermemektedirler. Sistemde en yüksek faydayı sağlamak için kullanım sayısını azaltmak gerekebilmektedir.
- Kapsüllendiklerinde kapsülde çok yavaşta olsa salınmaktadır. Bu da termal özelliklerinin değişmesine sebep olmaktadır.

Çizelge 2.4. Güneşle ortam ısıtma ve sıcak su üretimi uygulamaları için farklı depolama tekniklerinin karşılaştırılması

Farklı ısı depolama ortamları	Duyulur ısı depolama		Gizli ısı depolama
	Su	Kaya	FDM(Katı-Sıvı)
İşlemin sıcaklık aralığı	Sınırlı	Geniş	Geniş(maddeye göre)
Küçük sıcaklık farkları için birim kütle ve birim Hacim başına	Düşük	Düşük	Yüksek
Bulunabilme	Genel	Genel	Seçilen maddeye bağlı
Maliyet	Ucuz	Ucuz	Pahalı
Isıl çevrim kararlılığı	İyi	İyi	Veriler yetersiz
Özgül ısı	Yüksek	Düşük	Normal
Isıl iletkenlik	Normal	Düşük	Çok düşük

Bu sistemlerinde problemleri vardır. Bunlar;

- a) Büyük ısı transfer alanı gereklidir.
- b) Faz ayrımı
- c) Aşırı soğuma
- d) Ayrışma
- e) Hacim değişimi
- f) Yüksek maliyet
- g) Konu dışı erime (Fath 1998)

Faz değişim ısısına göre gizli ısı depolama, katı-gaz, sıvı-gaz, katı-katı faz dönüşümleri şeklinde gerçekleşmektedir. Katı-gaz ve sıvı-gaz dönüşümlerinin gizli ısıları yüksek olmasına rağmen, gazların sabit hacimde basınçlarının yüksek, sabit basınçta ise hacimlerinin büyük olmasından dolayı, enerji depolamak için genellikle kullanılmazlar.

Katı-sıvı dönüşümleri; katı-gaz ve sıvı-gaz dönüşümleriyle karşılaştırıldığında, daha küçük gizli ısıya sahiptir. Buna rağmen, katı-sıvı dönüşümleri küçük bir değişimle (%10 veya daha az) gerçekleşir. Bu nedenle, faz değişimiyle enerji depolama sistemlerinden daha çok katı-sıvı dönüşümleri tercih edilir (Sarı 2000).

Erime sıcaklığı T_e , katılaşma sıcaklığı T_k olan bir maddenin, katı halden sıvı hale geçerken depoladığı ısı miktarı;

$$Q = m \cdot c_{pk} \cdot (T_e - T_k) + m \cdot L_{ks} + m \cdot c_{ps} \cdot (T_s - T_e) \quad (2.29)$$

Burada m maddenin kütlesi, L_{ks} erime gizli ısısı, c_{pk} maddenin katı haldeki özgül ısısı, c_{ps} ise maddenin sıvı haldeki özgül ısısıdır. Katı-sıvı değişimindeki bir maddenin erime gizli ısısı, o maddenin birim kütlesini katı halden sıvı hale dönüştürmek için gerekli olan enerjidir.

Bu tür depolamada, katı taneciklerin eriyerek ısıyı absorblaması veya eriyik kristallendiği ve katılaştığı zaman ısıyı ortama vermesi prensibi vardır. Herhangi bir

kaynaktan katı ortama transfer edilen ısı, o maddenin erimesini ve bunu sonucunda da ısı enerjisinin depolanmasını sağlar. Isıya ihtiyaç duyulduğu zaman ortamda depolanan ısı enerjisi ortamdaki alınıp ısı yüklemeye tankı yada uygun bir sisteme aktarılır. Gizli ısının tercih edildiği alanlar şunlardır (Sarı 2000);

- a) Yüksek enerji yoğunluğu veya yüksek enerji kapasitesi gerektiğinde
- b) Sabit veya küçük bir sıcaklık aralığında enerji depolamaya ihtiyaç duyulduğu zaman
- c) Depo hacminin küçük olması gereken yerlerde

Gizli ısı depolama sistemi, pasif bir sistemde en az iki, aktif sistemde ise en az üç bileşenden oluşmaktadır. Bunlar;

1. İstenilen sıcaklık aralığında, faz değişimine uğrayan ve ergime gizli ısı olarak ısı depolayabilen bir ısı depolama materyali (FDM)
2. FDM' nin yerleştirildiği bir depolama ünitesi
3. Isı kaynağından FDM'ye ve daha sonra FDM'de depolanan ısıdan yararlanılacak ortama ısı geçişi için bir ısı değiştiricisi

FDM genellikle, cidar kalınlığı ince olan küre, silindir veya küp şeklindeki kaplara doldurulması durumunda, faz ayrışması sorunu önemli oranda azalır. Ayrıca çok sayıda ısı depolama ve geri kazanma işlemi gerçekleştirilebilir. Dolgulu yataklarda olduğu gibi, bu tip bir düzenleme ile hacimsel ısı geçişi katsayısı da artırılabilir. İçlerine FDM doldurulmuş PVC tüpler, dikdörtgen şeklindeki depo içerisine yatay veya dikey olarak yerleştirilebilir.

Gizli ısı depolama sistemlerinde ısı değişimi için uygulanan yöntemler aşağıdaki gibi sıralanabilir;

1. Derişik sulu çözelti içinde dıştan bir ısı değiştirici kullanmak
2. Derişik çözelti ile karışmayan bir ısı taşıyıcı akışkandan yararlanarak, doğrudan temas şeklinde ısı değişimi sağlamak

3. Derişik çözeltili içerisinde bir ısı değiştirici daldırmak
4. İçerisine FDM doldurulmuş tp, şişe vb. şekillerindeki büyük veya küçük kapları bir depoya yerleştirmek ve depo boyunca ısı taşıyıcı akışkan dolaşımıyla doğrudan temasla ısı değişimini sağlamak
5. Kararlı özellikte ve büyük hacimdeki FDM içerisine ısı değiştirici daldırmak
6. Kararlı özelliklerdeki ve büyük hacimdeki FDM’de doğrudan temas şeklinde ısı değişimi sağlamak

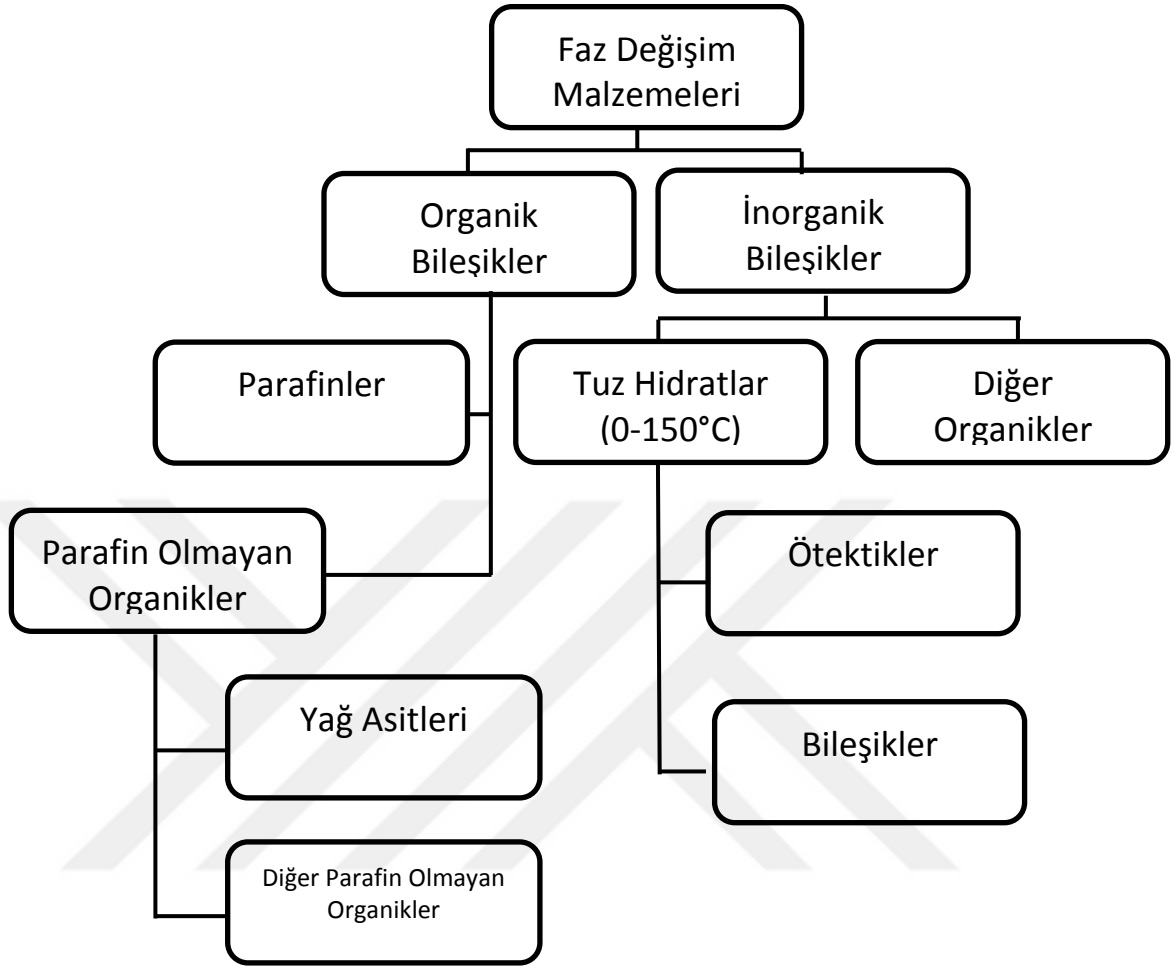
2.4.3. Gizli Isı Depolama İçin Faz Değişim Malzemeleri

FDM’ler, ısıtma sistemi için ısı depolamak amacıyla depolama ünitelerinde yaygın olarak kullanılır. (-20) - (+150) °C sıcaklık aralığında ergiyebilen FDM’ ler, güneş enerjisi, ısı pompaları vb. yardımıyla ısıtma vermeli veya hiç göstermemelidir. Soğutma sistemleri için önemlidir. Yüksek ergime ısısı ile 0-120 °C sıcaklık sınırlarında ergiyen çok sayıda organik ve inorganik yapılı materyaller bulunmaktadır.

Bu materyallerin gizli ısı depolama sistemlerinde ısı depolama materyali olarak kullanılabilmesi için, termodinamik, kinetik ve kimyasal yönlerden belirli özellikler göstermeleri gerekir. Ayrıca materyalin maliyeti ve çok miktarlarda bulunabilir olması da dikkate alınmalıdır. FDM seçiminde etkili değişik ltlar aşağıdaki gibi sıralanabilir (Abhat 1983):

Güneş enerjisiyle ısıtma uygulamaları ve sıcak su üretimi için en uygun çalışma sıcaklığı sınırları 40 -60 °C dir. Özel uygulamalar için bu sınır değerler 20–80 °C’ye kadar değiştirilebilir. Güneş enerjisiyle soğutma uygulamaları için 100 °C’ye kadar değişen sıcaklık değerleri gerekli olduğu halde, ısı pompası uygulamalarında 0 °C’nin altına inebilen daha düşük depolama sıcaklıkları istenir. Bu sıcaklık sınırlarında, faz değiştiren materyalleri izelge 2.5’ de görüldüğü gibi, organik ve inorganik bileşikler olmak üzere iki grup altında sınıflandırmak mümkündür.

Çizelge 2.5. Faz değişim malzemelerinin sınıflandırılması



İnorganik tuzların ergime ısıları yüksektir. Organik bileşiklerin ergime sıcaklığı geniş aralıkta yer alır. Bununla birlikte, ısı depolama kapasiteleri daha düşüktür. Organik bileşiklerin birim hacimlerinin ısı depolama kapasitesi, inorganik tuzlarınkinin yaklaşık yarısı kadar olup, $150 - 200 \text{ MJ/m}^3$ arasında değişir. Tuz hidratlarının ısı depolama kapasiteleri $250 - 400 \text{ MJ/m}^3$ arasındadır (Paksoy ve Ark. 1995). Organik bileşikler, gerekli depolama hacminin fazla olması gibi olumsuz özelliklere sahip olmakla birlikte, inorganik bileşiklerle karşılaştırıldığında, ısı depolama materyali olarak bazı önemli özelliklere sahiptir:

- Uygun olarak ergime gösterirler.
- Kendi kendine kristalleşebilirler.
- Geleneksel tasarım malzemeleriyle uygun olarak kullanılabilirler.

Faz değişim malzemesi seçiminde;

- a) Yüksek enerji depolama yoğunluğu
- b) Entalpi
- c) Uygun faz değişim sıcaklığı
- d) Aşırı soğuma/ısınma göstermeme
- e) Faz ayrımına uğramama

gibi bazı özellikler önemli kriterlerdir. Uzun süreli depolamalarda buna malzemenin ısı kararlılığı da eklenir (Mazman 2000). Çizelge 2.6’da FDM seçiminde dikkate alınan değişik ölçütler gösterilmiştir.

Çizelge 2.6. FDM seçiminde dikkate alınan değişik ölçütler(Abhat 1983)

Termodinamik ölçütler	Kimyasal Ölçütler
Termodinamik Ölçütler: • Ergime noktası, istenilen çalışma sıcaklığı sınırlarında olmalıdır. • Birim kütesinin ergime ısısı yüksek olmalıdır. • Küçük hacimdeki depolara yerleştirilebilmesi için yoğunluğu yüksek olmalıdır. • Önemli oranda duyulur ısı da depolayabilmek için özgül ısısı yüksek olmalıdır. • Isıl iletkenliği yüksek olmalıdır. • Faz değişiminde ısıl genleşme katsayısı düşük olmalıdır. • Materyal tamamıyla ergiyerek tekdüze ergime göstermelidir. • Faz değiştirme sonucunda hacim değişimi az olmalıdır	• Kimyasal özellikleri değişmemelidir. • Kullanım süresinin uzun olması için kimyasal ayrışmaya uğramamalıdır. • Depo malzemesi için korozif etkili olmamalıdır. • Yanıcı, zehirli ve patlayıcı özelliklerde olmamalıdır.
	Ekonomik Ölçütler
	• Bol miktarda bulunmalıdır. • Pahalı olmamalıdır.
	Kinetik Ölçütler
	Donma esnasında aşırı soğuma göstermemeli veya çok az göstermelidir. Erimiş madde kendi termodinamik donma noktasında kristalleşmelidir. Bunu sağlamak için çekirdekleşme ve kristalleşmenin büyüme hızları yüksek olmalıdır. Aşırı soğumayı önlemek için ortama çekirdekleştirici veya soğuk bir cisim ilave edilmelidir.

2.4.3.1. İnorganik Faz Değişim Malzemeleri

2.4.3.1.1. Tuz Hidratlar

$M_{2n}HO$ (M inorganik bileşik) şeklinde belirtilen tuz hidratları, 0 -150 °C sıcaklık sınırlarında hacimsel ısı depolama kapasitelerinin yüksek olması nedeniyle inorganik FDM 'lerin en önemli gurubudur. Genellikle suda çözünebilen tuzlar ısı depolama amacıyla kullanılabilir. Isı depolama amacıyla kullanılabilen ve pahalı olmayan birçok tuz hidratı bulunmaktadır. Tuz hidratlarının gizli ısı depolama açısından en önemli özellikleri aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Ergime gizli ısıları yüksektir.
- Ergime-katılaşma sonucunda hacim değişimi azdır
- Organik FDM 'ler ile karşılaştırıldığında, ısı iletkenlikleri yüksektir
- Yoğunlukları kısmen yüksek olduğundan, basit depolama üniteleri geliştirilebilir.
- Korozyon etkileri yoktur.
- Ucuz ve bol bulunurlar.

En sık kullanılan tuz hidratların bazı termo-fiziksel özellikleri Çizelge 2.7'de verilmiştir.

Çizelge 2.7. İnorganik tuz hidratları ve fiziksel özellikleri (Takgil 1999)

Malzeme	Erime Noktası	Erime Isısı (kJ/kg)	Yoğunluk (kg/lt)	Isıl iletkenlik (W/mK)	Özgül Isı (kJ/kgK)
H ₂ O	0	333	0,998(20°C)	2,2(Katı) 0,6(20°C)	2,09(Katı) 4,18(Sıvı)
KF.4H ₂ O	18,5	231	1,447(20°C)	Veri yok	1,84(Katı) 2,39(Sıvı)
CaCl ₂ .6H ₂ O	29,7	187	1,710(25°C) 1,496(Sıvı)	-	1,45(Katı)
Na ₂ SO ₄ .10H ₂ O	32,4	254	1,485(Katı)	0,544	1,93(Katı)
Na ₂ HPO ₄ .12H ₂ O	35	281	1,520(Katı) 1,442(Sıvı)	0,514(32°C) 0,476(49°C)	1,70(Katı) 1,95(Sıvı)
Zn(NO ₃) ₂ .6H ₂ O	36,4	147	2,065(25°C)	-	1,34(Katı) 2,26(Sıvı)
Na ₂ S ₂ O ₄ .5H ₂ O	48	201	1,73(Katı) 1,67(Sıvı)	-	1,46(Katı) 2,39(Sıvı)
Ba(OH) ₂ .8H ₂ O	78	267	2,180(Katı)	-	1,17(Katı)
MgCl ₂ . 6H ₂ O	116	165	1,57(25°C) 1,442(78°C)	-	1,72(Katı) 2,82(Sıvı)

Tuz hidratlarının gizli ısı depolama açısından en önemli özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Ergime gizli ısıları yüksektir.
- Ergime - katılaşma sonucunda hacim değişimi azdır.
- Organik FDM' ler ile karşılaştırıldığında, ısıl iletkenlikleri yüksektir.
- Yoğunlukları kısmen yüksek olduğundan, basit depolama üniteleri geliştirilebilir.
- Korozyon etkileri yoktur.
- Ucuz ve bol bulunurlar

Tuz hidratlar, metalik kapları korozyona uğratabileceğinden, bu maddeler için plastik kapların kullanılması korozyon yönünden avantajlıdır. Ancak bu kez de ısı iletim problemi olacaktır (Esen 1994).

Tuz hidratların çoğunda karşılaşılan en önemli problem erime-katılaşma esnasındaki faz ayrımıdır. Erime esnasında açığa çıkan kristalizasyon suyu ortamdaki katı fazı çözmek için yeterli değildir. Katı faz sıvı faza göre daha yoğun olduğundan bulunduğu kabın alt kısmına çöker. Faz ayrılması; tersinir işlem esnasında çöken tuzun önemli bir kısmı ile kristalleşmesi gereken suyun bir faz yardımıyla birbirinden ayrılması şeklinde tanımlanır. Su-Kristal faz ayrımı problemini gidermek için aşağıdaki işlemlerden birine başvurulabilir

- a) Susuz tuzun çökmesini önlemek veya süspansiyonda daha az hidrat tutmak için koyulaştırıcı bir madde kullanmak.
- b) Karıştırma, titreştirme gibi mekanik yöntemler kullanmak.
- c) Fazla su ilave ederek bu aşırı doymuş hali ortadan kaldırmaktır. Dezavantajı ise saf tuz hidrata göre volimetrik ısı depolama kapasitesindeki kayıptır. Bundan dolayı daha geniş sıcaklık periyotlarıyla çalışan depolama sistemlerine ihtiyaç gösterecektir. Soğuma boyunca erime noktasının altındaki sıcaklıklar için sudaki tuzun çözünürlüğü, tuz hidratın kristalizasyonu sonucu sıcaklıkların azalmasıyla birlikte azalır. Böylece erime noktasının altındaki sıcaklıklarda depolama ortamı, katı bir tuz hidrat fazı ve çözeltisi içerir. Isıtma ve soğutma tekrarlanırken, tuz hidratın katı fazı tamamen çözeltiye girer ve çözeltisiz bir kristalizasyon oluşur.
- d) Faz ayrımını azaltmak için FDM'yi kapsül içine koymak.

Tuz hidratların birçoğunda karşılaşılan ikinci problem ise, katılaşma esnasında tuz hidratın aşırı soğumasıdır. Yani kristal oluşum hızı çok düşük olduğu için katılaşma işlemi erime sıcaklığında gerçekleşmez. Aşırı soğumadan dolayı FDM depoladığı enerji erime noktasında değil, ancak birkaç derece düşük sıcaklıkta geri verebilir. Bu aşırı soğuma problemi aşağıda verilen yöntemlerden biri ile azaltılabilir.

- a) Maddenin kristal yapısına benzeyen küçük bir kristal parçanın ilavesiyle faz değiştiren madde kristallerinin büyümesi sağlanabilir.

- b) Heterojen çekirdekleşmeyi iletirmek için pürüzlü ısı değiştirici yüzeyi ve pürüzlü kapsül duvarları gibi mekanik vasıtalar kullanmak

2.4.3.1.2. Parafinler

Parafinler petrol türevleri olup, genel olarak C_nH_{2n+1} şeklinde belirtilen ve "alkanlar" olarak adlandırılan önemli bir bileşen içerirler. Parafin mumlarındaki n-alkan içeriği, genellikle % 75'den fazladır ve % 100'e ulaşabilir. Yaygın olarak bilinen oktadekan ($C_{18}H_{38}$) gibi saf parafinler, sadece alkanları içerir. Alkanların ergime sıcaklığı karbon atomu sayısının artmasıyla artar. Karbon atomu sayısı 14-40 arasında olan alkanların ergime sıcaklığı, $6 - 80^{\circ} C$ aralığındadır ve genellikle parafinler olarak adlandırılırlar. Ticari parafinlerin karbon atomu sayısı 8-15 arasında olabilir. Parafinler alkan zinciri uzunluğuna bağlı olarak n-parafin veya izoparafin şeklinde olabilir.

Doymuş hidrokarbonlar grubundan olan parafinler grubu içerisinde benzer özelliklerdeki bileşikler yer alır Metan (CH_4)'dan pentana (C_5H_{12}) kadar olan serideki ilk beş bileşik, oda sıcaklığında ve atmosfer basıncında gaz halindedir. Ancak bunların molekül ağırlıklarının artmasıyla buharlaşma oranları azalır. $C_{15}H_{32}$ ve C_5H_{12} arasındaki bileşikler sıvı durumdadır ve her molekülünde 15'den fazla karbon atomu bulunan bileşikler oda sıcaklığında mum gibi katı durumdadır. Bunların ergime noktaları ve ergime ısıları molekül ağırlığıyla artar. Böylece $C_{14}H_{30}$ 'dan $C_{40}H_{82}$ 'ye kadar olan seri içerisindeki bileşiklerden birinin seçilmesiyle, $6^{\circ} C$ 'den $80^{\circ} C$ 'ye kadar değişen ergime sıcaklıklarında ısı depolama için uygun parafin seçilebilir.

FDM olarak kullanılan bazı parafinlerin avantajları şunlardır;

- a) Bol ve ucuz olarak bulunabilirler
- b) Korozyif, zehirleyici ve oksitleyici değildir.
- c) Geniş bir erime aralığına sahiptir.
- d) Yüksek erime gizli ısıya sahip olabilirler
- e) Faz geçişleri hızlıdır
- f) Kimyasal olarak kararlıdır
- g) Yoğunlukları düşüktür.
- h) Önemsiz miktarda aşırı soğuma gösterirler
- i) Kendi kendine çekirdekleşebilirler

- j) Erime noktasındaki hacim değişiklikleri düşüktür
- k) Kapsüllenme tekniğiyle uyum gösterirler
- l) Aşırı doygunlukları düşüktür
- m) Yüksek nem kabiliyetine sahiptirler (Sarı 2000).

Ekonomik nedenlerden dolayı, gizli ısı depolamada FDM olarak sadece teknik esaslı parafinler kullanılabilir. Teknik yönden kaliteli parafinler, alkan serindeki birçok bileşiklerin karışımından oluştuğundan, belirli bir ergime noktasına sahip değildirler. Parafin kullanılarak ısı depolamada, aşağıdaki nedenlerden dolayı çok sayıda ısı depolama cevrimi gerçekleştirilebilir:

- Faz değişimi uygundur
- Aşırı soğuma oluşmaz
- Kimyasal kararlılıklarını sürdürebilirler

Parafinlerin FDM olarak en önemli iki olumsuz özelliği şunlardır;

- Isıl iletkenlikleri düşüktür
- Katı durumundaki ısıl genleşme katsayıları düşüktür.

Parafinlerin ısıl genleşme katsayısının neden olduğu olumsuzluklar aşağıdaki yöntemler ile önlenebilir;

- Isıl depolama ünitelerini elastik malzemeden tasarlamak
- Depolama ünitelerinde emniyet için gerekli hacim belirlemek (Öztürk 2008).

Ticari saflıktaki bazı parafinlerin termofiziksel özellikleri Çizelge 2.8 'da verilmiştir.

Çizelge 2.8. Teknik saflıktaki bazı parafin mumlarının termofiziksel özellikleri (Sarı 2000)

Ticari saflıktaki parafin mumu	İlk sıcaklığı (°C)	İlk pik sıcaklığı (°C)		Entalpi (J/g)		Katı-sıvı faz dönüşüm entalpisi	
		Erime	Katılaşma	Sıcaklık aralığı(°C)	Entalpi (J/g)	Sıcaklık aralığı(°C)	Entalpi (J/g)
PG	43,95	51,25	49,95	15,85-43,95	55,7	49,95-52,10	135,3
PSS	44,25	51,4	50,4	15,85-44,25	61,7	44,25-52,08	132,1
PSSH	43,85	51,5	50,15	15,85-13,85	60	43,85-52,05	136,9

2.4.4. Gizli Isı Depolama Sistemlerinin Etkinliği

Gizli ısı depolama sistemlerinin en önemli üstünlüğü, depolama ünitesinin küçük hacimli olmasıdır. Bu nedenle, ısı depolama ünitesinden daha az ısı kaybı oluşur. Gizli ısı depolama sistemlerinden aşağıdaki uygulamalarda daha etkin olarak yararlanılabilir.

- Hacimsel enerji gereksinimlerinin yüksek olduğu, sera veya hayvan barınakları gibi bitkisel veya hayvansal üretim yapılan tarımsal yapıların iklimlendirilmesi
- Sabit veya düşük sıcaklık aralığında enerji gerektiren uygulamalar
- Isı deposu boyutlarının önemli olduğu durumlar (Öztürk 2008).

Gizli ısı depolama sistemlerinin etkinliği üzerinde genel etmenler ve sistem tasarımında dikkate alınan etmenler Çizelge 2.9 'de verilmiştir (Öztürk 2008).

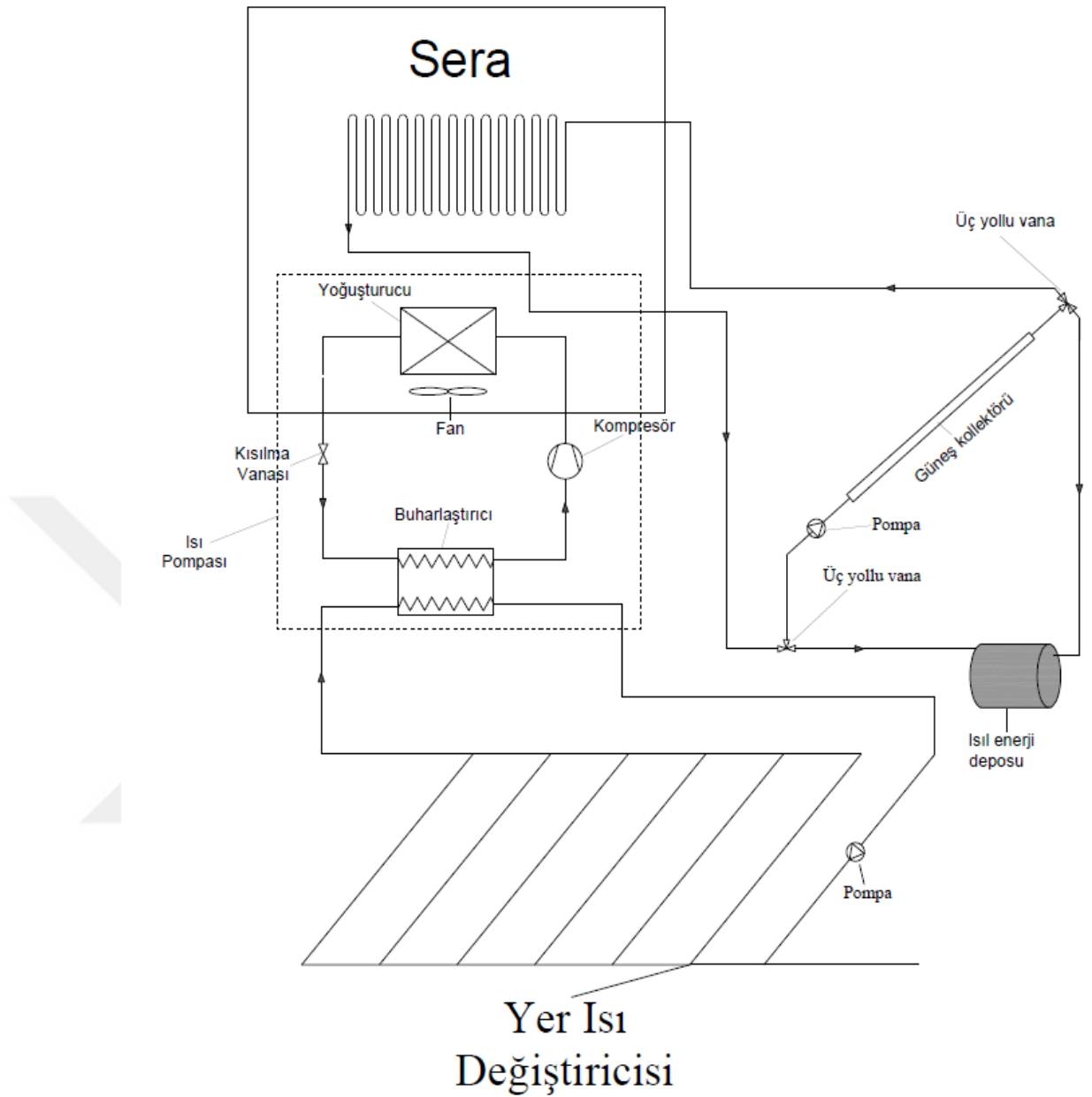
Çizelge 2.9. Gizli ısı depolama sistemlerinin etkinliği ve tasarım etmenleri

Sistem etkinliğinde etkili etmenler	Tasarımda dikkate alınan etmenler
FDM'nin termofiziksel özellikleri	Isı depolama için sıcaklık aralığı tanımlanmalıdır
Ergime katılaşma süresince ısı geçişi	Belirli sıcaklık aralığında ısı iletkenliği uygun FDM seçilmelidir
Isı değiştirici malzemesi	Katı fazdaki ısı iletken katsayısı uygun olan FDM seçilmelidir
Isı değiştirici tasarımı	Depolama ve geri kazanma işlemlerinin aynı ısı değiştirici kullanılarak gerçekleştirilmesi durumunda, ısı değiştirici tasarımına gereken önem verilmelidir.
Isı taşıyıcı akışkan hızı	Isı geçişi gerçekleşen yüzey alanını artırmak için, FDM ile ısı taşıyıcı akışkanın doğrudan teması gibi etkin yöntemler uygulanmalıdır.
Isı taşıyıcı akışkanın termofiziksel özellikleri	Isı geçiş hızının azalmaması için, ısı değiştirici kullanılmalıdır.
Sıcaklık, ısı geçişi ve depolanan ısıнын zamanla değişimi	Geri kazanılacak ısı miktarının belirlenmesinde, çalışma ve bekleme sürelerindeki ısı kayıpları dikkate alınmalıdır.
FDM ve ısı taşıyıcı akışkan arasındaki düşük sıcaklık farkıyla, depolanan ısıнын uygun olarak taşınması	Isı deposundaki basınç azalması, sistemde kullanılan fanlarla karşılanabilecek bir değerde tutulmalıdır.
Isı deposunun ortalama sıcaklığı	FDM 'nin ısı deposu malzemesiyle uygunluğu araştırılmalıdır.
Isı depolama ünitesi	FDM için laboratuvar testleri yapılmalıdır.
Isı geri kazanma süresi	Depolanan ve geri kazanılan ısı miktarı ile bu işlemler için tüketilen enerji miktarı dikkate alınarak, ekonomik uygulanabilirlik saptanmalıdır.
Isı deposunun yalıtımı	
Isı deposunda oluşan ısı kayıpları	

3. MATERİYAL VE YÖNTEM

Belirli boyutlardaki bir seranın, kış sezonu boyunca (1 Ekim - 31 Mart)güneş kollektörlerinden elde edilen sıcak suyun sera içerisinde dolaştırılmasıyla ve bunun yeterli olmadığı zamanlarda ise toprak kaynaklı ısı pompasını devreye sokacak bir sistemle ısı ihtiyacının karşılanmasına yönelik bir çalışma yapılacaktır. Güneş kollektörlerinden elde edilen ısının, sera ısı ihtiyacından fazla olduğu dönemlerde ise elde edilen bu fazla ısı, içerişi $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (Kalsiyum klorür heksahidrat) dolu termal enerji deposunda depolanarak, gece vakitlerinde ve güneş enerjisinin yetersiz kaldığı gündüz vakitlerinde kullanılmak üzere depolanacaktır. Bunun için sistemin çalışma sıcaklığına sahip bir faz değişim malzemesinin, gizli ısı depolama özelliğinden faydalanılacaktır. Güneş kollektörlerinden elde edilen enerjinin ve termal enerji deposundaki enerjinin yetersiz kaldığı durumlarda ise toprak kaynaklı ısı pompası devreye girecektir. Bu sistem Şekil 3.1’de gösterilmiştir.

Seranın ısıtma ihtiyaç zaman aralığı olarak 1 Ekim 2013-31 Mart 2014 tarihleri arası kabul edilmiş ve hesaplar 6 aylık bu zaman dilimi için yapılmıştır. Bunun için öncelikle Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (DMİGM) ‘den belirtilen zaman aralığı için saatlik dış hava sıcaklıkları, güneş ışınımı şiddeti değerleri ve çeşitli derinliklerdeki toprak sıcaklıkları temin edilmiştir. 1 Ekim 2013 - 31 Mart 2014 tarihleri arasındaki Bursa - Merkez istasyonundan elde edilen saatlik dış hava sıcaklıkları Ek-1’de, güneş ışınımı şiddeti değerleri Ek-2 ‘de yer almaktadır.



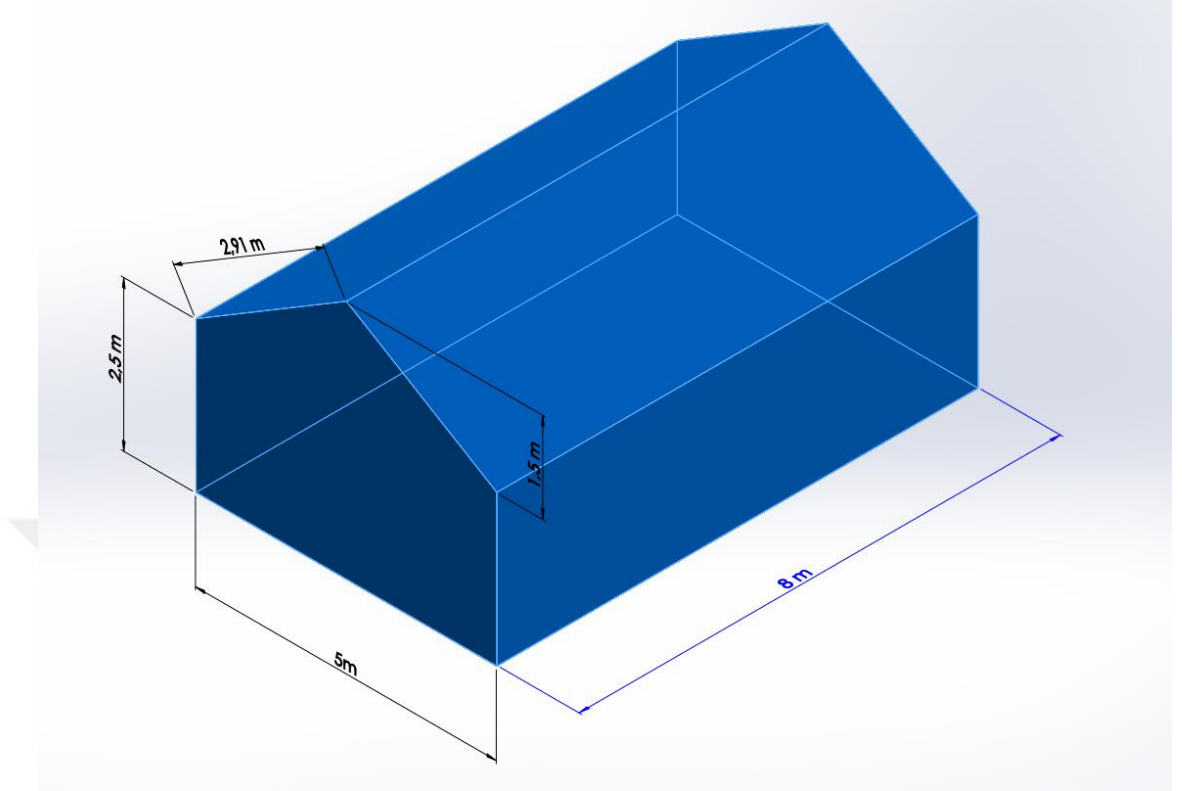
Şekil 3.1. Güneş enerjisi destekli toprak kaynaklı ısı pompası sistem şeması

3.1. Sistem Tasarım Değişkenleri Seçimi

Üzerinde çalıştığımız sera ısıtma sistemi birçok değişkenden oluşmaktadır. Bu kısımda bu değişkenlerden adım adım bahsedilecektir.

3.1.1.Sera Isı Kaybının Hesaplanması

Isıtılması planlanan sera biçimsel olarak Şekil 3.2’de görüldüğü gibi ikizkenar üçgen çatılı olacak şekilde seçilmiştir. Sera kaplama malzemesi olarak çift katlı polietilen tercih edilmiştir.



Şekil 3.2. Çalışma yapılan seranın 3 boyutlu görünümü

Sera ısı kaybı aşağıdaki formülle hesaplanabilir (Kahvecioğlu 2005).

$$Q_s = \left[\frac{A_1}{R_1} + \frac{A_2}{R_2} \right] \cdot (T_i - T_d) \cdot f_w \cdot f_c \cdot f_s \quad (3.1)$$

A_1 : Sera yanıl alanı (m^2)

A_2 : Sera çatı alanı (m^2)

R_1 : Yanıl alan malzemesinin ısııl direnci (m^2K/W)

R_2 : Çatı alanı malzemesinin ısııl direnci (m^2K/W)

T_i : Minumum sera iç sıcaklık değeri ($^{\circ}C$)

T_d : Dış hava sıcaklık değeri ($^{\circ}C$)

f_w : Rüzgar faktörü

f_c : Yapı faktörü

f_s : Sistem faktörü

$$A_1 = 2 \times 8 \times 2,5 + 2 \times 5 \times 2,5 + 2 \times \frac{5 \times 1,5}{2} = 72,5 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 2 \times 2,91 \times 8 = 46,56 \text{ m}^2$$

Rüzgar faktörü Çizelge 3.1 ile gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Rüzgar faktörü (f_w)

Rüzgar hızı (km/h)	Rüzgar veya ısı faktörü (f_w)
25 'den az	1.00
30	1.03
40	1.08
50	1.13
60	1.18
70	1.22

Yapı faktörü Çizelge 3.2 ile gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Yapı faktörü (f_c)

Sera Tipleri	İnşaat faktörü (f_c)
Tümü metal, sıkı camlı, bindirmeli	1.08
Kimi yerlerde gevşek camlı	1.15 – 1.20
Ağaç çerçeve, çelik oluklu, sıkı konstrüksiyon	1.05
Ağaç çubuklu, havalandırılmalı vb., iyi, sıkı sızdırmazlı	1.00
Orta seviyede	1.10
Gevşek fittings	1.20 – 1.30
Fiberglas contalı	0.95
Sızdırmaz contalı	0.90 – 0.95
Çift katlı akrilik veya polikarbon	0.90

Sistem faktörü Çizelge 3.3 ile gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. Sistem faktörü (f_s)

Isıtıcılarla ısı temini	1.15
Sistemde %50 radyasyon ve konveksiyon borulu sistem	1.10
Su borulu sirkülasyon	1.15
Toprağa ve cama yakın ısıtma	1.00
Soğuk günlerde cam seralarda 20 °C sıcaklık	0.95

Sera yapı malzemelerinin ısı dirençleri Çizelge 3.4 ile gösterilmiştir.

Çizelge 3.4. Sera yapı malzemelerinin ısı dirençleri (R)

Malzeme		Kalınlık	RSI değerleri ($\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}$)
Cam	Tek cam	3	0.15
	Çift Cam (6 mm hava boşluklu)		0.27
	Fiberglas		0.16
	Plastik	0.15	0.14
	Çift Akrilik veya Polikarbonat	6 - 12	0.30 – 0.35
	Hava Boşluklu Çift Katlı Naylon		0.25 – 0.28
İnşaat Malzemeleri	Asbestos Çimento	6	0.16
	Ağaç	25	0.30
	Beton	100	0.20
		150	0.23
Beton Blok		200	0.35
	İzolasyonlu Rijid Polystrene	25	0.88
	Polietilen Foam	25	1.10

Bazı bitkilerin yetiştirme döneminde istedikleri optimum sıcaklıklar Çizelge 3.5 ile gösterilmiştir.

Çizelge 3.5. Bazı bitkilerin yetiştirme devrelerinde istedikleri optimum sıcaklıklar
(Günhan 1998)

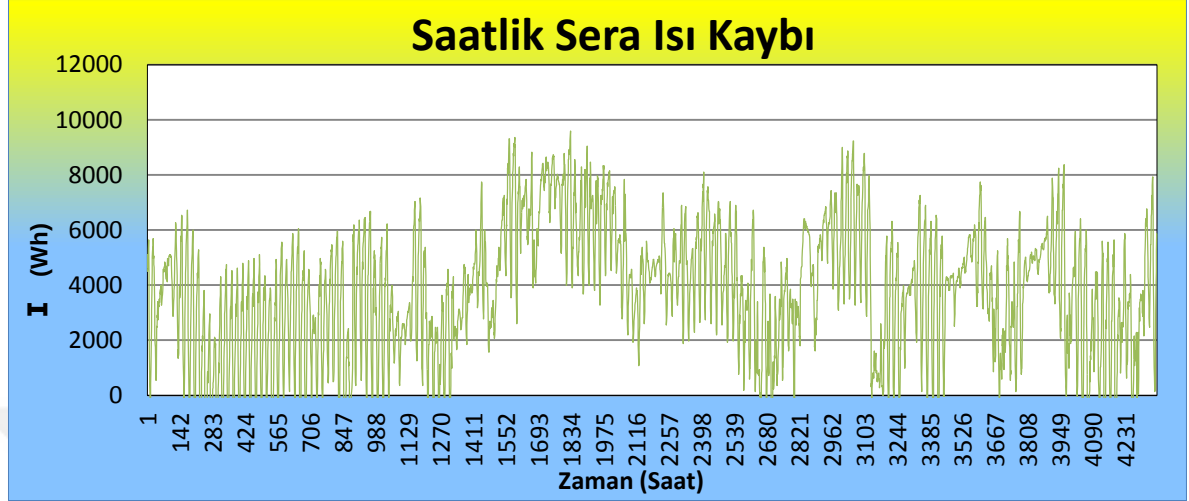
Bitki	Sıcaklık İsteği (°C)	Bitki	Sıcaklık İsteği (°C)
Domates	16.0 -19.0	Bakla	10.0 – 14.0
Hıyar	18.0 – 30.0	Havuç	15.5 – 21.0
Patlıcan	15.0 – 35.0	Kereviz	15.0 – 21.0
Biber	15.5 – 21.1	Kavun	15.0
Fasulye	15.5 – 21.0	Karpuz	12.0 – 15.0
Kabak	16.0 – 25.0	Karnabahar	10.0 – 24.0
Bamya	16.0	Lahana	15.5 – 21.5
Kuşkonmaz	16.0 – 24.0	Ispanak	10.0 – 18.0
Bezelye	12.5 – 18.0		

Serada domates yetiştirildiği, bunun için sera içi istenilen sıcaklığın $T_i = 18^\circ\text{C}$ olduğu durum için hesaplamalar yapılmıştır.

Rüzgar faktörü, yapı faktörü ve sistem faktörü değerleri sırasıyla 1.03, 1 ve 0,95 olarak ilgili çizelgelerden alınmıştır. Hesaplar yapılırken seranın ısı kazançları ihmal edilmiştir. Sera kaplama malzemesi çift katlı polietilenin ısı direnci $R_{PE} = 0,26 \text{ m}^2\text{K/W}$ olarak alınmıştır. Denklem (3.1) kullanılarak seranın 6 ay boyunca saatlik ısı kayıpları hesaplanmıştır. Örnek teşkil etmesi için sezonun ilk saati (1 Ekim 2013 saat 00.00) için sera ısı kaybını hesaplayalım. Öncelikle DMİGM’ den alınan dış hava sıcaklık değerlerine bakıldığında, belirtilen tarih ve saat için dış hava sıcaklığı $T_d = 8^\circ\text{C}$ olarak okunup denklem (3.1)’de yerine yazılırsa;

$$Q_s = \left[\frac{72,5}{0,26} + \frac{46,56}{0,26} \right] \times (18-8) \times 1 \times 0,95 \times 1,03 = 4480\text{W} = 4,480 \text{ kW} \text{ olarak bulunur.}$$

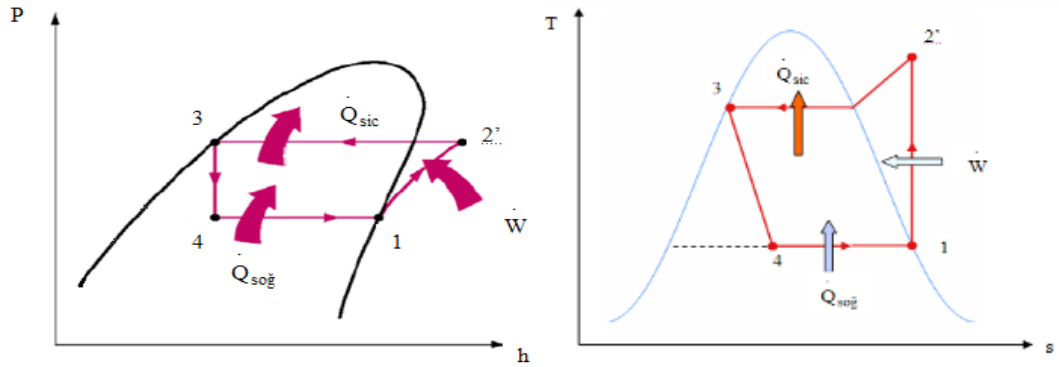
Bulunan değeri anlık olarak sera ısı kaybını gösterir. Hesaplamalar saatlik olarak yapıldığında seradaki saatlik ısı kaybı 4,480 kWh olarak bulunur. Şekil 3.3 'de 6 aylık dönem için saatlik olarak hesaplanan değerler gösterilmektedir.



Şekil 3.3. Saatlik sera ısı kaybı

3.2. Isı Pompası Tasarımı

Isıyı seraya aktaran sistem olan ısı pompasının tasarımı bazı kriterler göz önünde bulundurularak yapılacaktır. Isı pompası sisteminin prensip şeması ve P-h ve T-s diyagramları Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Isıl enerji depo kaynaklı ısı pompası çalışma ilkesi P-h ve T-s diyagramları

Burada;

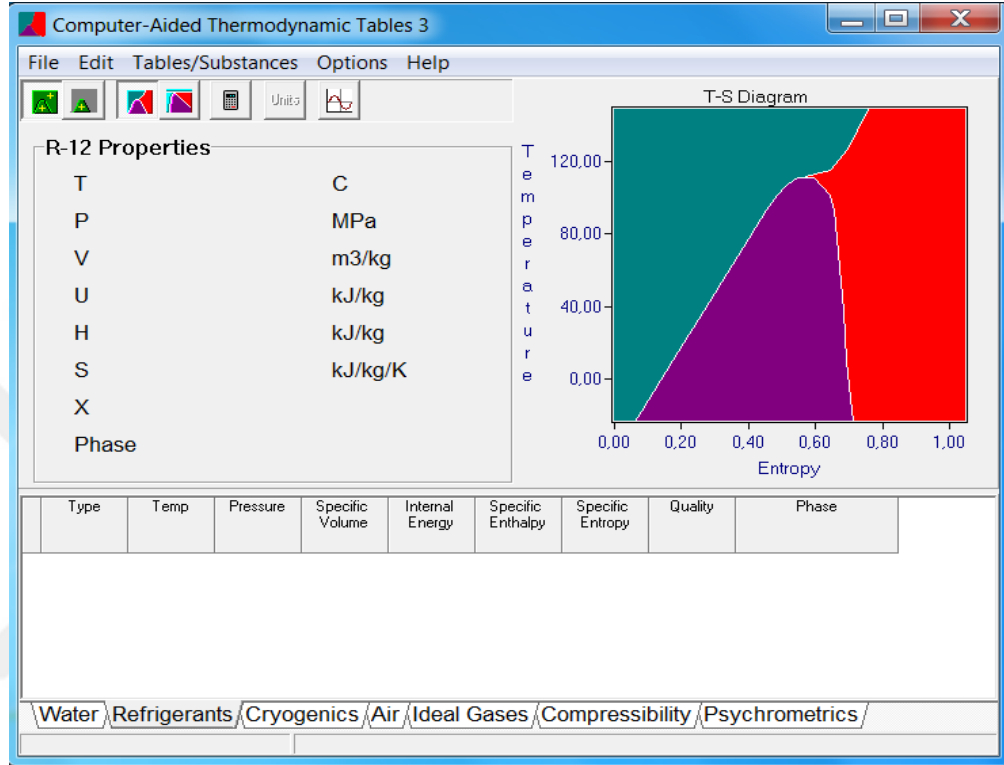
h_1 = Buharlaştırıcı çıkışındaki soğutucu akışkan entalpisi (kJ/kg)

h_{2s} = Kompresör çıkışındaki soğutucu akışkan entalpisi (kJ/kg)

h_3 = Yoğuşurucu çıkışındaki soğutucu akışkan entalpisi (kJ/kg)

h_4 = Buharlaştırıcı girişindeki soğutucu akışkan entalpisi (kJ/kg)

Entalpileri ve basıncı okumak için Computer - aided thermodynamic tables -3 programı kullanılabilir. Bu programın arayüzü Şekil 3.5 'te gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Computer-aided thermodynamic tables -3 programının arayüzü

Buharlaştırıcı sıcaklığı için aylık ortalama toprak sıcaklıklarına göre bir kabul yapılmıştır. Toprak sıcaklığının özellikle kış aylarında düşmesine bağlı olarak buharlaştırıcı sıcaklıkları da düşecektir. Bunun için öncelikle aylık ortalama toprak sıcaklıkları hesaplanıp, buna bağlı olarak ta buharlaştırıcı sıcaklıkları Çizelge 3.6 ile gösterilmiştir.

Çizelge 3.6. Aylık ortalama toprak sıcaklıklarına göre kabul edilen buharlaştırıcı sıcaklıkları

Ay	Ortalama aylık toprak sıcaklıkları (°C)	Kabul edilen buharlaştırıcı sıcaklıkları (°C)
EKİM	18,13	10
KASIM	13,17	6
ARALIK	9,29	2
OCAK	7,51	-2
ŞUBAT	8,27	0
MART	11,3	4

Yoğuşturucu basınç ve sıcaklığı için ise, serada dolaştırılacak suyun gerekli olan gidiş dönüş sıcaklıkları göz önünde bulundurulmalıdır. Seranın sıcaklığının devamlı 18°C de tutulacağı düşünülürse, suyun seraya giriş sıcaklığının 38°C, seradan çıkış sıcaklığının da 27°C olarak alınması uygun görünmektedir. Bu durumda yoğuşturucu sıcaklığı da 40°C alınabilir.

Kompresör çıkışı gerçek entalpi değeri için denklem (2.9), gerçek kompresör işi içinse denklem (2.13) kullanılır.

Üretici firma tarafından alınan katalog doğrultusunda kompresörün mekanik, elektrik motor ve kayış kasnak verimi aşağıdaki gibi alınır.

η_K : Kompresör iç verimi : (0,76 - 0,82) $\rightarrow$ 0,80

η_{Mk} : Mekanik verim : (0,75 - 0,90) $\rightarrow$ 0,80

η_{EM} : Kayış kasnak verimi : (0,95)

η_{KK} : Elektrik motor verimi : (0,95 - 0,98) $\rightarrow$ 0,96 alınır.

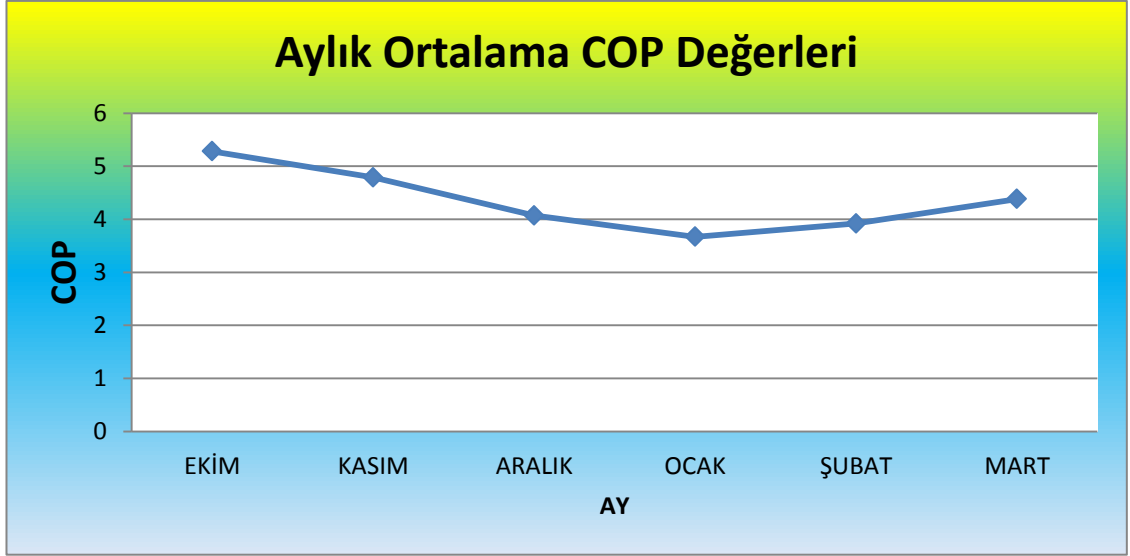
Yoğuşturucudan atılan ısı için denklem (2.10), ısı pompası performans katsayısı COP içinse denklem (2.14) kullanılır.

Bu denklemlerle yapılan hesaplamalar sonucunda aylık ortalama COP değerleri izelge 3.7 ile verilmiştir.

Çizelge 3.7. Buharlaştırıcı sıcaklıklarına göre hesaplanan COP değerleri

	Buharlaştırıcı sıcaklıkları					
Entalpi	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	şubat	Mart
	10°C	6°C	2°C	-2°C	0°C	4°C
h_1 (kJ/kg)	404	402	399	397	398	400
h_{2s} (kJ/kg)	423	423	424	425	424	423
h_3 (kJ/kg)	256	256	256	256	256	256
h_4 (kJ/kg)	256	256	256	256	256	256
Değerler	Entalpi değerlerine bağlı değerler					
h_2 (kJ/kg)	428	428	430	432	431	429
W_k (kJ/kg)	32,55208	35,9786184	42,83169	47,97149	44,54496	39,40515
Q_y (kJ/kg)	171,75	172,25	174,25	176	174,5	172,75
COP	5,28	4,79	4,07	3,67	3,92	4,38

Aylık ortalama toprak sıcaklıklarına göre hesaplanan COP değerleri şekil 3.6 ile verilmiştir.



Şekil 3.6. Aylık COP değerleri

3.3. Toprak Isı Değiştiricisinde Suya Aktarılan Isı Miktarının Hesaplanması

Toprağın sıcaklığının zamana ve derinliğe bağlı değişiminin hesaplanması için, belirlenmesi gereken üç önemli husus vardır. Bunlar; toprağın yüzeydeki ortalama sıcaklığı T_m , toprak yüzeyindeki sıcaklığın değişim miktarı T_0 ve periyodun başlangıç noktası ($t = 0$ değeri) nin yılın hangi gününü ifade ettiğidir.

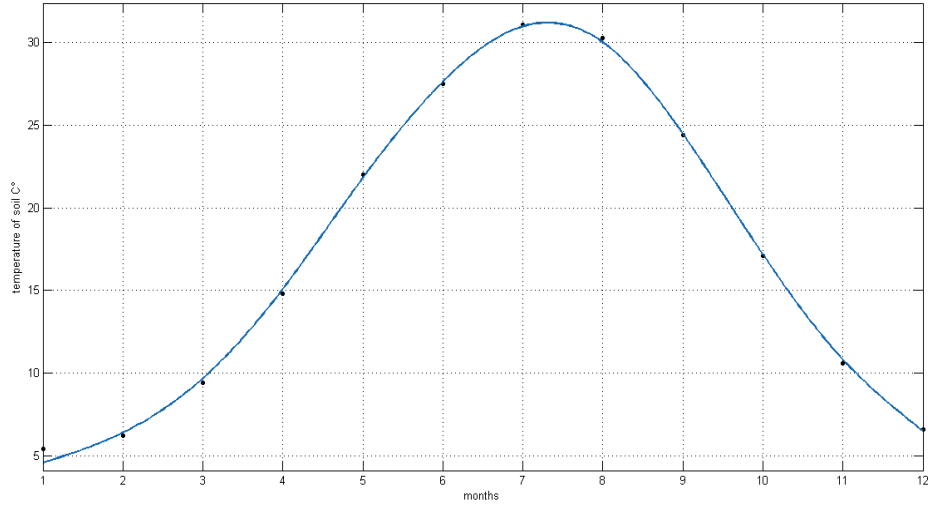
Toprağın yüzeydeki ortalama sıcaklığının hesaplanabilmesi için, Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğünden Bursa - Merkezdeki 5 cm, 20 cm, 50 cm ve 100 cm derinlikteki toprağın son 20 yıla ait ay bazında sıcaklık ortalamaları temin edilmiştir. Bu sıcaklık değerleri Çizelge 3.8 ile verilmiştir.

Çizelge 3.8. Bursa Merkezde son 20 yıla ait çeşitli derinliklerdeki ortalama toprak sıcaklıkları

Ay	5 cm	20 cm	50 cm	100 cm
	Sıcaklık (°C)			
OCAK	5,4	5,9	7,7	9,4
ŞUBAT	6,2	6,3	7,4	8,13
MART	9,4	9,1	9,5	9,7
NİSAN	14,8	13,8	13,0	12,2
MAYIS	22,0	20,3	18,3	16,2
HAZİRAN	27,5	25,6	23,3	20,5
TEMMUZ	31,1	29,1	27,0	23,9
AĞUSTOS	30,3	28,9	27,7	25,5
EYLÜL	24,4	24,1	24,5	24,0
EKİM	17,1	17,6	19,3	20,4
KASIM	10,6	11,4	13,7	15,8
ARALIK	6,6	7,4	9,6	11,8

Çizelge 3.8 deki 5 cm derinlik (toprak yüzeyi) için MATLAB programında Curve Fitting arayüzüyle eğri uydurulup, bu eğrinin ortalaması alındığında yüzeydeki ortalama toprak sıcaklığı $T_m = 17,12$ bulunur. Toprak yüzeyindeki sıcaklığın genliği ise $T_o = 13,98$ olarak bulunur.

Trigonometrik fonksiyonların, -1 ile +1 değerleri arasında tanımlı olduğundan yola çıkarak, yüzeydeki toprak sıcaklığının maksimum olduğu zamana denklem (2.23) deki “ t^* ” değişkeninin sıfır olması ile ulaşılabilir. Dolayısıyla yüzeydeki toprak sıcaklığının maksimum olduğu gün periyodik hareketin başlangıç ve aynı zamanda bitiş noktasını belirtmektedir (Diz 2001).



Şekil 3.7. Bursa-Merkez yüzeydeki ortalama toprak sıcaklığı

MATLAB ortamında oluşturduğumuz eğri incelendiğinde toprak yüzeyindeki sıcaklığın en büyük olduğu zaman, temmuz ayının ilk haftasına geldiği gözlemlenmiştir. Bu nedenle "t*" değişkeninin başlangıcı olarak, 3 Temmuz tarihi belirlenmiştir.

Denklemlerde toprağın fiziksel özellikleri ısı yayılma katsayısı "a" terimi ile alınmıştır. Değişik toprak cinslerinin fiziksel özellikleri birbirinden farklı olduğuna göre; hesaplamaların yapıldığı yerin toprak cinsi deneysel olarak belirlenmelidir.

Değişik toprak cinsleri için ısı iletim ve yayılma katsayıları Çizelge 3.9 da gösterilmiştir.

Çizelge 3.9. Değişik toprak tiplerinin ısı özellikleri (Plass 1995)

Toprak tipi	k_t	a_t
	$W/m^{\circ}C$	$m^2/gün$
% 43 sulu kalkerli toprak	0,71	0,015
Kuartzlı, orta derecede iyi, kuru kum	0,26	0,018
Kuartzlı kum (% 8,3 nemli)	0,588	0,029
% 15 nemli kumlu kil	0,92	0,031
Kuru toprak	0,17-0,35	0,018-0,027
Nemli toprak	1,38-3,46	0,045-0,089
Çamur	0,86	0,020

İnceleme yaptığımız seranın bulunduğu Bursa - Merkez deki toprak yapısı için ‘nemli toprak’ kategorisinde bulunan değerleri kullanmamız uygun olacaktır.

Çizelge 3.9 ‘dan toprağın ısı iletim katsayısı $k_t = 2,42 \text{ W/m}^\circ\text{C}$, toprağın ısıl yayılım katsayısı $a_t = 0,067 \text{ m}^2/\text{gün}$ olarak alınır.

3.4. Toprak Isı Değiştiricisi Boru Boyunun Hesaplanması

Toprak altından bulunan ısı değiştiricisinin toplam uzunluğu denklem (3.2) ve denklem (3.3)’ün yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$L_1 = \frac{572 [(COP_1 - 1) / COP_1] \times (R_b + R_t \times F_i)}{T_d - T_{min}} \quad (3.2)$$

$$L = Q_1 \times L_1 \quad (3.3)$$

Burada:

L_1 : kW başına gerekli olan boru uzunluğu(m/kW)

COP_1 : Isı pompası ısıtma tesir (performans) katsayısı

R_t : Toprak direnci($\text{m}^\circ\text{C}/\text{W}$)

R_b : Boru direnci ($\text{m}^\circ\text{C}/\text{W}$)

T_d : En düşük toprak sıcaklığı($^\circ\text{C}$)

T_{min} : Isı değiştiricisine giren minimum su sıcaklığı($^\circ\text{C}$)

F_i : Isıtma çalışma faktörü

Burada;

$$COP_1 = 5,28$$

$$T_d = 7,35 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{min} = 2 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$R_b = 0,17 \text{ (Çizelge 3.11’den yatay boru için alınmıştır)}$$

$$R_t = 1,03 \text{ (Çizelge 3.10’ dan enterpolasyon yöntemi kullanılarak 100 cm derinlik ve } \frac{3}{4} \text{ ” boru çapına göre belirlenmiştir).}$$

Çizelge 3.10. Farklı tipteki toprak için ısıl dirençler (Miles 1994)

		R _t (AĞIR TOPRAK-NEMLİ)										R _t (KAYA)
		R _t (AĞIR TOPRAK-KURU VEYA HAFİF TOPRAK-NEMLİ)										R _t (AT-NEMLİ)
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	
BORU ÖLÇÜSÜ	3/4"	1.02	1.06	1.09	1.11	1.31	1.37	2.05	2.15	2.11	1.88	0.6
		1.38	1.44	1.47	1.49	1.77	1.84	2.75	2.86	2.85	2.53	1.06
	1"	0.97	1.02	1.04	1.06	1.26	1.32	2	2.1	2.07	1.84	0.57
		1.32	1.37	1.4	1.42	1.7	1.77	2.88	2.79	2.78	2.47	1.01
	1 1/4"	0.92	0.97	0.99	1.01	1.22	1.27	1.96	2.05	2.02	1.79	0.54
		1.25	1.31	1.34	1.36	1.63	1.7	2.61	2.72	2.71	2.4	0.96
	1 1/2"	0.89	0.94	0.97	0.98	1.19	1.25	1.92	2.02	1.99	1.76	0.53
		1.21	1.27	1.3	1.32	1.59	1.66	2.57	2.68	2.67	2.36	0.94
	2"	0.85	0.89	0.92	0.94	1.14	1.2	1.88	1.98	1.94	1.71	0.5
		1.15	1.2	1.24	1.26	1.53	1.6	2.51	2.62	2.61	2.29	0.89

Toprak kaynaklı ısı değiştiricisinde kullanılan borular $d = \frac{3}{4}$ " çapa sahiptir. Su modül boru akış hızı $u=0,5$ m/s, ısı değiştiricisi gömme derinliği ise 100 cm olarak alınmıştır.

Çizelge 3.11. Boru direnci (Miles 1994)

R _b (yatay) / R _b (düşey)				
Boru çapı	PESCH - 40	PESDR - 11	PESDR - 17	PESDR -13.5
3/4"	0.17 / 0.116			
1"	0.159 / 0.109			
1 1/4"	1.130 / 0.089	0.144 / 0.096	0.16 / 0.11	0.20 / 0.14
1 1/2"	0.117 / 0.080			
2"	0.098 / 0.068			

Isıtma çalışma faktörü ise denklem (3.4) ile bulunur.

$$F_1 = \frac{\text{Yoğuşturucudan verilen ortalama ısı}}{\text{Isı pompasının ısıtma kapasitesi}} \quad (3.4)$$

Seramızın ısı kayıpları incelendiğinde, 16 Aralık 2013 tarihinde saat 06.00'da ısı kaybının 9,58 kW olduğu gözlemlenmiştir. Bu yüzden ısı pompasının kapasitesinin 10 kW olarak belirlenmesi uygun görülmüştür.

Yoğuşturucudan verilen toplam ısı	Isı pompası toplam çalışma saati	Ortalama verilen ısı	Isı pompasının ısıtma kapasitesi	Isıtma çalışma faktörü
Σ Toplam verilen ısı = 10820 kW	Σ saat = 2265	4,77 kW	10 kW	$F_1 = 4,77/10 = 0,477$

$F_1 = 0,477$ bulunur.

$$L_1 = \frac{572 [(5,28 - 1) / 5,28] \times (0,17 + 1,02 \times 0,477)}{7,35 - (2)} = 56,90 \text{ m/kW}$$

Bu durumda toplam boru boyu;

$$L = Q_1 \times L_1 = 10 \times 56,90 \cong 570 \text{ m olarak bulunur.}$$

Sistemde $L = 95 \text{ m}$ ve $n = 6$ olarak alınmıştır. Toprak kaynaklı ısı değiştiricisinde kullanılan borular $d = \frac{3}{4} \text{ ''}$ çapa sahiptir. Çizelge 3.12 'den değerler okunursa iç çap $d_i = 21,1 \text{ mm} = 0,0211 \text{ m}$ olarak alınır. Su modül boru akış hızı $u = 0,5 \text{ m/s}$, ısı değiştiricisi gömme derinliği ise 100 cm olarak alınmıştır.

Suyun toprak ısı değiştiricisine giriş sıcaklığı $T_{s1} = 2^\circ\text{C}$ alınmış ve sabit kabul edilmiştir. Suyun özgül ısı $c_p = 4212,5 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$ ve yoğunluğu $\rho_s = 1000 \text{ kg/m}^3$ alınmıştır.

Çizelge 3.12. Boru anma çapları ve iç çapları (DN Standartları)

ANMA ÇAPI (mm)	DIŞ ÇAP(mm)	CİDAR KALINLIĞI(mm)	İÇ ÇAP (mm)
1/2"	21,3	2,8	15,7
3/4"	26,9	2,9	21,1
1"	33,7	3,4	26,9
1 1/4"	42,4	3,6	35,2
1 1/2"	48,3	3,7	40,9
2"	60,3	3,9	52,5
2 1/2"	73,0	5,20	62,6
3"	88,9	5,5	77,9
4"	114,3	6	102,3

Öncelikle modül boru su debisini hesaplarırsa;

$$m = \rho_{s,u} \cdot \frac{\pi \cdot d_i^2}{4} \quad m = 1000 \times 0,5 \cdot \frac{\pi \cdot 0,0211^2}{4} = 0,1748 \text{ kg/s}$$

Örnek olması açısından sezonun ilk günü için (1 Ekim 2013) için 1 m derinlikteki toprak sıcaklığı hesaplanacak olunursa, bunun için denklem (2.23) 'de değerler yerine konulursa;

$$T(x,t) = 17,12 + 13,98 \cdot e^{-100 \sqrt{\frac{\pi}{(0,00775 \times 365 \times 24 \times 3600)}} \cos(2\pi \cdot \frac{91}{365} - 100 \sqrt{\frac{\pi}{(0,00775 \times 365 \times 24 \times 3600)}})$$

Daha önceki bölümlerde t^* değeri için 3 Temmuz tarihi sıcaklığın en yüksek olduğu zaman olarak tespit edilmişti. Dolayısıyla 3 Temmuzda $t^* = 0$ olur. 1 Ekim tarihi ise 91.güne denk gelmektedir.

Hesaplamalar yapıldığında 1 Ekim 2013 tarihinde 1 metre derinliğindeki toprak sıcaklığı $T_{top} = 20,59^\circ\text{C}$ olarak bulunmuştur.

Topraktan elde edebileceğimiz ısı miktarı, buharlaştırıcının ısı ihtiyacından fazla olduğu durumlarda modül boru su debisi $m = 0,1748 \text{ kg/s}$ olarak sabit alınmıştır. Ancak $m = 0,1748 \text{ kg/s}$ olduğu durumlarda ve toprak sıcaklığının düştüğü kış aylarında topraktan elde edebileceğimiz ısı miktarı, buharlaştırıcının ısı ihtiyacından daha düşük

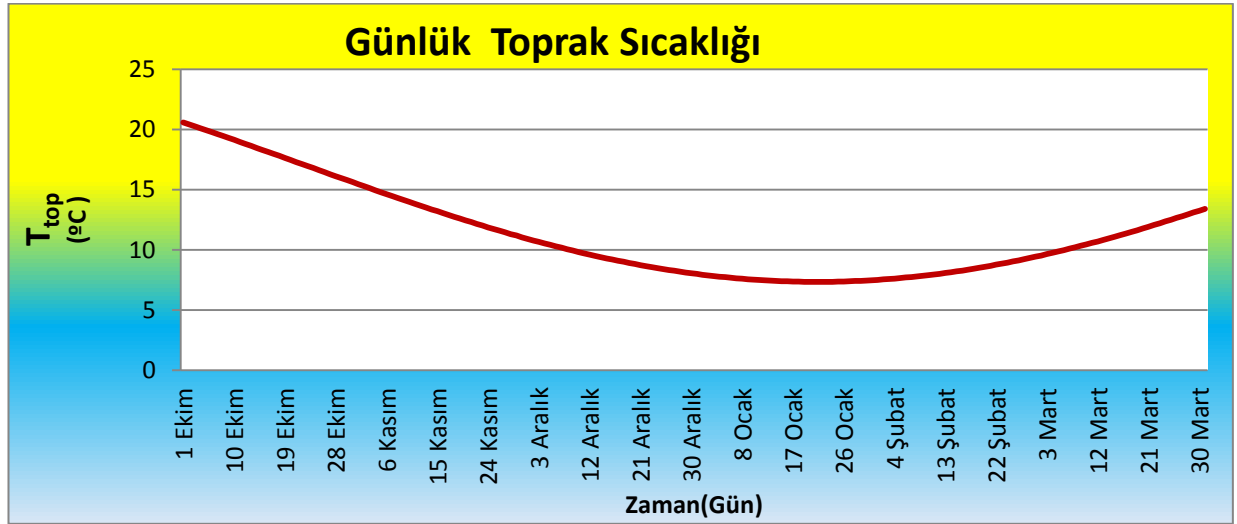
olduğu durumda modül boru su debisi de değişecektir. Örneğin 3 Şubat saat 06.00'da 1 metre derinliğinde toprak sıcaklığı 7,58 °C olarak hesaplanmıştı. Modül boru su debisinin $m=0,1748$ kg/s olduğu durumda aynı gün ve saat için, topraktan elde edebileceğimiz ısı miktarı 6,600 kWh olarak hesaplanmıştı. Aynı gün ve saat için buharlaştırıcı ısı ihtiyacı 7,398 kWh olarak bulunmuştu. Bu durumda sabit $m=0,1748$ kg/s debisinde buharlaştırıcı ısı ihtiyacının karşılanamadığı görülmüştür. 7,398 kWh için gerekli modül boru su debisini hesaplanırsa;

$$m = \frac{Q_t}{n \cdot c_p \cdot (T_{top} - T_{s1}) \cdot \left[1 - e^{-\frac{-kt \cdot F(z) \cdot L}{m \cdot c_p}} \right]} = \frac{7398}{(6) \cdot (4212,5) \cdot (7,58 - 2) \cdot \left[1 - e^{-\frac{(-2,42) \cdot (1,052554) \cdot (90)}{m \cdot c_p}} \right]}$$

iterasyon yapılarak bulunan değer $m = 0,7350$ kg/s olarak bulunur.

6 aylık zaman dilimi için bilgisayar ortamında hesaplamalar yapılmış ve böyle 6 aylık zaman dilimindeki saatlik suya aktarılan ısı bulunmuştur.

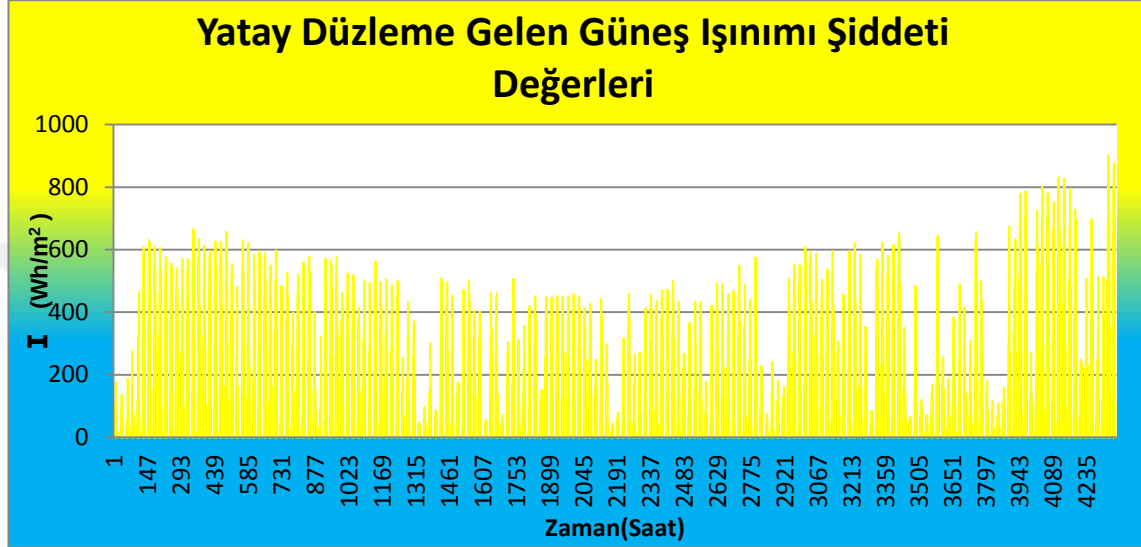
1 m derinlikteki toprak sıcaklıkları günlük olarak hesaplanmış ve Şekil 3.8'te gösterilmiştir.



Şekil 3.8. 1 metre derinlik için hesaplanan günlük toprak sıcaklığı

3.5. Güneşten Elde Edilen Faydalı Isının Hesaplanması

Meteorolojiden almış olduğumuz saatlik güneş ışıını şiddeti, yatay düzleme gelen toplam ışıını şiddetidir. Oysaki kollektörler güneş ışıını maksimum derecede almak için yatayla belirli açı yapacak şekilde yerleştirilirler. Şekil 3.9 yatay düzleme gelen güneş ışıını şiddetini göstermektedir.



Şekil 3.9. Yatay düzleme gelen güneş ışıını şiddeti değerleri

Eğik yüzeye gelen toplam güneş ışıını şiddetini bulmak için öncelikle geometrik faktör R_b denklem (2.3) ile bulunur. Kuzey yarımküre içinse geometrik faktör denklem (2.4) ile bulunur.

Saat açısı ω denklem (2.2) ile Deklinasyon açısı δ ise denklem (2.1) ile bulunur.

Denklem (2.4) 'te yer alan β eğim açısı 35° alınmıştır. Bursa'nın enlem derecesi $40,1^\circ$ tir. Örnek olması açısından sezonun ilk saati için R_b değerini hesaplayalım:

$$R_b = \frac{\cos(40,1-35)\cos(-9,6)\cos(-180)+\sin(40,1-35)\sin(-9,6)}{\cos(40,1)\cos(-9,6)\cos(-180)+\sin(40,1)\sin(-9,6)}$$

$R_b = 1,16$ olarak bulunur.

Güneş kolektörlerine gelen anlık toplam ışı nım şiddeti ise aşağıdaki eşitlikle hesaplanır:

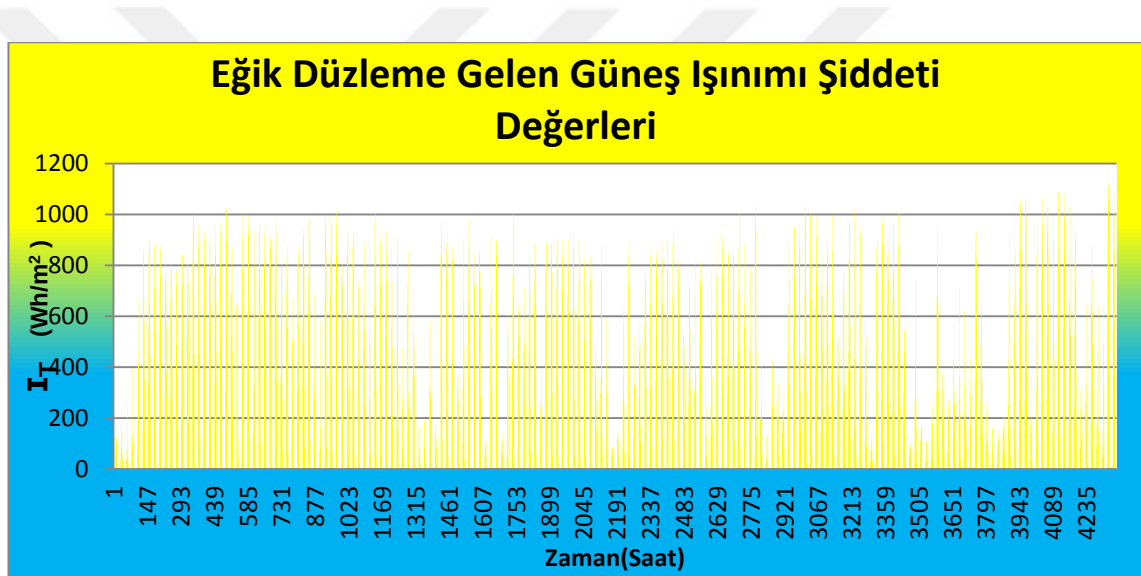
$$I_T = I \times R_b \quad (3.5)$$

Burada,

I : Yatay düzleme düşen anlık toplam ışı nım (kWh/m^2)

I_T : Eğik düzleme düşen anlık toplam ışı nım (kWh/m^2)

Şekil 3.10 ‘da eğik düzleme gelen anlık toplam ışı nım şiddetini göstermektedir.



Şekil 3.10. Eğik düzleme gelen anlık toplam ışı nım şiddeti

Kollektörden akışkana geçen toplam faydalı ısı ise;

$$Q_{fay} = A_c \times I_T \times \eta_{kol} \times \eta_m \text{ (kWh)} \quad (3.6)$$

Bu denklemde ;

I_T : Kollektör birim alanına düşen saatlik ışı nım

η_{kol} : Kollektör verimidir. Çeşitli kolektör tipleri için mevsimlere bağlı olarak verimler

Çizelge 3.13 de verilmiştir.

η_m : Kollektör dışında sistem verimidir. Yani boru donanımı ve depolama verimi olarak söylenebilir. Küçük tesisatlar da 0,40 - 0,66, büyük tesisatlar da 0,50 - 0,80 olarak alınabilir.

Çizelge 3.13 Çeşitli seçici yüzeyli kollektörlerin mevsimlere bağlı olarak verim değerleri(η_{kol})

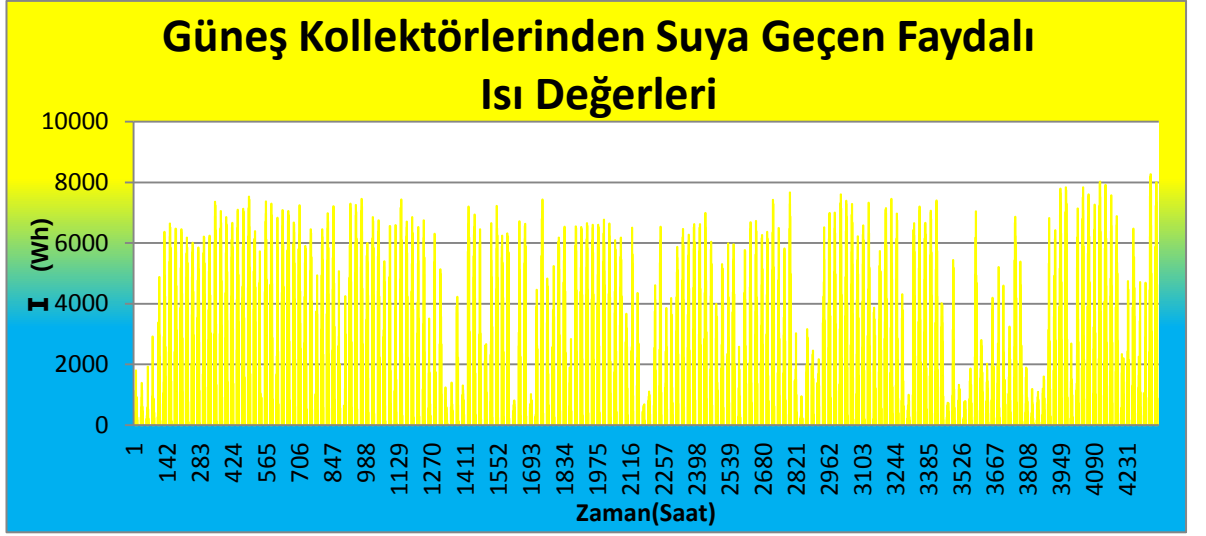
Mevsimler	Tek cam örtülü,yutucu yüzeyli kollektör	Çift cam örtülü,yutucu yüzeyli kollektör
Haziran-Temmuz	0,65	0,60
Ağustos		
Ekim-Mart	0,25	0,35
Bütün yıl	0,40	0,45

Düz yüzeyli güneş kollektörleri için $\eta_{kol} = 0,35$ ve $\eta_m = 0,70$ olarak seçelim.

Sistemimizde kullanmış olduğumuz kollektörlerin toplam yüzey alanı $A_c = 30 \text{ m}^2$ olarak belirlenmiştir. Örnek olması açısından 01.10.2013 saat 07.00 'deki faydalı ısıyı hesaplayalım:

$$Q_{fay} = 30 \times 0,055 \times 0,35 \times 0,70 = 0,404 \text{ kW} = 404 \text{ W} \text{ olarak bulunur.}$$

Bu değerler 6 aylık zaman dilimi için hesaplanmış ve buna bağlı olarak çizdirilen aşağıdaki grafik Şekil 3.11 'de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Güneş kolektörlerinden suya geçen faydalı ısı değerleri

3.6. Sistemde Termal Enerji Deposu Kullanılması

Isıtma sezonunun ortalarında hava sıcaklığı çok düşmekte ve geceleri ısı ihtiyacı aşırı boyutlara ulaşmakta, bu da sisteme aşırı bir ısı yükü getirmektedir. Bu ısı ihtiyacını karşılamak için değişik yöntemler kullanılabilir. Ancak bu durumda sistem maliyetleri çok fazla artmaktadır. Biz sistemimizde toprağa gömülmüş içerisinde faz değişim malzemesi bulunan termal enerji deposu kullanacağız. Böylelikle gündüzlerin elde edilen enerjinin bir bölümü faz değişim malzemelerinde depolanarak geceleyin buharlaştırıcının artan ısı ihtiyacı bu faz değişim malzemeleriyle karşılanacaktır. Faz değişim malzemesini seçerken seçmiş olduğumuz faz değişim malzemesinin uygun erime sıcaklığına sahip olmasına dikkat edilmiştir (Tokgöz 2006). Faz değişim malzemesini seçerken diğer kriterlerimiz, gizli ısı depolama kapasitesi ve ısı geçiş katsayısı yüksek, maliyeti düşük bir malzeme olmalıdır. Tüm bu özellikleri tek bir malzemede bulmak zordur ancak optimum sonucu elde edebilmek için Tuz hidrat seçilmesi uygun görülmüştür. Bunun için Çizelge 2.7'den $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ tuz hidratı seçilmiştir. Bu bileşiğin Çizelge 2.7'den alınan bazı termofiziksel özellikleri şöyledir:

Erime sıcaklığı : $T_{\text{FDM}} = 29^\circ\text{C}$

Gizli ısı : $H_{\text{FDM}} = 187 \text{ kJ/kg}$

Yoğunluk : $\rho_{\text{FDM}} = 1,710 \text{ kg/lt} = 1710 \text{ kg/m}^3$

3.6.1. Faz Değişim Malzemesinin ve Termal Enerji Deposunun Hacminin Hesaplanması

Sistemde kullanılacak olan depo hacmi aşağıdaki denklem (3.7) ile hesaplanabilir ;

$$Q_{\text{depo}} = m_{\text{FDM}} \cdot H_{\text{FDM}} = V_d \cdot \rho_{\text{FDM}} \cdot H_{\text{FDM}} \quad (3.7)$$

H_{FDM} : Faz değişim malzemesinin gizli ısı enerjisi (kJ/kg)

m_{FDM} : Faz değişim malzeme kütlesi(kg)

V_d : Termal depo hacmi(m^3)

ρ_{FDM} : Faz değişim malzemesi yoğunluğu (kg/m^3)

Sistem incelendiğinde depo enerjisinin en fazla 150,283 kWh değerine ulaştığı görülmüştür. Belirli bir emniyet payı ile depoyu doldurmak gerektiğinden, bu değer yüzde 15 fazlasının alınması uygun görülmüştür. Bu durumda deponun 173 kWh lik enerjiyi depolayacak şekilde FDM ile doldurulması gerektiği hesaplanmıştır. Öncelikle kWh birimi ile verilen enerjinin, kJ birimine çevirisi yapılmak istendiğinde;

1kWh = 3600 kJ olduğu göz önünde bulundurulduğunda

173 kWh = 173 x 3600 = 622 800 kJ olarak bulunur. 622 800 kJ'luk enerjiyi depolamak için gerekli FDM hacmi ise

$$Q_{\text{FDM}} = V_{\text{FDM}} \cdot \rho_{\text{FDM}} \cdot H_{\text{FDM}} \rightarrow V_{\text{FDM}} = \frac{Q_{\text{FDM}}}{\rho_{\text{FDM}} \cdot H_{\text{FDM}}} = \frac{622\,800}{1710 \cdot 187} = 1,94 \text{ m}^3 \text{ olarak}$$

bulunur.

Bulunan V_{FDM} değeri FDM'nin kaplayacağı hacimidir. FDM'lerin de belirli aralıklarla yerleştirileceği düşünülürse depo hacmi bundan büyük olmalıdır. Bu nedenle depo hacminin, FDM hacminden yüzde 10 daha büyük olacağı kabulü yapılarak, depo hacmi

$$V_d = V_{\text{FDM}} \times 1,10 = 1,94 \times 1,10 = 2,14 \text{ m}^3 \text{ olarak bulunur.}$$

4. BULGULAR

4.1. Saatlik Olarak Hesaplanan Değerler

Çizelge 4.1. Saatlik olarak hesaplanan değerler için örnek gösterim (15.11.2013)

Kurulan Sistem																			Konvansiyonel Isıtma Olması Durumunda Kullanılacak Yakıt Miktarları		
Tarih			Saat	Dış hava sıcaklığı	Toprak sıcaklığı	Yatay düzleme gelen ışıınım	Geometrik faktör	Eğik düzleme gelen ışıınım	Faydalı ısı	Seranın ısı kaybı	Ek ısı ihtiyacı	Depolanan enerji	Depoya verilen ısı	Depodan kullanılan ısı	Yoğuşturucudan atılan ısı	Soğutucu akışkan debisi	Buharlaştırıcı a verilen ısı	Kompresörün yaptığı iş			
Yıl	Ay	Gün	Saat	T _h (°C)	T _{top} (°C)	I (kWh/m ²)	R _b	I _T (kWh/m²)	Q _{fay} (kWh)	Q _s (kWh)	Q _{ek} (kWh)	Q _{depo} (kWh)	Q _{dv} (kWh)	Q _{dk} (kWh)	Q _{yog} (kWh)	m _{soğ} (kg/s)	Q _{bi} (kWh)	W _k (kWh)	M _{motorin} (kg/h)	M _{fuel-oil} (kg/h)	M _{kömür} (kg/h)
2013	11	15	0	11,6	13,21	0,000	1,04	0,000	0,000	2,868	2,868	0,000	0,000	0,000	2,868	0,017	2,434	0,599	0,286	0,312	0,542
2013	11	15	1	12,0	13,21	0,000	1,03	0,000	0,000	2,688	2,688	0,000	0,000	0,000	2,688	0,016	2,282	0,561	0,268	0,293	0,508
2013	11	15	2	12,0	13,21	0,000	1,01	0,000	0,000	2,688	2,688	0,000	0,000	0,000	2,688	0,016	2,282	0,561	0,268	0,293	0,508
2013	11	15	3	11,4	13,21	0,000	0,96	0,000	0,000	2,957	2,957	0,000	0,000	0,000	2,957	0,017	2,510	0,617	0,295	0,322	0,559
2013	11	15	4	11,4	13,21	0,000	0,87	0,000	0,000	2,957	2,957	0,000	0,000	0,000	2,957	0,017	2,510	0,617	0,295	0,322	0,559
2013	11	15	5	11,2	13,21	0,000	0,68	0,000	0,000	3,047	3,047	0,000	0,000	0,000	3,047	0,018	2,586	0,636	0,304	0,332	0,576
2013	11	15	6	11,8	13,21	0,001	0,14	0,000	0,001	2,778	2,777	0,000	0,000	0,000	2,777	0,016	2,357	0,580	0,277	0,302	0,525
2013	11	15	7	13,2	13,21	0,055	0,01	0,001	0,004	2,151	2,147	0,000	0,000	0,000	2,147	0,012	1,822	0,448	0,215	0,234	0,407
2013	11	15	8	14,9	13,21	0,163	2,94	0,478	3,517	1,389	0,000	0,000	2,128	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,139	0,151	0,263
2013	11	15	9	15,8	13,21	0,312	2,12	0,663	4,870	0,986	0,000	2,128	3,884	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,098	0,107	0,186
2013	11	15	10	17,0	13,21	0,333	1,90	0,631	4,637	0,448	0,000	6,012	4,189	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,045	0,049	0,085
2013	11	15	11	17,2	13,21	0,494	1,81	0,892	6,559	0,358	0,000	10,200	6,200	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,036	0,039	0,068
2013	11	15	12	16,6	13,21	0,500	1,78	0,891	6,551	0,627	0,000	16,401	5,924	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,063	0,068	0,119
2013	11	15	13	15,6	13,21	0,305	1,81	0,551	4,049	1,075	0,000	22,324	2,974	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,107	0,117	0,203
2013	11	15	14	15,0	13,21	0,129	1,90	0,245	1,804	1,344	0,000	25,298	0,460	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,134	0,146	0,254
2013	11	15	15	14,3	13,21	0,045	2,12	0,096	0,706	1,658	0,952	25,758	0,000	0,952	0,000	0,000	0,000	0,000	0,165	0,180	0,313
2013	11	15	16	13,5	13,21	0,007	2,94	0,021	0,151	2,016	1,865	24,806	0,000	1,865	0,000	0,000	0,000	0,000	0,201	0,220	0,381
2013	11	15	17	13,3	13,21	0,000	0,01	0,000	0,000	2,106	2,106	22,940	0,000	2,106	0,000	0,000	0,000	0,000	0,210	0,229	0,398
2013	11	15	18	13,4	13,21	0,000	0,14	0,000	0,000	2,061	2,061	20,834	0,000	2,061	0,000	0,000	0,000	0,000	0,206	0,224	0,390
2013	11	15	19	13,3	13,21	0,000	0,68	0,000	0,000	2,106	2,106	18,773	0,000	2,106	0,000	0,000	0,000	0,000	0,210	0,229	0,398
2013	11	15	20	13,1	13,21	0,000	0,87	0,000	0,000	2,196	2,196	16,667	0,000	2,196	0,000	0,000	0,000	0,000	0,219	0,239	0,415
2013	11	15	21	12,8	13,21	0,000	0,96	0,000	0,000	2,330	2,330	14,472	0,000	2,330	0,000	0,000	0,000	0,000	0,233	0,254	0,440
2013	11	15	22	12,6	13,21	0,000	1,01	0,000	0,000	2,420	2,420	12,142	0,000	2,420	0,000	0,000	0,000	0,000	0,242	0,263	0,457
2013	11	15	23	12,2	13,21	0,000	1,03	0,000	0,000	2,599	2,599	9,722	0,000	2,599	0,000	0,000	0,000	0,000	0,259	0,283	0,491

Çizelge 4.2. Ekim ayına ait günlük değerler

Yıl	Ay	Gün	Günlük Ortalama Hava Sıcaklığı	Günlük Ortalama Toprak Sıcaklığı	Yatay Düzleme Gelen Günlük Toplam Işınım	Günlük Ortalama Geometrik Faktör	Eğik Düzleme Gelen Günlük Toplam Işınım	Günlük Toplam Faydalı Isı Miktarı	Depoya Verilen Günlük Toplam Isı Miktarı	Günlük Toplam Kalan Faydalı Isı Miktarı	Günlük Toplam Sera Isı Kaybı Miktarı	Günlük Toplam Ek Isı İhtiyacı Miktarı	Depodan Kullanılan Günlük Toplam Isı Miktarı	Yoğuşturucu dan Atılan Günlük Toplam Isı Miktarı	Buharlaştırıcıya Verilen Günlük Toplam Isı Miktarı	Kompresörün Yaptığı Günlük Toplam İş Miktarı
Yıl	Ay	Gün	T _h (°C)	T _{top} (°C)	I (kwh)	R _b -	I _T (kwh)	Q _{fay} (kwh)	Q _{dv} (kwh)	Q _{fay-kalan} (kwh)	Q _s (kwh)	Q _{ek} (kwh)	Q _{dk} (kwh)	Q _{yoğ} (kwh)	Q _{bi} (kwh)	W _{komp-top} (kwh)
2013	10	1	11,28	20,59	0,738	1,22	1,027	7,547	4,634	2,913	72,589	69,675	4,634	65,041	55,966	12,318
2013	10	2	11,46	20,43	0,616	1,23	0,870	6,392	0,950	5,442	70,348	64,906	0,950	63,956	55,032	12,113
2013	10	3	9,59	20,27	0,499	1,23	0,705	5,181	0,000	5,181	90,422	85,241	0,000	85,241	73,347	16,144
2013	10	4	7,52	20,11	0,876	1,24	1,234	9,070	0,000	9,070	112,692	103,622	0,000	103,622	89,163	19,625
2013	10	5	8,51	19,95	2,099	1,24	3,019	22,187	2,015	20,172	102,072	81,901	2,015	79,886	68,739	15,130
2013	10	6	9,42	19,79	3,361	1,25	4,886	35,914	18,147	17,767	92,259	74,492	18,147	56,345	48,483	10,671
2013	10	7	10,37	19,63	4,318	1,25	6,365	46,783	34,284	12,498	82,222	69,724	26,925	42,799	36,827	8,106
2013	10	8	11,47	19,46	4,141	1,26	6,159	45,272	37,707	7,565	73,485	65,920	28,680	37,240	32,044	7,053
2013	10	9	12,75	19,30	4,034	1,27	6,061	44,551	38,942	5,609	65,733	60,124	37,222	22,903	19,707	4,338
2013	10	10	15,24	19,14	3,731	1,28	5,651	41,532	37,906	3,626	47,720	44,094	27,561	16,533	14,226	3,131
2013	10	11	17,88	18,97	3,743	1,28	5,703	41,919	40,231	1,688	27,243	25,555	25,555	0,000	0,000	0,000
2013	10	12	18,02	18,81	3,603	1,29	5,571	40,948	40,251	0,698	20,522	19,824	19,824	0,000	0,000	0,000
2013	10	13	17,38	18,64	3,683	1,30	5,710	41,966	39,847	2,119	21,777	19,657	19,657	0,000	0,000	0,000
2013	10	14	15,12	18,47	3,808	1,31	6,004	44,131	39,987	4,144	41,089	36,945	36,945	0,000	0,000	0,000
2013	10	15	14,46	18,31	4,178	1,33	6,604	48,536	43,816	4,720	47,227	42,508	42,508	0,000	0,000	0,000
2013	10	16	14,62	18,14	4,104	1,34	6,590	48,440	43,526	4,914	44,853	39,939	39,939	0,000	0,000	0,000
2013	10	17	14,42	17,97	4,117	1,35	6,655	48,913	43,771	5,142	46,421	41,279	41,279	0,000	0,000	0,000
2013	10	18	14,02	17,81	3,964	1,37	6,530	47,995	42,303	5,691	49,468	43,776	43,776	0,000	0,000	0,000
2013	10	19	13,82	17,64	4,051	1,39	6,659	48,946	43,405	5,541	51,081	45,540	45,540	0,000	0,000	0,000
2013	10	20	13,62	17,47	4,188	1,41	7,058	51,879	45,517	6,362	52,694	46,332	46,332	0,000	0,000	0,000
2013	10	21	13,32	17,30	4,204	1,43	7,124	52,358	45,451	6,907	55,114	48,207	48,207	0,000	0,000	0,000
2013	10	22	13,33	17,13	3,372	1,45	5,959	43,802	37,120	6,682	51,529	44,847	44,847	0,000	0,000	0,000
2013	10	23	14,97	16,96	1,658	1,48	3,186	23,414	21,979	1,435	39,162	37,727	37,727	0,000	0,000	0,000
2013	10	24	13,38	16,80	3,895	1,51	6,853	50,370	44,298	6,073	54,128	48,055	48,055	0,000	0,000	0,000
2013	10	25	11,40	16,63	3,835	1,54	6,840	50,273	38,864	11,409	71,468	60,060	60,060	0,000	0,000	0,000
2013	10	26	11,34	16,46	2,496	1,58	4,214	30,971	21,641	9,330	71,648	62,317	60,208	2,110	1,815	0,400
2013	10	27	10,93	16,29	3,622	1,63	6,574	48,317	35,512	12,805	77,025	64,220	25,317	38,903	33,475	7,368
2013	10	28	12,24	16,13	3,723	1,69	6,971	51,237	41,818	9,419	70,124	60,705	32,151	28,554	24,570	5,408
2013	10	29	13,28	15,96	3,447	1,75	6,592	48,449	43,692	4,757	59,281	54,523	42,087	12,437	10,701	2,355
2013	10	30	12,64	15,79	3,369	1,59	6,424	47,220	34,081	13,139	60,446	47,307	39,840	7,467	6,425	1,414
2013	10	31	13,84	15,63	2,785	1,95	5,149	37,845	29,607	8,238	45,883	37,645	36,196	1,449	1,246	0,274

Çizelge 4.3. Kasım ayına ait günlük değerler

Yıl	Ay	Gün	Günlük Ortalama Hava Sıcaklığı	Günlük Ortalama Toprak Sıcaklığı	Yatay Düzleme Gelen Günlük Toplam Işınım	Günlük Ortalama Geometrik Faktör	Eğik Düzleme Gelen Günlük Toplam Işınım	Günlük Toplam Faydalı Isı Miktarı	Depoya Verilen Günlük Toplam Isı Miktarı	Günlük Toplam Kalan Faydalı Isı Miktarı	Günlük Toplam Sera Isı Kaybı Miktarı	Günlük Toplam Ek Isı İhtiyacı Miktarı	Depodan Kullanılan Günlük Toplam Isı Miktarı	Yoğuşturucu dan Atılan Günlük Toplam Isı Miktarı	Buharlaştırıcıya Verilen Günlük Toplam Isı Miktarı	Kompresörün Yaptığı Günlük Toplam İş Miktarı
Yıl	Ay	Gün	T _h (°C)	T _{top} (°C)	I (kwh)	R _b -	I _T (kwh)	Q _{ray} (kwh)	Q _{dv} (kwh)	Q _{ray-kalan} (kwh)	Q _s (kwh)	Q _{ek} (kwh)	Q _{dk} (kwh)	Q _{yoğ} (kwh)	Q _{bi} (kwh)	W _{komp-top} (kwh)
2013	11	1	12,51	15,46	3,181	1,75	6,039	44,387	35,574	8,813	60,311	51,498	29,484	22,015	18,943	4,596
2013	11	2	11,43	15,29	1,891	1,62	3,403	25,014	15,601	9,413	70,662	61,248	30,811	30,437	26,190	6,354
2013	11	3	10,45	15,13	3,044	1,59	5,633	41,404	28,886	12,517	81,147	68,630	28,548	40,082	34,489	8,368
2013	11	4	12,01	14,96	3,306	1,76	6,353	46,695	37,656	9,039	73,126	64,087	24,266	39,822	34,265	8,313
2013	11	5	15,12	14,80	3,513	1,62	6,637	48,784	43,853	4,931	48,796	43,865	19,778	24,086	20,725	5,028
2013	11	6	17,51	14,64	1,547	1,67	3,074	22,596	20,352	2,244	18,909	16,665	16,665	0,000	0,000	0,000
2013	11	7	9,25	14,48	0,928	1,19	1,717	12,617	5,709	6,908	94,141	87,233	47,200	40,034	34,447	8,358
2013	11	8	8,85	14,31	3,428	1,20	6,310	46,375	32,336	14,039	98,443	84,404	32,336	52,068	44,803	10,870
2013	11	9	10,05	14,15	3,373	1,20	6,256	45,981	39,805	6,176	86,613	80,438	35,906	44,532	38,318	9,297
2013	11	10	10,41	13,99	3,429	1,21	6,410	47,110	41,954	5,156	83,566	78,410	37,912	40,498	34,848	8,455
2013	11	11	13,05	13,84	2,735	1,22	5,113	37,581	34,637	2,943	56,771	53,828	32,652	21,176	18,221	4,421
2013	11	12	12,05	13,68	3,062	1,22	5,806	42,674	39,913	2,761	69,452	66,691	37,729	28,961	24,920	6,046
2013	11	13	11,25	13,52	3,038	1,23	5,788	42,540	35,271	7,269	72,723	65,454	36,391	29,062	25,007	6,067
2013	11	14	12,59	13,36	2,088	1,23	3,932	28,898	17,587	11,311	58,160	46,849	28,577	18,272	15,722	3,815
2013	11	15	13,55	13,21	2,343	1,24	4,469	32,848	25,758	7,090	47,855	40,764	18,634	22,130	19,042	4,620
2013	11	16	12,43	13,06	1,621	1,25	3,067	22,540	9,452	13,088	59,908	46,820	16,575	30,245	26,025	6,314
2013	11	17	10,74	12,90	2,989	1,25	5,886	43,261	25,648	17,613	78,055	60,442	25,648	34,794	29,939	7,264
2013	11	18	8,07	12,75	2,876	1,26	5,680	41,745	24,019	17,726	106,777	89,050	24,019	65,031	55,957	13,577
2013	11	19	8,53	12,60	2,782	1,27	5,530	40,648	27,186	13,462	101,803	88,341	27,186	61,155	52,622	12,767
2013	11	20	13,02	12,46	2,230	1,27	4,348	31,959	26,522	5,437	55,114	49,677	16,702	32,975	28,374	6,884
2013	11	21	15,02	12,31	2,242	1,28	4,373	32,142	28,359	3,783	38,087	34,304	22,590	11,714	10,079	2,445
2013	11	22	15,47	12,16	0,848	1,29	1,703	12,519	10,517	2,002	28,901	26,899	23,968	2,931	2,522	0,612
2013	11	23	13,31	12,02	1,719	1,30	3,651	26,836	23,671	3,165	50,991	47,826	24,068	23,758	20,443	4,960
2013	11	24	13,36	11,88	1,841	1,30	3,691	27,132	22,954	4,177	52,470	48,293	17,820	30,472	26,220	6,362
2013	11	25	12,28	11,73	0,293	1,31	0,650	4,776	0,000	4,776	61,566	56,790	6,875	49,915	42,950	10,421
2013	11	26	11,43	11,60	0,404	1,32	0,829	6,096	0,000	6,096	70,707	64,611	0,000	64,611	55,595	13,489
2013	11	27	9,98	11,46	1,230	1,32	2,650	19,479	3,703	15,777	86,255	70,478	3,703	66,775	57,458	13,941
2013	11	28	8,89	11,32	0,441	1,33	0,938	6,894	0,000	6,894	97,950	91,056	0,000	91,056	78,351	19,010
2013	11	29	7,78	11,19	2,745	1,34	5,855	43,035	15,832	27,204	109,913	82,710	15,832	66,878	57,546	13,962
2013	11	30	5,95	11,05	2,679	1,34	5,735	42,152	14,343	27,809	129,629	101,820	14,343	87,477	75,271	18,262

Çizelge 4.4. Aralık ayına ait günlük değerler

Yıl	Ay	Gün	Günlük Ortalama Hava Sıcaklığı	Günlük Ortalama Toprak Sıcaklığı	Yatay Düzleme Gelen Günlük Toplam Işınım	Günlük Ortalama Geometrik Faktör	Eğik Düzleme Gelen Günlük Toplam Işınım	Günlük Toplam Faydalı Isı Miktarı	Depoya Verilen Günlük Toplam Isı Miktarı	Günlük Toplam Kalan Faydalı Isı Miktarı	Günlük Toplam Sera Isı Kaybı Miktarı	Günlük Toplam Ek Isı İhtiyacı Miktarı	Depodan Kullanılan Günlük Toplam Isı Miktarı	Yoğuşturucu dan Atılan Günlük Toplam Isı Miktarı	Buharlaştırıcıya Verilen Günlük Toplam Isı Miktarı	Kompresörün Yaptığı Günlük Toplam İş Miktarı
Yıl	Ay	Gün	T _h (°C)	T _{top} (°C)	I (kwh)	R _b -	I _T (kwh)	Q _{fay} (kwh)	Q _{dv} (kwh)	Q _{fay-kalan} (kwh)	Q _s (kwh)	Q _{ek} (kwh)	Q _{dk} (kwh)	Q _{yoğ} (kwh)	Q _{bi} (kwh)	W _{komp-top} (kwh)
2013	12	1	11,40	10,92	1,892	1,35	3,889	28,587	14,112	14,474	70,976	56,501	14,112	42,389	36,474	10,415
2013	12	2	11,13	10,79	1,026	1,36	2,262	16,622	0,782	15,840	73,843	58,003	0,782	57,221	49,237	14,059
2013	12	3	6,42	10,67	1,958	1,36	4,069	29,904	3,043	26,860	124,566	97,705	3,043	94,662	81,453	23,258
2013	12	4	3,81	10,54	2,616	1,37	5,602	41,176	6,093	35,083	152,570	117,487	6,093	111,395	95,851	27,370
2013	12	5	2,25	10,42	2,438	1,37	5,473	40,229	5,328	34,901	169,329	134,428	5,328	129,099	111,086	31,720
2013	12	6	3,00	10,30	2,483	1,38	5,607	41,209	9,973	31,236	161,308	130,072	9,973	120,099	103,341	29,508
2013	12	7	2,70	10,18	0,302	1,38	0,661	4,856	0,000	4,856	164,534	159,679	0,000	159,679	137,398	39,233
2013	12	8	3,11	10,06	2,120	1,39	4,589	33,725	1,072	32,653	160,143	127,490	1,072	126,417	108,778	31,061
2013	12	9	5,12	9,95	2,521	1,39	5,556	40,834	7,668	33,165	138,546	105,380	7,668	97,712	84,078	24,008
2013	12	10	4,17	9,83	0,313	1,40	0,712	5,236	0,000	5,236	148,717	143,481	0,000	143,481	123,460	35,253
2013	12	11	-0,02	9,72	1,140	1,40	2,389	17,556	0,000	17,556	193,749	176,193	0,000	176,193	151,608	43,291
2013	12	12	0,77	9,61	2,525	1,41	5,485	40,316	1,874	38,442	185,280	146,838	1,874	144,964	124,737	35,618
2013	12	13	0,25	9,51	1,469	1,41	3,243	23,834	0,000	23,834	190,926	167,092	0,000	167,092	143,777	41,054
2013	12	14	2,23	9,40	1,648	1,41	3,667	26,954	0,046	26,908	169,597	142,689	0,046	142,643	122,740	35,048
2013	12	15	2,33	9,30	2,184	1,42	4,908	36,075	4,818	31,257	168,567	137,310	4,818	132,492	114,004	32,553
2013	12	16	2,63	9,20	2,525	1,42	5,719	42,032	7,415	34,617	165,341	130,723	7,415	123,309	106,103	30,297
2013	12	17	4,80	9,10	0,851	1,42	1,920	14,111	0,000	14,111	141,996	127,885	0,000	127,885	110,041	31,421
2013	12	18	4,04	9,01	2,468	1,42	5,548	40,779	9,329	31,450	150,106	118,656	9,329	109,327	94,072	26,862
2013	12	19	2,66	8,92	2,472	1,42	5,591	41,093	5,993	35,101	164,937	129,837	5,993	123,844	106,563	30,428
2013	12	20	4,30	8,83	2,530	1,42	5,718	42,026	7,698	34,328	147,373	113,045	7,698	105,347	90,647	25,884
2013	12	21	4,10	8,74	2,474	1,42	5,579	41,003	9,902	31,101	149,434	118,333	9,902	108,431	93,301	26,642
2013	12	22	2,86	8,65	2,501	1,42	5,636	41,428	4,479	36,949	162,787	125,838	4,479	121,359	104,425	29,818
2013	12	23	3,05	8,57	2,457	1,42	5,570	40,939	3,126	37,813	160,770	122,957	3,126	119,831	103,111	29,443
2013	12	24	4,52	8,49	2,170	1,42	4,927	36,215	3,611	32,603	144,953	112,350	3,611	108,738	93,566	26,717
2013	12	25	6,96	8,41	2,105	1,42	4,608	33,870	9,956	23,914	118,741	94,827	9,956	84,871	73,029	20,853
2013	12	26	7,91	8,34	2,336	1,42	5,217	38,347	13,537	24,810	108,524	83,715	13,537	70,178	60,385	17,243
2013	12	27	10,40	8,27	1,250	1,41	2,852	20,965	2,589	18,377	81,685	63,308	2,589	60,719	52,247	14,919
2013	12	28	10,88	8,20	1,860	1,41	4,040	29,696	15,522	14,174	76,621	62,448	15,522	46,926	40,378	11,530
2013	12	29	8,43	8,13	1,208	1,41	2,633	19,353	1,069	18,285	102,968	84,684	1,069	83,615	71,948	20,544
2013	12	30	7,81	8,06	0,238	1,40	0,551	4,053	0,000	4,053	109,600	105,546	0,000	105,546	90,819	25,933
2013	12	31	7,53	8,00	0,413	1,40	0,915	6,729	0,000	6,729	112,602	105,873	0,000	105,873	91,100	26,013

Çizelge 4.5. Ocak ayına ait günlük değerler

Yıl	Ay	Gün	Günlük Ortalama Hava Sıcaklığı	Günlük Ortalama Toprak Sıcaklığı	Yatay Düzleme Gelen Günlük Toplam Işınım	Günlük Ortalama Geometrik Faktör	Eğik Düzleme Gelen Günlük Toplam Işınım	Günlük Toplam Faydalı Isı Miktarı	Depoya Verilen Günlük Toplam Isı Miktarı	Günlük Toplam Kalan Faydalı Isı Miktarı	Günlük Toplam Sera Isı Kaybı Miktarı	Günlük Toplam Ek Isı İhtiyacı Miktarı	Depodan Kullanılan Günlük Toplam Isı Miktarı	Yoğuşturucu dan Atılan Günlük Toplam Isı Miktarı	Buharlaştırıcıya Verilen Günlük Toplam Isı Miktarı	Kompresörün Yaptığı Günlük Toplam İş Miktarı
Yıl	Ay	Gün	T _h (°C)	T _{top} (°C)	I (kwh)	R _b -	I _T (kwh)	Q _{fay} (kwh)	Q _{dv} (kwh)	Q _{fay-kalan} (kwh)	Q _s (kwh)	Q _{ek} (kwh)	Q _{dk} (kwh)	Q _{yoğ} (kwh)	Q _{bi} (kwh)	W _{komp-top} (kwh)
2014	1	1	6,39	7,94	1,366	1,40	2,919	21,453	1,359	20,095	124,879	104,785	1,359	103,426	88,995	28,181
2014	1	2	7,95	7,89	2,113	1,39	4,463	32,806	12,059	20,747	108,121	87,374	12,059	75,315	64,806	20,522
2014	1	3	8,22	7,83	1,030	1,39	2,239	16,458	0,946	15,512	105,164	89,652	0,946	88,706	76,328	24,170
2014	1	4	7,70	7,78	1,382	1,38	3,031	22,276	1,018	21,258	110,810	89,552	1,018	88,533	76,180	24,124
2014	1	5	6,85	7,74	2,222	1,38	4,858	35,709	11,599	24,110	119,861	95,751	11,599	84,152	72,410	22,930
2014	1	6	8,93	7,69	2,309	1,37	4,927	36,210	15,271	20,939	97,502	76,563	15,271	61,292	52,739	16,701
2014	1	7	7,95	7,65	2,392	1,36	5,147	37,830	13,337	24,493	108,032	83,538	13,337	70,201	60,406	19,128
2014	1	8	6,58	7,61	2,618	1,36	5,635	41,418	13,709	27,710	122,818	95,108	13,709	81,400	70,042	22,180
2014	1	9	4,64	7,57	2,549	1,35	5,442	39,998	11,791	28,206	143,699	115,492	11,791	103,701	89,231	28,256
2014	1	10	6,15	7,54	2,600	1,35	5,513	40,523	12,413	28,110	127,433	99,323	12,413	86,910	74,783	23,681
2014	1	11	6,20	7,51	2,092	1,34	4,329	31,815	9,891	21,924	126,896	104,972	9,891	95,081	81,814	25,908
2014	1	12	7,46	7,48	1,471	1,33	3,171	23,308	1,027	22,281	113,319	91,038	1,027	90,011	77,451	24,526
2014	1	13	7,85	7,45	2,110	1,33	4,371	32,127	13,086	19,041	109,197	90,156	13,086	77,069	66,316	21,000
2014	1	14	7,93	7,43	1,648	1,32	3,465	25,464	7,024	18,440	108,300	89,860	7,024	82,836	71,277	22,571
2014	1	15	9,95	7,41	2,408	1,31	5,035	37,006	21,191	15,815	86,524	70,708	21,191	49,517	42,608	13,492
2014	1	16	11,50	7,39	0,629	1,31	1,275	9,370	2,723	6,646	69,945	63,299	2,723	60,575	52,123	16,506
2014	1	17	11,19	7,38	1,948	1,30	3,926	28,854	18,350	10,504	73,261	62,757	18,350	44,406	38,210	12,100
2014	1	18	10,80	7,37	2,515	1,29	5,050	37,118	25,626	11,492	77,428	65,936	12,331	53,605	46,125	14,606
2014	1	19	15,75	7,36	2,449	1,28	5,055	37,155	36,303	0,852	26,885	26,033	26,033	0,000	0,000	0,000
2014	1	20	12,43	7,35	2,269	1,28	4,527	33,273	24,427	8,846	61,342	52,496	33,379	19,116	16,449	5,209
2014	1	21	16,20	7,35	2,519	1,27	5,024	36,929	33,881	3,048	26,526	23,478	18,333	5,145	4,427	1,402
2014	1	22	13,70	7,35	2,858	1,26	5,711	41,973	33,778	8,194	46,197	38,003	38,003	0,000	0,000	0,000
2014	1	23	11,18	7,36	1,881	1,26	3,623	26,626	16,139	10,487	73,350	62,863	42,077	20,786	17,886	5,664
2014	1	24	10,31	7,36	2,156	1,25	4,191	30,803	13,639	17,164	82,715	65,552	13,639	51,913	44,669	14,145
2014	1	25	13,00	7,37	2,864	1,24	5,428	39,898	34,111	5,787	54,486	48,699	19,895	28,804	24,785	7,849
2014	1	26	10,65	7,38	0,890	1,24	1,746	12,836	0,881	11,955	79,086	67,131	15,097	52,034	44,773	14,178
2014	1	27	4,54	7,40	0,309	1,23	0,584	4,296	0,000	4,296	144,774	140,478	0,000	140,478	120,876	38,277
2014	1	28	6,66	7,42	1,019	1,22	1,920	14,114	0,000	14,114	121,922	107,808	0,000	107,808	92,765	29,376
2014	1	29	10,55	7,44	0,968	1,22	1,891	13,902	0,475	13,426	80,161	66,735	0,475	66,259	57,014	18,054
2014	1	30	5,30	7,46	0,898	1,21	1,715	12,605	0,000	12,605	136,574	123,969	0,000	123,969	106,671	33,779
2014	1	31	4,27	7,49	2,492	1,21	4,702	34,560	2,246	32,314	147,686	115,372	2,246	113,127	97,341	30,825

Çizelge 4.6. Şubat ayına ait günlük değerler

Yıl	Ay	Gün	Günlük Ortalama Hava Sıcaklığı	Günlük Ortalama Toprak Sıcaklığı	Yatay Düzleme Gelen Günlük Toplam Işınım	Günlük Ortalama Geometrik Faktör	Eğik Düzleme Gelen Günlük Toplam Işınım	Günlük Toplam Faydalı Isı Miktarı	Depoya Verilen Günlük Toplam Isı Miktarı	Günlük Toplam Kalan Faydalı Isı Miktarı	Günlük Toplam Sera Isı Kaybı Miktarı	Günlük Toplam Ek Isı İhtiyacı Miktarı	Depodan Kullanılan Günlük Toplam Isı Miktarı	Yoğuşturucu dan Atılan Günlük Toplam Isı Miktarı	Buharlaştırıcıya Verilen Günlük Toplam Isı Miktarı	Kompresörün Yaptığı Günlük Toplam İş Miktarı
Yıl	Ay	Gün	T _h (°C)	T _{top} (°C)	I (kwh)	R _b -	I _T (kwh)	Q _{fay} (kwh)	Q _{dv} (kwh)	Q _{fay-kalan} (kwh)	Q _s (kwh)	Q _{ek} (kwh)	Q _{dk} (kwh)	Q _{yoğ} (kwh)	Q _{bi} (kwh)	W _{komp-top} (kwh)
2014	2	1	4,43	7,52	3,204	1,20	5,891	43,302	8,983	34,319	145,984	111,665	8,983	102,682	88,354	26,194
2014	2	2	6,49	7,55	2,936	1,19	5,400	39,687	11,062	28,625	123,804	95,179	11,062	84,117	72,380	21,458
2014	2	3	4,63	7,58	3,649	1,76	6,889	50,631	16,101	34,530	143,833	109,303	16,101	93,202	80,197	23,776
2014	2	4	3,55	7,62	3,598	2,01	6,932	50,953	14,299	36,655	155,349	118,694	14,299	104,395	89,829	26,631
2014	2	5	3,13	7,66	3,402	1,83	6,458	47,464	11,972	35,492	159,919	124,427	11,972	112,455	96,764	28,688
2014	2	6	4,30	7,71	2,974	1,89	5,493	40,370	7,335	33,036	147,373	114,337	7,335	107,003	92,072	27,297
2014	2	7	4,18	7,75	3,188	1,75	5,861	43,081	12,114	30,967	148,583	117,616	12,114	105,502	90,781	26,914
2014	2	8	11,36	7,80	3,179	1,85	6,040	44,392	30,231	14,161	71,648	57,487	5,105	52,382	45,073	13,363
2014	2	9	16,14	7,85	1,798	1,76	3,250	23,887	17,295	6,592	19,984	13,392	13,392	0,000	0,000	0,000
2014	2	10	15,37	7,91	2,397	1,89	4,570	33,586	28,375	5,211	28,274	23,063	23,063	0,000	0,000	0,000
2014	2	11	11,43	7,96	3,743	1,79	6,843	50,296	39,613	10,683	72,857	62,175	58,991	3,184	2,740	0,812
2014	2	12	10,66	8,02	3,107	1,72	5,487	40,332	32,976	7,357	79,399	72,043	39,135	32,907	28,316	8,395
2014	2	13	12,08	8,09	2,832	1,66	4,996	36,720	29,143	7,577	65,285	57,708	26,706	31,002	26,676	7,909
2014	2	14	11,17	8,15	1,755	1,61	3,049	22,412	9,289	13,123	73,485	60,362	20,531	39,831	34,273	10,161
2014	2	15	9,11	8,22	0,401	1,56	0,706	5,189	0,000	5,189	95,620	90,431	0,000	90,431	77,813	23,069
2014	2	16	8,87	8,29	3,579	1,52	6,087	44,742	20,749	23,992	98,219	74,226	20,749	53,477	46,015	13,642
2014	2	17	8,85	8,36	3,783	1,49	6,513	47,868	31,125	16,743	98,398	81,655	28,317	53,338	45,896	13,607
2014	2	18	10,29	8,44	3,774	1,46	6,396	47,007	37,265	9,742	85,717	75,975	29,160	46,815	40,282	11,943
2014	2	19	10,80	8,52	3,967	1,44	6,641	48,811	39,122	9,689	80,564	70,875	37,091	33,785	29,070	8,619
2014	2	20	11,32	8,60	4,176	1,42	6,919	50,858	41,886	8,972	79,534	70,562	35,788	34,773	29,921	8,871
2014	2	21	10,99	8,68	2,226	1,40	3,686	27,095	18,621	8,474	75,456	66,982	37,662	29,320	25,229	7,479
2014	2	22	8,70	8,77	0,427	1,38	0,702	5,157	0,000	5,157	100,056	94,898	0,000	94,898	81,657	24,209
2014	2	23	9,38	8,86	2,058	1,36	3,257	23,941	5,520	18,421	92,662	74,242	5,520	68,722	59,133	17,531
2014	2	24	8,24	8,95	0,672	1,35	1,067	7,842	0,000	7,842	104,985	97,143	0,000	97,143	83,588	24,781
2014	2	25	7,05	9,04	0,419	1,33	0,664	4,883	0,000	4,883	117,710	112,827	0,000	112,827	97,083	28,782
2014	2	26	5,82	9,14	0,963	1,32	1,509	11,094	0,000	11,094	130,973	119,880	0,000	119,880	103,152	30,582
2014	2	27	6,63	9,23	3,637	1,31	5,617	41,282	12,716	28,566	122,280	93,714	12,716	80,998	69,696	20,663
2014	2	28	5,70	9,34	1,739	1,30	2,759	20,277	0,000	20,277	132,228	111,950	0,000	111,950	96,329	28,559

Çizelge 4.7. Mart ayına ait günlük değerler

Yıl	Ay	Gün	Günlük Ortalama Hava Sıcaklığı	Günlük Ortalama Toprak Sıcaklığı	Yatay Düzleme Gelen Günlük Toplam Işınım	Günlük Ortalama Geometrik Faktör	Eğik Düzleme Gelen Günlük Toplam Işınım	Günlük Toplam Faydalı Isı Miktarı	Depoya Verilen Günlük Toplam Isı Miktarı	Günlük Toplam Kalan Faydalı Isı Miktarı	Günlük Toplam Sera Isı Kaybı Miktarı	Günlük Toplam Ek Isı İhtiyacı Miktarı	Depodan Kullanılan Günlük Toplam Isı Miktarı	Yoğuşturucu dan Atılan Günlük Toplam Isı Miktarı	Buharlaştırıcıya Verilen Günlük Toplam Isı Miktarı	Kompresörün Yaptığı Günlük Toplam İş Miktarı
Yıl	Ay	Gün	T _h (°C)	T _{top} (°C)	I (kwh)	R _b -	I _T (kwh)	Q _{ray} (kwh)	Q _{dv} (kwh)	Q _{ray-kalan} (kwh)	Q _s (kwh)	Q _{ek} (kwh)	Q _{dk} (kwh)	Q _{yoğ} (kwh)	Q _{bi} (kwh)	W _{komp-top} (kwh)
2014	3	1	8,95	9,44	0,999	1,29	1,530	11,244	0,000	11,244	97,278	86,034	0,000	86,034	74,029	19,642
2014	3	2	11,97	9,54	1,972	1,28	3,031	22,275	8,171	14,104	64,882	50,778	8,171	42,607	36,662	9,728
2014	3	3	13,23	9,65	1,754	1,27	2,631	19,341	12,497	6,844	51,753	44,909	8,052	36,858	31,715	8,415
2014	3	4	12,80	9,76	1,714	1,26	2,646	19,448	5,974	13,474	55,875	42,401	10,420	31,982	27,519	7,302
2014	3	5	11,46	9,87	1,411	1,26	2,104	15,466	6,022	9,444	70,348	60,904	6,022	54,882	47,224	12,530
2014	3	6	12,20	9,98	4,325	1,25	6,371	46,824	35,625	11,198	62,328	51,129	25,226	25,903	22,288	5,914
2014	3	7	10,26	10,10	2,532	1,24	3,745	27,526	13,997	13,529	83,208	69,679	24,396	45,283	38,965	10,339
2014	3	8	7,89	10,22	0,970	1,24	1,407	10,341	0,000	10,341	108,748	98,407	0,000	98,407	84,676	22,467
2014	3	9	6,95	10,34	0,521	1,23	0,745	5,473	0,000	5,473	118,785	113,313	0,000	113,313	97,502	25,871
2014	3	10	7,00	10,46	0,642	1,23	0,914	6,717	0,000	6,717	118,337	111,620	0,000	111,620	96,045	25,484
2014	3	11	5,83	10,58	0,987	1,23	1,399	10,285	0,000	10,285	130,928	120,643	0,000	120,643	103,809	27,544
2014	3	12	6,54	10,71	2,587	1,22	3,616	26,576	4,221	22,355	123,221	100,867	4,221	96,646	83,160	22,065
2014	3	13	5,75	10,84	3,977	1,22	5,545	40,752	8,504	32,248	131,780	99,531	8,504	91,027	78,326	20,782
2014	3	14	6,55	10,97	5,481	1,22	7,557	55,547	27,762	27,785	123,132	95,347	27,762	67,585	58,155	15,430
2014	3	15	10,26	11,10	5,621	1,21	7,679	56,441	43,786	12,655	83,298	70,643	12,143	58,500	50,337	13,356
2014	3	16	11,35	11,23	1,075	1,21	1,455	10,696	0,810	9,886	71,513	61,627	32,453	29,174	25,103	6,661
2014	3	17	10,77	11,37	3,783	1,21	5,084	37,364	28,338	9,026	77,831	68,805	25,214	43,591	37,509	9,952
2014	3	18	11,73	11,50	5,222	1,21	6,965	51,196	44,457	6,739	71,827	65,088	24,721	40,367	34,734	9,216
2014	3	19	15,18	11,64	5,715	1,21	7,569	55,631	50,870	4,762	46,779	42,018	26,221	15,797	13,593	3,607
2014	3	20	12,46	11,78	3,609	1,21	4,766	35,027	20,328	14,699	59,594	44,895	44,895	0,000	0,000	0,000
2014	3	21	13,95	11,92	5,955	1,21	7,759	57,027	49,688	7,340	46,735	39,395	31,768	7,627	6,563	1,741
2014	3	22	13,35	12,07	5,963	1,19	7,705	56,628	51,692	4,936	58,922	53,986	53,986	0,000	0,000	0,000
2014	3	23	12,53	12,21	4,755	1,21	6,077	44,669	39,007	5,662	62,686	57,024	57,024	0,000	0,000	0,000
2014	3	24	14,16	12,36	4,848	1,21	6,156	45,244	41,623	3,621	49,199	45,578	30,542	15,036	12,938	3,433
2014	3	25	12,33	12,51	1,420	1,21	1,762	12,949	2,052	10,897	60,939	50,042	33,684	16,358	14,075	3,735
2014	3	26	10,80	12,66	2,725	1,21	3,394	24,944	11,329	13,615	77,428	63,813	11,329	52,484	45,160	11,983
2014	3	27	14,66	12,81	4,427	1,21	5,513	40,523	36,703	3,820	40,103	36,283	8,109	28,174	24,243	6,432
2014	3	28	14,09	12,96	1,982	1,21	2,439	17,929	11,473	6,456	42,343	35,887	35,887	0,000	0,000	0,000
2014	3	29	9,50	13,11	2,021	1,21	2,459	18,073	3,970	14,103	91,408	77,305	8,149	69,156	59,506	15,789
2014	3	30	7,10	13,26	6,802	1,22	8,263	60,730	26,696	34,035	117,172	83,138	26,696	56,442	48,566	12,886
2014	3	31	8,95	13,42	6,464	1,22	7,805	57,370	42,700	14,670	97,322	82,653	29,396	53,256	45,825	12,159

4.2. EKONOMİK ANALİZ

Herhangi bir enerji dönüşüm sisteminde, yatırım yaparken verilecek ekonomik karar yapılacak ilk yatırımın, sistemin ekonomik ömrü boyunca kaç yılda geri döneceği esasına dayanır. Eğer sistemin kurulması sırasında oluşacak olan ilk yatırım maliyeti, sistemin ekonomik ömrü boyunca sağladığı tasarruftan daha büyükse o zaman bu sistem ekonomik değildir.

4.2.1. Sistem Yatırım Maliyeti

Sistemin yatırım maliyeti temelde 5 ana gruptan oluşur; yer ısı değiştiricisi boru maliyeti, güneş kolektörleri maliyeti, ısı pompası maliyeti, hafriyat maliyeti ve FDM maliyeti oluşturmaktadır.

$$C_y = C_{\text{boru}} + C_{y\text{-ısıpompası}} + C_{\text{kolektör}} + C_{\text{FDM}} + C_{\text{hafriyat}} \quad (4.1)$$

4.2.2. Yer Isı Değiştiricisi Boru Maliyeti

Yer ısı değiştiricisi maliyeti olarak sadece toprak devresi boru maliyetleri hesaba katılmış, hesaplar PE boru fiyatlarına göre yapılmıştır(Çizelge 4.8). Gerçekte toprak devresini oluşturan dağıtım borusu, fittings ve işçilik gibi giderlerden sadece dağıtım borusu maliyeti ayrıca hesaplanmış, diğerleri belirli bir yüzde (%) artırımla boru maliyetine eklenerek hesaba dahil edilmiştir (Tokgöz 2006).

$$C_{\text{boru}} = M_{\text{boru}} \cdot L_{\text{boru}} \cdot F_{\text{diğer}} \quad (4.2)$$

M_{boru} :Yer ısı değiştiricisi boru birim uzunluk maliyeti(TL/m)

$F_{\text{diğer}}$:Boru işçilik ve özel elemanlar (dirsek, vana vb.) faktörü

L_{boru} :Yer ısı değiştiricisi toplam boru uzunluğu (m)

“ $F_{\text{diğer}}$ ” faktörü, boru işçilik ve özel elemanlar maliyetini içermektedir. İşçilik için toplam boru maliyetinin yüzde 20’si, özel elemanlar için ise toplam boru maliyetinin yüzde 10’u olduğu kabul edilmiştir. Bu durumda $F_{\text{diğer}} = 1,20 \times 1,10 = 1,32$ olarak bulunur.

Çizelge 4.8 6 atü PE boru birim fiyatları

Çap (mm)	Fiyat M _{boru} (TL/m)
20	1,57
25	2,67
32	3,53
40	5,15
50	7,94
63	12,47
75	17,65
90	26,05

Yapılan çalışmada $L = 95$ m, $n = 6$, $x = 100$ cm ve $d_d = 26,9$ mm için modül boru yatırım maliyeti;

$$C_{\text{boru}} = (95).(6).(2,67).(1,32) = 2009 \text{ TL olarak bulunur.}$$

4.2.3. Yer Isı Değiştiricisi Hafriyat Maliyeti

Toprak ısı değiştiricisi yatırım maliyeti aşağıdaki denklem (4.3) kullanılarak bulunabilir (Tokgöz 2006);

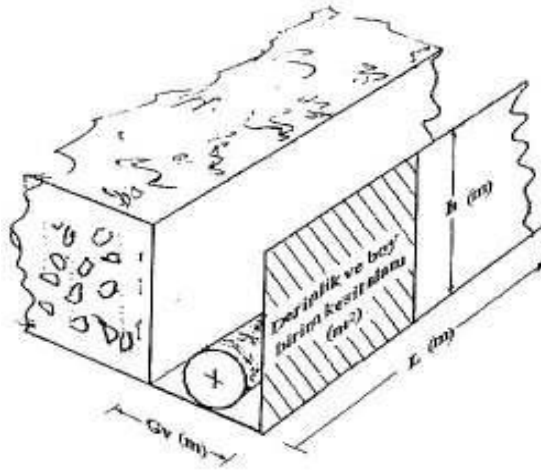
$$C_{\text{hafriyat}} = V_{\text{hafriyat}} \cdot BHM_{\text{hafriyat}} \quad (4.3)$$

V_{hafriyat} : Yer ısı değiştiricisi toplam boru hafriyat hacmi (m^3)

BHM_{hafriyat} : Birim hacim hafriyat maliyeti (TL/m^3)

V_{hafriyat} ise aşağıdaki denklem (4.4) ile hesaplanır;

$$V_{\text{hafriyat}} = n.h.L.G_v \quad (4.4)$$



Şekil 4.1. Hafriyat boyutları

Burada;

- n : Modül sayısı
- L : Modül boru boyu(m)
- h : Gömme derinliği(m)
- G_v : Kepçe ağzı genişliği(m) dır.

Piyasadan araştırmalar yapıldığında, iş makinesinin kepçe ağzı genişliğinin $G_v = 0,50$ m olarak alınmasının uygun olduğu değerlendirilmiştir. Bu durumda yer ısı değiştiricisi toplam hafriyat hacmi, $L = 95$ m, $n = 6$, $x = 1$ m ve $G_v = 0,50$ m değerleri için

$$V_{\text{hafriyat}} = (6) \cdot (95) \cdot (1) \cdot (0,50) = 285 \text{ m}^3 \text{ olarak bulunur.}$$

Piyasa koşulları araştırıldığında $BHM_{\text{hafriyat}} = 8 \text{ TL/m}^3$ olduğu öğrenilmiştir. Bu durumda yer ısı değiştiricisi hafriyat maliyeti;

$$C_{\text{hafriyat}} = V_{\text{hafriyat}} \cdot BHM = (285) \times (8) = 2280 \text{ TL olarak bulunur.}$$

4.2.4. Termal Enerji Deposu Yatırım Maliyeti

Termal enerji deposu hafriyat maliyeti, deponun küçük bir hacme ($V_d = 2,14 \text{ m}^3$) sahip olduğundan dolayı ihmal edilmiştir. Bu yüzden yalnızca FDM maliyeti hesaplanacaktır.

4.2.4.1 Faz Değişim Malzemesi Maliyeti:

Önceki hesaplama benzer şekilde, M_{FDM} FDM'nin birim fiyatı, m_{FDM} kullanılan FDM kütlesi olmak üzere faz değişim malzemesi maliyeti $C_{\text{FDM}} = M_{\text{FDM}} \cdot m_{\text{FDM}}$ ifadesinden bulunur.

Piyasadan edinilen bilgiler ışığında, yapılan bu çalışmada kullanılan $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ malzemesinin birim fiyatı $M_{\text{FDM}} = 0,6 \text{ TL/kg}$ dır. Seçilen faz değişim malzemesinin yoğunluğu $\rho_{\text{FDM}} = 1710 \text{ kg/m}^3$ olduğundan $V_{\text{FDM}} = 1,94 \text{ m}^3$ için;

$C_{\text{FDM}} = (0,6) \cdot (1,94) \cdot (1710) = 1990 \text{ TL}$ olarak bulunur.

4.2.5. Güneş Kollektörü Yatırım Maliyeti

Sistemde düz yüzeyli güneş kollektörleri kullanılmıştır. Güneş kollektörleri yatırım maliyeti denklem (4.5) ile hesaplanır.

$$C_{\text{kollektör}} = M_{\text{kollektör}} \cdot I_{\text{kollektör}} \quad (4.5)$$

$$I_{\text{kollektör}} = \frac{A_{kt}}{A_k} \quad (4.6)$$

$M_{\text{kollektör}}$: Kollektör birim maliyeti (TL/adet)

$I_{\text{kollektör}}$: Kollektör adeti

A_{kt} : Toplam kollektör yüzey alanı (m^2)

A_k : Kollektör birim yüzey alanı (m^2/adet)

Piyasadan elde edilen bilgiler ışığında $M_{\text{kollektör}} = 200 \text{ TL/adet}$ ve $A_k = 1,80 \text{ m}^2/\text{adet}$

Bu durumda kollektör sayısını hesaplırsak;

$$I = \frac{A_{kt}}{A_k} = \frac{30}{1,80} = 16,66$$

Kollektör adeti tam sayı olması gerektiğinden kollektör sayısı I=17 olarak bulunur.

Bu durumda kollektör maliyeti;

$$C_{\text{kollektör}} = (200).(17) = 3400 \text{ TL olarak bulunur.}$$

4.2.6. Isı Pompası Yatırım Maliyeti

Sistemimizde 10 kW'lık toprak kaynaklı ısı pompası kullanıldığı için, bu kapasitede çalışan toprak ısı pompası fiyat araştırması yapıldığında, maliyetin ortalama olarak

$$C_{y\text{-ısıpompası}} = 12\ 000 \text{ TL olduğu görülmüştür.}$$

4.2.7. Toplam Yatırım Maliyeti

Bu durumda sistem toplam yatırım maliyeti,

$$C_y = C_{\text{boru}} + C_{y\text{-ısıpompası}} + C_{\text{kollektör}} + C_{\text{FDM}} + C_{\text{hafriyat}}$$

$$C_y = 2009 + 12000 + 3400 + 1990 + 2280 = 21\ 679 \text{ TL}$$

4.2.8. Isı Pompası İşletme Maliyetinin Bugünkü Değer Teoremi ile Hesaplanması

Sistemimiz için saat saat hesap yapıldığı için, kompresörün 6 ay boyunca yapmış olduğu toplam iş miktarı $W_{k\text{-yıl}} = 2626,457 \text{ kWh}$ olarak bulunmuştur. Bulunan bu değer kompresörün yaptığı toplam iş miktarıdır.

Isı pompası işletme maliyeti $C_{i\text{-ısıpompası}}$ ise aşağıdaki denklemle bulunur (Tokgöz 2006).

$$C_{i\text{-ısıpompası}} = W_{k\text{-ay}} \cdot C_{\text{elektrik}} \cdot \frac{(1+i)^v - 1}{(1+i)^v \cdot i} \quad (4.7)$$

Burada;

$C_{i\text{-ısıpompası}}$: Isı pompası işletme maliyeti (TL)

$W_{k\text{-ay}}$: Isı pompası aylık elektrik harcaması (kwh/ay)

C_{elektrik} : Elektrik birim fiyatı(TL/kwh)
 i : Aylık faiz oranı
 v : Süre(ay)

Bu şekilde hesaplanan yıllık toplam kompresör işi bedelinin her ay eşit miktarlar halinde ödendiği varsayılarak aylık ortalama elektrik harcaması olarak toplam yıllık elektrik harcamasının $1/12$ ' si alınmıştır (Tokgöz 2006).

$$W_{k\text{-ay}} = W_{k\text{-yıl}} / 12$$
$$W_{k\text{-ay}} = 2626,457 / 12 = 218,871 \text{ kWh}$$

olarak bulunur.

Yıllık faiz oranı %10 olarak kabul edilmiştir. Bu yıllık faizin her ay eşit olarak bölüştürüldüğü var sayılarak aylık faiz oranı $i = 0,10/12 = 0,0083$ olarak hesaplanmış ve sabit alınmıştır. Elektrik birim maliyeti Bursa da KDV ve diğer bedeller dahil $C_{\text{elektrik}} = 0,3645 \text{ TL/kWh}$ olarak alınmıştır.

Örnek olması açısından 24.ay sonu için sistem işletme masrafı hesaplanırsa

$$C_{i\text{-ısıpompası}} = 218,871 \times 0,3645 \times \frac{(1+0,0083)^{24}-1}{(1+0,0083)^{24} \cdot 0,0083} = 1730 \text{ TL}$$

Sistemin toplam işletme ve yatırım maliyeti aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$C_{\text{sistem}} = C_{i\text{-ısıpompası}} + C_y$$

Burada;

C_{sistem} : Sistemin toplam işletme ve yatırım maliyeti(TL)
 $C_{i\text{-ısıpompası}}$: Sistemin toplam işletme maliyeti(TL)
 C_y : Sistemin toplam yatırım maliyeti (TL)

24 ay sonunda sistem toplam yatırım ve işletme maliyeti ise,

$$C_{\text{sistem}} = C_{\text{i-ısıpompası}} + C_y = 1\,730 + 21\,679 = 23\,409 \text{ TL}$$

4.2.9. Sistem Maliyetinin Konvansiyonel Sistemlerle Kıyaslanması

Sera ısıtma sistemlerinde kullanılan konvansiyonel ısıtma sistemlerinden olan motorin, fuel-oil ve kömür yakıtlı kazan ile sera ısıtıldığında oluşan maliyet ile sistemimizin maliyeti kıyaslanarak, sistemin her bir durumda ne kadar süre sonucunda kendini amorti ettiği hesaplanabilir.

Maliyet hesabı yapmak için birçok yöntem bulunmakla birlikte, Bugünkü Değer Teoremi kullanılacaktır. Öncelikle kazanlı sistemin yatırım maliyeti ve daha sonrada işletme maliyetleri bulunacaktır. Sistemimiz incelendiğinde en büyük sera ısı kaybı kış aylarında yaklaşık olarak 9,58 kWh ile gerçekleşmektedir. Kazan hesaplamalarında kcal/h enerji birimi kullanıldığı için, öncelikle burada birim dönüşümü yapalım;

$$1\text{kW}=860 \text{ Kcal/h}$$

Bu durumda $Q_s = 9,58 \times 860 = 8239 \text{ Kcal/h}$ olarak bulunur. Bu durumda 9000-10000 Kcal/h kapasiteli bir kazanın seçilmesi uygun olacaktır. Piyasa araştırması yapıldığında bu kapasitedeki kazanın maliyeti ve kazanlı ısıtma sisteminin diğer komponentlerinin maliyeti Çizelge 4.9'da verilmiştir.

Çizelge 4.9. Kazanın ve kazanlı sistemin diğer komponentlerinin maliyeti

Kazan Tipi	Kazan Maliyeti (TL)	Brülör Maliyeti (TL)	Hidrofor Maliyeti (TL)	Toplam Maliyet (TL)
Katı yakıtlı	4000	-	400	4400
Sıvı yakıtlı (Motorin)	5000	1000	400	6400
Sıvı yakıtlı (Fuel-oil)	5000	1000	400	6400

Kullanılan yakıt miktarını bulmak istendiğinde aşağıdaki denklem (Tokgöz 2006) kullanılabilir;

$$M_{yak} = \frac{Q_s}{D \cdot \eta_{ka}} \quad (4.8)$$

Burada;

M_{yak} : Kullanılan yakıt miktarı(kg/h)

Q_s : Seranın ısı kaybı (kcal/h)

η_{ka} : Kazan verimi

D : Yakıt alt ısı değeri (kcal/kg)

Kullanılan yakıt göre verim, ısı değerler ve maliyet için Çizelge 4.10 oluşturulmuştur (Dumlu 2012).

Çizelge 4.10. Konvansiyonel sera ısıtma sisteminde kullanılan yakıtlara ait bilgiler

Yakıt Cinsi	Yakıt Alt Isıl Değeri	Verim	Birim Fiyatı
Motorin	10256 kcal/kg	0,84	4,15 TL/kg
Fuel-Oil	9875 kcal/kg	0,80	1,82 TL/kg
İthal Kömür	7000 kcal/kg	0,65	1,05 TL/kg

Yakıt ısı değerleri baz alınarak yapılan hesaplamalarda, 6 ay boyunca toplam kullanılan toplam yakıt miktarı,

$$M_{motorin} = 1671,914 \text{ Kg}$$

$$M_{fuel-oil} = 1823,242 \text{ Kg}$$

$$M_{kömür} = 3165,628 \text{ Kg}$$

olarak bulunur.

Yıllık yakıt masrafının her ay eşit miktarlarda ödendiği varsayılarak Y_{ay} olarak toplam yıllık yakıt harcamasının $1/12$ ' si alınmıştır. Yıllık faiz oranı %10 olarak kabul edilmiştir. Bu yıllık faizin aylara eşit olarak yansıdığı kabulü yapılarak aylık faiz oranı $i=0,10/12=0,0083$ olarak bulunur (Tokgöz 2006).

$$Y_{ay-motorin} = Y_{yıl-motorin} / 12 = 1671,914 / 12 = 139,3 \text{ kg/ay}$$

$$Y_{ay-fuel-oil} = Y_{yıl-fuel-oil} / 12 = 1823,242 / 12 = 151,9 \text{ kg/ay}$$

$$Y_{ay-kömür} = Y_{yıl-kömür} / 12 = 3165,628 / 12 = 263,8 \text{ kg/ay}$$

olarak bulunur.

Motorin yakıtlı kazan işletme maliyetleri ise aşağıdaki denklem (4.9) ile hesaplanabilir.

$$C_{i-kazan} = Y_{ay} \cdot C_{yakıt} \cdot \frac{(1+i)^v - 1}{(1+i)^v \cdot i} \quad (4.9)$$

Örnek olması açısından motorin yakıtlı kazan için 24.ay sonu için hesaplanırsa,

$$C_{i-kazan} = 139,3 \cdot 4,15 \cdot \frac{(1+0,0083)^{24} - 1}{(1+0,0083)^{24} \cdot 0,0083} = 12533 \text{ TL olarak bulunur.}$$

Bu durumda 24.ay sonunda motorin yakıtlı kazan işletme ve yatırım maliyeti,

$$C_{kazan} = C_{i-kazan} + C_{y-kazan} = 12\,533 + 6\,400 = 18\,933 \text{ TL olarak bulunur.}$$

4.2.10. Sistem - Fuel oil - Kömür Kazanı Maliyetlerinin Hesaplanması

Kurmuş olduğumuz sistemin, fuel-oil yakıtlı kazanın ve kömür yakıtlı kazanın 6 aylık süre boyunca ayrı ayrı yatırım ve işletme masrafları hesaplanarak Çizelge 4.11'de gösterilmiştir. Ayrıca sistemin geri ödeme süresi bulunmuştur.

Çizelge 4.11. Kurulan sistem ve konvansiyonel ısıtma sistemlerinin işletme ve toplam maliyetleri

zaman	Sistem İşletme Maliyeti	Sistem Toplam Maliyeti	Motorin Yakıtlı Kazan İşletme Maliyeti	Motorin Yakıtlı Kazan Toplam Maliyeti	Fuel-Oil Yakıtlı Kazan İşletme Maliyeti	Fuel-Oil Yakıtlı Kazan Toplam Maliyeti	Kömür Yakıtlı Kazan İşletme Maliyeti	Kömür Yakıtlı Kazan Toplam Maliyeti
Ay	C _{i-sistem}	C _{sistem}	C _{i-motorin}	C _{motorin}	C _{i-fuel-oil}	C _{fuel-oil}	C _{i-kömür}	C _{kömür}
1	79	21758	573	6973	274	6674	275	4675
2	158	21837	1142	7542	546	6946	547	4947
3	235	21914	1706	8106	816	7216	817	5217
4	313	21992	2265	8665	1083	7483	1085	5485
5	389	22068	2820	9220	1349	7749	1351	5751
6	465	22144	3370	9770	1612	8012	1615	6015
7	540	22219	3916	10316	1873	8273	1876	6276
8	615	22294	4457	10857	2131	8531	2135	6535
9	689	22368	4993	11393	2388	8788	2393	6793
10	763	22442	5526	11926	2642	9042	2648	7048
11	835	22514	6053	12453	2895	9295	2900	7300
12	908	22587	6577	12977	3145	9545	3151	7551
13	979	22658	7096	13496	3394	9794	3400	7800
14	1050	22729	7611	14011	3640	10040	3647	8047
15	1121	22800	8122	14522	3884	10284	3891	8291
16	1191	22870	8628	15028	4126	10526	4134	8534
17	1260	22939	9131	15531	4366	10766	4375	8775
18	1329	23008	9629	16029	4605	11005	4614	9014
19	1397	23076	10123	16523	4841	11241	4850	9250
20	1465	23144	10613	17013	5075	11475	5085	9485
21	1532	23211	11099	17499	5308	11708	5318	9718
22	1598	23277	11581	17981	5538	11938	5549	9949
23	1664	23343	12059	18459	5767	12167	5778	10178
24	1730	23409	12533	18933	5993	12393	6005	10405
25	1794	23473	13003	19403	6218	12618	6230	10630
26	1859	23538	13469	19869	6441	12841	6454	10854
27	1923	23602	13932	20332	6662	13062	6675	11075
28	1986	23665	14390	20790	6882	13282	6895	11295
29	2049	23728	14845	21245	7099	13499	7113	11513
30	2111	23790	15296	21696	7315	13715	7329	11729
31	2173	23852	15744	22144	7529	13929	7544	11944
32	2234	23913	16188	22588	7741	14141	7756	12156
33	2295	23974	16628	23028	7952	14352	7967	12367
34	2355	24034	17064	23464	8160	14560	8176	12576
35	2415	24094	17497	23897	8367	14767	8384	12784
36	2474	24153	17926	24326	8573	14973	8589	12989
37	2533	24212	18352	24752	8776	15176	8793	13193
38	2591	24270	18774	25174	8978	15378	8996	13396
39	2649	24328	19193	25593	9179	15579	9196	13596
40	2706	24385	19608	26008	9377	15777	9395	13795

Çizelge 4.11. Kurulan sistem ve konvansiyonel ısıtma sistemlerinin işletme ve toplam maliyetleri (devam)

zaman	Sistem İşletme Maliyeti	Sistem Toplam Maliyeti	Motorinli Kazan İşletme Maliyeti	Motorinli Kazan Toplam Maliyeti	Fuel-Oilli Kazan İşletme Maliyeti	Fuel-Oilli Kazan Toplam Maliyeti	Kömür Yakıtlı Kazan İşletme Maliyeti	Kömür Yakıtlı Kazan Toplam Maliyeti
Ay	C _{i-sistem}	C _{sistem}	C _{i-motorin}	C _{motorin}	C _{i-fuel-oil}	C _{fuel-oil}	C _{i-kömür}	C _{kömür}
41	2763	24442	20020	26420	9574	15974	9593	13993
42	2819	24498	20429	26829	9770	16170	9788	14188
43	2875	24554	20834	27234	9963	16363	9983	14383
44	2931	24610	21236	27636	10156	16556	10175	14575
45	2986	24665	21634	28034	10346	16746	10366	14766
46	3040	24719	22030	28430	10535	16935	10555	14955
47	3094	24773	22422	28822	10723	17123	10743	15143
48	3148	24827	22810	29210	10908	17308	10929	15329
49	3201	24880	23196	29596	11093	17493	11114	15514
50	3254	24933	23578	29978	11276	17676	11297	15697
51	3306	24985	23958	30358	11457	17857	11479	15879
52	3358	25037	24334	30734	11637	18037	11659	16059
53	3410	25089	24707	31107	11815	18215	11838	16238
54	3461	25140	25077	31477	11992	18392	12015	16415
55	3511	25190	25444	31844	12168	18568	12191	16591
56	3562	25241	25808	32208	12342	18742	12366	16766
57	3611	25290	26169	32569	12514	18914	12538	16938
58	3661	25340	26526	32926	12686	19086	12710	17110
59	3710	25389	26881	33281	12855	19255	12880	17280
60	3758	25437	27233	33633	13024	19424	13049	17449
61	3806	25485	27583	33983	13191	19591	13216	17616
62	3854	25533	27929	34329	13356	19756	13382	17782
63	3902	25581	28272	34672	13520	19920	13546	17946
64	3949	25628	28613	35013	13683	20083	13710	18110
65	3995	25674	28951	35351	13845	20245	13872	18272
66	4042	25721	29286	35686	14005	20405	14032	18432
67	4087	25766	29618	36018	14164	20564	14191	18591
68	4133	25812	29948	36348	14322	20722	14349	18749
69	4178	25857	30274	36674	14478	20878	14506	18906
70	4223	25902	30599	36999	14633	21033	14661	19061
71	4267	25946	30920	37320	14787	21187	14815	19215
72	4311	25990	31239	37639	14939	21339	14968	19368
73	4355	26034	31555	37955	15090	21490	15119	19519
74	4398	26077	31869	38269	15240	21640	15270	19670
75	4441	26120	32180	38580	15389	21789	15419	19819
76	4483	26162	32488	38888	15537	21937	15566	19966
77	4526	26205	32794	39194	15683	22083	15713	20113
78	4568	26247	33097	39497	15828	22228	15858	20258
79	4609	26288	33398	39798	15972	22372	16003	20403
80	4650	26329	33697	40097	16114	22514	16145	20545

Çizelge 4.11. Kurulan sistem ve konvansiyonel ısıtma sistemlerinin işletme ve toplam maliyetleri (devam)

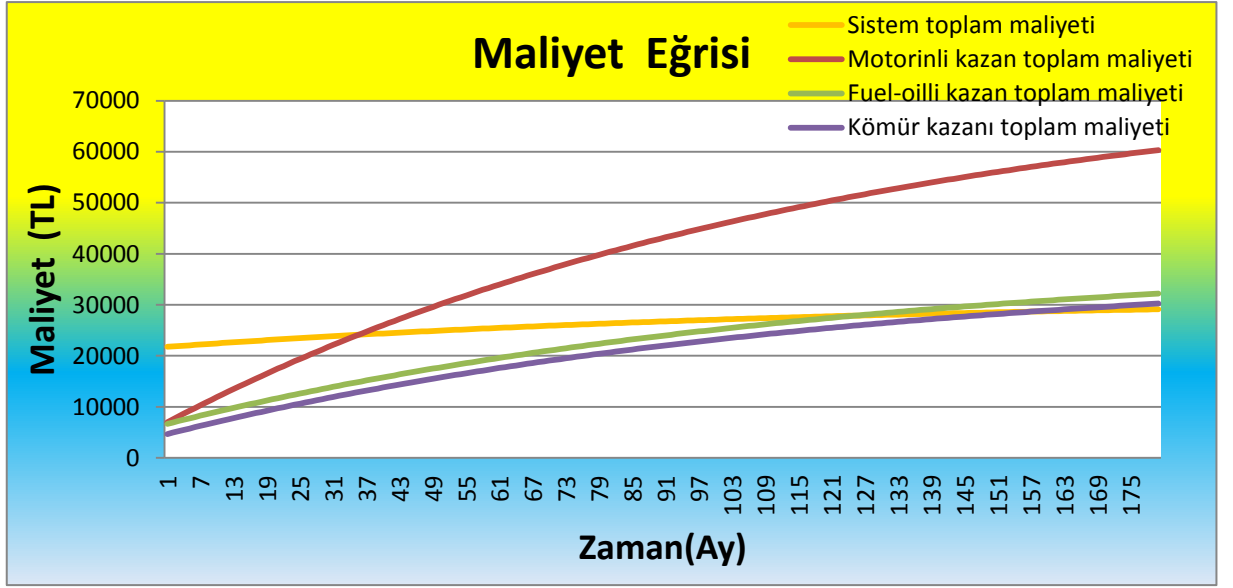
zaman	Sistem İşletme Maliyeti	Sistem Toplam Maliyeti	Motorinli Kazan İşletme Maliyeti	Motorinli Kazan Toplam Maliyeti	Fuel-Oilli Kazan İşletme Maliyeti	Fuel-Oilli Kazan Toplam Maliyeti	Kömür Yakıtlı Kazan İşletme Maliyeti	Kömür Yakıtlı Kazan Toplam Maliyeti
Ay	C _{i-sistem}	C _{sistem}	C _{i-motorin}	C _{motorin}	C _{i-fuel-oil}	C _{fuel-oil}	C _{i-kömür}	C _{kömür}
81	4691	26370	33993	40393	16256	22656	16287	20687
82	4732	26411	34286	40686	16396	22796	16428	20828
83	4772	26451	34577	40977	16536	22936	16567	20967
84	4812	26491	34866	41266	16674	23074	16706	21106
85	4851	26530	35152	41552	16811	23211	16843	21243
86	4890	26569	35436	41836	16946	23346	16979	21379
87	4929	26608	35718	42118	17081	23481	17114	21514
88	4968	26647	35997	42397	17215	23615	17248	21648
89	5006	26685	36274	42674	17347	23747	17381	21781
90	5044	26723	36549	42949	17479	23879	17512	21912
91	5081	26760	36821	43221	17609	24009	17643	22043
92	5119	26798	37092	43492	17738	24138	17772	22172
93	5156	26835	37360	43760	17866	24266	17901	22301
94	5192	26871	37625	44025	17993	24393	18028	22428
95	5229	26908	37889	44289	18119	24519	18154	22554
96	5265	26944	38151	44551	18244	24644	18280	22680
97	5301	26980	38410	44810	18368	24768	18404	22804
98	5336	27015	38667	45067	18491	24891	18527	22927
99	5371	27050	38922	45322	18613	25013	18649	23049
100	5406	27085	39175	45575	18734	25134	18770	23170
101	5441	27120	39426	45826	18854	25254	18891	23291
102	5475	27154	39675	46075	18973	25373	19010	23410
103	5509	27188	39921	46321	19091	25491	19128	23528
104	5543	27222	40166	46566	19208	25608	19245	23645
105	5577	27256	40409	46809	19324	25724	19362	23762
106	5610	27289	40649	47049	19439	25839	19477	23877
107	5643	27322	40888	47288	19554	25954	19591	23991
108	5675	27354	41125	47525	19667	26067	19705	24105
109	5708	27387	41360	47760	19779	26179	19817	24217
110	5740	27419	41593	47993	19891	26291	19929	24329
111	5772	27451	41824	48224	20001	26401	20039	24439
112	5803	27482	42053	48453	20111	26511	20149	24549
113	5835	27514	42280	48680	20219	26619	20258	24658
114	5866	27545	42505	48905	20327	26727	20366	24766
115	5897	27576	42729	49129	20434	26834	20473	24873
116	5927	27606	42950	49350	20540	26940	20579	24979
117	5958	27637	43170	49570	20645	27045	20685	25085
118	5988	27667	43388	49788	20749	27149	20789	25189
119	6017	27696	43604	50004	20852	27252	20893	25293
120	6047	27726	43819	50219	20955	27355	20995	25395

Çizelge 4.11. Kurulan sistem ve konvansiyonel ısıtma sistemlerinin işletme ve toplam maliyetleri (devam)

zaman	Sistem İşletme Maliyeti	Sistem Toplam Maliyeti	Motorinli Kazan İşletme Maliyeti	Motorinli Kazan Toplam Maliyeti	Fuel-Oilli Kazan İşletme Maliyeti	Fuel-Oilli Kazan Toplam Maliyeti	Kömür Yakıtlı Kazan İşletme Maliyeti	Kömür Yakıtlı Kazan Toplam Maliyeti
Ay	C _{i-sistem}	C _{sistem}	C _{i-motorin}	C _{motorin}	C _{i-fuel-oil}	C _{fuel-oil}	C _{i-kömür}	C _{kömür}
121	6076	27755	44031	50431	21057	27457	21097	25497
122	6106	27785	44242	50642	21158	27558	21198	25598
123	6134	27813	44451	50851	21258	27658	21298	25698
124	6163	27842	44659	51059	21357	27757	21398	25798
125	6191	27870	44864	51264	21455	27855	21496	25896
126	6220	27899	45068	51468	21553	27953	21594	25994
127	6247	27926	45271	51671	21649	28049	21691	26091
128	6275	27954	45471	51871	21745	28145	21787	26187
129	6303	27982	45670	52070	21841	28241	21883	26283
130	6330	28009	45868	52268	21935	28335	21977	26377
131	6357	28036	46064	52464	22029	28429	22071	26471
132	6384	28063	46258	52658	22121	28521	22164	26564
133	6410	28089	46450	52850	22214	28614	22256	26656
134	6437	28116	46641	53041	22305	28705	22348	26748
135	6463	28142	46831	53231	22395	28795	22439	26839
136	6489	28168	47019	53419	22485	28885	22529	26929
137	6514	28193	47205	53605	22574	28974	22618	27018
138	6540	28219	47390	53790	22663	29063	22706	27106
139	6565	28244	47573	53973	22750	29150	22794	27194
140	6590	28269	47755	54155	22837	29237	22881	27281
141	6615	28294	47935	54335	22923	29323	22968	27368
142	6640	28319	48114	54514	23009	29409	23053	27453
143	6664	28343	48291	54691	23094	29494	23138	27538
144	6689	28368	48467	54867	23178	29578	23222	27622
145	6713	28392	48641	55041	23261	29661	23306	27706
146	6736	28415	48814	55214	23344	29744	23389	27789
147	6760	28439	48985	55385	23426	29826	23471	27871
148	6784	28463	49156	55556	23507	29907	23553	27953
149	6807	28486	49324	55724	23588	29988	23633	28033
150	6830	28509	49492	55892	23668	30068	23714	28114
151	6853	28532	49658	56058	23747	30147	23793	28193
152	6876	28555	49822	56222	23826	30226	23872	28272
153	6898	28577	49985	56385	23904	30304	23950	28350
154	6920	28599	50147	56547	23982	30382	24028	28428
155	6943	28622	50308	56708	24058	30458	24105	28505
156	6965	28644	50467	56867	24134	30534	24181	28581
157	6986	28665	50625	57025	24210	30610	24257	28657
158	7008	28687	50781	57181	24285	30685	24332	28732
159	7029	28708	50937	57337	24359	30759	24406	28806
160	7051	28730	51091	57491	24433	30833	24480	28880

Çizelge 4.11. Kurulan sistem ve konvansiyonel ısıtma sistemlerinin işletme ve toplam maliyetleri (devam)

zaman	Sistem İşletme Maliyeti	Sistem Toplam Maliyeti	Motorinli Kazan İşletme Maliyeti	Motorinli Kazan Toplam Maliyeti	Fuel-Oilli Kazan İşletme Maliyeti	Fuel-Oilli Kazan Toplam Maliyeti	Kömür Yakıtlı Kazan İşletme Maliyeti	Kömür Yakıtlı Kazan Toplam Maliyeti
Ay	C _{i-sistem}	C _{sistem}	C _{i-motorin}	C _{motorin}	C _{i-fuel-oil}	C _{fuel-oil}	C _{i-kömür}	C _{kömür}
161	7072	28751	51244	57644	24506	30906	24553	28953
162	7093	28772	51395	57795	24578	30978	24626	29026
163	7113	28792	51545	57945	24650	31050	24698	29098
164	7134	28813	51694	58094	24721	31121	24769	29169
165	7154	28833	51842	58242	24792	31192	24840	29240
166	7175	28854	51989	58389	24862	31262	24910	29310
167	7195	28874	52134	58534	24932	31332	24980	29380
168	7215	28894	52278	58678	25001	31401	25049	29449
169	7234	28913	52421	58821	25069	31469	25117	29517
170	7254	28933	52563	58963	25137	31537	25185	29585
171	7273	28952	52704	59104	25204	31604	25253	29653
172	7293	28972	52843	59243	25271	31671	25320	29720
173	7312	28991	52982	59382	25337	31737	25386	29786
174	7331	29010	53119	59519	25403	31803	25452	29852
175	7349	29028	53255	59655	25468	31868	25517	29917
176	7368	29047	53390	59790	25532	31932	25581	29981
177	7386	29065	53524	59924	25596	31996	25646	30046
178	7405	29084	53657	60057	25660	32060	25709	30109
179	7423	29102	53788	60188	25723	32123	25772	30172
180	7441	29120	53919	60319	25785	32185	25835	30235



Şekil 4.2. Sistemin konvansiyonel sistemlerle maliyetinin kıyaslanması

Çizelge 4.11 veya Şekil 4.2 incelendiğinde, sera ısıtılması amacıyla oluşturduğumuz sistem, motorin yakıtlı kazanlı sisteme göre 36 ayda, fuel-oil yakıtlı kazana göre 126 ayda, kömür yakıtlı kazana göre ise kendisini 158 ayda amorti ettiği görülmektedir

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Yapmış olduğumuz çalışmada 40 m² taban alanına sahip bir seranın ısı ihtiyacı, güneş enerjisi ve toprak kaynaklı ısı pompası ile karşılanmaya çalışılmış olup, ortaya çıkan maliyetlerin konvansiyonel ısıtma sistem maliyetleriyle (motorin,fuel oil ve kömür kazanıyla) kıyaslanması yapılmıştır. Sistemde ayrıca faz değişim malzemeleriyle doldurulmuş ısı enerji deposu kullanılmakta böylece gündüzlerin güneş enerjisinin fazla olduğu durumlarda, kazanılan fazla enerji ısı enerji deposunda depolanmakta,geceleyin ise depolanan bu enerji seranın ısıtılması için kullanılmaktadır.Güneş enerjisinin yetersiz kaldığı durumlarda ise toprak kaynaklı ısı pompası devreye girerek, seranın ısı ihtiyacı karşılanmaktadır. Isıl enerji deposunda faz değişim malzemesi olarak gizli ısı depolama kapasitesinin fazla oluşu ve düşük sıcaklıklarda erime özelliği nedeniyle CaCl₂.6H₂O (Kalsiyum klorür heksahidrat) seçilip kullanılmıştır.

Isı pompası COP değerleri ekim ayı için 5,28, kasım ayı için 4,79, aralık ayı için 4,07 ocak ayı için 3,67, şubat ayı için 3,92 ve mart ayı için 4,38 olarak bulunmuştur. Kış aylarında toprak sıcaklığının düşmesine bağlı olarak COP değerlerinin düştüğü, böylece sistemin işletme masraflarının arttığı gözlemlenmiştir

Toprak sıcaklığının 1 metre derinlikte en yüksek 20,59 °C, en düşük sıcaklık olaraksa 7,35 °C olarak bulunmuştur.

Serada domates yetiştirildiği varsayılarak, domatesin optimum yetiştirme sıcaklığı olan 18 °C, seranın istenilen iç sıcaklığı olarak kabul edilip seranın ısı kaybı ve diğer hesaplamalar buna göre yapılmıştır. Hesaplamalar seranın ısıtma ihtiyacının yoğun olduğu 1 Ekim ile 31 Mart arasındaki 6 ay lık dönem için yapılmış ve bu dönem için seranın toplam ısı kaybı 16 748 kWh olarak bulunmuştur.

Toprak kaynaklı ısı pompasındaki kompresörün 6 aylık süre zarfında 2626 kWh 'lik enerji harcadığı bulunmuştur.Yoğuşturucudan atılan toplam ısı miktarı 10 820 kWh olmuştur. 4368 saatlik süre zarfında ısı pompasının 2265 saat çalıştığı gözlemlenmiş olup ısıtma çalışma faktörü 0,477 olarak bulunmuştur.

Kurmuş olduğumuz sistemin yatırım ve işletme maliyetleri hesaplanmış olup, yatırım maliyeti 21 679 TL olarak bulunmuştur. Seranın 6 aylık dönemde belirtilen ısı kayıpları için, konvansiyonel ısıtma sistemlerinden olan motorin kazanı, fuel oil kazanı ve kömür kazanıyla ısıtılması durumunda kullanılan yakıt miktarları ayrı ayrı, 1671 Kg motorin, 1823 Kg fuel-oil ve 3165 Kg kömür olarak bulunmuştur.

Bugünkü değer teoremi ile yapılan hesaplamalar sonucunda kurmuş olduğumuz sistem, motorin yakıtlı kazana göre 36 ayda, fuel-oil yakıtlı kazanlı sisteme göre 126 ayda, kömür yakıtlı kazanlı sisteme göre ise kendisini 158 ayda amorti etmektedir.

Bu sonuçlar bize göstermektedir ki, kurmuş olduğumuz sistemin ilk yatırım maliyetleri yüksek olmakla birlikte, işletme maliyetinin düşük olması, özellikle kış mevsiminin soğuk geçtiği bölgelerde kullanılması maliyet açısından avantajlı olmaktadır.

Sistemimizde kullanmış olduğumuz ısı enerji deposunun şarj ve deşarj anlarında meydana gelen ısı geçişinin mükemmel olduğu, enerjinin tamamının aktarıldığı kabulü yapılmıştır. Ancak başka bir çalışmada buradaki ısı geçişi ile ilgili çalışmalar yapıp, buna göre daha hassas sonuçlar elde edilebilir.

KAYNAKLAR

- Akbıyık, E. 1999.** Tekstil endüstrisinde atık sularla kayıp olan Enerjinin ısı pompaları yardımıyla geri kazanımı. *Yüksek Lisans Tezi*, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul
- Arda, K. 2006.** Güneş enerjisinin depolanması ve ısı analizi. *Yüksek Lisans Tezi*, EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Kayseri.
- Anonim, 2014 .** Slinky tipi yatay TSIP. <http://www.global-greenhouse-warming.com/ground-source-heat-pump.html> (Erişim Tarihi: 05.12.2014)
- Anonim 1997.** Refrigerating and Air Conditioning Engineers. American Society of Heating Handbook, Fundamentals ASHRAE, Atlanta.
- Anonim, 2015.** Toprak kaynaklı ısı pompaları. http://www.klimaci.com/kutuphane/toprak_su.html (Erişim Tarihi : 03.08.2015).
- Anonim, 2015.** Toprak kaynaklı ısı pompası tipleri.<http://www.global-greenhouse-warming.com/ground-source-heat-pump.html> (Erişim Tarihi: 03.08.2015).
- Anonim, 2015.** Toprak serpantinli ısı pompası (<http://www.mekenpro.com/akademi/isipompasi.pdf>.(Erişim Tarihi : 03.08.2015).
- Anonim, 2015.** Yatay TSIP sistemleri (www.erec.org/fileadmin/erec_docs/GSHP_brochure_v_2008.pdf. (Erişim tarihi :03.08.2015)
- Ataman, H. 1991.** Toprak kaynaklı bir ısı pompası tesisinin tasarımı ve optimizasyonu . *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Çatan, M.A, Baxter. V.D. 1985.** An optimized ground coupled heat pump system design for Northern climate applications. Ashrae Transactions. 2b. 91. 1185-1203. 4 Hughes
- Dağsöz, A.K., 1990.** Isı Gecisi, Alp Teknik Yayınları, İstanbul,120 S.
- Diz, T., Koyun, A. 2001.** Toprak ısı değiştiricilerindeki ısı geçişi için analitik model. 13. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, 5-7 Ey. 2001, Konya
- Diz, T. 2001.** Minimum enerjili bina tasarımı (Toprak Enerjisiyle). *Yüksek Lisans Tezi*, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Dumlu, S. 2012.** Toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin ekonomik analizi. *Yüksek Lisans Tezi*, AÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Erzurum.

Dursun, B. 2006. Soğuk iklim koşullarında ısı pompalarının kullanımı. *Yüksek Lisans Tezi*, AÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Erzurum.

Ealv, P.F. ve Ugursal, V.I.. 1997. Performance and economic feasibility of ground source heat pumps in cold climate. *International Journal of Energy Research*.

Erbil, T. 2002. Güneş enerjisi destekli toprak kaynaklı hibrit ısı pompası tesisinin enerji ve ekserji analizinin teorik ve deneysel olarak incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir.

Ersöz, İ. 2000. Toprak kaynaklı ısı pompası ile bir hacmin soğutulması. *Yüksek Lisans Tezi*, EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir

Esen, M. 1994. Güneş enerjisi ısı pompasındaki faz değıştiren madde içeren silindirik enerji deposunun bilgisayarda simülasyonu ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılması. *Doktora Tezi*, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon.

Fleming, W. 1998. Ground-source heat pump design and operation- experience within an Asian Country, *Ashrae Transactions*. lb. 104. 771-774.

Günhan, T. 1998. Seraların düşük sıcaklıktaki akışkanlarla ısıtılma teknikleri. *Yüksek Lisans Tezi*, EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Anabilim Dalı, İzmir.

Güven, Ş. 2002. Toprak kaynaklı ısı pompalarının diğeri sistemlerle karşılaştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, PÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli.

Incropera, F.P. ve De Witt, D.P. 2001. Isı ve Kütle Geçişinin Temelleri (Cev., T.Derbentli,O.F.Genceli,A.Gungor,A.Hepbaşlı,N.Özbalta,F.ÖzgüçveC.Parmaksızoğlu), Literatür Yayıncılık, İstanbul.

Ingersoll, L.R. ve Plass, H.J.1955. Heat conduction with geological applications, McGraw-Hill Book Company, Newyork

Kahvecioğlu, H. 2005. Sera ısıtma sistemleri ve tasarımlarının geliştirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

Kılıç, A., Öztürk A. 1983. Güneş Enerjisi. Kipaş dağıtımcılık, İstanbul 101 S.

Loomis, P.J. O'Neil R.A. ve Rizzuto. J. 1985. Results of the residential earth coupled heat pump demonstration in Upstate New York. *Ashrae Transactions*. 2b. 91.1307-1325.

Lim, K., Lee, S. ve Lee, C. 2007. An experimental study on the thermal performance of ground heat exchanger, *Experimental Thermal ve Fluid Science*,

Niğdelioğlu, O. 2006. Toprak kaynaklı ısı pompası dizaynı ve termo-ekonomik performans analizi. *Yüksek Lisans Tezi*, DPÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Kütahya.

Özonur, Y. 2004. Düşük sıcaklıkta termal enerji depolamasına uygun faz değıştiren maddelerin mikrokapsüllenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, ÇÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Adana.

Özsolak, O. 2011. Güneş ve toprak enerjisi kaynaklı ısı pompasının elazığ şartlarında konut ısıtması için kullanımının araştırılması. *Doktora Tezi*, FÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Elazığ

Siyanhan, Z. 2009. Güneş enerjisi kaynaklı ısı pompası destekli ısıtma sistemlerinin termodinamik ve termo ekonomik analizi. *Doktora Tezi*, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

Sarı, A. 2000. Bazı yağ asitleri ve ötektik karışımlarının enerji depolayıcı madde olarak kullanılabilirliğinin incelenmesi. *Doktora Tezi*, GOÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Tokat.

Tokgöz, B. 2006. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ve sera ısıtılmasına uygulanması. *Yüksek Lisans Tezi*, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

Yamaç, Ö. 2005. Güneş enerjisi destekli ısı pompalarının teorik incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, MKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Antakya.

Yiğit, A., Atmaca, İ. 2010. Güneş enerjisi. Alfa aktüel yayınları, Bursa, Türkiye, 216 S.

Yamankaradeniz, N. 2007. Tekstil sanayinde atık ısıdan enerji tasarrufunda klasik sistemlerle ısı pompası sistemlerinin karşılaştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.

Yamankaradeniz, B. 2011. Isı pompası kullanılarak kurutma işlemlerinde enerji tasarrufunun incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, DPÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Kütahya.

Yamankaradeniz, N. 2007. Tekstil sanayinde atık ısıdan enerji tasarrufunda klasik sistemlerle ısı pompası sistemlerinin karşılaştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, UÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.

EKLER

- EK 1** Bursa/Merkez için Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğünce Ölçülen Saatlik Dış Hava Sıcaklıkları
- EK 2** Bursa/Merkez için Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğünce Ölçülen Saatlik Güneş Işınımı Şiddeti Değerleri



2013 YILI SAATLİK KURU HAVA SICAKLIĞI TABLOSU (°C)																								
İstasyon Adı : BURSA												Ay : EKİM												
Günler	SAATLER																							
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	18.9	23.6	24.9	22.6	26.3	23.3	22.6	21.5	20.5	23.6	23.6	24.0	21.8	21.7	21.4	19.7	18.8	17.7	17.3	17.2	16.7	16.7	17.0	16.6
2	16.2	14.9	14.1	13.4	13.5	13.5	13.4	13.5	13.8	13.9	14.2	13.9	14.1	13.8	13.5	13.2	12.6	12.7	12.6	12.3	12.0	11.8	11.6	11.4
3	10.8	10.7	10.8	10.2	10.5	10.2	9.7	9.5	9.4	9.8	9.1	9.1	10.0	10.7	10.3	10.0	9.9	9.9	9.5	8.7	7.8	7.8	7.8	8.0
4	7.6	7.6	7.5	7.2	7.3	7.4	7.9	7.5	7.6	8.6	7.9	8.5	8.6	8.8	7.5	6.9	7.3	7.1	7.2	7.5	6.9	6.7	6.7	6.7
5	6.6	6.6	6.7	6.6	6.8	6.8	6.7	6.9	7.4	8.4	8.8	9.6	10.0	11.1	11.6	11.6	11.3	10.4	10.0	9.5	9.2	7.8	7.2	6.6
6	5.9	4.8	4.0	4.2	5.5	6.4	6.7	7.3	8.3	10.4	12.1	13.6	15.0	14.3	14.8	14.6	13.1	10.9	9.2	9.3	10.1	9.7	9.0	6.9
7	5.6	5.1	5.5	4.7	3.4	3.5	6.3	8.9	11.1	12.9	14.2	15.5	16.4	17.4	18.3	18.0	16.4	13.8	11.8	10.0	8.6	8.1	7.5	5.8
8	5.2	5.1	4.6	4.1	3.8	3.0	4.3	8.9	12.5	14.4	16.1	18.0	19.0	20.1	20.5	19.7	17.8	15.2	13.3	12.6	11.3	9.8	8.6	7.4
9	7.0	6.5	6.3	5.1	5.0	4.6	6.1	9.8	13.3	16.3	18.3	20.3	22.2	23.0	23.0	21.5	18.5	15.0	13.2	12.0	11.2	10.0	9.5	8.4
10	8.1	8.5	7.2	6.9	6.5	6.2	7.7	10.8	14.7	18.3	20.2	23.0	24.5	24.7	25.3	25.5	22.3	18.5	16.1	15.6	14.0	14.4	13.2	13.6
11	12.2	12.0	11.1	10.5	10.0	9.5	11.0	14.3	18.3	21.3	23.9	24.9	26.1	26.8	26.9	25.9	23.7	20.2	18.1	16.6	16.1	17.0	17.0	16.1
12	14.8	13.5	13.1	12.4	12.0	11.4	12.4	16.5	19.6	21.9	23.4	24.8	25.0	24.6	23.5	23.1	21.1	19.3	18.2	17.4	17.0	16.9	16.3	15.0
13	14.4	13.6	13.3	13.5	13.4	14.1	13.8	14.4	16.9	19.9	21.6	22.9	23.4	24.0	22.8	22.0	20.5	18.6	17.5	16.9	15.4	16.2	14.9	13.1
14	12.3	11.0	10.2	9.9	9.2	8.4	9.7	12.7	15.0	17.2	19.1	20.1	21.4	22.4	23.0	21.9	20.6	17.2	16.1	15.1	14.1	13.7	11.4	11.1
15	10.2	9.5	8.8	7.8	8.3	7.4	8.3	12.2	14.7	16.9	18.8	19.8	21.1	22.1	22.7	21.6	20.3	16.9	15.8	14.8	13.7	13.4	11.1	10.8
16	11.8	10.5	9.7	9.4	8.7	7.9	9.2	12.2	14.5	16.7	18.6	19.6	20.9	21.9	22.5	21.4	20.1	16.7	15.6	14.6	13.7	13.2	10.9	10.6
17	11.6	10.3	9.5	9.2	8.5	7.7	9.0	12.0	14.3	16.5	18.4	19.4	20.7	21.7	22.3	21.2	19.9	16.5	15.4	14.4	13.4	13.0	10.7	10.4
18	11.2	9.9	9.1	8.8	8.1	7.3	8.6	11.6	13.9	16.1	18.0	19.0	20.3	21.3	21.9	20.8	19.5	16.1	15.0	14.0	13.0	12.6	10.3	10.0
19	11.0	9.7	8.9	8.6	7.9	7.1	8.4	11.4	13.7	15.9	17.8	18.8	20.1	21.1	21.7	20.6	19.3	15.9	14.8	13.8	12.8	12.4	10.1	9.8
20	10.8	9.5	8.7	8.4	7.7	6.9	8.2	11.2	13.5	15.7	17.6	18.6	19.9	20.9	21.5	20.4	19.1	15.7	14.6	13.6	12.6	12.2	9.9	9.6
21	10.5	9.2	8.4	8.1	7.4	6.6	7.9	10.9	13.2	15.4	17.3	18.3	19.6	20.6	21.2	20.1	18.8	15.4	14.3	13.3	12.3	11.9	9.6	9.3
22	10.3	9.5	9.0	8.7	8.3	8.8	9.9	12.4	14.9	16.3	17.8	19.7	18.8	18.3	17.7	16.5	15.8	14.4	13.7	13.0	12.7	12.1	10.9	10.3
23	10.2	10.3	9.8	9.3	9.3	9.5	10.8	15.2	17.7	18.6	19.3	19.5	19.3	21.2	21.4	20.2	19.1	17.4	15.6	15.3	13.6	12.9	11.7	12.0
24	10.5	10.7	10.2	8.0	7.7	7.0	7.4	12.1	14.0	15.5	17.1	19.2	19.8	20.5	20.7	19.6	17.8	14.9	13.6	13.5	12.7	10.6	9.6	8.3
25	9.1	9.5	9.4	8.4	10.5	13.5	12.7	12.7	12.7	13.1	13.2	12.4	12.7	13.0	12.8	12.6	13.6	14.1	14.3	14.2	13.3	12.9	12.0	11.9
26	7.2	7.1	7.0	8.0	9.0	9.1	9.5	10.2	11.0	12.2	13.4	14.9	16.1	17.0	17.7	17.5	15.1	13.0	11.7	10.8	10.1	8.6	8.0	7.9
27	7.0	6.5	6.0	5.5	4.9	4.9	5.2	7.4	9.9	13.0	15.5	16.6	18.7	18.9	18.6	17.8	15.1	13.9	12.2	10.5	9.6	9.2	7.9	7.5
28	6.6	6.0	6.0	6.5	5.0	4.5	4.9	7.8	11.2	14.9	17.4	19.4	21.6	22.4	22.8	22.0	17.7	14.3	13.0	11.4	11.1	9.8	8.9	8.5
29	8.7	7.9	8.2	8.5	7.6	6.7	6.3	11.0	15.8	17.6	19.7	21.0	22.1	22.2	22.1	19.8	17.0	14.1	12.1	11.3	10.4	9.8	9.5	9.2
30	8.6	8.1	7.8	7.9	9.2	9.6	10.2	10.8	11.5	12.3	14.5	15.3	15.8	20.6	20.9	18.7	16.1	13.4	12.7	12.8	11.6	11.5	11.5	11.9
31	12.4	13.0	12.9	12.8	12.7	12.2	11.7	12.2	13.5	14.4	15.8	17.0	18.5	19.2	18.8	17.9	16.4	14.9	14.0	11.3	11.5	10.4	9.6	9.0

**Ek 1. Bursa/Merkez için Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğüne Ölgülen
Saatlik Dış Hava Sıcaklıkları (devamı)**

2013 YILI SAATLİK KURU HAVA SICAKLIĞI TABLOSU (°C)																								
İstasyon Adı : BURSA													Ay : KASIM											
Günler	SAATLER																							
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	10,0	8,3	9,1	7,6	6,9	7,4	7,2	10,0	13,1	14,9	16,2	17,4	17,9	18,6	20,0	18,2	15,7	14,6	14,3	12,6	11,5	10,6	9,4	8,7
2	8,6	8,1	7,8	7,9	9,2	9,6	10,2	10,8	11,5	12,3	14,5	15,3	15,8	16,9	17,0	16,2	13,9	12,0	10,7	10,4	10,0	8,6	9,1	7,9
3	7,2	6,7	6,7	6,2	6,4	5,8	5,9	6,5	9,2	12,4	15,5	16,9	16,9	16,8	16,7	16,1	13,9	12,0	11,1	10,5	8,9	8,3	7,5	6,8
4	6,6	6,2	5,4	5,2	5,5	4,7	4,7	7,9	10,6	14,1	18,1	20,1	21,9	22,5	23,2	21,7	17,3	14,4	11,8	10,4	10,0	9,3	8,8	7,9
5	7,2	7,3	6,1	6,0	5,8	5,5	6,6	9,6	13,7	16,8	20,5	23,8	24,3	24,4	24,4	23,7	22,0	20,7	17,9	17,6	15,4	14,9	15,0	14
6	13,6	13,1	12,9	13,3	12,8	12,6	15,6	15,3	16,7	17,0	19,5	21,0	22,6	22,9	23,0	22,8	21,5	21,1	17,9	17,7	17,4	17,4	16,7	15,8
7	5,5	5,0	5,5	5,1	5,0	4,2	6,6	9,2	11,0	12,8	14,4	15,8	17,0	17,2	16,3	12,7	9,8	8,8	7,6	8,2	6,5	6,1	5,9	5,7
8	5,1	4,6	5,1	4,7	4,6	3,8	6,2	8,8	10,6	12,4	14,0	15,4	16,6	16,8	15,9	12,3	9,4	8,4	7,2	7,8	6,1	5,7	5,5	5,3
9	5,0	4,5	3,7	4,3	4,8	3,6	7,4	11,3	14,0	15,5	16,7	17,9	19,0	19,4	17,1	14,2	12,2	10,2	8,3	8,2	6,7	6,7	5,6	4,8
10	4,0	4,7	4,0	3,1	3,8	3,1	9,6	12,6	14,4	15,8	17,0	18,4	19,5	19,4	19,0	14,3	11,0	9,3	11,3	8,4	7,3	6,3	6,9	6,6
11	7,0	8,5	7,1	9,5	10,9	11,5	10,9	13,6	15,3	16,7	18,8	19,3	20,5	21,0	18,2	16,4	16,0	14,0	12,1	10,9	10,0	9,3	8,3	7,3
12	6,8	6,9	6,0	6,1	5,7	5,2	7,9	12,6	15,6	17,2	19,5	20,6	21,6	21,1	19,3	15,9	14,0	13,4	11,1	8,9	9,2	8,5	8,7	7,3
13	7,2	6,3	6,2	5,0	4,6	4,1	7,4	11,3	14,3	15,7	16,9	17,7	18,2	17,8	15,1	13,2	11,8	12,8	11,2	10,7	11,0	11,3	10,4	9,7
14	9,3	9,1	9,4	9,6	10,0	11,8	12,5	13,0	13,6	14,2	14,7	15,2	15,4	15,1	14,3	13,6	13,2	12,7	13,2	12,6	12,8	12,7	12,1	12,1
15	11,6	12,0	12,0	11,4	11,4	11,2	11,8	13,2	14,9	15,8	17,0	17,2	16,6	15,6	15,0	14,3	13,5	13,3	13,4	13,3	13,1	12,8	12,6	12,2
16	12,6	12,4	12,3	12,3	12,2	12,2	12,2	12,3	12,6	12,7	13,3	13,9	13,9	13,2	13,2	13,0	12,5	12,3	11,9	11,8	11,6	11,4	11,3	11,2
17	11,3	11,0	11,0	10,8	10,7	10,6	10,5	10,7	12,3	13,1	13,6	13,6	13,4	13,5	13,2	12,5	11,4	10,1	8,8	8,4	8,8	7,9	5,8	4,8
18	4,3	4,2	3,7	3,0	2,7	2,3	2,8	4,8	8,2	10,6	12,7	14,1	14,7	15,2	15,2	14,5	12,2	10,9	9,1	6,7	6,3	6,1	5,0	4,4
19	3,7	3,9	3,2	2,9	2,0	2,4	2,7	4,9	7,8	11,4	14,3	15,8	16,0	16,8	17,2	14,9	11,4	10,3	8,8	7,4	6,5	6,3	7,6	6,6
20	7,0	7,0	6,0	7,4	8,3	11,6	11,8	11,3	13,1	14,8	15,9	17,5	18,5	19,4	19,6	17,2	15,0	13,9	13,9	12,2	12,0	12,5	13,1	13,5
21	12,4	12,5	13,3	12,2	11,9	13,1	12,6	11,6	12,2	13,9	15,8	18,5	20,2	22,1	21,7	20,4	18,5	16,2	14,5	14,4	13,8	13,1	12,5	13,0
22	13,8	12,9	13,6	13,1	13,1	13,7	12,5	13,2	13,5	15,9	17,2	18,3	18,4	19,1	19,2	18,8	17,7	15,5	15,9	17,1	16,3	15,3	14,0	13,2
23	12,2	11,0	9,9	10,4	10,5	11,2	10,5	10,5	13,8	16,5	17,9	17,8	18,3	18,7	18,3	17,2	15,7	14,9	13,0	11,9	11,0	9,4	9,9	9,0
24	8,9	9,2	8,9	8,1	7,8	9,1	8,4	11,7	13,0	14,9	17,1	18,7	19,8	19,5	19,4	18,4	17,2	16,3	14,6	14,9	15,8	9,6	10,1	9,3
25	9,1	9,5	9,4	8,4	10,5	13,5	12,7	12,7	12,7	13,1	13,2	12,4	12,7	13,0	12,8	12,6	13,6	14,1	14,3	14,2	13,3	12,9	12,0	11,9
26	11,6	11,4	11,2	11,0	11,0	11,1	11,1	11,3	11,6	11,6	11,9	12,5	12,7	12,6	12,5	12,1	12,1	11,7	11,7	11,7	11,1	10,0	9,5	9,2
27	8,3	7,4	7,4	7,6	7,8	8,1	7,6	8,5	9,5	10,2	12,2	13,1	13,5	13,9	12,3	11,5	11,1	10,5	9,9	8,2	9,9	10,4	10,5	10,1
28	10,0	9,6	9,9	9,3	9,4	9,6	9,0	9,2	9,5	9,4	9,6	9,7	9,7	9,6	9,4	8,7	8,4	8,2	7,6	7,8	7,8	7,3	7,3	7,4
29	7,3	7,1	6,6	6,3	6,0	4,6	5,3	5,8	6,5	8,8	9,5	10,2	10,9	10,7	10,3	8,8	8,0	8,2	8,3	8,2	7,8	7,5	7,1	6,9
30	6,0	4,3	3,2	2,5	1,5	0,7	0,7	0,9	4,6	7,8	8,8	10,3	11,1	11,6	11,8	11,0	6,8	6,8	4,6	4,6	5,3	5,7	5,6	6,5

**Ek 1. Bursa/Merkez için Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğüne Ölçülen
Saatlik Dış Hava Sıcaklıkları (devamı)**

2013 YILI SAATLİK KURU HAVA SICAKLIĞI TABLOSU(°C)																								
İstasyon Adı : BURSA													Ay : ARALIK											
Günler	SAATLER																							
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	8,6	9,0	9,1	8,9	9,0	9,2	8,9	9,2	9,5	10,8	12,5	13,8	14,4	14,5	13,9	13,3	12,4	12,0	12,5	12,6	12,4	12,3	12,3	12,5
2	11,2	10,9	10,9	11,7	11,6	11,3	10,8	10,3	10,5	12,1	12,2	13,1	12,9	13,4	13,2	12,7	11,7	11,3	10,8	10,1	9,6	8,6	8,8	7,5
3	7,5	7,9	8,4	8,3	8,2	7,2	6,9	6,9	6,0	6,7	7,0	7,5	7,9	7,5	7,6	6,9	5,7	5,2	4,6	4,4	4,2	3,9	3,8	3,8
4	3,3	2,6	2,3	2,0	3,4	2,5	2,6	1,8	3,4	5,1	5,7	6,4	7,1	7,7	8,3	7,6	6,1	4,2	4,3	2,1	2,5	1,2	-0,4	-0,3
5	-0,8	0,0	-0,6	-2,0	-2,5	-2,8	-2,8	-1,3	2,4	4,1	6,4	8,2	8,9	10,1	10,0	9,0	5,2	2,4	1,8	1,1	0,0	-0,2	-0,9	-1,6
6	-1,4	-2,4	-2,2	-2,3	-2,5	-2,9	-2,1	-2,3	1,7	4,4	7,8	9,5	10,8	11,9	12,2	11,0	7,3	4,3	2,4	2,1	1,5	1,7	1,0	0,5
7	-0,1	-0,5	1,1	1,1	1,8	5,3	6,5	4,8	4,7	4,3	3,5	3,2	2,8	2,2	2,8	2,9	2,2	2,0	2,5	2,4	2,7	1,8	2,5	2,3
8	1,7	1,4	1,2	1,0	1,0	0,9	0,5	1,5	2,2	2,8	4,6	5,4	5,1	5,8	5,7	5,4	3,8	3,2	3,4	2,9	4,5	4,3	3,2	3,1
9	3,0	3,4	2,5	2,0	1,3	-0,3	-1,2	-1,7	1,6	4,4	6,1	8,7	9,3	8,7	8,3	7,6	5,4	5,7	5,9	8,4	7,9	8,4	8,5	8,9
10	8,9	7,9	7,7	6,6	5,6	4,5	5,0	5,3	5,7	5,4	5,9	4,8	4,4	3,4	3,1	3,2	3,2	2,5	2,4	1,7	1,0	0,8	0,5	0,6
11	0,6	0,1	0,0	-0,3	-0,5	-0,7	-0,8	-0,8	-0,3	0,2	0,9	1,1	1,0	1,4	0,4	0,8	0,2	0,3	-0,3	-0,6	-1,2	-1,3	-0,2	-0,4
12	-0,6	-0,4	-0,6	-0,7	-0,9	-0,6	-0,6	-0,5	0,2	1,0	3,2	3,1	3,6	4,0	3,2	2,9	1,0	0,9	1,0	0,7	0,2	-0,2	-0,6	-0,8
13	-1,2	-1,3	-1,1	-1,5	-1,5	-1,3	-1,4	-1,0	0,0	0,9	2,9	2,0	1,4	2,0	1,7	1,3	1,1	1,0	0,5	0,5	0,3	0,1	0,1	0,4
14	0,3	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,9	1,1	2,2	2,8	3,9	4,6	5,7	6,4	6,5	5,9	3,4	2,2	0,9	1,0	0,5	1,0	0,6	0,1
15	0,6	0,4	-0,9	-1,6	-0,7	-0,7	-0,5	0,2	2,4	3,5	6,1	7,1	8,6	9,1	8,7	8,1	4,9	2,9	1,3	0,6	-0,2	-1,1	-1,1	-1,9
16	-1,5	-1,9	-1,8	-2,3	-2,6	-3,0	-3,4	-3,2	1,3	4,5	6,4	7,9	8,7	9,3	9,2	8,3	6,0	6,1	5,0	4,0	2,0	1,6	1,8	0,6
17	0,1	-1,1	-0,4	1,0	3,2	2,4	3,7	4,4	4,8	5,7	6,6	7,0	7,5	7,7	8,1	8,3	7,1	6,4	6,4	6,1	5,2	5,4	5,0	4,5
18	3,6	2,1	0,6	1,3	0,7	-0,3	-0,5	1,0	4,5	6,1	7,9	8,9	9,3	9,8	9,8	9,0	7,0	5,3	3,9	1,5	0,3	-0,3	2,8	2,7
19	1,6	0,6	0,1	-0,2	-0,6	-0,9	-2,2	-0,8	2,4	4,7	6,0	7,2	7,9	8,5	9,1	8,3	3,7	2,5	0,4	1,9	-0,9	0,1	1,6	2,9
20	2,6	2,4	2,3	2,2	2,0	1,9	1,8	2,1	3,4	4,9	6,4	7,3	8,5	9,3	9,5	8,7	7,4	5,5	2,7	2,6	1,7	0,6	3,2	4,1
21	3,3	0,9	1,1	0,2	0,5	0,4	1,5	2,4	3,9	5,5	7,1	8,4	10,1	10,6	10,7	9,5	6,1	4,1	1,8	2,5	2,0	2,0	1,8	2,1
22	1,3	1,4	0,5	0,4	-0,6	-0,3	-0,5	-0,6	1,5	3,4	4,7	5,9	7,3	8,3	8,1	7,2	5,4	3,9	2,5	3,0	2,3	1,7	0,8	1,1
23	0,9	0,6	0,5	0,2	-0,1	0,0	-0,1	-0,2	1,3	2,7	4,2	5,8	7,0	7,8	7,9	6,8	5,9	5,0	4,3	2,9	1,9	3,3	2,5	2,1
24	1,7	1,5	1,4	1,6	1,4	1,2	1,1	1,4	2,6	3,8	5,3	7,0	7,6	8,1	7,9	7,5	7,0	6,6	6,3	5,7	5,5	5,4	5,6	5,3
25	5,5	5,6	5,4	5,0	5,3	5,7	5,5	5,7	5,8	7,3	9,9	10,9	11,0	11,8	11,6	11,1	10,1	9,0	8,0	7,4	4,5	2,5	1,9	0,5
26	5,5	2,7	1,7	2,4	4,2	4,8	4,9	5,4	6,9	8,2	9,6	11,0	11,9	12,7	13,1	12,0	10,8	10,3	9,4	9,0	8,7	8,2	8,2	8,2
27	8,3	8,4	8,5	8,4	8,1	7,9	7,8	7,8	8,8	9,8	10,9	12,1	12,9	13,7	13,5	13,0	12,2	12,0	11,7	11,3	11,0	10,7	10,5	10,4
28	10,3	9,9	9,7	9,3	9,5	9,6	9,5	9,5	10,1	11,2	11,9	13,9	14,6	15,6	15,5	14,1	12,9	12,4	11,5	10,3	8,4	6,7	7,3	7,3
29	7,4	8,2	7,5	6,4	6,0	6,3	6,9	7,0	7,4	9,3	9,6	10,5	11,4	12,2	11,8	11,2	10,1	9,3	9,0	8,3	7,8	7,3	5,8	5,5
30	5,8	6,4	6,5	7,0	7,1	7,2	7,1	7,3	7,7	7,9	7,9	8,0	8,7	8,9	8,9	8,8	8,5	8,7	8,5	8,6	8,2	8,1	7,9	7,7
31	7,6	7,6	7,3	7,1	7,0	7,0	7,0	7,1	7,3	7,7	8,0	8,2	8,4	8,4	8,2	7,9	7,6	7,5	7,5	7,4	7,3	7,3	7,2	7,1

**Ek 1. Bursa/Merkez için Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğüne Ölçülen
Saatlik Dış Hava Sıcaklıkları (devamı)**

2013 YILI SAATLİK KURU HAVA SICAKLIĞI TABLOSU(°C)																								
İstasyon Adı : BURSA												Ay : OCAK												
Günler	SAATLER																							
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	7,1	7,0	7,2	7,1	7,2	6,8	6,7	6,8	7,1	7,8	7,9	8,3	8,6	9,8	9,7	8,6	7,0	5,8	4,7	3,8	2,8	2,0	1,9	1,6
2	2,4	3,2	4,5	4,9	5,7	5,7	5,9	6,1	6,7	7,7	9,2	10,2	11,6	12,3	12,0	11,5	10,6	9,8	9,1	8,6	8,2	8,3	8,3	8,2
3	8,1	8,2	8,1	8,1	8,2	8,2	8,3	8,3	8,7	8,9	9,5	10,2	10,6	11,5	11,6	10,0	8,9	7,2	5,9	5,3	5,2	4,5	6,6	7,2
4	5,9	6,2	5,6	5,2	5,0	4,9	5,8	6,8	6,9	8,7	10,1	10,3	10,4	10,7	10,1	9,6	8,7	8,4	8,4	8,0	7,4	7,1	7,2	7,3
5	7,3	7,2	6,8	4,7	4,2	4,1	2,7	2,6	4,4	6,4	8,6	11,1	12,6	13,2	13,8	12,8	9,8	7,6	6,0	5,1	4,0	3,3	3,3	2,9
6	2,9	2,7	6,3	7,2	7,4	7,2	7,1	7,2	8,0	9,2	10,5	12,1	12,9	13,6	13,6	12,5	11,1	10,3	9,8	9,4	8,9	8,5	8,3	7,7
7	7,2	7,0	6,9	6,6	6,3	6,2	6,1	6,1	6,8	8,2	9,3	10,6	11,9	12,6	12,9	11,7	10,2	8,5	7,2	6,3	5,6	6,1	5,2	5,4
8	5,2	4,5	3,5	3,6	3,3	3,7	3,2	4,0	5,4	6,6	8,6	9,9	11,1	12,0	12,1	11,5	9,8	7,5	6,1	5,3	6,3	5,9	4,6	4,2
9	2,8	2,2	1,5	2,3	0,9	1,2	-0,1	1,4	3,4	6,4	8,2	9,9	11,1	11,9	10,0	9,2	7,3	6,0	4,8	3,5	2,7	1,7	1,4	1,6
10	1,6	1,1	2,2	2,2	2,9	2,9	3,1	3,1	4,5	5,9	7,6	9,4	10,9	11,7	12,2	11,5	9,8	8,9	7,8	6,9	5,5	5,9	5,4	4,6
11	4,9	4,4	4,4	4,3	4,0	3,9	3,3	3,7	5,1	6,0	7,9	9,6	11,4	12,7	13,1	12,9	9,2	8,5	5,7	3,5	3,2	2,4	2,3	2,4
12	4,1	3,1	3,1	3,0	2,9	3,9	3,8	4,1	5,5	6,7	7,7	9,4	10,8	12,3	11,7	11,5	10,9	10,2	9,7	9,6	9,5	9,1	8,3	8,2
13	7,8	7,5	7,6	7,6	6,8	4,9	4,9	5,7	6,8	8,9	11,2	12,0	13,3	13,7	13,5	13,2	9,3	6,7	5,9	5,5	5,0	3,8	3,0	3,7
14	2,7	2,3	3,5	5,1	4,8	5,2	5,6	5,7	8,0	8,4	9,3	10,3	12,3	13,2	13,6	13,1	11,7	10,7	9,5	8,9	10,1	7,0	5,0	4,3
15	3,3	2,6	3,5	3,1	4,5	5,1	8,7	8,5	9,9	11,1	12,9	13,4	14,9	15,6	16,3	15,7	14,2	11,5	12,2	11,4	10,8	9,8	10,0	9,9
16	8,3	8,5	8,8	8,7	8,3	9,9	9,3	9,4	9,9	11,4	13,7	15,9	17,6	16,3	15,3	13,4	12,0	13,7	12,7	11,0	10,3	10,4	10,7	10,4
17	10,7	11,1	10,7	10,3	9,8	9,1	8,9	9,3	10,3	11,4	14,0	15,1	16,2	16,7	15,8	15,8	14,1	10,4	9,5	8,9	8,7	7,0	7,9	6,8
18	5,4	4,5	3,8	4,1	3,2	3,0	3,6	3,7	6,5	10,1	12,9	15,0	16,6	17,7	17,7	16,6	16,0	13,6	15,4	15,9	16,2	15,7	11,6	10,4
19	12,3	16,1	16,3	16,0	16,4	16,2	16,3	15,9	17,1	18,1	17,8	19,8	19,7	18,8	18,8	18,9	17,2	16,2	16,0	14,7	12,6	11,0	8,7	7,2
20	7,2	6,7	6,2	6,0	6,4	8,0	6,8	8,0	10,2	10,6	13,0	14,5	16,7	18,9	19,9	18,4	16,7	16,4	15,9	15,4	12,5	12,0	15,5	16,4
21	16,3	16,2	13,3	12,0	11,2	9,8	10,9	10,2	13,8	15,4	20,6	21,3	21,5	20,6	20,1	19,3	18,6	17,2	16,6	15,3	17,5	17,2	17,1	16,8
22	14,8	14,9	15,0	10,0	10,0	10,9	11,5	11,9	13,6	14,7	15,8	17,2	17,2	16,3	16,3	16,0	15,0	14,4	14,0	13,8	12,5	11,0	10,2	11,9
23	11,5	11,4	11,1	10,7	10,8	7,9	7,2	7,8	8,9	10,5	13,8	16,8	16,6	15,7	15,7	14,0	10,7	10,2	9,9	9,7	9,5	9,6	9,4	8,9
24	8,5	8,1	8,6	7,6	7,6	8,0	7,1	6,9	8,4	10,8	12,0	13,3	14,0	14,1	14,4	14,2	12,8	11,1	10,5	10,0	9,6	9,4	9,8	10,6
25	10,7	10,9	10,6	10,7	11,3	11,9	12,2	10,7	10,2	11,3	13,6	16,6	17,9	18,3	18,8	18,6	16,2	12,8	11,5	10,2	11,4	11,8	12,3	11,6
26	10,4	10,7	11,5	11,7	11,4	11,0	11,0	10,8	11,2	11,8	12,3	12,2	13,3	13,2	13,9	14,0	9,0	8,6	8,5	8,4	7,9	7,6	7,6	7,5
27	6,9	6,3	5,9	5,5	5,1	4,7	4,1	4,0	3,7	3,7	3,7	3,9	4,2	4,5	4,0	3,9	4,1	4,1	4,2	4,4	4,3	4,6	4,6	4,5
28	4,5	4,6	4,8	4,7	4,8	4,8	5,0	5,0	5,0	5,2	6,1	6,8	7,2	8,3	8,7	9,2	8,7	8,1	8,1	8,3	8,3	8,2	8,0	7,5
29	7,4	7,6	8,8	9,9	11,5	12,4	14,1	13,9	14,4	13,1	12,9	11,8	13,1	12,3	11,7	11,9	11,1	10,3	10,3	9,0	7,5	5,9	6,4	5,8
30	6,1	6,1	6,0	5,5	5,3	5,3	5,0	5,0	5,1	5,5	5,5	6,0	6,3	6,6	7,1	6,7	5,9	4,8	4,3	4,1	3,8	3,8	4,0	3,4
31	3,4	3,3	3,3	3,1	3,1	3,0	2,7	2,8	3,6	4,0	4,2	5,3	5,8	7,0	7,3	6,7	5,0	4,4	4,3	4,0	4,1	4,1	4,1	3,8

**Ek 1. Bursa/Merkez için Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğüne Ölçülen
Saatlik Dış Hava Sıcaklıkları (devamı)**

2013 YILI SAATLİK KURU HAVA SICAKLIĞI TABLOSU(°C)																								
İstasyon Adı : BURSA												Ay : ŞUBAT												
Günler	SAATLER																							
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	3,7	3,5	2,6	2,2	1,9	1,4	2,0	2,4	3,0	4,3	5,4	6,5	7,8	9,0	9,4	9,3	7,0	5,6	5,1	4,1	3,1	2,3	1,6	3,0
2	2,8	2,8	3,2	2,7	1,6	3,0	3,6	4,2	5,7	7,0	8,8	10,1	11,0	11,1	10,6	10,2	9,3	8,1	7,7	7,5	6,9	6,4	5,9	5,5
3	5,0	2,3	2,0	0,0	-0,8	-0,8	-2,1	-0,3	2,8	5,8	7,4	9,0	9,8	10,6	10,6	10,1	8,5	6,9	6,6	6,1	5,1	3,6	1,8	1,0
4	0,0	0,8	-0,4	-1,4	-1,2	-1,8	-1,8	-1,4	3,2	6,4	7,9	8,8	9,6	10,2	10,1	9,4	7,9	6,5	5,6	4,2	2,0	1,1	0,0	-0,4
5	-1,0	-1,0	-1,6	-1,5	-2,0	-2,6	-2,6	-0,9	1,4	4,2	7,0	7,8	9,3	10,7	10,7	9,2	7,3	5,4	4,7	3,7	2,9	1,9	0,9	1,2
6	1,8	1,4	1,7	1,5	1,6	1,0	1,1	2,0	3,6	5,0	6,8	8,0	9,3	10,2	10,5	10,2	7,8	5,8	4,5	3,5	2,4	2,0	1,1	0,3
7	0,2	-0,5	-0,2	-0,4	-1,6	-1,6	-0,9	-0,4	1,3	4,6	7,7	9,5	10,3	10,7	11,5	11,6	10,0	7,3	6,1	4,3	3,0	2,9	2,7	2,3
8	1,3	0,8	0,2	1,1	2,4	3,8	4,6	6,6	9,0	11,2	13,6	17,3	17,0	18,5	17,5	17,1	16,9	16,2	16,3	16,3	16,2	16,2	16,6	15,9
9	14,4	15,6	15,9	16,0	15,4	15,3	14,9	14,6	16,0	16,2	16,0	16,2	16,8	16,9	16,6	16,9	16,6	16,5	16,2	16,6	16,7	16,7	17,0	17,4
10	17,0	16,9	16,4	16,0	12,2	13,2	13,8	14,1	15,8	16,3	17,3	17,2	17,9	17,5	18,0	17,8	17,7	14,3	13,5	13,7	14,2	13,9	13,2	11,0
11	9,2	7,2	6,7	6,9	6,0	5,6	5,1	7,2	11,2	13,8	15,5	16,7	17,7	18,8	19,9	20,2	17,0	15,0	12,9	10,1	10,0	8,3	7,2	6,1
12	6,4	6,0	5,6	5,7	4,5	3,9	4,4	5,2	7,0	12,6	17,3	17,9	18,8	18,2	17,9	17,6	15,6	12,7	11,4	11,0	9,5	9,4	8,5	8,7
13	8,3	7,7	6,5	6,7	6,5	6,8	5,6	5,8	10,7	13,8	16,7	19,0	19,6	18,8	18,2	18,1	15,8	14,1	14,3	12,7	11,4	11,2	11,1	10,6
14	10,8	10,1	9,9	9,7	9,8	9,5	9,4	9,1	11,0	12,4	14,0	14,4	15,8	15,3	13,9	12,6	11,1	10,2	10,1	10,0	9,7	9,7	9,8	9,7
15	9,7	9,5	9,3	9,3	9,2	9,2	9,3	9,4	9,6	9,9	9,7	9,5	9,0	9,9	9,2	9,1	8,9	8,7	8,6	8,9	8,7	8,6	7,7	7,7
16	7,9	7,8	7,7	7,7	7,5	7,2	7,1	7,5	8,1	9,9	10,6	11,3	12,6	12,9	13,2	13,7	12,7	10,4	8,4	7,6	6,2	5,2	4,9	4,7
17	4,6	2,8	2,6	2,2	2,5	1,9	1,8	4,2	8,3	11,4	13,7	15,3	16,7	17,7	16,5	15,2	13,8	12,3	11,2	9,8	8,5	7,4	6,4	5,6
18	5,0	4,5	3,9	3,8	3,8	2,8	2,6	5,0	9,1	13,1	15,4	17,1	18,6	19,7	20,7	19,2	16,6	14,2	11,2	10,0	9,3	8,1	7,0	6,2
19	6,6	5,6	5,3	5,3	4,8	4,4	3,9	6,1	9,8	12,0	14,8	16,9	18,4	18,9	20,1	20,2	19,3	14,6	11,4	10,3	9,7	8,1	6,5	6,1
20	5,4	5,1	4,5	4,4	3,4	3,6	3,7	5,2	8,7	12,6	15,7	18,3	21,5	22,0	22,6	21,5	19,3	16,1	13,2	10,8	9,2	10,0	7,9	7,0
21	6,2	6,7	5,8	6,9	6,6	5,9	5,1	6,4	9,9	13,2	15,7	16,8	18,1	17,9	18,1	17,6	15,0	13,5	12,2	10,9	9,5	8,7	8,6	8,5
22	8,4	8,4	8,4	8,5	8,7	8,6	8,5	8,6	8,6	8,8	9,1	9,5	9,2	9,2	9,5	9,2	8,6	8,4	8,4	8,3	8,4	8,4	8,5	8,5
23	8,3	8,4	8,3	8,3	8,3	8,3	8,1	8,5	9,2	10,0	11,4	12,4	11,8	11,4	11,0	9,9	9,5	9,2	9,1	8,8	8,7	8,8	8,8	8,7
24	8,4	8,4	8,5	8,4	8,2	7,8	7,7	7,9	8,0	8,4	8,7	9,1	9,3	8,7	9,1	8,7	8,2	8,0	7,9	7,7	7,6	7,7	7,6	7,7
25	7,4	7,3	7,4	7,0	6,9	6,8	7,1	7,5	8,1	7,9	7,8	8,0	8,0	7,6	7,5	7,2	7,0	6,7	6,6	6,3	6,1	6,0	5,7	5,4
26	5,2	5,2	5,1	5,1	5,0	5,1	5,0	5,2	5,3	5,8	6,4	6,8	6,7	7,1	7,2	7,2	7,0	6,4	6,2	5,6	5,3	5,4	5,5	4,9
27	4,7	5,2	4,2	4,6	4,9	4,6	4,9	5,2	6,5	8,3	9,8	10,8	10,1	10,8	10,7	9,3	9,7	7,2	7,3	6,0	4,0	4,6	3,1	2,6
28	1,8	1,7	1,1	0,7	1,4	1,2	1,0	2,8	5,7	7,8	8,6	9,7	10,4	10,7	10,9	11,0	10,5	9,1	6,8	6,2	5,6	4,4	3,9	3,9

Ek 1. Bursa/Merkez için Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğüne Ölülen
Saatlik Dış Hava Sıcaklıkları (devamı)

2013 YILI SAATLİK KURU HAVA SICAKLIĞI TABLOSU(°C)																								
İstasyon Adı : BURSA												Ay : MART												
Günler	SAATLER																							
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	3,6	3,6	5,3	6,2	7,0	7,2	7,8	9,3	9,4	9,7	10,2	10,9	11,4	11,1	11,0	11,4	11,6	12,0	11,2	10,8	9,7	8,1	8,3	8,1
2	8,6	8,4	7,8	7,5	7,9	8,2	10,4	10,1	11,8	13,7	14,9	15,5	16,1	11,0	11,9	12,7	12,7	12,6	15,3	15,3	15,1	14,8	13,4	11,5
3	10,1	11,0	9,7	7,6	6,7	6,5	6,3	8,1	9,5	12,9	14,8	16,2	18,2	18,3	18,5	17,8	17,1	14,9	14,6	15,2	15,9	15,5	15,4	16,7
4	15,9	15,6	13,1	14,0	13,7	12,6	13,0	14,0	15,4	15,7	15,9	14,1	12,8	12,8	13,4	14,5	13,8	12,4	12,3	11,0	10,0	7,5	7,9	5,9
5	5,9	5,3	6,9	6,7	7,4	7,6	9,3	11,0	13,2	13,8	14,1	16,0	16,3	16,8	16,0	16,3	12,4	12,5	11,5	11,7	10,4	10,9	11,9	11,1
6	11,9	12,5	12,2	11,7	10,2	8,1	7,2	9,7	11,4	13,7	15,5	16,6	17,3	17,7	16,7	16,7	15,8	13,6	10,8	10,8	9,8	9,7	7,0	6,3
7	5,4	5,7	6,4	5,1	3,9	3,1	3,2	8,3	11,4	14,6	14,9	15,8	16,3	16,1	15,8	15,8	13,7	12,5	10,6	10,5	10,1	9,2	9,3	8,6
8	8,2	7,9	7,4	7,1	7,1	7,1	6,8	6,8	7,1	7,5	8,0	8,7	8,5	8,6	8,7	8,8	8,6	8,3	8,3	8,1	8,0	7,9	7,9	7,9
9	7,8	7,5	7,0	6,7	6,6	6,7	6,7	6,9	6,9	6,4	7,1	7,3	7,3	7,3	6,9	6,7	6,7	6,7	6,7	7,0	7,0	6,9	7,1	7,0
10	6,4	6,1	6,1	6,2	6,2	6,2	6,2	6,6	6,9	7,1	7,7	7,9	8,1	8,2	8,1	7,8	7,3	7,0	7,2	7,0	7,0	7,0	6,9	6,7
11	6,5	6,4	6,2	5,9	6,0	5,9	5,7	5,7	6,1	6,1	6,1	6,2	6,2	6,2	6,0	5,7	5,5	5,4	5,3	5,5	5,3	5,2	5,4	5,3
12	5,2	4,8	5,0	4,3	3,7	3,5	3,8	4,8	5,8	6,8	7,6	8,6	9,7	8,9	9,1	9,6	9,5	8,2	8,1	7,5	6,5	6,3	5,5	4,2
13	3,9	2,1	0,4	0,5	1,1	1,9	2,0	5,7	6,5	8,7	9,8	9,9	10,0	10,4	10,6	9,6	8,5	7,6	6,8	5,6	5,1	4,3	3,1	3,8
14	3,9	4,1	1,7	1,6	1,5	0,1	-0,4	3,0	5,7	10,2	10,7	11,9	12,3	13,3	13,4	12,6	12,8	10,3	7,2	6,1	4,8	4,4	3,0	3,0
15	1,8	0,9	1,2	-0,1	-0,4	-0,7	0,8	5,6	9,0	12,0	14,4	16,3	17,0	17,3	17,8	18,1	18,1	16,3	12,0	11,5	14,6	14,5	14,5	7,6
16	14,1	13,8	15,8	14,3	9,7	10,2	11,2	13,1	11,5	12,7	13,8	13,4	13,5	13,6	13,3	10,8	9,4	9,1	9,1	8,6	8,4	7,7	7,7	7,6
17	7,7	8,4	8,3	8,0	6,6	5,2	4,7	7,3	8,7	10,4	12,4	15,0	16,7	17,8	18,1	17,8	17,2	15,1	12,4	10,2	9,5	7,8	7,0	6,1
18	5,4	5,3	5,4	4,5	3,7	4,7	5,4	9,2	11,1	14,6	17,0	18,6	19,6	20,6	20,2	19,4	19,5	17,6	13,7	11,3	10,9	8,6	7,8	7,5
19	6,6	6,1	6,3	5,9	5,8	4,6	5,7	12,2	13,6	16,3	19,0	21,5	23,3	23,6	24,3	23,9	23,3	21,5	18,3	17,9	17,6	15,3	16,9	14,8
20	15,1	13,6	14,4	14,0	13,1	12,4	11,6	9,4	10,3	11,8	11,7	11,9	13,8	15,2	16,1	15,8	15,7	14,3	12,7	10,6	10,0	9,4	8,0	8,1
21	10,2	8,0	8,3	8,0	8,1	8,1	9,0	11,1	12,5	14,1	16,7	17,3	18,0	18,9	20,0	20,1	20,0	18,1	15,7	15,7	15,6	15,0	14,2	12,1
22	10,3	7,9	6,9	5,5	6,3	6,7	6,5	9,9	13,7	17,5	19,3	20,6	21,9	22,0	21,8	21,0	19,2	16,5	13,2	11,9	12,6	10,7	9,8	8,6
23	6,9	7,2	6,7	5,8	5,6	6,0	8,6	10,1	12,1	14,5	17,3	18,4	19,9	19,9	19,5	20,0	18,9	16,6	13,9	12,0	12,0	10,8	9,7	8,3
24	8,0	7,8	6,6	7,6	6,1	5,4	8,1	10,9	14,6	17,4	19,1	20,3	20,6	20,6	21,1	20,9	20,1	19,0	16,6	16,1	14,6	13,1	13,5	11,8
25	11,5	11,1	11,6	10,1	10,3	10,3	10,5	12,4	13,1	14,7	16,2	15,2	13,6	12,1	12,8	12,7	13,7	12,4	12,3	12,5	12,1	12,4	11,6	10,8
26	6,9	6,2	5,4	5,3	4,9	5,0	7,8	9,8	11,3	12,6	13,8	15,9	16,6	15,5	15,5	15,5	15,2	12,2	10,4	11,0	10,7	10,8	10,4	10,5
27	9,8	10,1	9,9	9,7	9,6	8,2	9,1	11,7	14,6	16,2	18,5	19,2	19,4	19,6	19,7	19,7	19,2	17,7	16,8	15,1	13,6	13,2	15,6	15,6
28	14,7	15,0	14,4	15,0	15,2	13,0	12,9	14,4	16,4	18,0	18,7	15,2	13,2	12,9	14,2	17,9	16,6	14,1	12,4	10,9	12,0	10,5	10,4	10,2
29	10,3	9,8	10,3	9,9	10,0	10,0	10,3	10,5	11,3	11,4	11,6	9,5	9,7	12,3	12,4	13,2	11,7	9,8	8,2	6,8	6,1	5,1	4,1	3,7
30	4,3	4,0	4,0	2,9	3,5	3,5	4,7	5,9	7,2	8,4	8,9	9,8	10,8	11,7	12,3	12,5	11,7	10,2	8,2	6,9	5,8	5,8	4,0	
31	3,3	1,8	2,9	1,0	0,4	0,3	3,5	6,9	9,5	11,4	13,5	15,7	16,5	17,7	17,4	17,6	17,0	14,3	11,0	9,0	8,0	6,3	4,9	4,9

2013 YILI SAATLİK GÜNEŞ IŞINIMI ŞİDDETİ DEĞERLERİ (W/m²)																								
İstasyon Adı : BURSA												Ay : EKİM												
Günler	SAATLER																							
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	0	0	0	0	0	0	12	33	43	109	177	89	66	92	74	24	16	2	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	3	20	48	58	89	136	113	59	45	28	15	2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	5	17	27	54	34	32	60	188	51	21	8	1	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	33	37	85	274	95	66	71	84	70	38	20	2	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	4	19	36	118	322	274	293	286	465	210	62	11	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	15	75	123	269	585	608	423	472	401	238	140	11	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	37	165	348	493	583	631	622	556	449	301	124	9	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	32	159	336	476	564	611	612	539	428	284	93	6	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	31	166	324	465	556	606	599	528	402	258	93	6	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	19	130	299	434	521	577	548	499	382	252	64	6	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	29	119	297	432	520	557	541	482	402	263	98	4	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	25	144	285	418	483	526	542	474	371	239	92	4	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	13	92	272	420	511	569	570	489	390	255	100	4	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	23	147	297	435	528	569	566	493	383	261	103	2	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	23	149	142	512	612	666	659	581	442	284	102	6	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	21	143	329	478	573	634	603	549	420	277	70	7	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	32	130	326	475	572	613	595	530	442	289	108	4	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	28	158	313	460	532	578	596	521	409	263	101	5	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	14	101	299	462	562	626	626	537	429	280	110	4	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	26	162	327	479	580	626	622	543	421	288	113	2	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	26	164	157	503	609	657	653	570	442	302	119	3	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	27	172	265	407	495	532	127	554	384	272	132	4	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	27	149	254	378	481	164	91	17	29	6	62	1	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	12	131	294	452	559	631	602	524	400	231	59	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	11	127	292	449	560	621	594	514	386	224	57	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	3	22	64	129	186	421	583	496	359	187	46	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0	10	101	262	420	536	595	582	500	373	198	46	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0	9	120	291	452	547	590	583	502	368	209	52	0	0	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0	7	111	286	444	537	550	533	443	335	162	38	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	11	150	303	388	502	598	559	277	353	188	41	0	0	0	0	0	0	0
31	0	0	0	0	0	0	4	39	148	311	424	484	482	413	301	147	32	0	0	0	0	0	0	0

**Ek 2. Bursa/Merkez için Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğüne Ölgülen
Saatlik Güneş Işınımı Şiddeti Değerleri**

2013 YILI SAATLİK GÜNEŞ IŞINIMI ŞİDDETİ DEĞERLERİ (W/m ²)																								
İstasyon Adı : BURSA													Ay : KASIM											
Günler	SAATLER																							
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	0	0	0	0	0	0	7	78	235	371	478	526	521	452	321	162	30	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	3	25	55	105	293	253	299	400	286	144	28	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	4	60	180	353	460	520	505	439	325	166	33	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	4	71	243	385	501	559	543	468	333	166	32	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	3	64	247	386	499	574	578	530	358	228	47	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	4	50	141	158	222	402	142	160	151	87	31	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	18	34	28	37	51	96	94	322	206	41	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	3	56	254	404	508	571	566	493	355	187	31	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	3	57	258	405	516	565	553	478	343	169	27	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	3	57	263	412	523	577	564	494	334	180	22	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	4	51	173	370	409	461	420	410	314	103	21	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	1	48	227	357	450	524	521	447	314	152	19	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	2	51	212	363	464	514	520	440	309	146	20	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	1	49	137	203	377	361	414	357	142	41	6	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	1	55	163	312	333	494	500	305	129	45	7	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	12	52	129	277	494	270	250	107	27	3	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	1	49	215	375	508	348	562	455	314	149	14	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	1	46	195	335	439	497	490	421	299	139	15	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	1	43	190	329	440	505	474	403	267	118	11	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	1	38	95	186	282	391	486	398	246	96	12	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	11	49	99	231	451	501	363	383	148	7	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	5	23	104	139	255	128	72	65	42	13	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	35	191	323	432	294	159	125	120	34	5	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	48	106	180	266	370	365	258	182	61	6	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	8	48	49	43	39	43	29	22	9	2	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	5	23	32	95	98	58	49	33	10	1	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	27	148	140	249	301	150	158	44	8	5	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0	7	37	31	87	73	84	45	55	20	2	0	0	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0	0	30	209	352	442	508	502	437	206	51	7	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0	23	176	319	416	460	497	401	277	98	12	0	0	0	0	0	0	0

Ek 2. Bursa/Merkez için Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğüne Ölçülen
Saatlik Güneş Işınımı Şiddeti Değerleri(Devam)

Ek 2. Bursa/Merkez için Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğüne Ölçülen
Saatlik Güneş Işınımı Şiddeti Değerleri(Devam)

2013 YILI SAATLİK GÜNEŞ IŞINIMI ŞİDDETİ DEĞERLERİ (W/m ²)																									
İstasyon Adı : BURSA													Ay : ARALIK												
Günler	SAATLER																								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
1	0	0	0	0	0	0	0	11	42	170	396	453	432	212	127	41	7	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	11	74	135	173	169	84	136	175	62	6	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	4	27	130	180	379	472	340	235	182	9	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	9	105	251	379	502	459	434	317	151	8	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	18	199	307	406	371	356	365	272	134	9	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	16	211	316	403	377	369	393	278	113	7	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	1	11	26	27	46	56	47	53	32	3	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	15	85	167	309	461	337	351	261	124	10	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	15	124	292	394	450	463	405	231	138	10	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	3	15	32	45	47	72	26	21	45	7	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	2	9	19	36	193	272	304	167	136	1	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	13	98	172	356	463	489	507	321	94	12	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	11	65	182	307	311	189	258	108	36	4	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	8	80	136	215	256	264	356	227	98	8	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	17	134	175	384	419	405	349	189	97	15	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	10	145	291	375	441	452	392	279	128	11	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	10	20	75	120	112	121	105	121	152	14	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	9	122	257	375	443	448	389	282	130	11	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	8	134	278	379	442	447	384	271	117	10	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	8	131	278	387	451	453	395	283	132	12	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	8	126	275	386	447	448	385	273	115	10	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	8	122	265	377	447	451	395	284	139	13	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	8	133	288	400	458	351	407	292	111	10	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	7	132	288	395	450	415	285	133	57	8	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	7	54	198	278	414	400	362	248	130	14	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	8	102	244	352	418	427	370	269	131	15	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	11	85	149	160	249	221	175	123	65	11	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0	6	67	132	164	442	391	363	229	52	15	0	0	0	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0	0	5	41	119	134	296	211	175	172	49	6	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0	2	14	20	27	21	42	44	25	37	5	0	0	0	0	0	0	0	0
31	0	0	0	0	0	0	0	2	19	44	60	67	77	68	50	20	4	0	0	0	0	0	0	0	0

Ek 2. Bursa/Merkez için Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğüne Ölçülen
Saatlik Güneş Işınımı Şiddeti Değerleri(Devam)

2013 YILI SAATLİK GÜNEŞ IŞINIMI ŞİDDETİ DEĞERLERİ (W/m ²)																									
İstasyon Adı : BURSA													Ay : OCAK												
Günler	SAATLER																								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
1	0	0	0	0	0	0	0	4	21	81	130	175	261	316	265	99	14	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	3	42	137	344	417	457	385	259	59	11	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	4	41	52	89	167	167	265	167	62	17	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	8	69	190	271	234	229	251	80	41	11	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	9	104	234	327	382	414	354	246	130	24	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	10	79	198	311	429	456	412	269	124	20	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	10	88	204	361	390	430	436	294	138	40	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	7	110	256	381	454	470	421	316	173	29	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	7	106	250	378	456	472	410	296	150	25	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	12	102	248	329	458	500	429	315	175	31	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	9	58	106	282	407	433	375	263	135	24	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	12	105	221	267	221	221	253	93	66	10	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	7	70	154	356	367	367	366	269	133	22	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	4	82	119	159	163	434	301	196	163	28	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	10	144	258	364	392	433	377	292	119	19	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	4	11	72	176	83	134	69	49	22	10	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	7	38	105	299	417	422	299	179	128	54	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	15	83	274	381	469	493	409	278	84	31	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	8	123	341	259	490	473	307	171	220	57	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	16	87	110	228	338	458	459	357	163	53	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	15	128	265	415	469	459	431	202	100	34	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	14	152	318	446	549	547	231	366	207	27	1	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	16	76	165	288	355	490	227	201	61	2	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	15	78	188	252	423	441	304	243	175	37	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	16	127	463	576	554	516	357	212	44	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	12	68	96	100	50	141	229	109	65	20	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	1	7	15	21	43	73	71	49	17	10	1	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0	2	11	36	145	134	99	241	211	118	23	1	0	0	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0	0	5	96	97	73	119	181	95	180	101	18	1	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0	8	51	93	103	127	107	131	161	87	30	1	0	0	0	0	0	0	0
31	0	0	0	0	0	0	0	15	171	237	180	329	370	506	405	233	44	2	0	0	0	0	0	0	0

Ek 2. Bursa/Merkez için Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğüne Ölçülen
Saatlik Güneş Işınımı Şiddeti Değerleri(Devam)

2013 YILI SAATLİK GÜNEŞ IŞINIMI ŞİDDETİ DEĞERLERİ (W/m²)																									
İstasyon Adı : BURSA												Ay : ŞUBAT													
Günler	SAATLER																								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
1	0	0	0	0	0	0	0	22	132	272	459	543	552	515	414	244	47	2	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	27	165	347	489	550	503	390	251	152	60	2	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	27	170	349	487	578	607	563	450	297	118	3	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	36	196	341	488	579	593	546	434	277	104	4	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	46	158	328	439	553	588	533	408	259	87	3	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	17	132	293	386	437	505	473	386	251	92	3	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	27	148	293	414	507	537	492	402	260	104	4	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	49	229	325	334	596	520	422	405	190	103	7	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	4	117	272	306	204	289	210	233	88	73	4	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	27	211	388	457	186	202	418	179	172	149	8	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	50	210	383	484	587	597	578	476	311	56	11	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	34	73	241	571	621	501	444	388	149	78	8	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	29	161	367	500	584	570	240	154	164	55	9	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	20	129	270	353	259	230	319	119	48	8	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	5	14	37	54	44	50	85	66	23	17	4	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	28	103	350	535	484	538	568	475	333	152	13	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	1	61	231	408	526	608	623	557	332	274	141	22	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	1	58	212	382	518	571	580	543	459	303	130	18	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	1	57	214	394	476	614	613	590	483	343	167	14	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	1	67	240	416	553	643	652	625	491	344	130	14	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	1	50	155	265	346	316	351	297	238	133	68	7	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	7	18	41	56	49	66	53	63	37	32	3	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	1	20	73	164	274	485	465	251	178	99	43	7	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	7	31	69	69	105	120	53	98	100	18	2	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	10	19	22	30	69	71	69	70	43	13	3	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	1	10	28	74	129	151	118	169	103	114	57	9	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0	1	14	177	429	555	644	566	451	422	175	179	26	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0	6	86	148	199	249	257	242	158	131	152	87	22	0	0	0	0	0	0	0

Ek 2. Bursa/Merkez için Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğüne Ölçülen
Saatlik Güneş Işınımı Şiddeti Değerleri(Devam)

2013 YILI SAATLİK GÜNEŞ IŞINIMI ŞİDDETİ DEĞERLERİ (W/m ²)																								
İstasyon Adı : BURSA												Ay : MART												
Günler	SAATLER																							
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	0	0	0	0	0	0	3	28	63	70	128	187	170	135	110	68	32	5	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	3	49	160	339	385	291	215	70	171	172	102	14	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	3	51	115	177	248	207	489	238	148	51	21	5	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	7	97	177	416	224	135	127	141	137	120	89	45	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	6	69	135	231	117	308	204	205	76	40	18	3	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	11	109	223	499	628	594	656	419	565	384	183	53	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	11	140	314	499	438	214	249	252	179	139	88	8	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	3	31	62	146	181	180	85	72	87	73	40	8	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	1	10	24	38	112	115	73	67	31	24	20	6	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	1	13	47	66	71	90	108	78	82	47	30	7	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	3	28	111	100	68	114	158	116	146	85	47	13	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	6	57	173	303	254	526	675	273	113	72	110	25	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	12	153	338	479	363	464	442	609	634	272	155	55	1	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	25	173	374	506	689	764	780	732	628	463	270	77	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	34	179	380	568	702	787	778	734	632	470	274	82	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	5	20	120	144	271	154	138	87	100	28	7	2	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	20	91	114	138	234	528	630	726	612	351	271	68	1	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	32	180	268	559	694	767	802	723	601	299	216	83	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	36	195	395	577	705	775	782	748	637	481	288	93	1	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	7	107	332	259	131	667	751	556	385	310	102	1	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	45	224	424	613	751	829	834	781	662	388	301	100	2	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	47	220	425	609	747	822	828	763	643	480	286	94	1	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	1	61	139	188	448	508	672	795	690	483	405	287	77	1	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	1	58	191	415	559	627	728	697	564	529	296	139	43	1	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	33	63	61	184	249	74	62	92	98	152	237	113	1	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	1	44	160	221	202	261	506	477	169	228	202	234	19	1	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	1	40	150	427	528	697	492	359	595	487	389	214	46	1	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0	20	77	138	179	245	157	53	37	371	514	120	70	1	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0	26	38	119	74	77	35	49	314	511	394	271	108	4	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	1	86	292	504	688	827	893	901	844	721	553	350	136	6	0	0	0	0	0
31	0	0	0	0	0	1	80	267	474	656	796	864	876	806	691	517	321	109	6	0	0	0	0	0

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Hakan KARADEMİR

Doğum Yeri ve Tarihi : İstanbul /19.11.1989

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Kemal Hasoğlu Anadolu Lisesi (2003 - 2006)

Lisans : Uludağ Üniversitesi (2006 - 2011)

Yüksek Lisans : İstanbul Gelişim Üniversitesi (2014 - 2015)

Çalıştığı Kurum : Hitit Mühendislik (2011 - 2013)

E-Posta : hakankarademir16@gmail.com