

150149

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÜNEŞ, HAVA VE TOPRAK ENERJİSİ KAYNAKLI ISI
POMPASININ ELAZIĞ ŞARTLARINDA KONUT ISITMASI İÇİN
KULLANIMININ DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI

150149

Aydın DİKİCİ

DOKTORA TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

ELAZIĞ, 2004

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GÜNEŞ, HAVA VE TOPRAK ENERJİSİ KAYNAKLI ISI
POMPASININ ELAZIĞ ŞARTLARINDA KONUT ISITMASI İÇİN
KULLANIMININ DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI**

Aydın DİKİCİ

DOKTORA TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

Bu tez,.....tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile başarılı / başarısız olarak değerlendirilmiştir.

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Mehmet ESEN

Üye : Prof. Dr. Hikmet DOĞAN
Üye : Prof. Dr. Nazif DİNÇER (Jüri Başkanı)
Üye : Prof. Dr. Cengiz YILDIZ
Üye : Yrd. Doç. Dr. Aydın DURMUŞ
Üye :
Üye :
Üye :

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..07../07../2005 tarih ve ..28/1.....sayılı kararıyla onaylanmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında güneş, hava ve toprak kaynaklı ısı pompalarının Elazığ şartlarında konut ısıtması için kullanımı deneysel olarak araştırılmıştır.

Bu tezin hazırlanması esnasında her türlü destek ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Mehmet ESEN 'e teşekkürü borç bilirim.

Ayrıca deney düzeneğinin kurulması ve deneylerin yapılması esnasında manevi desteğini her zaman yanımda hissettiğim babama ve eşim Emine'ye, sonsuz teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Çalışmalarım boyunca her zaman desteğini gördüğüm değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Aydın Durmuş'a ve burada tek tek ismini sayamadığım tüm Makine Eğitimi Bölümü Araştırma Görevlisi arkadaşlarıma teşekkürlerimi borç bilirim.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
ŞEKİLLER LİSTESİ	VII
TABLOLAR LİSTESİ	VIII
SEMBOLLER LİSTESİ.....	IX
ÖZET.....	X
ABSTRACT.....	XI
1. GİRİŞ.....	1
2.LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	4
3. ISI POMPASI ve ISI KAYNAKLARI.....	16
3.1. Carnot Çevrimi ve Isı Pompasının Çalışma Prensibi.....	16
3.1.1. Soğutma Makinesinin Etkinlik Katsayısı.....	18
3.2. Isı Pompası Çevrimleri.....	19
3.2.1. Ters Carnot Çevrimi.....	19
3.2.2. İdeal Buhar Sıkıştırılmalı Soğutma Çevrimi.....	20
3.2.3. Gerçek Buhar Sıkıştırılmalı Soğutma Çevrimi.....	22
3.3. Teorik Çevrimden Sapmalar.....	22
3.3.1. Aşırı Kızdırma.....	22
3.3.2. Aşırı Soğutma.....	23
3.4. Mekanik Buhar Sıkıştırılmalı Isı Pompasının Termodinamik Analizi.....	24
3.4.1. Basınç Oranı.....	24
3.4.2. Doldurma Derecesi	24
3.4.3. Hacimsel Verim	25
3.4.4. Buharlaşma Isı Akısı	25
3.4.5. Soğutucu Akışkanın Kütlesel Debisi	25
3.4.6. Hacimsel Soğutma Gücü	26
3.4.7. Yoğuşturucu Isı Akısı	26
3.4.8. Kompresör Kayıpları	27
3.5. Isı Pompalarında Etkinlik ve Verim Tanımları	28
3.5.1. Kompresörün Toplam Verimi	30
3.5.2. Ekserjetik Faydalanma Oranı	31
3.6. Isı Kaynakları	31
3.6.1. Çevre Havası	34
3.6.2. Eksoz Havası	36
3.6.3. Su	36
3.6.3.1. Deniz Suyu.....	36
3.6.3.2. Atık Su	36
3.6.3.3. Nehir ve Göl Suyu	37
3.6.3.4. Yer Altı Suyu	38
3.6.4. Güneş	39
3.6.5. Kaya (jeotermal Isı)	39
3.6.6. Toprak	40
3.6.6.1. Dikey Tip Toprak Isı Değiştirgeçleri	42
3.6.6.2. Yatay Tip Toprak Isı Değiştirgeçleri	44
3.6.6.3. Toprak Isı Değiştirgeçlerinde Kullanılan Borular	45
4. DENEY DÜZENİĞİNİN TANITILMASI.....	47

4.1. Deney Seti	47
4.1.1. Kompresör	49
4.1.2. Alçak ve Yüksek Basınç Presostatı (Kombine Otomatik)	49
4.1.3. Hava Kaynaklı Buharlaştırıcı	49
4.1.4. Yoğuşturucu	50
4.1.5. Plakalı Isı Değiştirgeçleri.....	51
4.1.6. Kasa	51
4.1.7. Güneş Kollektörleri	53
4.1.8. Sıcak Su Deposu	54
4.1.9. Toprak Altı Yatay Isı Değiştirgeci Devresi	55
5. DENEYLER ESNASINDA YAPILAN ÖLÇÜMLER	56
5.1. Güneş Işınımının Ölçümü	56
5.2. Sıcaklık Ölçümü	56
5.2.1. Dış Ortam Hava Sıcaklığının Ölçümü	56
5.2.2. İç Ortam Hava Sıcaklığının Ölçümü	56
5.2.3. Yoğuşturucu Çıkış Hava Sıcaklığının Ölçümü	56
5.2.4. Soğutucu Akışkanın Sıcaklık Ölçümleri	57
5.2.5. Sistemde Dolaşan Su ve Salamuranın Sıcaklık Ölçümleri	57
5.3. Sistemdeki Debi Ölçümleri	57
5.3.1. Sistemde Dolaşan Su ve Salamuranın Debi Ölçümleri	57
5.3.2. Yoğuşturucudan Geçen Hava Debisinin Ölçümü	57
5.3.3. Hava Kaynaklı Buharlaştırıcıdan Geçen Hava Debisinin Ölçümü	57
5.4. Sistemdeki Basınç Ölçümü	57
5.5. Sistemde Harcanan Gücün Ölçümü	58
5.6. Deneysel Çalışmalarda Oluşabilecek Hatalar	58
6. İNCELENEN SİSTEMLER ve DENEYLERİN YAPILMASI	60
6.1. Güneş Kaynaklı Isı Pompası Sistemi	60
6.2. Toprak Kaynaklı Isı Pompası Sistemi	60
6.3. Hava Kaynaklı Isı Pompası Sistemi	61
6.4. Güneş + Toprak Kaynaklı Isı Pompası Sistemi	62
6.5. Güneş + Hava Kaynaklı Isı Pompası Sistemi	63
6.6. Toprak + Hava Kaynaklı Isı Pompası Sistemi	64
7. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	65
7.1. Isı Pompası Çevrim Hesabı	65
7.1.1. Isı Pompası Devresinde Dolaşan Soğutucu Akışkanın Kütlesel Debisinin Hesaplanması	65
7.1.2. Isı Pompasının Yoğuşturucusundan Alınan Isı Miktarı	66
7.1.3. Isı Pompasının Buharlaştırıcısının Çektiği Isı Miktarı	66
7.1.4. Isı Pompası Kompresörüne Verilen Güç	66
7.1.5. Isı Pompasının Performans Katsayısının Hesabı	67
7.1.6. Sistemlerin Performans Katsayısının Hesabı	67
7.2. Toprak Isı Değiştirgecinin Tasarımı	67
7.3. Güneş Kollektörleri Verimlerinin Hesaplanması	68
7.3.1. Güneş Kollektörlerinin Anlık Verimlerinin Hesaplanması	68
7.3.2. Net Kollektör Veriminin hesaplanması	69
7.4. Ekserji (Kullanılabilirlik) Analizi	69
7.4.1. Güneş Enerjisi Kaynaklı Isı Pompasının Ekserji Kaybı Analizi	69
7.4.1.1. Güneş Kollektörlerinin Ekserji Kaybı.....	69
7.4.1.2. Kompresörün Ekserji Kaybı.....	70
7.4.1.3. Yoğuşturucunun Ekserji Kaybı.....	70

7.4.1.4. Buharlaştırıcının Ekserji Kaybı.....	71
7.4.1.5. Genleşme Valfi'nin Ekserji Kaybı.....	72
7.4.2. Toprak Kaynaklı Isı Pompasının Ekserji Kaybı Analizi	73
7.4.2.1. Kompresörün Ekserji Kaybı.....	73
7.4.2.2. Yoğuşturucunun Ekserji Kaybı.....	73
7.4.2.3. Buharlaştırıcının Ekserji Kaybı.....	73
7.4.2.4. Genleşme Valfi'nin Ekserji Kaybı.....	74
7.4.2.5. Toprak Altı Isı Değiştirgecinin Ekserji Kaybı	74
7.4.3. Hava Kaynaklı Isı Pompasının Ekserji Kaybı Analizi.....	74
7.4.3.1. Kompresörün Ekserji Kaybı.....	74
7.4.3.2. Yoğuşturucunun Ekserji Kaybı.....	74
7.4.3.3. Hava Kaynaklı Buharlaştırıcının Ekserji Kaybı.....	74
7.4.3.4. Genleşme Valfi'nin Ekserji Kaybı.....	75
8. EKONOMİ ANALİZİ	76
8.1. Paranın Bugünkü Değeri	76
8.2. Geri Ödeme Süresi	77
8.3. Karlılık Oranı	77
8.4. Teknik ve Ekonomik Model	77
9.SONUÇ ve ÖNERİLER	79
9.1. Sonuçlar	79
9.2. Öneriler	83
EK 1	85
EK 2	120
EK 3	192
EK 4	194
KAYNAKLAR	195

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 3.1 Mekanik Buhar Sıkıştırma Soğutma Çevrimi	16
Şekil 3.2 Soğutma Makinesi İle Isı Pompasının Çalışma Prensibi Şeması	17
Şekil 3.3a Isı Pompası Çevriminin Şematik Resmi.....	17
Şekil 3.3b Carnot Çevrimine Göre Isı Pompası T-S Diyagramı	18
Şekil 3.4 Ters Carnot Çevrimi	19
Şekil 3.5 Teorik Çevrim	20
Şekil 3.6 Gerçek Çevrim	22
Şekil 3.7 Aşırı Kızdırma ve Aşırı Soğutma	23
Şekil 3.8 Basınç ve Doldurma Oranları	24
Şekil 3.9 Hava Kaynaklı Isı Pompası	36
Şekil 3.10 Genel Olarak Bir Su Kaynağından Isı Çekme	37
Şekil 3.11 Kuyu Suyundan Isı Çeken Bir Isı Pompası Şeması	38
Şekil 3.12 Yatay ve Dikey Olarak Boruların Toprak Altına Yerleşimi	41
Şekil 3.13 Dikey U-Tipi Toprak Isı Değiştirgeci İçin Seri Yerleştirme	43
Şekil 3.14 Dikey Toprak Isı Değiştirgeci Tipleri	43
Şekil 3.15 Yatay Tip Toprak Kaynaklı Isı Değiştiricilerinde Seri ve Paralel Boru Serme Tipleri	45
Şekil 4.1 Komple Deney Seti Şeması	48
Şekil 4.2 Kombi Otomatik ve Manometreler	49
Şekil 4.3 Hava Kaynaklı Buharlaştırıcı	50
Şekil 4.4 Yoğuşturucu ve Fan	51
Şekil 4.5a-b Kasanın Yandan ve Önden Görünüşü	52
Şekil 4.6 a) Güneş Kollektörlerinin Yandan Görünüşü.....	53
Şekil 4.6 b) Güneş Kollektörlerinin Karşıdan Görünüşü	54
Şekil 4.7 Sıcak Su Deposu Bakır Boru Serpantin	54
Şekil 4.8 Toprak Altı Isı Değiştirgeci	55
Şekil 4.9 Boruların Toprağa Serilme Yöntemi	55
Şekil 5.1 Wattmetre	58
Şekil 6.1 Güneş Kaynaklı Isı Pompası.....	60
Şekil 6.2 Toprak Kaynaklı Isı Pompası Sistemi	61
Şekil 6.3 Hava Kaynaklı Isı Pompası Sistemi	61
Şekil 6.4 Güneş ve Toprak Kaynaklı Isı Pompası	62
Şekil 6.5 Güneş ve Hava Kaynaklı Isı Pompası Sistemi	63
Şekil 6.6 Toprak ve Hava Kaynaklı Isı Pompası Sistemi	64
Şekil 7.1 Isı pompasının P-H diyagramı	65
Şekil 7.2 Kontrol Hacmi	72

TABLÖLAR LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1 Çeşitli Isı Kaynakları	33
Tablo 3.2 Mevcut Isı Kaynaklarının Sıcaklık Aralıkları	34
Tablo 3.3 Boru Çaplarına Göre Boru Uzunlukları	45
Tablo 3.4 Polietilen ve Polibütilen Borulara Ait Özellikler	46
Tablo 9.1 Aylık COP _{sis} Ortalamaları	83



SEMBOLLER LİSTESİ

Kompresör Freon-22 çıkış sıcaklığı (°C)	T_1
Kompresör Freon-22 giriş sıcaklığı (°C)	T_2
Güneş kaynaklı plakalı ısı değiştirgeci Freon-22 giriş sıcaklığı (°C)	T_3
Güneş kaynaklı plakalı ısı değiştirgeci Freon-22 çıkış sıcaklığı (°C)	T_4
Toprak kaynaklı plakalı ısı değiştirgeci Freon-22 giriş sıcaklığı (°C)	T_5
Toprak kaynaklı plakalı ısı değiştirgeci Freon-22 çıkış sıcaklığı (°C)	T_6
Hava kaynaklı buharlaştırıcı Freon-22 giriş sıcaklığı (°C)	T_7
Hava kaynaklı buharlaştırıcı Freon-22 çıkış sıcaklığı (°C)	T_8
Güneş kaynaklı plakalı ısı değiştirgeci su giriş sıcaklığı (°C)	T_9
Güneş kaynaklı plakalı ısı değiştirgeci çıkış sıcaklığı (°C)	T_{10}
Toprak kaynaklı plakalı ısı değiştirgeci salamura giriş sıcaklığı (°C)	T_{11}
Toprak kaynaklı plakalı ısı değiştirgeci salamura çıkış sıcaklığı (°C)	T_{12}
Kollektör su giriş sıcaklığı (°C)	T_{13}
Kollektör su çıkış sıcaklığı (°C)	T_{14}
İç ortam sıcaklığı (°C)	T_{15}
Dış ortam sıcaklığı (°C)	T_{16}
Yoğuşturucu hava giriş sıcaklığı (iç ortam ile aynı) (°C)	T_{15}
Yoğuşturucu hava çıkış sıcaklığı (°C)	T_{17}
Toprak sıcaklığı (°C)	T_{18}
Toprak altı eşanjör boru yüzey sıcaklığı (°C)	T_{19}
Güneş kolektörü plaka yüzey sıcaklığı (°C)	T_{20}
Yoğuşturucu Freon-22 giriş sıcaklığı (°C)	T_{21}
Yoğuşturucu Freon-22 çıkış sıcaklığı (°C)	T_{22}
Toprak altı ısı değiştirgeci salamura debi (l/s)	$\dot{m}_1$
Güneş kaynaklı plakalı ısı değiştirgeci su debi (l/s)	$\dot{m}_2$
Yoğuşturucudan geçen hava debisi (kg/s)	$\dot{m}_3$
Hava kaynaklı buharlaştırıcı hava debisi (m ³ /h)	$\dot{m}_4$
Kompresör Freon-22 çıkış basıncı (kPa)	P_1
Kompresör Freon-22 giriş basıncı (kPa)	P_2
Sistemin harcadığı toplam enerji (W)	P_{sis}
Sistemin performans katsayısı	COP_{sis}
Güneş ışıınımı (W/m ²)	I

ÖZET

Doktora Tezi

GÜNEŞ, HAVA VE TOPRAK ENERJİSİ KAYNAKLI ISI POMPASININ ELAZIĞ ŞARTLARINDA KONUT ISITMASI İÇİN KULLANIMININ DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Eğitimi Anabilim Dalı

2004, Sayfa: 200

Elazığ İli'nde, konutların ısıtılması amacıyla güneş, hava ve toprak kaynaklı bir ısı pompası deney seti kurulmuştur. Bu deney düzeneğinde; altı adet düzlemsel güneş kolektörü, bir adet sıcak su deposu, iki adet plaka tipi sulu ısı değiştirgeci, iki adet sirkülasyon pompası, hava kaynaklı buharlaştırıcı ve deneyler esnasında ölçüm değerlerinin alınmasında kullanılan yardımcı elemanlar bulunmaktadır.

Bu çalışmada; güneş enerjisi kaynaklı, hava kaynaklı ve toprak kaynaklı ısı pompaları araştırılmıştır. Deneylere ilave olarak, güneş kaynaklı, hava kaynaklı ve toprak kaynaklı ısı pompalarının ikili gruplar halinde deneyleri de yapılmıştır. Deneyler, 2002 ve 2003 yılları arasındaki Aralık'tan Mart ayına kadar olan ısıtma sezonunda yapılmıştır.

Bu deneysel çalışmanın birinci bölümünde konuya giriş yapılarak konunun önemi vurgulanmıştır. İkinci bölümde konunun güncel literatürdeki yerinden bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde, Carnot ısı pompası çevrimi açıklanmıştır. Dördüncü bölümde deney düzeneği tanıtılmıştır. Beşinci bölümde, deneysel ölçüm yöntemleri belirtilmiştir. Altıncı bölümde, incelenen sistemler tanıtılmıştır. Yedinci bölümde elde edilen deneysel sonuçlar verilmiştir. Sekizinci bölümde ekonomi analizi yapılmış, dokuzuncu ve son bölümde deney sonuçları tartışılarak yorumlanmış ve öneriler belirtilmiştir.

Son olarak, sistemin performans katsayısı, güneş kolektörlerinin anlık verimi, sistemin Ekserji kaybı ve ekonomi analizleri yapılmıştır. Yapılan ekonomi analizi sonuçlarına göre Elazığ'da, ısı pompası sistemleri içinde en karlı yatırımın toprak kaynaklı ısı pompası sistemleri olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Isı pompası, Güneş kolektörü, Güneş kaynaklı ısı pompası, Toprak kaynaklı ısı pompası, Hava kaynaklı ısı pompası.

ABSTRACT

PHd Thesis

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF GROUND SOURCE, SOLAR SOURCE AND AIR SOURCE HEAT PUMP FOR DOMESTIC HEATING IN ELAZIĞ

Firat University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Education

2004, Page: 200

An experimental a heat pump set-up was constructed for domestic heating by adding of ground source, solar source and air source in Elazığ. The experimental set-up consist of six plate solar water collectors, one heating water tank, two plate type water evaporators, two circulation pumps, one air source evaporator and auxiliary apparatus was used during measurements.

In this study, heat pumps with solar source, air source and ground source were investigated. In addition, experiments were performed with combination of solar source, air source and ground source heat pump too. The experiments were conducted in heating season of 2002-2003 from December to March.

In the first chapter of this study, the importance of subject was introduced and emphasized. In the second chapter, the place of subject in the current literature was mentioned. Carnot heat pump cycle was explained in the third chapter. The experimental set-up was introduced in next chapter. The measurement methods were presented in fifth chapter. The investigated heat pump systems were given in the sixth chapter. The experimental results were given in chapter seven. The economy analysis was made in chapter eight. In the last chapter, the results of experiments were discussed and suggestions were presented.

Finally, The Performance Coefficient the system, the instantaneous efficiency of the solar collector, the exergy losses and economic analysis of the system were evaluated. From the economical analyses, it was understood that ground source heat pump is the most economical system among all heat pump systems in Elazığ.

Keywords: Heat Pump, Solar Collector, Solar Source Heat Pump, Ground Source Heat Pump, Air Source Heat Pump.

1. GİRİŞ

Çağımızda enerjinin sağlanması insanlığın temel sorunlarından biri olmuştur. Gelişen teknoloji ile paralel olarak enerji ihtiyacı da artmaktadır. Gelişmişliğin bir ölçüsü olarak görülen enerji tüketimi arttıkça fosil kökenli yakıtlara olan talebi de beraberinde arttırmaktadır. Fosil kökenli yakıtların hızla azalması, hidroelektrik enerji santrallerinin gerek kurulabileceği yerlerin gerekse mümkün olan enerji üretim kapasitelerinin sınırlı olması, acil enerji ihtiyacını karşılamak için hızlandırmıştır. En hızlı ve etkili çözüm ise 20. asrın ikinci yarısından itibaren elektrik enerjisini gittikçe artan nispette nükleer santraller vasıtasıyla üretmek olmuştur. Nükleer enerjinin kullanılmasıyla ortaya çıkan çevre meseleleri, radyasyon tehlikesi, enerji üretimi yanı sıra atom bombası imalatı imkânının varlığı ve nükleer santrallerin tesisi ile işletmesi için yüksek teknolojilerin gerekmesi; alternatif kaynaklardan faydalanma fikrini desteklemiştir. Güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi ve jeotermal enerji gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesi ve fosil kaynakların hatta nükleer enerjinin yerini alarak insanlığa temiz ve sonsuz enerji sağlamak fikri, hem ilim adamlarının hem de onlara destek sağlayan siyasetçileri gayrete getirmiştir [1].

Yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları kullanımının geliştirilmek istenmesinin bir başka nedeni de, dünyada sınırlı olan fosil yakıt rezervlerini tükenmekten olabildiğince korumaktır. Kanıtlanmış üretilebilir petrol ve doğal gaz rezervlerine insanın ortalama ömrüne sığacak kadar ömür biçilmesi, insanlığın geleceği açısından düşündürücüdür. Kısacası alışlagelen enerjide bir sınıra yaklaşılmıştır. Sürdürülebilir ekonomik büyüme için ekonomik sınırlar kapsamında, kullanıma uygun teknolojilerle yeni ve yenilenebilir enerji eşliğinin aşılması gerekmektedir [2].

2025 yılına kadar olan dönemde petrol ve doğal gaz talebinde artışın sürmesi, dünya enerji talebinin büyük miktarının fosil yakıtlardan sağlanması beklenmektedir. Global ısınma ve çevre sorunu üzerinde kitleler bilinçlendikçe, yenilenebilir enerji kaynaklarına talebin artacağı vurgulanmaktadır. Nükleer enerjinin sınırsız potansiyeli nedeni ile enerji bütçelerinde payının artması, yeni ve yenilenebilir kaynaklardan, yeni enerji teknolojilerinden yararlanılması üzerinde durulmaktadır [2].

İçinde bulunduğumuz dönemde dünyada enerji talebinin karşılanması açısından kaynak yetersizliği sorunu bulunmamaktadır. 1998 yılında yapılan 17. Dünya Enerji Kongresi'nde açıklanan verilere göre 2050 yılına kadar olan dönem için böyle bir sıkıntı görülmemektedir. Dünyanın enerji tüketimi büyük ölçüde hidrokarbon türü fosil kaynaklara dayandırılmış

olmasına karşın, arz olanaklarının çokluğundan enerji fiyatları düşük seyretmektedir. Bu da ısı pompalarının şu an için yaygınlaşmasını engelleyici bir unsur olarak görülmektedir [2].

Enerji sorununun önem kazandığı günümüzde yeni enerji kaynaklarına yönelik çalışmalar hızla artmaktadır. Isı pompaları, elektrikli ısıtmaya göre 3 ile 6 kat avantajlı olmaları, çevre kirlenmesine neden olmamaları, endüstriyel uygulamalarda kullanılabilmesi gibi özellikleri nedeni ile son yıllarda üzerinde yoğun çalışmalar yapılan bir konu haline gelmiştir [3].

Toprak kaynaklı ısı pompalarının Avrupa'da (Almanya'da, İsviçre'de, Avusturya'da, İsveç'te, Danimarka'da, Norveç'te, Fransa'da) pazarlanması 20 yılı aşkın bir süredir yapılmaktadır. Adı geçen bu ülkelerde özellikle dikey tip toprak kaynaklı ısı pompaları üzerinde yoğunlaşmıştır. Amerika'da ise toprak kaynaklı ısı pompalarının ticari olarak pazara girişi 50 yılı bulmaktadır [4].

Türkiye, Jeotermal enerji potansiyeli açısından dünyanın en zengin yedi ülkesinden biridir. Sıcaklığı 40–232 °C arasında değişen 1.000'den fazla sıcak ve mineral su kaynakları tespit edilmiştir. Jeotermal enerji; temiz, ucuz, geri dönüştürülebilen, evlerde ısıtma ve sıcak su kullanımına uygun, ısı pompaları için kullanılabilir, seralar ısıtılabilir, yüzme havuzlarında ve kaplıcalarda kullanılabilir, endüstriyel işlemlere ve elektrik üretimine uygundur. Ülkemizde 1990 yılından bu yana ortam ısıtılmasında ve seralarda önemli oranda kullanılmaktadır. Türkiye'nin jeotermal enerji potansiyeli yaklaşık 38 MW' dır [5]. Şuan ki uygulamalar göstermektedir ki Türkiye'de, diğer fosil ve yenilenebilir enerji kaynaklarına kıyasla jeotermal enerji kaynakları daha temiz ve ucuzdur [6].

Jeotermal ısı pompaları 1998'den beri Türkiye pazarında bulunmaktadır ancak henüz yerli üretici bulunmamaktadır. İleriye dönük olarak Türkiye'nin enerji stratejilerinin belirlenmesinde, jeotermal ısı pompaları önemli oranda yerini alacaktır [7].

Bugüne kadar binaları ısıtmak için çok sayıda güneş destekli ısı pompası sistemi geliştirilmiş ve literatürde bu konu ile ilgili pek çok makale yayınlanmıştır. Çalışmamızın konusu olan alternatif enerji kaynaklarından Toprak, Hava ve Güneş kaynaklı ısı pompalarının alan ısıtmada kullanımının birbirleriyle olan avantaj ve dezavantajları incelenmiştir. Isı enerjisinin iki ortam arasında transfer edebilmek için sisteme bir miktar dışarıdan iş verilmesi gerekmektedir. Isı çekilen ortam; nehir suyu, hava, güneş enerjisi, toprak, endüstriyel

süreçlerde açığa çıkan atık ısı olabilir. Çalışmamızın konusu kapsamında güneş, hava ve toprak kaynaklı ısı pompası sistemlerinin Elazığ İli iklim şartlarında konut ısıtmasında kullanılabilirliğini deneysel olarak araştırmak amacıyla bir deney seti kurulmuştur. 2002 yılı Aralık ayından başlayarak 2003 Mart ayı dönemine kadar olan süre içerisinde çeşitli deneyler yapılmıştır. Yapılan deneylerden elde edilen verilere dayanarak her bir sistemin performans katsayıları çıkartılmış ve birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Sistemlerin ekonomi ve ekserji katbı analizi yapılmıştır.



2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Isı pompasının ilk basit ilkesi 1824 yılında Nicholas Carnot tarafından ortaya atılmış ve bu kuram 1852 yılında Lord Kelvin'in "soğutma cihazları kullanarak ısıtma yapılması" düşüncesi ile gelişmiştir. Lord Kelvin, "ısı yükselticisi" adını verdiği cihazın prensibini aynı yıllarda yayınlamıştır. Lord Kelvin, havayı iş gören akışkan olarak kullanmış, bu sistemde dış ortam havası bir silindire çekilip ve burada genişletilerek hem sıcaklığın hem de basıncın düşürülmesi sağlanmıştır. Daha sonra hava, dış ortama yerleştirilen bir ısı değiştirgecinden geçirilmiştir. Böylece genişletilerek soğuyan havanın dış ortamdan ısı alması sağlanmıştır. Isınan hava sonra tekrar atmosfer basıncına sıkıştırılarak odaya verilmiştir. Ancak hava sıkıştırıldığı için sıcaklığı normal atmosfer sıcaklığından daha yüksektir. Bundan sonra birçok araştırmacı konu ile ilgilenmiş ancak ortam ısıtması için pratik bir çözüm bulunana değin yaklaşık 80 yıl geçmiştir. 1927 yılında İskoçya'da çalışmalarına başlayan ve aynı zamanda "ısı pompası"nın isim babası olan Haldane bu konudaki yayını 1930 yılında yapmıştır [1,8,9].

Avrupa'da ilk büyük ısı pompası, Zürih Belediye Sarayı'nı ısıtmak amacı ile 1938 yılında 175 kW gücünde yapılmıştır. Bu ünite ısı kaynağı olarak nehir suyu, soğutucu akışkan olarak Freon-12 ve kompresör tipi olarak bir rotorlu kompresör kullanılmıştır [1,8,9].

İngiltere'de ilk ısı pompası ünitesi Norwich Şirketinin Elektrik Bölümünde yapılmıştır. Soğutucu akışkan olarak SO₂ kullanılmış ve ortalama ısıtma tesir katsayısı 3'e ulaşmıştır. Sonra başka bir deneme ünitesi yazın klima, kışın ısıtma amacı ile kullanılmıştır. Bu ısı pompası için ısı Thames nehrinden çekilmiştir. Soğutucu akışkan olarak Freon-12 kullanılmıştır ve ısıtma tesir katsayısı 5'e ulaşmıştır [8,9,10].

Ev ısıtması için ilk ısı pompalarından biri İngiltere'de Sumner tarafından kendi evinde başarılı bir şekilde kurulmuştur. Isı, atmosferik çevre havasından çekilmiştir. Daha sonra yapılan çalışmalar ile ısı 1 m derinlikteki topraktan çekilmeye başlanmıştır. Bu sistemin ortalama ısıtma tesir katsayısı 2,8'e ulaşmıştır ve günümüzde hala kullanılmaktadır [10].

Amerika'da ise Carrier firmasının 1932 yılında ilk paket tipi ısı pompasını Japonya'da bir elektrikli cihazlar fabrikası ile ortak yapmasına karşın, İkinci Dünya Savaşı nedeni ile çalışmalar kesilmiş ve ilk paket tipi ısı pompası 1952 yılında piyasaya verilmiştir. Amerika'da ilk yıl 1000, 1957'de 10000, 1970'de 100000 adet satılan ısı pompaları, 1980'li yıllarda 1000000 cihaz/yıl 'lık bir kapasiteye erişmiştir [11].

Isı pompası çevrimi gerçekte soğutma çevriminin aynı olup sadece uygulamadaki amacı farklıdır. Soğutma makinesinde amaç, ortam sıcaklığının altına inmektir, fakat ortamdan çekilecek ısıнын nereye atılacağı önemli değildir. Isı pompasında ise amaç, belirtilen bir ortamı ısıtmaktır.

Isı pompalarının ısı çektiği ortamlar; dış hava (atmosfer), su (jeotermal, yeraltı kaynak suyu, göl, nehir, deniz ve güneş kolektörlerinde ısınmış bir sıvı) ve topraktır. Bu kaynaklardan çekilen ısı, ısıtılacak olan hava ya da su ortamına verilir. Isı pompalarının ısı kaynakları ve bu ısının terk edildiği ortam dolayısı ile çalışma ortamı belirtilirken;

- Havadan – havaya,
- Hava + sudan – havaya,
- Sudan – havaya,
- Sudan – suya,
- Topraktan – havaya,
- Toprak + sudan – suya

Termodinamik çevrimlerine göre;

- Termoelektrik
- Absorbsiyonlu
- Buhar sıkıştırmalı, vb.

uygulama şekillerinden söz etmek mümkündür [8,9,12].

Genelde, ısıyı daha yüksek sıcaklıklarda verebilmesi ve buna bağlı olarak daha yüksek performans katsayısı (COP) elde edilebilmesi, güneş ışıınının ısı pompası kaynağı olarak kullanılmasında en büyük üstünlüğü olarak gösterilmektedir.

Yamankaradeniz, güneş enerjisi destekli bir ısı pompası deney düzeneği kurarak çalışma yapmıştır. Kurduğu deney düzeneği altı adet düzlemsel güneş kolektörü, bir adet sıcak su deposu ve ısı pompası sisteminden meydana gelmektedir. 1982 yılının Mart, Nisan ve Mayıs aylarında yaptığı deneyler sonucunda ısı pompasının performans katsayısı 4 ile 5 arasında değiştiğini aynı aylar için kolektör veriminin ise % 25 ile % 65 arasında değiştiğini bulmuştur. Elde ettiği sonuçlara göre güneş enerjisi destekli ısı pompası sistemlerinin diğer tip ısı pompası sistemleri ile rekabet edebileceği sonucuna varmıştır [3].

Ayhan ve diğ., kurdukları güneş enerjisi ve dış hava destekli bir ısı pompası ile kurutma ve iklimlendirme amaçlı olarak çeşitli deneyler yaparak buharlaştırıcı, yoğusturucu ve enerji deposunun dinamik benzetim modellerini çıkarmışlardır [11].

İyiş, kurduğu ısı pompası deney düzeneğinde ısı borulu güneş kollektörü kullanarak (hava + sudan) - havaya çalışan ısı pompasının havadan havaya çalışan ısı pompasına göre % 12 daha performanslı olduğunu tespit etmiştir [13].

Toprak kaynaklı ısı pompaları da yeni bir fikir değildir. 1912 yılındaki İsviçre patenti ile toprak kaynaklı ısı pompası'nın (TKIP) faydaları ilk olarak tanıtılmıştır. Daha sonra, termodinamik yararı, ısı kaynağı olarak toprağa gömülen metal serpantinler içinde salamura dolaştırılarak, 1940'lı yıllarda çarpıcı bir şekilde gösterilmiştir. Serpantinde oluşan korozyon sorunları, toprak serpantinlerinin kullanışsız olmasına neden olmuştur. Daha sonraları, plastik borular kullanılarak, korozyon sorunlarının üstesinden gelinmiş ve TKIP'ları üzerinde araştırmalar hızlandırılmıştır. Amerika'da, TKIP teknolojisine olan ilgi 1940-1950'li yıllarda su yüzüne çıkmıştır. O zamanlar teknoloji, uygun olmayan boru malzemeleri ile sınırlı idi ve doğal gazın pahalı olmaması nedeniyle ilgi azalmıştır. 1973 petrol ambargosu süresince, İsveç'te tekrar ivme kazanmış ve birkaç yıl sonra, Oklahoma Eyalet Üniversitesi'nde bir araştırma programı başlatılmıştır. Bu gelişmeye paralel olarak, İsveç'te 1988 yılında 134000 TKIP'sının olduğu bildirilmiştir. 1985'te, 14000 TKIP'ının sadece Amerika'da kurulduğu tahmin edilmektedir. Tüm imalatçılar satış rakamlarını bildirmemelerine rağmen yıllık 17300 ünite satış, 1993 yılında ARI (Air Conditioning and Refrigeration Institute)'ya bildirilmiştir. Ayrıca 1997 yılı sonunda, 300000'den fazla TKIP evler, okullar ve ticari yapılarda hacim ısıtması ve soğutması amacı ile kullanılmıştır. 1997 yılı sonunda, yuvarlak olarak 400000 TKIP'nin işletildiği bildirilmiştir. Bunun yanı sıra, Amerika'da bazı elektrik şirketleri, ev sakinlerinin hacim ısıtma-soğutma amaçları için TKIP'nin kullanımını artırmak ve böylece, elektrik sistemlerindeki pik yükleri düşürmek amacı ile parasal teşvik programları yürütmektedir [14].

TKIP'larının işletilmesi üzerine yapılan bir diğer çalışmada Hugnes ve arkadaşları tarafından yapılmıştır. Araştırmacılar, New York şehri dışında konutlara yönelik olarak toprak kaynaklı ısı pompalarının teknik ve ekonomik potansiyelini değerlendirmek amacıyla, çok aşamalı bir gösterim projesinden elde edilen sonuçları vermiştir. Bu çerçevede, ısıtma-soğutma performansı ve bütünleşmiş olarak elde edilen sıcak kullanma suyu 1982 – 1984 yılları süresince gözlenmiştir [15].

Zogou ve Stamatelos, hava ve toprak kaynaklı ısı pompalarının performans katsayıları üzerinde iklim şartlarının etkisini araştırmışlardır. Yaptıkları araştırma sonuçları aşağıda özetlenmiştir [16].

1- Binaların ısıtılmasında enerji tasarrufu açısından toprak kaynaklı ısı pompaları en önemli alternatiftir.

2- Her ne kadar toprak kaynaklı ısı pompaları en önemli alternatif olsa da sistemin kurulacağı yerin iklim şartları ısı pompası teknolojisine de bağlıdır.

3- Hava ve toprak kaynaklı ısı pompaları için en uygun iklim şartları; Akdeniz iklimine ve yarı tropikal iklime sahip bölgelerdir.

4- Isı pompalarının soğutma modunda çalıştırılması halinde Avrupa'nın güney bölgeleri daha uygundur.

5- Sudan-havaya çalışan ısı pompaları Akdeniz tipi iklim şartlarına sahip bölgelerde daha avantajlıdır.

5- İyi kurulmuş toprak kaynaklı ısı pompalarının Akdeniz tipi iklim bölgelerinde olduğu gibi Amerika'nın kuzey bölgelerinde de oldukça iyi sonuçlar verecektir.

Franck ve Berntsson, 10-40 m derinliğe kadar düşey borular kullanarak, toprakta mevsimsel depolama ile güneş destekli ısı pompaları alanında İsveç'te yürütülen büyük bir araştırma programı doğrultusunda, iki deneysel tesisten elde edilen bazı ana sonuçları sunmuşlardır [17].

Sulatisky ve Van Der Kamp, Kanada'da (Saskatchewan) konutlara yönelik olarak beş toprak kaynaklı ısı pompasını değerlendirmiştir. 5 – 8 yıl arasında işletilen ısı pompası sistemleri, iki yılı aşkın bir dönem boyunca performans bakımından izlemiştir [18].

Kavanaugh, Amerika'nın güney iklimlerinde düşey toprak kaynaklı ısı pompalarının kabul edilebilirliğini ve işletme karakteristiklerini belirlemek üzere çalışmalarda bulunmuştur. Bu amaçla Alabama'daki 150 m²'lik bir konutta kurulan bir ısı pompasının soğutma ve ısıtma performansı araştırılmıştır [19].

Kavanaugh ve diğ. yaptıkları başka bir çalışmalarında, nehir ya da göl suyu kullanımının ısıtma veya soğutma modunda olması gereken ideal su sıcaklık aralıklarını rapor etmişlerdir. Isıtma modunda 13 – 24 °C aralığının kabul edilebilir, 29 °C 'nin altındaki su giriş sıcaklıklarında ise performansın iyi olduğunu belirtmişlerdir. 13 °C 'nin altındaki su giriş sıcaklıklarının ise soğutma amaçlı olarak kullanılması gerektiğini vurgulamışlardır. [20,21].

Meloy, Cowlitz İlçesi Adliye Sarayının, indirekt olara kuyu suyundan ısı çeken kuyu kaynaklı ısı pompası sisteminin dönüştürülmesi üzerine çalışmış ve dönüşüm esnasında karşılaşılan sorunları belirtmiştir. Sistemin kurulduğu ilk yıl enerji tüketiminde % 22 dolayında azalma sağlanmıştır [22].

Rafferty, yeraltı suyu sıcaklığı 22 °C olan 11266 kW' lık ve yeraltı suyu sıcaklığı 13 °C olan 549 kW' lık, iki farklı su kaynaklı ısı pompası sisteminden elde edilen deneyimleri açıklamıştır [23].

Phetteplace ve Sullivan, toprak ısı değiştirgeci ve soğutma kulesinin beraber kullanıldığı bir ısı pompasının performansı üzerine araştırma yaparak, toprak ısı değiştirgeci kullanımının soğutma kulesi boyutlarını büyük ölçüde azalttığını belirtmişlerdir [24].

Pala ve Devres, yaptıkları araştırmada endüstriyel süreçlerde yapılacak küçük ilavelerle büyük oranda atık ısılardan faydalanılabileceğini ve ısı pompalarının kullanımıyla bu alanda önemli ölçüde enerji tasarrufu yapılabileceğini göstermişlerdir [25].

Berntsson, çeşitli ısı kaynaklarını tanımlayarak ısı pompası tasarımında dikkate alınması gereken parametreleri belirtmiştir. Berntsson ısı kaynaklarını dış ortam havası, eksoz havası, göl ya da nehir suyu, toprak, kaya olmak üzere beş farklı grupta ele almıştır [26].

Leong ve diğ., toprak tipi ve nem içeriğinin toprak kaynaklı ısı pompası performansı üzerine olan etkilerini incelemek amacıyla bir bilgisayar benzetimi oluşturarak 5 değişik doyma derecesine sahip (% 0, % 12.5, % 25, % 50, % 100) 3 değişik toprak (kumlu, alüvyonlu kumlu ve alüvyonlu killi) kullanmıştır. Toprak kaynaklı ısı pompasının performansı üzerinde nem ve toprak tipinin önemli oranda etkili olduğunu göstermişlerdir [27].

Kaygusuz, yaptığı çalışmasında, gizli ısı enerji depolu güneş ve hava kaynaklı ısı pompası sistemi kurarak, bu iki kaynaklı sistemin ortam ısıtılması için optimum kullanımını araştırmıştır. Çalışmasında, güneş kolektörlerinden gelen sıcak suyun ısı enerjisi ısı pompasının sulu buharlaştırıcısında soğutucu akışkana aktarılmıştır. Aynı zamanda güneş kolektörlerinden alınan enerjinin bir kısmı güneşin olmadığı akşam saatlerinde kullanılmak üzere faz değiştiren madde içeren bir depoda depolanmıştır. Bu çalışmasında güneş enerjisinin ısı pompası sistemleri için önemli bir enerji kaynağı olduğunu rapor etmiştir [28]. Araştırmacının faz

değiştiren madde ile birlikte çalışan güneş enerjisi destekli ısı pompaları ile ilgili literatürde pek çok çalışması yayınlanmıştır [29,30,31,32,33].

Faz değiştiren madde içeren enerji depolu güneş enerjisi destekli ısı pompası ile ilgili yapılan diğer bir çalışma da Esen tarafından yapılmıştır. Araştırmacının yaptığı bu çalışmasından elde ettiği ölçüm sonuçları ile enerji deposuna giren ve çıkan su sıcaklıkları entalpi tabanlı sonlu farklar metodu kullanılarak sayısal olarak çözülmüştür. Elde edilen verilere dayalı olarak enerji deposu içerisindeki sıcaklık dağılımı belirlenmiştir. Deneylerin yapıldığı 1992–1993 ve 1993–1994 yılları ısıtma sezonları boyunca güneş ışıınımı ve ısıtılacak ortamın ısıtma yükleri rapor edilmiştir [34,35]. Esen'in Ayhan ile yaptığı diğer bir çalışmasında da hazırlanan bir bilgisayar benzetimi programı yardımıyla enerji deposunda kullanılacak farklı özellikteki enerji depolama maddelerinin ısı depolama kapasiteleri belirlenerek bu maddelerin kullanımıyla ısı pompasının ısıtma kapasiteleri arasındaki değişim karşılaştırılmıştır [35,36].

Zao ve diğ., yaptıkları çalışmada, ısı pompası kullanımının çevre kirlenmesini azalttığını, hali hazırda kullanılan birincil enerji kaynaklarının (petrol, kömür, elektrik) daha pahalıya mal oldukları için ısı pompalarının kullanımı ile önemli ölçüde enerji tasarrufu yapılabileceğini vurgulamışlardır [37].

Sami ve diğ., havadan - havaya, sudan – suya ve sudan – havaya çalışan bir ısı pompası deney düzeneği kurarak ısıtma ve soğutma modu için deneyler yapmışlardır. Beraberinde bir bilgisayar benzetimi programı kurarak elde ettikleri sonuçları deneysel sonuçlar ile karşılaştırmışlardır. Kurdukları bu bilgisayar benzetimi, sistem içinde olabilecek hataların sebep ve sonuçlarını da verebilmektedir [38].

İnallı ve diğ.'nin hazırladıkları bilgisayar benzetimi programına göre Elazığ İli iklim şartlarında güneş kolektörlerinden alınan ısı enerjisi, yeraltında küresel bir su deposunda yıl boyunca depolanmakta ve depolanan enerji ise ısıtma sezonunda ısı pompası ile çekilerek konut ısıtmasında kullanılmıştır. Yaptıkları bu çalışmada, depoyu çevreleyen yapıların (kum, granit) ısı pompasının performans katsayısına olan etkileri araştırılmıştır. Araştırmacılar Türkiye şartlarında ev başına 60 m²'den daha büyük alanlı güneş kolektörü kullanmanın bir avantaj sağlamadığını da belirtmişlerdir [39].

Güneş destekli ısı pompası ile birlikte yeraltına yerleştirilen ısı depolama tankları konusunda literatürde pek çok çalışma bulunmaktadır. Bunlardan biri de Yumrutaş ve Kaşka

tarafından yapılmıştır. Deneysel olarak yapılan bu çalışmada, düz yüzeyli kollektörlerden alınan ısı enerjisi silindirik bir tankta depolanmaktadır. Sistemin performans katsayısı gökyüzünün bulutlu olduğu günlerde 2,5, gökyüzünün açık olduğu günlerde ise 3,5 olarak bulunmuştur [40].

Yumrutaş ve diğ. Tarafından yapılan benzer diğer bir çalışmada ise güneş enerjisi, yeraltına yerleştirilen silindirik bir tankta mevsimsel olarak depolanmakta ve ısıtma sezonunda da ısı pompası yardımıyla kullanılmaktadır. Bilgisayar benzetimi yardımıyla elde ettikleri sonuçlar aşağıda sıralanmıştır [41].

1- Depolama tankında en yüksek su sıcaklığı yazın, en düşük su sıcaklığı ise kışın olmaktadır.

2- Depolama tankı iri taneli toprak içerisine gömüldüğü takdirde, tank içerisinde en yüksek su sıcaklığına ulaşılmaktadır. Depolama tankı granit içerisine gömüldüğünde ise en düşük su sıcaklığı olmaktadır.

3- Depolama tankı küçüldüğünde depolama sıcaklığı artar.

4- Depolama tankını çevreleyen toprak, ilave bir depolama tankı gibi davranmakta ve yazın tank içindeki ısıyı emmektedir. Kışın ise çevre toprağından tank içine enerji çekilmektedir.

Yumrutaş ve Ünsal tarafından yapılan yeraltına mevsimsel olarak depolanan güneş enerjisinin ısıtma sezonunda ısı pompası yardımıyla kullanımına ilişkin, bilgisayar benzetimi ile yapılmış ve yayınlanmış iki çalışması daha bulunmaktadır [42,43].

Güneş enerjisinin depolanarak kullanıldığı diğer iki çalışmada Badescu tarafından yapılmıştır. Çalışmalarından elde ettiği sonuçlara göre; güneş kollektörlerinden alınan ısı enerjisi doğrudan ısı pompasında kullanıldığında elde edilecek elektrik enerjisi tasarrufunun % 50'yi aştığı, enerji deposu ile birlikte kullanıldığı zaman ise elektrik enerjisi tasarrufunun % 20–35 arasında olduğunu rapor etmiştir [44,45].

Petit ve Meyer, dikey toprak kaynaklı ve hava kaynaklı ısı pompalarını ekonomiklik yönünden karşılaştırmışlardır. Toprak kaynaklı ısı pompasında toprağı açılan sondaj deliğinin ideal uzunluğunu ve maliyetini belirlemişlerdir. Sistemin ısıtma ve soğutma kapasiteleri, geri ödeme periyodu, COP değerleri, çalıştırma maliyetleri tek tek ele alınmıştır. Sonuç olarak hava kaynaklı ısı pompasının dikey toprak kaynaklı ısı pompasına göre önemli ölçüde daha ucuz olduğu sonucuna varmışlardır [46].

Chaturvedi ve Shen, Freon-12'nin kullanıldığı direkt genişlemeli güneş enerjisi destekli bir ısı pompasının performansını deneysel olarak incelemişlerdir. Yaptıkları bu çalışma sonucunda ısı pompası performans katsayısının 2–3 aralığında olduğunu ve kollektör veriminin % 40 – 70 arasında değiştiğini gözlemişlerdir [47].

Çomaklı, 18 adet düzlemsel güneş kollektörü, bir adet gizli ısı enerji depolama tankı ve hava kaynaklı bir buharlaştırıcının bulunduğu ısı pompası deney düzeneğini Trabzon'da kurarak çeşitli deneyler yapmıştır. 1990 yılında değişik ısı kaynaklı üç ısı pompası için ayrı ayrı deneyler yapmıştır. Deney sonuçları bir bilgisayar programı yardımıyla değerlendirilerek sistemlerin performans katsayıları ayrı ayrı elde edilmiş ve birbiri ile karşılaştırılmıştır. Güneş kollektörlü enerji depolu seri ısı pompası sistemi dinamik benzeşim modeli kurularak deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır [48,49].

Allan Marita ve Kavanaugh, çimento esaslı harç dolguların düşey ısı değiştiricili yer kaynaklı ısı pompalarının ısı değiştirgeci boyu üzerine olan etkilerini araştırmışlardır. Yer kaynaklı ısı pompası yeraltı ısı değiştirgeçlerinin performansları ve boru boylarının, ağırlıkla boru etrafındaki dolgu malzemesinin ısı iletimine bağlı olduğundan dolayı en iyi dolgu malzemesi ve karışım oranını tespit edebilmek amacıyla laboratuvar ortamında çeşitli deneyler yapmışlardır. Yaptıkları deneyler sonucunda uygun dolgu malzemesi ve karışım oranlarının tespit edilmesi ile ısı iletim katsayısında önemli bir iyileşmenin olduğunu görmüşlerdir. Silika kumu, alüminyum oksit tozu, çelik tozu ve silikan karpit gibi malzemelerin ısı iletim katsayılarını 1,7 W/mK'den 3,3 W/mK'e çıkardığını bulmuşlardır. Ayrıca çimento-kum harcı kullanımıyla düşey ısı değiştirici boru uzunluğundaki azalmanın teorik olarak % 22 ile % 37 arasında olduğunu tespit etmişlerdir [50].

Bi ve diğ., çift spiral kangal halindeki bir yer ısı değiştirgeci dizayn ederek, yer altında iki boyutlu sıcaklık dağılımını kontrol hacim metodu kullanarak belirlemişlerdir. Yeraltına döşenen kangal halindeki boru için ısı transfer modeli geliştirmişler ve kangal etrafındaki sıcaklık dağılımını sayısal olarak çözmüşlerdir. Deneysel sıcaklık verileri ile analitik çözüm sonuçlarını karşılaştırmışlardır [51].

De Swardt ve Meyer, yaptıkları çalışmada, yer kaynaklı bir ısı pompası ile hava kaynaklı bir ısı pompasını performans açısından karşılaştırmışlardır. Araştırmacılar, belediyenin içme suyu şebekesinden ısı çeken yer kaynaklı bir ısı pompası ile hava kaynaklı bir ısı

pompasının deneysel ve teorik performanslarını ortam ısıtılması ve soğutulması bakımından karşılaştırmışlardır. Yeraltında kilometrelerce uzanan içme suyu şebekesinin ısı kaynağı olarak yeterli olabileceğini düşünen araştırmacıların yaptığı çalışmada ısı transferini, zemindeki topraktan yer ısı değiştirgecine su aracılığıyla en direkt olarak sağlamışlardır. Yer kaynaklı ısı pompası ile hava kaynaklı ısı pompasının deneysel ve benzetim sonuçlarını ısıtma ve soğutma açısından karşılaştırmışlardır. Her iki tip ısı pompasının performans katsayıları ve kapasiteleri bölgenin iklim verileri kullanılarak hesaplanmıştır. Deneysel ve benzetim sonuçlarından elde edilen verilere göre ısı kaynağı olarak belediye su şebekesinin kullanımının endüstriyel iklimlendirmede özellikle de ısıtma modunda kullanıldığı zaman daha uygun olduğu sonucuna varmışlardır [52].

Bi ve diğ., Güneş enerjisi destekli ısı pompası sistemi ile toprak kaynaklı ısı pompası sistemini teorik ve deneysel verilere dayalı olarak karşılaştırmışlardır. Araştırmacılar, toprak altına dikey olarak çift katlı spiral boru şeklinde ısı değiştirgeci yerleştirmişlerdir. Kullanılan çift katlı dikey yerleştirilmiş toprak altı ısı değiştirgecinin yatay tip toprak ısı değiştirgecine göre birim toprak yüzey alanı başına 18 kat daha fazla ısı emme kapasitesine sahip olduğunu vurgulayarak ısı pompasının performans katsayısında da % 21'lik bir iyileşme olduğunu rapor etmişlerdir [53].

Büyükalaca ve diğ., Adana'da ısı kaynağı olarak Seyhan nehri suyunu ve ortam havasını kullanan bir deney düzeneği kurarak ısı kaynaklarını birbiriyle performans açısından karşılaştırmışlardır. Yine aynı deney düzeneği yardımıyla yaz mevsimi için ısı atılan ortam olarak hava ve nehir suyunu kullanarak çeşitli deneyler yapmışlardır. Yapılan deneylerle elde edilen sonuçlara göre ısıtma ve soğutma modunun her ikisinde de nehir suyu kullanımının havaya göre oldukça avantajlı olduğunu belirtmişlerdir. Ancak sistemin akıllı kontrol sistemleriyle donatılması gerektiğini, bunun da sistemin ilk kurulum maliyetinde önemli ölçüde artışa sebep olduğunu belirtmişlerdir [54].

Kara ve Yüksel, sudan-suya çalışan bir ısı pompası deney düzeneği kurarak Erzurum şehir merkezinde bulunan bir sağlık merkezinin zeminden ısıtılmasını sağlamışlardır. 35 °C 'deki jeotermal kaynaklı suyun ısı enerjisi ısı pompası yardımıyla çekilerek 45 °C 'de temiz su hazırlamakta ve yerden ısıtma panellerine gönderilmektedir. Yapılan bu çalışmada 7,2 kW kapasiteli ısı pompasının performans katsayısı 2,8 olarak bulunmuştur. Araştırmacılar çalışmalarında sonuç olarak, Türkiye'nin ısı pompalarında kullanılmak üzere düşük sıcaklıklı

jeotermal enerji kaynakları yönünden çok iyi bir potansiyele sahip olduğunu da vurgulamışlardır [55].

Huang ve Cyng, güneş enerjisi destekli direkt genişlemeli bir kollektöre bağlanmış su-su kaynaklı termosifon tipi bir sıcak su hazırlama sistemi kurarak sistemin performansı üzerinde çeşitli çalışmalar yapmışlardır. Araştırmacılar yaptıkları ölçümler sonucunda 61 °C ve 25 °C 'lik sıcak su aralığında sistemin performans katsayısının 2,5–3,7 olduğunu belirtmişlerdir [56]. Kuang ve diğ. tarafından yapılan güneş enerjisi destekli direkt genişlemeli benzer diğer bir çalışmada ise aylık ortalama kollektör verimleri % 40–60 arasında değişirken ısı pompasının performans katsayısı da 4–6 arasında değişmektedir [57]. Kuang ve diğ. tarafından yapılan güneş enerjisi destekli enerji depolu ısı pompası sisteminde kollektör verimleri ortalama % 67,5 olarak bulunmuştur. Araştırmacılar, enerji deposunun güneş enerjisi destekli ısı pompası sistemleri için önemli bir eleman olduğunu vurgulamışlardır [58].

Hulin ve diğ., direkt genişlemeli güneş kollektörü ile çalışan ısı pompası sistemi ile termosifon tipi çalışan sıcak sulu güneş kollektörlü sistemden ısı çeken ısı pompası sistemini teorik olarak karşılaştırılmışlardır. Sıcak sulu güneş kollektörlü sistemin performans katsayısının direkt genişlemeli güneş kollektörlü ısı pompası sisteminden daha yüksek olduğunu araştırmacılar rapor etmişlerdir [59].

Direkt genişlemeli güneş kollektörü ile çalışan ısı pompası konusunda yapılan diğer bir çalışmada Japonya'da Ito ve diğ. tarafından yapılmıştır. Araştırmacıların elde ettikleri ölçüm sonuçlarına göre kışın buharlaştırıcı sıcaklığı 17 °C iken performans katsayısı yaklaşık 5,3 olarak bulunmuştur [60].

Guoyuan ve diğ., Çin'in soğuk bölgelerinde -15 °C ve daha düşük sıcaklıklarda çalışabilecek vida tipi kompresörün kullanıldığı yeni bir tür hava kaynaklı ısı pompası deney düzeneği kurarak çeşitli ölçümler yapmışlardır. Soğutucu akışkan olarak Freon-22'nin kullanıldığı bu deney düzeneğinde, yoğunlaştırıcıya ısıyı iç ortama vererek basınç altında yoğunlaşan akışkan ekonomizere geçtikten sonra tekrar buharlaştırıcıya gönderilmiştir. Dış ortam sıcaklığının çok düştüğü durumlarda buharlaştırıcıya paralel olarak çalışan ekonomizer ile kompresör girişi arasında üzerinde selenoid bir valf bulunan ilave bir boru hattı devreye alınarak sistem çalıştırılmıştır. Araştırmacıların elde ettikleri bulgular özetlenirse;

➤ -15 °C civarındaki dış ortam sıcaklıklarında dizayn edilen prototip ısı pompası uzun süre ısıtma yapabilecek yeterliliktedir,

➤ Eğer düşük dış ortam sıcaklıklarında ilave boru hattı açık ise enerji tüketimi ve ısıtma kapasitesi artacaktır. Ancak ısıtma kapasitesi, enerji tüketiminden daha büyük olduğu zaman EVO (enerji verimlilik oranı) değerinde de iyileşme olacaktır. 10 °C 'den daha büyük buharlaşma sıcaklıklarındaki küçük artışlar EVO 'nin iyileşmesi açısından ihmal edilebilir,

➤ Sistem iyileştirilmiş daha düşük deşarj sıcaklıklarına sahiptir ve düşük ortam sıcaklıkları için deşarj sıcaklığı 130 °C 'nin altında sabit ve kararlıdır.

Araştırmacılar, -12 °C buharlaşma sıcaklığı ve 106 °C 'deki deşarj sıcaklığında EVO değerini 2,43, -15 °C buharlaşma sıcaklığı ve 116 °C deki deşarj sıcaklığında EVO değerini 2,19 olarak bulmuşlardır [61].

Hava kaynaklı ısı pompası üzerine Ma ve Chai tarafından yapılan benzer başka bir çalışmada, ilk örnek olarak hazırladıkları ısı pompasının -10 ile -15 °C'nin altındaki sıcaklıklarda ekonomizerin ilave olarak bağlandığı sistemin ısıtma ve soğutma kapasitesinin alışılacelmiş hava kaynaklı ısı pompalarına kıyasla oldukça iyi olduğu sonucuna varmışlardır [62]. Hazırlanan bu hava kaynaklı ısı pompası örnek deney seti üzerinde Ding ve diğ. 'nin ölçümlere dayalı olarak elde ettikleri sonuçlar aşağıda özetlenmiştir [63];

1- İlk örnek hava kaynaklı ısı pompası, hem soğuk hem de sıcak mevsimlerde ısıtma ihtiyacını uzun süre karşılayabilecek yeterliliktedir.

2- Kışın ısıtma modunda ekonomizer devreye alındığında sistemin COP değerinde iyileşme olacaktır. Ancak ortam sıcaklığındaki artışla birlikte bu iyileşme de azalacaktır.

3- Eğer sistem yazın çok sıcak havada soğutma modunda çalıştırılacaksa sistemin soğutma kapasitesi de artacaktır ancak enerji tüketimi de artacaktır. Bu yüzden sisteme ilave edilen ek bağlantı hattı sürekli açık tutulmalıdır.

4- İlave devre üzerindeki valf sürekli açık tutulursa ısı pompası tüm şartlar altında yüksek performans gösterecektir.

Liu ve diğ. hava kaynaklı ısı pompasında sıcak gaz yardımıyla buz çözme işleminin deneysel ve dinamik benzetimi üzerinde çalışmışlardır. Araştırmacılar yaptıkları bu çalışmada, ısıtma modunda dış ortamda bulunan buharlaştırıcı yüzeyinde oluşan buzı çözdürmek için yoğunlaştırıcudan çıkan sıcak havayı göndermişlerdir. Buz çözme işlemi sona erdiğinde ise buharlaştırıcı yüzeyine gönderilen sıcak hava tekrar iç ortam gönderilerek sistem çalıştırılmıştır. Araştırmacılar, deneysel olarak elde edilen verilerle bilgisayar benzetimi ile elde edilen veriler arasında büyük oranda uyuma olduğunu belirtmişlerdir [64].

Fehrm ve diğ., binalarda atık (eksoz edilen) havadan ısı çeken ısı pompaları üzerine yaptıkları bir çalışmada bu sistemi diğer sistemlerle karşılaştırmışlar ve aşağıdaki sonuçları bulmuşlardır [65].

- Bina iç basıncı dış ortam basıncından daha düşük olduğu için dış duvar iç yüzeylerinde su buharının yoğunlaşma riski daha azdır,
- Hava kanallarının sıhhi olmasına gerek yoktur,

Araştırmacılar ısı pompası piyasasında eksoz havasından ısı çekmeye olan eğilimin;

- Eksoz havalandırma sisteminin çok karmaşık olmamasına ve sadece bir fana ihtiyaç duymasına,
- Eksoz havası kullanan ısı pompasının, diğer havadan-havaya çalışan ısı pompalarına göre 2 veya 3 kez daha fazla enerji elde etmesine bağlamışlardır.

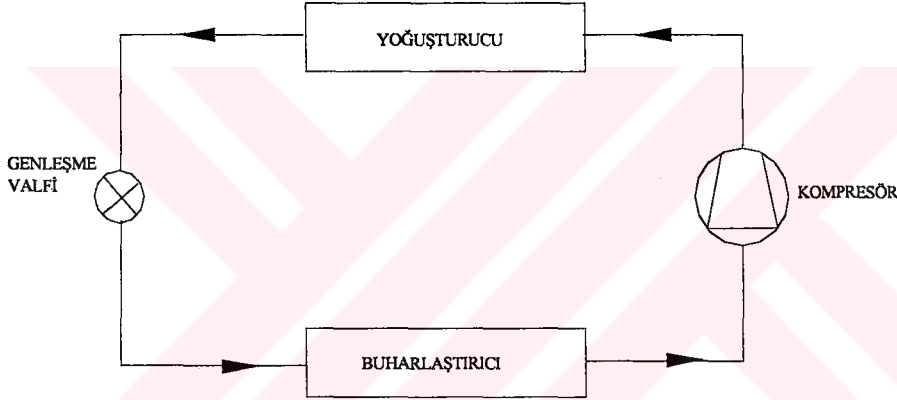
Ortam ısıtılması ve ısı pompası yardımıyla sıcak su hazırlama sistemleri üzerine bir diğer çalışma da Hawlader ve diğ. tarafından yapılmıştır. Araştırmacılar güneş destekli bir ısı pompası yardımıyla sıcak su hazırlayan bir deney düzeneği kurarak çeşitli deneyler yapmışlardır. Kollektör veriminin su sıcaklığı 30 °C ile 50 °C aralığındayken % 40 - % 75 değerlerinde ve COP değerinin ise 4 ile 9 arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Sistemin ekonomi analizi yapılarak minimum geri ödeme süresini, Singapur şartlarında yaklaşık olarak iki yıl olarak bulmuşlardır [66].

Abou-Ziyan ve diğ., Soğutucu akışkan olarak R22 ve R134a'nın kullanıldığı düşük sıcaklıklı uygulamalarda, R134a'nın kullanılmasıyla performans katsayısındaki iyileşmenin R22'ye göre % 23 daha fazla olduğunu rapor etmişlerdir [67].

3. ISI POMPASI ve ISI KAYNAKLARI

3.1. Carnot Çevrimi ve Isı Pompasının Çalışma Prensibi

Termodinamiğin ikinci kanununa göre ısı geçişinin yüksek sıcaklıktaki bir ortamdan daha düşük sıcaklıktaki bir ortama kendiliğinden olduğu bilinen bir gerçektir. Ancak termodinamiğin ikinci kanununa göre ısıнын düşük sıcaklıktaki bir ortamdan daha yüksek sıcaklıktaki bir ortama geçişi kendiliğinden olamaz. Bu nedenle sisteme dışarıdan iş verilmesi gerekir. Bu işlemin yerine getirilmesi ancak soğutma makinelerinin kullanımıyla olabilir. Bir soğutma çevriminde kullanılan aracı akışkana soğutucu akışkan adı verilir. En yaygın kullanılan soğutma çevrimi mekanik buhar sıkıştırma soğutma çevrimidir. Şekil 3.1’de çalışma şeması verilen mekanik buhar sıkıştırma bir soğutma çevriminin dört ana elemanı vardır: kompresör, yoğuşturucu, genleşme valfi ve buharlaştırıcı.

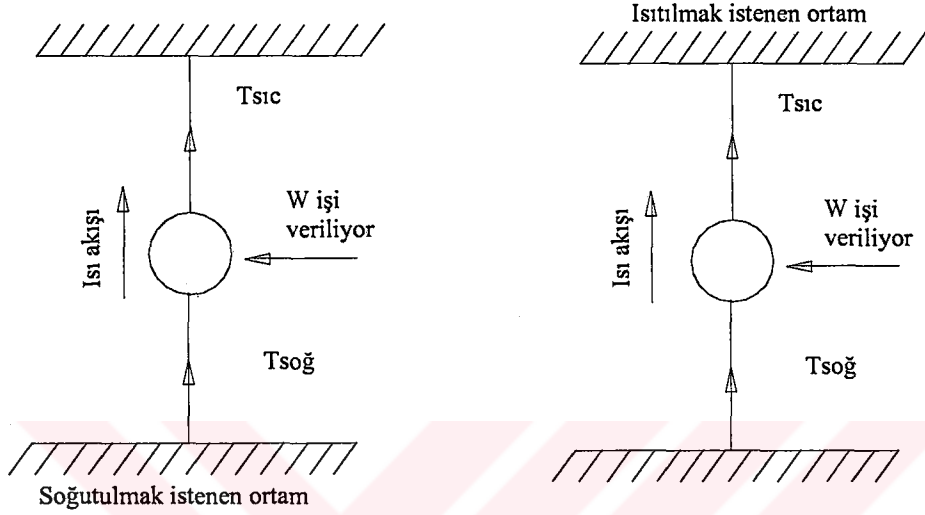


Şekil 3.1 Mekanik Buhar Sıkıştırma Soğutma Çevrimi.

Bu devrede soğutucu akışkan kompresöre buhar olarak girer ve burada yoğuşturucu basıncına kadar sıkıştırılır. Kompresör çıkışında kızgın buhar halinde olan akışkan, yoğuşturucuda çevre ortama ısı vererek soğur ve sıvılaşır. Akışkan yoğuşturucudan sonra genleşme valfine girer ve kısılma etkisiyle basıncı ve sıcaklığı büyük ölçüde azalır. Soğutucu akışkan daha sonra buharlaştırıcıda soğutulan ortamdan ısı alarak buharlaşır. Çevrim, buharlaştırıcıdan çıkan akışkanın kompresöre girmesiyle tamamlanır.

Isı pompasında ısıyı daha yüksek sıcaklıktaki bir seviyeye çıkarmak için mekanik bir enerji kullanılmaktadır. Dolayısıyla ısı pompası tersinir bir işlemi mümkün kılar, yani ısı soğuk ortamdan alınıp daha sıcak olan ortama verilir. Bunun sonucunda soğuk ortam daha soğuk, sıcak ortam ise daha sıcak hale gelir.

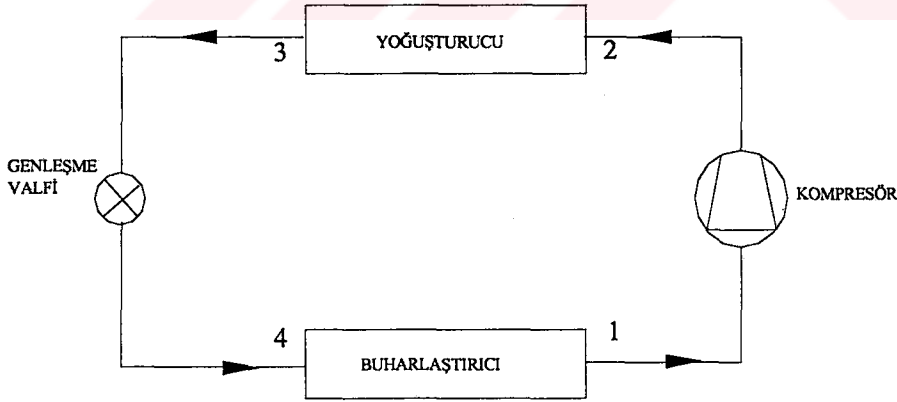
Isı pompası çevrimi gerçekte soğutma çevriminin aynı olup sadece uygulamadaki amacı farklıdır. Soğutma makinesinde amaç ortam sıcaklığının altına inmektir ve ısının atıldığı ortam önemli değildir. Isı pompasında amaç ise belirlenen ortamı ısıtmaktır. Isı pompalarıyla iklimlendirme de yapılabilmektedir, fakat asıl hedef ısıtmadır. Şekil 3.2.a ve 3.2.b’ de soğutma makinesi ve ısı pompası çalışma prensibi şemaları görülmektedir. Şekil 3.3.a ve 3.3b’de ise sırasıyla ısı pompası şematik resmi ve Carnot ısı pompasının T-S diyagramları görülmektedir.



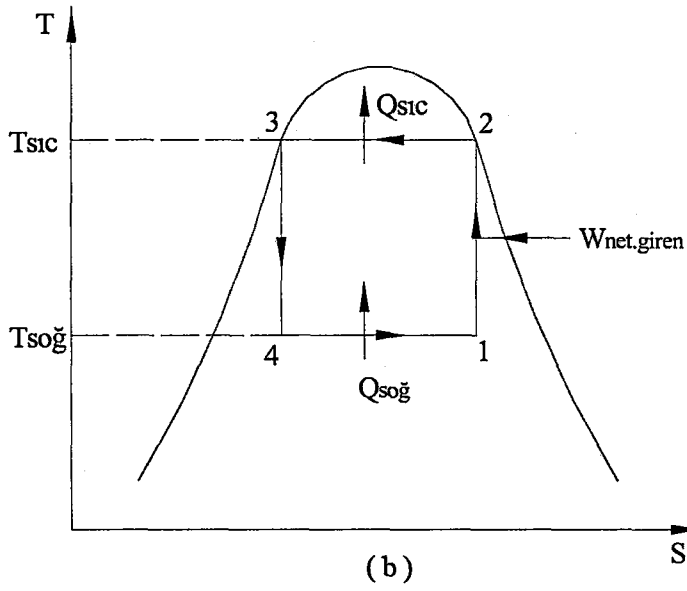
a- Soğutma Makinesi

b- Isı Pompası

Şekil 3.2 Soğutma Makinesi ile Isı Pompasının Çalışma Prensibi Şeması.



Şekil 3.3a Isı Pompası Çevriminin Şematik Resmi.



Şekil 3.3b Carnot Çevrimine Göre Isı Pompası T-S Diyagramı.

3.1.1. Soğutma Makinesinin Etkinlik Katsayısı

Bir soğutma makinesinin verimi performans (etkinlik) katsayısı ile ifade edilir ve COP_{SM} ile gösterilir.

$$COP_{SM} = \frac{\text{Soğutulan ortamdaki çekilen ısı enerjisi}}{\text{Kompresöre harcanan elektrik enerjisi}} = \frac{Q_{soğ}}{W_{net.giren}} \quad (3.1)$$

olarak yazılabilir. Enerjinin korunumu ilkesine göre,

$$W_{net.giren} = Q_{sic} - Q_{soğ} \quad [kJ] \quad (3.2)$$

olarak yazılabildiğinden soğutma makinesinin etkinlik katsayısı,

$$COP_{SM} = \frac{Q_{soğ}}{Q_{sic} - Q_{soğ}} \quad (3.3)$$

şeklinde yazılabilir. Burada;

Q_{sic} = Kompresöre harcanan enerji [kJ],

$Q_{soğ}$ = Soğuk ortam çekilen ısı enerjisi [kJ],

olarak tanımlanmıştır.

3.2. Isı Pompası Çevrimleri

3.2.1. Ters Carnot Çevrimi

Ters Carnot çevrimi ile ideal teorik ısı pompası çevrimini gerçekleştirmek ve farklı iki sıcaklıktaki kaynak arasında en yüksek verim almak mümkündür. Düşük sıcaklıktaki kaynaktan $Q_{soğ}$ miktarında ısı alınır ve çevrim akışkanı aracılığı ile yüksek sıcaklıktaki ısı enerjisi deposuna (ısı atılacak ortama) Q_{sic} ısı transfer edilir. Şekil 3.4’de T-S diyagramı verilen iki eş sıcaklık ve iki eş entropi değişiminden oluşan ters Carnot çevriminde;

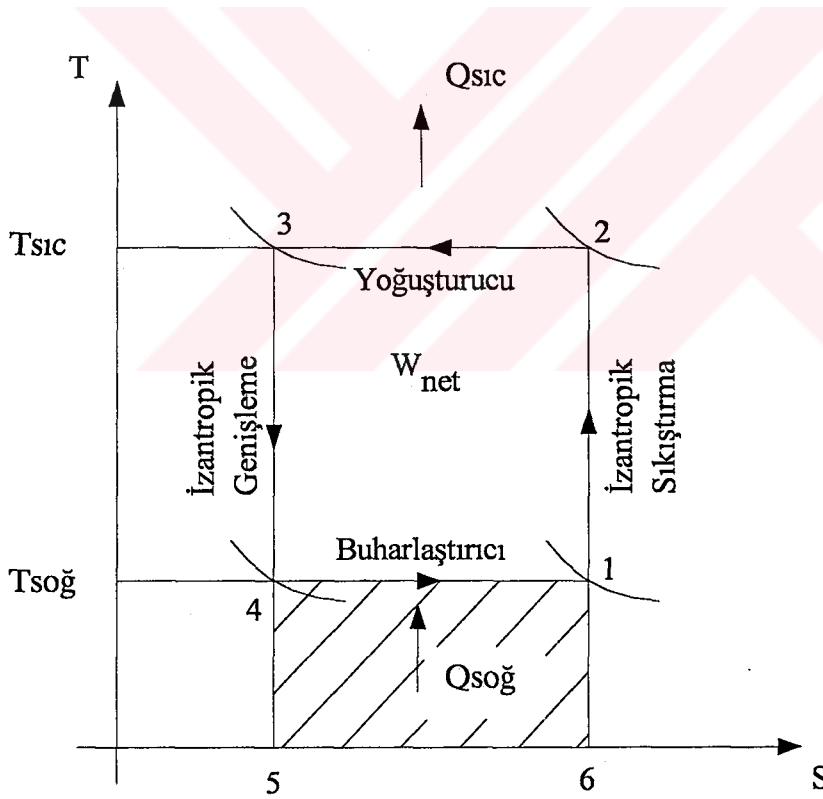
1–2 arasında tersinir adyabatik sıkıştırma

2–3 arasında sabit sıcaklık ve basınç şartlarında ısıtılacak ortama ısı verme ($T_{sic,P}$)

3–4 arasında tersinir adyabatik genişleme

4–1 arasında sabit sıcaklık ve basınç değerinde ($T_{soğ,P}$) çevreden ısı alma yapılmaktadır.

T-S diyagramında soğutulacak ortamdan alınan ısı 5’-4-1-6, sisteme verilen iş ise 1234 alanına eşittir [68, 69, 70,71].



Şekil 3.4 Ters Carnot Çevrimi

Ters Carnot makinesi için ısıtma tesir katsayısını yazacak olursak;

$$\beta_{isu} = \frac{T_{sic}}{T_{sic} - T_{soğ}} \quad (3.4)$$

elde edilir.

Isı pompası ekserjistik verimi ζ , faydalı ısı akısından alınan ekserji akısının ısı pompası tahrik gücüne oranıdır. O halde gerçekte ısıtma tesir katsayısı;

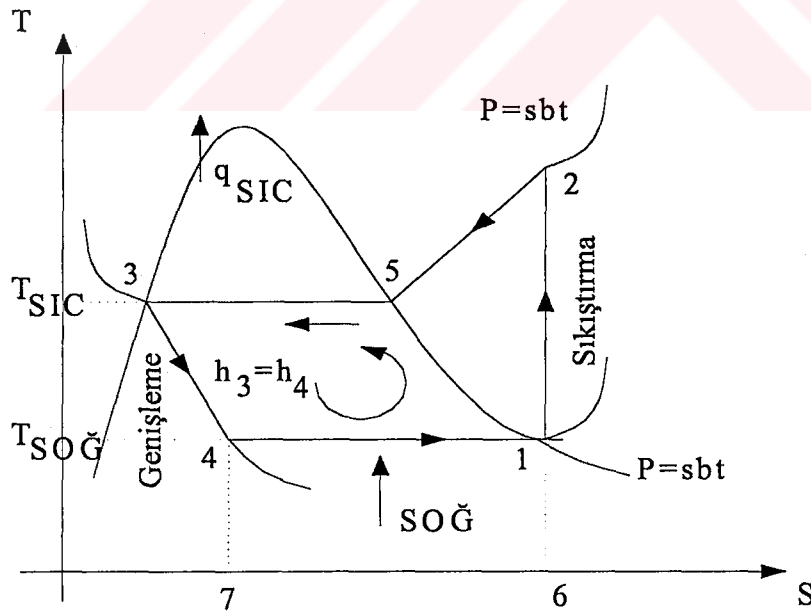
$$\beta_{isit} = \frac{2.3.5.6 \text{ alanı}}{1.2.3.4 \text{ alanı}}$$

$$\beta_{isit} = \varepsilon = \frac{T_{SIC}}{T_{SIC} - T_{SOĞ}} \zeta \quad (3.5)$$

şeklinde ifade edilebilir.

3.2.2. İdeal Buhar Sıkıştırma Soğutma Çevrimi

Tersinir işlemlerden meydana gelen bir önceki şekildeki çevrimde, soğutma etkinliği gerçek soğutma çevrimine göre en büyüktür. Fakat pratikte bu çevrim gerçekleşmez. Ters Rankine çevrimi soğutma amaçlı kullanılabilir. Bundan dolayı 3-4 arasında gerçekleşen genişleme işi 1-2 sıkıştırma işinin yanında çok küçük kaldığından sisteme katkısı azdır. Bu nedenle genişleme, bir iş yaparak değil soğutucu akışkanın genişleme vanasından geçirilerek genişletilmesi şeklinde olur.



Şekil 3.5 Teorik Çevrim.

Pratikte oldukça yaygın olarak kullanılan bu çevrim Şekil 3.5’de görülmektedir. Soğutucu akışkan kompresöre 1 halinde doymuş buhar olarak girer ve izantropik olarak yoğusturucu basıncına sıkıştırılır. Sıkıştırma işlemi sırasında, soğutucu akışkanın sıcaklığı çevre ortam sıcaklığının üzerine çıkar. Soğutucu akışkan daha sonra 2 halinde kızgın buhar olarak yoğusturucuya girer ve 3 halinde doymuş sıvı olarak ayrılır. Yoğuşma sırasında akışkandan çevreye ısı geçişi olur. Soğutucu akışkanın sıcaklığı 3 halinde de çevre sıcaklığının üzerindedir. Doymuş sıvı halindeki akışkan daha sonra bir genişleme vanası veya kılcal borudan geçirilerek buharlaştırıcı basıncına kısılır. Bu hal değişimi sırasında soğutucu akışkanın sıcaklığı, soğutulacak ortamın sıcaklığının altına düşer. Soğutucu akışkan buharlaştırıcıya 4 halinde kuruluk derecesi düşük bir doymuş sıvı buhar karışımı olarak girer ve soğutulan ortamdan ısı alarak tümüyle buharlaşır. Soğutucu akışkan buharlaştırıcıdan doymuş buhar halinde çıkar ve kompresöre girerek çevrimini tamamlar [72, 73, 74].

Bu çevrimin hal değişimi şöyledir;

1–2 Kompresörde izantropik sıkıştırma (S-sabit, tersinir adyabatik)

2–5 Sabit basınçta yoğuşarak doymuş buhar haline geçme

5–3 Sabit basınçta ve sabit sıcaklıkta yoğusturma

3–4 Genişleme (h sabit)

4–1 Sabit basınç ve sıcaklıkta buharlaşma

Bu işlem boyunca buharlaştırıcı ortamdan alınan ısı miktarı,

$$q_{SOĞ} = h_1 - h_4 \quad [\text{kJ/kg}] \quad (3.6)$$

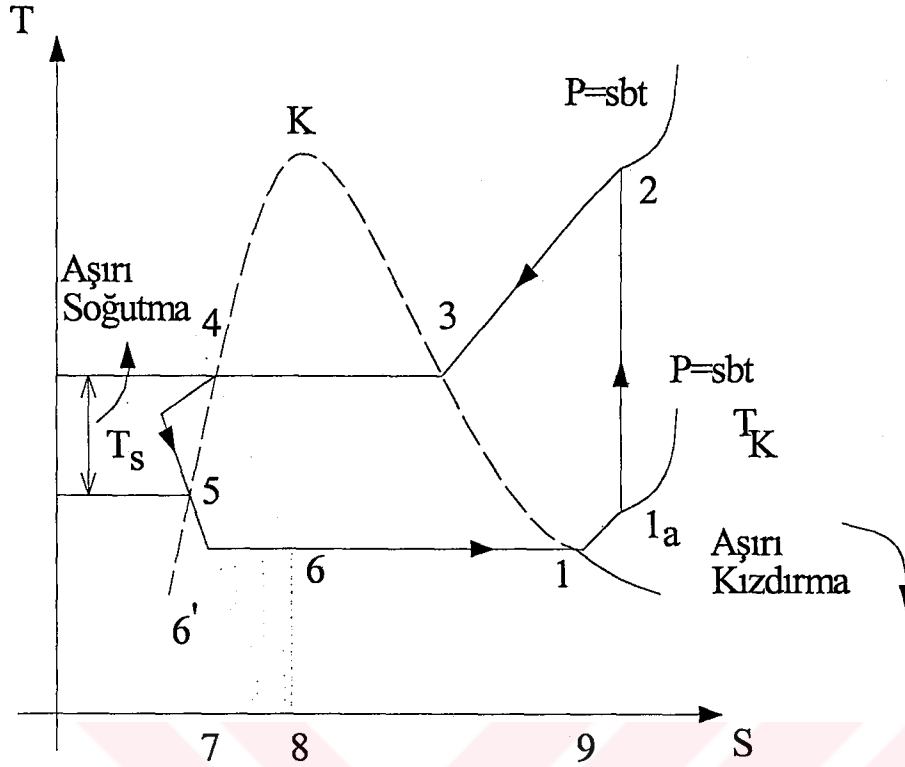
Yoğusturucudan ortama verilen ısı miktarı,

$$q_{SIC} = h_2 - h_3 \quad [\text{kJ/kg}] \quad (3.7)$$

Gerekli iş ise;

$$W_{net, giren} = h_2 - h_1 \quad [\text{kJ/kg}] \quad (3.8)$$

Bu değerlerden hem ısıtma hem de soğutmada çevrimin etki katsayılarının hesaplanmasında yararlanılır. Isıtma tesir katsayısı;



Şekil 3.7 Aşırı Kızdırma ve Aşırı Soğutma.

İdeal çevrimin aksine soğutucu akışkanın sıcaklığı 1 noktasından 2 noktasına, yani sıkıştırma süresince yoğuşma sıcaklığının oldukça üzerine çıkmaktadır. Çünkü sıkıştırma basıncında soğutucu akışkan doymuş buhar halinde bulunmalıdır. Zira kompresör silindirine sıvı soğutucu akışkanın girmesi, kompresöre zarara veren sıvı darbelerin doğmasına neden olur. Her aşırı kızdırma tesir katsayısını düşürür, bu yüzden mümkün olduğunca düşük tutulmalıdır [75].

Kızdırma ısısı;

$$q_k = h_{1a} - h_1 \quad \text{Olarak belirlenir.} \quad (3.10)$$

Burada;

$$q_k = \text{Kızdırma ısısı [kJ/kg]}$$

olarak tanımlanmıştır.

3.3.2. Aşırı Soğutma

Akışkanın genişleme vanasında kısılmasının neden olduğu kaybın tümü genişleme kaybı olarak adlandırılır. Bu kayıp, sıvı soğutucu akışkan ısısı T_s sıcaklığında bir aracı akışkana verilebilirse ($T_s < T$ olmak zorundadır); bu durumda sıvı soğutucu akışkan 4 noktasındaki T sıcaklığından 5 noktasındaki sıcaklığa kadar soğutulabilir. Şimdi sabit entalpideki değişim 5

noktası ile 6' noktası arasındadır. Fazladan tahrik işi sarf etmeksizin çekilen Q ısısı artar. Kazanılan bu yeni ısıya yani;

$$q_{as} = h_4 - h_5 \quad (3.11)$$

Burada;

$$q_{as} = \text{Aşırı soğutma ısısı [kJ/kg],}$$

olarak tanımlanmıştır. q_{as} değerine “aşırı soğutma ısısı” denir. Her aşırı soğutma kompresör tahrik değerini değiştirmeden faydalı ısıtma gücünü artırır. Tesir katsayısı daha iyi olur [76].

3.4. Mekanik Buhar Sıkıştırılmalı Isı Pompasının Termodinamik Analizi

3.4.1. Basınç Oranı

Basınç oranı, yoğuşma basıncının buharlaşma basıncına oranıdır.

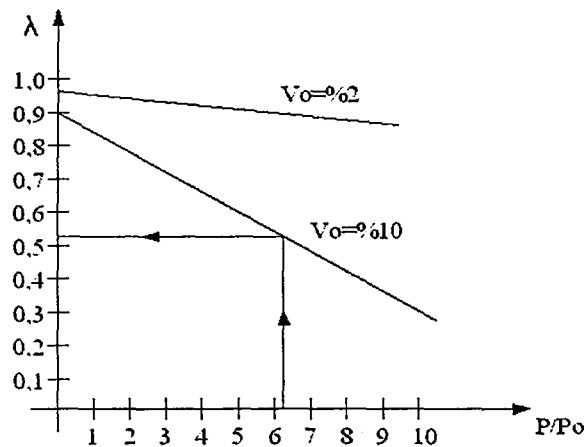
$$\pi = \frac{P}{P_o} \quad (3.12)$$

Basınç oranı ısı pompasının buharlaşma ile yoğuşma sıcaklıklarına ve kullanılan çevrim akışkanına bağlıdır.

3.4.2. Doldurma Derecesi

Doldurma derecesi, kompresörün verdiği gerçek buhar debisinin V_g (m^3/s), geometrik strok hacmi debisine V_H (m^3/s) oranıdır [76].

$$\lambda = \frac{V_g}{V_H} \cdot V_o \quad (3.13)$$



Şekil 3.8 Basınç ve Doldurma Oranları.

Kompresörün P basma basıncının, P_o emme basıncına oranı ne kadar büyükse, bu doldurma derecesi o kadar küçük, yani kötü olmaktadır. Şekil 3.8’de doldurma derecesinin basınç oranı (π) ve V_o ölü hacmine olan bağılılığı görülmektedir. Buradan artan V_o hacminin, doldurma derecesini önemli ölçüde azalttığı ortaya çıkmaktadır [76].

3.4.3. Hacimsel Verim

Doldurma derecesinin yanında çoğu zaman kompresörün indikatör diyagramında bulunan ve sadece supap kayıplarını ve ölü hacmin içerisinde kalan soğutucu akışkan buharının genişleme kaybını içeren hacimsel verim de kullanılır. Kompresör küçüldükçe, ölü hacmin strok hacmine oranı büyür ve hacimsel verim kötüleşir.

3.4.4. Buharlaşma Isı Akısı

$\dot{Q}_o$ buharlaşma ısı akısı ısı pompasının buharlaştırıcı aracılığı veya ısı kaynağından çekilen ısı akısıdır. Buna soğutma gücü de denir. $\dot{Q}_o$ ile gösterilir.

$$\dot{Q}_o = \dot{m}_K (h_1 - h_4) \quad [\text{kW}] \quad (3.14)$$

Burada;

$$\dot{Q}_o = \text{Buharlaşma ısı akısı} [\text{kW}],$$

$$\dot{m}_K = \text{Soğutucu akışkanın kütleli debisi} [\text{kg/s}],$$

olarak tanımlanmıştır.

3.4.5. Soğutucu Akışkanın Kütleli Debisi

Soğutucu akışkanın $\dot{m}_K$ kütleli debisi, V_H geometrik strok hacmi debisi, λ doldurma derecesi ve kompresör tarafından emilen soğutucu buharın V₁ özgül hacmi ile elde edilir [76].

$$\dot{m}_K = V_H \cdot \lambda \cdot \frac{1}{V_1} \quad [\text{kg/s}] \quad (3.15)$$

$$\dot{Q}_o = V_H \cdot \lambda \cdot \frac{h_1 - h_3}{V_1} \quad (3.16)$$

$$\dot{Q}_o = V_H \cdot \lambda \cdot q_{ov} \quad (3.17)$$

$$q_{ov} = \frac{h_1 - h_3}{V_1} = \text{hacimsel soğutma gücü} \quad (3.18)$$

Burada;

$\dot{Q}_o$ = Buharlaşma ısı akısı [kW],

V_H = Geometrik strok hacmi [m^3/s],

V_1 = Emilen soğutucu akışkanın buharlaşma sıcaklığındaki özgül hacmi [m^3/kg],

h_3 = genişleme valfindan önceki sıvı akışkanın entalpisi [kJ/kg],

h_1 = buharlaştırıcıdan sonraki soğutucu akışkanın entalpisi [kJ/kg],

$\dot{m}_K$ = Soğutucu akışkanın kütleli debisi [kg/s],

olarak tanımlanmıştır.

3.4.6. Hacimsel Soğutma Gücü

Hacimsel soğutma gücü q_{ov} (kW), buharlaştırıcı ısı akısının (soğutma gücünün) soğutucu akışkan buhar debisine (m^3/s) oranıdır. Bir önceki eşitlik aşağıdaki şekilde de yazılabilir [76]:

$$q_{ov} = \left(\frac{kW}{m^3/s} = \frac{kJ}{m^3} \right)$$

Bu durumda;

$$q_{ov} = \frac{h_1 - h_3}{V_1} \quad [kJ/m^3]$$

Bir önceki eşitlik aşağıdaki şekilde de yazılabilir:

$$\dot{Q}_o = V \cdot \lambda \cdot q_{ov} \quad (3.19)$$

Buradan hacimsel soğutma gücü aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$q_{ov} = \frac{\dot{Q}_o}{V \cdot \lambda} \quad \left(\frac{kW}{m^3/s} \cdot \frac{kJ}{m^3} \right) \quad (3.20)$$

3.4.7. Yoğuşturucu - Isı Akısı

Isı pompalarındaki $\dot{Q}$ yoğuşturucu-ısı akısı (ısıtma gücü), $\dot{Q}_o$ buharlaştırıcı ısı akısından (soğutma gücü) çok daha önemlidir. $\dot{Q}$ yoğuşturucu-ısı akısı ısı pompası tarafından

verilen ısı akısıdır. Teorik olarak çevreden çekilen $\dot{Q}_o$ ısı akısı ile P tahrik gücünün toplamıdır [76].

$$\dot{Q} = \dot{Q}_o + P \quad [\text{kW}] \quad (3.21)$$

$$\dot{Q} = \dot{m}_K \cdot (h_2 - h_3) \quad [\text{kW}] \quad (3.22)$$

ve soğutucu akışkanın kütleli debisi;

$$\dot{m}_K = V_H \cdot \lambda \cdot \frac{1}{V_1} \quad [\text{kg/s}] \quad (3.23)$$

Böylece

$$\dot{Q} = V_H \cdot \lambda \cdot \frac{h_2 - h_3}{V_1} \quad [\text{kW}] \quad (3.24)$$

$\frac{h_2 - h_3}{V_1}$ ifadesi hacimsel soğutma gücü (q_v) olarak adlandırılır.

$$q_v = \frac{h_2 - h_3}{V_1} \quad [\text{kJ/m}^3, \text{kW/m}^3 \cdot \text{s}] \quad (3.25)$$

buna göre yoğuşturucu ısı akışı şu şekilde yazılabilir;

$$\dot{Q} = V_H \cdot \lambda \cdot q_v \quad (3.26)$$

Burada;

V_H = Geometrik strok hacmi [m^3/s],

V_1 = Emilen soğutucu akışkanın buharlaşma sıcaklığındaki özgül hacmi [m^3/kg],

$\dot{m}_K$ = Soğutucu akışkanın kütleli debisi [kg/s],

olarak tanımlanmıştır.

3.4.8. Kompresör Kayıpları

Kompresör ısı kayıpları genellikle, kompresör ile yoğuşturucu arasındaki basınç borusundan ve yoğuşturucunun üst yüzeyinden çevreye ısı transferi vasıtası ile olur [76].

Bunu $\dot{Q}_K$ ile gösterirsek, $\dot{Q}_F$ faydalı ısı akısı;

$$\dot{Q}_F = \dot{Q} - \dot{Q}_K \quad (3.27)$$

$$Q_F = Q_o + P - Q_K \quad (3.28)$$

Buradan kompresörün termik verimi η_t aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\eta_t = \frac{\dot{Q}_F}{\dot{Q}} \text{ veya } \dot{Q}_F = \dot{Q} \cdot \eta_t \quad (3.29)$$

$$\dot{Q}_F = (\dot{Q}_o + P) \eta_t \quad (\text{W}) \quad (3.30)$$

Kompresörün “P” elektrik tahrik akısı ve $\dot{Q}_o$ buharlaştırıcı akısı bilinirse buradan P tahrik gücü bulunabilir. Bu durumda;

$$P = \frac{\dot{Q}_o}{q_b \cdot \eta_{KT}} \quad (\text{W}) \quad \text{veya} \quad P = \frac{\dot{Q}_o}{\frac{h_1 - h_3}{h_2 - h_1} \cdot \eta_{KT}} \quad (3.31)$$

q_b bağıl özgül buharlaştırıcı ısı akısıdır. Bağını;

$$q_b = \frac{h_1 - h_3}{h_2 - h_1} \quad (3.32)$$

şeklindedir.

$$P(h_1 - h_3) = \dot{Q}_o(h_2 - h_1) \quad , \quad \frac{P}{\dot{Q}_o} = \frac{h_2 - h_1}{h_1 - h_3} \quad (3.33)$$

ısı pompalarında qI_p bağıl özgül yoğusturucu ısı akısı kullanılabilir. η almadan,

$$qI_p = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1} \quad \frac{P}{\dot{Q}(q_{sic})} = \frac{h_2 - h_1}{h_2 - h_3} \quad P = \frac{\dot{Q}}{qI_{p,\eta}} \quad (3.34)$$

3.5. Isı Pompalarında Kullanılan Etkinlik ve Verim Tanımları

Enerjinin ne denli verimli kullanıldığının belirlenmesinde, verimlilik (veya etkinlik) ile ilgili kavramların ve bunların standart değerlerinin bilinmesi büyük önem taşır [17,70]. Hepbaşlı ve Ertöz tarafından yapılan çalışmalarda, ısı pompalarında kullanılan etkinlik ve verim tanımları geniş kapsamlı olarak ele alınmıştır [14].

Bu bağlamda, farklı model ve marka cihazların performansını kıyaslayabilmek için göz önüne alınan temel üç yol vardır [77].

- Evin ısıtılması veya soğutulması için cihazın ne kadar enerji tükettiği; verim,
- Cihazın varlığının ne kadar hissedildiği; ses düzeyleri,
- Cihazın sağladığı his; konfor.

Bu çerçevede, 1992 yılında, Amerika'da tüm ısıtma ve iklimlendirme donanımları için minimum verim (veya etkinlik) değerleri belirlenmiştir. Bu tarihten önce satın alınan ve montajı yapılan kazan, ısı pompası veya iklimlendirme sistemi gibi HVAC (ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme) donanımı Amerika'da bugün ki standartlara kıyasla oldukça verimsiz olabilmektedir.

Genel anlamda verim, aynı süre veya işletme çevrimi boyunca, dinamik bir sistemden (makine veya motor gibi) elde edilen faydalı enerjinin sisteme verilen enerjiye oranıdır. Bu oran, genellikle belirli test koşullarında belirlenir. Konfor sağlayan donanımın verimi (veya etkinliği) arabalarda kullanılan (litre başına km) şeklindeki yakıt tüketimiyle benzerdir. Oran ne kadar yüksek ise, sistem o kadar fazla verimlidir ve böylece yakıt tüketimi daha az olacaktır [14,76].

Tesir katsayısı (TK), soğutucu akışkan kullanılan sistemlerin verimini belirlemek için kullanılan temel bir parametredir. Bu terim, ısı pompası gibi, ısıtma verimi veya soğutma veriminin her ikisini belirtmek için kullanılır. Soğutma için soğutma tesir katsayısı (STK) adını alır ve birbirine uygun birimlerde, çekilen ısı miktarının kompresöre verilen enerji miktarına oranı olarak tanımlanır. Başka bir deyişle, cihazın kW soğutma başına ürettiği enerjinin, toplam harcadığı enerjiye (kW) oranıdır. Isıtma için ise, ısıtma tesir katsayısı (ITK) adını alır ve uygun birimlerde, elde edilen ısı miktarının, kompresöre verilen enerji miktarına oranı olarak açıklanır [14,76].

TK, kullanıma bağlı olarak iç ve dış ünite fanları, soğutulmuş su pompaları veya soğutma kuleleri gibi, yardımcı sistemlerin enerji tüketimlerini içerebilir ya da içermez. Kıyaslama amaçları için kullanıldığı zaman, ITK ne kadar büyükse, sistem o kadar daha fazla verimlidir. Elektrikli ısıtıcı için $TK=1$ olduğundan, 1'den daha yüksek değerler, aynı miktarda elektrik enerjisi verilirken, daha fazla ısı elde edildiğini gösterir [14,76].

TK, dış hava sıcaklığıyla değişir; sıcaklık düştükçe, TK 'da düşer. Çünkü ısı pompası daha düşük sıcaklıklarda daha az verimlidir. TK, kompakt ısı pompalarında; ARI (Air-Conditioning and Refrigeration Institute), İklimlendirme ve Soğutma Enstitüsü) standartlarına göre; -8,3 °C ve 8,3 °C 'lik iki standart dış hava sıcaklıkları için tipik olarak belirtilir. ARI, Amerika'da, ısıtma, iklimlendirme ve soğutma imalatçıları içine alan, kar amacı gütmeyen, gönüllülerden oluşan bir organizasyondur. Bu kuruluş, kullanıcılara standart kıyaslama değerini

sunmak amacıyla, ısı pompaları ve iklimlendirme cihazlarının testi ve kapasitelerinin belirlenmesi için standartlar yayınlar [14,76].

Isı pompası tesir katsayısı ısı pompasının en önemli karakteristik büyüklüğüdür. β ile gösterilir. β , yoğuşturucu ısı akısının tahrik gücüne oranıdır. Yararlanılan ısı akısının tahrik gücünden ne kadar büyük olduğunu gösterir [76].

$$\beta (COP) = \frac{Q_o}{P} \quad (3.35)$$

Burada;

Q_o = Yoğuşturucu ısı akısı,

P = Tahrik gücü,

veya;

$$\beta = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1} \cdot \eta_{KT} \quad (3.36)$$

(Q_o ve P büyüklükleri Log P-h diyagramı ile bulunursa, tahrik motoru toplam verimi ile ilgili η_{KT} verimi göz önüne alınmalıdır. Bu verim COP' yi düşürmektedir.)

$$\beta = \frac{T_{SIC}}{T_{SIC} - T_{SOĞ}} \cdot \zeta \quad (3.37)$$

elde edilir.

Bu eşitlik T-S diyagramından elde edilmiştir. Log P-h diyagramının kullanılması ile elde edilen verimin, ζ ekzerjetik faydalanma oranı ile aynı olmadığına dikkat edilmelidir.

3.5.1. Kompresörün Toplam Verimi;

Toplam verim (η_{KT}); formülde sıralanan verimlerin çarpımından oluşmaktadır [76].

$$\eta_{KT} = \eta_m \cdot \eta_{el} \cdot \eta_t \cdot \eta_i \quad (3.38)$$

η_m = Mekanik verim

η_{el} = Motor verimi

η_t = Termik verim

η_i = İndike verim

3.5.2. Ekserjetik Faydalanma Oranı;

Sistemde bulunan mevcut ekserjetik faydalanma oranı, E_Q ekserjisinin sisteme verilen teknik veya elektrik işe oranıyla elde edilir [76].

$$\zeta = \frac{E_Q}{W_t} = \frac{Q}{W} \quad \text{veya} \quad \zeta = \frac{E_Q}{P} = \frac{Q}{W} \quad (3.39)$$

Ayrıca aşağıdaki şekilde de yazılabilir.

$$\varepsilon = \frac{T_{SIC}}{T_{SIC} - T_{SOĞ}} \cdot \zeta = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1} \cdot \eta_{KT} \quad (3.40)$$

$$\frac{\eta_{KT}}{\zeta} = \frac{T_{SIC}}{T_{SIC} - T_{SOĞ}} \cdot \frac{h_2 - h_1}{h_2 - h_3} \quad (3.41)$$

elde edilir.

3.6. Isı Kaynakları

Isının çekildiği ve atıldığı kaynak sıcaklıkları arasındaki fark azaldıkça ısı pompasının performans katsayısı artar. Dolayısıyla mümkün olan en sıcak kaynak ısı pompası için en uygun kaynaktır. Aynı zamanda, kaynak sıcaklığının direkt olarak kullanılamayacak bir sıcaklıkta olması gerekir. Aksi takdirde ısı pompasına ihtiyaç olmaz [78].

Isı kaynağını seçerken aşağıdaki faktörler göz önüne alınır:

1. Coğrafi durum
2. İklim şartları
3. İlk maliyet
4. Uygunluk

Isı pompası tasarımında başlıca zorluklardan biri de, kullanılacak kaynaklarla ilgili verilerin elde edilmesidir. Isı pompalarında başlıca dört kaynaktan yararlanılır. Bunlar, hava, su, toprak ve güneş enerjisidir. Bu dört kaynağın dışında atık ısı ve lağım sularından da özel durumlarda ısı kaynağı olarak yararlanılır [78]. Tablo 3.1’de çeşitli ısı kaynaklarının özellikleri gösterilmiştir.

Isı kaynağının karakteristikleri ısı pompasının teknik ve ekonomik performansı ile yakından ilişkilidir. Binalarda ısı pompalarının kullanımı için ideal bir ısı kaynağı [26,66,78];

- Isıtma sezonu boyunca sıcaklığı kararlı olmalı,
- Her an mevcut bulunmalı,
- Korozyon ya da kirlenmeye olumsuz etkilememeli,
- İstenen termofiziksel özellikleri bulunmalı,
- İlk yatırım ve işletme maliyeti düşük olmalıdır.



Tablo 3.1 Çeşitli Isı Kaynakları [1].

Isı Kaynağı	Hava	Kuyu Suyu	Yüzey Suyu	Atık Su	Toprak	Güneş
Kaynak Sınıflandırması	Asıl	Asıl	Asıl	Asıl veya yardımcı	Asıl veya yardımcı	Yardımcı
Isı Dönüşümü İçin Uygunluğu	İyi	İyi	İyi	Sınırlı	Genellikle zayıf	Havaya ısıyı dağıtmak için kullanılabilir
Bulunabilirliği	Her yerde	Belirli değil	Nadiren	Sınırlı	Geniş ölçüde	Her yerde
Mevcut Durumu (zaman)	Devamlı	Devamlı	Devamlı	Değişken	Devamlı	Aralıklı ve tahmin edilemez
İlk Yatırım Maliyeti	Şehir hariç tutulursa su ve toprağa göre daha düşük	Kuyu açma maliyetine bağlı olarak değişken	Düşük	Değişken	Yüksek	Yüksek
Çalıştırma Maliyeti	Nispeten düşük	Düşük	Nispeten düşük	Düşük	Orta	Çalıştırma maliyetini azaltmak için yardımcı sistem olarak kullanılır.
Sıcaklık Değişimi	Fazla	Az	Orta	Genellikle orta	Düşük	Yüksek
Dizayn Bilgisi	Genellikle yeterli	Genellikle yeterli	Genellikle yeterli	Kaynak miktarı ve sıcaklığı sabit ise yeterli	Yetersiz	Pratik olarak mevcut
Ekipman Boyutları	Orta	Küçük (kuyu hariç)	Küçük	Değişken (genellikle orta)	Küçük (toprak altı boru devresi hariç)	Bazı durumlar için mevcut
Standart Üretime Uygunluğu	Mükemmel	Mükemmel (kuyu hariç)	Mükemmel	Zayıf	Zayıf	Zayıf
Karşılaşılabilecek Özel Sorunlar	Isı ihtiyacı arttığında yetersiz kalır. Buzlanma problemi ek kapasite gerektirir.	Korozyon nedeniyle ısı transferi yavaşlar. Kireçlenme meydana gelebilir. İkinci bir boşaltma kuyusu gerekebilir.	Su; kireçlenmeye, korozyona ve mantar oluşumuna sebep olabilir.	Genel olarak kireç oluşumuna sebep olur ve koroziftir. Kaynak yetersizliği vardır. Bu nedenle bireysel dizayn gerektirir. Donma tehlikesi vardır.	Bölgenin jeolojik ve iklim durumuna göre sınırlı. Montaj masraflarını tahmin edebilmek zordur. Boru devresindeki sızıntıları tamir etmek zordur.	Muhtemelen ya buharlaştırıcı tarafında yada yoğunlaştırıcı tarafında ısı depolama gerektirebilir.

Çoğu zaman ısı kaynağının mevcudiyeti kullanımında belirleyici anahtar faktördür. Tablo 3.2' de mevcut ısı kaynaklarının sahip olması gereken sıcaklık aralıkları verilmektedir [1,78].

Tablo 3.2 Mevcut Isı Kaynaklarının Sıcaklık Aralıkları.

Yaygın Olarak Kullanılan Isı Kaynakları	
Isı Kaynakları	Sıcaklık Aralığı (°C)
Çevre havası	-10 – 15
Eksoz havası	15 – 25
Yeraltı suyu	4 – 10
Göl suyu	0 – 10
Nehir suyu	0 – 10
Deniz suyu	3 – 8
Kaya	0 – 5
Toprak	0 – 10
Atık su	>10

3.6.1. Çevre Havası

Hava, ısı pompası her yerde bulunabilen ucuz bol bir ısı kaynağıdır. Bu yüzden tüm ülkelerde kullanılır. En büyük avantajları sürekli bulunmasından başka, geniş bir uygulama alanının bulunması; kullanılan donanımların makul boyutlarda olması ve nispeten düşük işletme ve tesis maliyetleri gerektirilmektedir. Ayrıca tasarım için çok geniş ve ayrıntılı bilgi kaynakları mevcuttur [1,78].

Hava kaynaklı ısı pompalarının iki büyük dezavantajı sıcaklık değişimi ve buzlanma problemidir. Hava kaynaklı ısı pompalarının tasarımı hava sıcaklığı değişimi ile çok ilgilidir. Birçok yerde hava sıcaklığının değişimi büyüktür. Buna göre, ısıtma yükü, hava sıcaklıklarının düşük olduğu zaman, yüksek değerlerde olmalıdır. 0 °C veya daha alçak sıcaklıklarda ısı değiştirici yüzeylerinde don meydana gelir. Periyodik olarak donun çözülmesi gerekir [78,79].

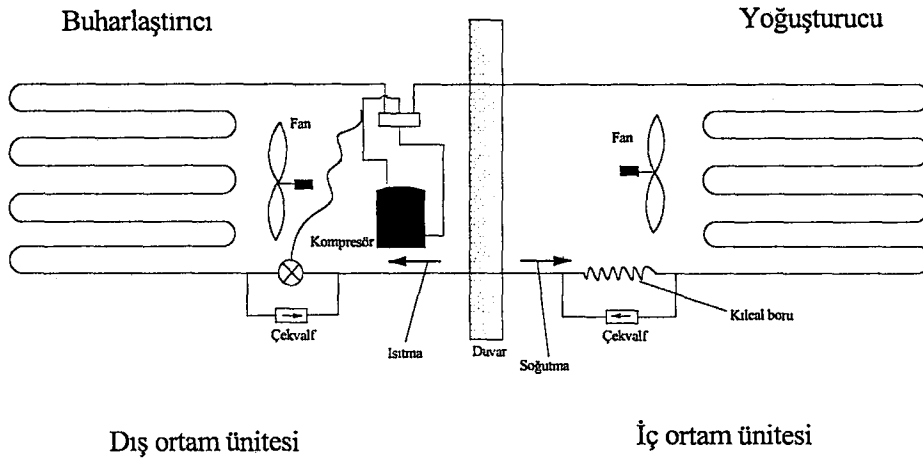
Hava kaynaklı ısı pompalarının mevsimsel performans faktörü su kaynaklı ısı pompalarına göre % 10–30 daha düşüktür. Bunun ana nedeni ise dış ortam havasındaki sıcaklık düşümü nedeniyle performans katsayısındaki hızlı düşüştür. Göreceli olarak buharlaştırıcıda yüksek sıcaklık farklılığının olması nedeniyle oluşan buzlanmayı önlemek için buz çözme

işlemi fazladan enerji harcamayı gerektirir. Yumuşak ve nemli iklimlerde 0–6 °C aralığında buharlaştırıcı yüzeyinde buzlanma meydana gelecektir. Bu ise ısı transferini zorlaştırarak ısı pompasının performansında ve kapasitesinde önemli oranda azalmaya yol açacaktır. Yapılan araştırmalar, buz birikiminin 9,8 – 14,6 kg/m² değerine kadar ısı geçişini arttırıcı yönde rol oynadığını göstermektedir. Ancak daha fazla birikmeyi engellemek için, buzun periyodik olarak buharlaştırıcı yüzeylerinden çözülmesi gerekmektedir. Buharlaştırıcı peteği üzerinde oluşan buzu çözmek için ısı pompası çevrimi ya ters çevrilir ya da düşük enerji tüketen ısı kaynakları ile buzu çözdürme yoluna gidilir. Artan buz çözme işlemi sıklığı, ısı pompasının enerji tüketimini arttırarak toplam performans katsayısını düşürür. Buz çözdürme işleminde zaman kontrolünden ziyade buz çözme talebinin kontrol edilmesi, sistemin genel verimini önemli oranda iyileştirebilir [79].

Isı ihtiyacımızın yüksek olduğu anlarda kaynak sıcaklığı da düşüktür. Bu da ısı pompasının ısıtma kapasitesinin düşmesine neden olur. Bu durumda genellikle ek bir ısıtma kaynağına gerek duyulur. Isı kaynağı sıcaklığının çok değişken olması projelendirmeyi ve donanım seçimini de zorlaştırır [66].

Hava kaynaklı ısı pompalarında, buharlaştırıcıda ısı geçişini sağlamak amacıyla, kaynak sıcaklığı ile soğutucu akışkan sıcaklığı arasında genellikle 10 °C civarında bir fark olur.

Hava kaynaklı ısı pompalarında bir başka problem de, buharlaştırıcıda ısı geçişinin düşük olmasıdır. Bu yüzden ısı geçişini arttırmak amacıyla genellikle genişletilmiş yüzeylerden ve fanlardan yararlanılır. Hava - hava ısı pompalarında buharlaştırıcı yüzeyleri, yoğuşturucu yüzeylerinden daha büyüktür ve buharlaştırıcı yüzeylerinden geçirilen hava debisi de yoğuşturucu yüzeylerinden geçirilen hava debisinden % 50 – 100 oranlarında daha fazladır [79,80]. Şekil 3.9'da hava kaynaklı ayırık (split) bir ısı pompası şeması görülmektedir.



Şekil 3.9 Hava Kaynaklı Isı Pompası.

3.6.2. Eksoz Havası

Eksoz havası, konut ve işyerlerinde kullanılan ısı pompaları için en yaygın kullanılan ısı kaynaklarından biridir. Isı pompası havalandırma havasından ısıyı çeker. Isıtma sezonu ya da yıl boyunca havalandırma sisteminin sürekli çalıştırılması gerekmektedir. Bazı ısı pompaları hem dış ortam havasından hem de dışarı atılan eksoz havasından faydalanabilecek şekilde tasarlanmaktadır. Büyük binalarda kullanılan ısı pompaları, dışarı atılan eksoz havasından ısı geri kazanımı için hava-hava ısı pompaları ile birlikte sık kullanılmaktadır [65,81].

3.6.3. Su

Kuyulardan, göllerden, nehirlerden, şehir şebekesinden ve üretim işlerinden elde edilen su, ısı kaynağı olarak kullanılabilir. Kaynak olarak su kullanıldığı takdirde, kullanılan suyun kalitesi de önemlidir. Bilhassa jeotermal su kaynaklı ısı pompalarında su kalite testi, kesinlikle yapılmalı ve içerdiği mineraller korozyon probleminden ötürü önceden incelenmelidir [55,81].

3.6.3.1. Deniz Suyu

Deniz suyu, orta ve büyük ölçekli ısı pompası tesislerinde kullanım için mükemmel bir ısı kaynağıdır. Ancak bu işlem belli şartlar altında mümkün olabilmektedir. Deniz yüzeyinden 25–50 m derinlikte deniz suyu sıcaklığı yaklaşık 5–8 °C’ dir ve buz oluşumu genellikle problem yaratmaz. Hem direk genişlemeli hem de salamuralı (su + antifriz karışımı) sistemlerde kullanılabilir. Sistemde kullanılan pompa, ısı değiştirgeci ve deniz suyu borularında oluşan korozyon ve organik kirlenmeye karşı önlem alınması çok önemlidir [78,80].

3.6.3.2. Atık Su

Atık su, yıl boyunca devam eden sabit sıcaklığı ile karakterize edilir. Elektrik üretimi veya endüstriyel işlemler için arıtılmış ya da arıtılmamış soğutma suyu, soğutma tesislerinden

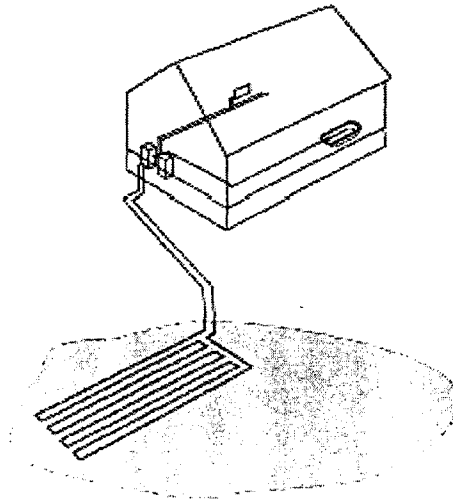
atılan yoğuşturucu suyu bu tür ısı kaynaklarına örnektir. Evsel ve işyerleri için kurulan tesislerde kullanımı için kullanıcıya uzak mesafede olması bu enerji kaynağının kullanımında çeşitli sıkıntılar doğurmaktadır. Ancak atık sular yine de enerji tasarrufu sağlamak amacıyla endüstriyel ısı pompalarında enerji kaynağı olarak kullanım için idealdir.

Atık suyu kaynak olarak kullanmanın başka bir yararı ise, ısı değiştiricilerinde ısı geçişinin daha yüksek olmasıdır. Ancak ısı değiştiricilerinin daha verimli ve az yer kaplayacak şekilde yapılmaları gerekmektedir [78,82].

3.6.3.3. Nehir ve Göl Suyu

Su kaynağı olarak göller, nehirler gibi yer üstü sularından yararlanıldığında ise, sıcaklık kuyu sularına göre daha fazla değişmekle beraber, hava kadar değişmemektedir [78,81]. Ülkemizde yer üstü sularının genellikle 0 °C 'nin altına düşmemesi de ayrıca bir avantajdır.

Nehir veya göl suyu, ya doğrudan pompa vasıtasıyla emilerek ısı değiştirgecinden geçirilmesi ya da su içerisine kapalı devre boru ısı değiştirgeci döşenerek ısı çekilmesi şeklinde uygulamada kullanılmaktadır. Prensipde çok iyi bir ısı kaynağıdır, ancak kışın su sıcaklığının 0 °C 'ye yaklaşması nedeniyle büyük bir dezavantajı vardır. Buharlaştırıcının donma tehlikesine karşı sistem tasarımında büyük önlemler almak gerekmektedir. Buharlaştırıcıda oluşan korozyon ve kirlenme ise diğer önemli dezavantajlarındandır [81]. Şekil 3.10' da genel olarak bir su kaynağından ısı çekme işlemi prensip şeması görülmektedir.

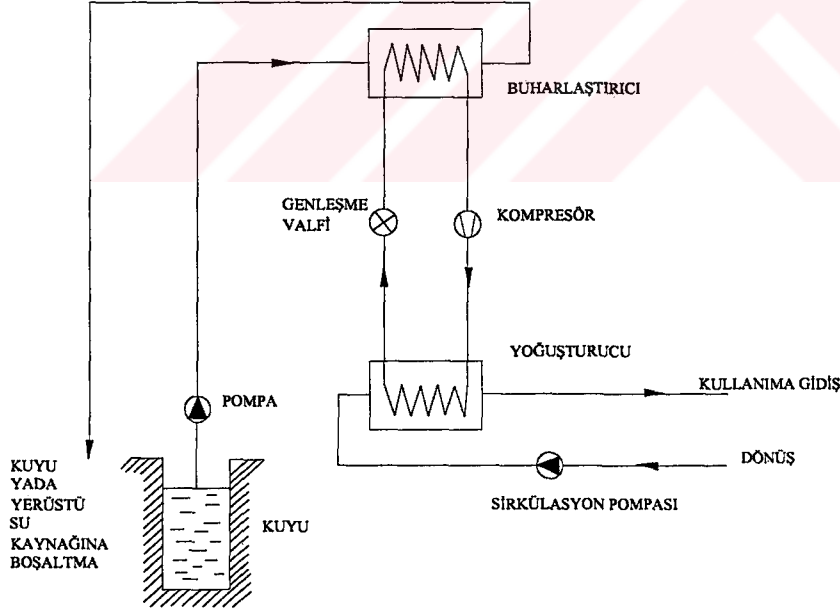


Şekil 3.10 Genel Olarak Bir Su Kaynağından Isı Çekme.

3.6.3.4. Yeraltı Suyu

10 m ve daha fazla derinliklerde yeraltı suyunun sıcaklığı yıl boyunca çok az değişir. Sıcaklığı ortalama olarak 10 °C' dir. Kuyuların yerleştirildiği sahaya ve suyun çıkarıldığı yeraltı suyu stok durumuna göre, yeraltı suyu sıcaklığı kış ortasında 8–12 °C ve yaz ortasında 10–14 °C arasında değişir.

Yaklaşık 4–10 °C 'lik kararlı sıcaklıklarda yeryüzünün çoğu bölgelerinde bulunmaktadır. Açık sistemlerde yeraltı suyu pompa vasıtasıyla emilerek ısı değiştirgecinden geçirildikten sonra başka bir yerüstü su kaynağına tekrar geri enjekte edilir. Ancak donma, korozyon ve kirlenme gibi nedenlerden dolayı bu sistemlerin tasarımının çok dikkatli yapılması gerekmektedir. Kapalı sistemler ya yeraltı ısı değiştirgeci borularında çalışma sıvısının doğrudan genişletilmesi ya da salamura kullanan devreler şeklindedir. Ekstra iç sıcaklık farklılıkları nedeniyle salamura kullanan kapalı devre sistemlerin performansı daha düşüktür. Fakat kurulması daha kolaydır. Yeraltı suyu kullanan ısı pompalarının bir büyük dezavantajı da ilk kurulum maliyetinin yüksekliğidir. Ayrıca bu tür sistemler kurulurken toprak ve su kirlenmesi gibi faktörler de göz önünde bulundurulmalıdır. Şekil 3.11' de kuyu suyundan ısı çeken bir ısı pompası şeması görülmektedir.



Şekil 3.11 Kuyu Suyundan Isı Çeken Bir Isı Pompası Şeması.

3.6.4. Güneş

Güneş yeryüzüne sürekli olarak bol miktarda enerji miktarları ıdır, öyle ki yazın ögle zamanı bu enerji miktarı 1353 W/m^2 , kışın yeryüzünde sadece $50\text{--}200 \text{ W/m}^2$ 'dir. Bu enerjiden alışılagelmiş güneş kolektörleri yardımı ile % 50 yararlanılabilir. Güneş enerjisinden tek başına veya diğer kaynaklarla birlikte yararlanılır. Dünya atmosferi dışındaki radyasyon değeri değişmez bir değ er olup yaklaşık 1353 W/m^2 dir. Bu değ er güneş sabiti olarak da bilinir. Gerçekte, atmosfer dışındaki radyasyon değ eri $\pm \% 3$ civarında değ işiklik gösterir. Güneşten gelen ışınlar, yer yüzeyinin yuvarlak olması, mevsimlerin oluşmasına neden olan dünya yörünge düzleminin güneş ekvator düzlemi ile $23^\circ 27'$ 'lık aç ı yapması, atmosfere giren ışınların atmosfer içindeki parçacıklar nedeniyle yansıtılması sonucu yer yüzeyindeki radyasyon değ eri ise hiçbir zaman 1353 W/m^2 olmaz [83].

Eğ ik yüzeylere gelen güneş radyasyonunun hesaplanabilmesi için aşağıdaki bazı değ erlerin bilinmesi gerekir;

- Bölgenin enlem derecesi,
- Kolektör eğ im aç ısı,
- Aylık atmosfer öncesi ortalama radyasyon değ eri,
- Aylık yeryüzü ortalama radyasyon değ erleri,
- Iş ık(direkt), yayılmış (difüz) ve yansıtılmış radyasyon aç ı faktörleri [30,83,84].

Kaynak olarak güneş enerjisinden yararlanıldığında iki sistem söz konusudur. Bunlar direkt ve endirekt sistemlerdir. Direkt sistemlerde buharlaştırıcılar, doğ rudan güneş kolektörlerine yerleştirilir. Endirekt sistemlerde ise kolektörlerden su veya su buharı geçirilerek kaynak olarak bunlardan yararlanılır. Ancak hava kaynağ ında olduğu gibi, ısı ihtiyacı bulunan günlerde güneş enerjisi de az olduğ undan; ek bir ısıtma tesisatına veya ısının depolanmasına ihtiyaç vardır ki bu da, zaten pahalı olan sistemin maliyetinin artmasına neden olur.

3.6.5. Kaya (Jeotermal Isı)

Yeraltı suyunun yeteri kadar bulunamadığı bölgelerde kullanılabilir. Yeraltına aç ılan sondaj deliklerinin tipik uzunluğu $100\text{--}200 \text{ m}$ 'dir. Daha büyük ısı l kapasite gerektiğinde daha büyük kaya hacmine ulaşmak için daha büyük delikler aç ılır. Isı pompasının bu tipinde daima salamuralı kapalı devre plastik boru sistemi kullanılır. Bazı ticari amaçlı kullanılan binalarda kaya bağlantılı sistemlerde kaya, soğ uk depolama amaçlı olarak kullanılmaktadır. Evsel kullanımlarda delik aç ma maliyetinin yüksek olması nedeniyle kayanın ısı kaynağı olarak kullanımına pek rastlanmamaktadır [78].

3.6.6. Toprak

Konut ve ticari amaçlı kullanılan binaların ısıtılması ve/veya soğutulması uygulamalarında kullanılmaktadır. Toprağın bir yıl boyunca az değişen (1–2 m derinlikte) bir sıcaklığı vardır. Isı bir yıl boyunca güneşin yeryüzüne ısıdığı ve toprağın depoladığı güneş enerjisinden kaynaklanmaktadır. Güneş yazın öğle zamanlarında 1000 W/m^2 , kışın $50\text{--}200 \text{ W/m}^2$ ısıtım enerjisi yayar. Toprağın içinden yeryüzüne akan ısı akısı sadece $0,042\text{--}0,063 \text{ W/m}^2$ -toprak alanı tutmaktadır [85]. Bu nedenle pratikte ihmal edilebilir.

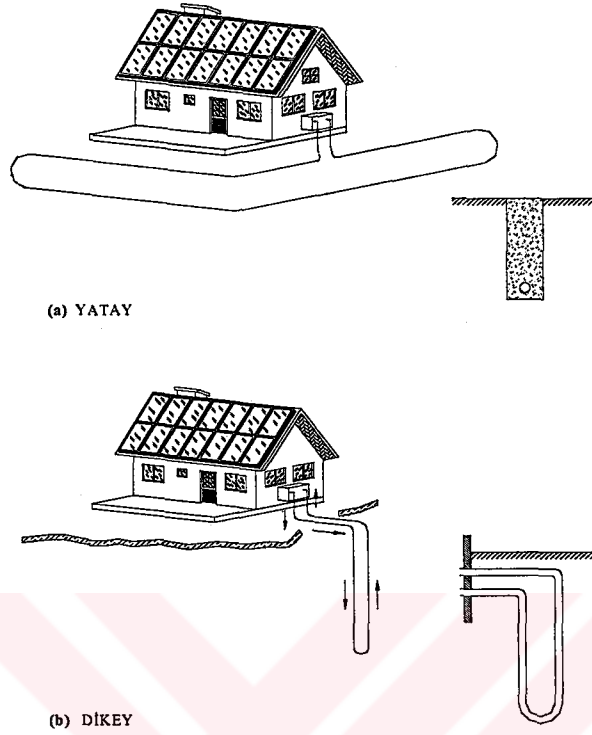
Toprak, sıcaklığının çok değişken olmaması, sıcaklık durumu, yerel ve zamansal varlığı ve de depolama imkânı açısından çok elverişli bir ısı kaynağıdır. Sakıncaları ise; ısı çeken elemanların yüksek masrafı, toprağın bünyesindeki yerel ve zamana bağlı değişimlerinden dolayı güvenilirliğinin düşük olması, boş toprak alanına olan ihtiyaç, toprak altına yerleştirilmesindeki güçlükler, tamir veya değişimleridir. Bu mahsurların yanında sistematik denenmesi ve mevcut pratik deneyimleri dikkate alarak kullanmak uygun olacaktır.

Toprak altına gömülen borulardan doğrudan soğutucu akışkan veya daha ucuz olması bakımından, genellikle, salamura geçirilir. Bu ısı geçişini sağlayan yüzeyler (toprak ısı değiştiricileri), yatay ve dikey olmak üzere iki şekilde yerleştirilir.

Toprağın bileşimi, yoğunluğu, içerdiği nem miktarı ve gömme derinliği, toprak ısı değiştirici seçimini ve boyutlandırılmasını etkiler. Toprak özelliklerinin zamana bağlı olarak değişmesi projelendirmede güçlük yaratan sebeplerden birisidir. Aynı şekilde ısı pompası çalıştırıldığı andan itibaren toprağın özelliklerini değiştirir. Örneğin; ısı pompası ile ısıtma yapıldığı takdirde, toprak ısı değiştiricisine yakın yerlerde toprak sıcaklığı düşer. Dolayısıyla bu bölgede nem miktarı ve toprak özellikleri değişir. Geri dönüş suyu sıcaklığı da aynı sebeple düşer ve bu da, ısı pompasının gerek kapasitesini gerekse ısıtma tesir katsayısını doğrudan etkiler. Soğuk yörelerde, ısıtma yapıldığı süre içinde toprağa yeteri kadar ısı girişi olmazsa; kış aylarında topraktan sürekli çekilen ısı nedeniyle, toprağın donması tehlikesi de mevcuttur [82].

Yeraltı su kaynaklı sistemler ile benzer avantajlara sahiptir. Göreceli olarak yüksek yıllık ortalama sıcaklıklara sahiptir. Isı, yeraltına yatay ya da dikey olarak döşenmiş borular vasıtasıyla çekilir. Bu sistemler hem direkt genişlemeli hem de salamuralı devreler şeklinde yapılabilmektedir. Bölgenin iklim şartları, toprağın nem içeriği ve çeşitliliği ısıtım kapasiteyi etkiler. Soğuk bölgelerde toprak donduğu zaman enerjinin çoğu gizli ısı şeklinde çekilir. Yaz mevsiminde güneş ısıtımını ile toprak sıcaklığı tekrar yükselerek kışın kaybedilen ısıyı yeniden

geri kazanımı mümkün olmaktadır. Şekil 3.12a ve b' de sırasıyla yatay ve dikey olarak boruların toprak altına yerleşimi gösterilmiştir.



Şekil 3.12 Yatay ve Dikey Olarak Boruların Toprak Altına Yerleşimi.

Toprak sıcaklığının havaya göre genellikle daha uygun sıcaklıklarda ve sıcaklık değişiminde bulunması, ayrıca salamura - soğutucu akışkan ısı değiştirgeçlerinin, hava - soğutucu akışkan ısı değiştirgeçlerine göre daha yüksek bir sıcaklık farkında çalışabilmeleri, toprak kaynaklı ısı pompalarının hava kaynaklı ısı pompalarına göre avantajları olmaktadır [82].

Toprak kaynaklı ısı pompaları, buharlaştırıcısında topraktan çekilen ısıyı kullanan ısı pompalarıdır. Toprakla olan ısı alış verişi toprağa yatay veya dikey olarak gömülmüş toprak ısı değiştiricileriyle gerçekleştirilir. Su veya salamura, toprak ısı değiştiricisini oluşturan borulardan geçirilerek elde edilen ısı enerjisi ısı pompasındaki buharlaştırıcı da soğutucu akışkana aktarılır. Toprak kaynaklı ısı pompalarında ısı, topraktan sıvı akışkan vasıtasıyla çekildiğinden kullanılan ısı pompaları su veya salamura-hava, su veya salamura-su ısı pompalarıdır. Toprak kaynaklı ısı pompası sistemlerinde toprak ısı değiştirgeci toprağa yatay ya da düşey olarak yerleştirilir. Genellikle tasarımcı aşağıdaki şartlardan bir veya birkaçını gerçekleştirmeye özen göstermelidir.

- Toprak ısı değiştirgeci maliyetini azaltmak,

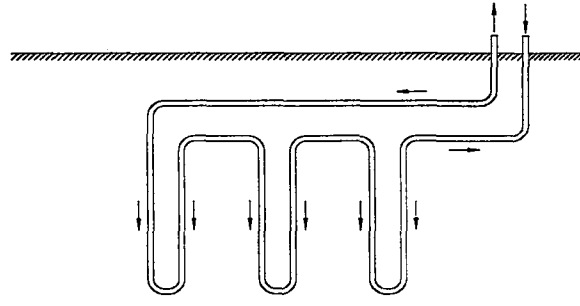
- Isı değiştiricilerinin dőřenmesi için gerekli alan ihtiyacını azaltmak,
- Yerleştirme ve bakımı basitleştirmek,
- Toprak altı ısı değiştirgecinin uzun vadeli güvenilirliğini sağlamak.

Topraktan ısı kaynağı olarak yararlanılmasına karar verilirken; yöresel, iklimsel ve ekonomik faktörler etkilidir. Toprak kaynaklı ısı pompasının kurulacağı yörede elektriğin güvenilir olması kesin bir gerekliliktir. Bunun yanında yine o yörede elektrik birim fiyatı diğer tüm alternatif yakıtlar ile karşılaştırıldığında ekonomik olmalıdır. Yörede uygun delme ve hafriyat makinelerinin bulunması da bir gerekliliktir. Toprak kaynaklı ısı pompalarında toprak ısı değiştirgecinin montaj şekli o yörenin toprak özelliklerine bağlıdır. Toprak altında sert kayaların bulunması, toprak ısı değiştirgecinin dikey dőřenmesinin zorlaştırır. Bu durumda yatay dőşeme uygun olacaktır. Eğer yatay boru dőřenmesini mümkün kılacak kadar yeterli yer mevcut değilse dikey boru dőřenmesi mecburi olacaktır [79].

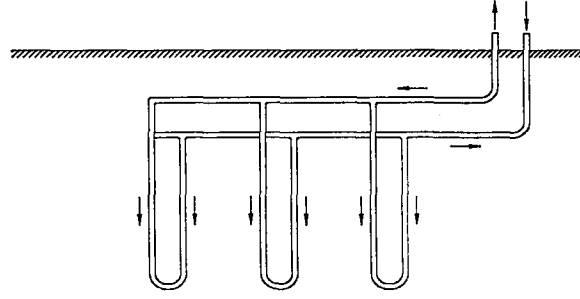
3.6.6.1. Dikey Tip Toprak Isı Değiştirgeçleri

Dikey tip toprak ısı değiştirgeçleri için sondajların planlanması ve ısı değiştirgeçlerinin yerleştirilmesi için; toprak özelliğinin, tabaka durumunun, toprak direncinin ve nem içeriğinin bilinmesi gerekmektedir. Bir test sondajı yapılarak ısı değiştirgeci yüzey alanı, gerekli sondaj sayıları ve toprağa açılan sondaj derinliği için ön bilgiler elde edilir. Toprağa açılacak sondaj delikleri mümkün olduğunca birbirinden uzak olmalıdır. İmalatçılar bu mesafeyi yaklaşık olarak 5 m olarak tavsiye etmektedirler. Dikey toprak ısı değiştirgeçlerinin daha yoğun yerleşme bölgelerinde kullanabilme şansları vardır. Killi ve kumlu topraklar uygun depolama ortamları olarak bilinirler. Dikey borulu sistemde, topraktaki suyun donması arzu edilmez, zira katmanlar arasında kaymalara ve zemin dengesizliklerine neden olabilirler. Genelde toprak sıcaklığı doğal toprak sıcaklığına yakın (0 – 15 °C) seğilir.

U-tipi boru çapları, 3/4" - 2 " arasındadır. Isı değiştirgeci derinliği, basınç düşümü ve ısı geçişi göz önünde bulundurularak boru çaplarına göre 15 – 185 m arasında değişir. şekil 3.13a ve b' de dikey U-tipi toprak ısı değiştirgeci için sırasıyla seri ve paralel yerleştirme örneği verilmiştir. [79].



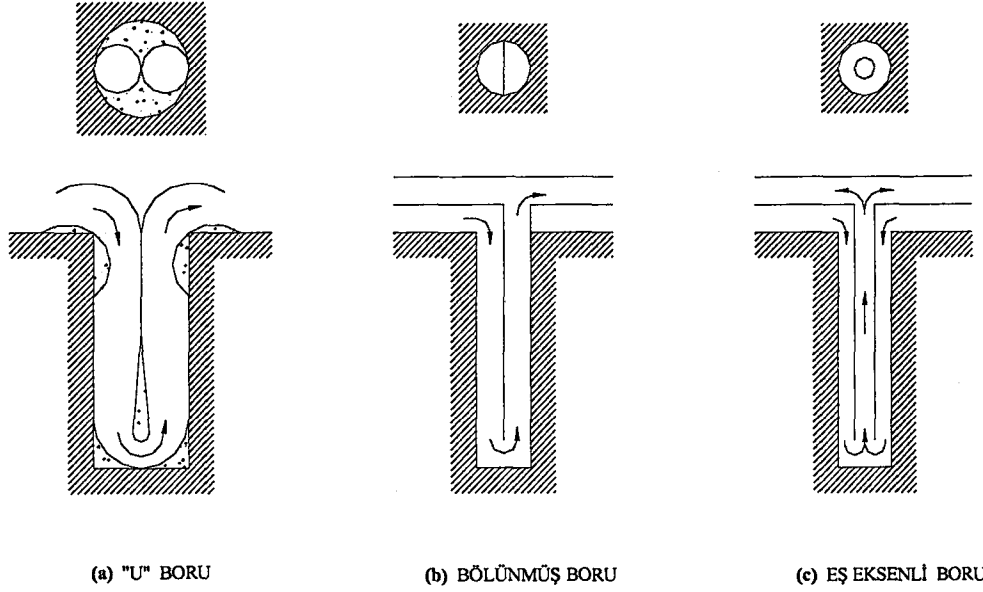
(a) SERİ BORU YERLEŞİMİ



(b) PARALEL BORU YERLEŞİMİ

Şekil 3.13 Dikey U-Tipi Toprak Isı Değiştirgeci İçin Seri Yerleştirme.

Dikey toprak ısı değiştirgeçlerinin yerleştirme şekilleri, kesit geometrilerine göre sınıflandırılabilir. Şekil 3.14’ da bunlar, U-boru bölünmüş boru ve eş eksenli boru olarak gösterilmiştir [79].



(a) "U" BORU

(b) BÖLÜNÜŞ BORU

(c) EŞ EKSENLİ BORU

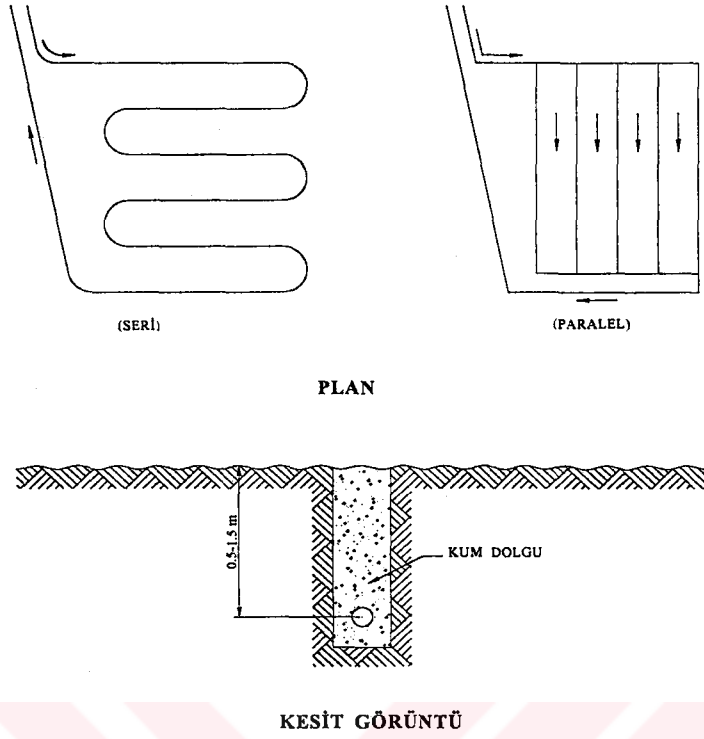
Şekil 3.14 Dikey Toprak Isı Değiştirgeci Tipleri.

3.6.6.2. Yatay Tip Isı Değiştirgeçleri

Yatay tip toprak ısı değiştirgeçleri tek bir hendek veya birbirine yakın hendekler içine, birden fazla borunun yerleştirilmesiyle oluşur. Isı değiştiricisinin etkinliği borular arasındaki mesafeye bağlıdır. Akış yönüne göre seri ya da paralel sistem olarak adlandırılabilir. Şekil 3.15’de yatay ısı değiştiricilerinin seri ve paralel akış durumları ve kesit görüntüsü verilmektedir.

Toprak ısı değiştirgecinin toprak altına yerleştirilmesi zor olduğundan hendek uzunluğunu kısaltmak amacıyla tek bir hendek içerisine birkaç boru yerleştirilebilir. Hendeklerin genişliği genel olarak 0,6 – 0,9 m aralığındadır. Ayrıca borular yüzey şartlarından en az etkilenmesi amacıyla genellikle 0,5 – 2,5 m derinlikte gömülürler. Tek bir hendek içerisine birden fazla boru döşenecek ise, borular arası kot farkı yaklaşık 0,3 – 0,5 m mertebesinde olmalıdır. Borular toprak altına döşendikten sonra, toprak ile boru arasındaki ısı geçişini iyileştirmek için hendeğin çıkarılan toprağın tekrar yerine yerleştirilirken yoğunluğunu artırmak amacı ile sıkıştırılması tavsiye edilir. En yaygın ısı değiştirgeci çapları; ¾”, 1”, 1½” ‘dir. Tek borulu, 0,5 – 2,5 m derinliğe ve birbirinden 0,6 – 2,5 m aralıklarla döşenmiş yatay ısı değiştirgeçleri genelde referans kabul edilerek, diğer ısı değiştirgeçlerinin iyilik dereceleri buna göre mukayese edilir [86].

Isı değiştiricisinin gömülme derinliği arttıkça, ısı değiştiricisinin iyilik derecesi artan sıcaklığa paralel olarak artar. Ancak buna karşın hafriyatın zorluğu ve artan maliyet nedeniyle gömme derinliğinin yapılacak ekonomik analiz ile belirlenerek ona göre karar verilmesi gerekmektedir. Tablo 3.3’de boru çaplarına göre olabilecek maksimum boru boyları verilmiştir.



Şekil 3.15 Yatay Tip Toprak Kaynaklı Isı Değiştiricilerinde Seri ve Paralel Boru Serme Tipleri.

Tablo 3.3 Boru Çaplarına Göre Boru Uzunlukları.

Boru çapı (inç)	Uzunluk (m)
¾"	150
1"	230
1 ¼"	900
1 ½"	1200
2"	2500

3.6.6.3. Toprak Isı Değiştirgeçlerinde Kullanılan Borular

Toprak ısı değiştirgeçlerinde kullanılacak, uygun bir borunun seçilmesi önemlidir. Bu seçim uygun çap ve et kalınlığının belirlenmesi ile birlikte, uygun bir malzeme seçimini de içerir. Çoğunlukla, polibütilen ve polietilen gibi plastik borular kullanılır [85]. Bu iki tip borulara ait özellikler Tablo 3.4' de verilmiştir.

Tablo 3.4 Polietilen ve Polibütilen Borulara Ait Özellikler [85].

BORU MALZEMESİ		Normal Çap (İnç)	Dış Çap (D _o) [İnç]	İç Çap (D _i) [İnç]	Boru Isı İlet. Kats. (k _b) (W/mK)	Boru Isıl Direnci (R _b) (K/W)
POLİETİLEN	SDR – 11	3/4	1.050	0.860	0.391	0.0810
	SDR – 11	1	1.315	1.077	0.391	0.0810
	SDR – 11	1 – 1/4	1.660	1.358	0.391	0.0810
	SDR – 11	1 – 1/2	1.900	1.554	0.391	0.0810
	SDR – 11	2	2.375	1.943	0.391	0.0810
	SCH – 40	3/4	1.050	0.824	0.391	0.0980
	SCH – 40	1	1.315	1.049	0.391	0.0919
	SCH – 40	1 – 1/4	1.660	1.380	0.391	0.0752
	SCH – 40	1 – 1/2	1.900	1.610	0.391	0.0670
	SCH – 40	2	2.375	2.067	0.391	0.0567
POLİBÜTİLEN	SDR – 17	1 – 1/2	1.900	1.676	0.216	0.0925
	SDR – 17	2	2.375	2.095	0.216	0.0925
	SDR – 13,5	1	1.125	0.957	0.216	0.1156
	SDR – 13,5	1 – 1/4	1.375	1.171	0.216	0.1156
	SDR – 13,5	1 – 1/2	1.625	1.385	0.216	0.1156
	SDR – 13,5	2	2.125	1.811	0.216	0.1156

4. DENEY DÜZENİĞİNİN TANITILMASI

4.1. Deney Seti

Deney seti esas olarak üç ayrı devrenin birleşiminden meydana gelmektedir. Bunlar ısı çekilen ortamlara göre; toprak ısı değiştirgeci devresi, hava kaynaklı buharlaştırıcı devresi ve güneş enerjisiyle hazırlanan sıcak suyu enerji kaynağı olarak kullanan devredir (Şekil 4.1).

Deney setini bina içi ve bina dışı üniteler olmak üzere iki kısma da ayırmak mümkündür.

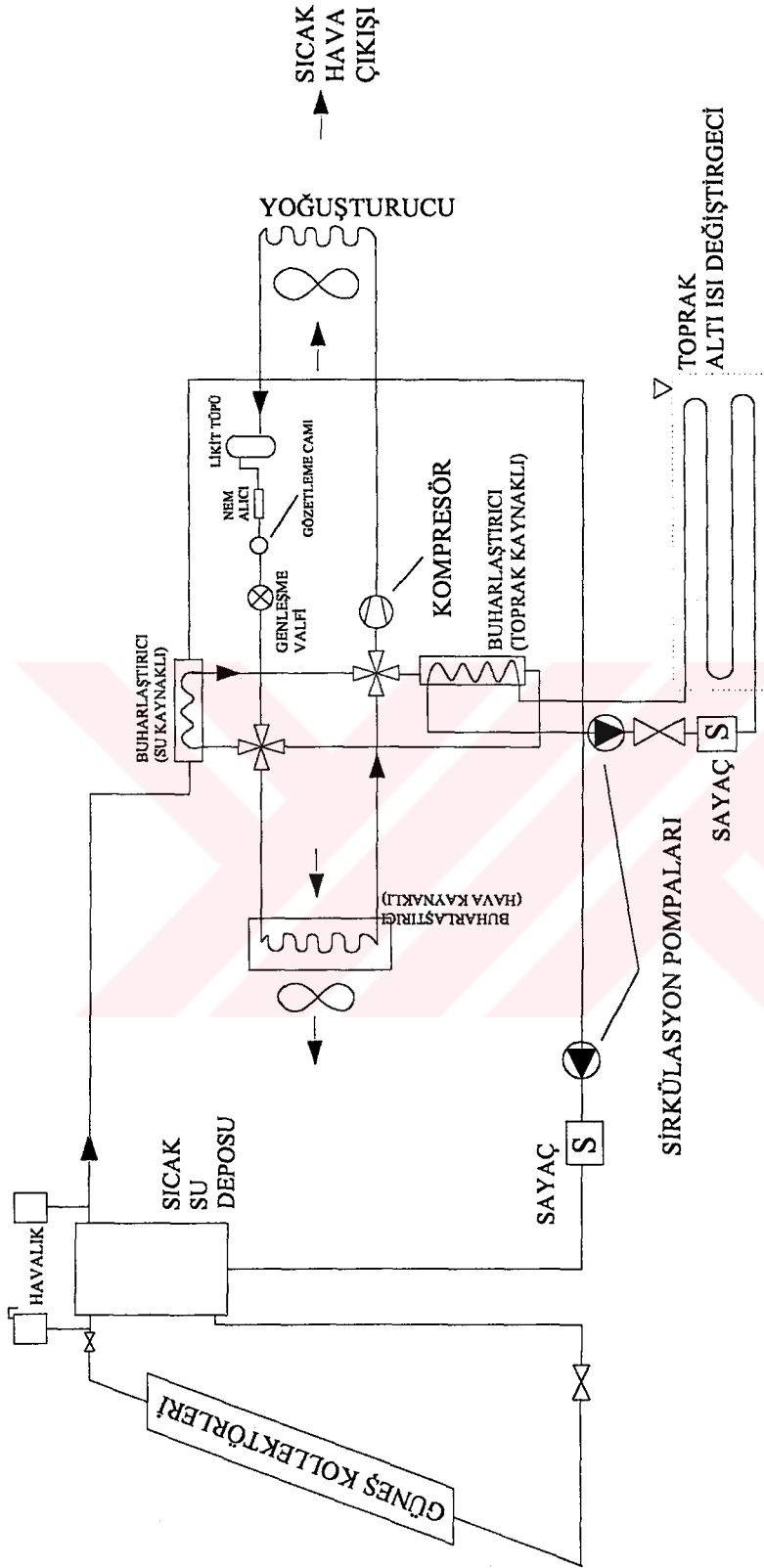
Bina dışı üniteler;

- Toprak ısı değiştirgeci,
- Güneş enerjili sıcak su hazırlama sistemi,
- Hava kaynaklı buharlaştırıcı,

Bina içi üniteler;

- Toprak hattı buharlaştırıcı-ısı değiştirgeci devresi,
- Sıcak su hattı buharlaştırıcı-ısı değiştirgeci devresi,
- Hava kaynaklı buharlaştırıcı devresi

Bina içi üniteler, kontrol ve ölçme kolaylığı sağlaması maksadıyla bir kasa içerisinde toplanmıştır. Kasa içerisinde; 1,5 HP gücünde bir kompresör, biri toprak ısı değiştirgeci salamura devresi üzerinde diğeri ise güneş enerjili sıcak su hazırlama devresi üzerinde olmak üzere iki adet plakalı ısı değiştirgeci, plakalı ısı değiştirgecinden sirküle eden su debilerini ölçmek için iki adet su sayacı, kompresör Freon-22 çıkış hattı üzerinde sıvı tüpü, gaz devresindeki nemi almak için kurutucu, kasanın üst ön kapağı arkasında yoğunlaştırıcı ve vantilatör bulunmaktadır. Kasanın yan tarafında bulunan cep içerisinde Freon-22 devresinin çeşitli noktalarındaki basınçları ölçmek için manometreler, vantilatörün devrini ayarlayabilmek için Dimmer (voltaj ayarlayıcı) bulunmaktadır. Ayrıca deney setinin çeşitli sıcaklık ölçüm noktalarından gelen ısı çiftlerinin toplandığı terminal bulunmaktadır. Sistemin harcadığı güçü ölçebilmek için Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Laboratuvarından temin edilen bir adet Wattmetre kasa üzerine yerleştirilmiştir.



Şekil 4.1 Komple Deney Seti Şeması.

4.1.1. Kompresör

Deney setinde kullanılan kompresörün teknik özellikleri aşağıda verilmektedir.

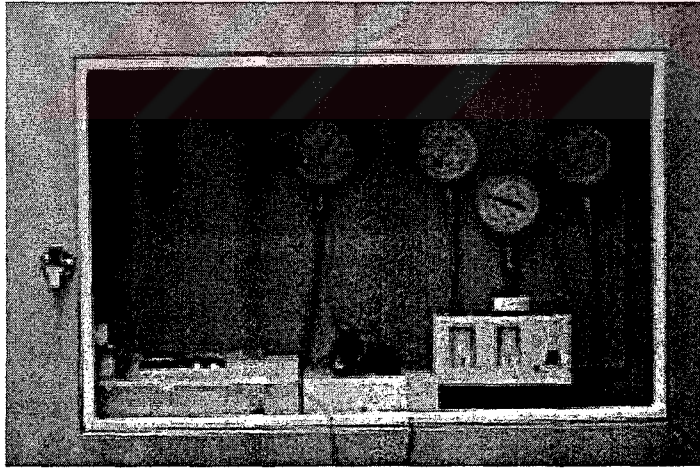
- Tecumseh CAJ4519T Hermetik tip
- 1,5HP, R22, monofaze, 2900 d/dak
- Soğutucu akışkan giriş borusu çapı 5/8", çıkış borusu çapı 3/8"

Kapasitesi (buharlaşma sıcaklığına göre);

- -15 °C'de 1780 watt
- -10 °C'de 2304 watt
- -5 °C'de 2911 watt
- 0 °C'de 3601 watt
- 7,2 °C'de 4738 watt
- 15 °C'de 6162 watt

4.1.2. Alçak ve Yüksek Basınç Presostatı (Kombine Otomatik)

Kompresörün giriş ve çıkış hattındaki basınçlara göre kompresörü devreye alıp devreden çıkaran elemandır. Kompresörün maksimum çıkış basıncı emniyet açısından 2000 kPa' a ve minimum emme basıncı ise 50 kPa olacak şekilde ayarlanmıştır. Şekil 4.2' de kombine otomatik ve manometreler görülmektedir.

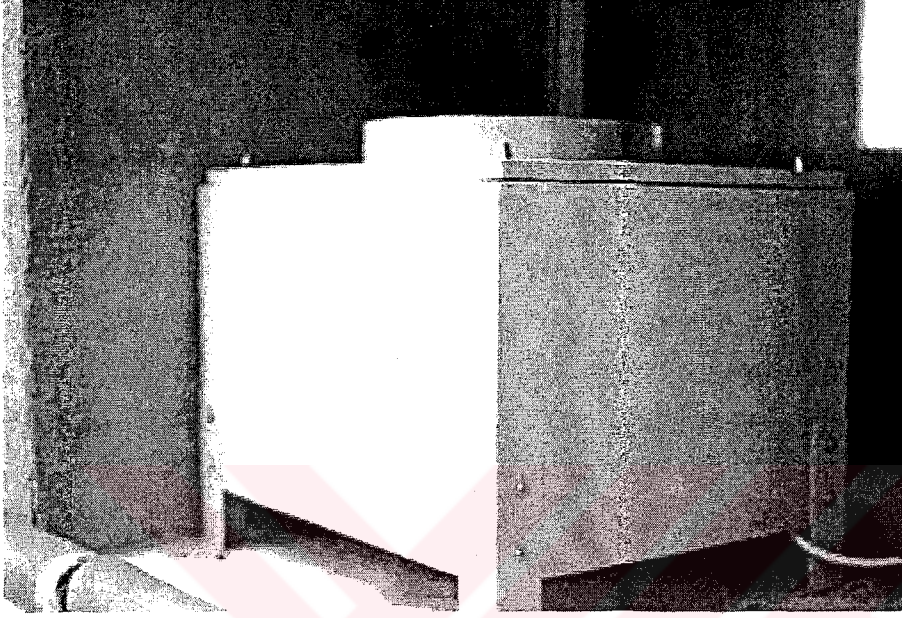


Şekil 4.2 Kombine Otomatik ve Manometreler.

4.1.3. Hava Kaynaklı Buharlaştırıcı

Hava kaynaklı buharlaştırıcı, dış ortam havasından ısı çekmek amacıyla ayrı bir koruyucu kasa içerisinde laboratuvar penceresinin dış tarafında denizliğin üzerinde ayakları üzerine yerleştirilmiştir. Buharlaştırıcının içinde bulunduğu kasa, zemine, duvara veya tavana monte edilebilecek şekilde yapılmıştır. Kasanın üzerinde bulunan kapak açılıp kapanabilmekte

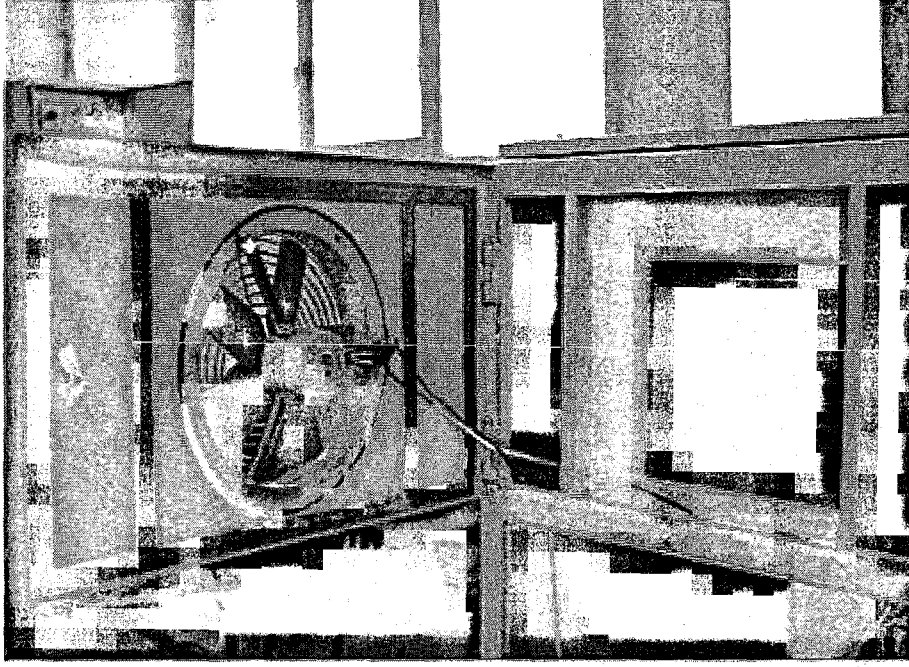
ve 50 W, 1400 d/dak ve 1000 m³/h kapasiteli bir vantilatörü üzerinde taşımaktadır. Piyasada standart olarak bulunabilen buharlaştırıcı, 0,12 mm kalınlığında alüminyum kanatlı ve 3/8" çapındaki dikişsiz bakır borudan imal edilmiş 5,5 m² ısı transfer yüzey alanına sahiptir. Şekil 4.3' de hava kaynaklı buharlaştırıcı görülmektedir.



Şekil 4.3 Hava Kaynaklı Buharlaştırıcı.

4.1.4. Yoğuşturucu

İç ortamda bulunan kasa içerisinde kendisine ayrılan yerinde bulunmaktadır. Yoğuşturucunun ön kapağı üzerinde 1000 m³/h kapasiteli 50 W gücünde bir fan bulunmakta ve yoğuşturucu üzerinden iç ortam havasını emerek ısıtıp yine iç ortama göndermektedir. Bu fanın devir sayısı bir dimmer (voltaj ayarlayıcı) vasıtasıyla ayarlanabilmektedir. Voltaj ayarlayıcı yardımıyla fanın devir sayısı değiştirilerek iç ortama gönderilen havanın debisi ve sıcaklığı değiştirilebilmektedir. Yoğuşturucu da yine hava kaynaklı buharlaştırıcı ile aynı ölçülerdedir. Şekil 4.4' de yoğuşturucu ve fanı görülmektedir.



Şekil 4.4 Yoğuşturucu ve Fan.

4.1.5. Plakalı Isı Değiştirgeçleri

Bir güneş enerjisi devresinden gelen sıcak su hattı üzerinde, diğeri de toprak altı ısı değiştirgeci devresinden gelen salamura hattı üzerinde olmak üzere iki adet plakalı ısı değiştirgeci kullanılmıştır. Isı değiştirgeçlerinin karakteristik özellikleri aşağıdaki gibidir.

- Minimum çalışma sıcaklığı - 160 °C
- Maksimum çalışma sıcaklığı +225 °C
- Maksimum çalışma basıncı 3000 kPa
- Test basıncı 4500 kPa
- Maksimum debi 3,6 m³/h
- Boyutlar (mm) 208 * 78 * 41
- Bağlantı çapları ¾" – ½"
- Plaka sayısı 14

CB 14/14 modeli Alfa Laval ürünü olan bu ısı değiştirgeçlerinin her ikisinin de özellikleri aynıdır.

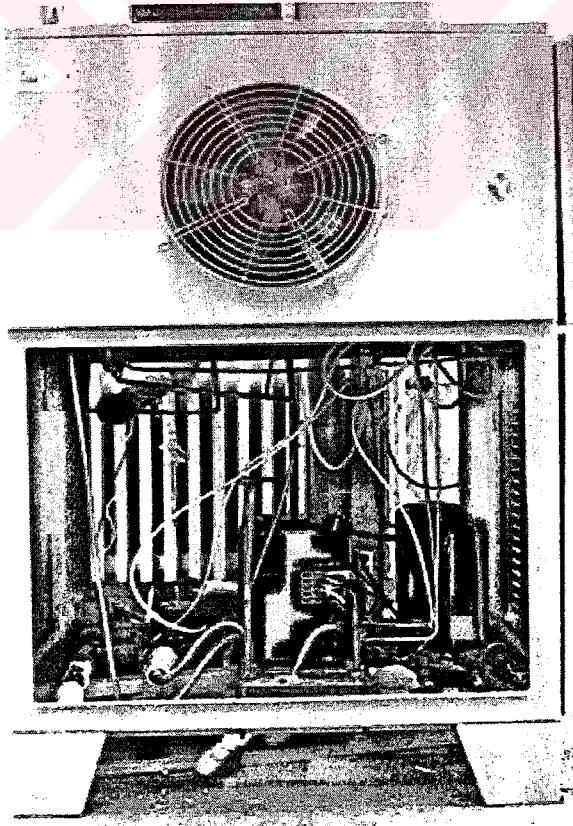
4.1.6. Kasa

Kasa, kompresörü, plakalı ısı değiştirgeci, iki adet devir daim pompasını, yoğuşturucu fanını, iki adet su sayacını, sıvı tüpünü, nem alıcı, gözetleme camını, manometreleri ve plakalı ısı değiştirgeçlerini içerisine alacak şekilde sanayide imal edildi. Kasa, içerisinde ısı pompası

elemanlarının rahatlıkla sökölüp takılabılması için yeteri kadar büyüktür. Şekil 4.5a ve b' de kasa önden ve yandan görölmemektedir.



a) Yandan görölmeş

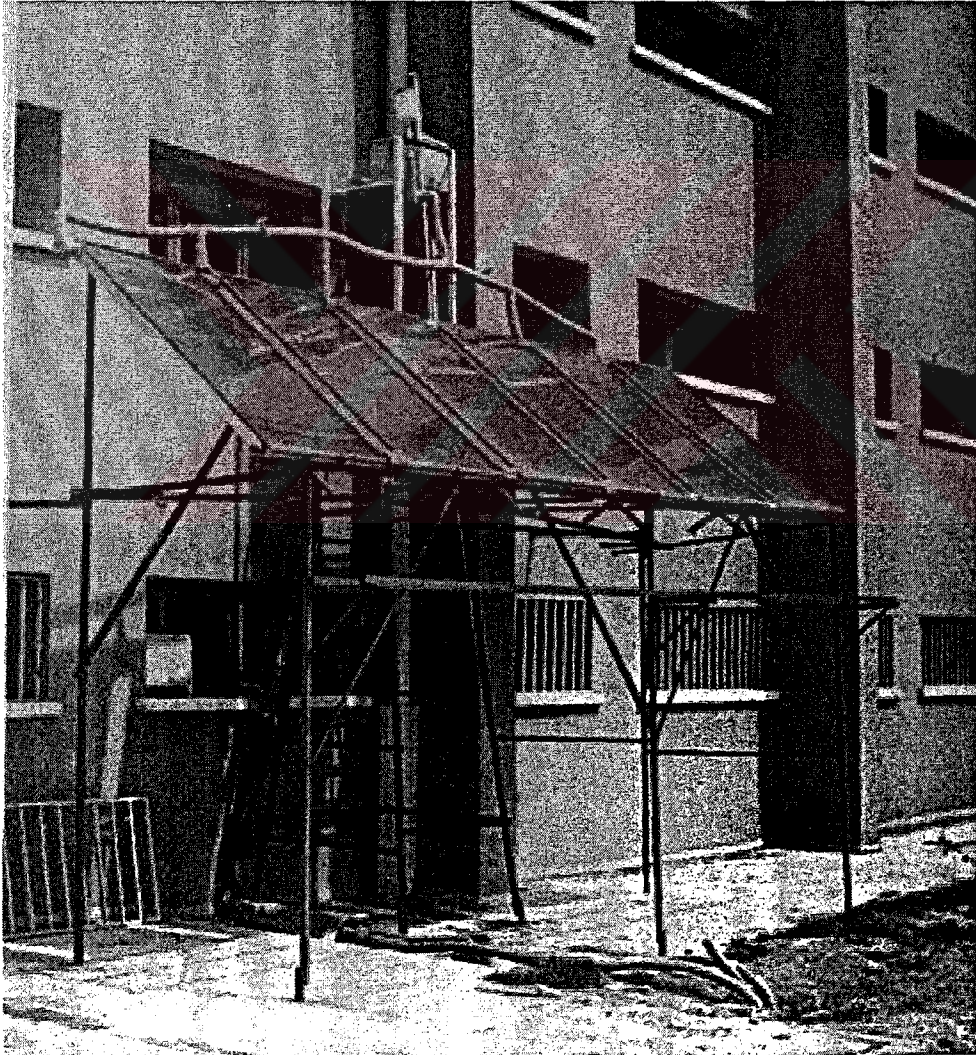


b) Önden görölmeş

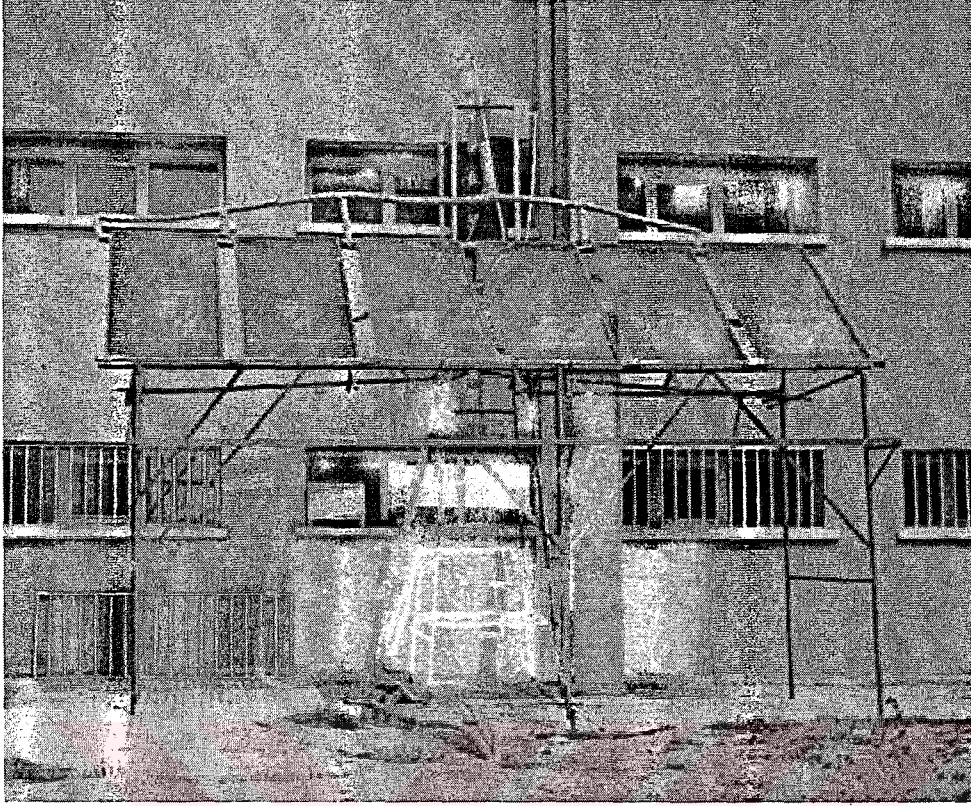
Şekil 4.5a-b Kasanın Yandan ve Önden Görölmeşü.

4.1.7. Güneş Kollektörleri

Piyasada standart olarak bulunabilen düzlem güneş kolektörlerinin yüzey alanı 90x190 cm ölçülerinde olup 12 boru geçişli ve alüminyum plakalıdır. Sistemde altı adet kolektör kullanılmıştır. Kapalı devre kolektörlerden ısınarak çıkan ve hacimsel olarak % 50 antifrizli sıcak su 180 litre hacminde ve içerisinde 13,5 m, 3/4" çapında bakır borudan yapılmış bakır ısı değiştirgecinden geçerek ısısını depodaki suya bırakmaktadır. Depoda ısınan su, kapalı bir devrede plakalı bir ısı değiştirgeci üzerinden geçirilerek ısısını ısı pompasının buharlaştırıcısındaki Freon-22'ye bırakmaktadır. Kapalı devre içerisinde dolaşan suyun debisi su sayacı ile ölçülüp devre üzerindeki vanalar yardımıyla değiştirilebilmektedir. Şekil 4.6a ve b' de güneş kolektörlerinin farklı yönlerden görünüşleri görülmektedir.



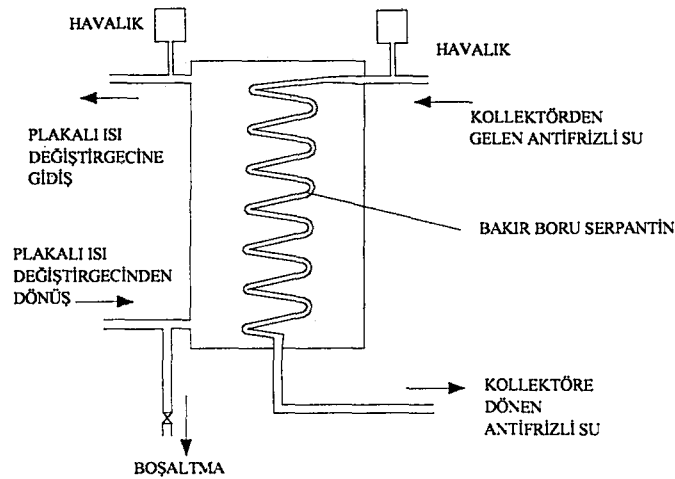
Şekil 4.6 a) Güneş Kollektörlerinin Yandan Görünüşü.



Şekil 4.6 b) Güneş Kollektörlerinin Karşıdan Görünüşü.

4.1.8. Sıcak Su Deposu

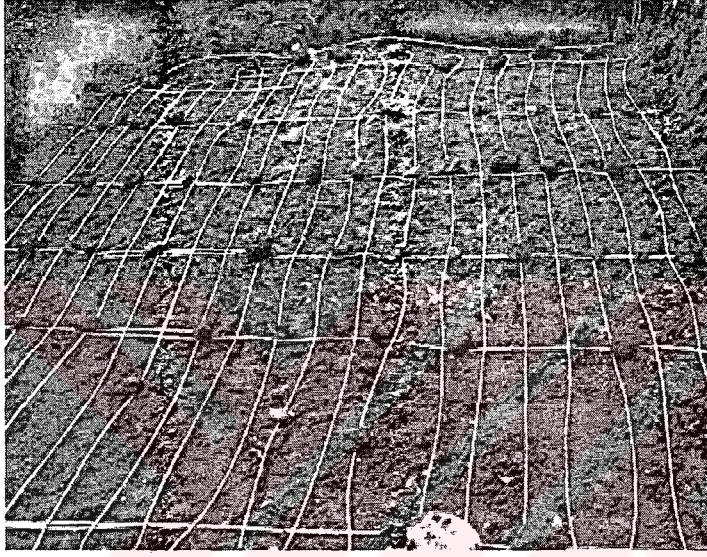
Bakır borudan yapılmış bir serpantini içinde bulunduran sıcak su deposu 180 litre hacminde olup 5 cm kalınlığında cam yünüyle izole edilmiştir. Bakır boru $\frac{3}{4}$ " çapında 13,5 m uzunluğunda sarmal boru (serpantin) şeklinde depo içerisine yerleştirilmiştir. Şekil 4.7' de sıcak su deposunun şematik resmi görülmektedir.



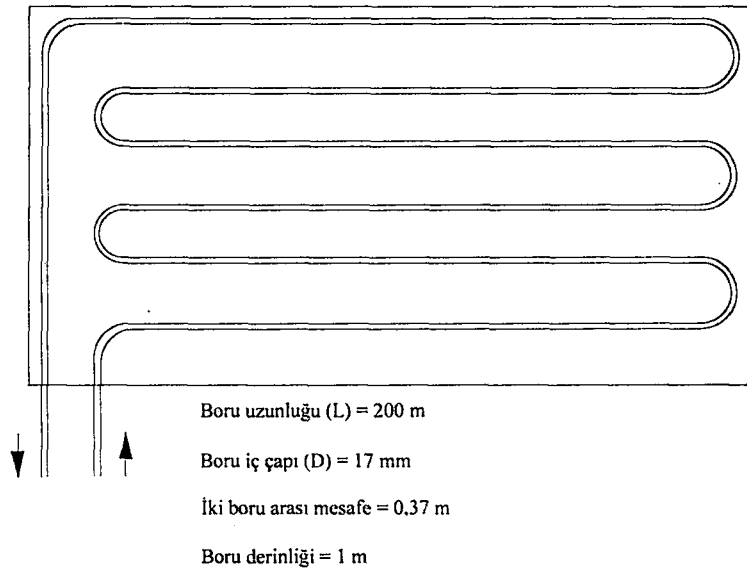
Şekil 4.7 Sıcak Su Deposu Bakır Boru Serpantin.

4.1.9. Toprak Altı Yatay Isı Değiştirgeci Devresi

Teknik Eğitim Fakóltesi zemin katında bulunan laboratuvar odasının hemen dış tarafında bulunan açık alan toprak altı ısı değiştirgeci yerleşimi için uygun görölmüştür. Toprak altı ısı değiştirgeci, yer yüzeyinden 1 m derinlikte, toplam boru uzunluğu 200 m olacak şekilde tek devre olarak döşenmiştir. İki boru arası mesafe 37 cm olup, kullanılan boru yüksek ısı iletim katsayısına sahip ısıtma tesisatlarında kullanılan yer kaloriferi borusudur. şekil 4.8’de açılan çukur içerisindeki toprak altı ısı değiştirgecinin resmi, şekil 4.9’da ise boru serilme yöntemi görölmektedir.



şekil 4.8 Toprak Altı Isı Değiştirgeci.



şekil 4.9 Boruların Toprağa Serilme Yöntemi.

5. DENEYLER ESNASINDA YAPILAN ÖLÇÜMLER

Deneysel veriler 30'ar dakikalık aralıklarla alınmıştır. Deneylerde aşağıdaki ölçümler yapılmıştır.

- Güneş ışınlamalarının ölçümü
- Sıcaklık ölçümü
- Debi ölçümü
- Basınç ölçümü
- Güç ölçümü

5.1. Güneş Işınlamalarının Ölçümü

2002–2003 ısıtma sezonu boyunca yatayla 38° açı yapacak şekilde yerleştirilen Kipp-Zonen Solarimetresi ile günlük güneş ışınlamaları ölçülmüştür.

5.2. Sıcaklık Ölçümü

Deney setinin çeşitli noktalarına yerleştirilen T tipi (Cu-Co) ısıl çiftler yardımıyla her 30'ar dakikalık zaman aralıklarıyla sıcaklıklar ölçülmüştür. Sistemde dolaşan soğutucu akışkan, salamura ve sıcak su sıcaklıkları ile birlikte dış ortam ve iç ortam sıcaklıkları da ölçülmüştür. Isıl çiftler, korozyon nedeniyle hatalı ölçüm yapma ihtimaline karşı vernik ile izole edilmiştir.

5.2.1. Dış Ortam Hava Sıcaklığının Ölçümü

Dış ortam hava sıcaklığını ölçmek amacıyla bir ısıl çift, laboratuvar binasının dış duvarından 1,5 m uzaklıkta güneş ışınlamalarını direkt görmeyecek şekilde yerleştirilmiş ve dış ortam hava sıcaklığındaki değişimler yarımşar saatlik aralıklarla ölçülmüştür.

5.2.2. İç Ortam Hava Sıcaklığının Ölçümü

Laboratuvar binasının iç ortam sıcaklıkları, dış pencereden 1,5 m içeride ve yoğunlaştırucudan çıkan ısıtılmış hava akımının direk temas etmediği bir noktaya yerleştirilmiş olan ısıl çift yardımıyla ölçülmüştür.

5.2.3. Yoğuşturucu Çıkış Havası Sıcaklığının Ölçümü

Kasanın ön kısmında bulunan yoğunlaştırucu fanından çıkan havanın direkt temas ettiği bir noktaya yerleştirilen ısıl çift yardımıyla sıcaklıklar ölçülmüştür.

5.2.4. Soğutucu Akışkanın Sıcaklık Ölçümleri

Kompresörün çıkış ve emme borusuna, toprak hattı devresinin bağlandığı plakalı ısı değiştirgeci Freon-22 giriş borusuna, güneş enerjisi sisteminden gelen hattın bağlandığı plakalı ısı değiştirgeci Freon-22 giriş ve çıkış borusu üzerine, hava kaynaklı buharlaştırıcının Freon-22 giriş ve çıkış borusu üzerine yerleştirilen ısı çiftler yardımıyla sıcaklıklar ölçülerek kaydedilmiştir.

5.2.5. Sistemde Dolaşan Su ve Salamuranın Sıcaklık Ölçümleri

Güneş ve toprak hattından gelen sıcak su ve salamuranın plakalı ısı değiştirgeçlerine giriş ve çıkış sıcaklıkları, kolektörlerin giriş ve çıkış su sıcaklıkları yerleştirilen ısı çiftler yardımıyla ölçülmüştür.

5.3. Sistemdeki Debi Ölçümleri

5.3.1. Sistemde Dolaşan Su ve salamuranın Debi ölçümleri

Bir adet toprak altı ısı değiştirgeci devresinin bağlandığı plakalı ısı değiştirgecinin hemen yanına su geliş hattı üzerine, bir adet de güneş kolektörlerinin bağlandığı sıcak su deposundan gelen sıcak su hattının bağlandığı plakalı ısı değiştirgecinin hemen yanına sıcak suyun geliş hattı üzerinde olmak üzere iki adet su sayacı yerleştirilmiştir. Sayaçların giriş ve çıkışlarına birer adet vana takılarak kronometre yardımıyla debi ayarlamaları yapılmıştır.

5.3.2. Yoğuşturucudan Geçen Hava Debisinin Ölçümü

Yoğuşturucu üst kapağı üzerinde bulunan 1000 m³/h kapasiteli bir fan, yoğuşturucu üzerinden iç ortam havasını geçirerek tekrar iç ortama göndermekte ve hava debisi dimmer (voltaj ayarlayıcı) yardımıyla istenilen debi değerine ayarlanmaktadır. Yoğuşturucu üzerinden geçen havanın hacimsel debisi rüzgârgülü vasıtasıyla ölçülmüştür ve daha sonra o sıcaklıktaki havanın yoğunluğu ile çarpılarak havanın kütleli debisi bulunmuştur.

5.3.3. Hava Kaynaklı Buharlaştırıcıdan Geçen Hava Debisinin Ölçümü

Hava kaynaklı buharlaştırıcının içine yerleştirildiği kasanın üst kapağı üzerine yerleştirilen fanın maksimum kapasitesi esas alınarak (1000 m³/h) ayrı bir ölçüm yapılmamıştır.

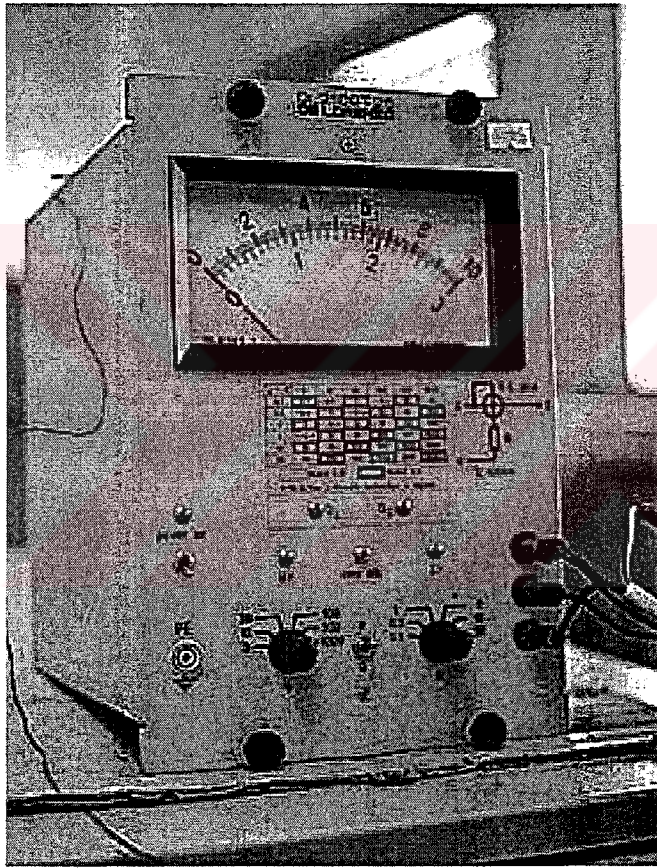
5.4. Sistemdeki Basınç Ölçümü

Bir adet kompresörün çıkış borusu üzerinde, bir adet kompresörün giriş borusu üzerinde ve birer adet de plakalı ısı değiştirgeçlerinin Freon-22 giriş ve çıkış borusu üzerinde olmak üzere sistemde altı ayrı noktada basınç ölçümleri yapılmıştır. Plakalı tip ısı değiştirgeci

kullanılması ve kompresörün doğrudan plakalı ısı değıştirgeçlerinin Freon-22 çıkışına bağı olması nedeniyle kompresörün Freon-22 giriş borusu basıncı ile plakalı ısı değıştirgeçlerinin Freon giriş basınçları arasında yaklaşık 100 kPa'lık basınç farkının olduğı görülmüştür.

5.5. Sistemde Harcanan Gücün Ölçümü

Sistemde harcanan toplam elektrik enerjisini ölçmek için enerji besleme hattı üzerine bir adet Wattmetre konulmuş ve her yarım saatte bir diğere deney sonuçları ile birlikte Watt cinsinden harcanan elektrik enerjisi kaydedilmiştir. Şekil 5.1' de Wattmetre'nin resmi görülmektedir.



Şekil 5.1 Wattmetre.

5.6. Deneysel Çalışmalarda Oluşabilecek Hatalar

Deneysel çalışmada cihazlarda ve kişisel hatalardan dolayı sıcaklık, debi, güç, fiziksel boyut ve kalibrasyonlarda birtakım yanlış ölçümler ve hesaplamalar yapılabilmektedir. Cihazların hassasiyetinde bazen bu hataları tahmin etmek mümkün olmaktadır. Burada tahmini

bir hata miktarı hesaplanmıştır. Ölçüm cihazlarındaki hatalar bu cihazların kataloglarından alınmıştır.

➤ Dijital ısı çift termometresi hassasiyeti	$\pm 0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$
➤ Isıl çift hassasiyeti	$\pm 0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$
➤ Bağlantı hataları	$\pm 0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$
➤ Rüzgârgülü hassasiyeti	$\pm \% 0,1$

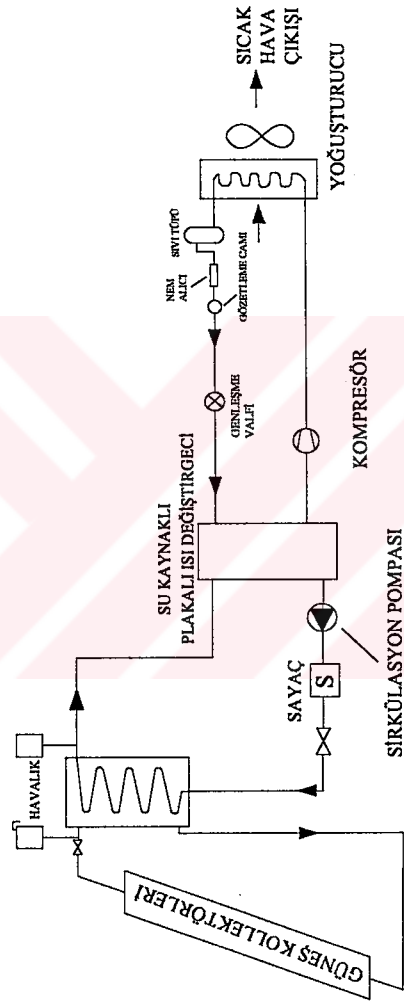
Sıcaklık okumada tahmini hata $\pm 0,5$ seviyesindedir. Debi ölçüm hataları, rüzgârgülü hassasiyeti ve kişisel hatalar eklenirse $\pm \% 0,2$ seviyesinde olur.



6. İNCELENEN SİSTEMLER ve DENEYLERİN YAPILMASI

6.1. Güneş Kaynaklı Isı Pompası Sistemi

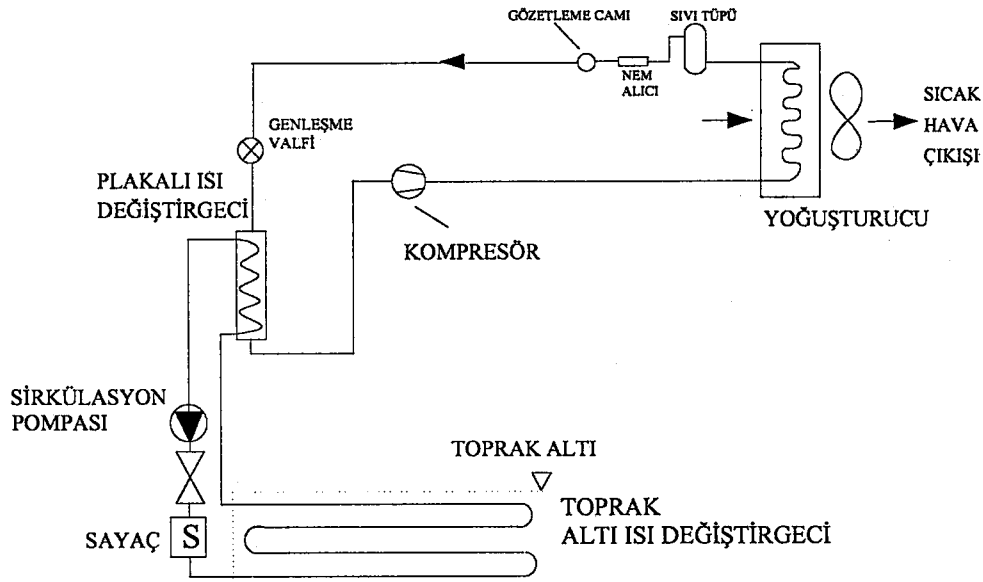
Bu sistemle yapılan deneyler, sabah saat 9.00' da başlayıp güneş batıncaya kadar devam etmiştir. Bazen güneş battıktan sonra deneylere 1 – 2 saat daha devam edilmiştir. Güneş kolektörleriyle elde edilen sıcak su sadece ısı pompası için ısı kaynağı olarak kullanılmış ve herhangi bir radyatör vb. ısıtıcıda kullanılmamıştır. Şekil 6.1'de güneş kaynaklı ısı pompası şeması görülmektedir.



Şekil 6.1 Güneş Kaynaklı Isı Pompası.

6.2. Toprak Kaynaklı Isı Pompası Sistemi

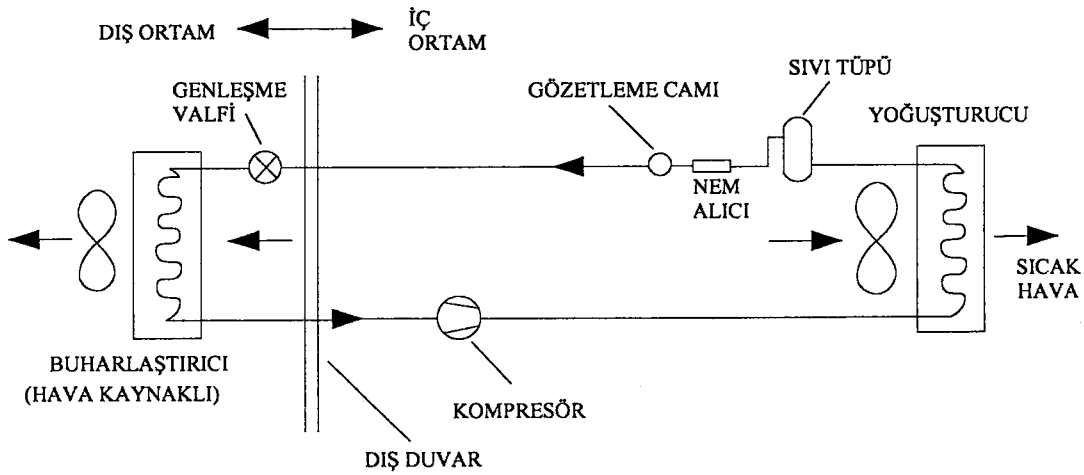
Toprak kaynaklı ısı pompası sisteminde deneyler mümkün olduğunca gün boyu sürecek şekilde yapılmıştır. Bazen duruma göre öğle saatlerinde deneylere başlanmış bazen de akşamüzeri saatlerde deneylere başlanmıştır. Şekil 6.2' de toprak kaynaklı ısı pompası sistemi şeması görülmektedir.



Şekil 6.2 Toprak Kaynaklı Isı Pompası Sistemi.

6.3. Hava Kaynaklı Isı Pompası Sistemi

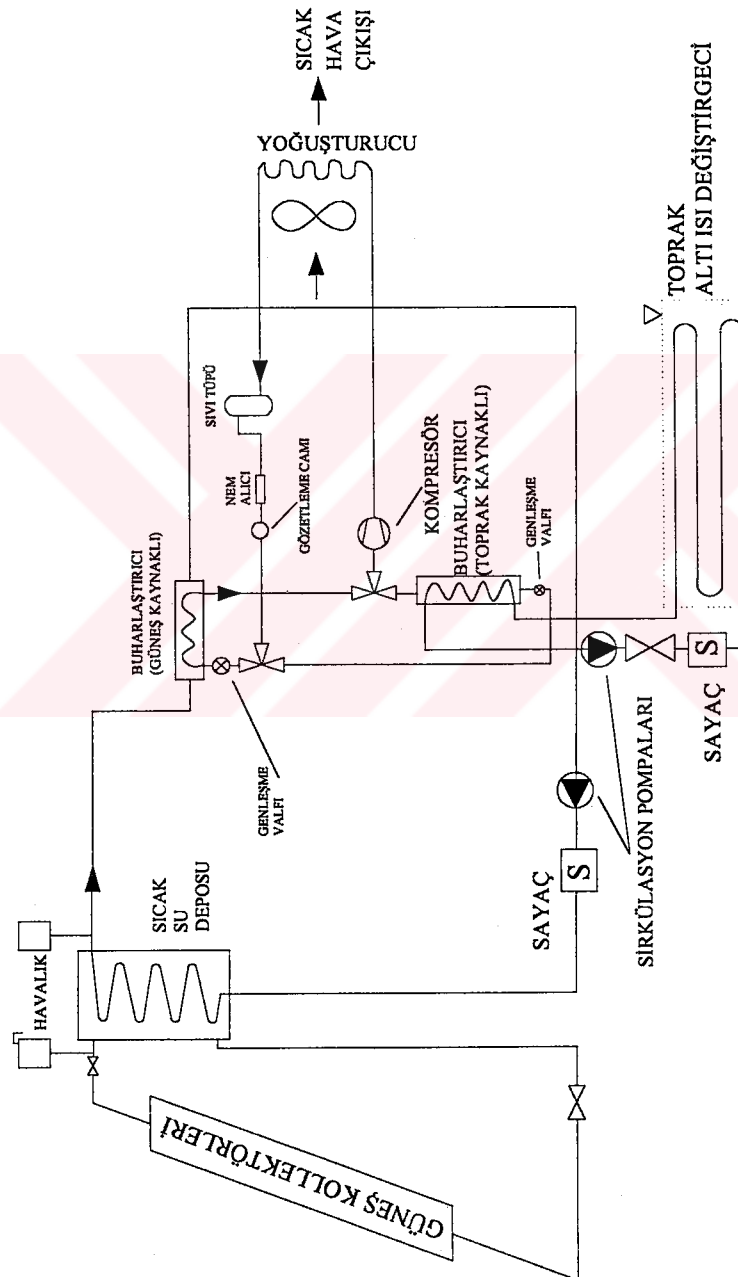
Dış ortam havasından ısının çekildiği bu sistemde deneyler esnasında buharlaştırıcı fanı sürekli olarak çalıştırılmış ve mümkün olduğunca buharlaştırıcı yüzeylerinin karlanması önlenmeye çalışılmıştır. Her gün sadece bir deneyin yapılmasına ve deneylere sabah saatlerinde başlanmasına özen gösterilmiş ancak öğlen ve akşam saatlerinde de deneylere başlandığı olmuştur. Şekil 6.3' de hava kaynaklı ısı pompası sistemi görülmektedir.



Şekil 6.3 Hava Kaynaklı Isı Pompası Sistemi.

6.4. Güneş + Toprak Kaynaklı Isı Pompası Sistemi

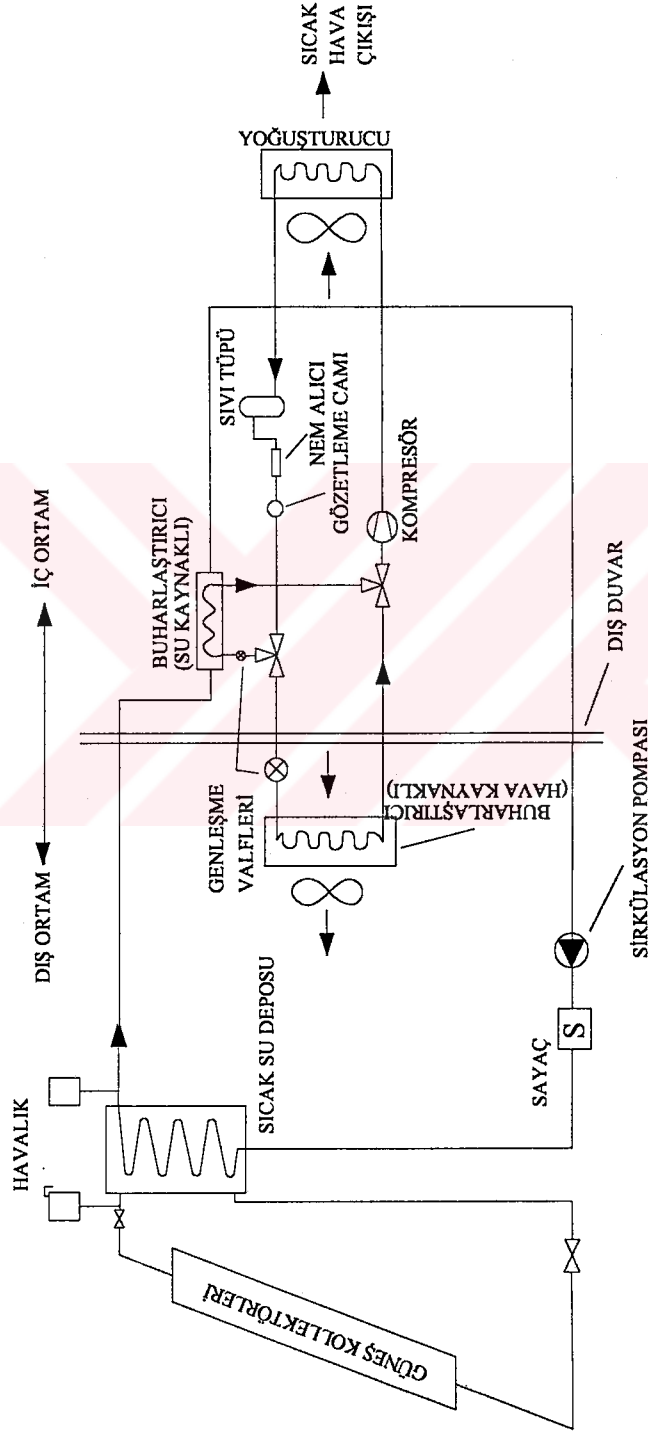
Güneş ve toprak enerjisinin birleşik kullanıldığı bu sistemde birden çok ısı kaynağı kullanımının performansı ele alınmıştır. Deneylere sabah 8–8.30 saatlerinde başlanarak akşam saatlerine kadar devam edilmiştir. Şekil 6.4’ de Güneş ve toprak kaynaklı ısı pompası sistemi görülmektedir.



Şekil 6.4 Güneş ve Toprak Kaynaklı Isı Pompası.

6.5. Güneş + Hava Kaynaklı Isı Pompası Sistemi

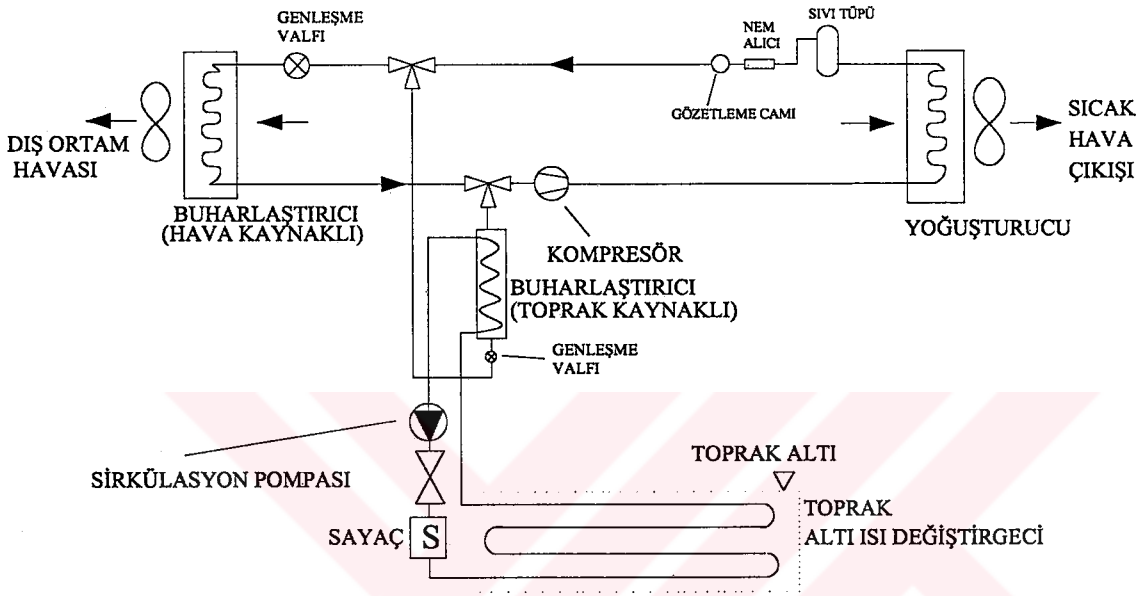
Güneş ve hava kaynağı birlikte kullanılarak sistemin performansı ele alınmıştır. Deneylerde yine buharlaştırıcı fanı sürekli çalıştırılmıştır. Şekil 6.5’ de güneş ve hava kaynaklı ısı pompası sistemi görülmektedir.



Şekil 6.5 Güneş ve Hava Kaynaklı Isı Pompası Sistemi.

6.6. Toprak + Hava Kaynaklı Isı Pompası Sistemi

Güneşin olmadığı günlerde yapılan bu deneylere günün farklı saatlerinde günde bir deney olacak şekilde deneyler yapılmıştır. Deneyler esnasında hava kaynaklı buharlaştırıcı fanı sürekli çalıştırılarak yüzeyinin karlanması önlenmeye çalışılmıştır. Şekil 6.6' da toprak ve hava kaynaklı ısı pompası sistemi görülmektedir.

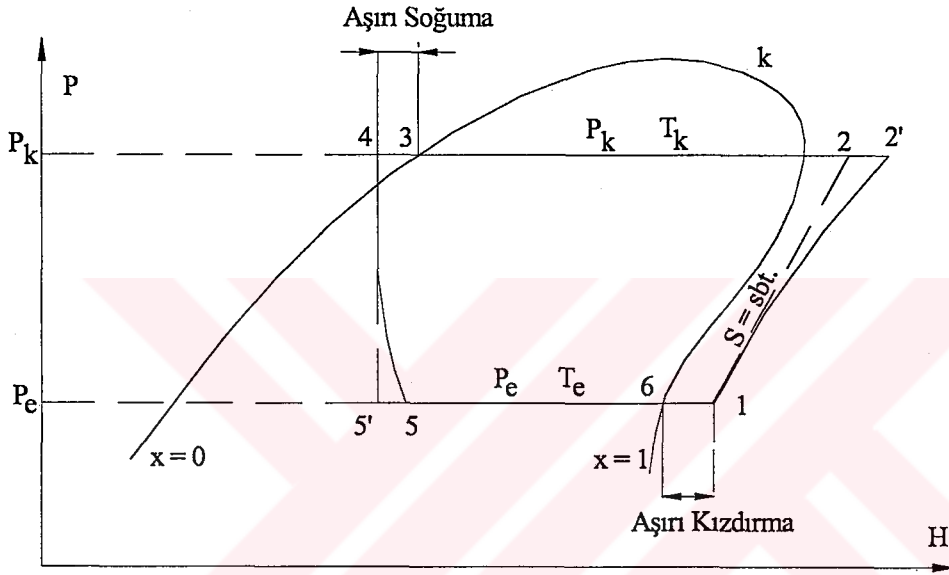


Şekil 6.6 Toprak ve Hava Kaynaklı Isı Pompası Sistemi.

7. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

7.1. Isı Pompasının Çevrim Hesabı

Isı pompasının çevrim hesabında Şekil 7.1’de verilen diyagram esas alınmıştır. Bu ısı pompası çevriminde 1–2’ tersinir adyabatik sıkıştırma, 1–2 adyabatik olmayan tersinir sıkıştırma, 2–4 sabit basınçta yoğuşma, 4–5’ sabit entalpide genleşme, 4–5 sabit olmayan entalpide genleşme ve 5–1 sabit basınçta buharlaşmayı göstermektedir. Ayrıca diyagram üzerinde 3–4 arası aşırı soğuma ve 6–1 arası aşırı kızdırma olmaktadır.



Şekil 7.1 Isı pompasının P-H diyagramı.

7.1.1. Isı Pompası Devresinde Dolaşan Soğutucu Akışkanın Kütlesel Debisinin

Hesaplanması

Soğutucu akışkanın kütlesel debisi aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\dot{m}_f = \frac{\eta_v \cdot V_s \cdot S_d}{v_{\text{öz}} \cdot 60} \quad (7.1)$$

Burada;

$\dot{m}_f$ = Isı pompası devresinde dolaşan soğutucu akışkanın kütlesel debisi [kg/s],

V_s = Kompresörün strok hacmi [m^3/dev],

η_v = Kompresörün hacimsel verimi,

S_d = Kompresörün devir sayısı [dev/dak],

$v_{\text{öz}}$ = Kompresörün girişinde soğutucu akışkanın özgül hacmi [m^3/kg],

ık tanımlanmıştır.

1. Isı Pompasının Yoğuşturucusundan Alınan Isı Miktarı

Yoğuşturucudan alınan ısı miktarı;

$$Q_c = \dot{m}_f (h_2 - h_3) \quad (7.2)$$

bağıntısı ile hesaplanabilir [29,72,75,87,88, 89,90,91,92,93,94], burada;

Q_c = Yoğuşturucunun verdiği ısı [kJ/s],

$\dot{m}_f$ = Isı pompası devresinde dolaşan soğutucu akışkanın kütleli debisi [kg/s],

h_2 = Akışkanın kompresör çıkışındaki entalpisi [kJ/kg],

h_3 = Akışkanın yoğuşturucu çıkışındaki entalpisi [kJ/kg],

olarak tanımlanmıştır.

7.1.3. Isı Pompasının Buharlaştırıcısının Çektiği Isı Miktarı

Buharlaştırıcının çektiği ısı miktarı;

$$Q_{ev} = \dot{m}_f (h_1 - h_5) \quad (7.3)$$

bağıntısı ile hesaplanmıştır.

Burada;

Q_{ev} = Buharlaştırıcının çektiği ısı miktarı [kJ/s],

$\dot{m}_f$ = Isı pompası devresinde dolaşan soğutucu akışkanın kütleli debisi [kg/s],

h_1 = Akışkanın buharlaştırıcı çıkışındaki entalpisi [kJ/kg],

h_5 = Akışkanın buharlaştırıcı girişindeki entalpisi [kJ/kg],

olarak tanımlanmıştır.

7.1.4. Isı Pompası Kompresörüne Verilen Güç

Kompresöre harcanan güç;

$$\dot{W}_{komp} = \frac{\dot{m}_f (h_2 - h_1)}{\eta_m} \quad (7.4)$$

olarak verilmiştir.

Burada;

$\dot{W}_{komp}$ = Kompresöre verilen güç [kW],

$\dot{m}_f$ = Isı pompası devresinde dolaşan soğutucu akışkanın kütleli debisi [kg/h],

h_2 = Akışkanın kompresör çıkışındaki entalpisi [kJ/kg],

h_1 = Akışkanın buharlaştırıcı çıkışındaki entalpisi [kJ/kg],

η_m = Kompresörün mekanik verimi,

olarak tanımlanmaktadır.

7.1.5. Isı Pompasının Performans Katsayısının Hesabı

Isı pompasının performans katsayısı;

$$COP = \frac{Q_c}{W_{sis}} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1} \eta_m \quad (7.5)$$

şeklinde ifade edilmektedir [1,75,90,91,92,93,94,95].

7.1.6. Sistemlerin Performans Katsayısının Hesabı

Sistemlerin performans katsayısı;

$$COP_{sis} = \frac{\dot{Q}_c}{\dot{W}_{sis}} \quad (7.6)$$

$$\dot{W}_{sis} = \dot{W}_{komp} + \dot{W}_{fanlar} + \dot{W}_{sp} \quad (7.7)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada;

$\dot{W}_{sis}$ = Sisteme verilen toplam güç [kW],

$\dot{W}_{komp}$ = Kompresöre verilen güç [kW],

$\dot{W}_{sp}$ = Sirkülasyon pompalarına verilen güç [kW],

olarak tanımlanmıştır.

7.2. Toprak Isı Değiştirgecinin Tasarımı

Isı kaynağı olarak toprağı kullanan ısı pompalarının uygulama şeması, Şekil 6.2 'de görülmektedir. Toprak kaynaklı ısı pompaları, açık toprak yüzeyi olan her yere kurulabilir. Gerekli olan yüzeyi, yaklaşık ısıtılacak yüzeye eşit olmalıdır.

Daha hassas bir hesap ile gerekli olan yüzey alanı şu bağıntı ile verilmektedir.

$$F_{top} = \frac{F_1 \cdot q_1 \cdot (\varepsilon - 1) \cdot 0,75}{q_s \cdot \varepsilon} \quad (7.8)$$

Burada;

F_1 = Isıtılacak alan [m²],

q_1 = Isıtılacak ortamın özgül ısı ihtiyacı [kW/ m²h],

ε = Isı pompasının tesir katsayısı,

q_s = Toprağın özgül ısı verme miktarı [kW/ m²h],

0,75 = Kısıtlama faktörü,

olarak tanımlanmıştır.

Deneyssel olarak elde edilen veriler, tablolar haline dönüştürülmüş ve bu veriler ışığında her sistem için COP değerleri hesaplanarak çeşitli grafikler elde edilmiştir.

7.3. Güneş Kollektörleri Verimlerinin Hesaplanması

7.3.1. Güneş Kollektörlerinin Anlık Verimlerinin Hesaplanması

Anlık kollektör verimleri

$$\eta_a = F_R (\tau_a) - \frac{F_R \cdot U \cdot (T_f - T_g)}{A_k \cdot I} \quad (7.9)$$

veya

$$\eta_a = \frac{\dot{m}_{su} \cdot C_{p_{su}} \cdot (T_f - T_g)}{A_k \cdot I} \quad (7.10)$$

ifadeleri ile hesaplanabilir [84]. Burada;

η_a = Anlık kollektör verimi,

F_R = Kollektör ısı kazanç faktörü,

τ_a = Toplam ışıınımı yutma-geçirme çarpanı,

U = Toplam ısı geçiş katsayısı [W/m²K],

A_k = Kollektörün toplam yüzey alanı [m²],

T_g = Kollektöre su giriş sıcaklığı [K],

T_f = Kollektörden su çıkış sıcaklığı [K],

I = Kollektör yüzeyine düşen anlık güneş ışıınımı [W/m²],

$C_{p_{su}}$ = Kollektörlerde dolaşa suyun özgül ısısı [kJ/kgK],

$\dot{m}_{su}$ = Kollektörlerde dolaşan suyun kütlelel debisi [kg/s],

olarak tanımlanmıştır.

7.3.2. Net Kollektör Veriminin Hesaplanması

Net kollektör verimi aşağıdaki ifade ile hesaplanabilir [96],

$$\eta_n = \frac{Q_{kol}}{A_k \cdot I} \quad (7.11)$$

Burada;

η_n = Net kollektör verimi,

Q_{kol} = Kollektörde toplanan faydalı enerji [kW],

olarak tanımlanmıştır.

7.4. Ekserji (Kullanılabilirlik) Analizi

Kullanılabilirlik (availability) terimi ABD’de 1940’lı yıllarda M.I.T. Mühendislik tarafından ortaya atılmış ve bilim çevrelerinde benimsenmiştir. Bugün, 1950’li yıllarda Avrupa’da önerilen ve aynı anlamı ifade eden *Ekserji* terimi tüm dünyada benimsenme yolundadır. Bunun bir nedeni de her dilde çevrilmeden yer alabilmesidir.

Bir sistemden elde edilebilecek en çok iş, sistem belirli bir başlangıç halinden tersinir bir hal değişimiyle çevrenin bulunduğu hale (ölü hale) getirilirse elde edilir. Bu değer, sistemin verilen başlangıç halinde, yararlı iş potansiyelini veya iş yapma olanağını göstermektedir ve kullanılabilirlik (Ekserji) diye adlandırılır. Kullanılabilirliğin bir ısı makinesinin gerçek bir uygulamada yapabileceği iş olarak düşünülmemesi gerekir. Bu tanım, bir makinenin termodinamiğin yasalarına ters düşmeden yapabileceği işin üst sınırını göstermektedir [75].

Ekserji analizinde; Freon-22 soğutucu akışkanın, suyun, antifrizli suyun ve havanın termodinamik özellikleri tablolar kullanılarak çıkarılmıştır.

7.4.1. Güneş Enerjisi Kaynaklı Isı Pompasının Ekserji Kaybı Analizi

Güneş enerjisi destekli ısı pompası bileşenleri tek tek ele alınarak enerji ve ekserji kaybı analizi yapılmıştır.

7.4.1.1. Güneş Kollektörlerinin Ekserji Kaybı

Güneş kolektörlerinin ekserji kaybı analizinde aşağıdaki bağıntılardan yararlanılmıştır [87,97, 98];

$$Q_s = I \cdot A_k \quad (7.12)$$

$$Ex_k = Q_s \left(1 - \frac{T_{16}}{T_{güneş}} \right) \quad (7.13)$$

Burada;

Q_s = Kollektör yüzeyine düşen toplam enerji [kW],

A_k = Toplam kolektör alanı [m²],

Ex_k = Ekserji kaybı [kW],

$T_{güneş}$ = Güneş sıcaklığı [5700K],

T_{16} = Dış ortam sıcaklığı [K],

olarak tanımlanmıştır.

7.4.1.2. Kompresörün Ekserji Kaybı

Kompresör işi;

$$\dot{W}_{komp} = \dot{m}_f (h_{\dot{c}} - h_{\dot{g}}) \quad (7.14)$$

Ekserji kaybı ise;

$$Ex_k = T_{15} \dot{m}_f (s_{\dot{c}} - s_{\dot{g}}) \quad (7.15)$$

bağıntılarıyla hesaplanmaktadır. Burada,

$\dot{W}_{komp}$ = Kompresör işi [kW],

Ex_k = Ekserji kaybı [kW],

$\dot{m}_f$ = Soğutucu akışkanın debisi [kg/s],

$h_{\dot{c}}$ = Kompresör çıkışındaki soğutucu akışkanın entalpisi [kJ/kg],

$h_{\dot{g}}$ = Kompresör girişindeki soğutucu akışkanın entalpisi [kJ/kg],

$s_{\dot{c}}$ = Kompresör çıkışındaki soğutucu akışkanın entropisi [kJ/kgK],

$s_{\dot{g}}$ = Kompresör girişindeki soğutucu akışkanın entropisi [kJ/kgK],

T_{15} = İç ortam sıcaklığı [K],

olarak tanımlanmıştır.

7.4.1.3. Yoğuşturucunun Ekserji Kaybı

Yoğuşturucunun enerjisi;

$$\dot{Q}_{yoğ} = \dot{m}_f (h_{f\dot{g}} - h_{f\dot{c}}) \quad (7.16)$$

Ekserji kaybı ise;

$$Ex_k = T_{15} [\dot{m}_f (s_{fg} - s_{fc}) + \dot{m}_h (s_{hg} - s_{hc})] \quad (7.17)$$

bağıntısı yardımıyla hesaplanmaktadır. Burada;

$\dot{Q}_{yog}$ = Yoğuşturucunun toplam enerjisi [kW],

s_{fg} = Yoğuşturucuya giren soğutucu akışkanın entropisi [kJ/kgK],

s_{fc} = Yoğuşturucudan çıkan soğutucu akışkanın entropisi [kJ/kgK],

$\dot{m}_h$ = Yoğuşturucudan geçen havanın kütleli debisi [kg/s],

s_{hg} = Yoğuşturucuya giren havanın entropisi [kJ/kgK],

s_{hc} = Yoğuşturucudan çıkan havanın entropisi [kJ/kgK],

h_{fg} = Yoğuşturucuya giren soğutucu akışkanın entalpisi [kJ/kg],

h_{fc} = Yoğuşturucudan çıkan soğutucu akışkanın entalpisi [kJ/kg],

$\dot{m}_f$ = Soğutucu akışkanın debisi [kg/s],

T_{15} = İç ortam sıcaklığı [K],

olarak tanımlanmıştır.

7.4.1.4. Buharlaştırıcının Ekserji Kaybı

Buharlaştırıcıya giren su, enerjisini soğutucu akışkana vermekte ve bu enerji de yoğuşturucudan iç ortama verilmektedir. Bu nedenle buharlaştıracıdan alınan enerji ile yoğuşturucudan atılan enerji birbirine eşit olarak kabul edilebilir.

$$\dot{Q}_{buh} = \dot{Q}_{yog}$$

$$\dot{Q}_{buh} = \dot{m}_f (h_{fg} - h_{fc}) \quad (7.18)$$

Ekserji kaybı ise;

$$Ex_k = T_{15} [\dot{m}_f (s_{fc} - s_{fg}) + \dot{m}_2 (s_{suc} - s_{suc})] \quad (7.19)$$

bağıntısıyla hesaplanabilir. Burada;

$\dot{Q}_{buh}$ = Buharlaştırıcının toplam enerjisi [kW],

Ex_k = Ekserji kaybı [kW],

s_{suc} = Buharlaştıracıdan çıkan suyun entropisi [kJ/kgK],

s_{sug} = Buharlaştırıcıya giren suyun entropisi [kJ/kgK],

h_{fg} = Buharlaştırıcıya giren soğutucu akışkanın entalpisi [kJ/kg],

h_{fc} = Buharlaştırıcıdan çıkan soğutucu akışkanın entalpisi [kJ/kg],

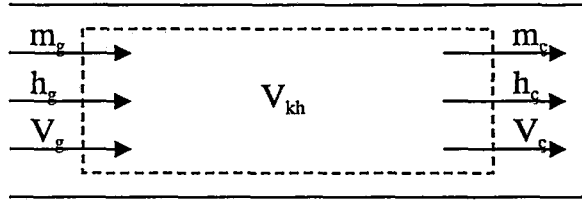
$\dot{m}_f$ = Soğutucu akışkanın debisi [kg/s],

T_{15} = İç ortam sıcaklığı [K],

$\dot{m}_2$ = Plakalı ısı değiştirgecine (güneş kaynaklı) giren suyun debisi [kg/s],

olarak tanımlanmıştır.

7.4.1.5. Genleşme Valfi'nin Ekserji Kaybı



Şekil 7.2 Kontrol Hacmi.

V_{kh} kontrol hacmi (Şekil 7.2) için SASA genel denklemi yazılırsa;

$$\dot{Q}_{kh} + \dot{m}_g \left(h_g + \frac{V_g^2}{2} + gz_g \right) = \dot{m}_c \left(h_c + \frac{V_c^2}{2} + gz_c \right) + \dot{W}_{kh}$$

Burada; $\dot{Q}_{kh}$, kinetik enerji $\dot{W}_{kh}$ ve gz_g sıfır olduğundan denklem yeniden düzenlenirse;

$$\dot{m}_g h_g = \dot{m}_c h_c$$

şeklinde yazılabilir. Kontrol hacminin giriş ve çıkış debileri birbirine eşit olduğu için;

$$h_g = h_c$$

ve dolayısıyla,

$$h_{gg} = h_{gc}$$

olur.

Ekserji kaybı ise;

$$Ex_k = T_{15} \dot{m}_f (s_{gg} - s_{gc}) \quad (7.20)$$

bağıntısı yardımıyla bulunabilir. Burada;

Ex_k = Ekserji kaybı [kW],

s_{gg} = Genleşme valfi girişindeki soğutucu akışkanın entropisi [kJ/kgK],

s_{gc} = Genleşme valfi çıkışındaki soğutucu akışkanın entropisi [kJ/kgK],

h_{gg} = Genleşme valfi girişindeki soğutucu akışkanın entalpisi [kJ/kg],

h_{gf} = Genleşme valfi çıkışındaki soğutucu akışkanın entalpisi [kJ/kg],

$\dot{m}_f$ = Soğutucu akışkanın debisi [kg/s],

T_{15} = İç ortam sıcaklığı [K],

olarak tanımlanmıştır.

7.4.2. Toprak Kaynaklı Isı Pompasının Ekserji Kaybı Analizi

7.4.2.1. Kompresörün Ekserji Kaybı

Kompresörün enerji ve ekserjisinin analizinde bölüm 7.4.1.2'deki denklemler kullanılmıştır.

7.4.2.2. Yoğuşturucunun Ekserji Kaybı

Yoğuşturucunun enerji ve ekserjisinin analizinde 7.4.1.3'deki denklemler kullanılmıştır.

7.4.2.3. Buharlaştırıcının Ekserji kaybı

Buharlaştırıcıdan çekilen ısı enerjisi soğutucu akışkan vasıtasıyla taşınarak yoğuşturucudan iç ortama verilmektedir. Bu nedenle,

$$\dot{Q}_{buh} = \dot{Q}_{yoğ}$$

$$\dot{Q}_{buh} = \dot{m}_f (h_{fg} - h_{fc}) \quad (7.21)$$

yazılabilir. Ekserji kaybı ise;

$$Ex_k = T_{15} [\dot{m}_f (s_{fc} - s_{fg}) + \dot{m}_1 (s_{salg} - s_{salç})] \quad (7.22)$$

bağıntısıyla hesaplanabilir. Burada;

$\dot{Q}_{buh}$ = Buharlaştırıcının toplam enerjisi [kW],

$\dot{Q}_{yoğ}$ = Yoğuşturucunun toplam enerjisi [kW],

Ex_k = Ekserji kaybı [kW],

$s_{salç}$ = Buharlaştırıcıdan çıkan salamuranın entropisi [kJ/kgK],

s_{salg} = Buharlaştırıcıya giren salamuranın entropisi [kJ/kgK],

$\dot{m}_f$ = Soğutucu akışkanın debisi [kg/s],

$\dot{m}_1$ = Salamuranın kütleli debisi [kg/s]

T_{15} = İç ortam sıcaklığı [K],

olarak tanımlanmıştır.

7.4.2.4. Genleşme Valfi'nin Ekserji Kaybı

Genleşme valfinin ekserji analizi, 7.4.1.5'deki denklem yardımıyla yapılmıştır.

7.4.2.5. Toprak Altı Isı Değiştirgecinin Ekserji Kaybı

Toprak altı ısı değiştirgecinin enerjisi,

$$\dot{Q}_{nd} = \dot{m}_1 C_{p_{sal}} (T_{12} - T_{11}) \quad (7.23)$$

şeklinde yazılabilir. Burada;

$$\dot{Q}_{nd} = \text{Toprak altı ısı değiştirgecinden alınan enerji [kW]},$$

olarak tanımlanmıştır.

Ekserji kaybı ise;

$$Ex_k = T_{16} \left[\dot{m}_1 (s_{sal\zeta} - s_{sal\eta}) - \frac{\dot{Q}_{nd}}{T_{18}} \right] \quad (7.24)$$

şeklinde yazılabilir. Burada;

$$T_{16} = \text{Dış ortam sıcaklığı [K]},$$

$$T_{18} = 1 \text{ m derinlikteki toprak sıcaklığı [K]},$$

$$s_{sal\zeta} = \text{Buharlaştırıcıdan çıkan salamuranın entropisi [kJ/kgK]},$$

$$s_{sal\eta} = \text{Buharlaştırıcıya giren salamuranın entropisi [kJ/kgK]},$$

$$Ex_k = \text{Ekserji kaybı [kW]},$$

$$\dot{m}_1 = \text{Salamuranın kütleli debisi [kg/s]},$$

olarak tanımlanmıştır.

7.4.3. Hava Kaynaklı Isı Pompasının Ekserji Kaybı Analizi

7.4.3.1. Kompresörün Ekserji Kaybı

Kompresörün enerji ve ekserjisinin analizinde 7.4.1.2'deki denklemler kullanılmıştır.

7.4.3.2. Yoğuşturucunun Ekserji Kaybı

Yoğuşturucunun enerji ve ekserjisinin analizinde 7.4.1.3'deki denklemler kullanılmıştır.

7.4.3.3. Hava Kaynaklı Buharlaştırıcının Ekserji Kaybı

Hava kaynaklı buharlaştırıcının enerjisi;

$$\dot{Q}_{buh} = \dot{m}_f (h_{fg} - h_{fc}) \quad (7.25)$$

bağıntısı yardımıyla hesaplanabilir. Ekserji kaybı ise;

$$Ex_k = T_{16} [\dot{m}_f (s_{fg} - s_{fr}) + \dot{m}_4 (s_{hg} - s_{hr})] \quad (7.26)$$

bağıntısı yardımıyla bulunmaktadır. Burada;

Ex_k = Ekserji kaybı [kW],

$\dot{Q}_{buh}$ = Buharlaştırıcının toplam enerjisi [kW],

s_{hg} = Hava kaynaklı buharlaştırıcıya giren havanın entropisi [kJ/kgK],

s_{hr} = Hava kaynaklı buharlaştırıcıdan çıkan havanın entropisi [kJ/kgK],

s_{fg} = Hava kaynaklı buharlaştırıcıya giren soğutucu akışkanın entropisi [kJ/kgK],

s_{fr} = Hava kaynaklı buharlaştırıcıdan çıkan soğutucu akışkanın entropisi [kJ/kgK],

T_{16} = Dış ortam sıcaklığı [K],

$\dot{m}_4$ = Buharlaştırıcıdan geçen hava debisi [kg/s],

$\dot{m}_f$ = Soğutucu akışkanın debisi [kg/s],

olarak tanımlanmıştır.

7.4.3.4. Genleşme Valfi'nin Ekserji Kaybı

Genleşme valfinin ekserji analizi, 7.4.1.5'deki denklem yardımıyla yapılmıştır

8. EKONOMİ ANALİZİ

Güneş, hava ve toprak kaynaklı ısı pompası sistemleri kendi aralarında ekonomiklik yönünden incelenmiş ve diğer enerji kaynakları (doğal gaz, fuel-oil, kömür vd.) bu karşılaştırmaya dahil edilmemiştir.

Ekonomi analizi yapılırken dikkat edilecek temel esas, sistemleri ekonomik ömrü boyunca ilk yatırım maliyetlerini karşılayıp karşılayamayacağıdır. Hangi sistem ekonomik ömrü süresi içerisinde ihtiyaca göre daha az enerji tüketiyor ise o sistem daha ekonomiktir [99,100].

Sistemlerin ekonomi analizinde kullanılan bazı kavramlar aşağıda ara başlıklar halinde verilmiştir.

8.1. Paranın Bugünkü Değeri

Bir yatırım projesinin kabul edilebilmesi için aranan ilk koşul, projeden elde edilecek gelirlerin ya da nakit girişlerin proje için yapılan masraflardan veya nakit çıkışlardan fazla olmasıdır. Bir yatırım projesinin net bugünkü değeri, yatırımın ekonomik ömrü boyunca sağlayacağı nakit girişin önceden belirlenen bir iskonto oranı (yatırımdan beklenen minimum iç karlılık oranı) üzerinden bugüne indirgenmiş değerleri toplamı ile yatırımın gerektirdiği nakit çıkışın aynı iskonto oranına göre bugünkü değerleri toplamı arasındaki farktır [76].

Aşağıdaki şekilde formülize edilmiştir.

$$PBD = \sum_{t=1}^n \frac{G_t}{(1+i)^t} + \frac{H}{(1+i)^n} - \sum_{t=1}^n \frac{I_t}{(1+i)^t} \quad (8.1)$$

burada;

PBD = Paranın bugünkü değeri,

G_t = n yıldaki gelir veya nakit girişler,

H = Yatırım projesinin ömrü sonundaki kalıntı (hurda) değeri,

n = Yatırım projesinin ekonomik ömrü,

i = Net faiz oranı,

I_t = t yıldaki toplam yatırım tutarı (nakit çıkışlar),

t = Zaman,

olarak tanımlanmaktadır.

8.2. Geri Ödeme Süresi

Bir projeye yatırılan paranın ne kadar sürede geri ödeneceğini ifade eder. Geri ödeme süresinin mümkün olduğunca kısa olması istenir.

$$GÖS = \frac{\text{İlk Yatırım Maliyeti}}{\text{Net Yıllık Nakit Akışı}} \quad (8.2)$$

formülü ile geri ödeme süresi hesaplanabilir.

8.3. Karlılık Oranı

Bir yıl içinde elde edilen net veya brüt ortalama karın, sistemin ilk kurulumunda yapılan yatırım tutarına oranıdır [76].

$$KO = \frac{\sum_{t=1}^n G_t}{n} / I_0 \quad (8.3)$$

Burada;

KO = Brüt veya net ortalama karlılık oranı,

G_t = Yatırım projesinin t'nci yılındaki brüt karı,

I_0 = Başlangıç yatırım tutarı,

n = Yatırımın ekonomik ömrü,

olarak tanımlanmaktadır.

8.1. nolu eşitlikten paranın net bugünkü değeri, sıfırdan büyük veya en azından kendisine eşit ise, o proje karlılık açısından kabul edilebilir. Alternatif projeler arasından seçim yaparken, en yüksek bugünkü değeri gösteren yatırım projesi uygulanmak üzere seçilmiş olur [76,101].

8.4. Teknik ve Ekonomik Model

Bir yatırım yapılmadan önce mutlaka yapılacak olan yatırımın geri ödeme süresi ve yatırımın getireceği artılar dikkate alınmalıdır. Alternatif yatırımlar arasındaki kurulum ve işletme maliyetleri göz önüne alınarak hangi sistemin daha avantajlı olduğu dikkatle belirlenmelidir [102].

Yapılan bu çalışmada güneş, hava ve toprak kaynaklı ısı pompaları ekonomiklik açısından kendi aralarında karşılaştırılmıştır. Sistemlerin her birinin ekonomik ömrü sonunda hurda değerlerinin olmadığı ve yıllık bakım giderlerinin de ilk kurulum maliyetinin yaklaşık

%1'i olacağı kabul edilmiştir. Güneş kaynaklı ısı pompası için ekonomik ömrün 15 yıl, toprak ve hava kaynaklı ısı pompaları için 20 yıl olduğu kabul edilmiştir. Sistemlerin ekonomi analizi TL cinsinden yapılmıştır.



9. SONUÇ VE ÖNERİLER

9.1. Sonuçlar

Elazığ İli bölgesinde güneş, hava ve toprak destekli ısı pompaları ile konutların ısıtılabilirliğini incelemek amacıyla bir model ısıtma ortamı olarak Teknik Eğitim Fakültesinde kullanılmayan bir sınıf seçilmiştir. Bu ortamın ısıtılabilirliğini deneysel olarak araştırmak amacıyla güneş, hava, toprak destekli ısı pompası sistemi kurulmuştur. Bu sistem altı değişik şekilde çalıştırılarak ölçümler yapılmıştır.

Deney esnasında güneş ışıınımları solarimetre ile ölçülmüştür ve günün saatlerine göre değişiminin grafikleri çizilmiştir. Güneş destekli ısı pompası sisteminde deneyler esnasında kollektör giriş ve çıkış sıcaklıkları, plakalı ısı değiştirgecine su giriş ve çıkış sıcaklıkları, kompresör Freon-22 giriş ve çıkış sıcaklıkları, plakalı ısı değiştirgecine Freon-22 giriş ve çıkış sıcaklıkları, yoğuşturucuya Freon-22 giriş ve çıkış sıcaklıkları, iç ortam ve dış ortam sıcaklıkları, ısı pompası devresinde kompresör girişinde ve çıkışındaki Freon-22 basınçları, yoğuşturucudan ısıtılarak çıkan havanın sıcaklıkları ve sistemin harcadığı elektrik sarfiyatı periyodik olarak ölçülmüştür.

Hava kaynaklı ısı pompası ile yapılan deneyler esnasında, dış ortam ve iç ortam sıcaklıkları, kompresör giriş ve çıkışındaki Freon-22 gazının basınç ve sıcaklıkları, buharlaştırıcıya giren ve çıkan Freon-22'nin sıcaklıkları, yoğuşturucuya giren ve çıkan Freon-22'nin sıcaklıkları, yoğuşturucudan çıkan ısıtılmış havanın sıcaklıkları, sistemin harcadığı güç periyodik olarak ölçülmüştür.

Toprak kaynaklı ısı pompası deneylerinde, toprak sıcaklıkları, iç ve dış ortam sıcaklıkları, plakalı ısı değiştirgecine giren ve çıkan salamura sıcaklıkları, plakalı ısı değiştirgecine giren ve çıkan Freon-22 sıcaklıkları, yoğuşturucuya giren ve çıkan Freon-22 sıcaklıkları, yoğuşturucudan ısıtılarak çıkan hava sıcaklıkları, kompresörün giriş ve çıkış sıcaklıkları, kompresörün giriş ve çıkış basınçları ve sistemin harcadığı güç periyodik olarak ölçülmüştür.

Yukarıda bahsedilen ölçümler karma (güneş+hava kaynaklı, güneş + toprak kaynaklı, hava + toprak kaynaklı) deneylerde de yapılmıştır.

Güneş, hava ve toprak kaynaklı ısı pompası için Ekserji analizleri Ek 3 'de verilmiştir.

Elazığ İli'nin meteorolojik verileri ışığında güneş, hava ve toprak kaynaklı ısı pompaları kendi aralarında ekonomiklik yönünden analiz edilmiştir. Analiz Sonuçları Ek 4 'de tablo halinde verilmiştir.

Tüm alınan deney sonuçları ekteki tablolarda gösterilmiştir (Ek 1). Bu ölçümlerden yararlanılarak aşağıdaki grafikler çizilmiştir ve bu grafikler ekte gösterilmiştir.

- a) Işınım değerlerinin günün saatlerine göre değişiminin grafiği çizildi (Ek 2).
- b) Günün saatlerine göre COP_{sis} 'in değişimi grafikleri çizildi (Ek 2).
- c) Güneş kaynaklı ısı pompası sistemi için kolektör giriş ve çıkış suyu sıcaklığı, plakalı ısı değiştirgeci giriş suyu sıcaklığı, iç ortam sıcaklığı, dış ortam sıcaklığının günün saatlerine göre değişiminin grafikleri çizildi (Ek 2).
- d) Toprak kaynaklı ısı pompası sistemi için plakalı ısı değiştirgecine salamura giriş ve çıkış sıcaklıkları, dış ortam ve iç ortam sıcaklığının günün saatlerine göre değişiminin grafikleri çizildi (Ek 2).
- e) Deneyleri yapılan tüm sistemler için harcanan gücün günün saatlerine göre değişiminin grafikleri çizildi (Ek 2).
- f) Hava kaynaklı ısı pompası için buharlaştırıcıya Freon-22 giriş ve çıkış sıcaklığı, iç ve dış ortam sıcaklıklarının günün saatlerine göre değişiminin grafikleri çizildi (Ek 2).
- g) Deneyleri yapılan tüm sistemler için Freon-22'nin yoğuşturucuya giriş ve çıkış sıcaklıkları, iç ve dış ortam sıcaklıkları ve yoğuşturucudan ısıtılarak iç ortama verilen hava sıcaklığının günün saatlerine göre değişiminin grafikleri çizildi (Ek 2).
- h) Deneyleri yapılan tüm sistemler için COP_{sis} 'in buharlaştırıcıya giriş ve çıkış sıcaklıklarına göre değişim grafikleri çizildi (Ek 2).

Bölgemizin meteorolojik verilerinden anlaşıldığı gibi konutların ısıtılmasında kullandığımız güneş kaynaklı ısı pompası sistemlerinin yeterli olmadığı görülmektedir. Elazığ İli'nde Aralık ve Mart ayları arasını kapsayan yoğun ısıtma sezonu boyunca bölgenin ortalama güneşlenme gün sayısının ortalama 35 gün civarında olması güneş kaynaklı ısı pompasının tek başına yeterli olmayacağı anlamına gelir. Gece, dış ortam sıcaklıklarının 0 °C 'nin çok altına düşmesi hava kaynaklı ısı pompalarının ısıtma sezonu boyunca kullanımını önemli ölçüde kısıtlamaktadır.

Hava kaynaklı ısı pompasının ekonomi analizinde her ne kadar geri ödeme süresinin kısa olduğu görülse de ısıtma yükünün arttığı akşam saatlerinde dış ortam sıcaklıklarının 0 °C' nin çok altına düşmesi buharlaştırıcı yüzeyinde karlanmaya neden olmakta ve sistem durmaktadır. Genel performans değerlerinin vasatın altında olması, hava kaynaklı ısı pompalarının sezon boyunca kullanımını önemli ölçüde kısıtlamaktadır.

Ekserji kayıp hesaplarında kayıp miktarı doğrudan ortam sıcaklığına bağlıdır. Bu nedenle ortam sıcaklığının artışıyla birlikte Ekserji kaybının da azaldığı görülmüştür. Güneş kollektörlerinin bulunduğu dış ortamda sıcaklığın değişimi, güneş ışıınımı değişimine göre daha az olduğundan dolayı, sabah ve akşam saatlerinde kollektörlerin Ekserji kaybı daha düşük, öğle saatlerinde ise en yüksek değerine ulaştığı görülmüştür.

Ekonomi analizinde her üç sistem içinde en avantajlı olanın toprak kaynaklı ısı pompası olduğu görülmektedir. Toprak altı ısı değiştirgeci devresi, ortalama 6–7 °C' lik bir sıcaklığa sahip toprak derinliğinde olması nedeniyle ısıtma sezonu boyunca durmaksızın gece-gündüz çalışacaktır. Geri ödeme süresinin de kısa olması ve önemli bir bakım gerektirmemesi toprak kaynaklı ısı pompasını ekonomiklik yönünden ön plana çıkarmıştır (Ek 4. Tablo 1).

Bir sistemin tek başına yeterli olamadığı durumlarda ise iki sistem aynı anda kullanıldığında ısıtmanın yeterli olabileceğini de deneyler göstermektedir. Sistemin COP_{sis} değeri ile yoğunlaştırıcı çıkış havası sıcaklığı arasındaki ampirik (deneysel) bağıntılar aşağıdaki şekilde bulunmuştur.

ARALIK 2002

Hava kaynaklı ısı pompası (18.12.2002) için; T₁₇ çalışma aralığı : 21,6 – 34,7

$$COP_{sis} = 0,004T_{17}^3 - 0,0919T_{17}^2 + 0,6087T_{17} + 0,4255$$

Hava + Toprak kaynaklı ısı pompası (31.12.2002) için; T₁₇ çalışma aralığı : 30,1 – 33

$$COP_{sis} = -0,004T_{17}^3 + 0,0858T_{17}^2 - 0,558T_{17} + 2,9755$$

Toprak kaynaklı ısı pompası (28.12.2002) için; T₁₇ çalışma aralığı : 19,9 – 28,3

$$COP_{sis} = 0,0025T_{17}^3 - 0,048T_{17}^2 + 0,3074T_{17} + 1,0586$$

OCAK 2003

Güneş kaynaklı ısı pompası (25.01.2003) için; T₁₇ çalışma aralığı : 25,7 – 29,8

$$COP_{sis} = -0,0008T_{17}^3 + 0,0176T_{17}^2 - 0,833T_{17} + 1,8302$$

Toprak kaynaklı ısı pompası (08.01.2003) için; T_{17} çalışma aralığı : 26,4 – 31,2

$$COP_{sis} = 0,0004T_{17}^3 - 0,0073T_{17}^2 + 0,044T_{17} + 1,5851$$

Hava kaynaklı ısı pompası (29.01.2003) için; T_{17} çalışma aralığı : 26,4 – 29,8

$$COP_{sis} = 8*10^{-6}T_{17}^3 - 0,0007T_{17}^2 + 0,0101T_{17} + 1,2774$$

Güneş + Toprak kaynaklı ısı pompası (27.01.2003) için; T_{17} çalışma aralığı : 27,1 – 29,5

$$COP_{sis} = -9*10^{-5}T_{17}^3 + 0,006T_{17}^2 - 0,0838T_{17} + 2,9303$$

Güneş + Hava kaynaklı ısı pompası (18.01.2003) için; T_{17} çalışma aralığı : 28,1 – 31,2

$$COP_{sis} = -0,0002T_{17}^3 + 0,0053T_{17}^2 - 0,0447T_{17} + 3,5725$$

Toprak + Hava kaynaklı ısı pompası (14.01.2003) için; T_{17} çalışma aralığı : 25,6 – 28,8

$$COP_{sis} = 0,0018T_{17}^3 - 0,0276T_{17}^2 + 0,1221T_{17} + 1,6392$$

SUBAT 2003

Güneş kaynaklı ısı pompası (17.02.2003) için; T_{17} çalışma aralığı : 23,3 – 32,1

$$COP_{sis} = 0,0011T_{17}^3 - 0,023T_{17}^2 + 0,1414T_{17} + 2,2437$$

Toprak kaynaklı ısı pompası (23.02.2003) için; T_{17} çalışma aralığı : 29,3 – 30,6

$$COP_{sis} = -0,0009T_{17}^3 + 0,0212T_{17}^2 - 0,159T_{17} + 2,4974$$

Hava kaynaklı ısı pompası (09.02.2003) için; T_{17} çalışma aralığı : 26,7 – 32,5

$$COP_{sis} = 0,0008T_{17}^3 - 0,0182T_{17}^2 + 0,1177T_{17} + 1,4486$$

Güneş + Toprak kaynaklı ısı pompası (10.02.2003) için; T_{17} çalışma aralığı : 24,8 – 29,6

$$COP_{sis} = 0,0003T_{17}^3 - 0,0084T_{17}^2 + 0,0612T_{17} + 3,2003$$

Güneş + Hava kaynaklı ısı pompası (27.02.2003) için; T_{17} çalışma aralığı : 27 – 30,8

$$COP_{sis} = 0,0016T_{17}^3 - 0,0378T_{17}^2 + 0,2506T_{17} + 2,9258$$

Toprak + Hava kaynaklı ısı pompası (04.02.2003) için; T_{17} çalışma aralığı : 30,3 – 32,8

$$COP_{sis} = -0,0005T_{17}^3 + 0,0114T_{17}^2 - 0,0824T_{17} + 2,2772$$

MART 2003

Güneş kaynaklı ısı pompası (21.03.2003) için; T_{17} çalışma aralığı : 27,6 – 33,6

$$COP_{sis} = 0,0001T_{17}^3 + 0,001T_{17}^2 - 0,1001T_{17} + 2,5612$$

Toprak kaynaklı ısı pompası (22.03.2003) için; T_{17} çalışma aralığı : 29,1 – 30,4

$$COP_{sis} = -0,0012T_{17}^3 + 0,0299T_{17}^2 - 0,216T_{17} + 2,1064$$

Hava kaynaklı ısı pompası (08.03.2003) için; T_{17} çalışma aralığı : 25,9 - 32

$$COP_{sis} = 0,0014T_{17}^3 - 0,0318T_{17}^2 + 0,2156T_{17} + 1,3334$$

Güneş + Toprak kaynaklı ısı pompası (28.03.2003) için; T_{17} çalışma aralığı : 30,5 – 34,5

$$COP_{sis} = 8*10^{-5} T_{17}^3 + 0,0004T_{17}^2 - 0,0625T_{17} + 3,2769$$

Güneş + Hava kaynaklı ısı pompası (29.03.2003) için; T_{17} çalışma aralığı : 27,6 – 32,8

$$COP_{sis} = -0,0001T_{17}^3 + 0,0027T_{17}^2 - 0,0186T_{17} + 2,9311$$

Toprak + Hava kaynaklı ısı pompası (12.03.2003) için; T_{17} çalışma aralığı : 29,8 – 32,7

$$COP_{sis} = -3*10^{-6} T_{17}^3 - 0,0015T_{17}^2 + 0,006T_{17} + 1,928$$

Deneysel ölçümlerden elde edilen verilere dayalı olarak hesaplanan COP_{sis} değerleri

Tablo 9.1.'de toplu halde verilmiştir.

Tablo 9.1 Aylık COP_{sis} Ortalamaları.

Aylar	Yapılan Deneyler					
	Güneş	Toprak	Hava	Güneş+Toprak	Güneş+Hava	Toprak+Hava
Aralık	----	1,63	1,51	----	----	1,91
Ocak	1,82	1,66	1,31	2,66	3,43	1,78
Şubat	2,51	2,17	1,62	3,34	3,23	2,08
Mart	2,14	1,82	1,70	3,06	2,86	2,06

9.2. Öneriler

a) Güneş enerjisinin tek başına ısı pompası için yeterli olamamaktadır. Bu nedenle yazın bol güneş alan bölgemizde güneş enerjisi yeraltında depolanarak kışın toprak kaynaklı ısı pompasına kaynak olarak kullanılırsa ısıtılacak ortamın istenilen değere ulaşacağı kanısına varılmıştır.

b) Konutların ısı yalıtım şartnamelerine uygun yapılmaması nedeniyle ısıtma amacıyla tüketilen enerjinin büyük bölümü kaybolmaktadır. Isı kayıplarının en az düzeye indirebilmek için binaların istenilen standartlarda yalıtılması gerekmektedir.

c) Deney sistemindeki ısı kayıplarının asgariye indirilmesi için sistemin iyi izole edilmesi gerekmektedir.

d) Tek başına bir ısı kaynağının (güneş, toprak veya hava) ısıtmada yetmediği durumlarda ikinci bir ısı kaynağının da beraberinde devreye alınarak ısıtma için yeterli olabilir.

e) Güneş enerjisi destekli ısı pompaları, ilk kurulum maliyetlerinin yüksek olması ve geri ödeme süresinin çok uzun olması nedeniyle karlı bir yatırım olarak görülmemektedir.

f) Hava kaynaklı ısı pompaları, hâlihazırda piyasada bol ve ucuz olarak bulunabilmektedir. Ancak yoğun ısıtma ihtiyacının olduğu Aralık ve Mart ayları arasında ısıtma ihtiyacına cevap verecek nitelikte olmaması nedeniyle, hava kaynaklı ısı pompası sistemine dayalı ısıtma tesisleri kuracak kişilere tavsiye edilmez.

g) Eğer toprak kaynaklı ısı pompası için konutun yeterli toprak alanı mevcut ise, duruma göre dikey ya da yatay toprak ısı değiştirgeci tipine sahip bir ısı pompasının kurulması mantıklı bir yatırım olarak görülmektedir. Geri ödeme süresinin kısa olması ve fazla bakım gerektirmemesi gibi nedenler de bu görüşü desteklemektedir.

Tablo 9.2. Hava Kaynaklı 18.12.2002

SAATLER	T ₁	T ₂	T ₇	T ₈	T ₁₆	T ₁₅	T ₁₇	P _{sis}	P ₁	P ₂	$\dot{m}_{H_3}$	COP _{sis}
09:00	84,2	6,7	0,5	2,9	-1,5	12,8	21,6	840	1180	70	0,077	0,81
09:30	99,3	3,9	3,7	5,3	-1,7	13,5	31,5	900	1200	90	0,077	1,54
10:00	103,1	4,8	4,4	5,7	-2	13,7	32,2	925	1210	100	0,077	1,54
10:30	104,8	5,6	3,9	5,4	-2,1	13,9	33,7	925	1210	100	0,077	1,65
11:00	107,7	5,7	4,4	5,6	-2,2	14,4	33,8	940	1230	100	0,077	1,59
11:30	109,1	5,4	4,9	6,2	-1,9	14,7	34,6	940	1230	100	0,077	1,63
12:00	112,3	6,3	4,8	6,1	-1,6	15	34,5	940	1230	100	0,077	1,60
12:30	113,9	6,4	4,6	5,9	-1,5	15,2	34,7	925	1210	100	0,077	1,62
13:00	114,5	6,2	4,1	5,3	-2	15,1	33,9	920	1200	95	0,077	1,57
13:30	114	6,3	4	5,4	-2,3	14,9	33,6	925	1210	100	0,077	1,56
14:00	113,8	6,3	4	5,4	-3,1	14,9	33,3	920	1200	100	0,077	1,54

Tablo 9.3. Hava + Toprak Kaynaklı 31.12.2002

SAATLER	T ₁	T ₂	T ₅	T ₆	T ₁₁	T ₁₂	T ₁₈	T ₁₉	T ₇	T ₈	T ₁₅
14:00	53,9	4	3,9	5,6	6,1	0,5	8,1	7,1	1,5	9,2	12,7
14:30	89,4	5,2	2,8	3,2	6,9	-0,3	8,1	6,9	1,3	8,8	15,3
15:00	95,3	4,8	1,5	2,1	6,9	-0,2	8,1	6,7	1,2	7,8	15,6
15:30	96,8	4,6	0,7	2	6,9	-0,4	8,1	6,6	1,1	8,2	15,8
16:00	95,6	6,1	0,8	1,6	6,9	-0,3	8,1	6,5	1,1	7,2	15,9
16:30	96,3	5,1	0,8	1,2	6,8	-0,4	8,1	6,5	0,9	6,3	15,8
17:00	94,8	3,3	-0,2	0,8	6,8	-0,4	8,1	6,4	0,8	5,7	15,8
17:30	94,9	3,3	-0,2	0,8	6,8	-0,5	8,1	6,4	0,7	5,2	15,9
18:00	95,3	3,2	-0,3	0,7	6,7	-0,5	8,1	6,4	0,5	4,4	16,2
18:30	96,3	3,4	-1	0,1	6,7	-0,5	8,1	6,3	0,4	4	16,3
19:00	95,2	3,2	-1,5	-0,4	6,7	-0,5	8,1	6,3	0,3	3,9	16,4

T ₁₆	T ₁₇	P _{sis}	P ₁	P ₂	$\dot{m}_1$	$\dot{m}_3$	COP _{sis}
-2,6	33	1250	1320	210	100	0,16	2,61
-2,5	32,4	1350	1300	230	100	0,16	2,04
-1,6	31,1	1350	1280	240	100	0,16	1,85
-1,6	31,7	1340	1280	240	100	0,16	1,91
-0,5	31,1	1320	1290	240	100	0,16	1,85
-1,2	31,2	1320	1250	240	100	0,16	1,88
-1,3	31,2	1300	1240	230	100	0,16	1,90
1,1	30,5	1300	1220	230	100	0,16	1,81
0,2	30,3	1300	1210	230	100	0,16	1,74
0,4	30,1	1300	1210	225	100	0,16	1,71
1,2	30,1	1300	1205	220	100	0,16	1,69

Tablo 9.4. Toprak Kaynaklı 28.12.2002

SAATLER	T ₁	T ₂	T ₅	T ₆	T ₁₆	T ₁₅	T ₁₁	T ₁₂	T ₁₈	T ₁₉	T ₁₇
18:00	65,6	7,8	1,1	6,7	-11,2	9,8	4,3	-0,7	6,7	3,7	19,9
18:30	92,2	8,6	5,4	7,6	-10,8	10,2	4,5	-0,8	6,7	3,4	24,2
19:00	96,4	8,7	6	7,5	-10,7	12,6	4,5	-0,8	6,7	3,1	25,2
19:30	102,5	8,9	6,2	7,6	-12,9	13	4,4	-0,8	6,7	3	27,7
20:00	104,7	9,1	6,3	7,9	-14,6	12,9	4,4	-0,7	6,7	3	28,1
20:30	105,3	9,3	6,5	8,3	-15,5	12,9	4,4	-0,7	6,7	3	28,2
21:00	104,8	9,1	6,5	8,4	-18,4	12,8	4,3	-0,6	6,7	3	28,3
21:30	105,1	9,2	6,5	8,4	-19,5	12,7	4,3	-0,6	6,7	2,9	28,3
22:00	104,6	8,8	6,4	8,3	-19,7	12,6	4,3	-0,6	6,7	2,9	28,3

P _{sis}	P ₁	P ₂	$\dot{m}_1$	$\dot{m}_3$	COP _{sis}
920	1080	130	100	0,113	1,25
950	1080	140	100	0,113	1,68
970	1090	140	100	0,113	1,48
1000	1090	145	100	0,113	1,67
1020	1100	145	100	0,113	1,70
1020	1100	145	100	0,113	1,71
1020	1100	145	100	0,113	1,73
1020	1100	145	100	0,113	1,74
1020	1100	140	100	0,113	1,75

Tablo 9.5. Güneş Kaynaklı 25.01.2003 (1)

SAATLER	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₁₆	T ₁₅	T ₉	T ₁₀	T ₁₃	T ₁₄	T ₂₀
09:30	54,4	29,2	13,2	18,7	1,9	12,7	38,7	28,6	40,7	10,1	42,1
10:00	86,1	31,3	20,6	26,1	3,1	13,2	37,4	25,5	40,1	10,6	42,2
10:30	103,8	26,2	21,5	27	4	13,9	35,8	24,5	43,5	11,4	44,9
11:00	112,6	28,4	21,8	27,3	4,2	14,6	37,5	25,8	40,3	14,2	43,1
11:30	114,3	32,9	21,8	27,3	4,5	14,9	42,8	29,7	44,4	16,1	47,2
12:00	113,1	34,8	22,2	27,7	5,1	15,2	45,9	32,1	45,7	16,8	48,8
12:30	114,3	35,9	21,7	27,2	5,3	15,4	48,8	33,6	58,2	22,8	62
13:00	114,8	37,3	21,1	26,6	4,8	15,4	50,3	34,3	51,5	22,7	52,6
13:30	113,8	37,2	21,3	26,8	4,3	15,7	51,2	34,9	54,2	21,3	56,3
14:00	114,7	37,8	21,4	26,9	4,6	15,8	51,1	34,9	53,1	21	55,8
14:30	112,6	37	21,3	26,8	4,5	15,9	49,8	34,5	50,2	22,8	52,4
15:00	112,7	37,3	21,3	26,8	4,2	16	48,8	33,7	50,5	22	52,5
15:30	112,1	34,4	21,1	26,6	2,3	15,9	45,5	31,8	47,1	22	47,7
16:00	112,8	33,5	21,3	26,8	2,4	15,9	44,6	31,3	39,1	15,1	38,1

T_{17}	$\dot{m}_2$	$\dot{m}_3$	P_{sis}	P_1	P_2	I	COP_{sis}	η_a
25,8	120	0,127	900	1050	090	669,1	1,85	0,23
25,7	120	0,127	925	1100	100	808	1,72	0,27
25,8	120	0,127	930	1100	105	899	1,63	0,26
25,9	120	0,127	940	1100	110	947	1,53	0,28
27,7	120	0,127	940	1100	110	971	1,73	0,28
29,8	120	0,127	940	1100	110	980	1,98	0,28
29,8	120	0,127	950	1110	115	968	1,93	0,28
29,6	120	0,127	950	1110	115	933	1,90	0,27
29,6	120	0,127	950	1110	115	876	1,86	0,27
29,8	120	0,127	950	1110	115	803	1,88	0,26
29,8	120	0,127	950	1110	115	713	1,86	0,24
29,8	120	0,127	950	1115	115	597,2	1,85	0,21
29,8	120	0,127	950	1110	115	462,9	1,86	0,20
29,8	120	0,127	950	1110	115	302	1,86	0,18

Tablo 9.6. Güneş + Hava Kaynaklı 18.01.2003 (2)

SAATLER	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₇	T ₈	T ₁₆	T ₁₅	T ₉	T ₁₀	T ₁₃	T ₁₄	T ₂₀
09:00	73,5	10,7	9	16,5	5,8	-5,3	1,2	9,1	17,2	11,3	18,3	2,5	19,8
09:30	112,1	10,7	8,8	26,9	5,6	-6,2	1,1	10,4	27,6	20,3	28,7	5,1	30,3
10:00	123,5	12,5	9,2	33,5	5,9	-4,1	1,1	11	36,7	26,9	38,2	9	40,1
10:30	125,7	15,4	9,2	40,5	5,9	-4,4	1	11,4	42,4	32,3	44,3	15,5	46,4
11:00	127,6	17,6	9,2	47,2	5,8	-4,5	0,4	11,6	48,4	37,4	51,4	19,1	54,3
11:30	127,8	19,2	9,2	47,5	5,8	-4,6	0	11,9	48,7	37,5	51,7	23,9	54,8
12:00	128,2	21,1	9,1	49	5,7	-4,6	0	12,1	50,3	38,5	53,8	25,9	57,2
12:30	130,1	22,7	9,1	49,7	5,5	-4,8	-0,4	12,3	50,9	38,8	54,5	29	57,5
13:00	130,4	22,3	9,2	49,9	5,3	-4,8	-0,5	12,4	51,1	39,3	54,6	29,1	57,5
13:30	130,6	23	9	50	5,3	-5	-0,8	12,4	51	39,6	54,6	29,1	57,6
14:00	130,6	23,4	8,5	50,7	5,2	-4,3	0,3	12,4	51,8	39,8	55,1	28,7	55,9
14:30	131,1	23,5	8,3	48,9	5,1	-4,2	0,2	12,5	49,4	37,8	51,2	25,2	53,8
15:00	131,3	22,4	7,9	48,5	4,9	-4,1	0,5	12,5	49,6	37,9	51,3	21,5	54,4
15:30	131,6	20,3	7,8	43,3	4,6	-4,1	0,5	12,5	45,5	34,5	47,2	17,8	48,8
16:00	132	20,8	7,7	38,8	4,2	-4,2	0,4	12,5	39,7	29,6	41,1	15,6	42,5
16:30	131,9	18,6	7,5	31,7	4,1	-4,4	0,1	12,5	32,6	24,2	33,3	12,4	33,7

T_{17}	P_{sis}	P_1	P_2	$\dot{m}_2$	$\dot{m}_3$	I	COP_{sis}	η_a
28,1	1160	1140	165	120	0,217	140,8	3,57	0,10
29,2	1170	1170	195	120	0,217	283,6	3,50	0,19
29,5	1180	1180	200	120	0,217	510	3,41	0,29
30,3	1190	1190	205	120	0,217	546,5	3,46	0,29
30,5	1190	1200	205	120	0,217	402,4	3,46	0,28
30,8	1190	1180	205	120	0,217	552,3	3,46	0,26
31,2	1190	1180	205	120	0,217	704	3,49	0,28
31,2	1190	1180	205	120	0,217	856	3,46	0,25
31,2	1200	1200	210	120	0,217	795	3,41	0,25
31,2	1200	1200	210	120	0,217	854	3,41	0,25
31,2	1190	1170	205	120	0,217	674,7	3,44	0,27
31,2	1190	1160	205	120	0,217	404,4	3,42	0,26
30,8	1180	1150	200	120	0,217	541,4	3,38	0,25
30,6	1170	1140	195	120	0,217	433,3	3,37	0,16
30,5	1170	1140	195	120	0,217	299,3	3,35	--
30,3	1170	1140	195	120	0,217	82,4	3,31	--

Tablo 9.7. Güneş + Toprak Kaynaklı 27.01.2003

SAATLER	T ₁	T ₂	T ₅	T ₆	T ₁₁	T ₁₂	T ₁₈	T ₁₉	T ₃	T ₄	T ₉	T ₁₀	T ₁₃
09:00	52,3	23,1	-1,5	-1,4	3,9	-1,8	6,1	2,1	11	45,2	48,9	35,7	34,3
09:30	89,2	24,2	-2,2	-1,7	4,2	-1,9	6,1	1,8	10,7	41,6	45,4	32,3	49,5
10:00	100,8	19,4	-2,1	-1,7	4,2	-1,9	6,1	1,5	10,6	31,5	35,1	24,7	40,1
10:30	100,2	19,4	-2,2	-1,8	4,2	-1,9	6,1	1,3	10,5	31,2	34,7	24,1	36,4
11:00	98,3	18,8	-2,2	-1,8	4,2	-1,9	6,1	1,2	10,5	30,3	32,8	22,1	31,8
11:30	98,4	18,7	-2,2	-1,8	4,2	-1,9	6,1	1,1	10,5	29,5	31,7	20,8	34,8
12:00	98,8	17,9	-2,2	-1,8	4,2	-1,9	6,1	1,1	10,5	28,4	30,5	19,7	33,2
12:30	98,9	17	-2,2	-1,8	4,2	-2	6,1	1,1	10,5	27,6	29,2	19,3	33
13:00	98,1	16,8	-2,2	-1,8	4,2	-2	6,1	1	10,5	25,7	27,9	18,7	30,8
13:30	97,4	16,2	-2,5	-1,5	4,2	-2	6,1	1	10,5	24,7	26,6	19,3	29,2
14:00	97,2	15,7	-2,7	-1,5	4,2	-2,1	6,1	1	10,4	22,6	24,9	16,9	17,7
14:30	97,3	15,2	-2,6	-1,4	4,1	-2,1	6,1	0,9	10,3	22	23,5	17,4	18,2
15:00	97,2	14,5	-2,6	-1,4	4,1	-2,2	6,1	0,9	10,1	21,1	22,6	15,8	14,6

T ₁₄	T ₂₀	T ₁₅	T ₁₆	T ₁₇	P _{sis}	P ₁	P ₂	m ₁	m ₃	m ₂	I	COP _{sis}	η_a
0,3	35,3	13,3	-4,9	27,1	1125	1120	140	100	0,227	120	532,6	2,79	0,23
2,3	52,1	14,9	-4,1	29,2	1140	1130	170	100	0,227	120	627,9	2,86	0,26
2,1	40,8	15,4	-3,4	29,3	1140	1130	170	100	0,227	120	760	2,78	0,18
2,2	38,7	16	-2,3	29,3	1140	1130	170	100	0,227	120	440,8	2,66	0,25
2,1	33,2	16,3	-1,6	29,4	1140	1130	170	100	0,227	120	201,1	2,62	0,20
2,3	36,1	16,4	-0,2	29,4	1140	1120	170	100	0,227	120	344,4	2,60	0,22
2,2	35,3	16,5	-0,4	29,4	1125	1110	170	100	0,227	120	643,2	2,61	0,22
2,2	34,6	16,6	-0,5	29,4	1125	1100	170	100	0,227	120	222,8	2,59	0,19
1,9	32,2	16,6	-0,1	29,4	1125	1100	170	100	0,227	120	201,3	2,59	0,19
1,8	31,8	16,6	0,6	29,4	1120	1100	165	100	0,227	120	115,5	2,60	0,19
1,5	17,5	16,6	-0,3	29,5	1120	1100	165	100	0,227	120	137,8	2,62	0,18
1,6	18,4	16,5	-0,1	29,5	1120	1100	165	100	0,227	120	72,1	2,64	--
1,1	12,3	16,6	0,3	29,5	1120	1100	165	100	0,227	120	74,2	2,62	--

Tablo 9.8. Hava Kaynaklı 29.01.2003

SAATLER	T ₁	T ₂	T ₇	T ₈	T ₁₆	T ₁₅	T ₁₇	P _{sis}	P ₁	P ₂	m ₃	COP _{sis}
09:30	41	7,4	1,7	2,4	1,2	12,6	26,4	875	1000	50	0,087	1,37
10:00	84,4	9,8	1,1	2,2	1,8	15,2	26,7	875	1010	80	0,087	1,14
10:30	112,8	10,3	1,3	2,1	1,1	15,4	28,6	890	1120	90	0,087	1,29
11:00	126,4	10,5	1,3	2	0,9	15,5	29,3	910	1130	95	0,087	1,32
11:30	129,7	10,6	1,5	1,9	0,4	15,5	30,2	910	1130	95	0,087	1,41
12:00	131,7	11,4	1,6	1,9	0,7	15,5	29,3	910	1130	95	0,087	1,32
12:30	133,4	11,5	1,6	2	0,8	15,6	29,4	910	1130	95	0,087	1,32
13:00	135,9	11,7	1,6	2,1	1,6	15,7	29,5	910	1130	95	0,087	1,32
13:30	137,3	11,6	1,6	2	1	15,9	29,5	910	1120	95	0,087	1,30
14:00	138,8	11,6	0,5	0,7	0,2	16	29,6	910	1120	95	0,087	1,30
14:30	143,6	11,3	0,5	0,9	0,7	16,1	29,6	910	1120	95	0,087	1,29
15:00	142,9	11,4	0,6	1,1	0,9	16,1	29,8	910	1130	95	0,087	1,31
15:30	143,1	11,4	-0,2	0,1	0,6	16	29,8	910	1110	95	0,087	1,32
16:00	143,7	10,7	-0,5	-0,3	-0,4	16	29,6	900	1110	95	0,087	1,32
16:30	141,3	10,7	-0,5	-0,2	-0,4	16	29,6	900	1110	95	0,087	1,32
17:00	141,7	10,7	-0,6	-0,3	-0,4	16	29,6	900	1105	95	0,087	1,32
17:30	142,1	10,7	-0,6	-0,3	-0,5	16,1	29,6	900	1105	95	0,087	1,31
18:00	142,1	10,7	-0,6	-0,2	-0,4	16,1	29,3	890	1090	90	0,087	1,29
18:30	142,2	10,7	-0,6	-0,3	-0,3	16,1	29,1	890	1080	90	0,087	1,27

Tablo 9.9. Toprak Kaynaklı 08.01.2003

SAATLER	T ₁	T ₂	T ₅	T ₆	T ₁₆	T ₁₅	T ₁₁	T ₁₂	T ₁₈	T ₁₉	T ₁₇	m ₃	P _{sis}	P ₁	P ₂	m ₁	COP _{sis}
12:00	67,4	6,6	-5,9	6,6	4,8	13,7	4,3	-0,4	6,1	2,5	26,4	0,113	900	1080	115	100	1,61
12:30	105,3	-2,5	-6,2	-2,5	4,5	14,5	4,5	-1	6,1	2,3	29,8	0,113	1040	1120	140	100	1,68
13:00	111,4	-3,2	-6,3	-3,2	4,4	14,9	4,4	-1,1	6,1	2,3	30,3	0,113	1060	1150	140	100	1,65
13:30	115,7	-4,4	-6,4	-4,4	3,7	15,2	4,4	-1,1	6,1	2,3	30,8	0,113	1070	1160	145	100	1,66
14:00	117,2	-5,1	-6,4	-5,1	4,3	15,4	4,4	-1,1	6,1	2,2	31,1	0,113	1070	1170	145	100	1,67
14:30	117,3	-5,5	-6,5	-5,5	4,1	15,5	4,4	-1,1	6,1	2,2	31,2	0,113	1080	1170	145	100	1,66
15:00	117,3	-5,8	-6,4	-5,8	3,8	15,5	4,4	-1,1	6,1	2,2	31,2	0,113	1080	1160	145	100	1,66
15:30	117,1	-5,8	-6,4	-5,8	4	15,5	4,3	-1,2	6,1	2,1	31,2	0,113	1080	1160	145	100	1,66
16:00	116,8	-6,4	-6,9	-6,4	3,2	15,5	4,3	-1,2	6,1	2,1	31,2	0,113	1080	1160	145	100	1,66
16:30	116,5	-6,5	-7	-6,5	2,6	15,5	4,3	-1,2	6,1	2,1	31,1	0,113	1070	1150	140	100	1,66
17:00	116,5	-6,6	-7,1	-6,6	1,8	15,4	4,3	-1,2	6,1	2,1	30,8	0,113	1060	1150	140	100	1,65

Tablo 9.10. Toprak + Hava Kaynaklı 14.01.2003

SAATLER	T ₁	T ₂	T ₅	T ₆	T ₁₁	T ₁₂	T ₁₈	T ₁₉	T ₇	T ₈	T ₁₅	T ₁₆
14:00	74,7	6,2	4,8	8,1	4,3	-0,6	6,2	2,5	4,6	7,5	14,3	3,2
14:30	97,4	6,7	4,6	2,2	4,6	-0,9	6,2	2,2	4,4	7,8	16	3,4
15:00	100,1	7,1	4,6	2,2	4,6	-0,9	6,2	2	4,3	7,5	16,4	3,2
15:30	103,8	7,2	4,5	2,1	4,6	-0,9	6,2	2	4,3	7	16,7	3,2
16:00	105,5	7,2	4,5	2,2	4,6	-0,9	6,2	2	4,3	6,9	16,8	3,5
16:30	105,7	7,2	4,5	2,2	4,6	-0,9	6,2	1,9	4,3	6,5	16,9	3,3
17:00	105,7	7,2	4,5	2,2	4,6	-0,9	6,2	1,9	4,3	6,5	16,9	2,9
17:30	106,2	7,1	4,5	2,1	4,6	-0,9	6,2	1,9	4,2	6,5	16,9	2,9

T ₁₇	P _{sis}	P ₁	P ₂	$\dot{m}_1$	$\dot{m}_3$	COP _{sis}
25,6	1140	1120	160	100	0,175	1,74
27,6	1160	1120	170	100	0,175	1,76
28,7	1175	1130	175	100	0,175	1,84
28,7	1175	1130	175	100	0,175	1,80
28,7	1175	1130	175	100	0,175	1,78
28,7	1175	1130	175	100	0,175	1,77
28,8	1175	1130	175	100	0,175	1,78
28,8	1175	1130	175	100	0,175	1,78

Tablo 9.11. Güneş Kaynaklı 17.02.2003 (3)

SAATLER	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₁₆	T ₁₅	T ₉	T ₁₀	T ₁₃	T ₁₄	T ₂₀	T ₁₇
09:00	66,4	18,8	21,4	18,8	-6,8	9,6	32,4	22,6	35,2	6,1	36,3	23,3
09:30	116,1	27,1	21,7	27,1	-5,9	11,1	38,7	26,5	40,3	9,5	42,2	28,1
10:00	123,8	31,1	21,3	31,1	-4,7	11	43,9	31,4	45,8	11	48,3	28,7
10:30	136,5	36,4	21,8	36,4	-3,5	11,6	52,6	39,5	50,4	11,9	52,9	29,3
11:00	142,4	42,7	21,2	42,7	-3,3	12,2	62,8	45,7	64,1	13,1	67,4	29,5
11:30	142,9	48,1	21,1	48,1	-1,7	12,6	67,9	50,2	68,2	14,3	71,7	29,5
12:00	141,4	43,9	21	43,9	-3,5	12,5	63,3	45,9	57,8	11,6	60,5	29,5
12:30	138,2	42,5	21,7	42,5	-2,7	12,5	61,5	46,2	57,4	11,8	60,4	29,6
13:00	136,3	41,6	21,4	41,6	-2,4	12,5	59,1	44,7	55,4	15,1	58,3	29,6
13:30	139,8	41,6	20,5	41,6	-2,6	12,5	57,9	42,8	54,4	13,5	57,6	29,6
14:00	137,5	40,1	20,1	40,1	-1,7	12,5	56,3	42,4	53,7	12,1	55,8	29,5
14:30	138,7	38,6	20	38,6	-1,2	12,5	54,6	39,8	52,8	12,2	54,7	29,5
15:00	138,5	37,8	20,1	37,8	-2,3	12,5	52,7	38,7	50,1	13,4	52	29,5
15:30	141,8	36,4	21,2	36,4	-3,2	12,5	49,8	36,8	31,6	8,9	32,1	29,9
16:00	135,4	34	21,5	34	-5,7	12,4	45,6	32,5	22,4	5,8	17,7	32,1

$\dot{m}_2$	$\dot{m}_3$	P_{sis}	P_1	P_2	I	COP_{sis}	η_a
120	0,137	800	1000	50	686.7	2,35	0,31
120	0,137	950	1040	95	825	2,46	0,31
120	0,137	960	1050	100	927	2,53	0,31
120	0,137	975	1060	110	978	2,49	0,33
120	0,137	960	1060	115	1021	2,48	0,41
120	0,137	950	1060	110	1032	2,44	0,43
120	0,137	940	1050	110	1082	2,48	0,45
120	0,137	950	1070	110	1099	2,47	0,46
120	0,137	950	1070	110	427.3	2,47	0,39
120	0,137	950	1060	110	529	2,47	0,38
120	0,137	940	1030	110	716	2,48	0,38
120	0,137	940	1030	110	702	2,48	0,38
120	0,137	925	1030	110	608.3	2,52	0,37
120	0,137	930	1080	115	547	2,57	0,37
120	0,137	930	1080	115	370	2,91	0,33

Tablo 9.12. Güneş + Hava Kaynaklı 27.02.2003 (4)

SAATLER	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₇	T ₈	T ₁₆	T ₁₅	T ₉	T ₁₀	T ₁₃	T ₁₄	T ₂₀	T ₁₇
09:00	68,6	11,3	8,7	16,8	4,8	-5,5	1,3	9,3	18,5	12,2	21,2	2,2	21,8	27
09:30	111,6	11,1	8,3	27,1	5,2	-6,5	1,2	10,6	28,2	21,7	29,7	4,8	30,9	28,2
10:00	122,2	13,8	9,2	33,2	5,3	-4	1,1	11,1	35,2	28	37,6	8,7	39,8	29,5
10:30	126,1	16,2	9	39,5	5,4	-4,6	1	11,5	41,3	33,4	44,3	15,1	46,4	30,2
11:00	128,8	18,6	9,1	47,1	5,4	-4,4	0,4	11,8	48,5	39,4	51,4	18,7	54,3	30,3
11:30	129,4	20,3	9	52,2	5,2	-4,1	0	12,1	54	43,1	57,9	23,4	61,8	30,7
12:00	129,9	22,5	9,1	58,3	5,1	-4,8	-2	12,2	60,1	49,3	63,8	25,6	67,5	30,8
12:30	132,7	23,4	9	62,4	5,1	-3,9	-2,2	12,4	63,5	51,1	68,6	28,4	72,5	30,8
13:00	133,2	23,6	9,1	62,5	5,1	-4,2	-1,2	12,8	63,7	51,5	68,9	28,5	72,7	30,7
13:30	133,8	23,8	9,2	63,9	5,1	-4,2	-1,5	13	63,9	52	69,3	28,5	73,1	30,7
14:00	133,1	24,4	8,8	64,4	5,1	-4,8	1,5	13,1	65,1	53,6	67,2	28,1	70,3	30,6
14:30	131,5	24	8,5	60,7	5,2	-5	3,3	13,1	62,1	50,7	65,2	23,7	67,1	30,5
15:00	133,2	23,1	8,5	55,5	5,3	-5,2	2,7	12,8	58,9	48,5	62,1	21,1	64	30
15:30	134,3	21,9	8,5	53,3	5,5	-6,6	1,7	12,5	55,5	46,5	57,4	17,6	59,3	29,6
16:00	134,2	20,8	8,6	51,4	5,9	-6,6	2	12,2	53,2	43,4	43,6	15,4	44,4	29,5
16:30	133,6	18,9	8,4	48,8	5,8	-7,6	0,5	12	50,3	41,3	34,6	14,2	34,5	29,2
17:00	134,4	18,2	8,5	46,1	5,4	-8,7	0,4	12	47,5	36,7	21,2	8,6	20,1	29
17:30	131,5	17,3	8,6	42,9	5,5	-8,6	0,7	12	44,2	33	12,2	5,4	8,3	29

P_{sis}	P_1	P_2	$\dot{m}_2$	$\dot{m}_3$	I	COP_{sis}	η_a
1180	1140	170	120	0,217	761	3,27	0,21
1190	1170	200	120	0,217	870	3,22	0,24
1200	1180	205	120	0,217	961	3,34	0,25
1210	1190	210	120	0,217	1033	3,37	0,24
1210	1200	210	120	0,217	1085	3,33	0,25
1210	1180	210	120	0,217	1112	3,35	0,26
1210	1180	210	120	0,217	1123	3,35	0,28
1210	1180	210	120	0,217	1118	3,31	0,30
1210	1200	215	120	0,217	1080	3,22	0,31
1210	1200	215	120	0,217	1019	3,19	0,33
1200	1170	210	120	0,217	936	3,18	0,35
1200	1160	210	120	0,217	837	3,16	0,33
1190	1150	205	120	0,217	715	3,15	0,32
1180	1140	200	120	0,217	575,2	3,16	0,30
1180	1140	200	120	0,217	426,6	3,19	0,28
1170	1140	200	120	0,217	275	3,20	0,24
1190	1200	205	120	0,217	111	3,11	0,11
1200	1220	210	120	0,217	0,387	3,08	--

Tablo 9.13. Güneş + Toprak Kaynaklı 10.02.2003 (5)

SAATLER	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	T ₁₀	T ₁₁	T ₁₂	T ₁₃	T ₁₄	T ₁₅	T ₁₆
09:00	75,2	17,6	1,5	3	3,5	-1,8	4,2	1,5	10,3	25,7	26,9	18,7	17,5	0,4	17,9	-2,8
09:30	104,3	20,1	1,4	3	3,4	-1,9	4,2	1,3	13,4	28,1	28,3	20,6	33,6	1,5	35,1	-1,8
10:00	113,8	19,3	1,1	3,1	3,4	-1,8	4,2	1,1	12,7	29,9	30,6	21,1	36,1	2,3	38,7	-1,7
10:30	115,7	19,8	1,2	2,5	3,4	-1,8	4,2	1	12,7	31,2	32,2	22	37,2	2,5	39,8	-0,8
11:00	114,6	19,9	1,3	2,6	3,4	-1,8	4,2	1	12,7	33,2	34,7	24,1	41,7	3,9	43,9	-0,8
11:30	114,9	20,1	1,5	2,7	3,4	-1,8	4,2	0,9	12,8	34,1	36,2	25,3	42,9	4	45,6	0,6
12:00	115,5	20,2	1,5	2,7	3,3	-1,9	4,2	0,9	12,8	35,3	38,8	28,6	45,4	4,9	48,8	1,4
12:30	115,7	20,2	1,5	2,7	3,3	-2	4,2	0,8	12,9	35,4	37,6	25,7	44,6	4,7	47,3	1,3
13:00	115,1	20	1,5	2,6	3,3	-2,1	4,2	0,8	13	35,5	36,7	24,8	41,1	3,8	40,6	2
13:30	114,6	19,3	1,3	2,6	3,3	-2,2	4,2	0,8	12,9	32,1	34,1	23,7	40,2	3,7	42,1	-1,8
14:00	114,2	18,5	1,1	2,4	3,3	-2,2	4,2	0,7	12,8	30	31,8	21,8	35,5	3,2	37,5	-2,3
14:30	113,7	17,2	1,1	2,4	3,3	-2,4	4,2	0,7	12,7	25,7	26,8	18,6	28,2	2,6	29,1	-1,6
15:00	113,5	16,3	1	2,3	3,3	-2,4	4,2	0,7	12,5	21,7	22,5	15,4	23,4	1,8	24	-1,9
15:30	112,8	15,4	0,9	2,3	3,3	-2,5	4,2	0,6	12,4	17,5	18,1	12,3	18	1,5	17,7	-2,2

T ₁₇	P _{sis}	P ₁	P ₂	$\dot{m}_1$	$\dot{m}_2$	$\dot{m}_3$	I	COP _{sis}	η_a
24,8	1150	1120	160	100	120	0,227	41,4	3,17	0,35
27,2	1175	1130	180	100	120	0,227	812	3,22	0,33
28,9	1175	1140	185	100	120	0,227	767	3,41	0,37
29,4	1175	1140	185	100	120	0,227	999	3,45	0,35
29,5	1175	1140	185	100	120	0,227	949	3,47	0,31
29,5	1175	1150	185	100	120	0,227	1062	3,37	0,32
29,5	1180	1150	190	100	120	0,227	1047	3,32	0,33
29,5	1175	1150	190	100	120	0,227	997	3,32	0,33
29,6	1150	1140	185	100	120	0,227	801	3,39	0,31
29,5	1150	1140	180	100	120	0,227	593,4	3,37	0,29
28,6	1150	1130	180	100	120	0,227	523,3	3,19	0,29
28,8	1150	1130	180	100	120	0,227	335,5	3,21	0,25
29,2	1125	1130	180	100	120	0,227	116	3,38	--
29,6	1125	1130	170	100	120	0,227	235	3,48	--

Tablo 9.14. Hava Kaynaklı 09.02.2003

SAATLER	T ₁	T ₂	T ₇	T ₈	T ₁₆	T ₁₅	T ₁₇	P _{sis}	P ₁	P ₂	$\dot{m}_3$	COP _{sis}
09:00	63,7	7,5	1,7	2,8	1,5	12,2	26,7	925	1090	90	0,093	1,47
09:30	115,7	9,1	1,7	3,2	2,4	12,8	30,4	960	1130	105	0,093	1,72
10:00	131,9	9	1,9	3,3	2,5	13,4	31,2	990	1150	110	0,093	1,69
10:30	138,8	11,1	2,1	3,5	2,9	13,9	32,2	1020	1155	110	0,093	1,68
11:00	138,7	11,2	2,1	3,9	3,3	14,3	32,3	1020	1160	120	0,093	1,66
11:30	139,2	11,7	2,3	4,2	3,2	14,6	32,3	1020	1160	120	0,093	1,63
12:00	141,2	12,8	2,5	4,6	3,9	14,7	32,4	1020	1160	120	0,093	1,63
12:30	140,4	13,4	2,7	5,4	4,3	14,8	32,4	1020	1160	120	0,093	1,62
13:00	140,4	13,3	2,8	5,7	4,4	14,9	32,5	1030	1165	125	0,093	1,60
13:30	142,5	13,2	2,6	5,3	5,2	14,9	32,5	1030	1170	130	0,093	1,60
14:00	142,9	12,7	2,5	5,5	5,3	14,9	32,5	1020	1165	135	0,093	1,62
14:30	143,3	11,6	2,7	6,1	5,8	14,9	32,4	1020	1165	135	0,093	1,61
15:00	142,4	10,4	2,7	6	5,4	14,9	32,1	1020	1160	135	0,093	1,58

Tablo 9.15. Hava + Toprak Kaynaklı 04.02.2003

SAATLER	T ₁	T ₂	T ₅	T ₆	T ₁₁	T ₁₂	T ₁₈	T ₁₉	T ₇	T ₈	T ₁₅	T ₁₆
10:00	74,6	5,8	0,4	1,3	3,8	-2,3	5,9	1,6	0,6	-0,8	12,7	2,1
10:30	109,5	6,5	0,5	1,2	3,3	-2,7	5,9	1,5	1,3	-1,7	15,1	2,5
11:00	116,3	7	1,2	3,1	3,3	-2,8	5,9	1,3	1,5	-2,3	15,5	2,2
11:30	120,1	7,1	1,3	3	3,3	-2,8	5,9	1,2	1,9	-3,3	15,7	2,6
12:00	116,5	6,2	1,4	3,1	3,2	-2,8	5,9	1,2	1,8	-4,8	15,8	2,5
12:30	115,2	5,9	1,4	3,2	3,2	-2,8	5,9	1,2	1,9	-5,7	15,8	3,1
13:00	114,6	5,4	1,4	3,2	3,2	-2,8	5,9	1,2	1,8	-6,6	15,7	3,2
13:30	115,7	5,1	1,5	3,3	3,1	-2,7	5,9	1,2	1,7	-9,9	15,7	3,7
14:00	115,5	4,8	1,5	3,3	3,1	-2,7	5,9	1,1	1,5	-15,7	15,7	4,1
14:30	115,4	4,6	1,5	3,3	3,1	-2,7	5,9	1,1	1,2	-17,1	15,7	4,8
15:00	115,7	4,3	1,5	3,3	3,1	-2,7	5,9	1,1	0,8	-18,3	15,7	4,4
15:30	115,1	2,7	1,4	3,4	3	-2,6	5,9	1,1	0,6	-18,4	15,6	4,1
16:00	114,3	2,2	1,4	3,4	3	-2,6	5,9	1,1	0,1	-18,7	15,6	4,2

T ₁₇	P _{sis}	P ₁	P ₂	$\dot{m}_1$	$\dot{m}_3$	COP _{sis}
30,3	1350	1220	240	100	0,17	2,23
32,2	1375	1310	265	100	0,17	2,12
32,8	1390	1320	275	100	0,17	2,13
32,8	1400	1330	275	100	0,17	2,09
32,7	1400	1330	270	100	0,17	2,06
32,5	1375	1320	270	100	0,17	2,08
32,3	1350	1310	265	100	0,17	2,10
32,2	1340	1300	260	100	0,17	2,10
31,8	1330	1280	255	100	0,17	2,07
31,5	1320	1270	250	100	0,17	2,05
31,1	1320	1260	240	100	0,17	1,99
30,9	1310	1250	230	100	0,17	2,00
30,6	1300	1250	230	100	0,17	1,97

Tablo 9.16. Toprak Kaynaklı 23.02.2003

SAATLER	T ₁	T ₂	T ₅	T ₆	T ₁₁	T ₁₂	T ₁₈	T ₁₉	T ₁₅	T ₁₆	T ₁₇	P _{sis}	P ₁	P ₂	$\dot{m}_1$	$\dot{m}_3$	COP _{sis}
10:00	75,4	1,4	0,5	1,4	2,9	0,1	4,2	1	8,4	-3,7	29,3	1010	1130	120	100	0,113	2,36
10:30	108,7	-4,6	2,6	-4,6	2,7	-4	4,2	0,9	9,3	-3,5	29,7	1020	1130	135	100	0,113	2,28
11:00	115,6	-11,5	2,4	-11,5	2,6	-4,5	4,2	0,7	10	-2,6	29,8	1040	1140	135	100	0,113	2,17
11:30	120,4	-11,7	2,3	-11,7	2,6	-4,6	4,2	0,7	10,2	-2,7	29,8	1050	1150	140	100	0,113	2,13
12:00	122,3	-12,4	2,4	-12,4	2,6	-4,7	4,2	0,7	10,4	-3,2	29,8	1050	1160	140	100	0,113	2,10
12:30	122,8	-12,8	2,4	-12,8	2,6	-4,7	4,2	0,6	10,5	-2,8	30,5	1060	1150	140	100	0,113	2,15
13:00	122,3	-13,3	2,2	-13,3	2,5	-4,8	4,2	0,6	10,6	-3	30,5	1060	1150	140	100	0,113	2,14
13:30	121,5	-13,4	1,3	-13,4	2,5	-4,8	4,2	0,6	10,6	-2,7	30,6	1060	1150	140	100	0,113	2,15
14:00	119,3	-12,7	1,1	-12,7	2,5	-4,9	4,2	0,6	10,6	-2,2	30,5	1060	1150	140	100	0,113	2,14
14:30	118,8	-12,9	0,9	-12,9	2,5	-4,9	4,2	0,5	10,7	-1,8	30,5	1040	1140	135	100	0,113	2,17
15:00	117,4	-12,8	0,7	-12,8	2,4	-4,9	4,2	0,5	10,6	-2,8	30,3	1040	1140	135	100	0,113	2,16
15:30	117,2	-12,8	0	-12,8	2,4	-4,9	4,2	0,5	10,6	-3,3	29,9	1030	1130	130	100	0,113	2,13
16:00	116,1	-12,9	-0,4	-12,9	2,4	-4,9	4,2	0,5	10,6	-4,2	29,9	1030	1130	130	100	0,113	2,13

Tablo 9.17. Güneş Kaynaklı 21.03.2003

SAATLER	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₉	T ₁₀	T ₁₃	T ₁₄	T ₁₅	T ₁₆	T ₂₀	T ₁₇	$\dot{m}_2$	$\dot{m}_3$	P _{sis}	P ₁	P ₂	I	COP _{sis}	η_a
08:00	62,2	45,5	27,6	45,5	47,2	34,3	27,6	10,6	12,8	0,8	28,1	28,2	140	0,137	900	1140	80	533,4	2,35	0,26
08:30	136,4	41,2	26,8	41,2	43,8	33,3	35,8	13,3	14,9	1,1	36,9	32,3	140	0,137	1000	1100	1,40	662,7	2,39	0,28
09:00	141,1	43,9	26,6	43,9	44,9	33,1	46,7	17,4	15,6	1,7	48,3	31,7	140	0,137	1000	1100	140	785	2,21	0,31
09:30	146,3	48,6	27,1	48,6	52,2	38,9	54,9	16,9	15,6	2,4	57,2	33,1	140	0,137	1030	11,40	150	868	2,33	0,37
10:00	148,4	54,1	27,3	54,1	55,8	42,8	58,6	17,1	15,8	2,9	60,3	33,6	140	0,137	1000	1150	150	979	2,44	0,36
10:30	147,7	61,1	24,2	61,1	61,1	46,2	64,9	17,8	16	3	68	30,2	140	0,137	1000	1160	150	1072	1,95	0,37
11:00	148,2	61,4	24,6	61,4	66	51,1	70,2	20,4	16,3	3,8	74,3	29,3	140	0,137	1000	1180	145	1147	1,79	0,37
11:30	151,2	52,3	27,7	52,3	56,1	43,3	58,8	14,4	16,3	3,8	61,7	29,3	140	0,137	1000	1160	145	542,3	1,79	0,29
12:00	150,5	48,9	28,3	48,9	52,2	39,2	54,7	15,2	16,4	3,2	57,2	29,3	140	0,137	1000	1140	140	300,5	1,77	0,28
12:30	149,8	46,4	27,3	46,4	48,5	36,7	50,9	19,4	16,4	3,3	52,8	28,6	140	0,137	1000	1135	140	289,9	1,68	0,27
13:00	147,3	42,4	23,3	42,4	44,7	32,5	44,9	20,2	16,4	3,9	45,2	28,5	140	0,137	990	1120	135	377,2	1,68	0,29
13:30	148,8	40,1	23,6	40,1	43,1	31,8	44,6	14,3	16,4	4,2	47,6	28,7	140	0,137	990	1140	140	572,6	1,71	0,29
14:00	148,1	37,1	23,7	37,1	39	27,9	40,1	13,9	16,4	4,1	41,3	28,4	140	0,137	970	1140	140	371,4	1,70	0,28
14:30	145,8	35,3	23,7	35,3	37,7	26,5	38	14,6	16,4	4,2	40,8	28,8	140	0,137	1000	1130	140	384,4	1,70	0,28
15:00	148,2	32,6	23,1	32,6	34,6	24,3	34,2	12,2	16,4	4	35,7	28,8	140	0,137	1000	1120	135	391,6	1,70	0,27
15:30	147,5	27,8	23	27,8	30,3	20,4	28,7	12,7	16,3	3,7	29,6	28,3	140	0,137	990	1120	135	139,8	1,66	0,21
16:00	145,5	25,3	22,9	25,3	27	18,5	24,4	10,9	16,3	3,2	23,6	28,3	140	0,137	950	1100	120	275,3	1,73	0,22
16:30	141,7	22,3	21,6	22,3	24,8	15,9	18,5	10,4	16,3	2,6	14,8	28,1	140	0,137	950	1100	125	72,7	1,71	--
17:00	141,3	12,6	12,3	12,6	21,4	13,5	12,3	9,6	16,2	1,7	9,7	27,6	140	0,137	940	1110	120	23,39	1,67	--

Tablo 9.18. Güneş + Hava Kaynaklı 29.03.2003 (6)

SAATLER	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₇	T ₈	T ₁₅	T ₁₆	T ₉	T ₁₀	T ₁₃	T ₁₄	T ₁₇	T ₂₀
08:00	70,2	8,2	6,3	28,8	4,9	-7,6	11,1	0,4	28,2	19,1	22,3	8,6	27,6	29,7
08:30	101,7	10,8	8,4	31,2	4,1	-7,5	14,4	2,2	32,4	23,7	28,5	10,2	30,7	30,3
09:00	111,9	11,5	10,2	30,3	3,7	-6,4	14,8	2,3	32,1	23,5	33,1	11,2	30,9	35,5
09:30	114,2	10,9	10	29,4	2,9	-8,3	14,8	2,2	30,4	23	33	9,9	31,6	32,3
10:00	116,7	10,9	10	28,2	3,1	-7	14,8	3,4	29,1	22	34,1	10,4	32,1	35,2
10:30	116,8	11,6	10,3	29	3,4	-5,9	15,2	3,3	29,8	22,6	35,3	12,4	32,3	36,8
11:00	117,4	13,2	10,4	33,1	3,5	-5,1	15,3	4	35,4	25,7	38,2	13,5	32,4	40,9
11:30	118,2	14,8	10,6	37,3	3,6	-4,5	15,5	4,6	38,6	28,8	40,4	14,9	32,5	42,5
12:00	121,5	17,4	11,1	42,8	4,6	-3,1	15,6	5,1	44,8	33,7	46,7	15,2	32,6	49,9
12:30	123,6	18,6	11,1	45,4	4,5	-2,6	15,6	5,7	46,9	35,5	48,4	15,7	32,8	51,4
13:00	124,5	19,8	11,1	48,9	4,4	-2,1	15,8	6,4	50,7	37,8	50,3	16,4	32,8	52,7
13:30	128,1	18,9	11,1	45,5	4,4	-2,1	16	6,6	49,3	36,4	52,3	16,3	32,8	54,6
14:00	127,8	17,5	11,1	40,1	4,3	-2,4	16	6,7	43,1	32,5	39,8	16,4	32,8	35,4
14:30	127,4	17,5	10,9	39,8	4,2	-1,5	16,1	7	42,2	31,6	42,1	16,1	32,8	44,2
15:00	127,5	17,9	11	40,3	4,1	-0,2	16,2	7,1	43,3	32,7	38,7	16	32,8	37,8

P_{sis}	P_1	P_2	$\dot{m}_2$	$\dot{m}_3$	I	COP_{sis}	η_a
1200	1140	190	120	0,217	538,1	2,35	0,21
1240	1210	220	120	0,217	666,9	2,39	0,28
1270	1270	235	120	0,217	659,5	2,21	0,28
1270	1280	240	120	0,217	460,8	2,33	0,27
1270	1280	240	120	0,217	448,4	2,44	0,27
1270	1290	240	120	0,217	638,8	1,95	0,30
1280	1300	245	120	0,217	739	1,79	0,35
1290	1300	250	120	0,217	757	1,79	0,35
1300	1320	250	120	0,217	868	1,77	0,36
1300	1320	250	120	0,217	763	1,68	0,35
1300	1330	255	120	0,217	920	1,68	0,37
1300	1330	255	120	0,217	397	1,71	0,29
1300	1330	250	120	0,217	308,1	1,70	0,27
1300	1330	250	120	0,217	452	1,70	0,28
1300	1330	250	120	0,217	564,9	1,70	0,30

Tablo 9.19. Güneş + Toprak Kaynaklı 28.03.2003 (7)

SAATLER	T ₁	T ₂	T ₅	T ₆	T ₁₁	T ₁₂	T ₁₈	T ₁₉	T ₃	T ₄	T ₁₃	T ₁₄	T ₂₀
08:00	70	25,5	1,1	3,3	3,6	-2,9	5,5	2,2	13,5	51,1	24,6	11,1	43,2
08:30	112,1	27,1	1,3	3,3	3,5	-3,1	5,5	1,9	15,2	51,1	35,8	11,8	45,3
09:00	121,8	23	2,1	2,9	3	-3,5	5,5	1,7	16,1	43,3	46,7	15,9	47,4
09:30	122,3	26,8	1,8	2,8	2,9	-3,5	5,5	1,6	16,6	48,8	53,2	20,4	53,8
10:00	128,2	28,5	2,2	2,9	2,9	-3,5	5,5	1,4	16,8	52,7	59,8	23,6	59,7
10:30	130,8	31	2,3	3,2	2,8	-3,7	5,5	1,3	16,4	56,8	64,3	25,5	64,2
11:00	133,3	31,5	2,3	3,2	2,8	-3,8	5,5	1,2	16,4	59,8	67,8	25,8	67,9
11:30	134,6	33,5	2,1	2,8	2,8	-3,8	5,5	1,2	16,4	63,4	70,3	28,6	71,8
12:00	135,7	34,4	2	2,6	2,8	-3,8	5,5	1,1	16,3	64,9	74,8	28,9	74,3
12:30	136,6	35,5	2	2,5	2,8	-3,8	5,5	1,1	16,3	66	76,9	30,1	77
13:00	134,4	35	2,2	2,7	2,8	-3,8	5,5	1,1	16,3	66,3	75,7	33,3	76,8
13:30	136,7	34,8	1,8	2,5	2,8	-3,8	5,5	1,1	16,3	65,2	74,4	30,4	76,5
14:00	135,1	34,3	1,8	2,5	2,8	-3,8	5,5	1,1	16,3	63,5	73,2	28,4	73,4
14:30	137	32,4	1,4	2,2	2,7	-4,4	5,5	1,1	16,2	63	69,5	25,8	70,2
15:00	134,5	31,5	1,4	2,2	2,7	-4,4	5,5	1	16,3	58,3	65,6	23,5	66,8
15:30	132,4	29,2	1,1	1,8	2,6	-4,4	5,5	1	16,1	55,2	61,8	19,9	62,4
16:00	132,5	27,5	1,1	1,8	2,5	-4,5	5,5	1	16,1	51,3	56,1	15	55,9
16:30	131,2	25,5	1	1,7	2,5	-4,5	5,5	1	16,2	42,2	38,7	7,2	43,1
17:00	130,7	23,4	0,6	1,3	2,4	-4,5	5,5	1	16,4	42,6	22,5	6,7	28,6
17:30	128,4	21,2	0,5	1,3	2,4	-4,5	5,5	1	16,7	39	4,8	3,2	15,2
18:00	127,7	19,6	0,6	0,5	2,4	-4,5	5,5	1	17,1	36,2	3,1	2,3	3,8

T ₉	T ₁₀	T ₁₅	T ₁₆	T ₁₇	P _{sis}	P ₁	P ₂	m ₁	m ₂	m ₃	I	COP _{sis}	η _a
54,1	37,2	11,8	-6,7	30,5	1200	1190	190	100	120	0,21	586	3,29	0,27
54,2	38,5	13,8	-5,6	32,3	1300	1270	220	100	120	0,21	712	3,00	0,29
44,8	30,1	14,6	-4,7	33,8	1310	1280	230	100	120	0,21	827	3,09	0,31
51,6	36,2	14,5	-3,3	34,3	1330	1310	260	100	120	0,21	922	3,14	0,32
56,6	39,5	15,1	-2,1	34,5	1340	1320	265	100	120	0,21	1003	3,06	0,35
60,1	43,6	15,3	-1,2	33,8	1350	1330	265	100	120	0,21	1067	2,89	0,36
63,7	47,1	15,8	-1,3	33,8	1350	1330	265	100	120	0,21	1110	2,81	0,37
67,6	49,2	15,9	-1,2	33,8	1350	1330	265	100	120	0,21	1141	2,80	0,38
70,1	51,1	15,9	-1,5	33,8	1350	1330	265	100	120	0,21	1133	2,80	0,41
72,7	53,3	15,9	2,2	33,7	1350	1330	270	100	120	0,21	1109	2,78	0,41
71,8	52,1	16,1	2,8	33,7	1360	1340	270	100	120	0,21	1070	2,73	0,42
70,6	51,3	16,1	3,2	33,8	1370	1350	270	100	120	0,21	1026	2,73	0,31
69,3	50,2	16,2	4,6	33,8	1370	1340	270	100	120	0,21	940	2,71	0,40
66,3	48,9	16,2	5,3	34,1	1360	1340	270	100	120	0,21	842	2,78	0,39
63,1	46,4	16,2	5,5	33,1	1360	1340	265	100	120	0,21	725	2,62	0,37
60	43,1	16,2	5,4	33,3	1350	1330	265	100	120	0,21	601,1	2,67	0,35
55,8	39,9	16,2	5,2	33,3	1350	1330	265	100	120	0,21	426,5	2,67	0,29
51,2	36,4	16,2	4,7	33,8	1340	1330	260	100	120	0,21	195,1	2,77	0,18
46	32,7	16,2	4,4	33,4	1340	1330	260	100	120	0,21	139,3	2,71	--
42,3	29,7	16,2	2,8	33,2	1340	1350	260	100	120	0,21	29	2,68	--
38,6	27	16,1	2,3	34,5	1330	1360	260	100	120	0,21	1,819	2,92	--

Tablo 9.20. Güneş + Toprak Kaynaklı 01.03.2003 (8)

SAATLER	T ₁	T ₂	T ₅	T ₆	T ₁₁	T ₁₂	T ₁₈	T ₁₉	T ₃	T ₄	T ₉	T ₁₀	T ₁₃	T ₁₄
10:00	69,3	29,8	1,7	3,2	4,1	-1,8	5,5	2,2	8,8	59,3	65,3	49,3	55,9	5,5
10:30	116,6	27,9	1,7	3,2	4,2	-1,9	5,5	1,9	11,9	50,1	53,9	43,5	56,5	9
11:00	129,1	29,2	1,6	3,3	4,2	-1,8	5,5	1,7	14	55,7	61,2	47,1	63,7	9,8
11:30	136,3	30	1,3	2,7	4,2	-1,8	5,5	1,5	13,5	58,8	63,1	50,4	66,2	13,1
12:00	135,4	31,1	1,5	2,9	4,2	-1,8	5,5	1,4	13	62,7	67	51,8	68,8	12,6
12:30	140,3	33,2	1,5	2,9	4,2	-1,8	5,5	1,3	12,7	65,3	69,7	57,1	72,7	12
13:00	140,8	34	1,4	2,6	4,2	-1,9	5,5	1,2	12,7	64,7	70,2	57,1	73,5	14,1
13:30	140,4	32,7	1,5	2,7	4,2	-2	5,5	1,2	12,5	63,6	67,7	54,8	70,2	14,7
14:00	139,6	31,2	1,5	2,8	4,2	-2,1	5,5	1,1	12,3	59,8	64	52,2	66,5	15,6
14:30	138,4	29,8	1,5	2,7	4,2	-2,2	5,5	1,1	12,1	56,2	60,8	49,6	62,3	15,5
15:00	138,3	29,6	1,5	2,7	4,2	-2,2	5,5	1,1	11,5	58,2	61,8	50,1	63,9	17,3
15:30	136,4	28,8	1,5	2,6	4,1	-2,4	5,5	1	11,5	55,8	58,8	48,1	60,7	20,2
16:00	137	27,2	1,5	2,6	4,1	-2,4	5,5	1	11,3	51,9	55,5	44,8	54,8	18,2
16:30	136,1	25,1	1,3	2,3	4,1	-2,5	5,5	1	11,5	49,8	52,4	41,7	42,7	16,1
17:00	134,5	24,6	1,3	2,3	4	-2,5	5,5	0,9	12,1	46,7	49,3	40,4	29,2	6,8
17:30	132,4	22,5	1,2	2,2	3,9	-2,6	5,5	0,9	13,6	43,6	45,8	35,9	15,4	3
18:00	129,9	21,5	1,1	2,1	3,9	-2,6	5,5	0,9	12,7	42,1	43,3	34,7	6,7	2,4

T ₁₅	T ₁₆	T ₁₇	T ₂₀	P _{sis}	P ₁	P ₂	$\dot{m}_1$	$\dot{m}_2$	$\dot{m}_3$	I	COP _{sis}	η_a
8,8	-2,8	24,8	57,7	1150	1030	150	100	120	0,227	916	3,17	0,34
10,6	-1,8	27,2	58,8	1160	1130	190	100	120	0,227	933	3,26	0,34
11,3	-1,7	28,9	67,7	1210	1170	210	100	120	0,227	1095	3,31	0,35
11,6	-0,8	29,4	70,1	1225	1180	210	100	120	0,227	1134	3,31	0,36
11,6	-0,8	29,5	72,7	1225	1180	210	100	120	0,227	1143	3,33	0,36
12,1	0,6	29,5	76,6	1225	1180	210	100	120	0,227	1122	3,24	0,36
12,3	1,4	29,5	77,8	1225	1180	210	100	120	0,227	1080	3,20	0,35
12,4	1,3	29,5	74	1210	1170	210	100	120	0,227	1019	3,22	0,34
12,5	2	29,6	69,8	1210	1170	210	100	120	0,227	946	3,22	0,32
12,5	-1,8	29,5	65,1	1210	1160	210	100	120	0,227	850	3,20	0,31
12,5	-2,3	28,6	66,5	1210	1150	220	100	120	0,227	695,7	3,03	0,28
12,6	-1,6	28,8	62,7	1210	1150	200	100	120	0,227	549,7	3,05	0,27
12,5	-1,9	29,2	56,5	1220	1140	200	100	120	0,227	428,3	3,12	0,25
12,4	-2,2	29,6	42,8	1220	1150	200	100	120	0,227	267,6	3,21	0,16
12,3	-2,4	30,4	27,9	1220	1180	200	100	120	0,227	119,3	3,38	--
12,2	-4,1	32,6	12,2	1210	1200	200	100	120	0,227	1,251	3,84	--
12,3	-4,4	31,5	4,6	1220	1100	200	100	120	0,227	0	3,59	--

Tablo 9.21. Güneş Kaynaklı 11.03.2003

SAATLER	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₁₆	T ₁₅	T ₉	T ₁₀	T ₁₃	T ₁₄	T ₁₇	T ₂₀	$\dot{m}_2$	$\dot{m}_3$	P _{sis}	P ₁	P ₂	I	COP _{sis}	η_a
08:00	56,4	27,1	17,8	27,1	1,3	11,6	31,9	20,8	26,7	5,6	27,2	27,7	120	0,12	800	1020	50	326,1	2,35	0,18
08:30	113,2	28,2	12,8	28,2	1,1	12,2	30,8	22,5	28,7	6,1	29,6	30,5	120	0,12	900	1100	90	579,1	2,33	0,24
09:00	135,6	22,9	14,4	22,9	2,4	12,8	23,4	17,3	24,2	6,2	32,3	24,1	120	0,12	920	1150	100	629,6	2,56	0,25
09:30	145,2	24,1	13,7	24,1	2,9	13,2	24,5	17,8	25,7	6,3	32,7	27,2	120	0,12	940	1160	100	856	2,50	0,28
10:00	145,8	27,5	14,2	27,5	4,6	13,4	29,7	22,6	32,6	7,7	33	35,6	120	0,12	940	1160	100	813	2,51	0,29
10:30	148,3	26,1	15	26,1	3,8	13,6	27	20,1	30,4	7,2	32,7	33,1	120	0,12	950	1180	110	737	2,42	0,29
11:00	150,2	24,5	14	24,5	4,1	13,9	25,8	19,7	26,7	6,8	32,3	29,3	120	0,12	940	1170	105	596	2,36	0,28
11:30	149,7	24	14,9	24	4,3	14,1	24,1	18,8	26,3	6,9	32,8	28,9	120	0,12	940	1180	105	562,5	2,40	0,26
12:00	149,9	23,1	13,2	23,1	4,6	14,2	22,9	17,8	24,8	6,1	32	26,8	120	0,12	940	1140	100	721	2,28	0,28
12:30	150,3	25,1	13,5	25,1	3,7	14,3	26,9	20,7	29,1	7	32,1	33,4	120	0,12	940	1140	100	257,6	2,28	0,20
13:00	149,5	24,2	13,9	24,2	4,2	14,4	24,7	19,1	26,1	6,4	32,8	28,2	120	0,12	950	1160	105	216	2,34	0,19
13:30	150,1	23,9	13,9	23,9	5,2	14,4	24,3	18,7	25,9	6,3	32,5	27,5	120	0,12	950	1160	105	346,4	2,30	0,24
14:00	151,8	24,6	13,7	24,6	4,6	14,5	25,1	18,9	26,6	6,5	32,7	28,3	120	0,12	940	1150	100	284	2,34	0,25
14:30	152,4	23,5	12,9	23,5	4,4	14,4	23,6	18,5	22,2	5,7	32,4	21,7	120	0,12	940	1140	100	263,9	2,31	0,25

Tablo 9.22. Hava Kaynaklı 08.03.2003

SAATLER	T ₁	T ₂	T ₇	T ₈	T ₁₅	T ₁₆	T ₁₇	P _{sis}	P ₁	P ₂	m ₃	COP _{sis}
12:00	60,8	7,7	1,3	2,7	12,6	3,7	25,9	900	1070	80	0,1	1,49
12:30	117,3	9,6	1,2	2,4	13,1	3,2	29,3	950	1120	100	0,1	1,71
13:00	133,9	9,9	1,9	2,9	13,6	4,6	30,2	975	1160	110	0,1	1,71
13:30	140,3	10,7	1,8	3,7	14	4,9	31,1	975	1160	110	0,1	1,76
14:00	140,6	10,8	1,9	3,1	13,9	4,8	31,4	975	1160	115	0,1	1,80
14:30	140,9	11,3	3,2	4,6	14,1	5,8	31,4	975	1150	115	0,1	1,78
15:00	143,7	12,1	3,6	5,1	14,2	6,6	31,4	975	1140	110	0,1	1,77
15:30	141,8	11,7	3,5	4,1	14,6	6,2	31,2	975	1140	110	0,1	1,71
16:00	141,1	11,2	2,7	3,7	14,5	6,3	31,2	975	1140	110	0,1	1,72
16:30	143,6	11	2,8	3,3	14,5	6,6	31,4	975	1150	110	0,1	1,74
17:00	143,8	10,6	1,9	2,9	14,3	7	31,9	1000	1180	115	0,1	1,77
17:30	144,6	9,8	0,7	1,5	14,2	5,8	32	1025	1200	115	0,1	1,75
18:00	143,7	9,1	-0,4	0,2	14	4,1	31,8	960	1180	115	0,1	1,86

Tablo 9.23. Hava + Toprak Kaynaklı 03.03.2003

SAATLER	T ₁	T ₂	T ₅	T ₆	T ₁₁	T ₁₂	T ₁₈	T ₁₉	T ₇	T ₈	T ₁₅	T ₁₆
10:45	60,9	1,5	0,5	8,4	3	-2,9	5,5	2,1	0,6	-6,9	10,5	-1,8
11:15	108,4	2,5	1,1	2,6	3,2	-3	5,5	1,9	-1,5	-7,6	12,6	-2
11:45	117,1	3,3	1,8	2,5	3,2	-3,2	5,5	1,7	-2,8	-7,8	13,3	-1,5
12:15	118,9	3,6	1,3	2,5	3,2	-3,1	5,5	1,6	-2,3	-6,9	13,6	-1,3
12:45	119,7	3,6	1,3	2,5	3,2	-3,1	5,5	1,4	-2,6	-7,6	13,8	-1,4
13:15	121,3	3,6	1,3	2,6	3,2	-3	5,5	1,3	-2,5	-7,5	14	-1,6
13:45	120,4	3,4	1,3	2,7	3,2	-3,2	5,5	1,2	-3,3	-8,1	14,1	-1,7

T ₁₇	P _{sis}	P ₁	P ₂	$\dot{m}_1$	$\dot{m}_3$	COP _{sis}
26,8	1200	1100	160	100	0,175	2,39
27,9	1210	1150	190	100	0,175	2,22
28,9	1225	1170	200	100	0,175	2,24
29,3	1210	1170	200	100	0,175	2,28
29,3	1210	1170	200	100	0,175	2,25
29,2	1210	1160	190	100	0,175	2,21
29	1200	1160	190	100	0,175	2,18

Tablo 9.24. Hava + Toprak Kaynaklı 12.03.2003 (9)

SAATLER	T ₁	T ₂	T ₅	T ₆	T ₁₁	T ₁₂	T ₁₈	T ₁₉	T ₇	T ₈	T ₁₅	T ₁₆
11:00	72,1	4,9	-0,9	0,4	2,8	-3,1	4,7	0,6	2,1	-1,2	14,8	4,1
11:30	102,4	5,6	-0,9	2,1	2,4	-3,2	4,7	0,5	3,3	-2,2	17,2	4
12:00	109,2	6,1	-0,3	2,1	2,4	-3,4	4,7	0,3	3,6	-1,8	17,6	3,5
12:30	113,9	6,4	-0,3	2	2,4	-3,2	4,7	0,3	3,9	-3,2	17,8	3,4
13:00	109,2	5,1	-0,3	2	2,3	-3,7	4,7	0,2	3,3	-4,6	17,7	2,8
13:30	108,1	4,2	-0,3	2,2	2,2	-3,6	4,7	0,2	3,1	-6,2	17,5	3,2
14:00	107,5	3	-0,2	2,1	2,2	-3,4	4,7	0,2	2,5	-9,3	17,5	3,6
14:30	108,6	-0,4	-0,1	2,2	2,2	-3,5	4,7	0,2	1,9	-20,8	17,6	3,8
15:00	104,6	-3,9	-0,1	2,2	2	-3,6	4,7	0,1	1,9	-21,4	17,6	4,4
15:30	102,8	-17,2	-0,1	2,3	2	-3,5	4,7	0,1	0,3	-22,6	17,6	4,7
16:00	101,1	-19,8	-0,1	2,3	2	-4,1	4,7	0,1	0,1	-24,2	17,5	4,5
16:30	103,8	-19,2	-0,1	2,3	1,9	-4,1	4,7	0,1	0,2	-24,7	17,5	4,6
17:00	102,4	-20,9	0	2,4	1,9	-4,1	4,7	0,1	0,2	-25,6	17,5	4,5
17:30	99,7	-22,1	0,1	2,5	1,9	-4,1	4,7	0	0,2	-26,2	17,4	4,2

T ₁₇	P _{sis}	P ₁	P ₂	$\dot{m}_1$	$\dot{m}_3$	COP _{sis}
29,8	1325	1200	235	100	0,175	1,99
31,7	1360	1300	260	100	0,175	1,88
32,6	1375	1310	270	100	0,175	1,92
32,5	1375	1320	265	100	0,175	1,88
32,7	1360	1310	265	100	0,175	1,94
32,2	1350	1300	260	100	0,175	1,92
32,1	1325	1290	255	100	0,175	1,94
32	1310	1280	250	100	0,175	1,93
31,4	1300	1260	245	100	0,175	1,87
31	1300	1250	240	100	0,175	1,81
30,6	1300	1240	230	100	0,175	1,77
30,5	1290	1230	230	100	0,175	1,77
30,2	1290	1220	225	100	0,175	1,73
30,1	1275	1210	220	100	0,175	1,75

Tablo 9.25. Hava Kaynaklı 16.03.2003

SAATLER	T ₁	T ₂	T ₇	T ₈	T ₁₆	T ₁₅	T ₁₇	P _{sis}	P ₁	P ₂	$\dot{m}_3$	COP _{sis}
12:45	80,4	10,3	5,7	6,9	8,7	11,5	29,7	1000	1140	100	0,1	1,83
13:15	120,1	10,8	5,9	6,3	8,1	13,7	30,3	1030	1160	130	0,1	1,62
13:45	129	11,1	5,8	6,3	7,8	14,1	30,3	1050	1170	140	0,1	1,55
14:15	137,4	11,4	5,3	5,8	8,2	14,3	30,8	1050	1180	135	0,1	1,58
14:45	134,7	11,2	3,6	5,7	8,8	14,5	30,7	1040	1170	140	0,1	1,57
15:15	140,5	10,7	3,8	4,3	7,4	14,7	31,1	1050	1180	140	0,1	1,57
15:45	137,6	9,7	1,9	2,8	6,1	14,7	31,2	1050	1190	140	0,1	1,58
16:15	138,8	9,4	1,2	2	4,9	14,6	32	1050	1200	140	0,1	1,67
16:45	138,3	8	-0,7	0,3	4,8	14,6	31,9	1040	1200	135	0,1	1,67
17:15	137,6	6,8	-2,6	-1,8	4,6	14,6	33,3	1050	1240	140	0,1	1,79
17:45	135,7	5,4	-5,9	-4,1	3,4	14,5	33,6	1040	1250	135	0,1	1,85

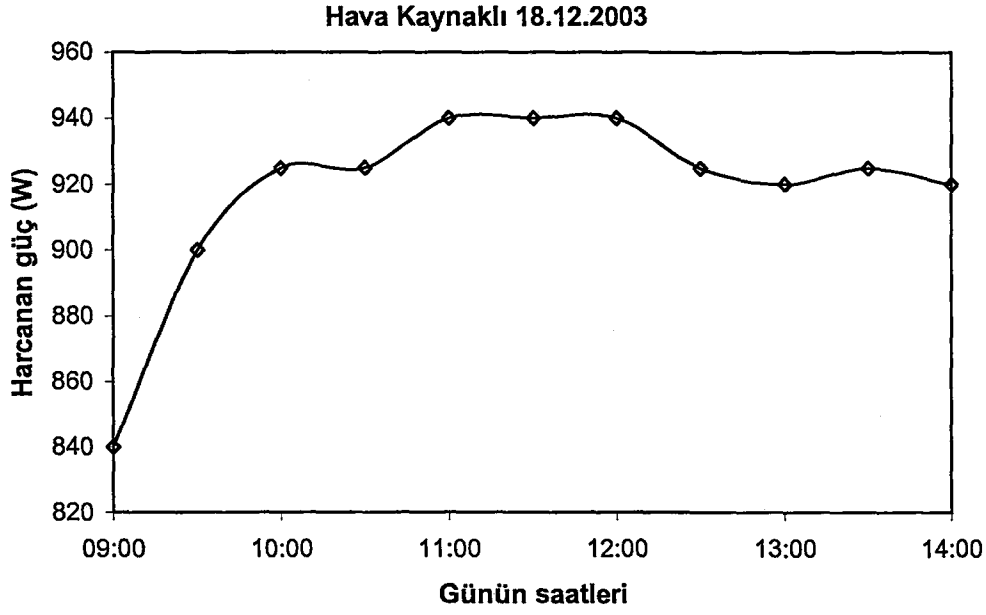
Tablo 9.26. Toprak Kaynaklı 22.03.2003

SAATLER	T ₁	T ₂	T ₅	T ₆	T ₁₅	T ₁₆	T ₁₇	T ₁₁	T ₁₂	T ₁₈	T ₁₉	P _{dis}	P ₁	P ₂	$\dot{m}_1$	$\dot{m}_3$	COP _{sis}
09:00	78,2	1,5	3	1,5	12,4	0,6	29,1	3,1	0,3	5,7	1,2	1000	1120	120	100	0,117	1,96
09:30	109,1	-5,7	1,9	-5,7	14,3	1,5	29,4	2,9	-4,2	5,7	1,1	1010	1120	130	100	0,117	1,75
10:00	117,2	-12,1	1,6	-12,1	14,9	2,2	29,6	2,8	-4,3	5,7	0,8	1030	1130	130	100	0,117	1,67
10:30	121,3	-12,1	1,1	-12,1	15,3	2,6	29,7	2,8	-4,4	5,7	0,8	1050	1150	135	100	0,117	1,61
11:00	122,6	-13,7	1,6	-13,7	15,4	2,8	29,7	2,8	-4,4	5,7	0,8	1040	1150	135	100	0,117	1,61
11:30	122,4	-15,5	1,6	-15,5	15,4	3,3	30,3	2,8	-4,5	5,7	0,7	1040	1140	135	100	0,117	1,68
12:00	120,8	-15,6	0,4	-15,6	15,4	3,7	30,3	2,7	-4,5	5,7	0,7	1040	1130	135	100	0,117	1,68
12:30	121,2	-16,1	-0,8	-16,1	15,3	4,4	30,4	2,7	-4,5	5,7	0,7	1050	1140	135	100	0,117	1,69
13:00	120,8	-15,8	-0,5	-15,8	15,3	4,5	30,4	2,7	-4,5	5,7	0,7	1050	1140	135	100	0,117	1,69
13:30	119,7	-15,9	-0,2	-15,9	15,3	4,3	30,3	2,7	-4,5	5,7	0,6	1030	1120	130	100	0,117	1,71
14:00	118,5	-15,5	-0,1	-15,5	15,3	4,1	30,2	2,6	-4,6	5,7	0,6	1030	1120	130	100	0,117	1,70
14:30	118,1	-15,7	-0,1	-15,7	15,2	3,3	30,1	2,6	-4,6	5,7	0,6	1020	1110	125	100	0,117	1,71
15:00	117,2	-16,2	-0,7	-16,2	15,1	2,4	30	2,6	-4,6	5,7	0,6	1020	1110	125	100	0,117	1,71

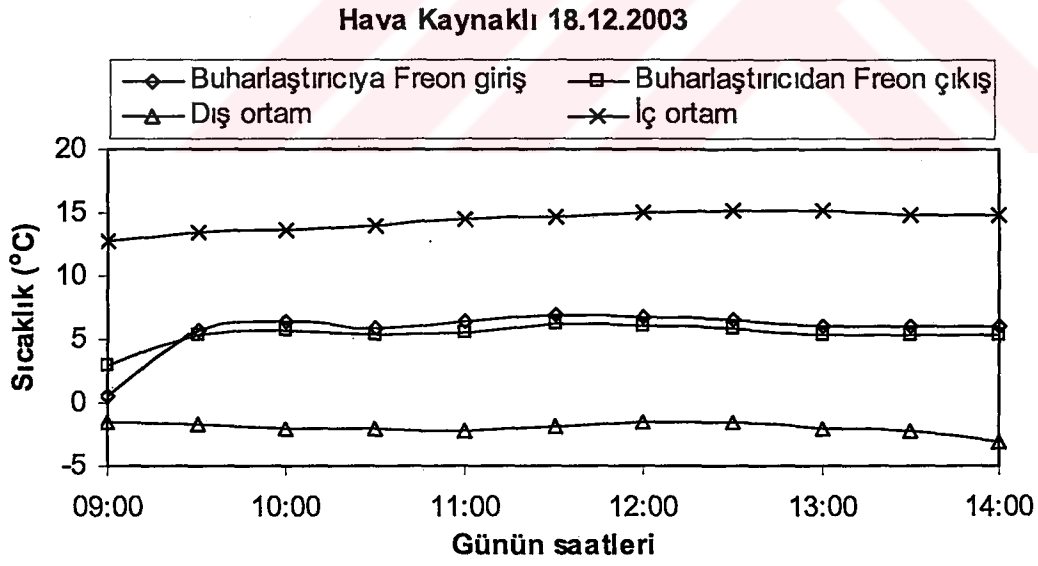
Tablo 9.27. Toprak Kaynaklı 04.03.2003

SAATLER	T ₁	T ₂	T ₅	T ₆	T ₁₅	T ₁₆	T ₁₇	T ₁₁	T ₁₂	T ₁₈	T ₁₉	P _{sis}	P ₁	P ₂	$\dot{m}_1$	$\dot{m}_3$	COP _{sis}
09:00	83,8	-4,5	-6,6	-4,5	11,6	1,3	25,9	1,8	-1,2	4,7	-0,8	850	1070	80	100	0,113	1,92
09:30	114,1	-13,6	-7,2	-13,6	12,1	1,7	27,1	2,1	-2,4	4,7	-0,9	900	1100	90	100	0,113	1,90
10:00	126,3	-7,9	-9,6	-7,9	12,5	1,7	28,6	2,1	-2,5	4,7	-1,1	930	1100	90	100	0,113	1,97
10:30	131,3	-2,8	-8,2	-2,8	12,5	1,9	28,2	2,1	-2,6	4,7	-1,3	950	1110	90	100	0,113	1,88
11:00	131,1	-21,2	-11,1	-21,2	12,8	1,8	28,7	2	-2,4	4,7	-1,3	950	1160	100	100	0,113	1,91
11:30	133,6	-20,4	-10,5	-20,4	12,8	1,7	28,6	2,1	-1,8	4,7	-1,3	950	1160	100	100	0,113	1,89
12:00	130,8	-19,1	-10,5	-19,1	13	2,1	28,8	2	-2,1	4,7	-1,3	950	1150	105	100	0,113	1,89
12:30	127,3	-21,3	-10,5	-21,3	12,9	2,5	28,8	2	-2,2	4,7	-1,4	980	1170	105	100	0,113	1,85
13:00	130,3	-20,8	-10,5	-20,8	12,9	0,4	30,2	1,9	-2,1	4,7	-1,4	980	1170	105	100	0,113	2,01
13:30	129,4	-20,8	-10,5	-20,8	13,1	0,6	30,1	1,9	-2,8	4,7	-1,4	980	1170	105	100	0,113	1,98
14:00	128,9	-20,5	-10,5	-20,5	13,3	-0,5	30,1	1,9	-2,8	4,7	-1,4	980	1180	110	100	0,113	1,95
14:30	131,8	-21,1	-10,5	-21,1	13,3	-0,3	30,2	1,9	-2,9	4,7	-1,4	1000	1190	110	100	0,113	1,92
15:00	138,7	-21,6	-10,5	-21,6	13,4	-0,3	30,2	1,9	-2,9	4,7	-1,4	1000	1190	110	100	0,113	1,91

EK 2.1.

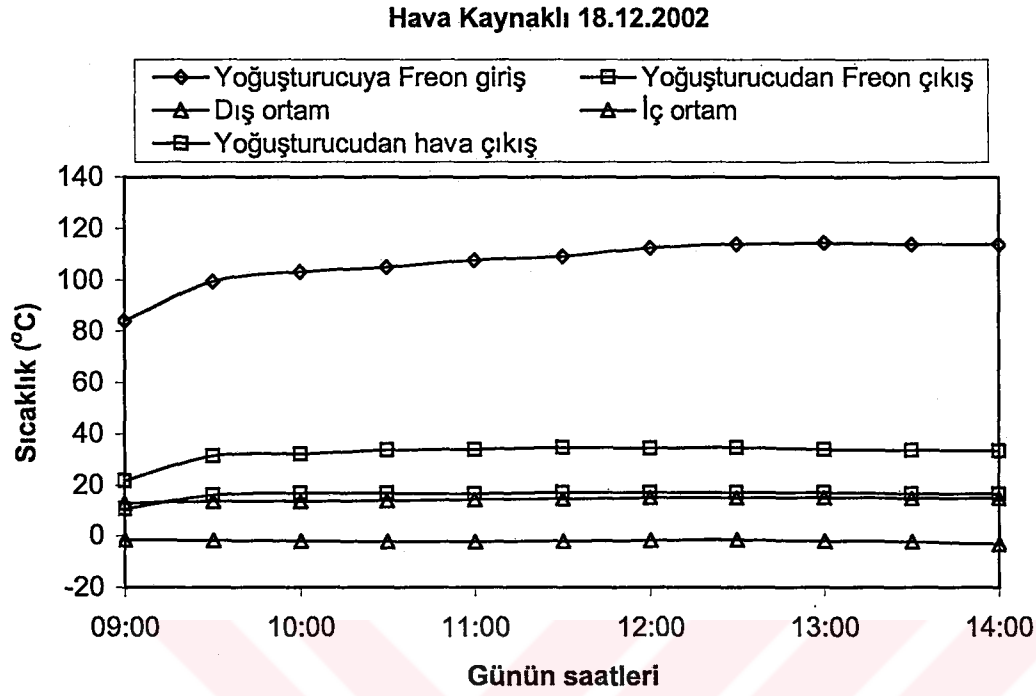


Şekil 9.1. Günün Saatlerine Göre Harcanan Gücün Değişimi.

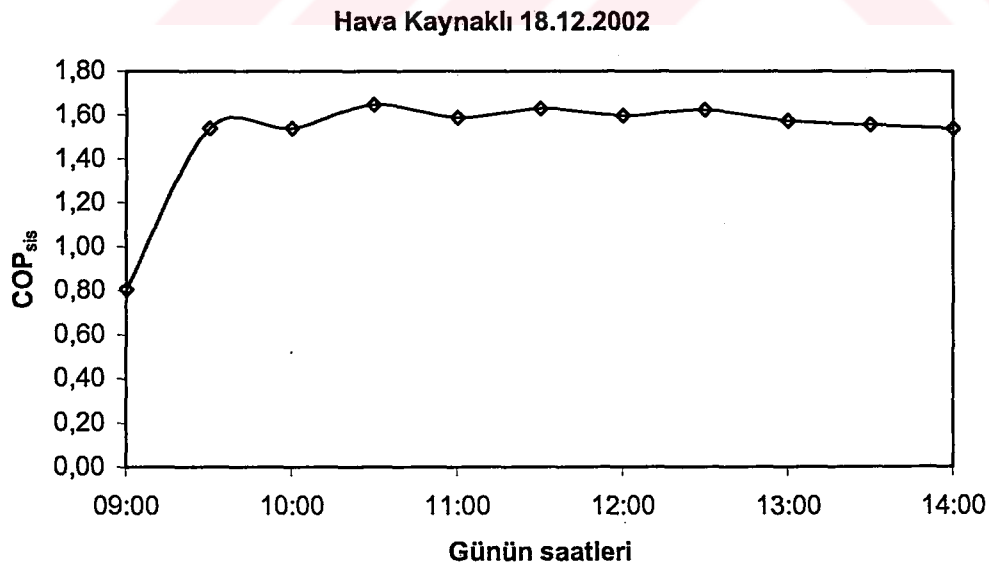


Şekil 9.2. Günün Saatlerine Göre Farklı Noktalardaki Sıcaklık Değişimi.

EK 2.1.

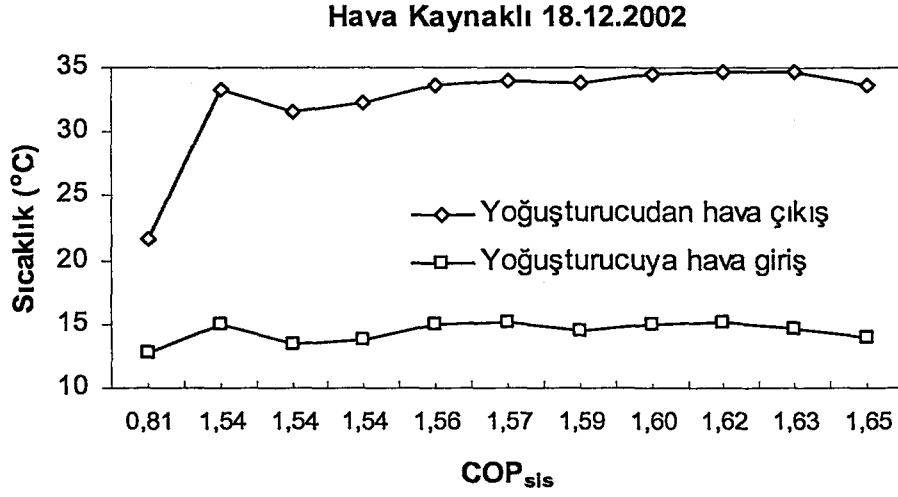


Şekil 9.3. Günü Saatlere Göre Farklı Noktalardaki Sıcaklık Değişimi.

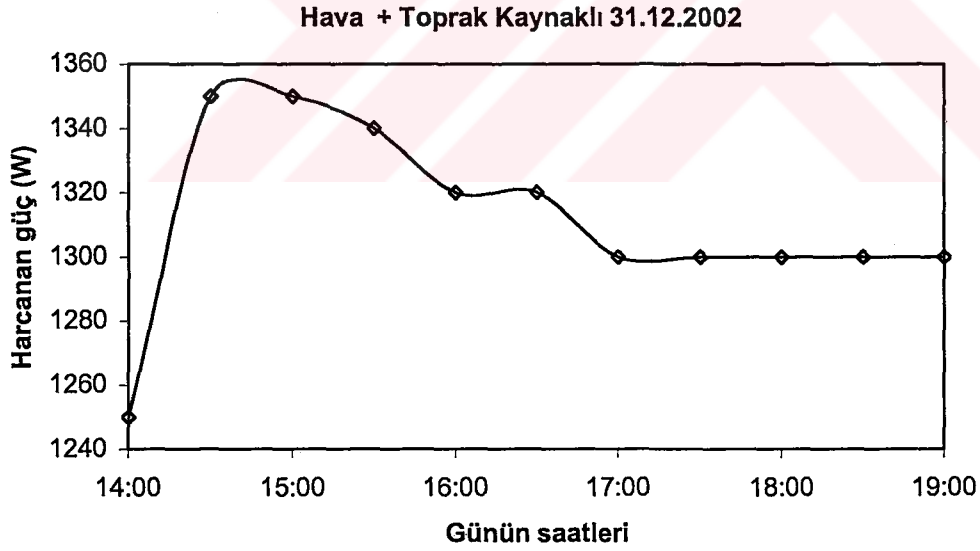


Şekil 9.4. Günü Saatlere Göre COP_{sis}'in Değişimi.

EK 2.1.

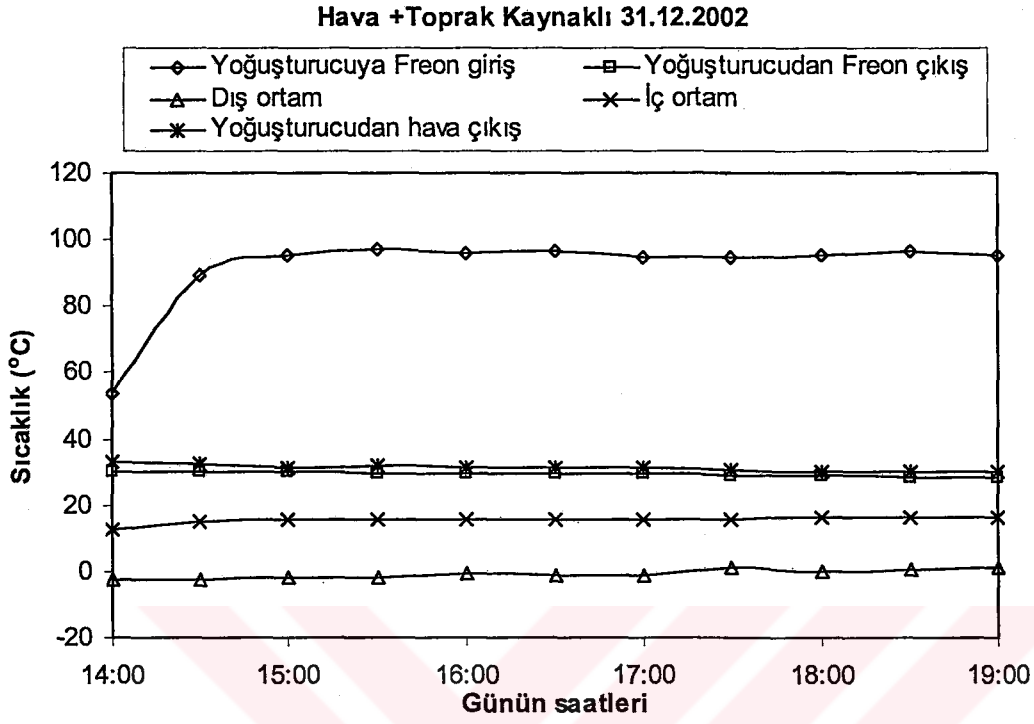


Şekil 9.5. COP_{sis}'in Yoğuşturucuya Hava Giriş ve Çıkış Sıcaklıklarına Göre Değişimi.

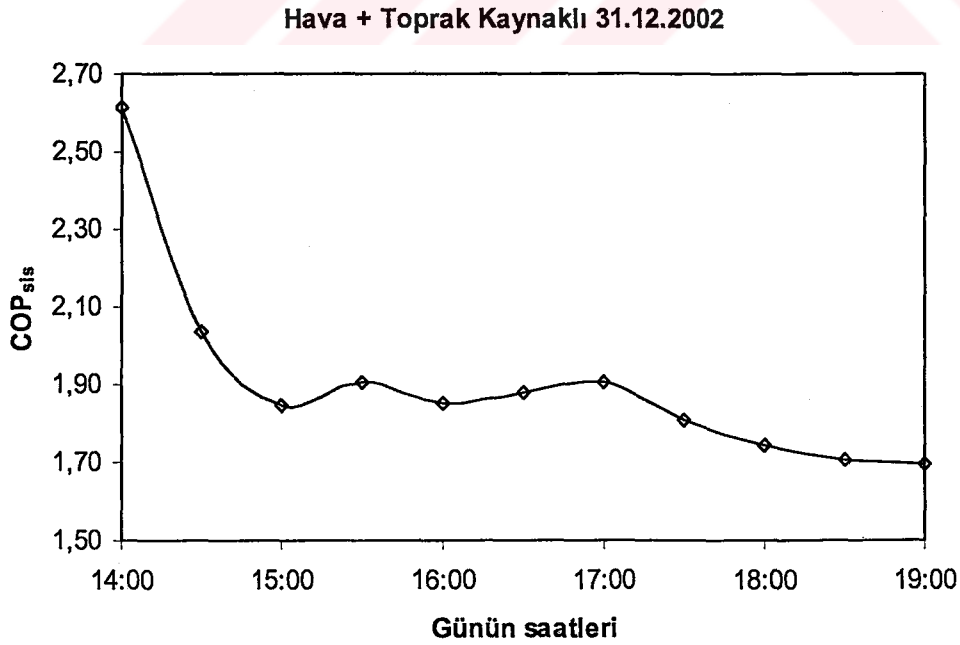


Şekil 9.6. Günün Saatlerine Göre Harcanan Gücün Değişimi.

EK 2.1.

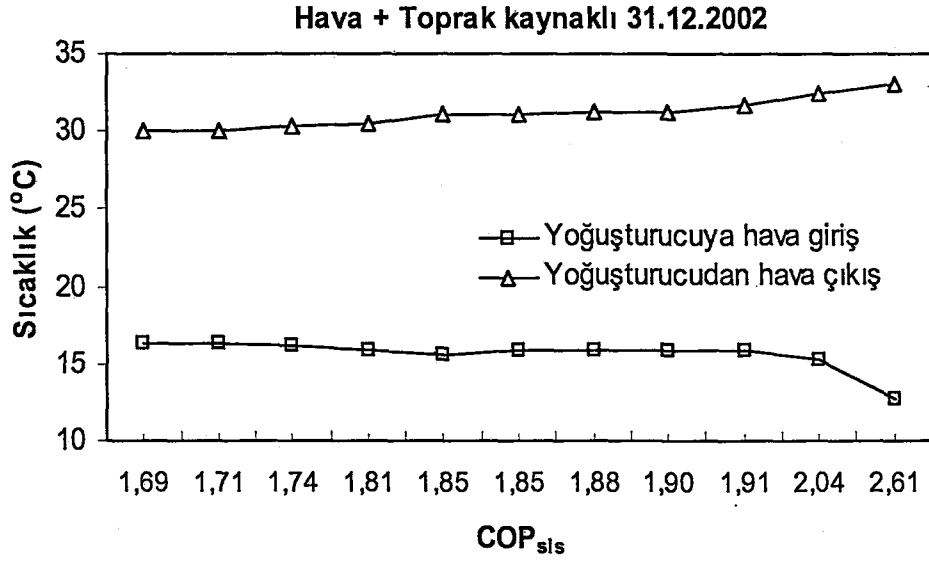


Şekil 9.7. Günü Saatlerine Göre Farklı Noktalardaki Sıcaklık Değişimi.

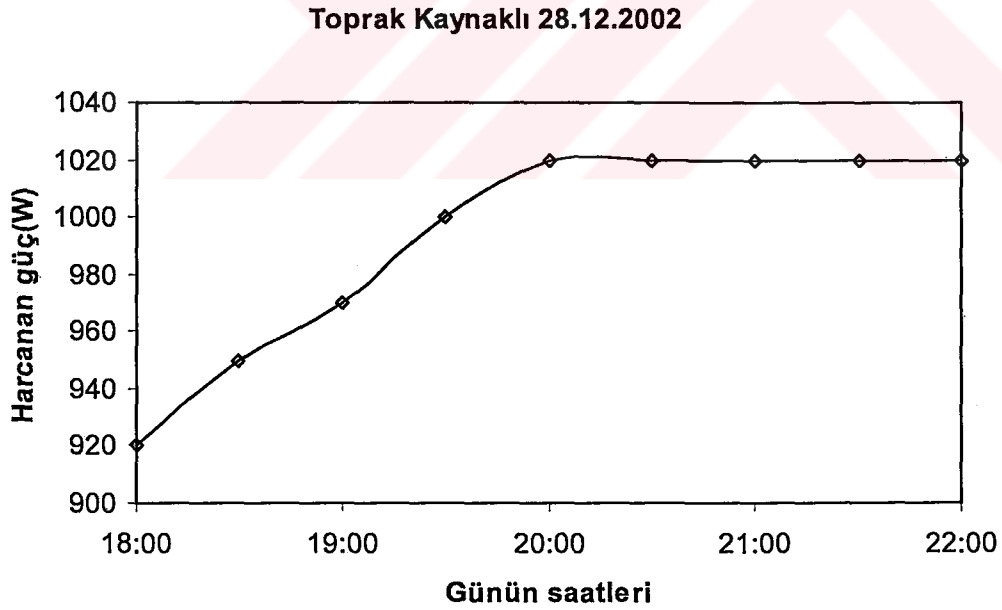


Şekil 9.8. Günü Saatlerine Göre COP_{sis}'in Değişimi.

EK 2.1.

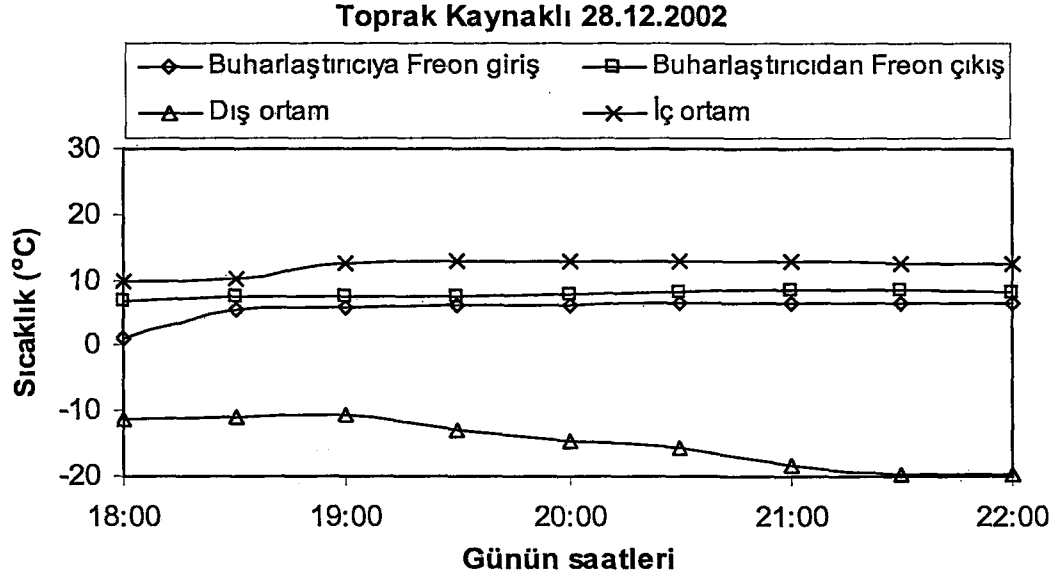


Şekil 9.9. COP_{sis}'in Yoğuşturucuya Hava Giriş ve Çıkış Sıcaklıklarına Göre Değişimi.

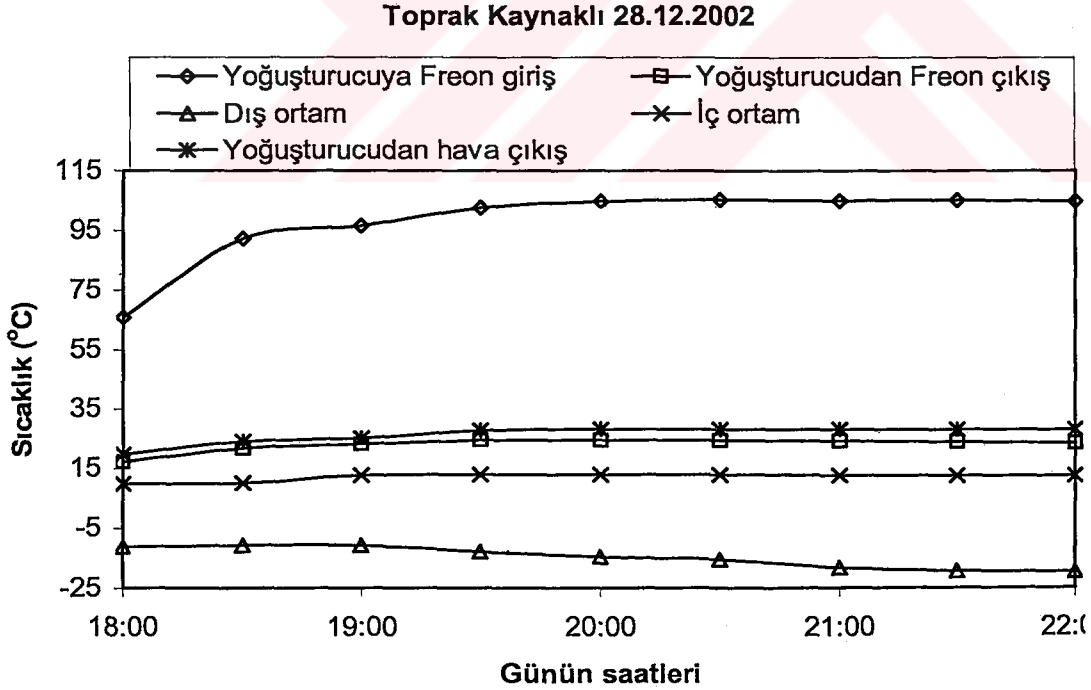


Şekil 9.10. Günün Saatlerine Göre Harcanan Gücün Değişimi.

EK 2.1.

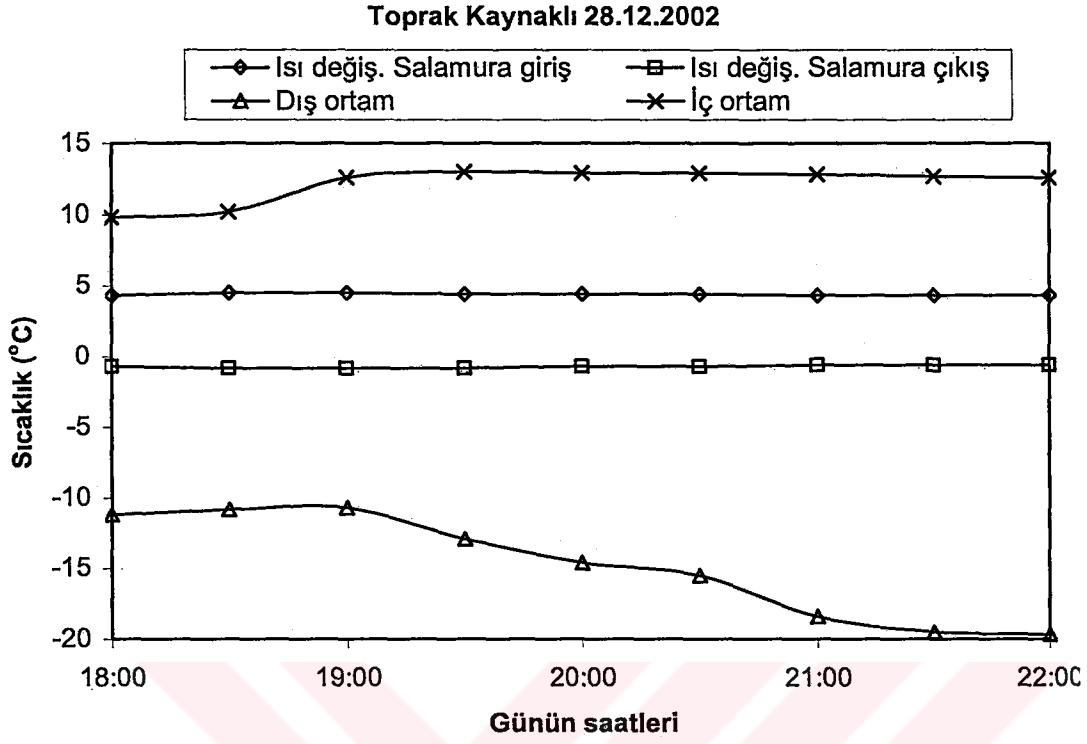


Şekil 9.11. Günü Saatiğine Göre Farklı Noktalardaki Sıcaklık Değişimi.

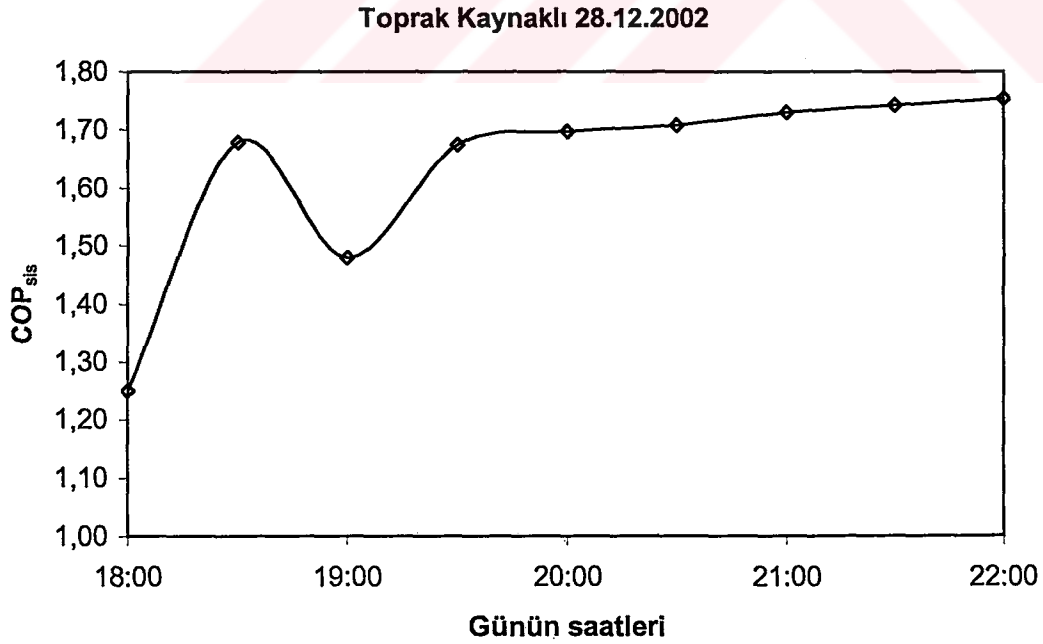


Şekil 9.12. Günü Saatiğine Göre Farklı Noktalardaki Sıcaklık Değişimi.

EK 2.1.

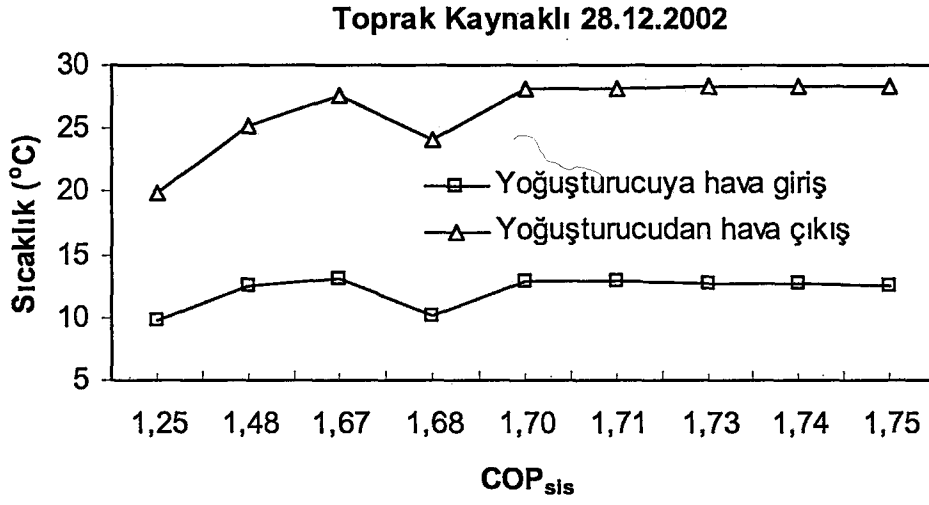


Şekil 9.13. Günüñ Saatlerine Göre Farklı Noktalardaki Sıcaklık Değişimi.



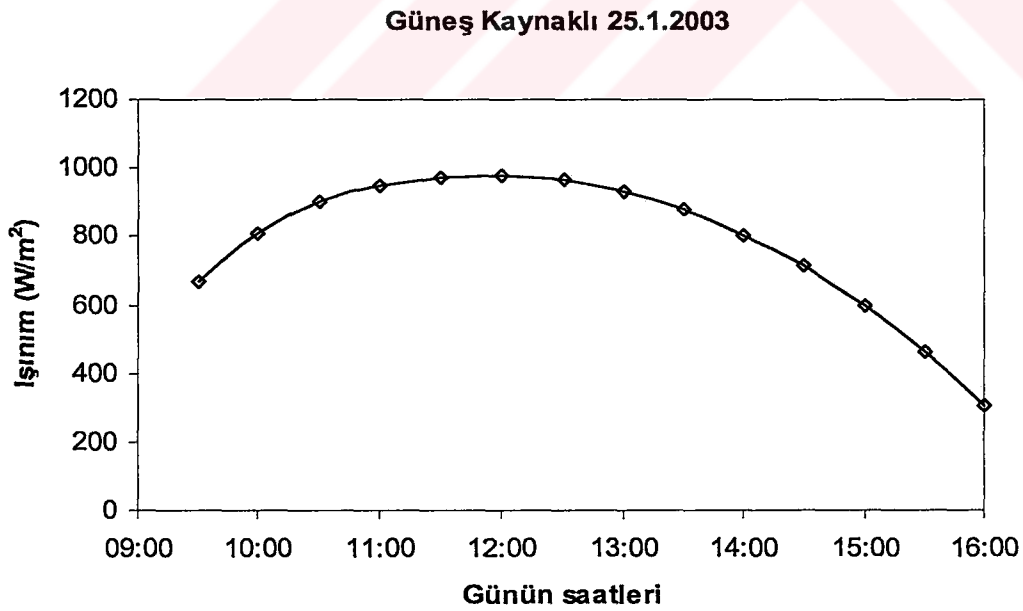
Şekil 9.14. Günüñ Saatlerine Göre COP_{sis}'in Değişimi.

EK 2.1.



Şekil 9.15. COP_{sis}'in Yoğuşturucuya Hava Giriş ve Çıkış Sıcaklıklarına Göre Değişimi.

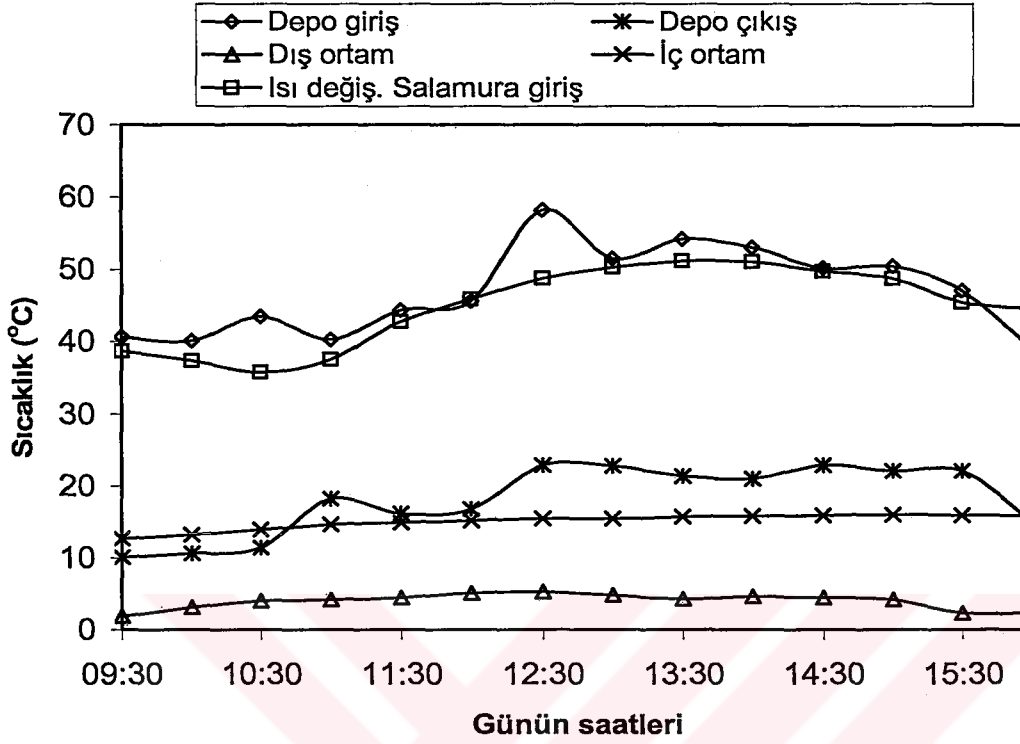
EK 2.2.



Şekil 9.16. Günü Saatiğine Göre Güneş Işınımının Değişimi.

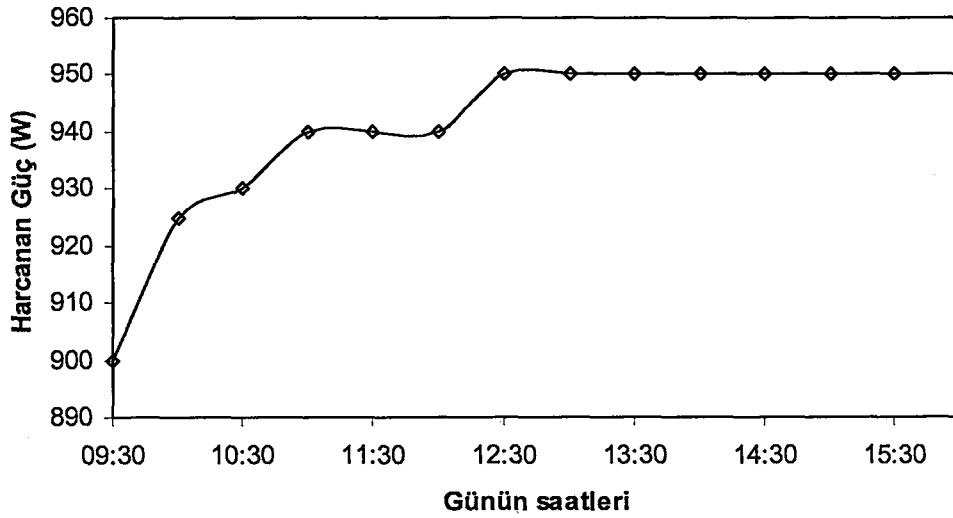
EK 2.2.

Güneş Kaynaklı 25.1.2003



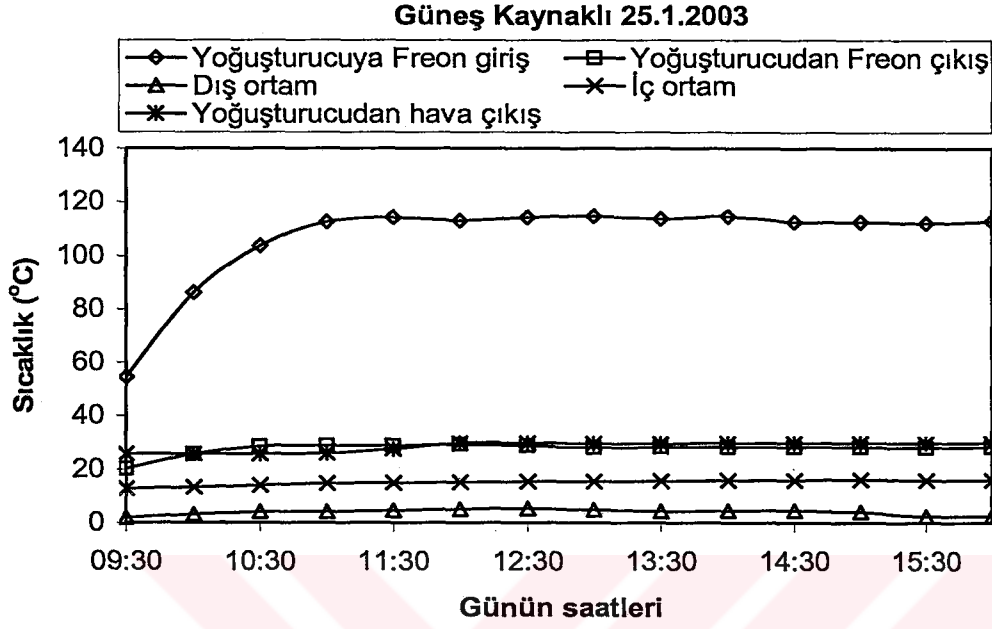
Şekil 9.17. Günün Saatlerine Göre Farklı Noktalardaki Sıcaklık Değişimi.

Güneş Kaynaklı 25.1.2003

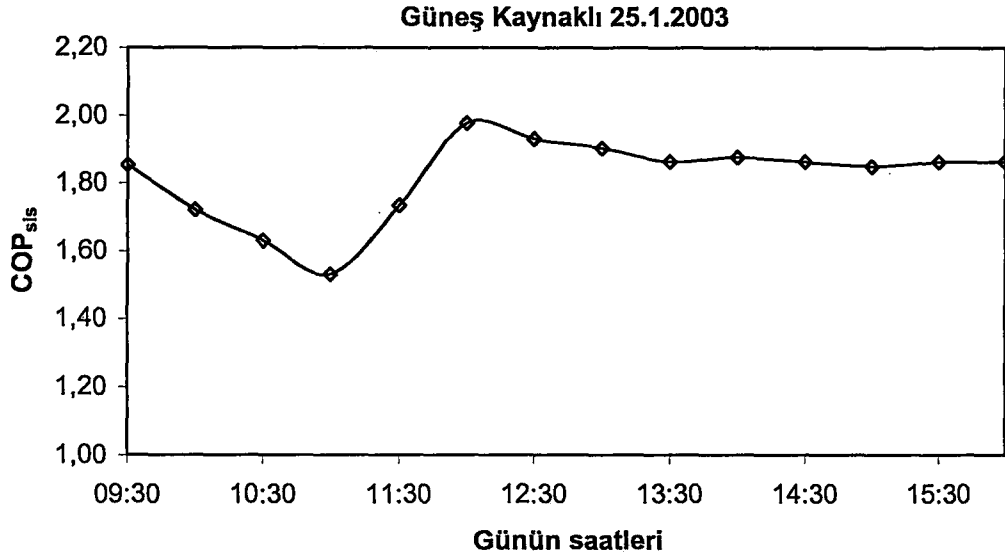


Şekil 9.18. Günün Saatlerine Göre Harcanan Gücün Değişimi.

EK 2.2.

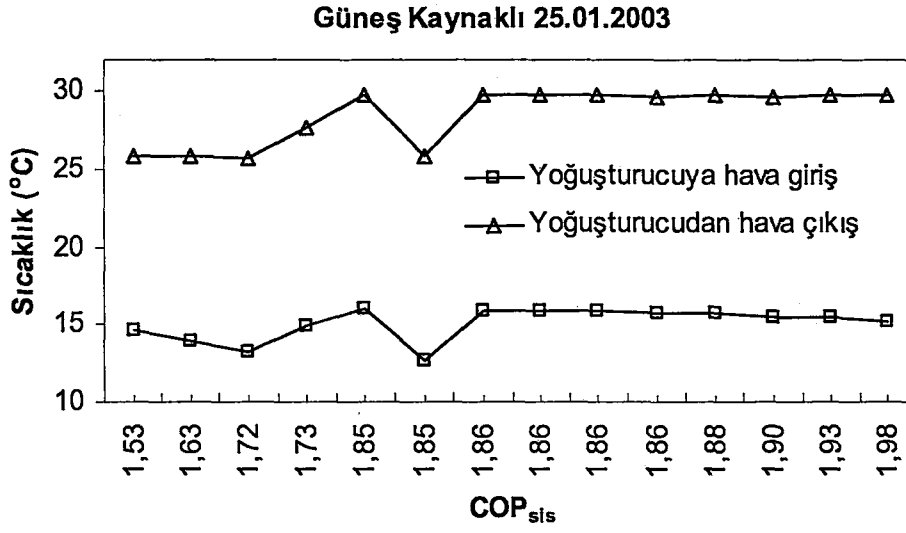


Şekil 9.19. Günün Saatlerine Göre Farklı Noktalardaki Sıcaklık Değişimi.

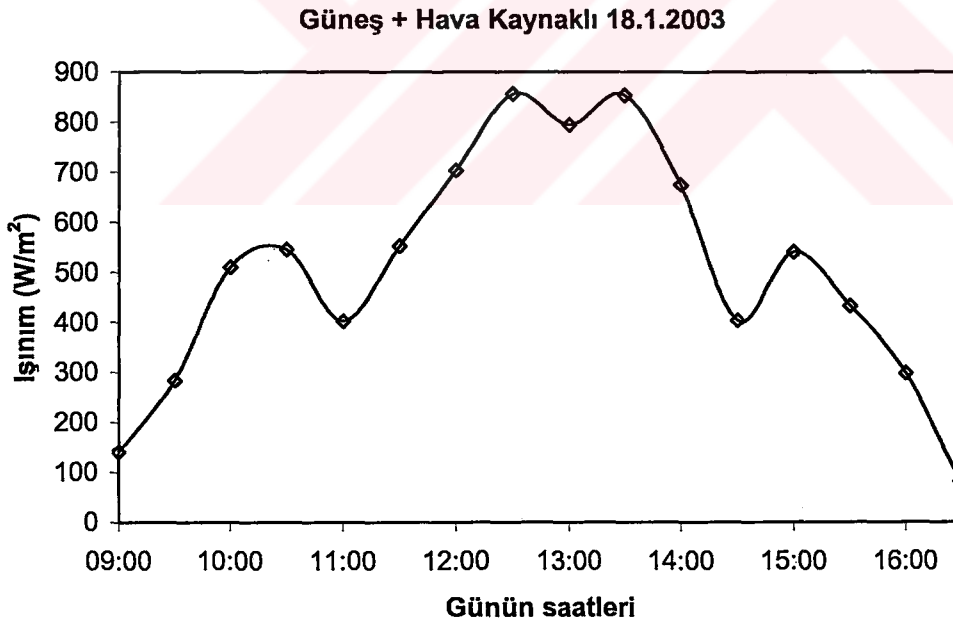


Şekil 9.20. Günün Saatlerine Göre COP_{sis}'in Değişimi.

EK 2.2.

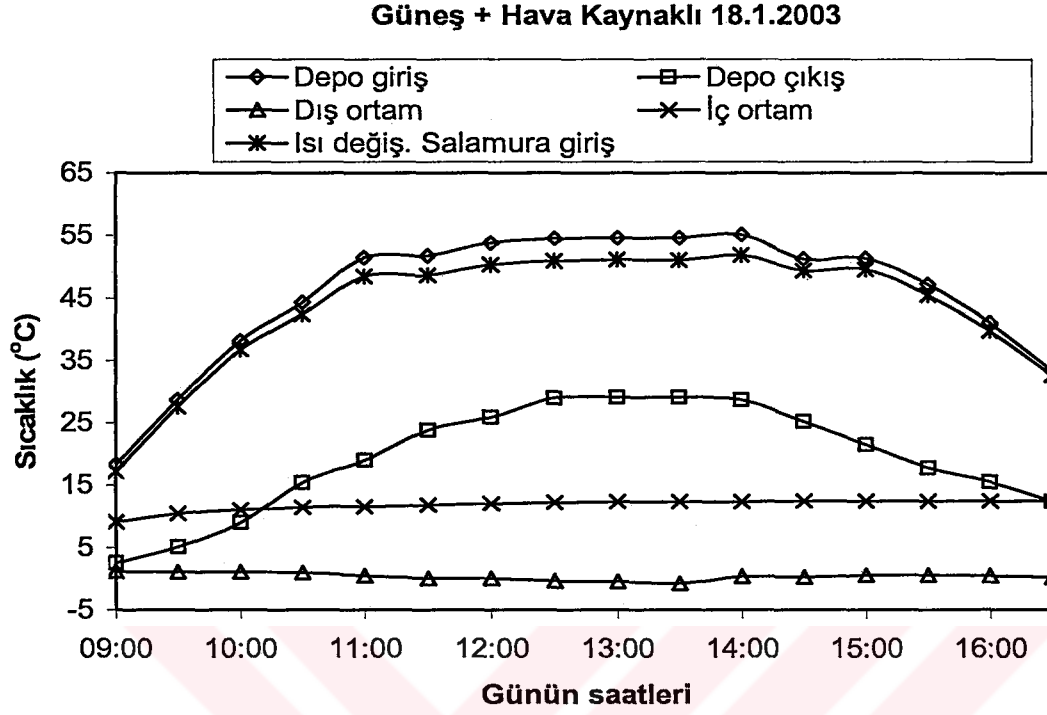


Şekil 9.21. COP_{sis}'in Yoğuşturucuya Hava Giriş ve Çıkış Sıcaklıklarına Göre Değişimi.

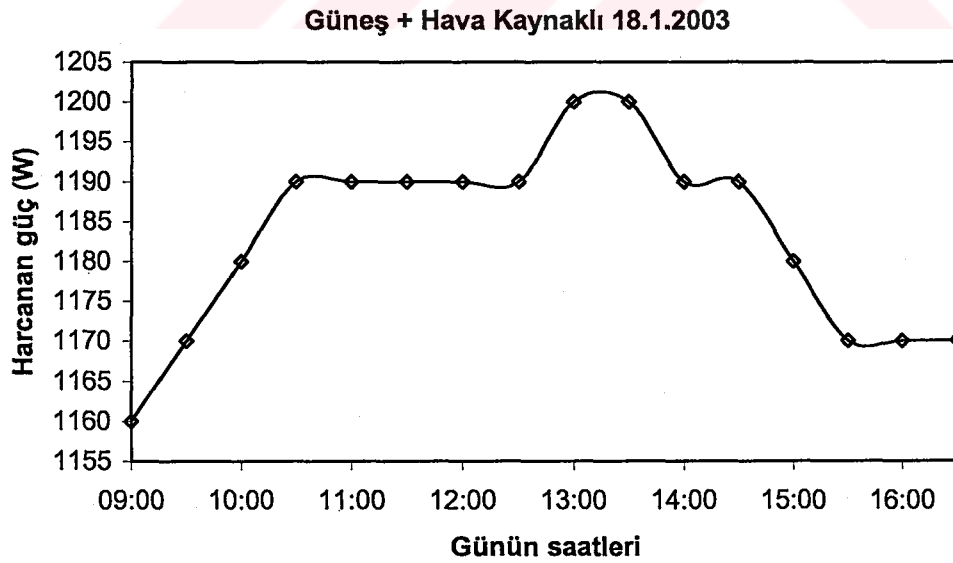


Şekil 9.22. Günün Saatlerine Göre Güneş Işınımının Değişimi.

EK 2.2.

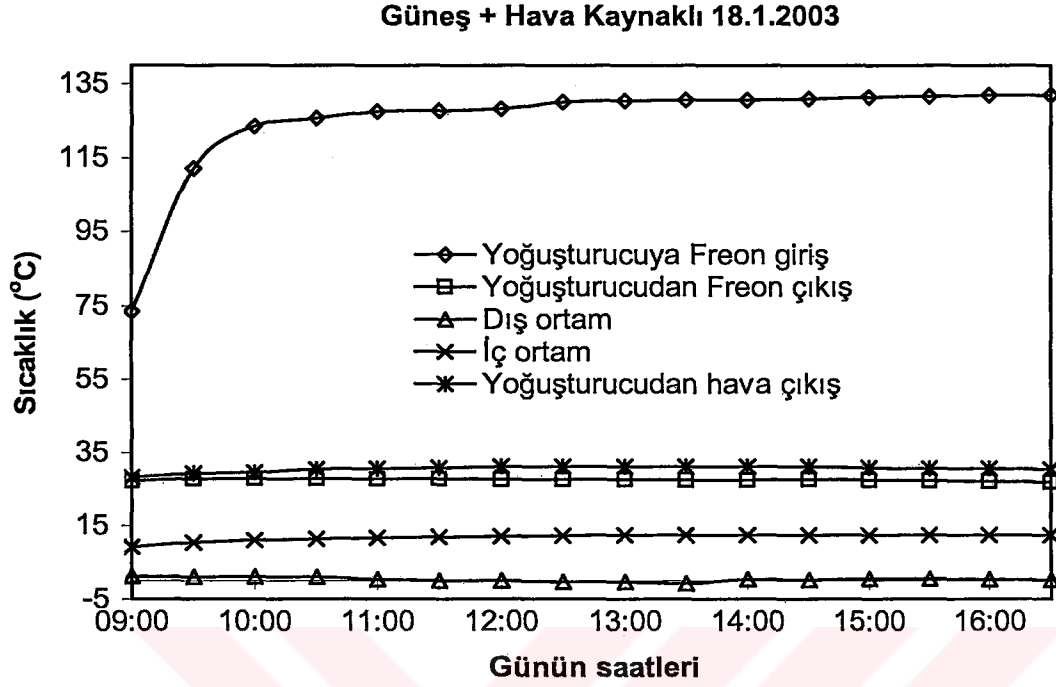


Şekil 9.23. Günün Saatlerine Göre Farklı Noktalardaki Sıcaklık Değişimi.

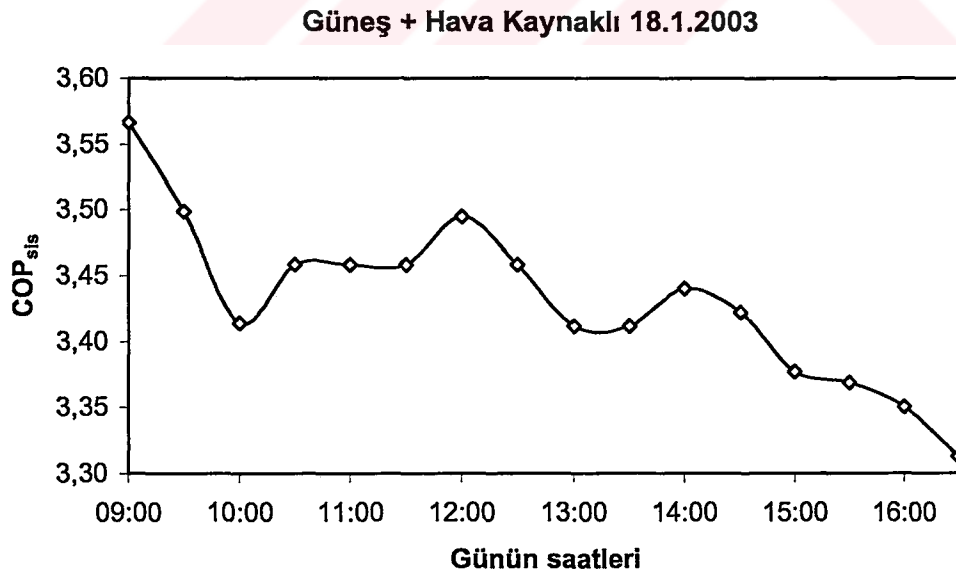


Şekil 9.24. Günün Saatlerine Göre Harcanan Gücün Değişimi.

EK 2.2.

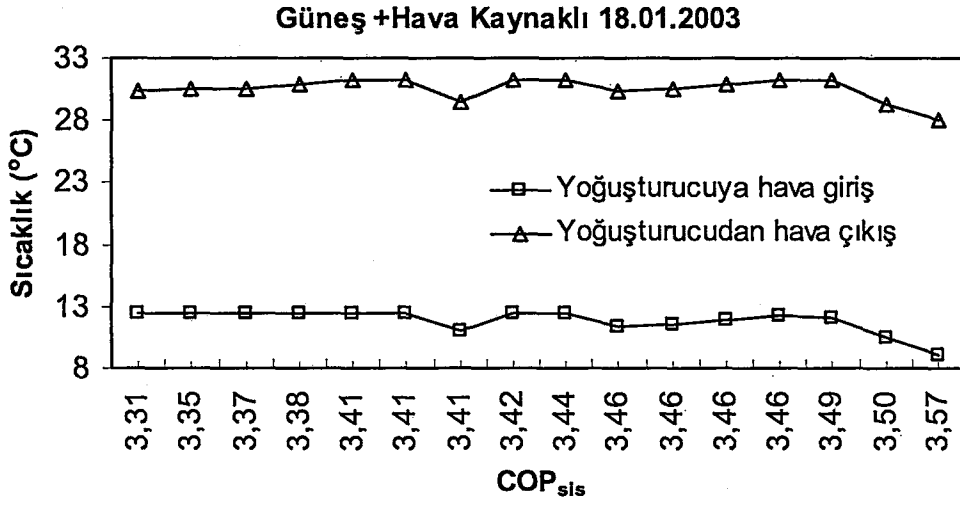


Şekil 9.25. Günün Saatlerine Göre Farklı Noktalardaki Sıcaklık Değişimi.

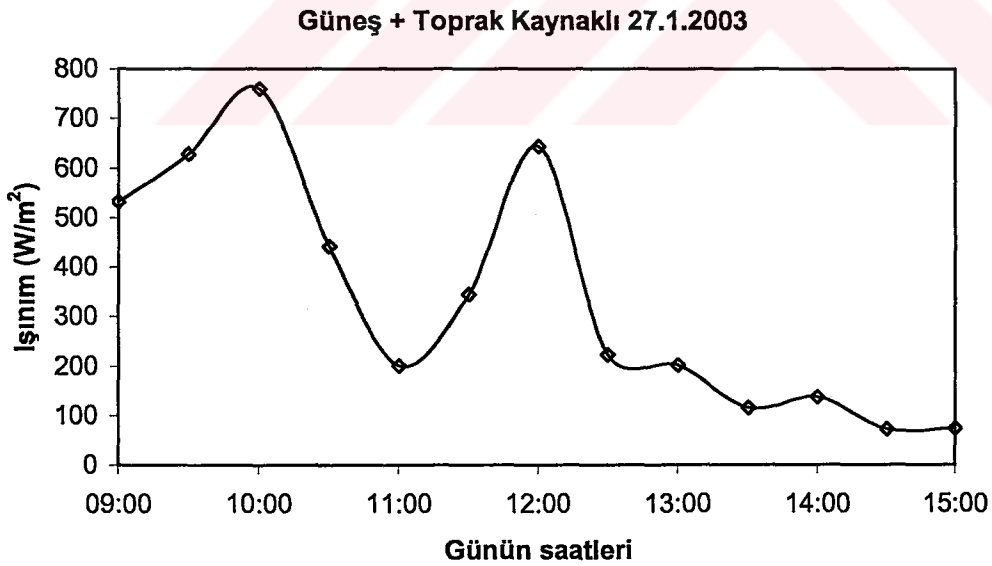


Şekil 9.26. Günün Saatlerine Göre COP_{sis}'in Değişimi.

EK 2.2.

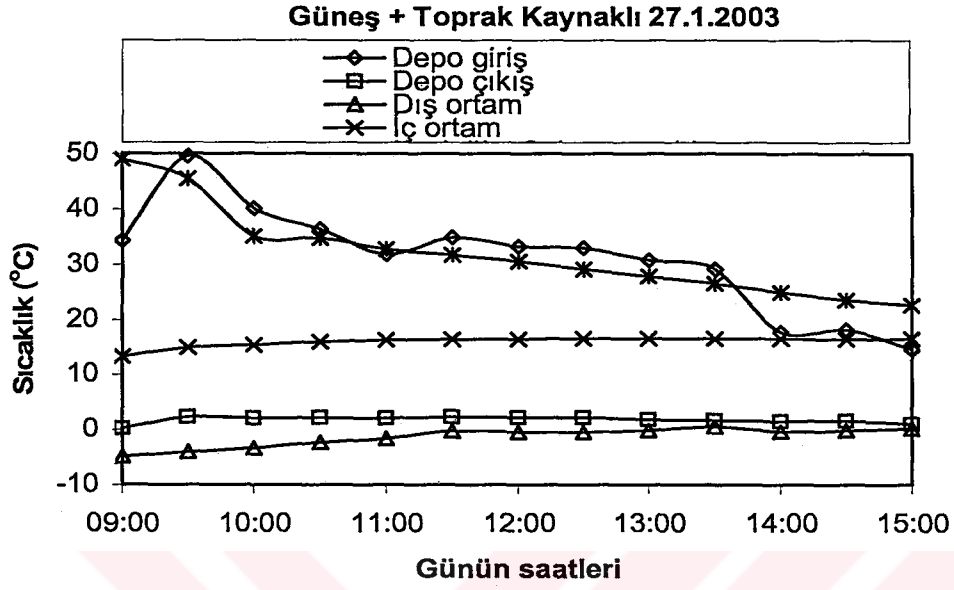


Şekil 9.27. COP_{sis}'in Yoğuşturucuya Hava Giriş ve Çıkış Sıcaklıklarına Göre Değişimi.

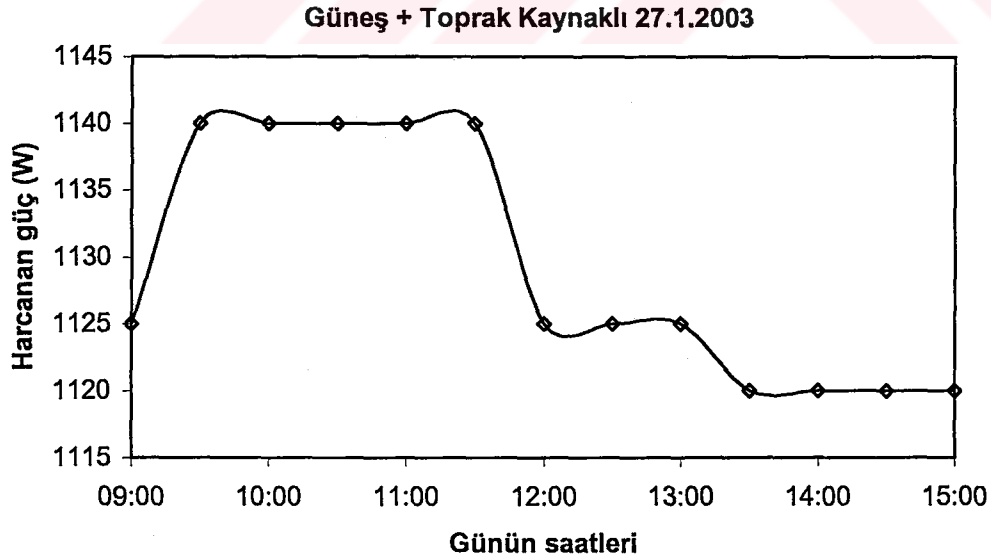


Şekil 9.28. Günün Saatlerine Göre Güneş Işınımının Değişimi.

EK 2.2.



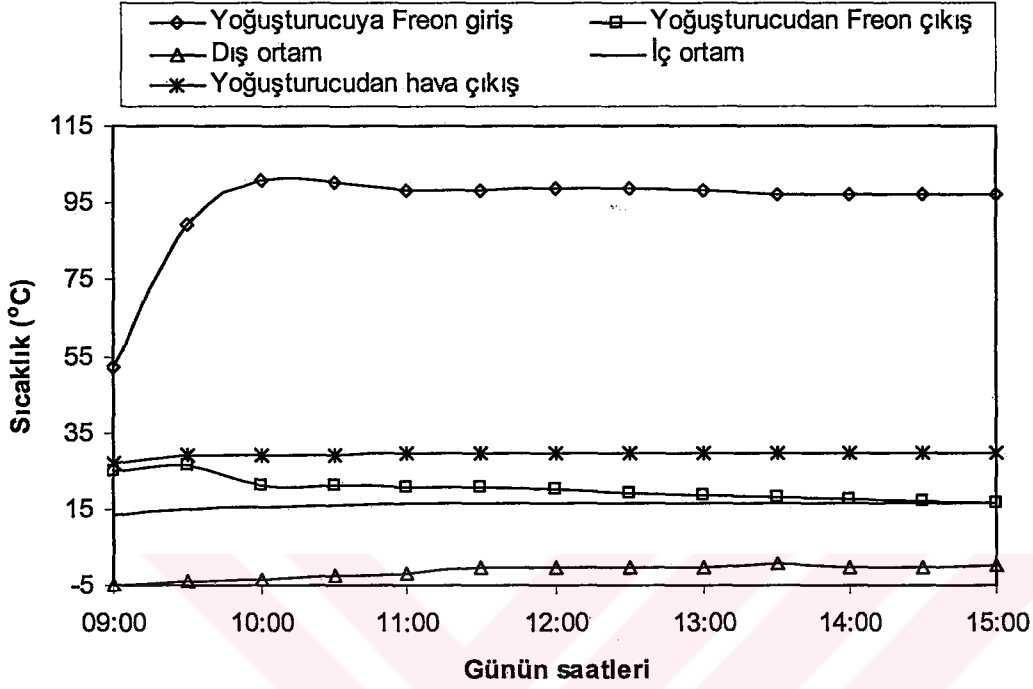
Şekil 9.29. Günü Saatiğine Göre Farklı Noktalardaki Sıcaklık Değişimi.



Şekil 9.30. Günü Saatiğine Göre Harcanan Gücün Değişimi.

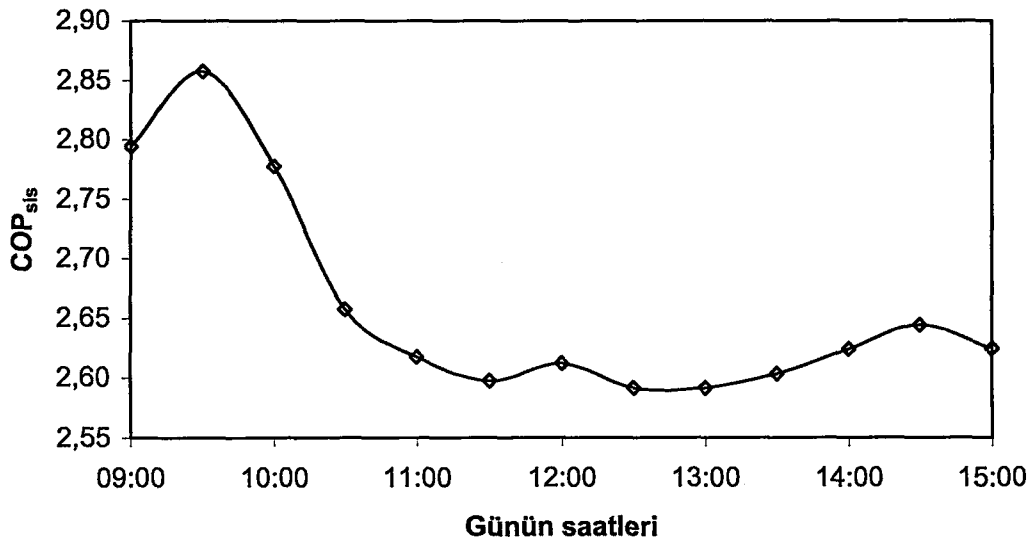
EK 2.2.

Güneş + Toprak Kaynaklı 27.1.2003



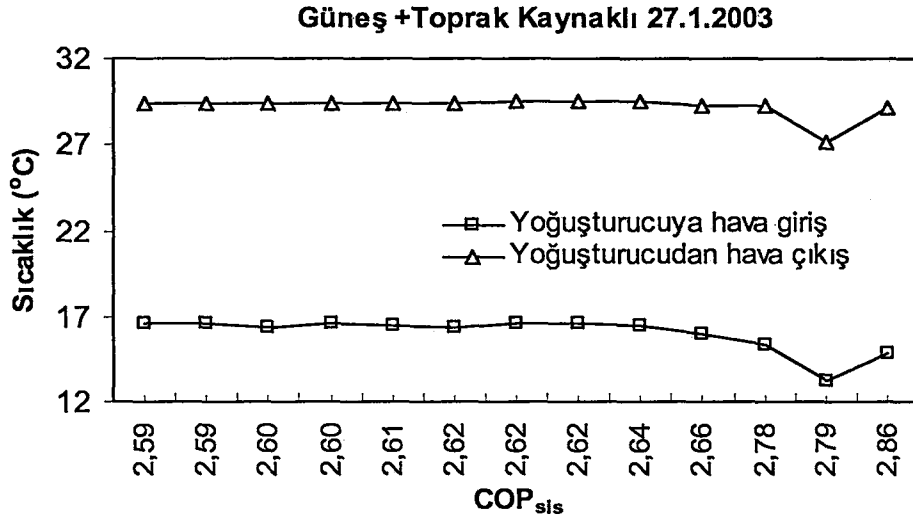
Şekil 9.31. Günü Saatlerine Göre Farklı Noktalardaki Sıcaklık Değişimi.

Güneş + Toprak Kaynaklı 27.1.2003

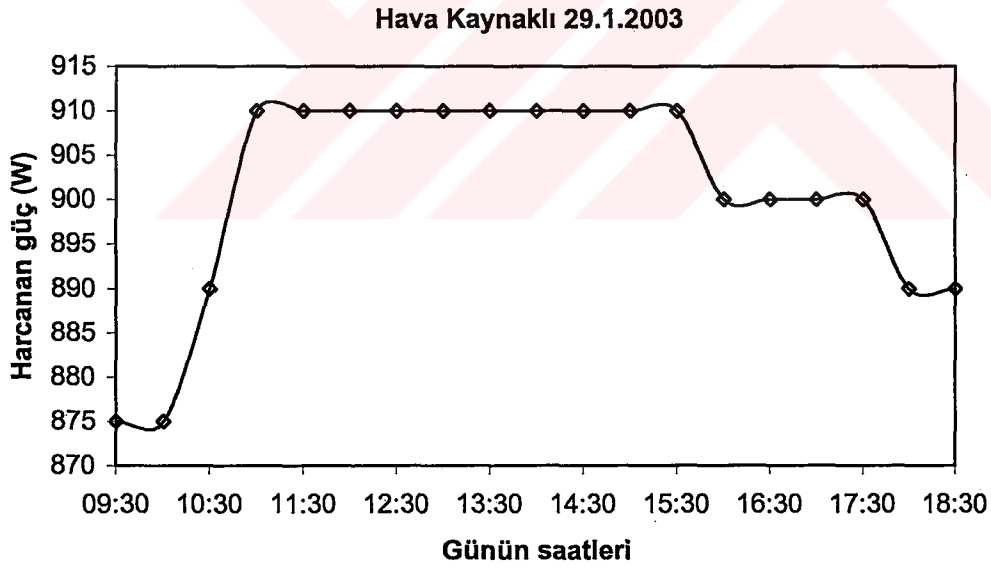


Şekil 9.32. Günü Saatlerine Göre COP_{sis}'in Değişimi.

EK 2.2.

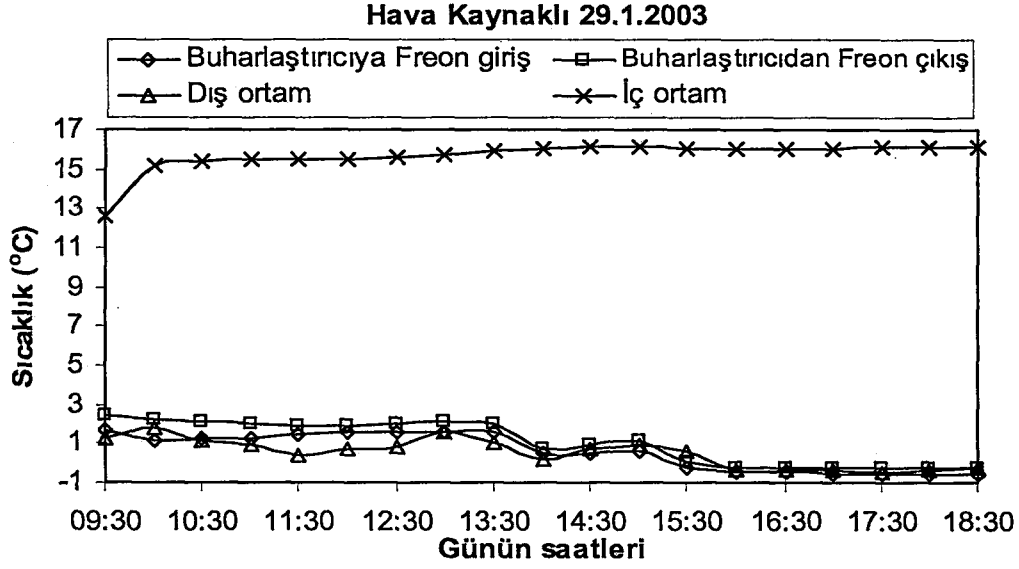


Şekil 9.33. COP_{sis}'in Yoğuşturucuya Hava Giriş ve Çıkış Sıcaklıklarına Göre Değişimi.

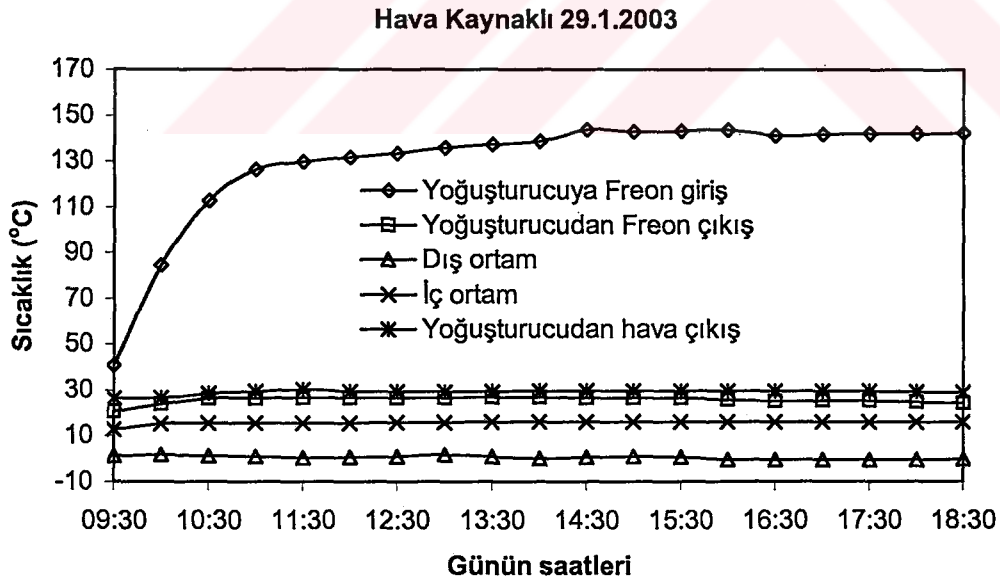


Şekil 9.34. Günüün Saatlerine Göre Harcanan Gücün Değişimi.

EK 2.2.

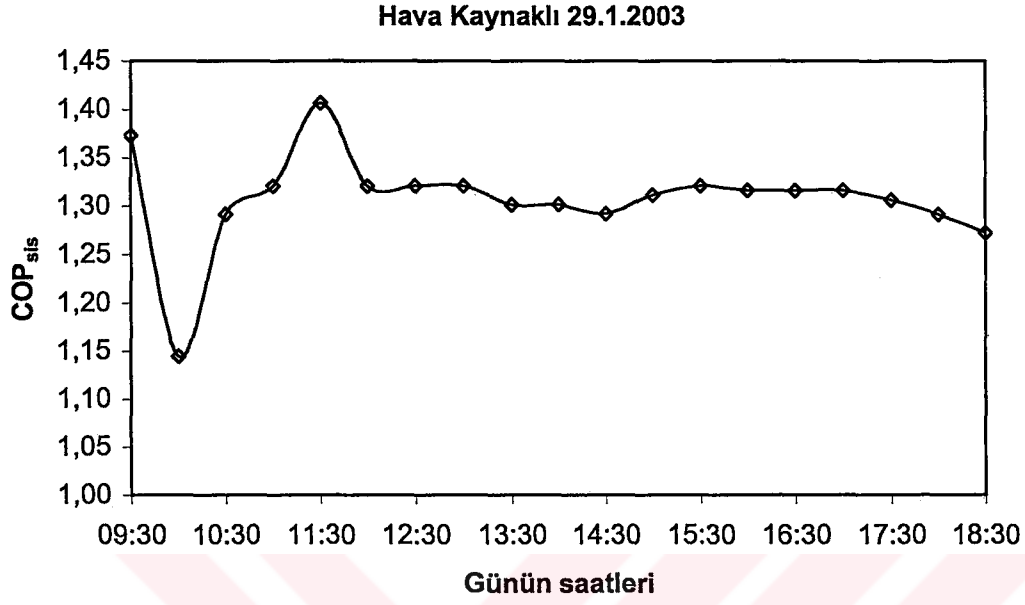


Şekil 9.35. Günü Saatlere Göre Farklı Noktalardaki Sıcaklık Değişimi.

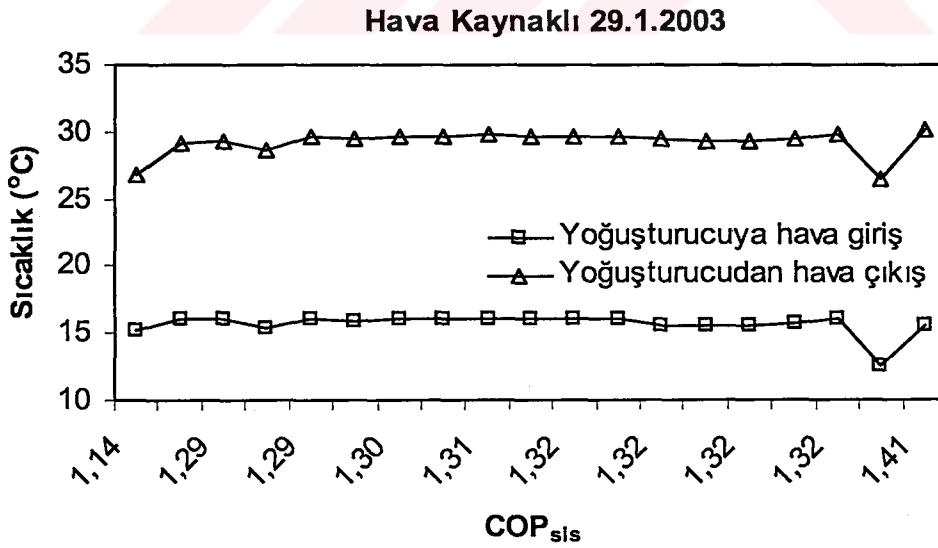


Şekil 9.36. Günü Saatlere Göre Farklı Noktalardaki Sıcaklık Değişimi.

EK 2.2.

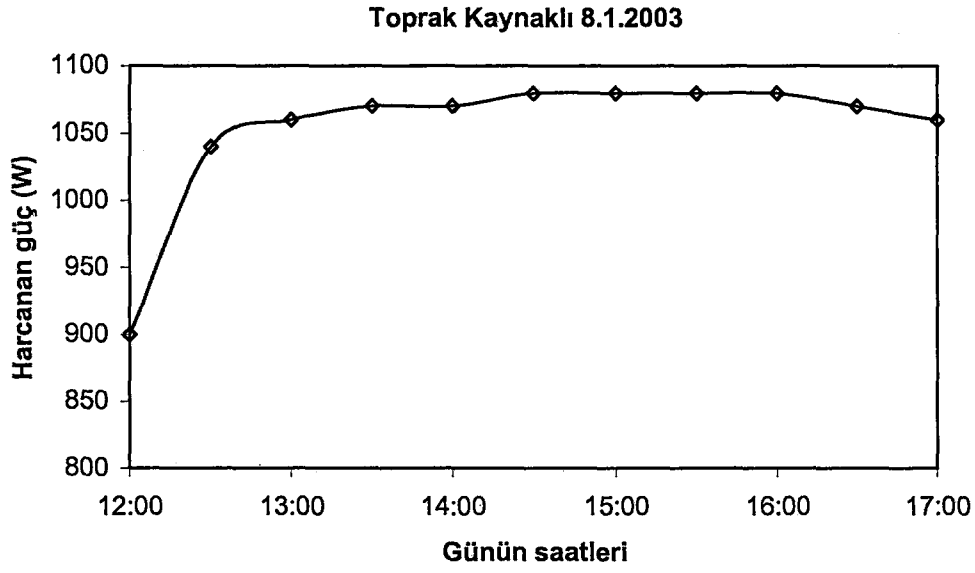


Şekil 9.37. Günüin Saatlerine Göre COP_{sis}'in Değişimi.

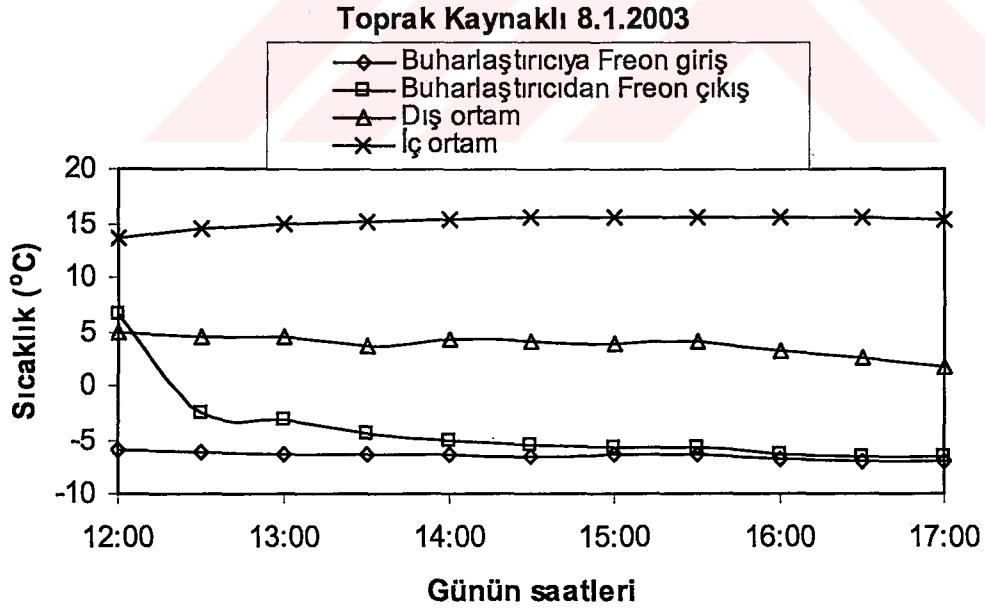


Şekil 9.38. COP_{sis}'in Yoğuşturucuya Hava Giriş ve Çıkış Sıcaklıklarına Göre Değişimi.

EK 2.2.

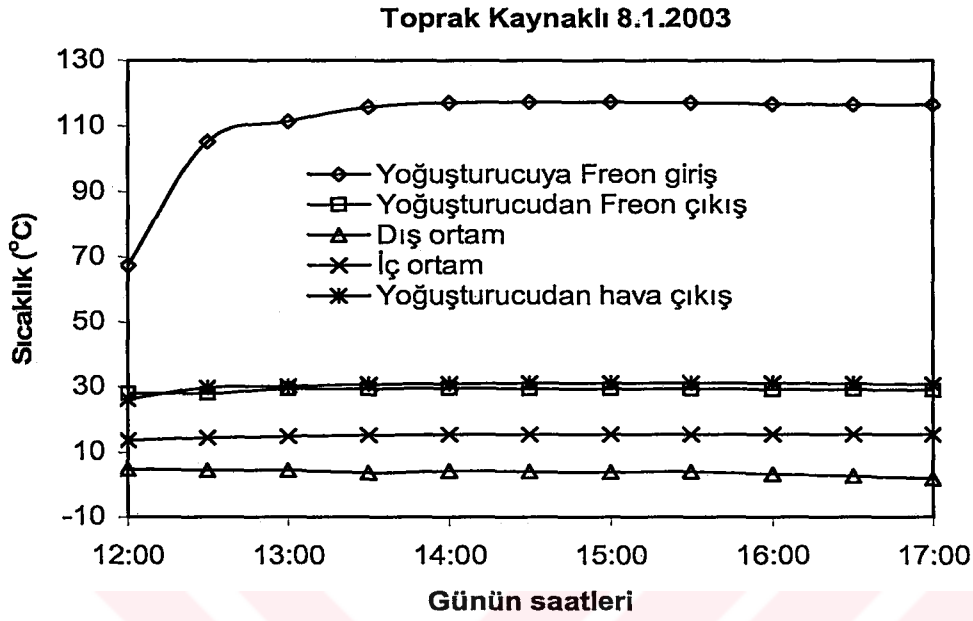


Şekil 9.39. Günün Saatlerine Göre Harcanan Gücün Değişimi.

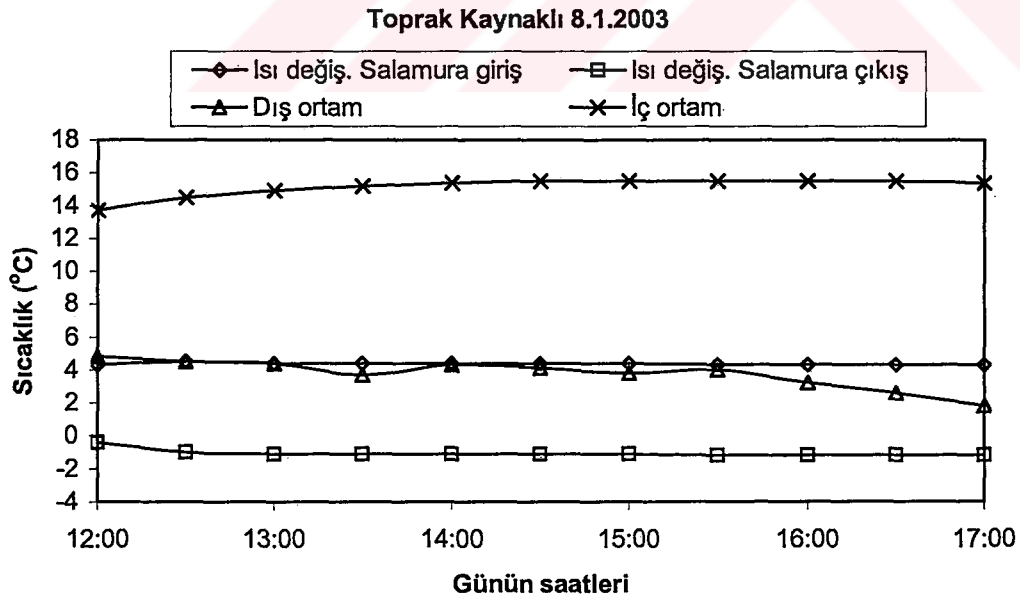


Şekil 9.40. Günün Saatlerine Göre Farklı Noktalardaki Sıcaklık Değişimi.

EK 2.2.

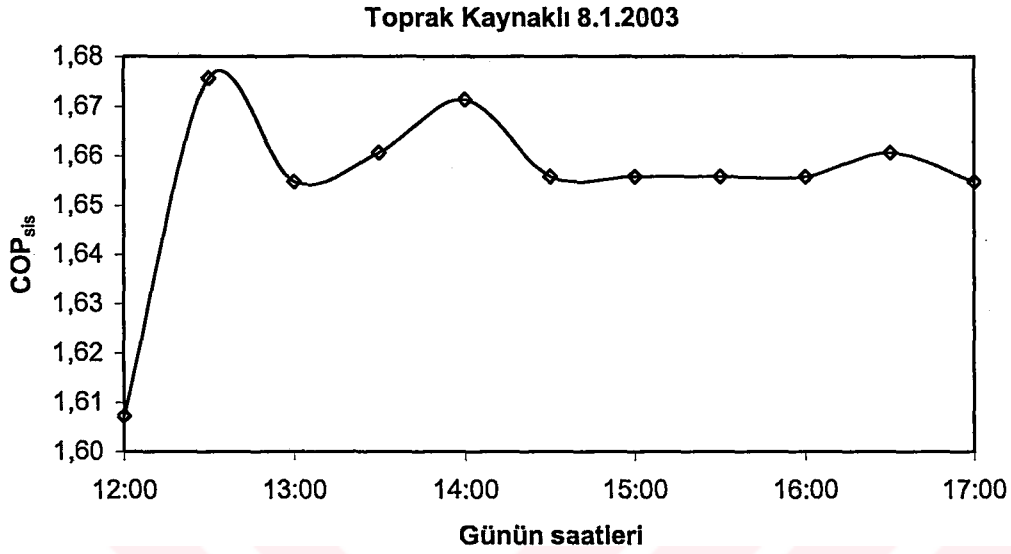


Şekil 9.41. Günün Saatlerine Göre Farklı Noktalardaki Sıcaklık Değişimi.

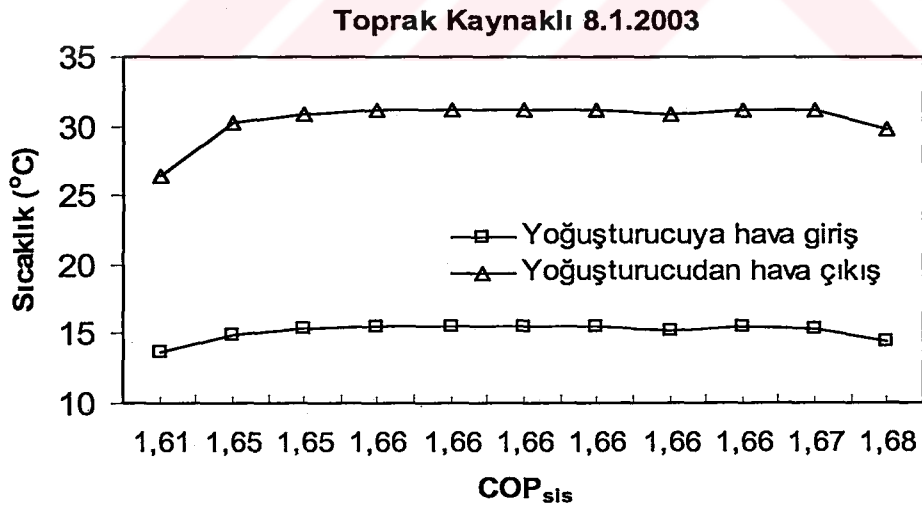


Şekil 9.42. Günün Saatlerine Göre Farklı Noktalardaki Sıcaklık Değişimi.

EK 2.2.

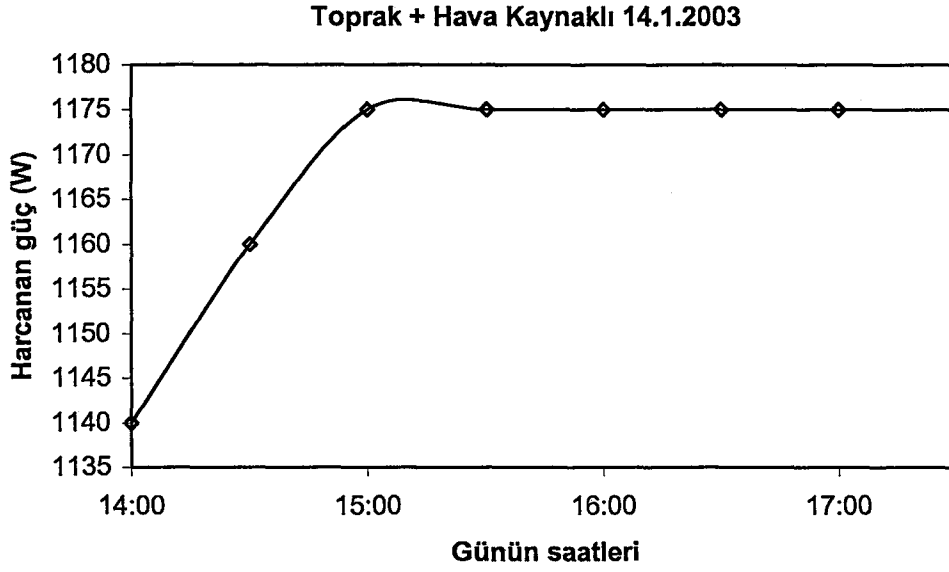


Şekil 9.43. Günüin Saatlerine Göre COP_{sis}'in Değişimi.

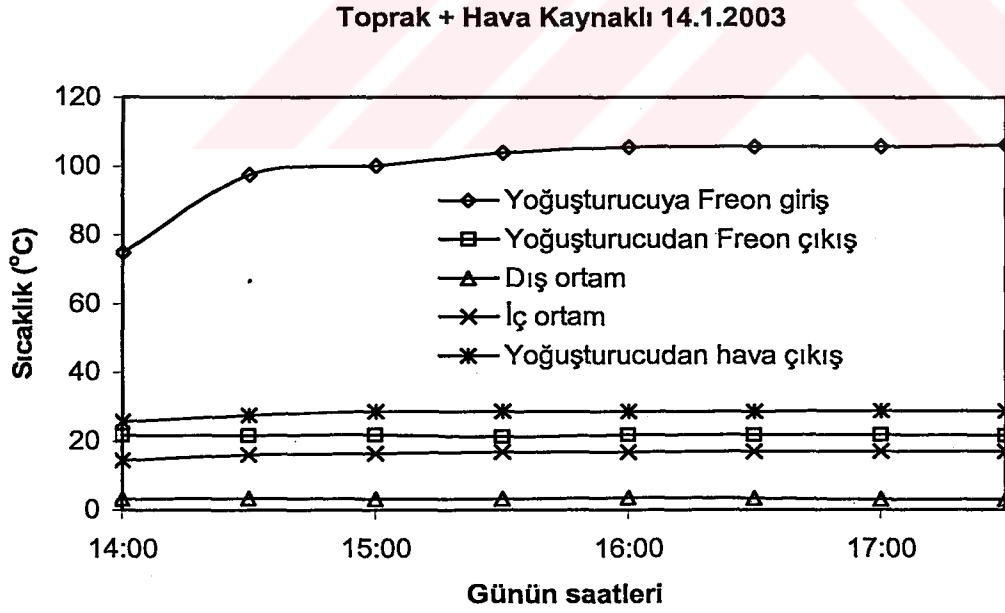


Şekil 9.44. COP_{sis}'in Yoğuşturucuya Hava Giriş ve Çıkış Sıcaklıklarına Göre Değişimi.

EK 2.2.

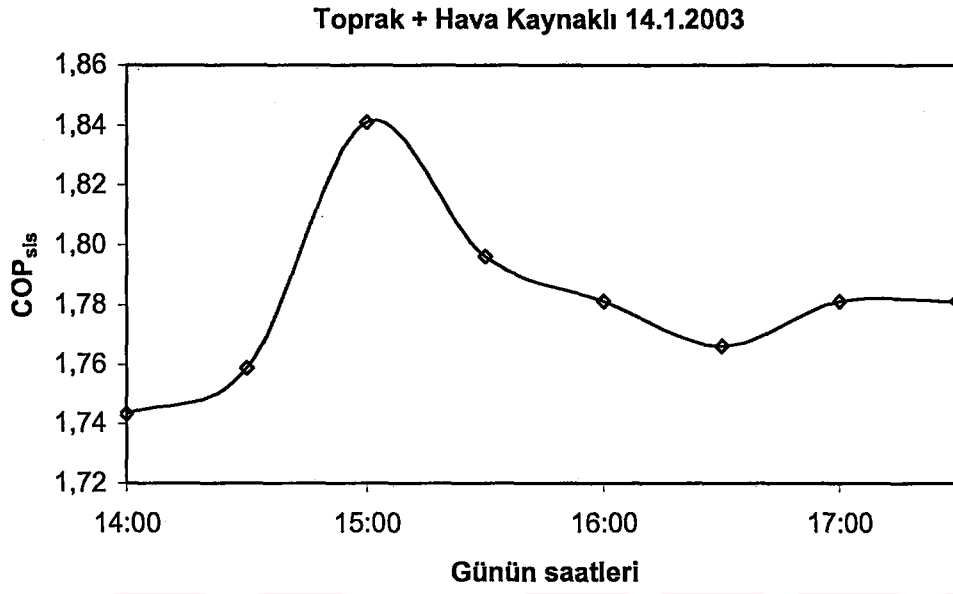


Şekil 9.45. Günün Saatlerine Göre Harcanan Gücün Değişimi.

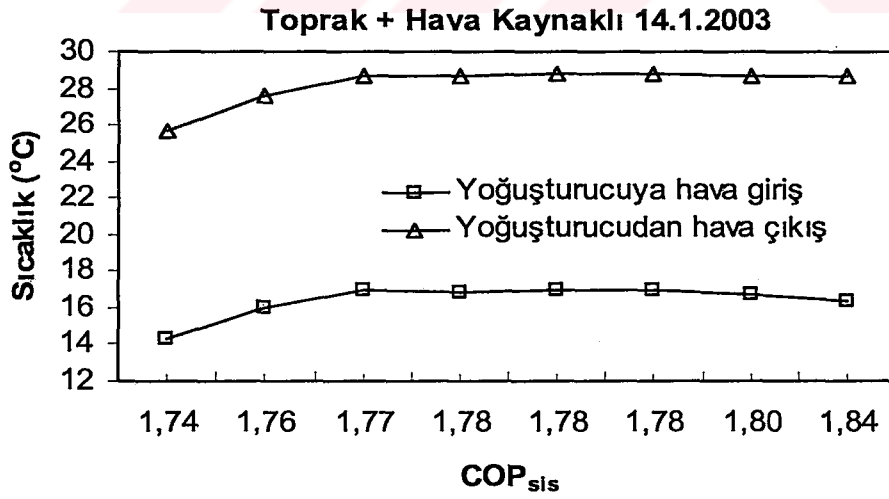


Şekil 9.46. Günün Saatlerine Göre Farklı Noktalardaki Sıcaklık Değişimi.

EK 2.2.

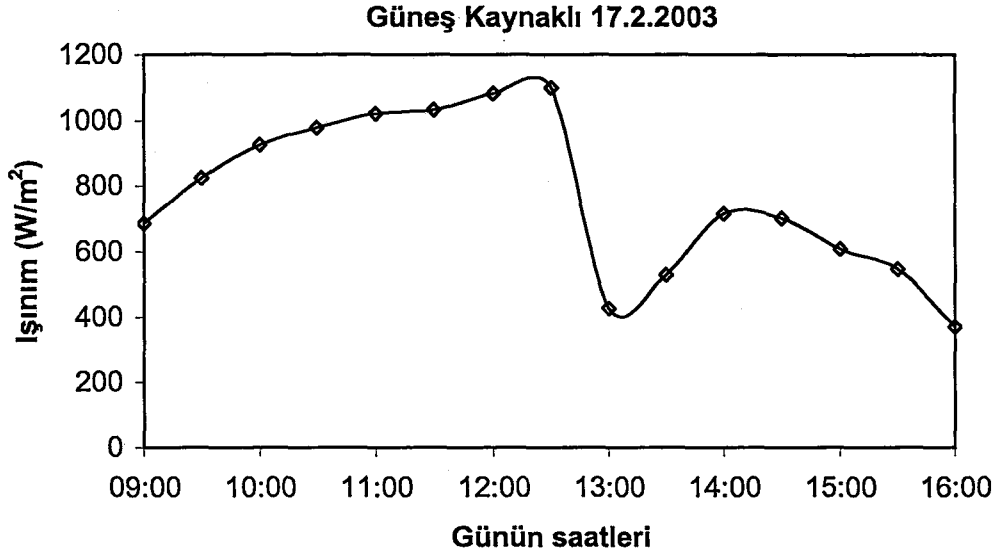


Şekil 9.47. Günü Saatlere Göre COP_{sis}'in Değişimi.

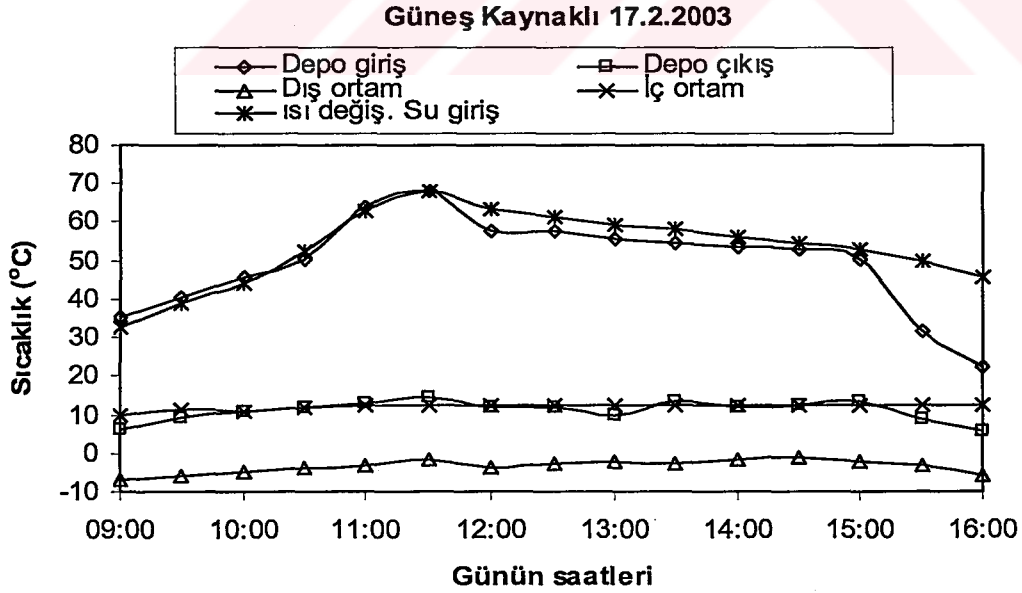


Şekil 9.48. COP_{sis}'in Yoğuşturucuya Hava Giriş ve Çıkış Sıcaklıklarına Göre Değişimi.

EK 2.3.

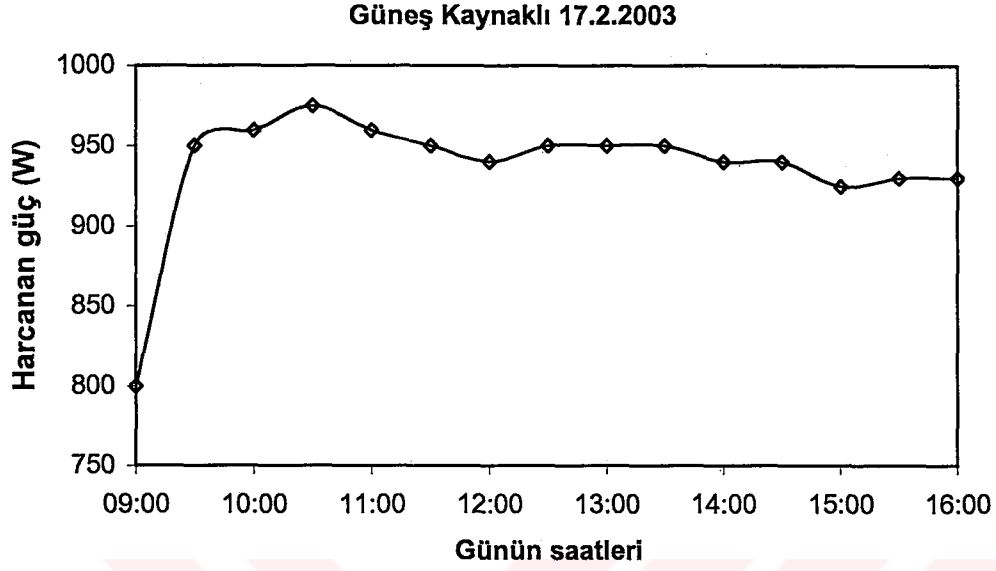


Şekil 9.49. Günün Saatlerine Göre Güneş Işınımının Değişimi.

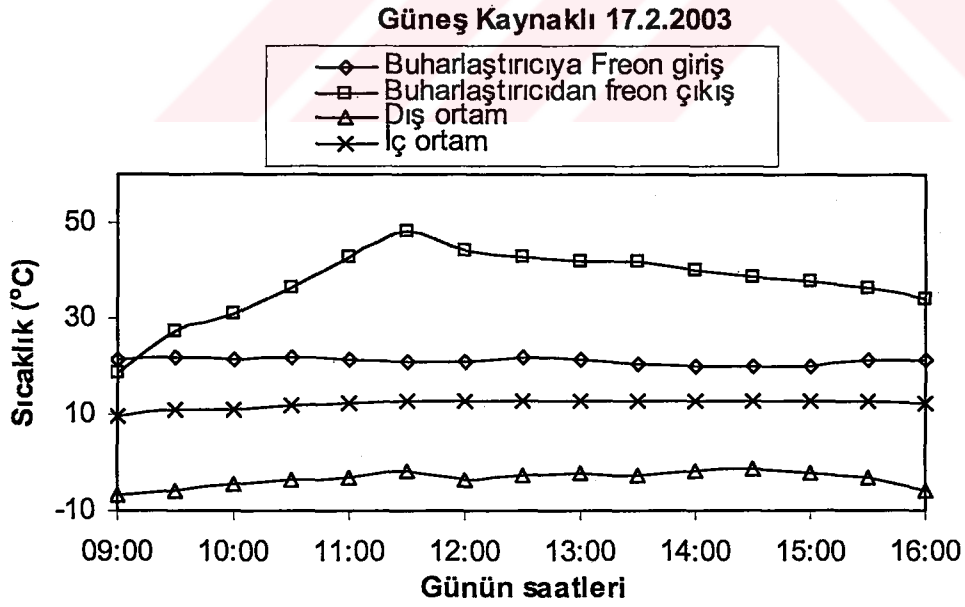


Şekil 9.50. Günün Saatlerine Göre Farklı Noktalardaki Sıcaklık Değişimi.

EK 2.3.

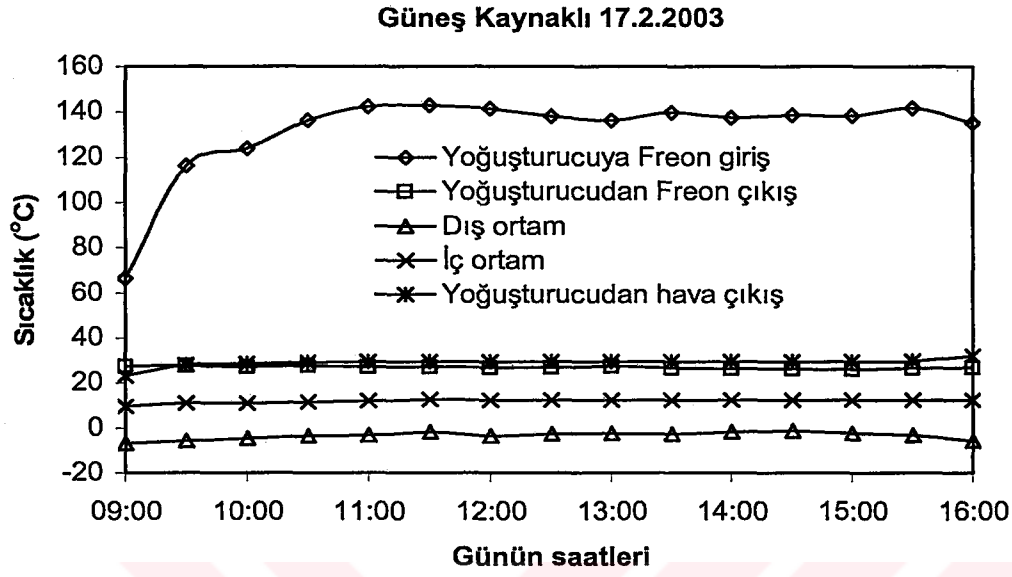


Şekil 9.51. Günün Saatlerine Göre Harcanan Gücün Değişimi.

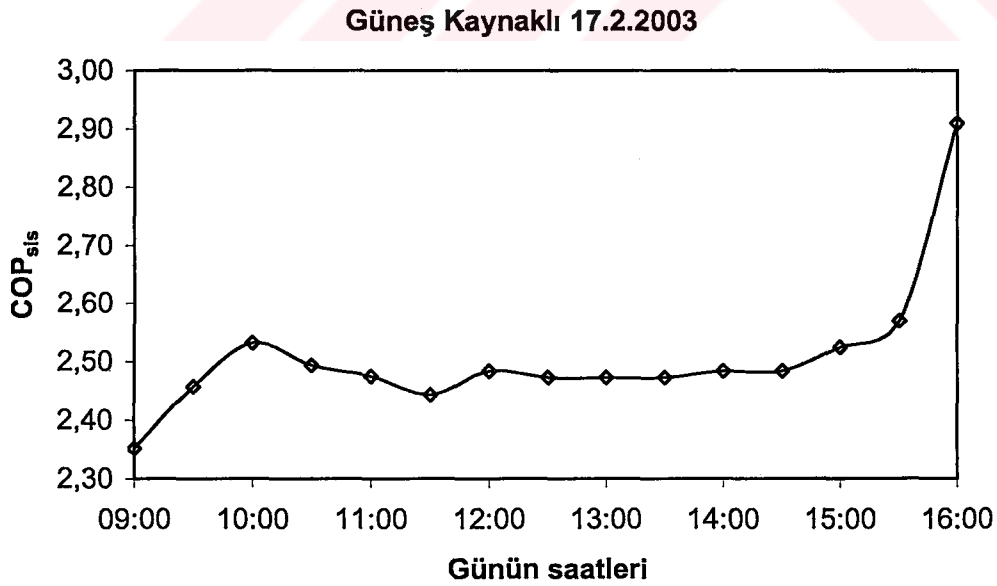


Şekil 9.52. Günün Saatlerine Göre Farklı Noktalardaki Sıcaklık Değişimi.

EK 2.3.

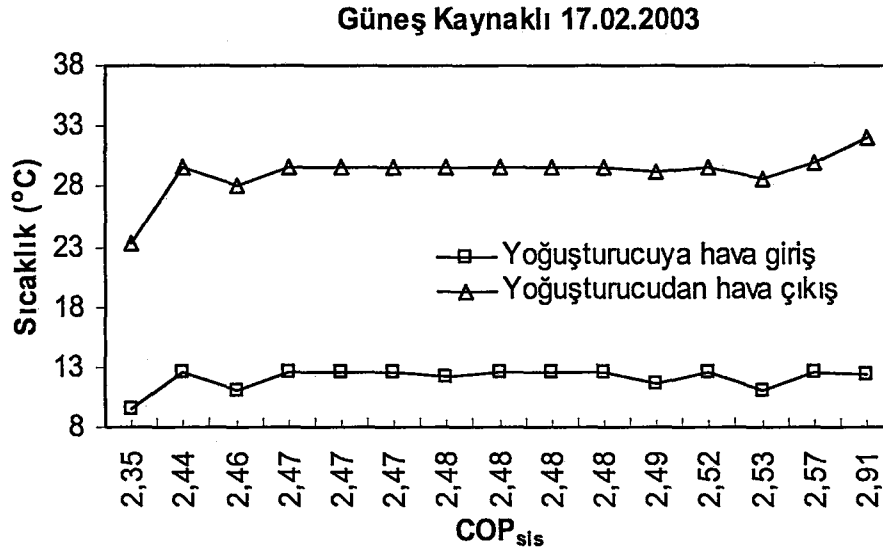


Şekil 9.53. Günü Saatlere Göre Farklı Noktalardaki Sıcaklık Değişimi.

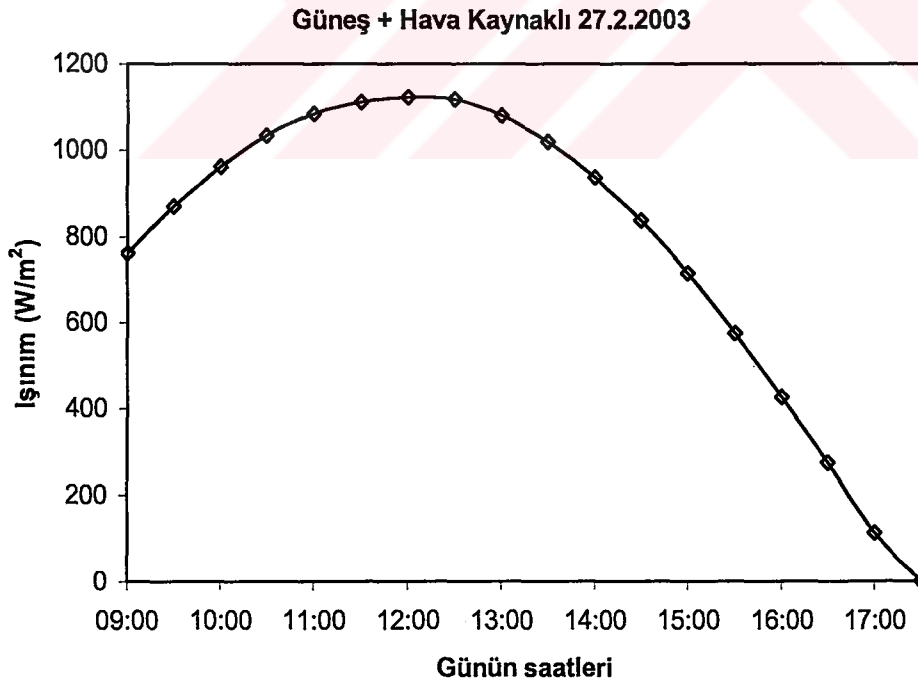


Şekil 9.54. Günü Saatlere Göre COP_{sis}'in Değişimi.

EK 2.3.

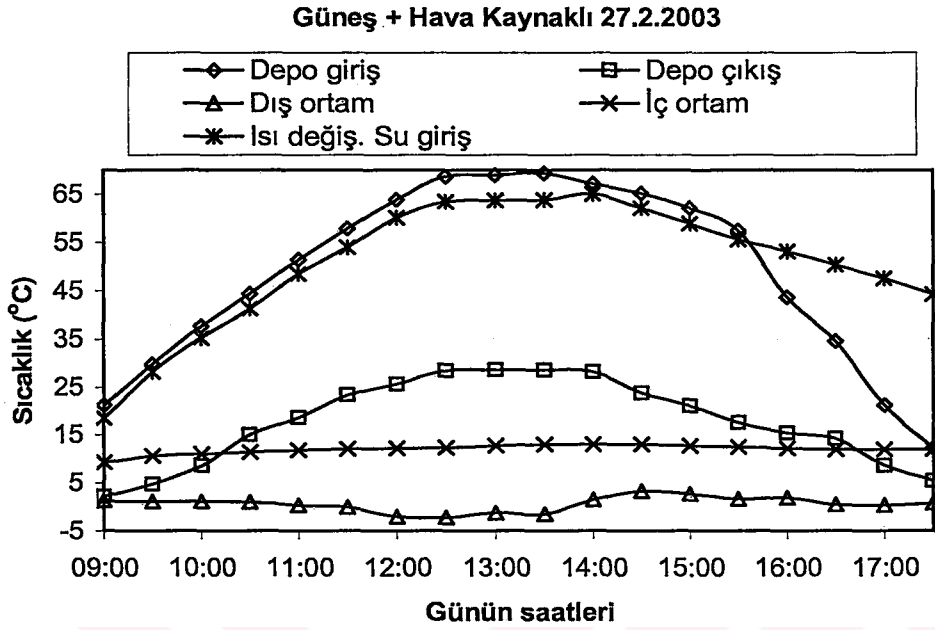


Şekil 9.55. COP_{sis}'in Yoğuşturucuya Hava Giriş ve Çıkış Sıcaklıklarına Göre Değişimi.

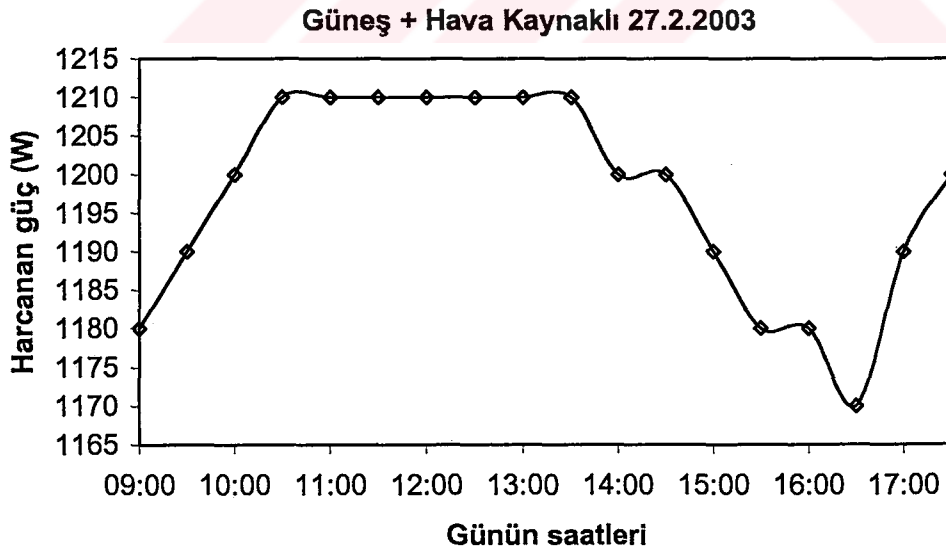


Şekil 9.56. Günün Saatlerine Göre Güneş Işınımının Değişimi.

EK 2.3.



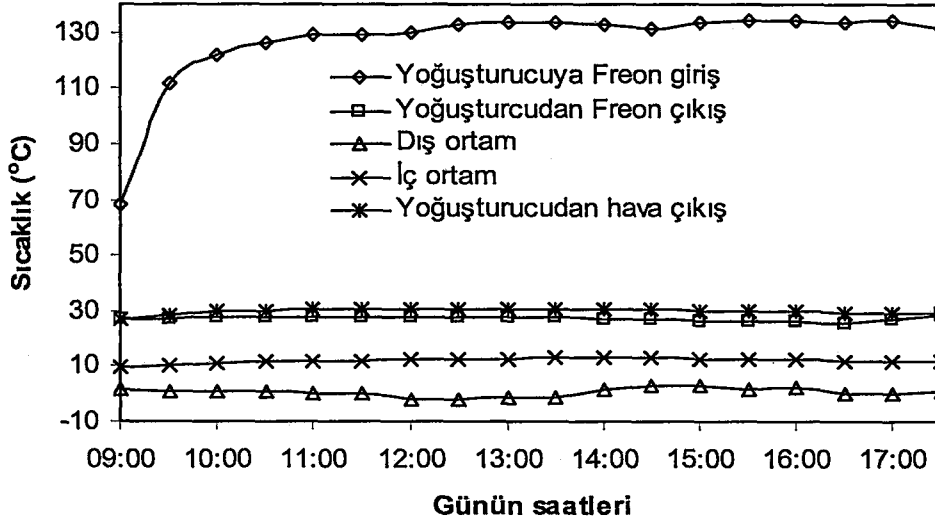
Şekil 9.57. Günüñ Saatlerine Göre Farklı Noktalardaki Sıcaklık Değişimi.



Şekil 9.58. Günüñ Saatlerine Göre Harcanan Gücün Değişimi.

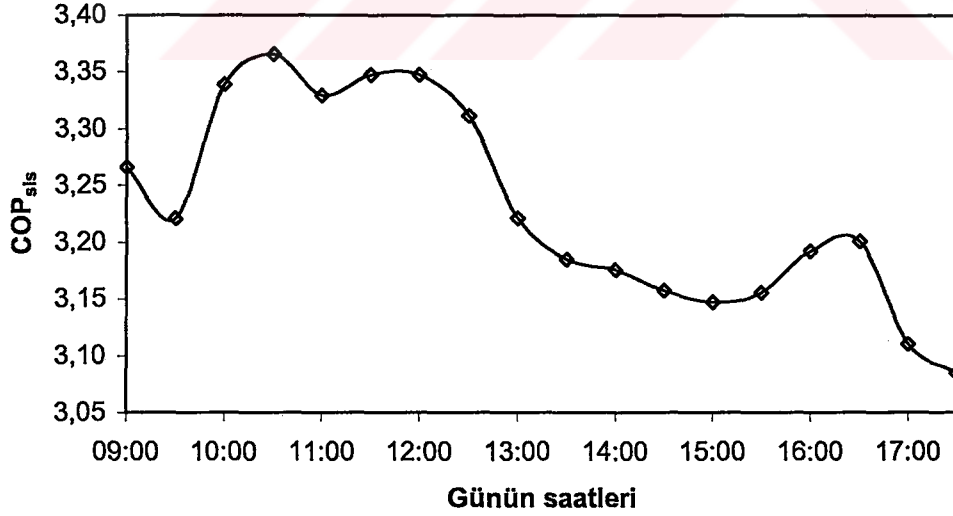
EK 2.3.

Güneş + Hava Kaynaklı 27.2.2003



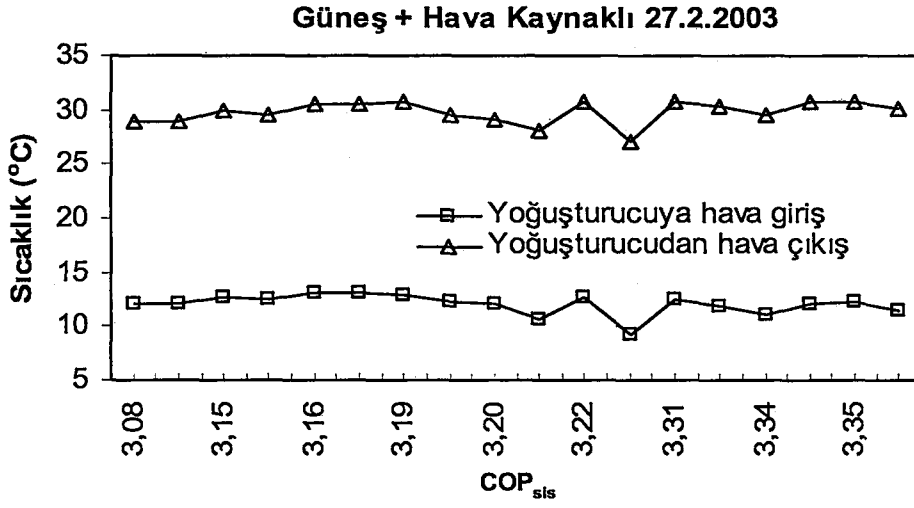
Şekil 9.59. Günün Saatlerine Göre Farklı Noktalardaki Sıcaklık Değişimi.

Güneş + Hava Kaynaklı 27.2.2003

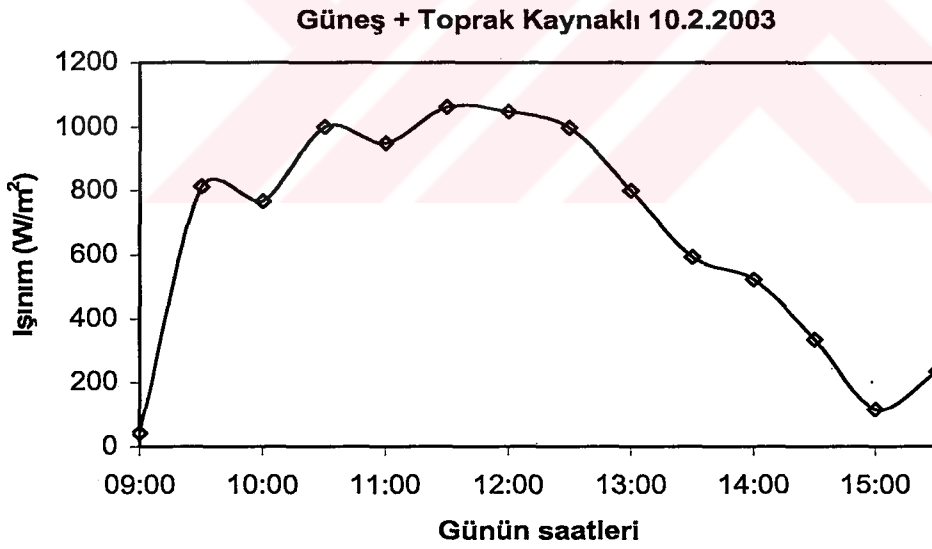


Şekil 9.60. Günün Saatlerine Göre COP_{sis}'in Değişimi.

EK 2.3.

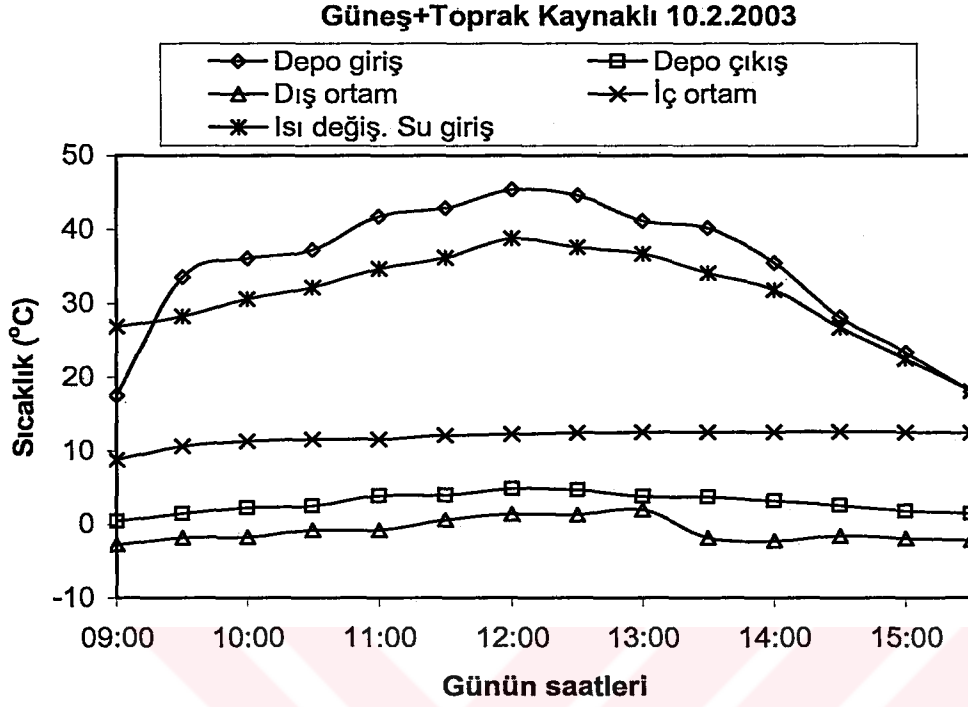


Şekil 9.61. COP_{sis}'in Yoğuşturucuya Hava Giriş ve Çıkış Sıcaklıklarına Göre Değişimi.

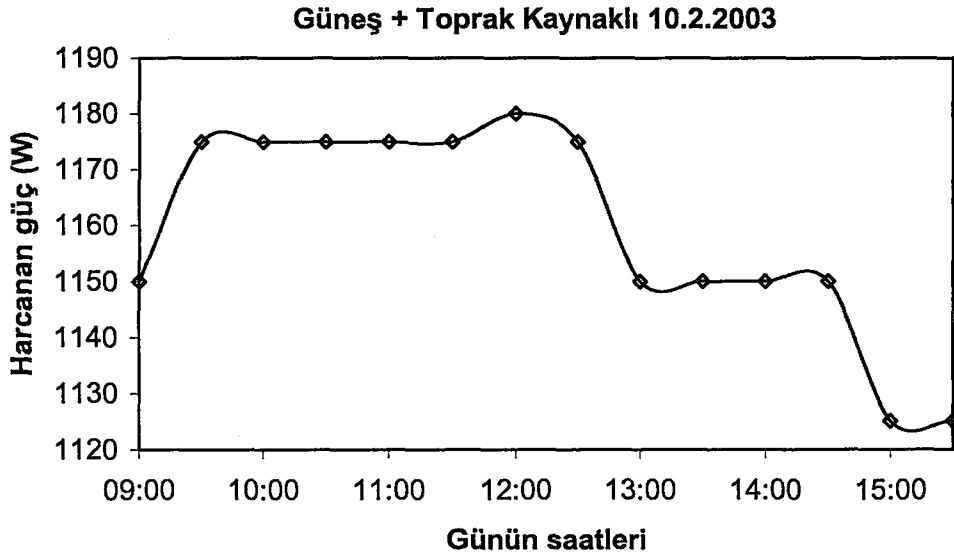


Şekil 9.62. Günün Saatlerine Göre Güneş Işınımının Değişimi.

EK 2.3.

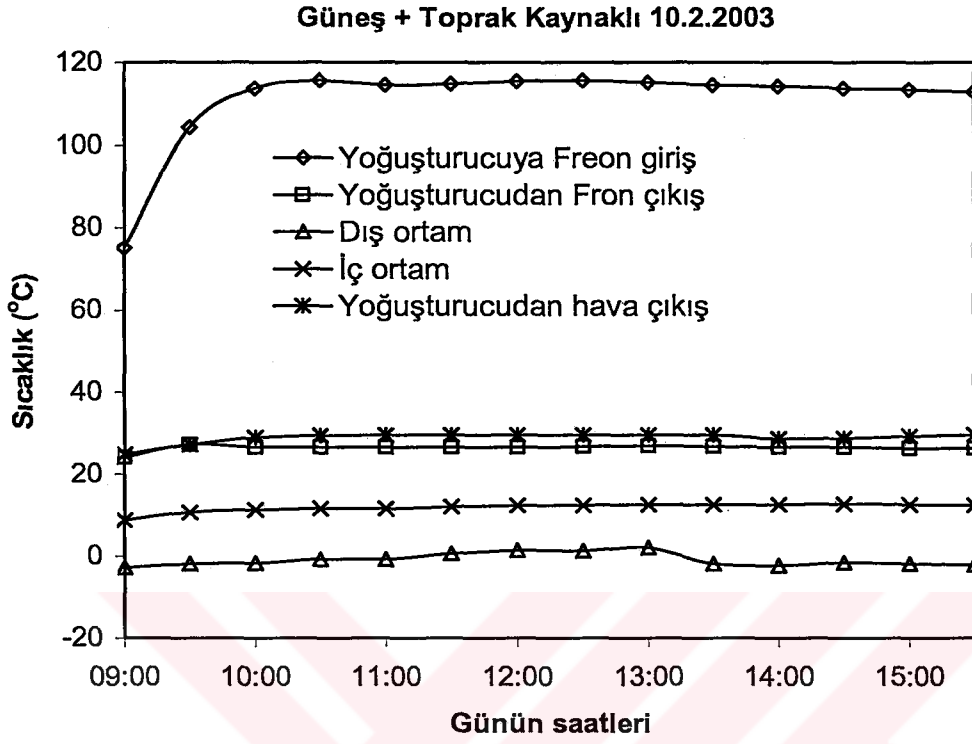


řekil 9.63. Günüň Saatlerine Göre Farklı Noktalardaki Sıcaklık Deęiřimi.

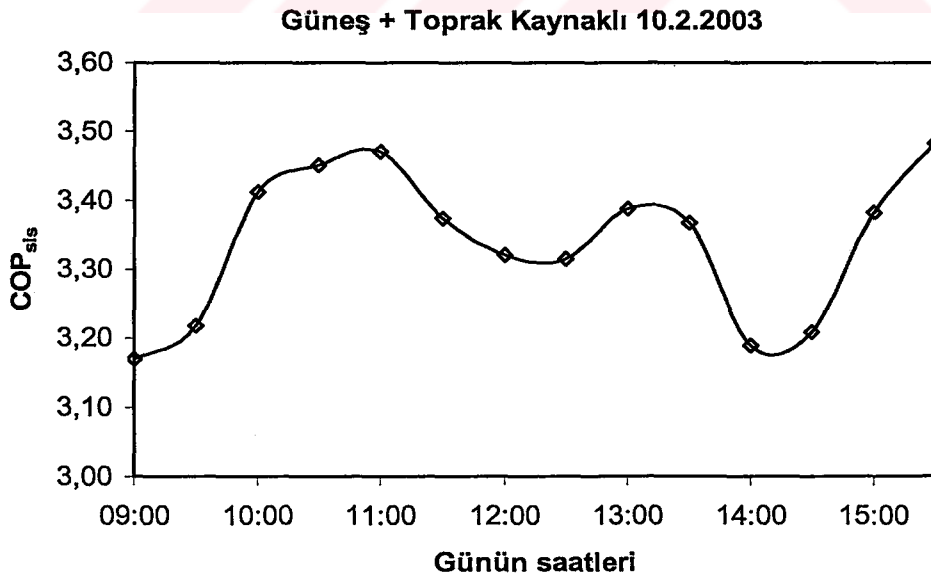


řekil 9.64. Günüň Saatlerine Göre Harcanan Gücün Deęiřimi.

EK 2.3.

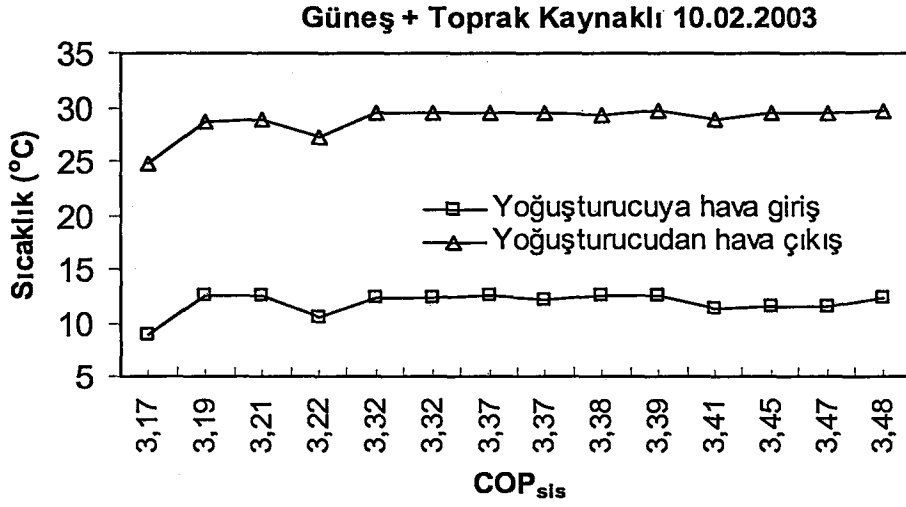


Şekil 9.65. Günün Saatlerine Göre Farklı Noktalardaki Sıcaklık Değişimi.

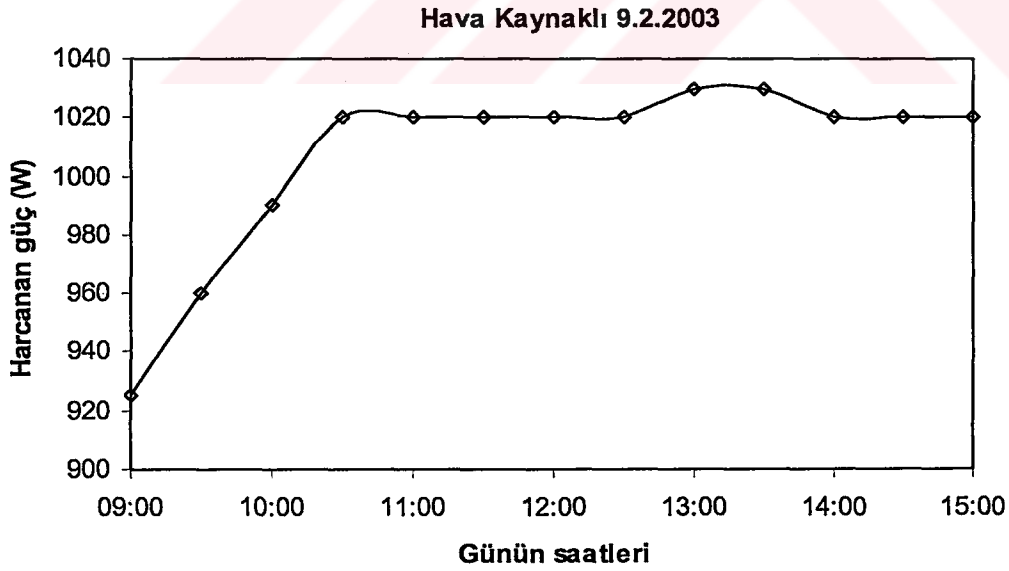


Şekil 9.66. Günün Saatlerine Göre COP_{sis}'in Değişimi.

EK 2.3.

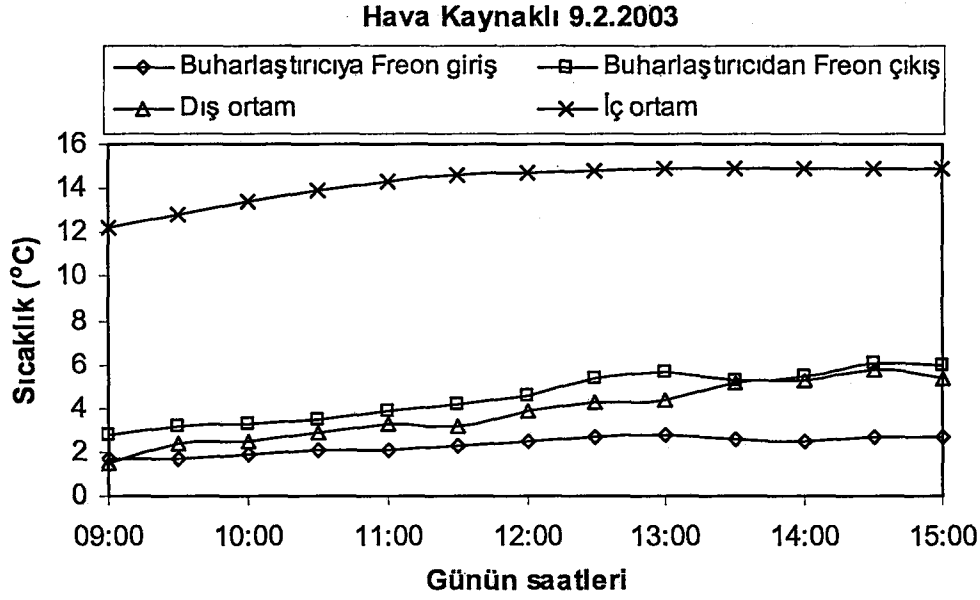


Şekil 9.67. COP_{sis}'in Yoğuşturucuya Hava Giriş ve Çıkış Sıcaklıklarına Göre Değişimi.

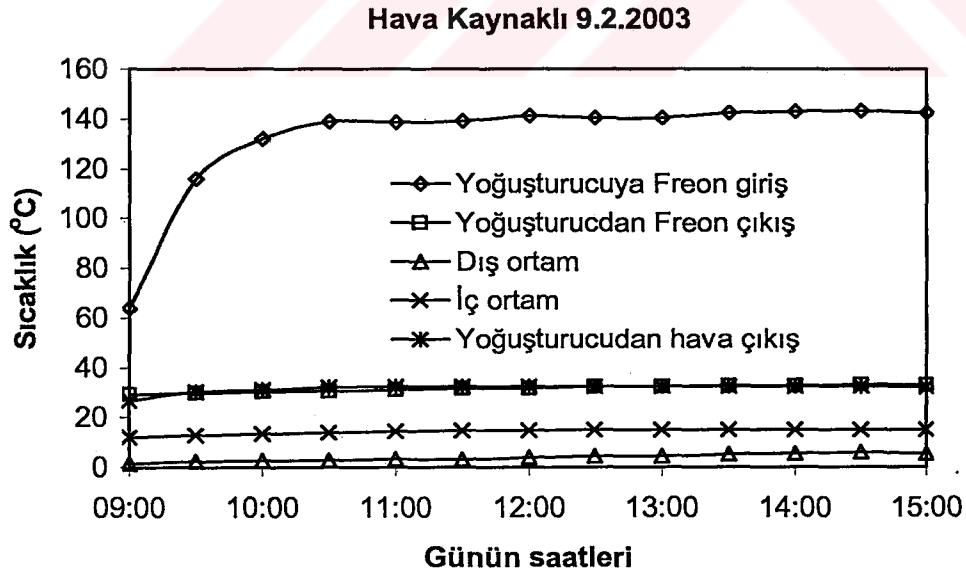


Şekil 9.68. Günü Saatiğine Göre Harcanan Gücün Değişimi.

EK 2.3.

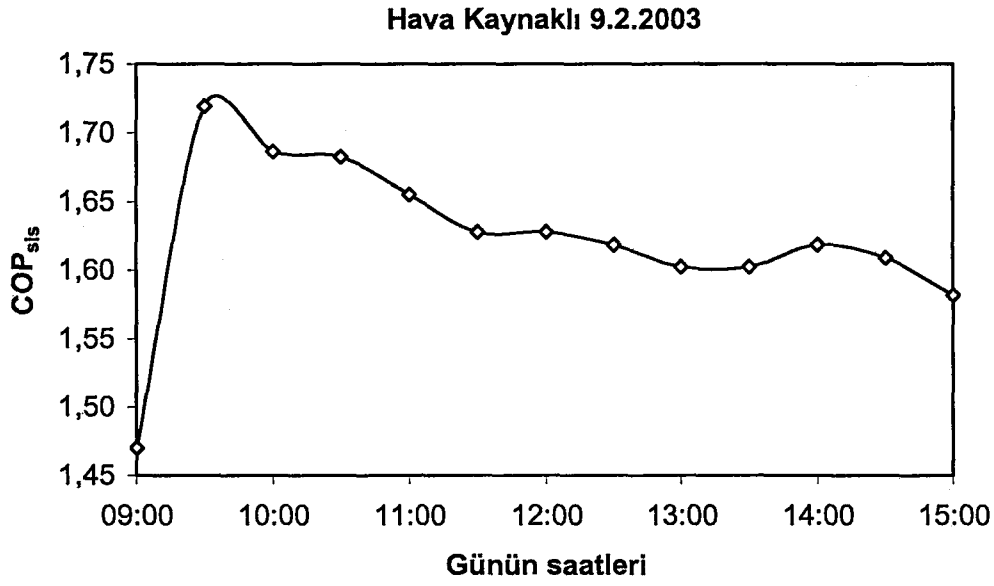


Şekil 9.69. Günün Saatlerine Göre Farklı Noktalardaki Sıcaklık Değişimi.

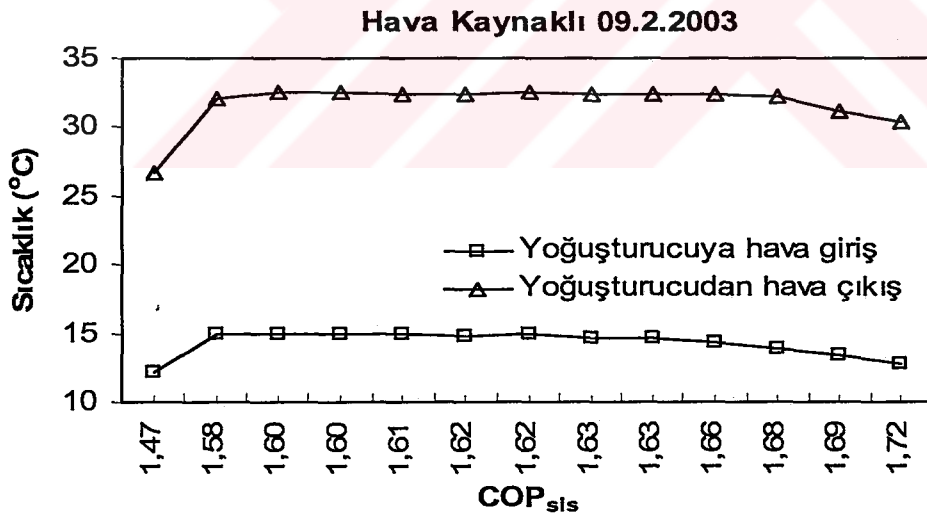


Şekil 9.70. Günün Saatlerine Göre Farklı Noktalardaki Sıcaklık Değişimi.

EK 2.3.

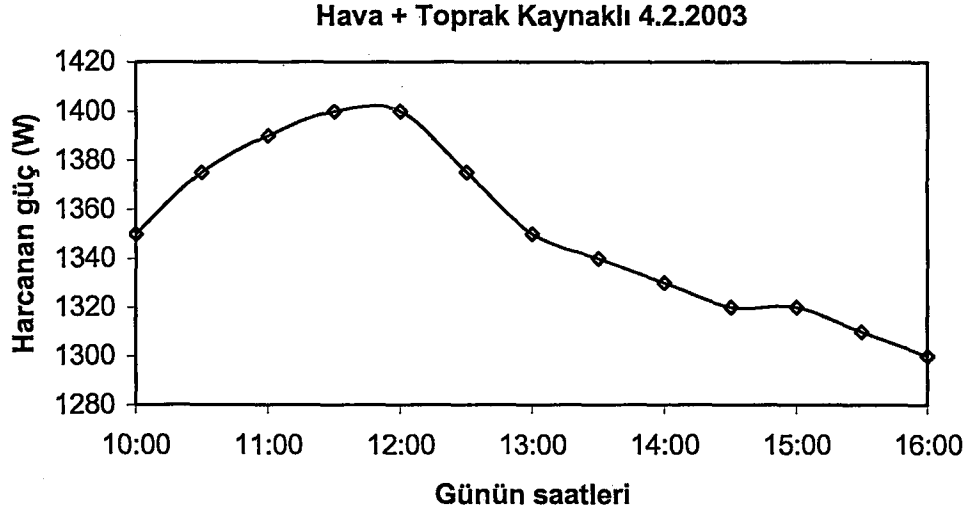


Şekil 9.71. Günüün Saatlerine Göre COP_{sis}'in Değişimi.

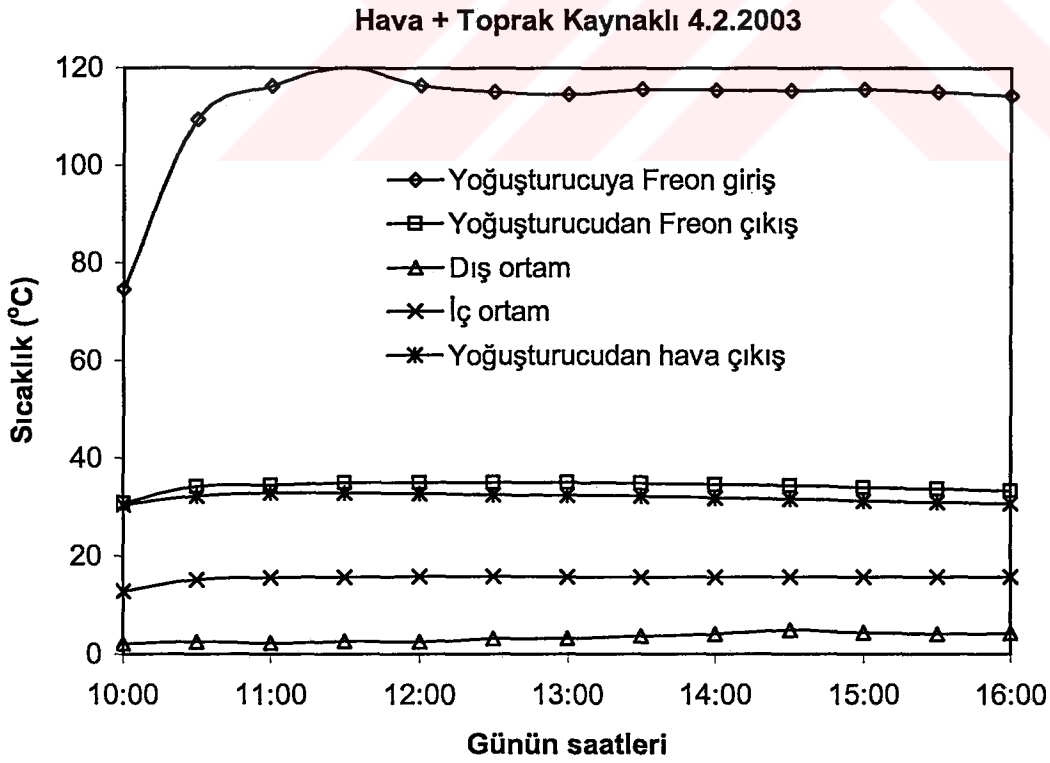


Şekil 9.72. COP_{sis}'in Yoğuşturucuya Hava Giriş ve Çıkış Sıcaklıklarına Göre Değişimi.

EK 2.3.

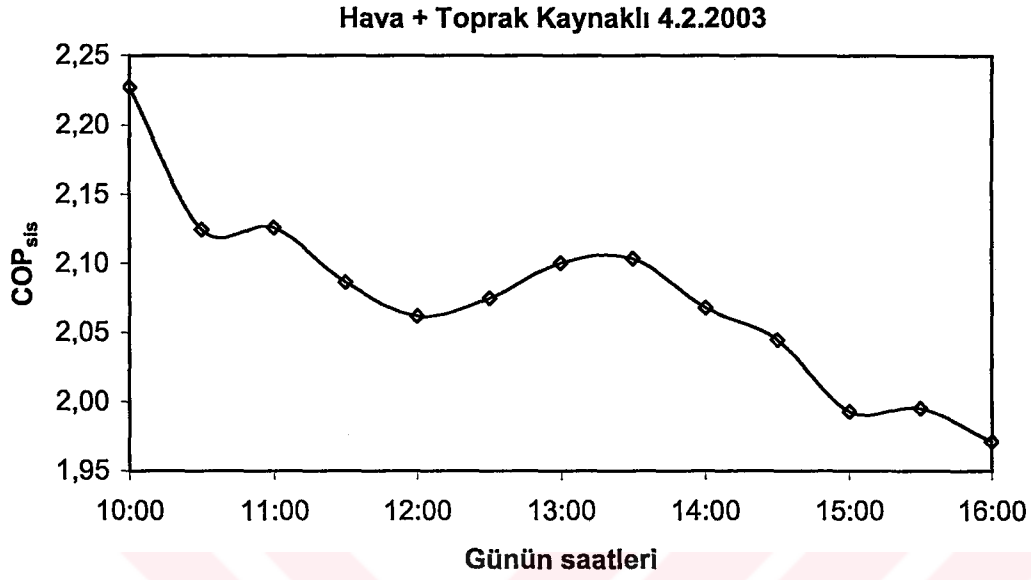


Şekil 9.73. Günün Saatlerine Göre Harcanan Gücün Değişimi.

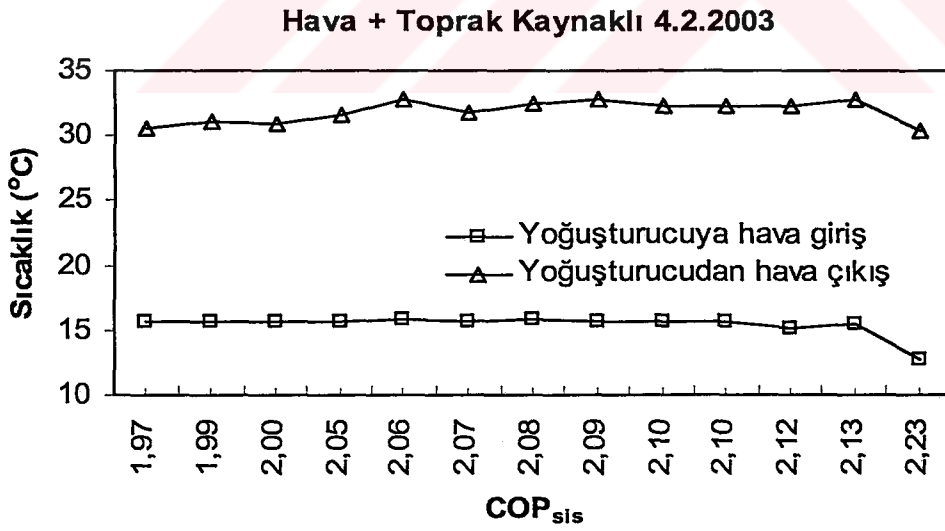


Şekil 9.74. Günün Saatlerine Göre Farklı Noktalardaki Sıcaklık Değişimi.

EK 2.3.

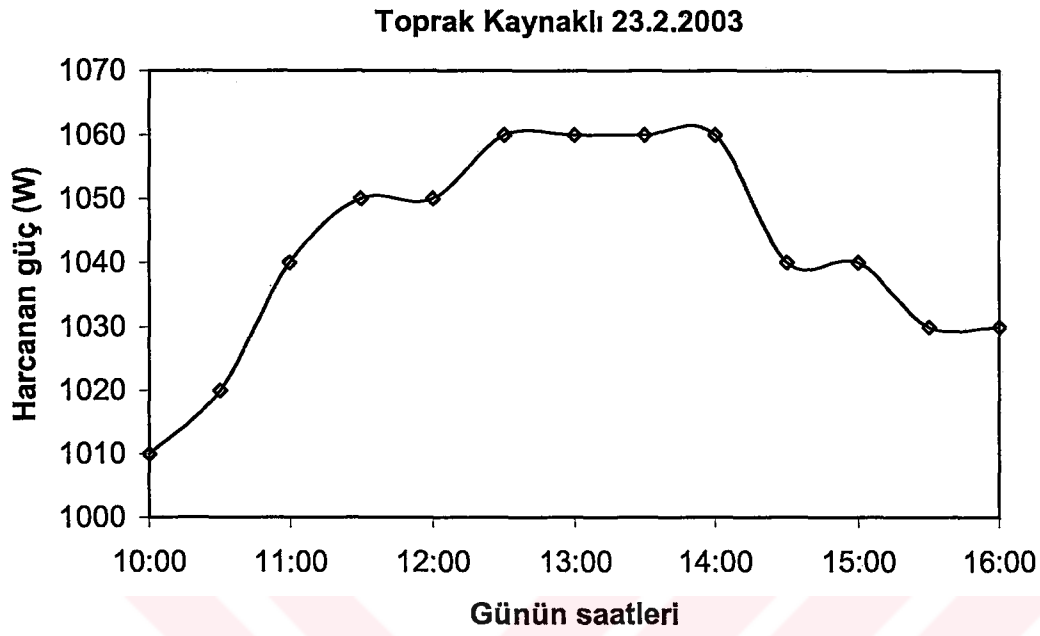


Şekil 9.75. Günü Saatlere Göre COP_{sis}'in Değişimi.

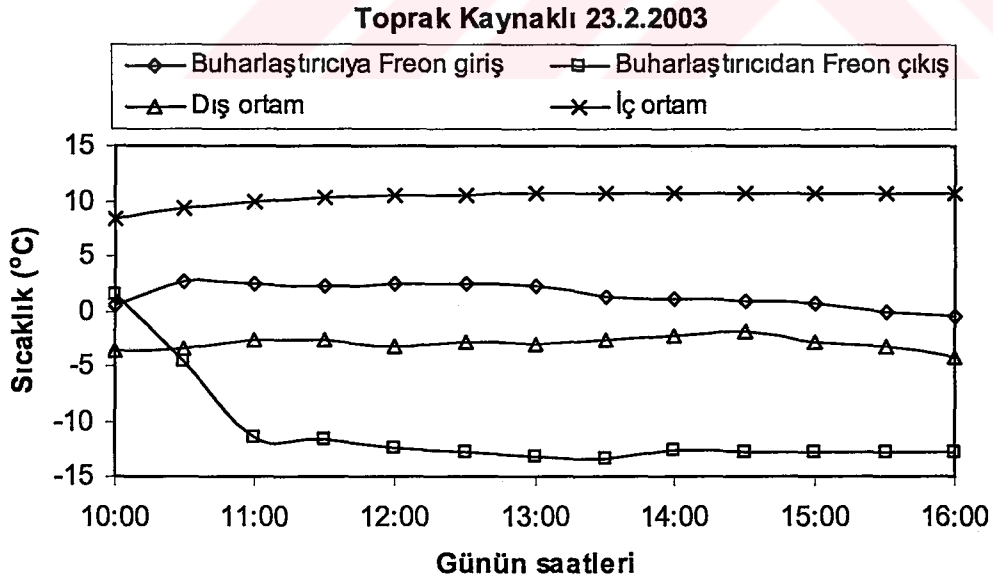


Şekil 9.76. COP_{sis}'in Yoğuşturucuya Hava Giriş ve Çıkış Sıcaklıklarına Göre Değişimi.

EK 2.3.

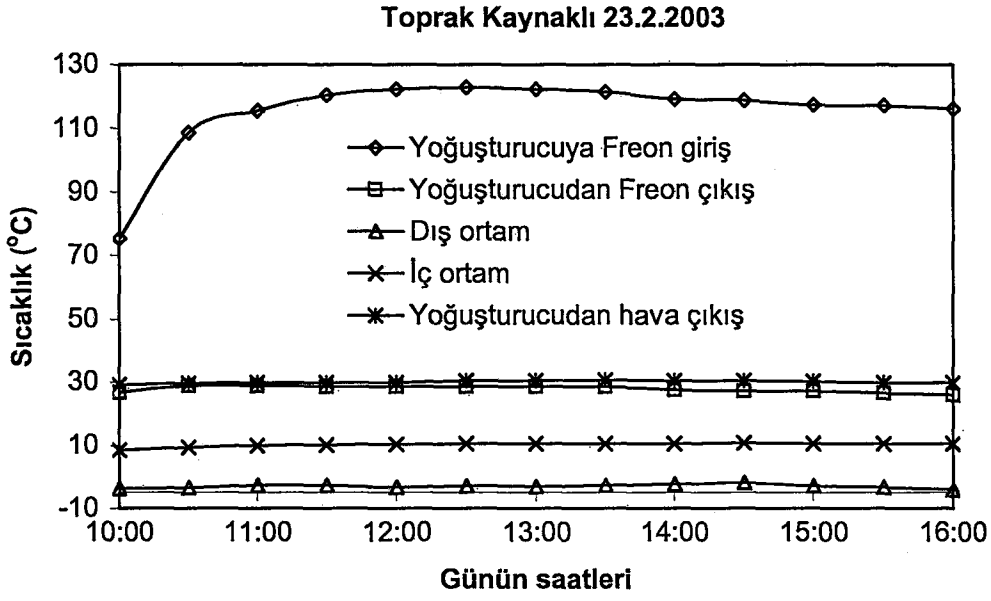


Şekil 9.77. Günün Saatlerine Göre Harcanan Gücün Değişimi.

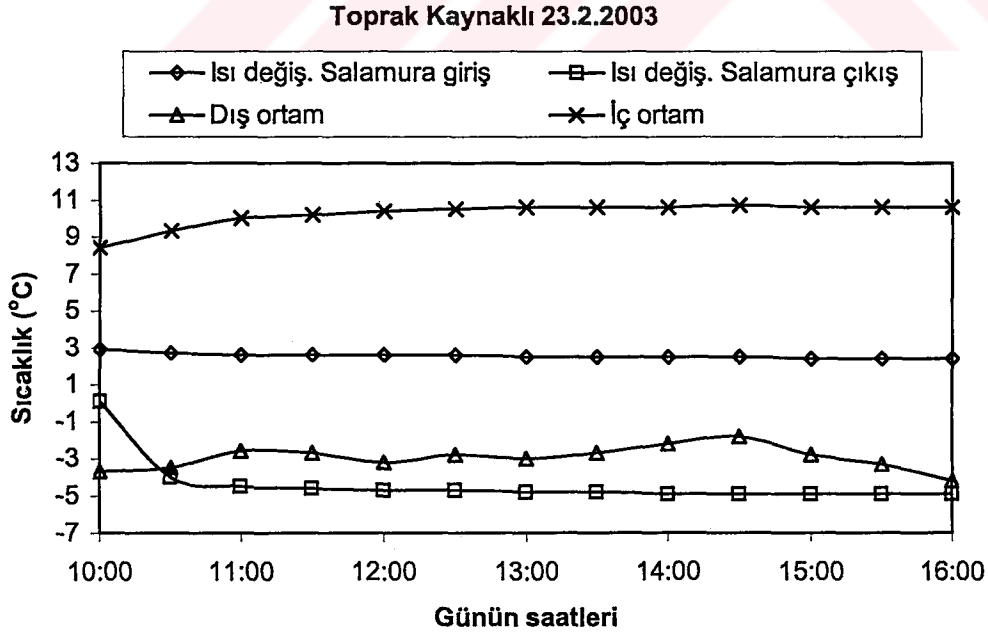


Şekil 9.78. Günün Saatlerine Göre Farklı Noktalardaki Sıcaklık Değişimi.

EK 2.3.

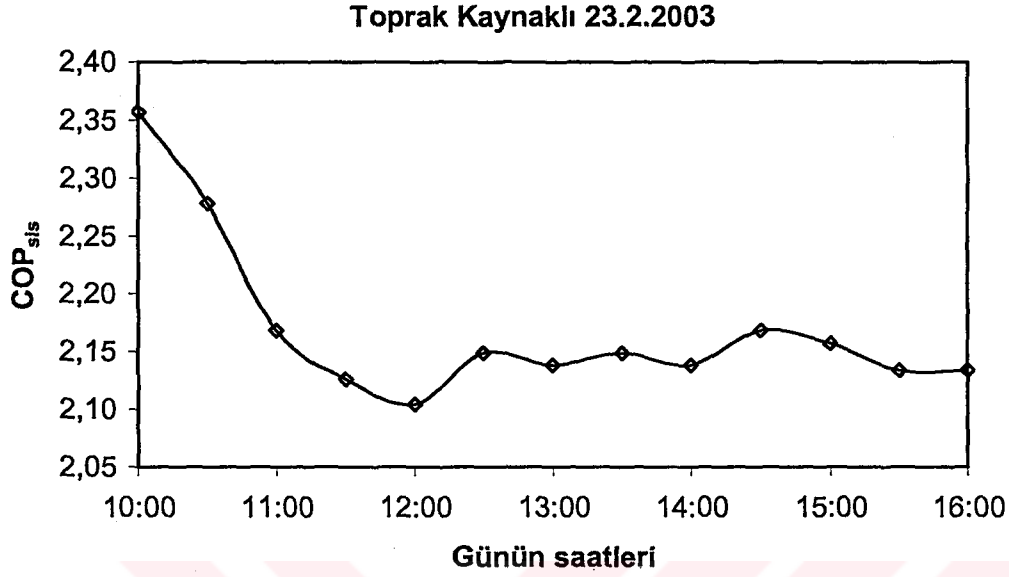


Şekil 9.79. Günü Saatiğine Göre Farklı Noktalardaki Sıcaklık Değişimi.

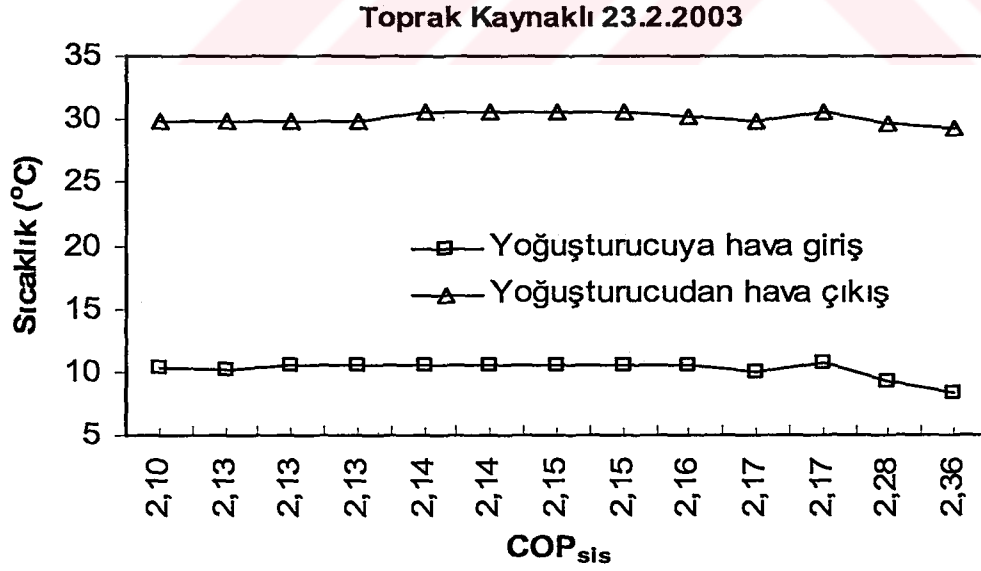


Şekil 9.80. Günü Saatiğine Göre Farklı Noktalardaki Sıcaklık Değişimi.

EK 2.3.

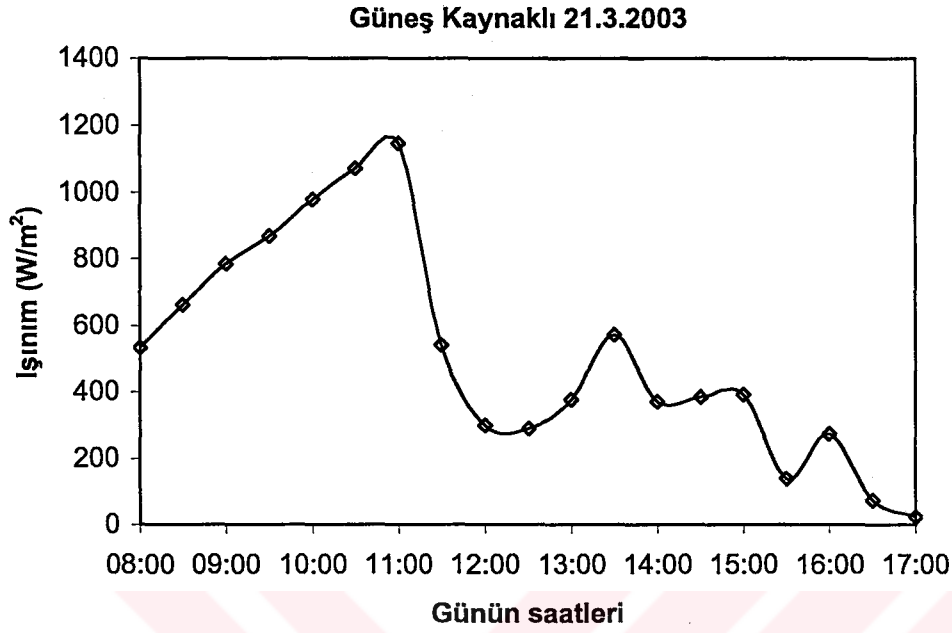


Şekil 9.81. Günü Saatiğine Göre COP_{sis}'in Değişimi.

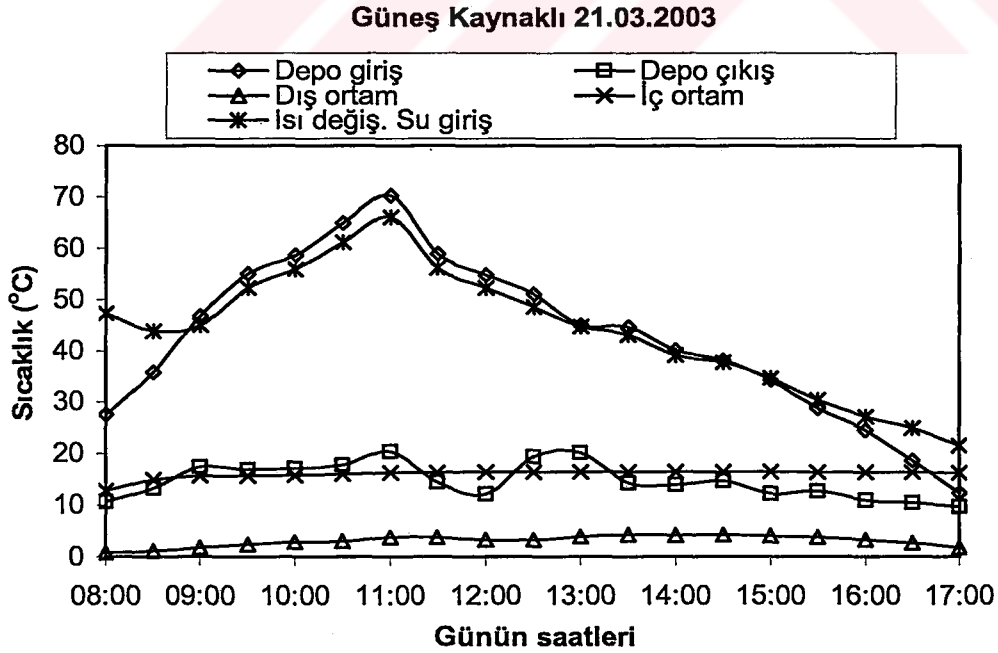


Şekil 9.82. COP_{sis}'in Yoğuşturucuya Hava Giriş ve Çıkış Sıcaklıklarına Göre Değişimi.

EK 2.4.

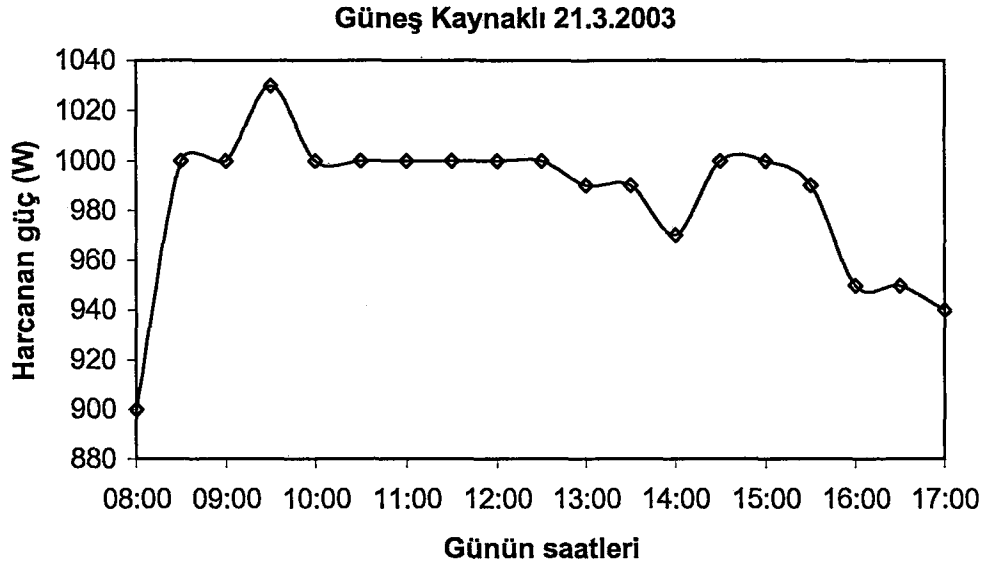


Şekil 9.83. Günü Saatlere Göre Güneş Işınımının Değişimi.

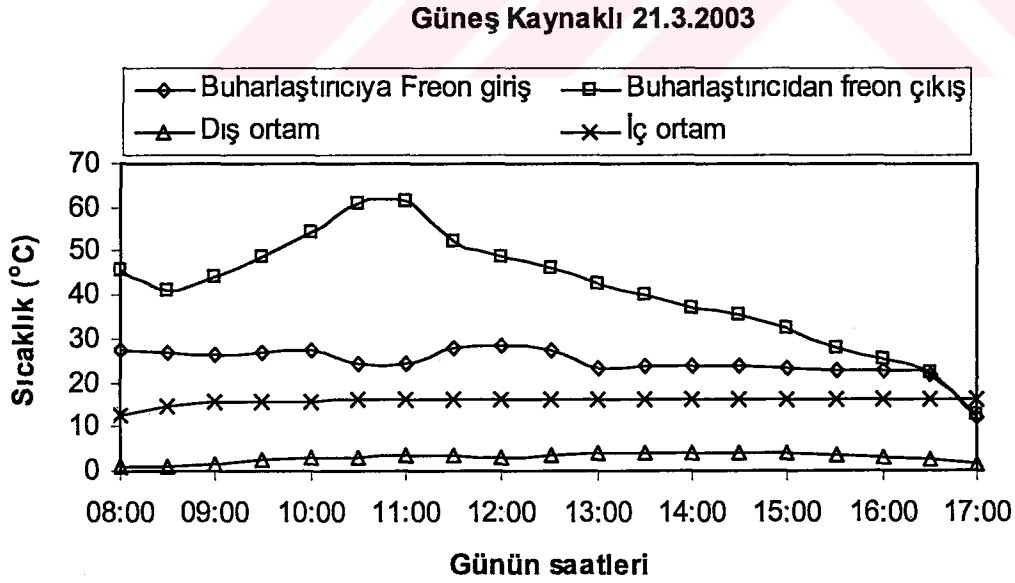


Şekil 9.84. Günü Saatlere Göre Farklı Noktalardaki Sıcaklık Değişimi.

EK 2.4.

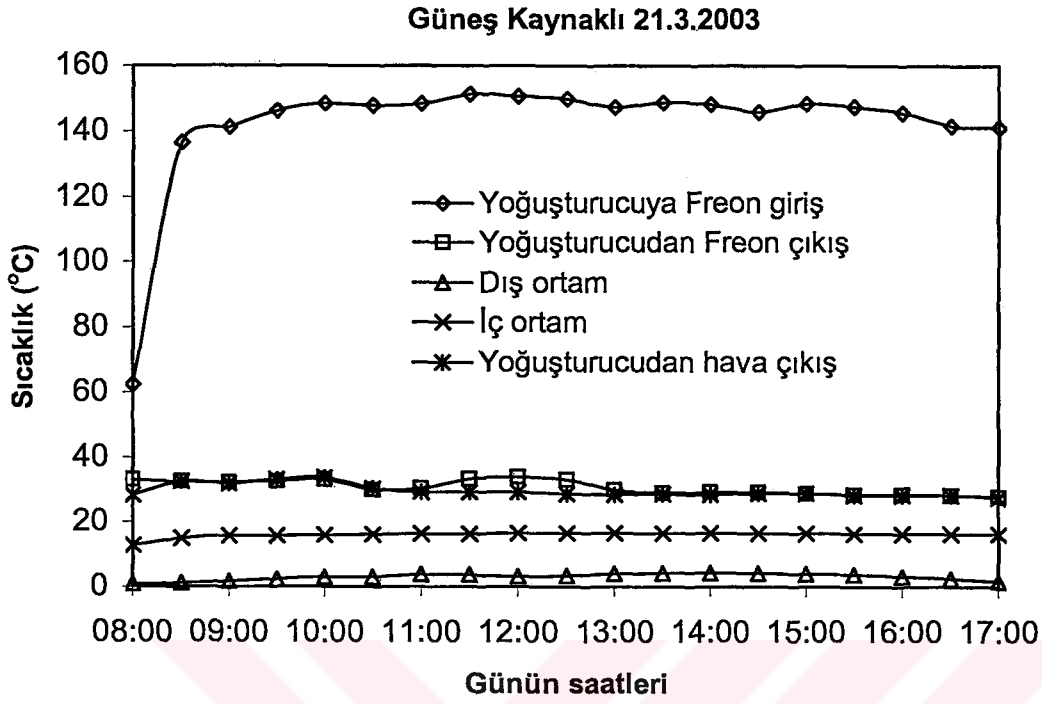


Şekil 9.85. Günü Saatlere Göre Harcanan Gücün Değişimi.

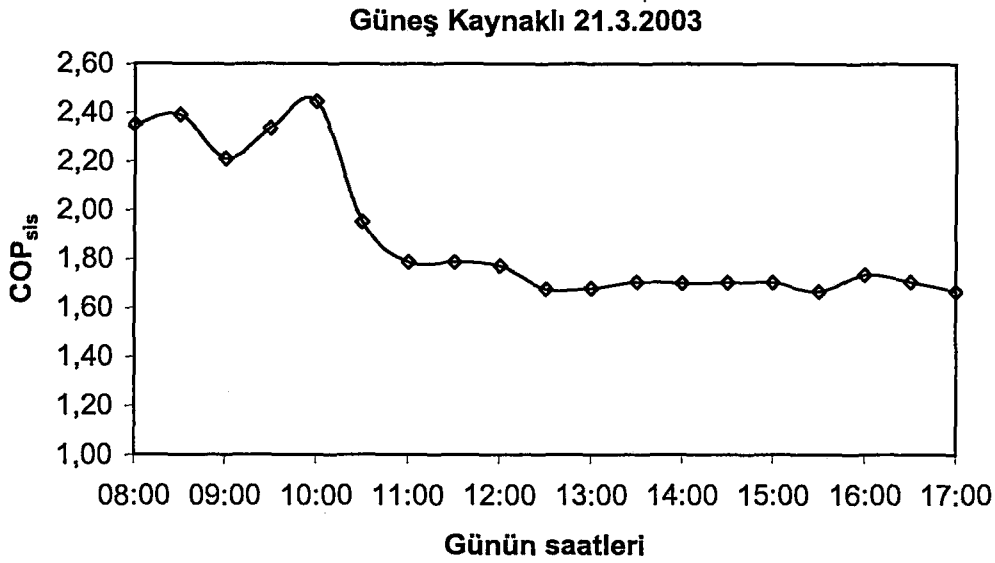


Şekil 9.86. Günü Saatlere Göre Farklı Noktalardaki Sıcaklık Değişimi.

EK 2.4.

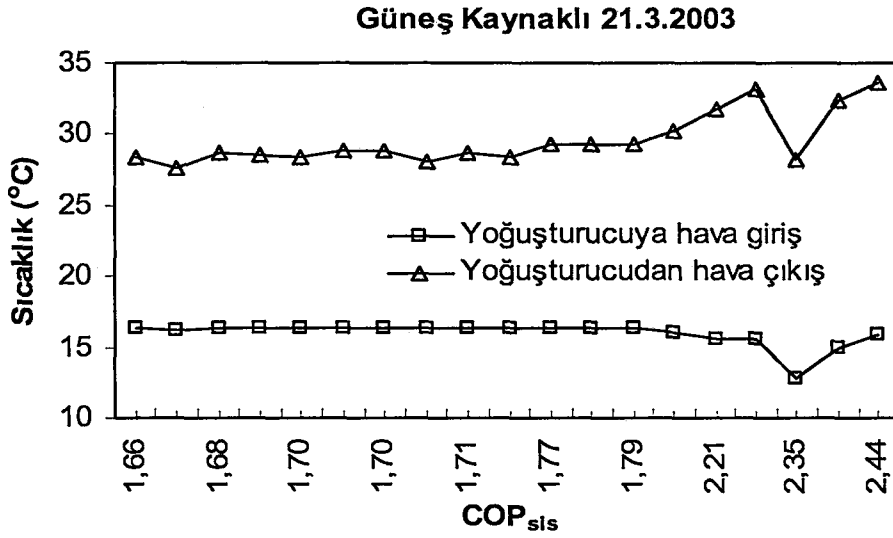


Şekil 9.87. Günün Saatlerine Göre Farklı Noktalardaki Sıcaklık Değişimi.

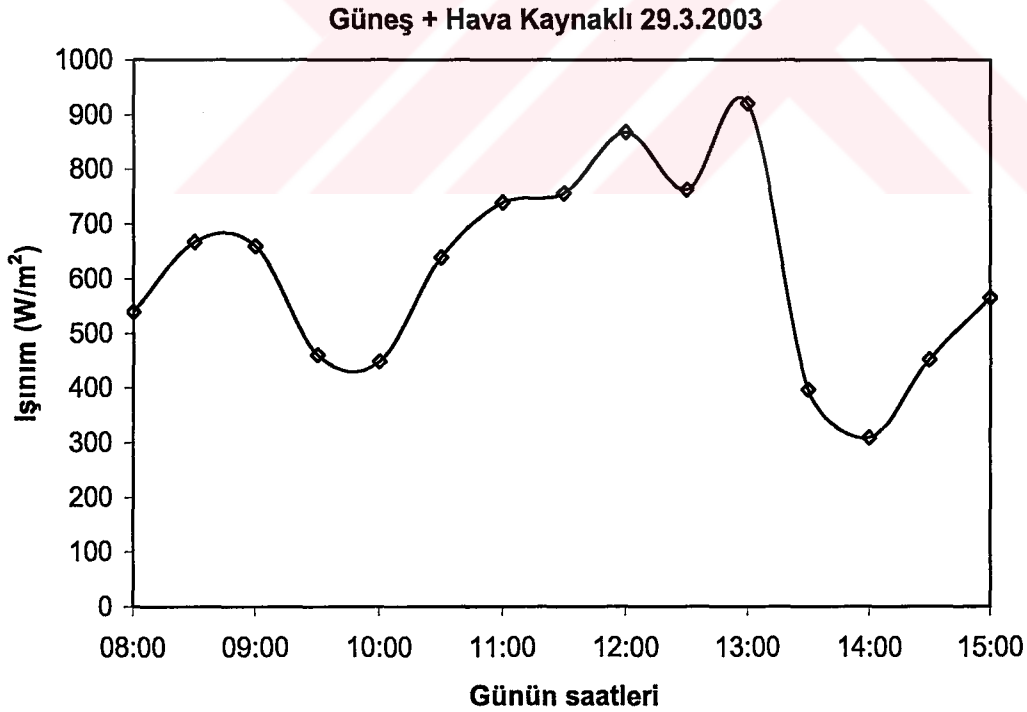


Şekil 9.88. Günün Saatlerine Göre COP_{sis}'in Değişimi.

EK 2.4.

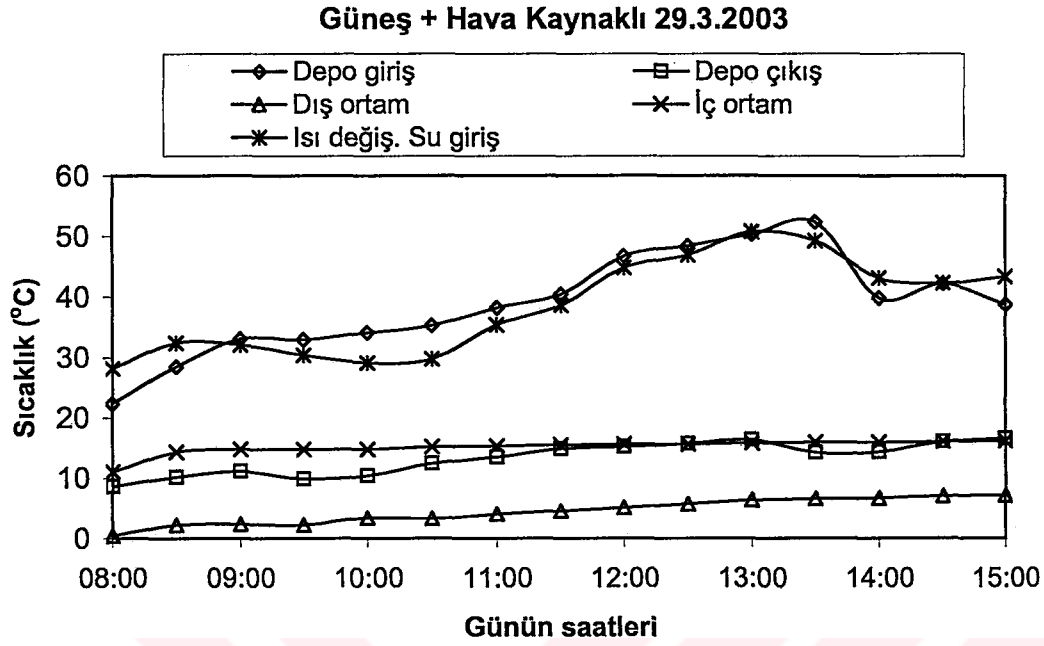


Şekil 9.89. COP_{sis}'in Yoğuşturucuya Hava Giriş ve Çıkış Sıcaklıklarına Göre Değişimi.

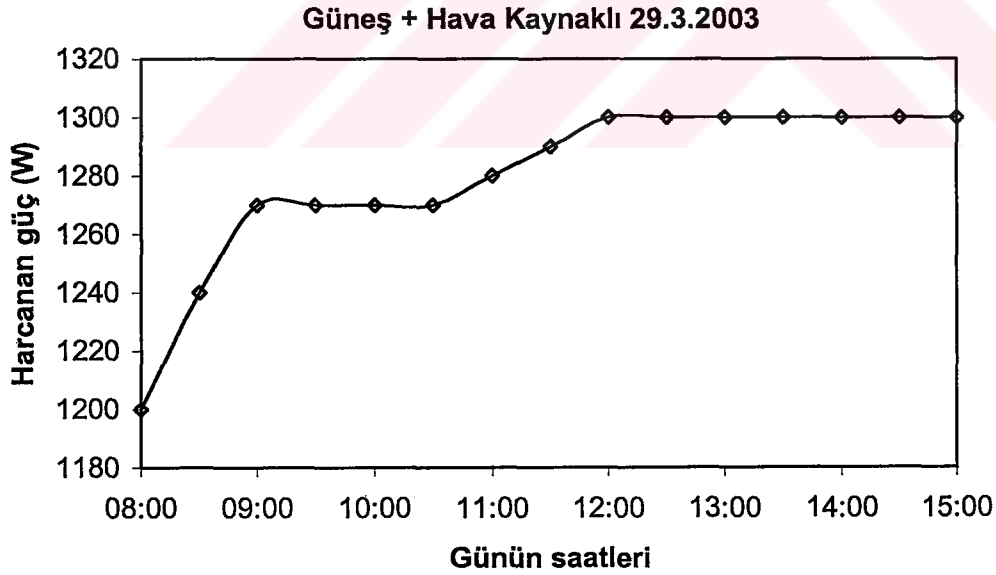


Şekil 9.90. Günün Saatlerine Göre Güneş Işınımının Değişimi.

EK 2.4.

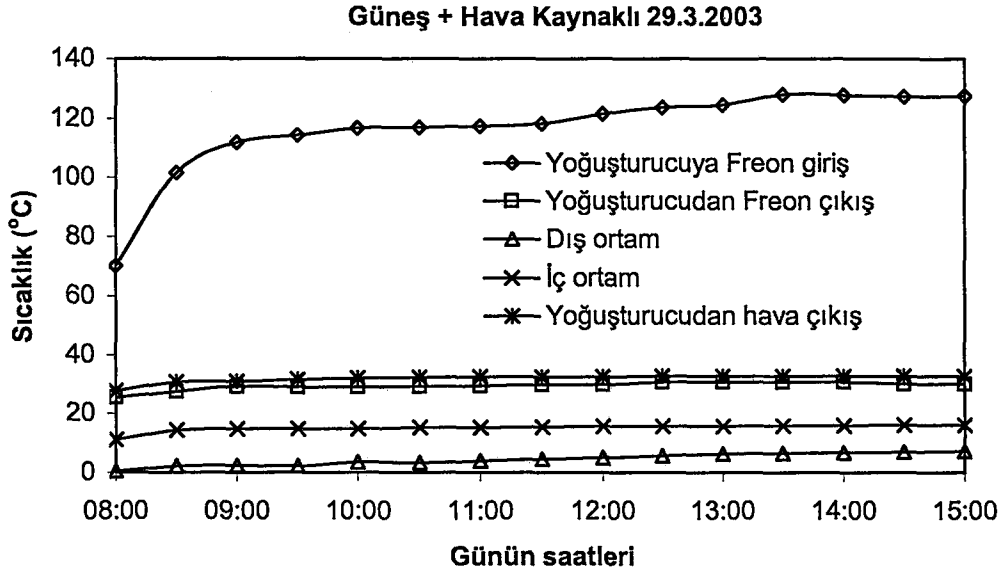


Şekil 9.91. Günüñ Saatlerine Göre Farklı Noktalardaki Sıcaklık Değişimi.

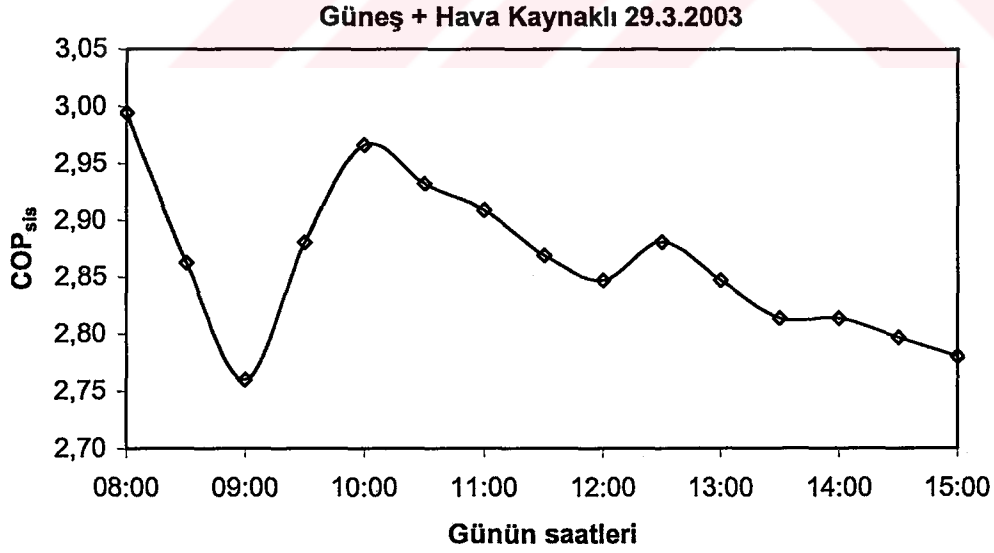


Şekil 9.92. Günüñ Saatlerine Göre Harcanan Gücün Değişimi.

EK 2.4.

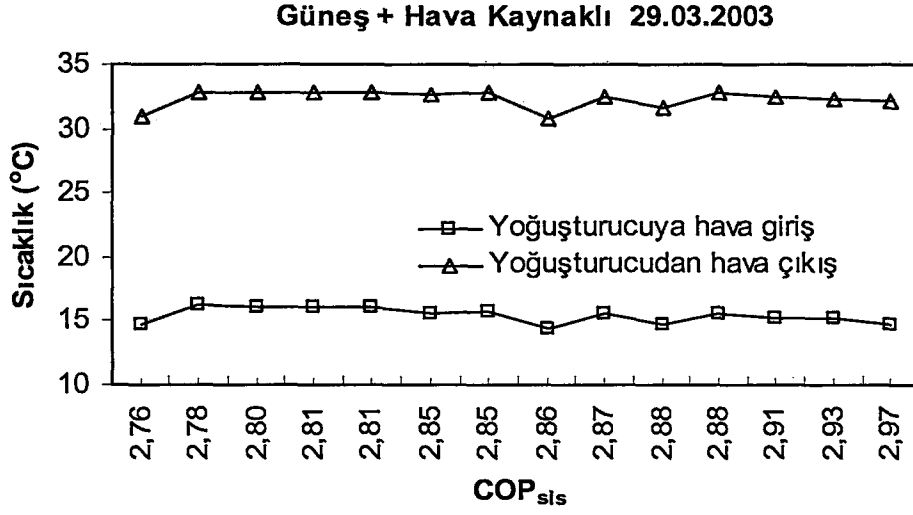


Şekil 9.93. Günün Saatlerine Göre Farklı Noktalardaki Sıcaklık Değişimi.

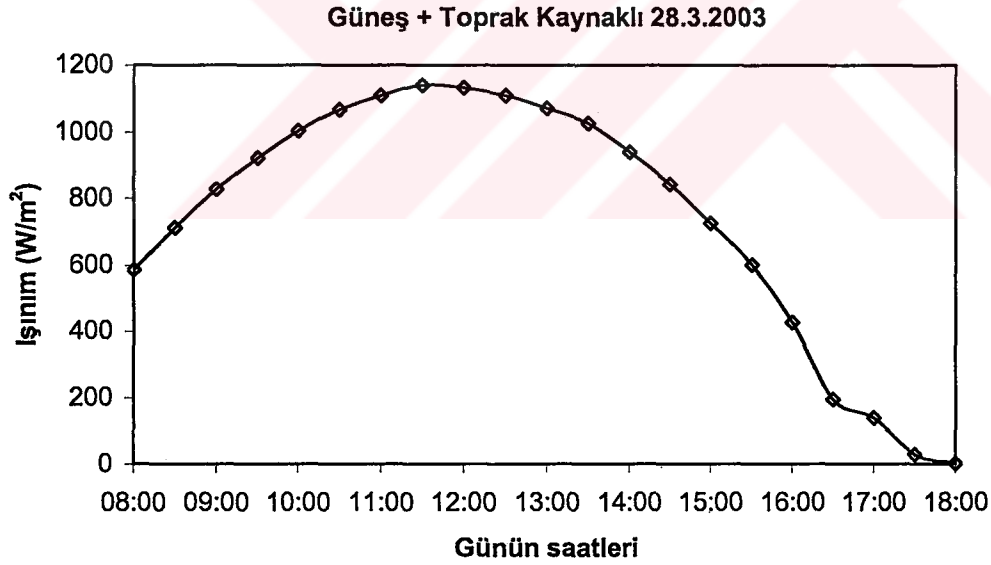


Şekil 9.94. Günün Saatlerine Göre COP_{sis}'in Değişimi.

EK 2.4.

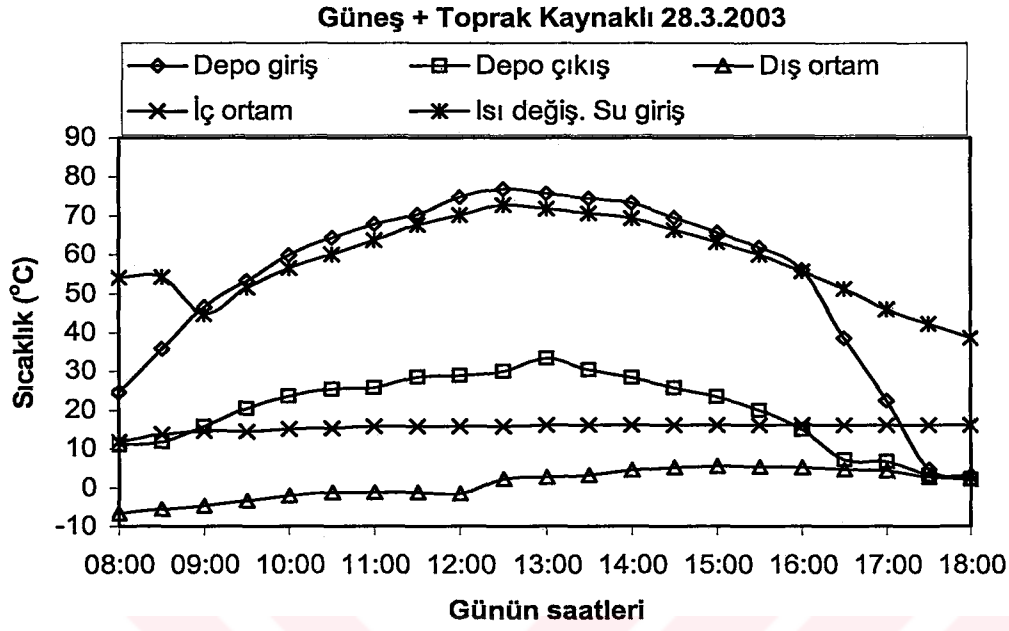


Şekil 9.95. COP_{sis}'in Yoğuşturucuya Hava Giriş ve Çıkış Sıcaklıklarına Göre Değişimi.

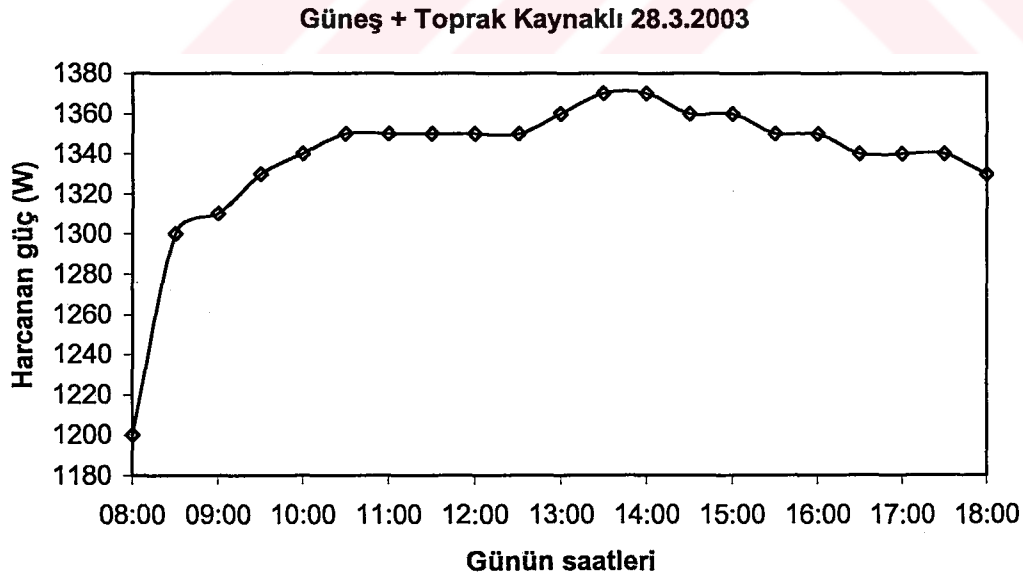


Şekil 9.96. Günün Saatlerine Göre Güneş Işınımının Değişimi.

EK 2.4.

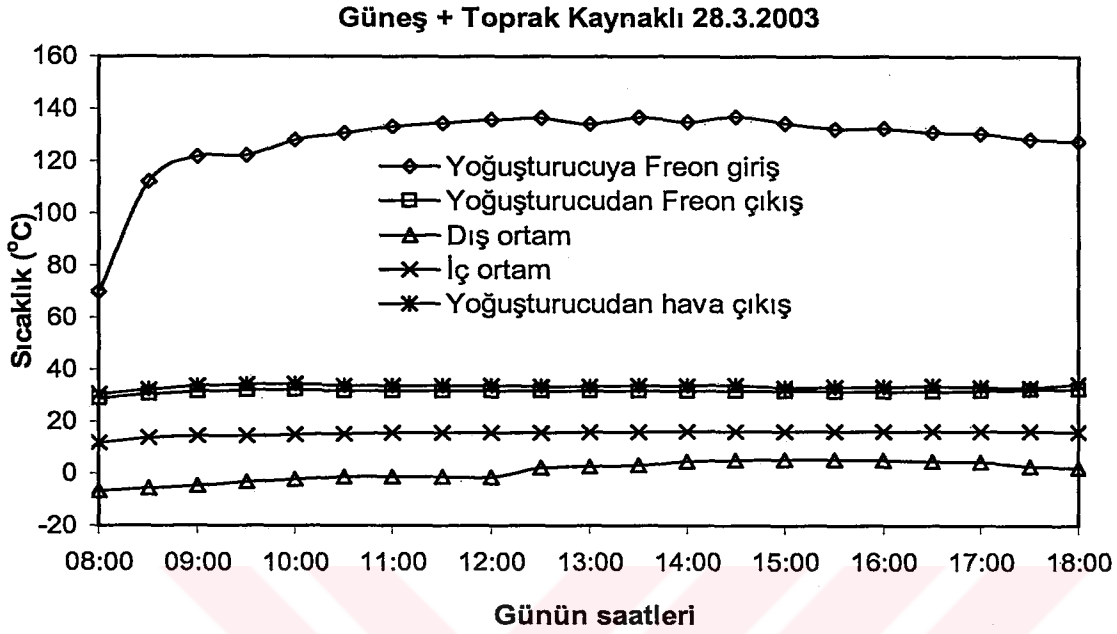


Şekil 9.97. Günün Saatlerine Göre Farklı Noktalardaki Sıcaklık Değişimi.

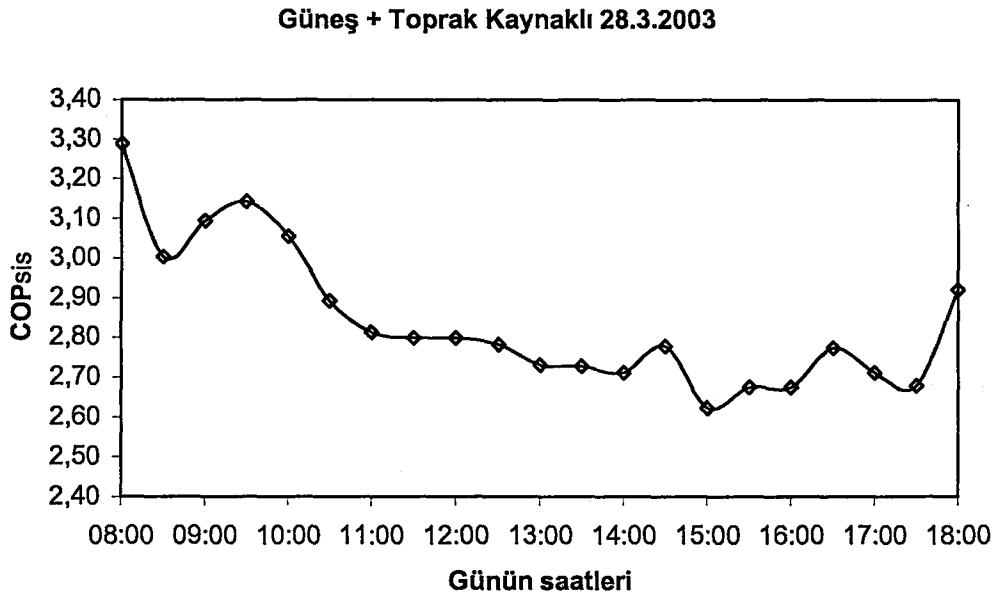


Şekil 9.98. Günün Saatlerine Göre Harcanan Gücün Değişimi.

EK 2.4.

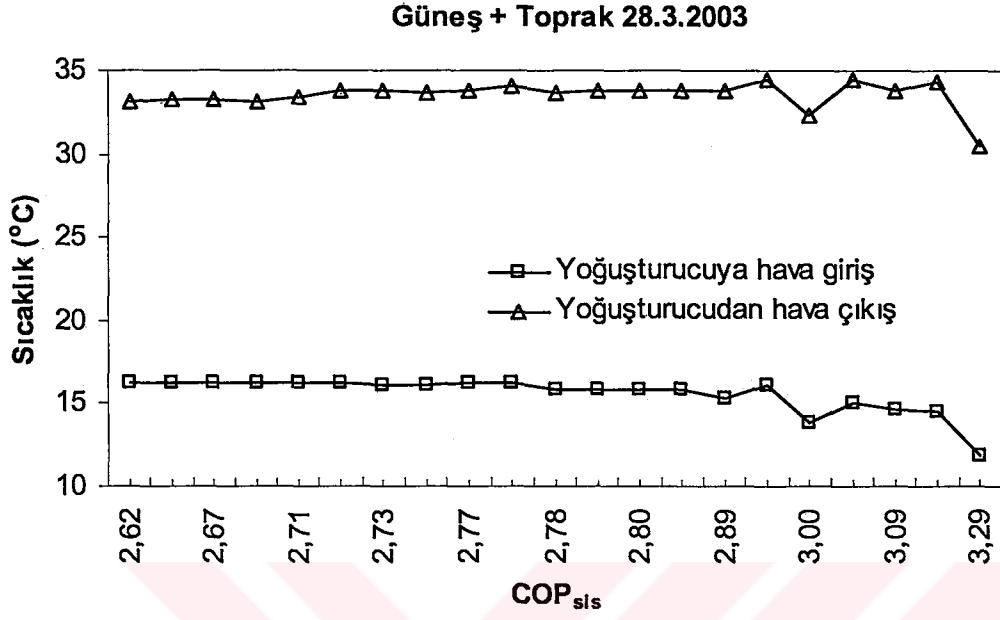


Şekil 9.99. Günün Saatlerine Göre Farklı Noktalardaki Sıcaklık Değişimi.

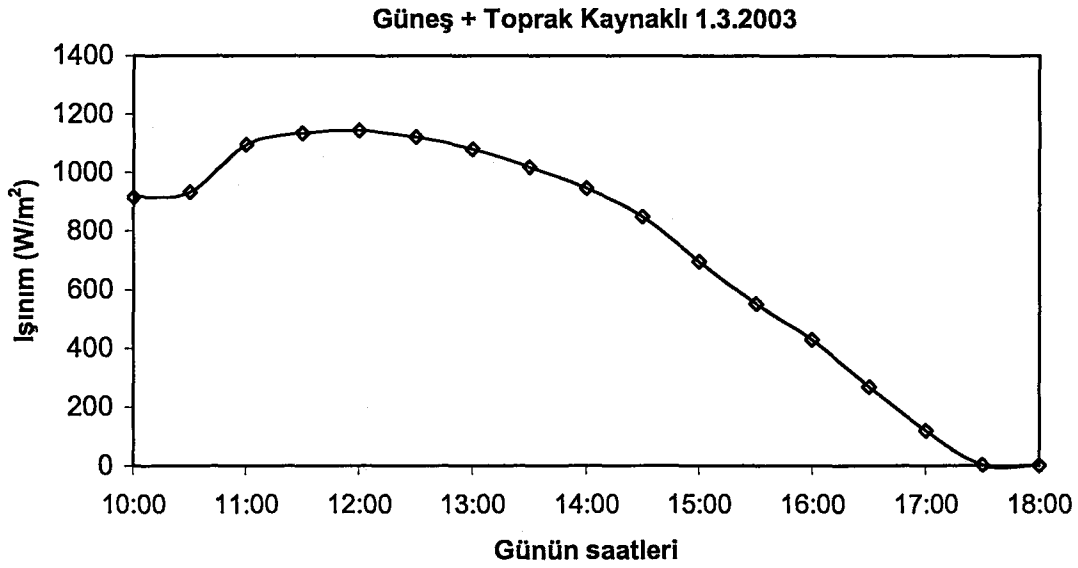


Şekil 9.100. Günün Saatlerine Göre COP_{sis} 'in Değişimi.

EK 2.4.

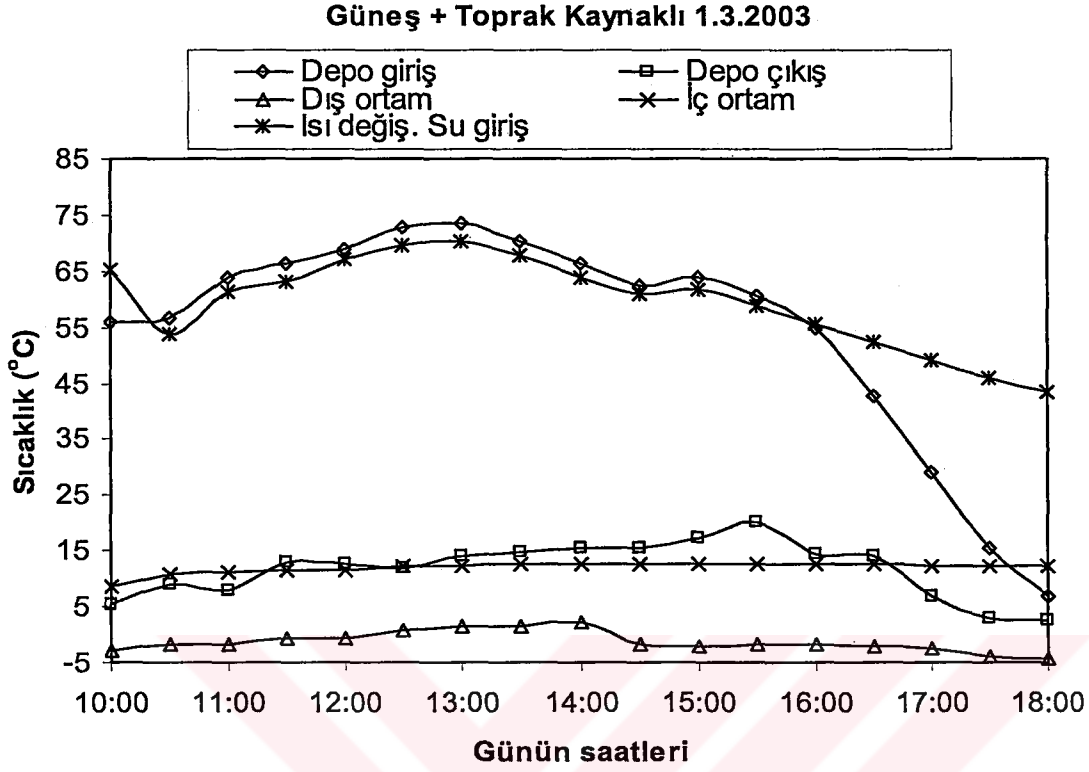


Şekil 9.101. COP_{sis}'in Yoğuşturucuya Hava Giriş ve Çıkış Sıcaklıklarına Göre Değişimi.

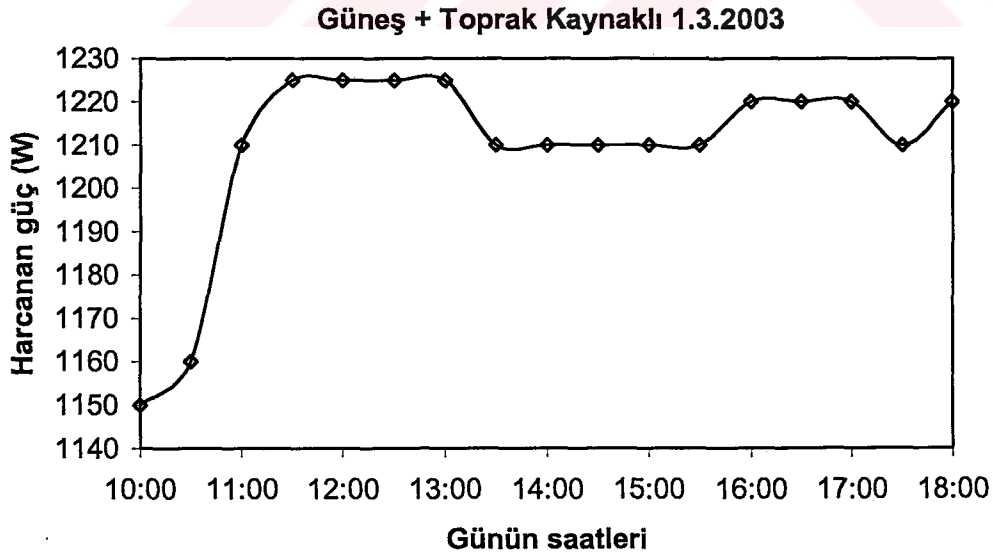


Şekil 9.102. Günüün Saatlerine Göre Güneş Işınımının Değişimi.

EK 2.4.

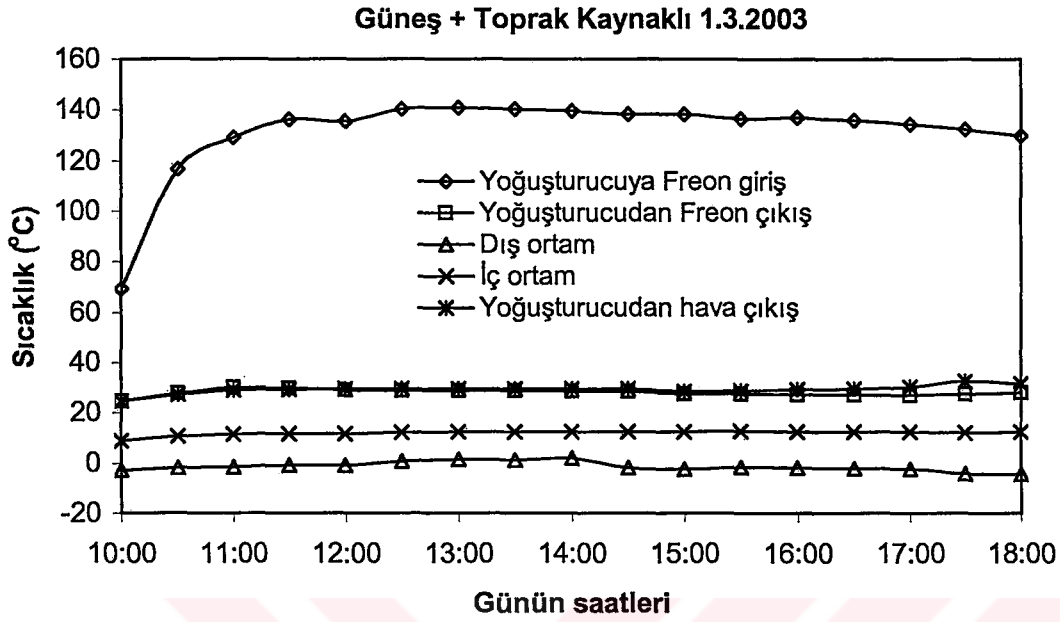


Şekil 9.103. Günüñ Saatlerine Göre Farklı Noktalardaki Sıcaklık Değişimi.

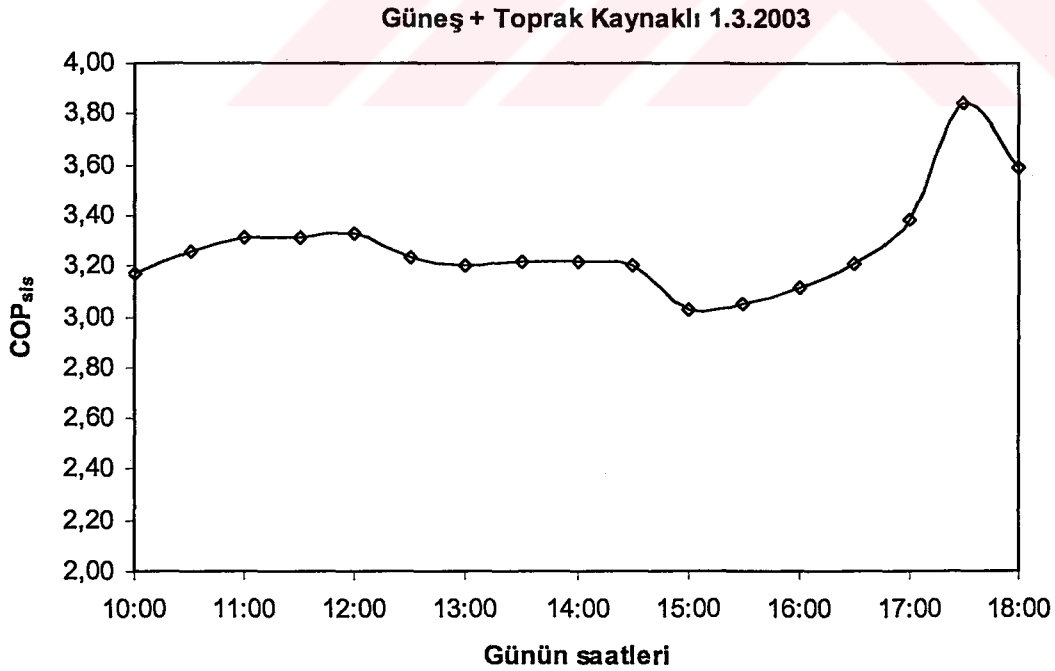


Şekil 9.104. Günüñ Saatlerine Göre Harcanan Gücün Değişimi.

EK 2.4.

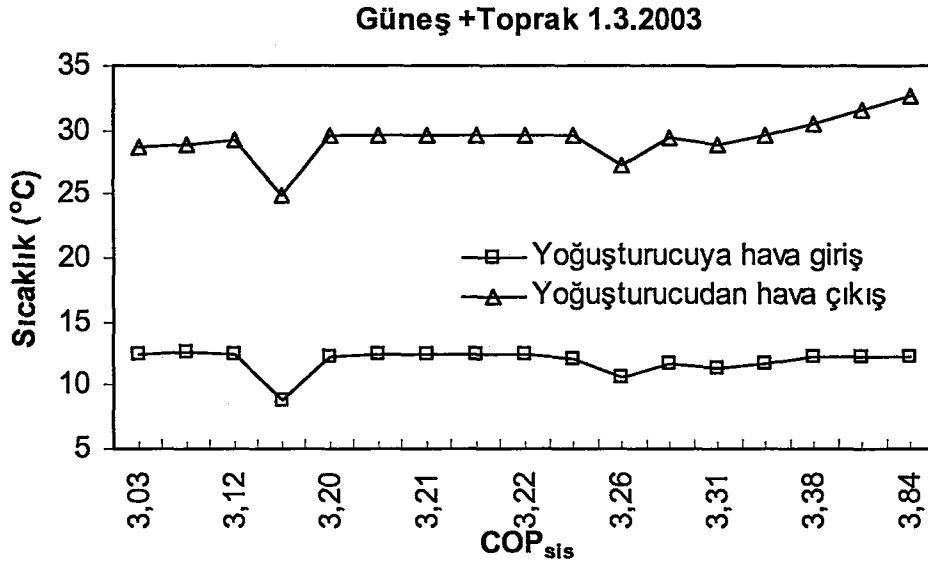


Şekil 9.105. Günüün Saatlerine Göre Farklı Noktalardaki Sıcaklık Değişimi.

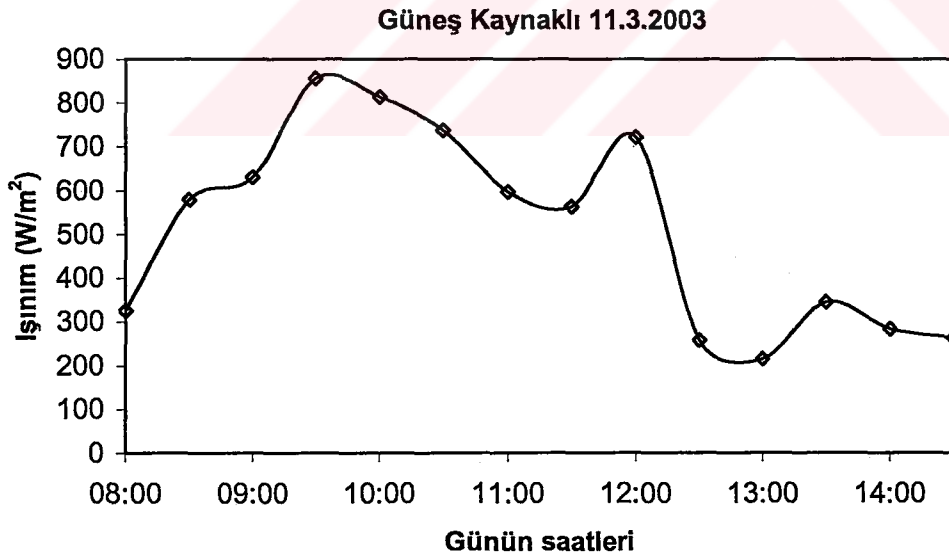


Şekil 9.106. Günüün Saatlerine Göre COP_{sis}'in Değişimi.

EK 2.4.

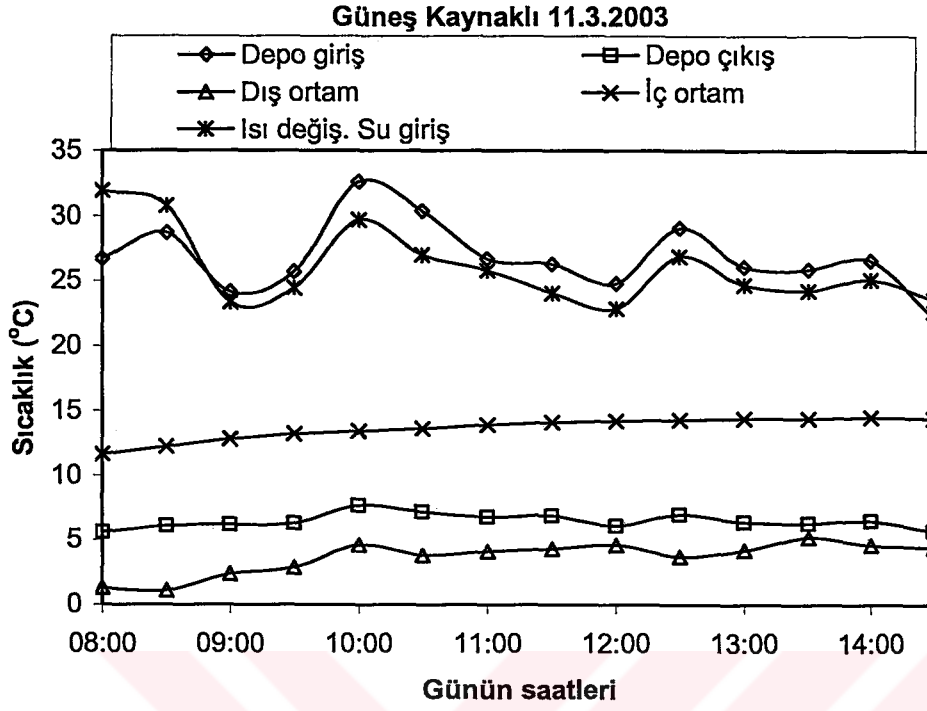


Şekil 9.107. COP_{sis} 'in Yoğuşturucuya Hava Giriş ve Çıkış Sıcaklıklarına Göre Değişimi.

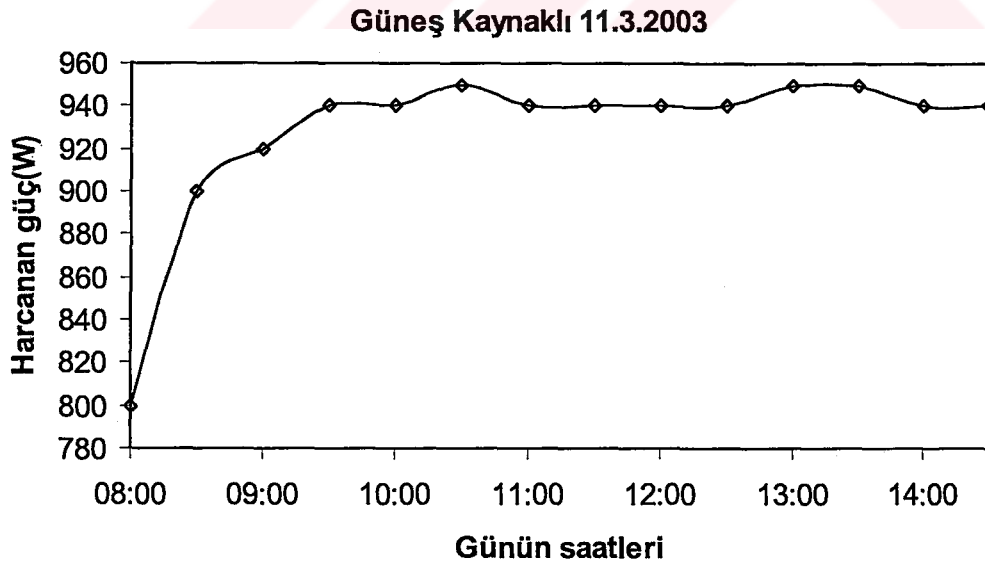


Şekil 9.108. Günün Saatlerine Göre Güneş İşınımının Değişimi.

EK 2.4.

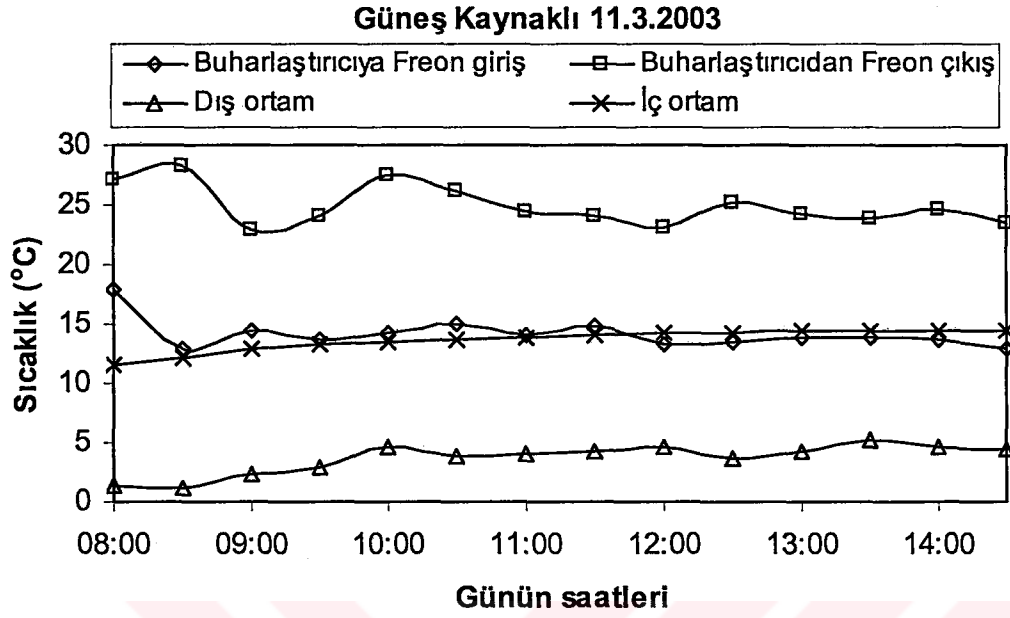


Şekil 9.109. Günün Saatlerine Göre Farklı Noktalardaki Sıcaklık Değişimi.

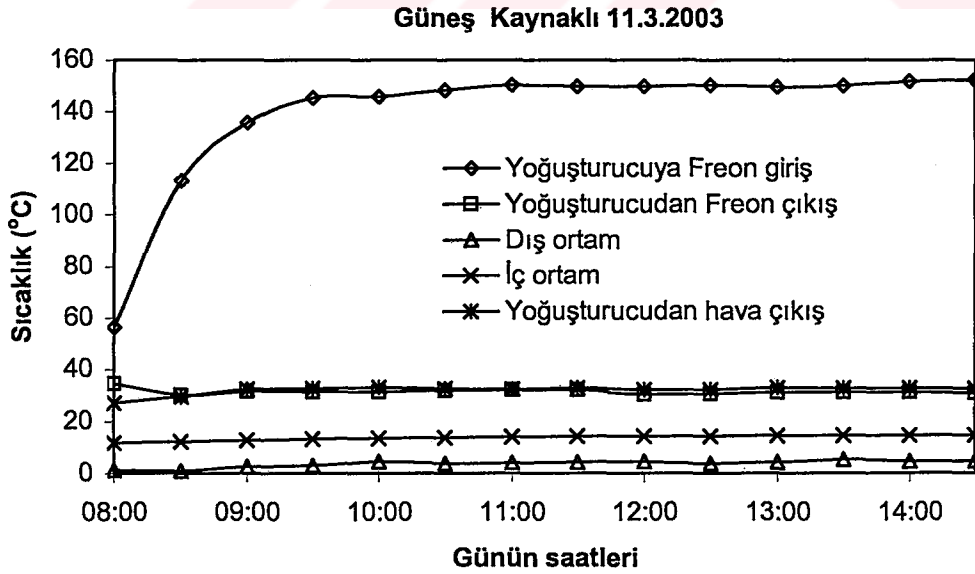


Şekil 9.110. Günün Saatlerine Göre Harcanan Gücün Değişimi.

EK 2.4.

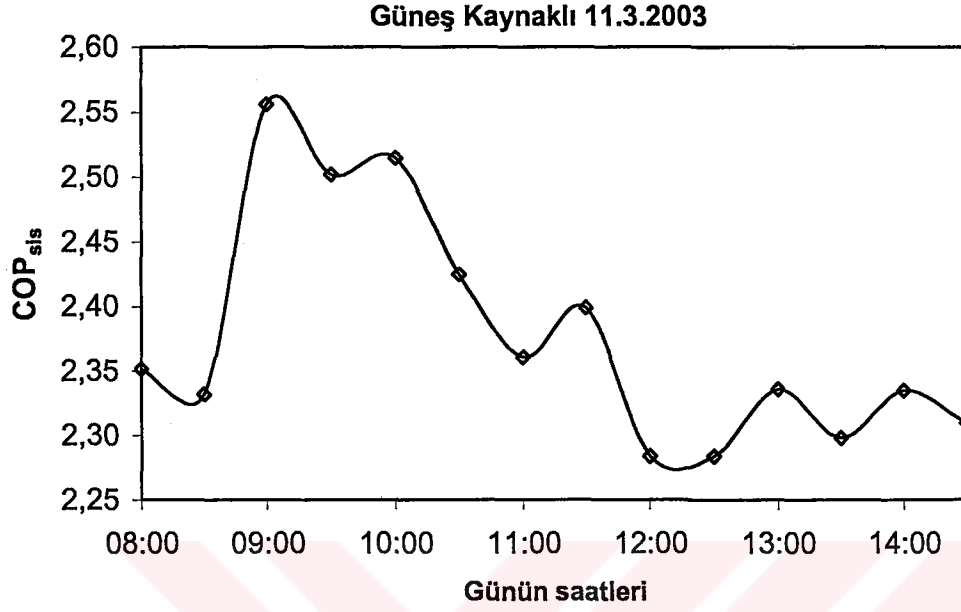


Şekil 9.111. Günün Saatlerine Göre Farklı Noktalardaki Sıcaklık Değişimi.

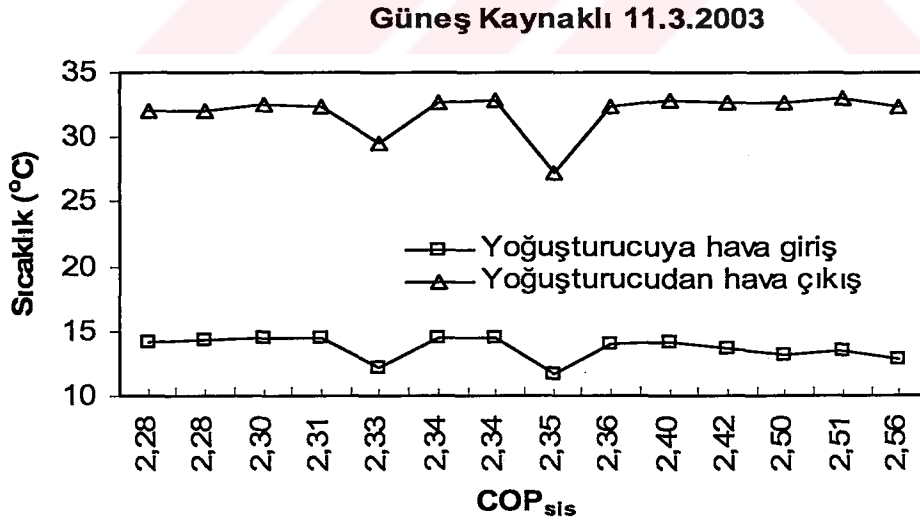


Şekil 9.112. Günün Saatlerine Göre Farklı Noktalardaki Sıcaklık Değişimi.

EK 2.4.

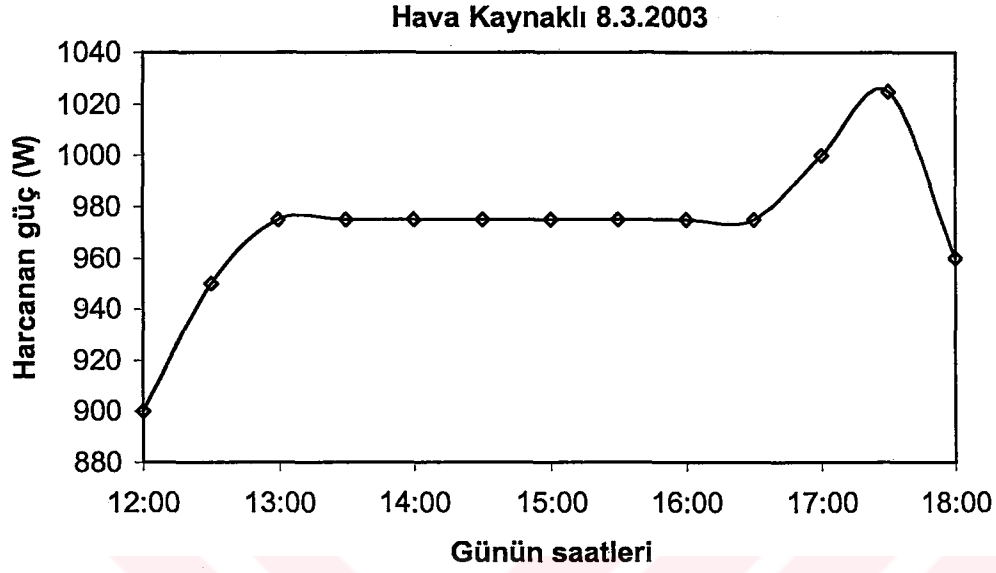


Şekil 9.113. Günü Saatlerine Göre COP_{sis}'in Değişimi.

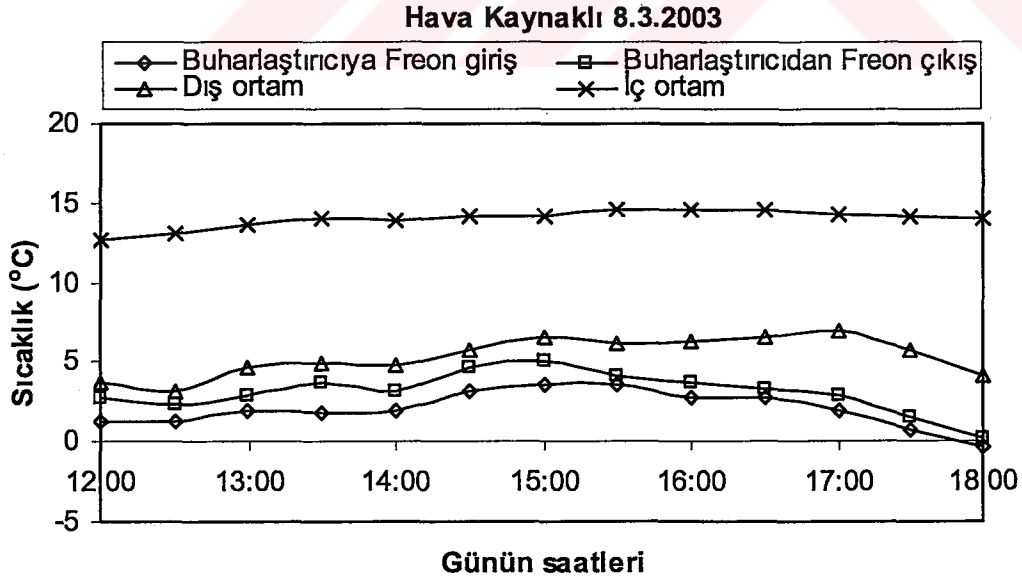


Şekil 9.114. COP_{sis}'in Yoğuşturucuya Hava Giriş ve Çıkış Sıcaklıklarına Göre Değişimi.

EK 2.4.

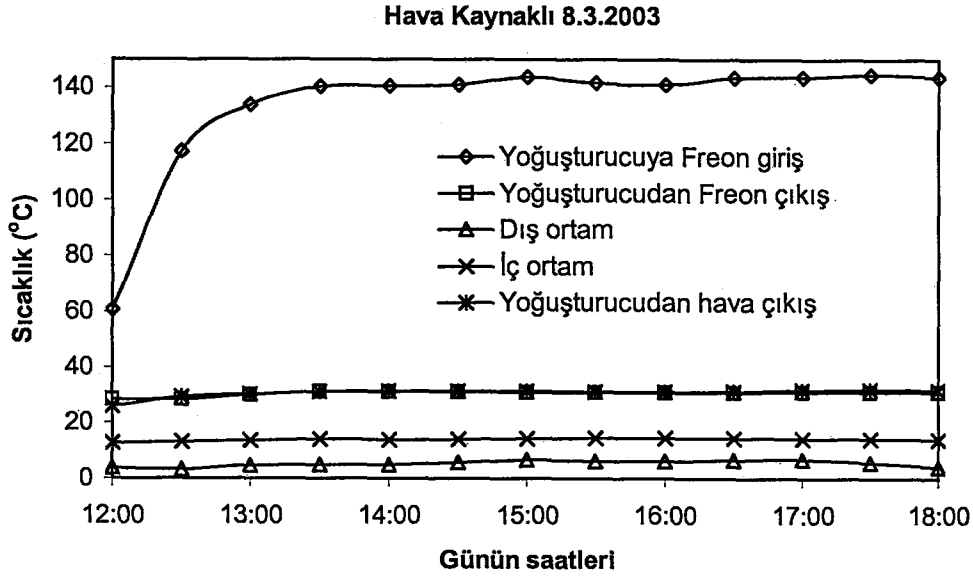


Şekil 9.115. Günüñ Saatlerine Göre Harcanan Gücün Değişimi.

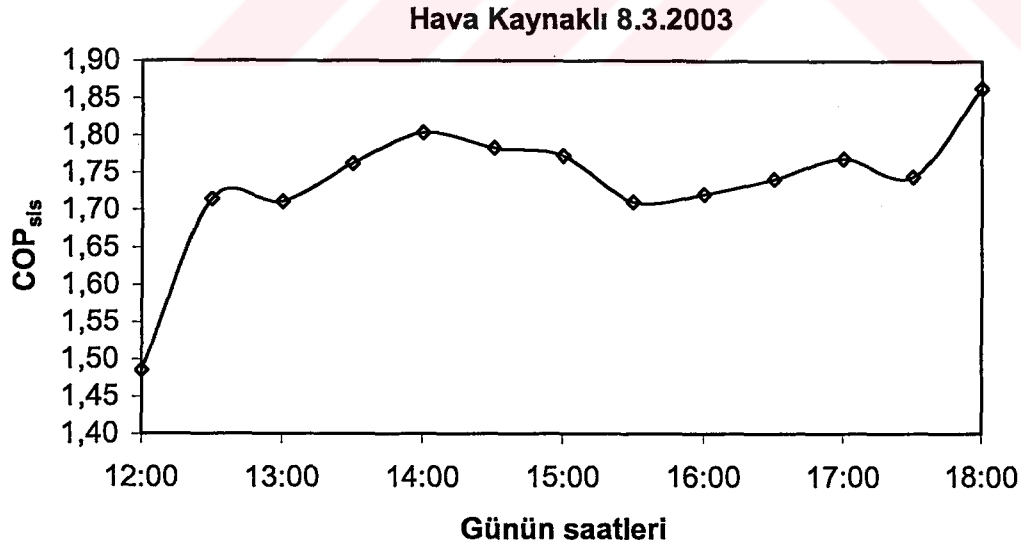


Şekil 9.116. Günüñ Saatlerine Göre Farklı Noktalardaki Sıcaklık Değişimi.

EK 2.4.

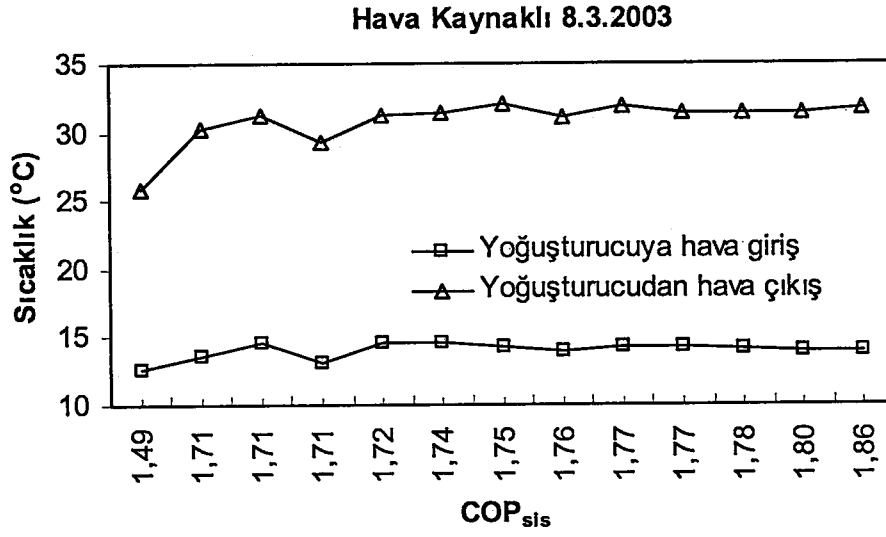


Şekil 9.117. Günün Saatlerine Göre Farklı Noktalardaki Sıcaklık Değişimi.

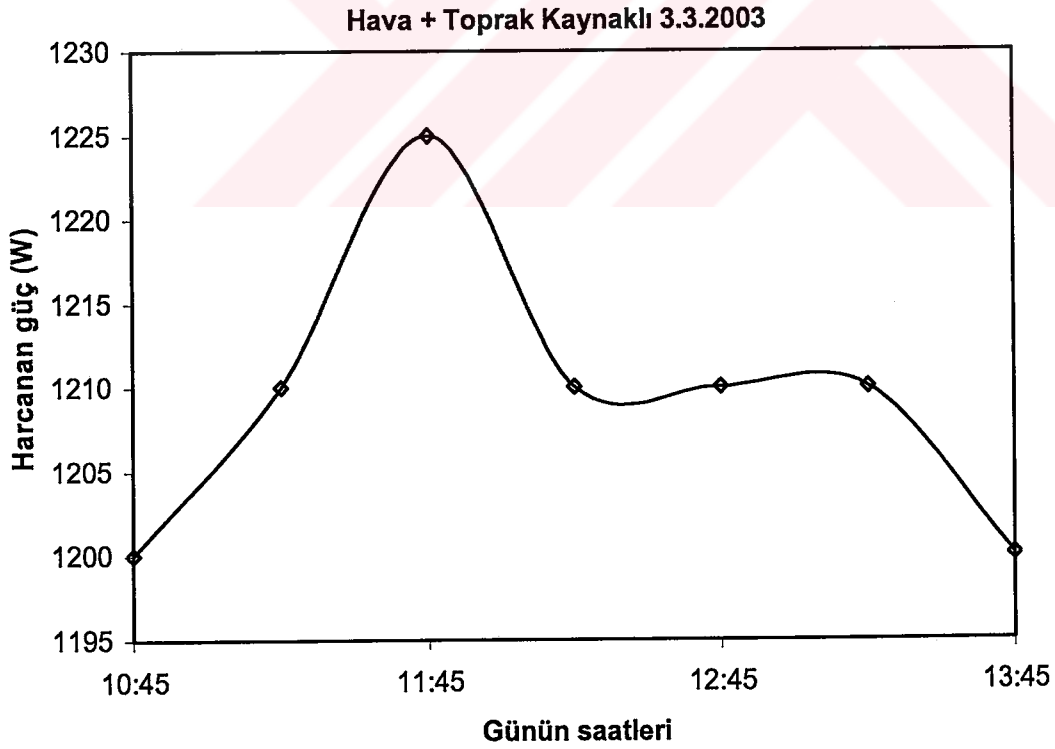


Şekil 9.118. Günün Saatlerine Göre COP_{sis}'in Değişimi.

EK 2.4.

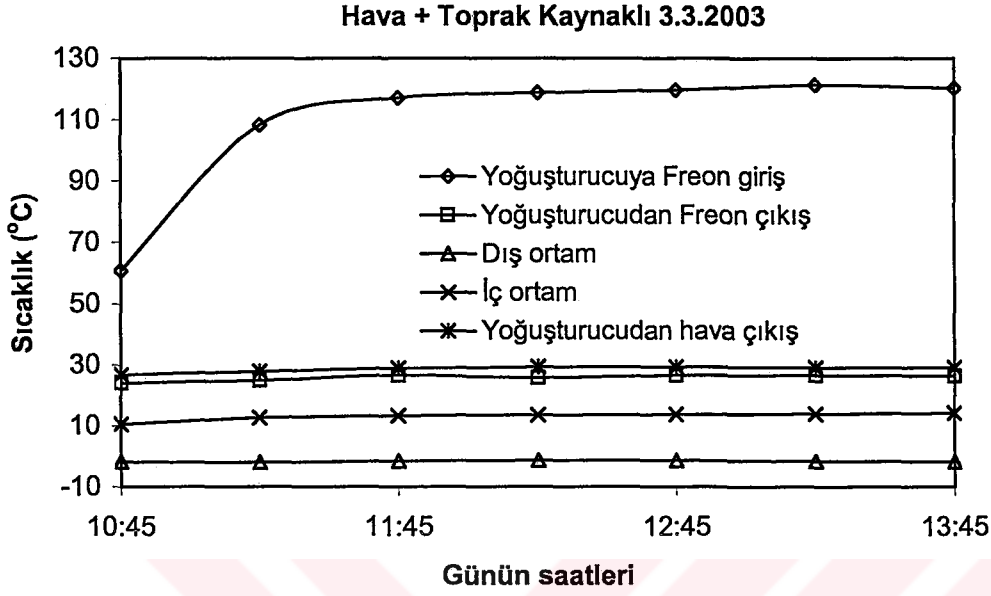


Şekil 9.119. COP_{sis}'in Yoğuşturucuya Hava Giriş ve Çıkış Sıcaklıklarına Göre Değişimi.

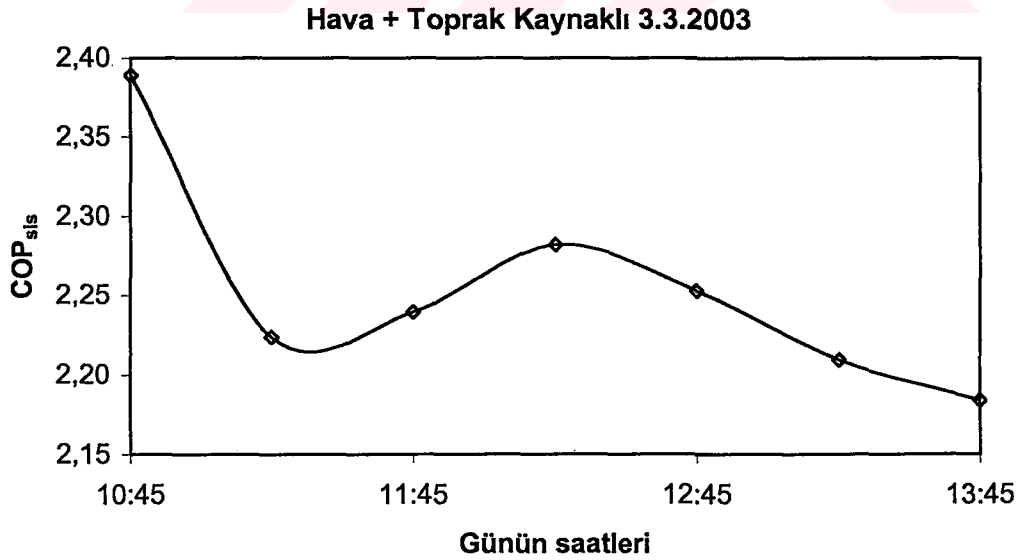


Şekil 9.120. Günüün Saatlerine Göre Harcanan Gücün Değişimi.

EK 2.4.

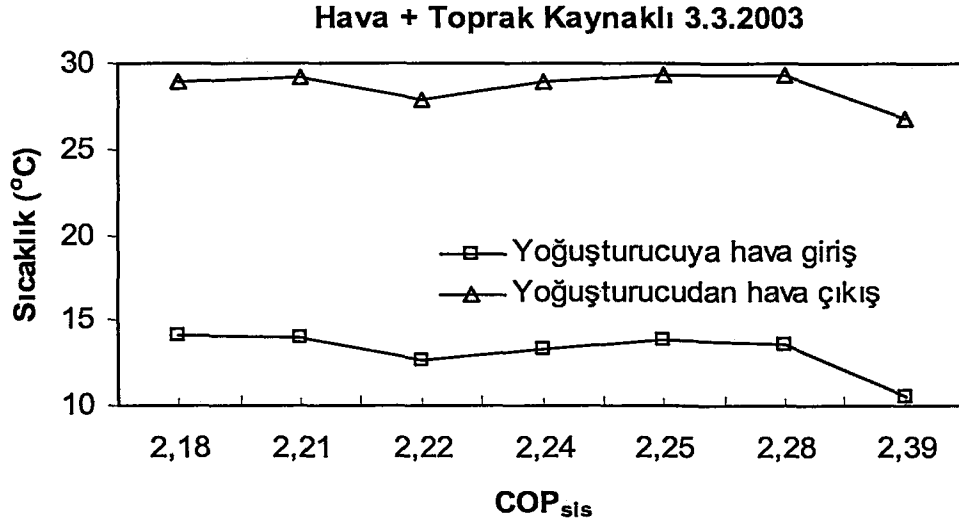


Şekil 9.121. Günü Saatiğine Göre Farklı Noktalardaki Sıcaklık Değişimi.

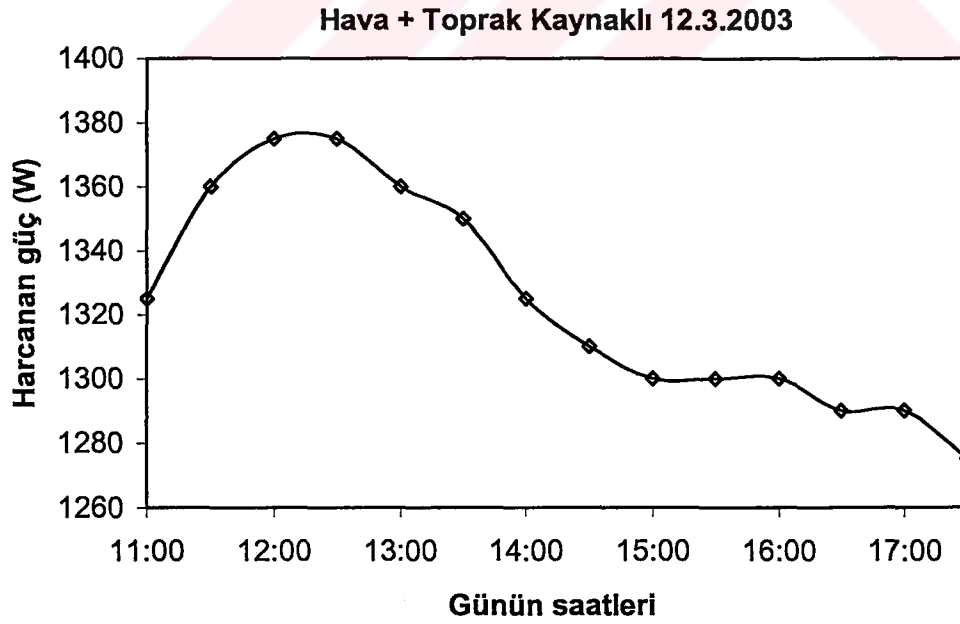


Şekil 9.122. Günü Saatiğine Göre COP_{sis}'in Değişimi.

EK 2.4.

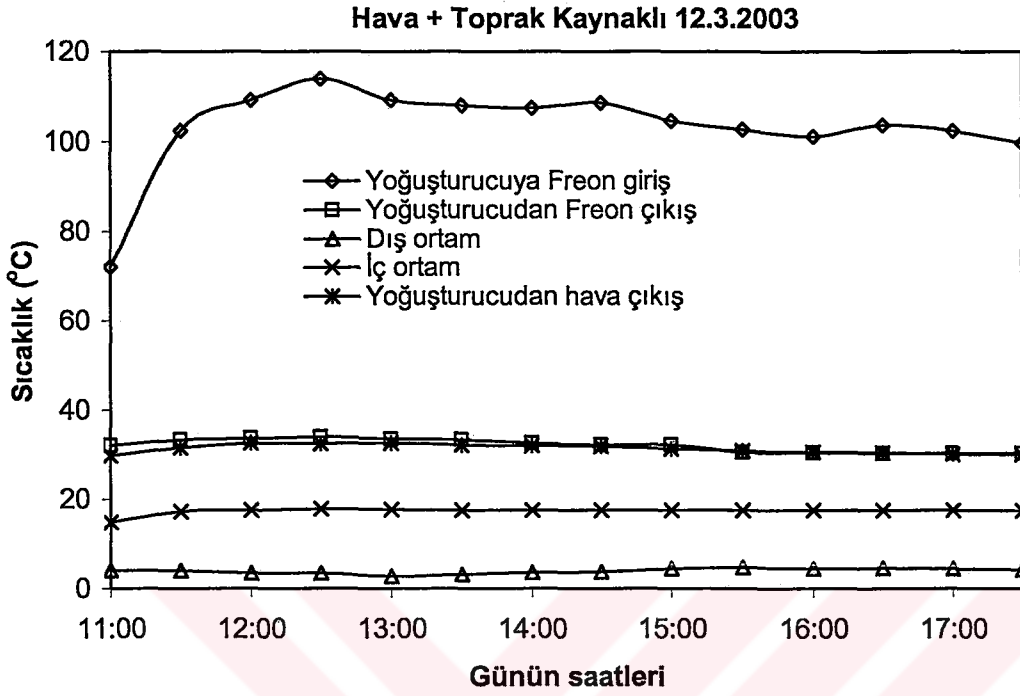


Şekil 9.123. COP_{sis} 'in Yoğuşturucuya Hava Giriş ve Çıkış Sıcaklıklarına Göre Değişimi.

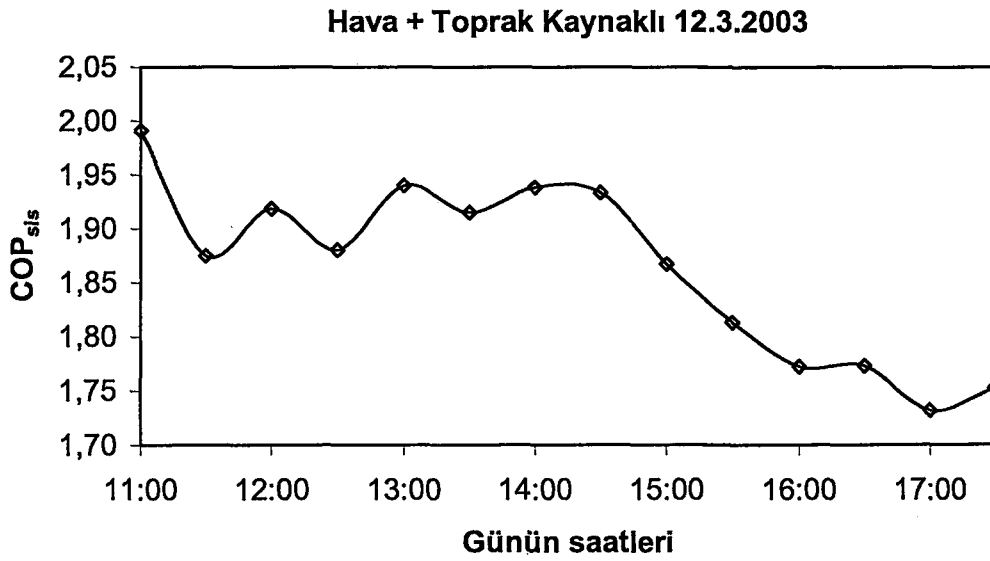


Şekil 9.124. Günün Saatlerine Göre Harcanan Gücün Değişimi.

EK 2.4.

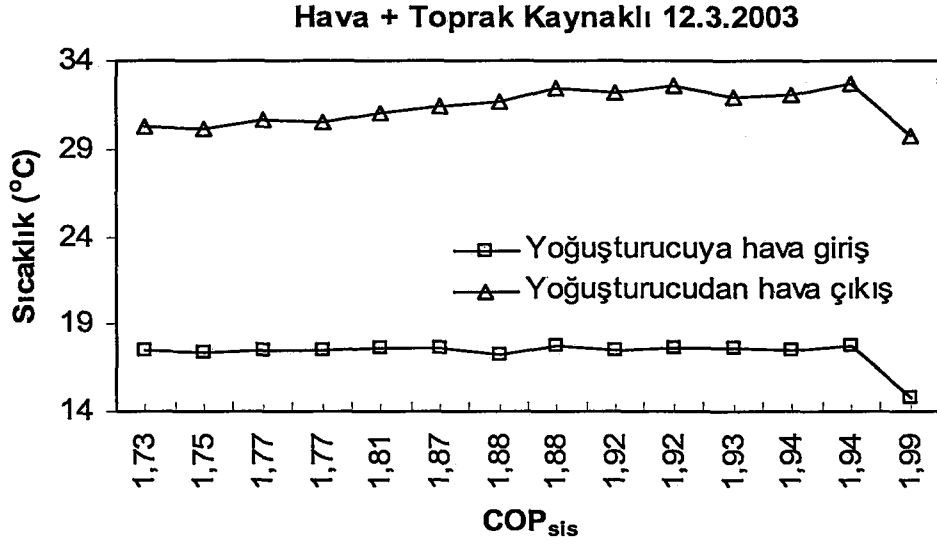


Şekil 9.125. Günü Saatiğine Göre Farklı Noktalardaki Sıcaklık Değişimi.

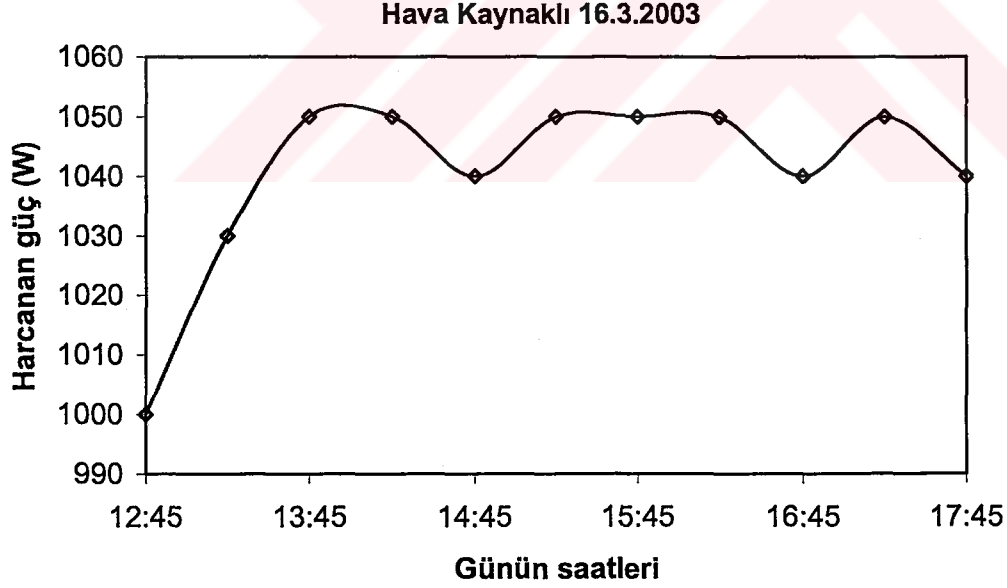


Şekil 9.126. Günü Saatiğine Göre COP_{sis}'in Değişimi.

EK 2.4.

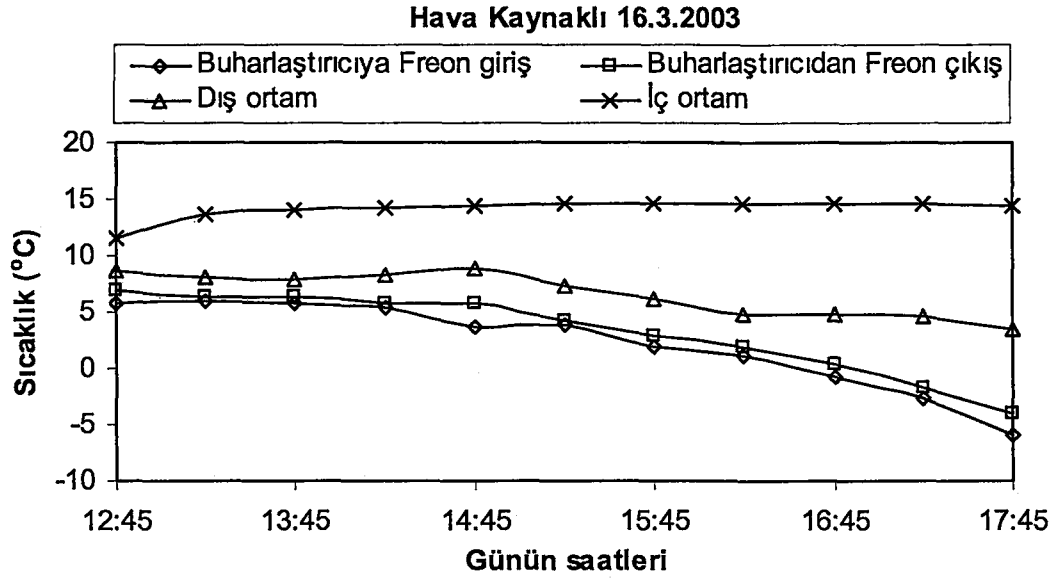


Şekil 9.127. COP_{sis}'in Yoğuşturucuya Hava Giriş ve Çıkış Sıcaklıklarına Göre Değişimi.

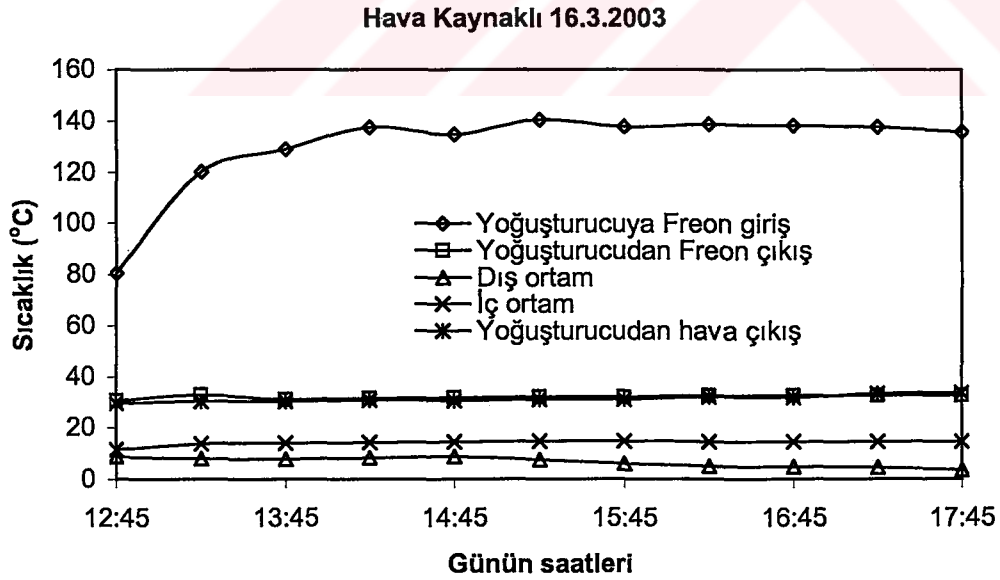


Şekil 9.128. Günün Saatlerine Göre Harcanan Gücün Değişimi.

EK 2.4.

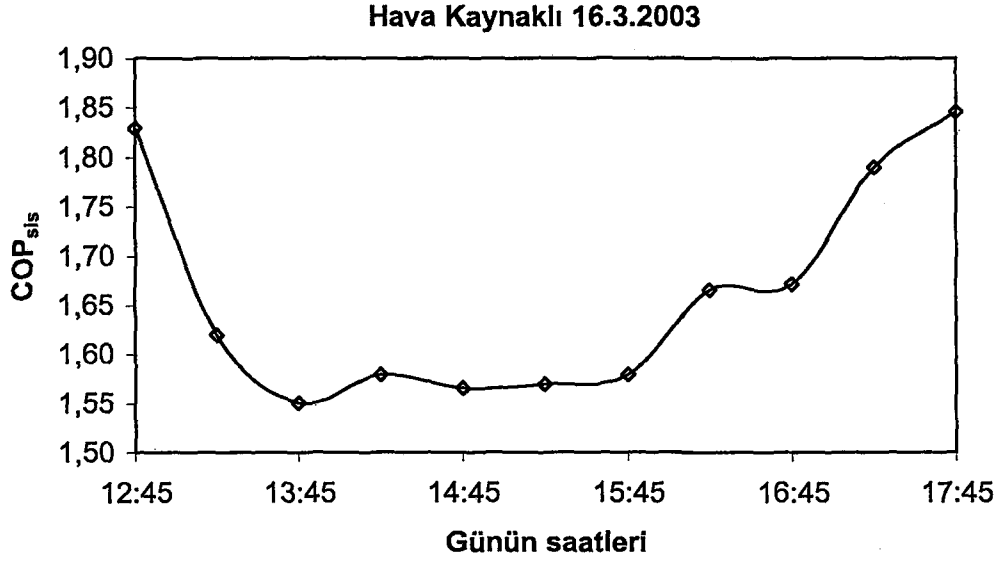


Şekil 9.129. Günü Saatlerine Göre Farklı Noktalardaki Sıcaklık Değişimi.

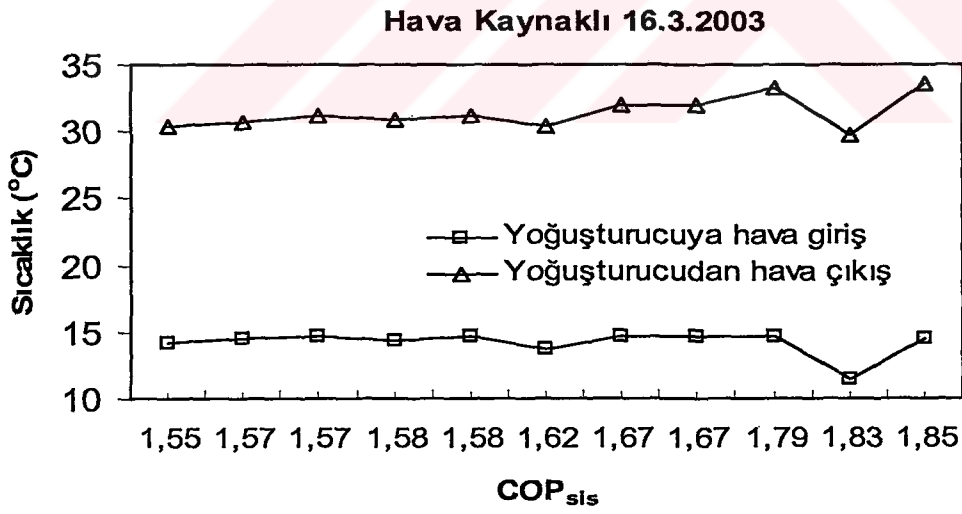


Şekil 9.130. Günü Saatlerine Göre Farklı Noktalardaki Sıcaklık Değişimi.

EK 2.4.

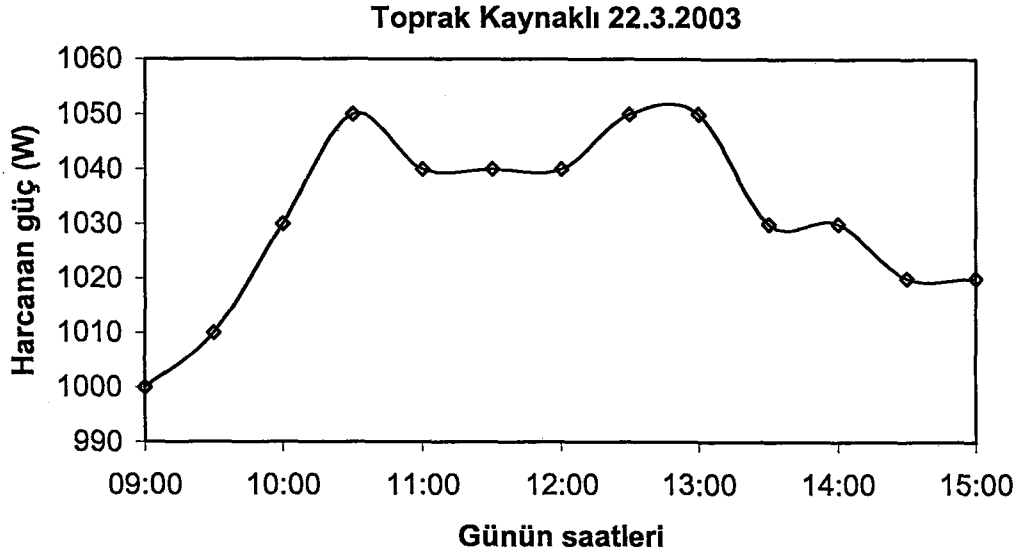


Şekil 9.131. Günü Saatiine Göre COP_{sis}'in Değişimi.

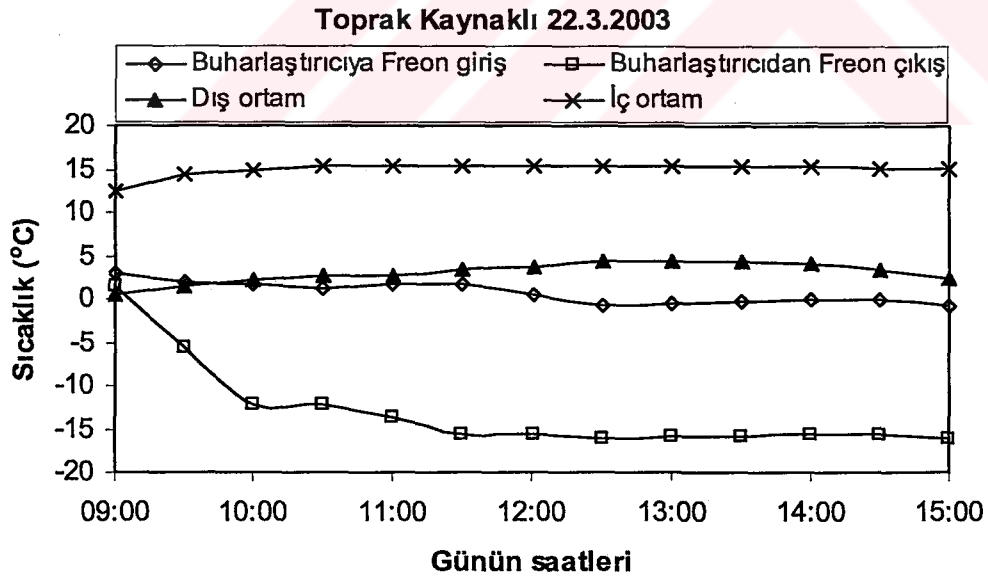


Şekil 9.132. COP_{sis}'in Yoğuşturucuya Hava Giriş ve Çıkış Sıcaklıklarına Göre Değişimi.

EK 2.4.

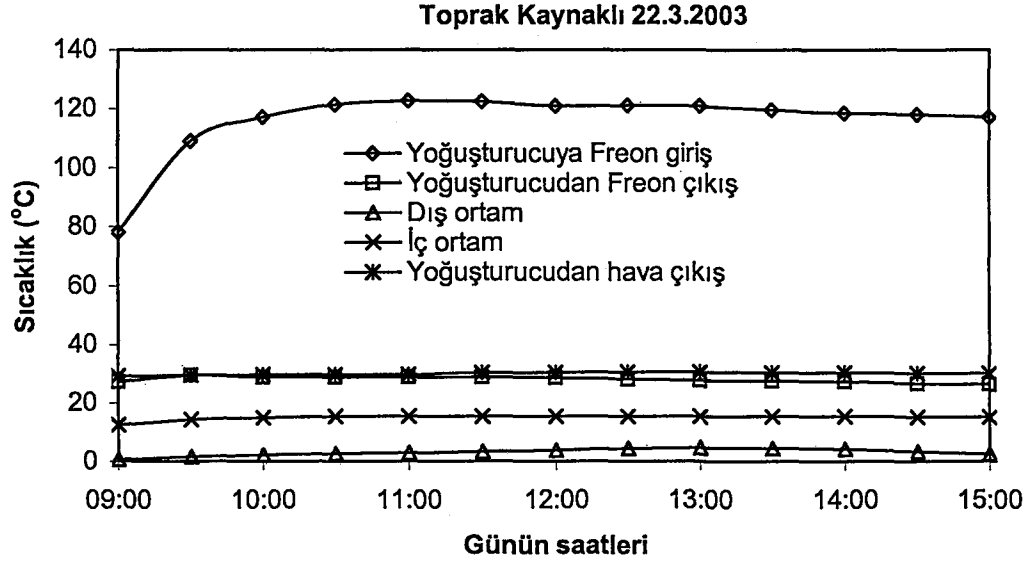


Şekil 9.133. Günün Saatlerine Göre Harcanan Gücün Değişimi.

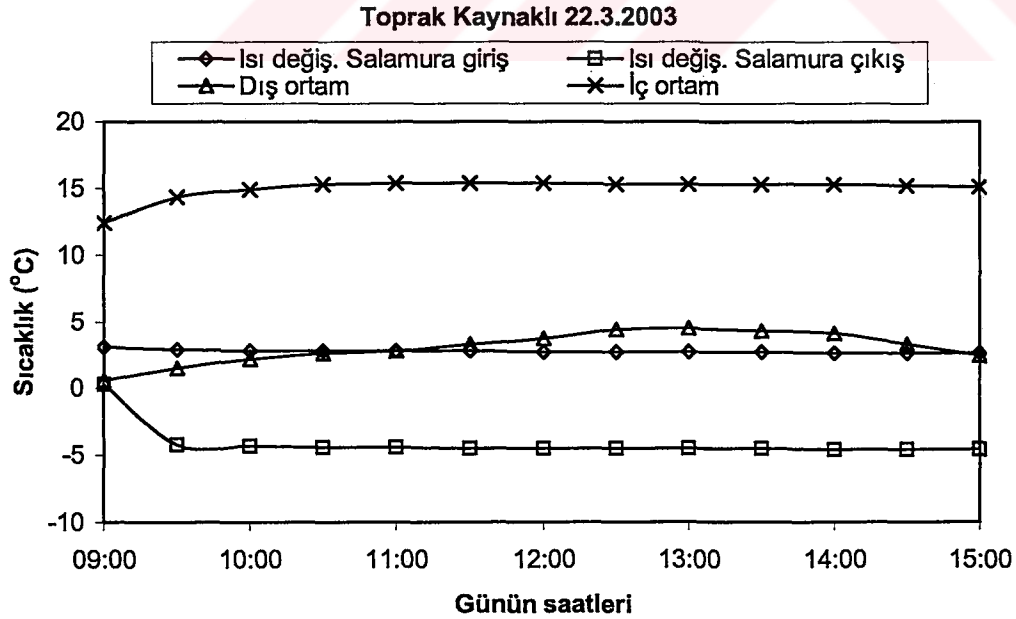


Şekil 9.134. Günün Saatlerine Göre Farklı Noktalardaki Sıcaklık Değişimi.

EK 2.4.

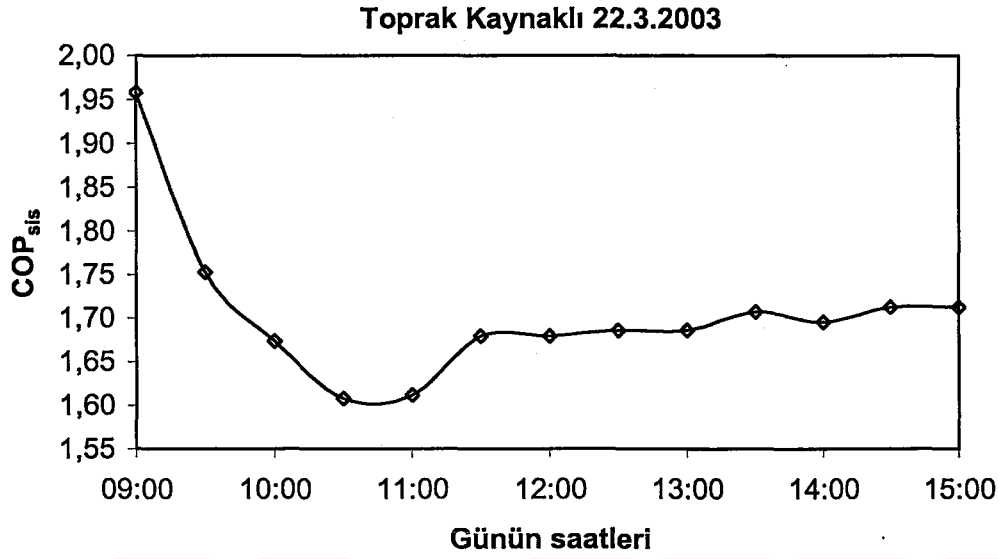


Şekil 9.135. Günü Saatlerine Göre Farklı Noktalardaki Sıcaklık Değişimi.

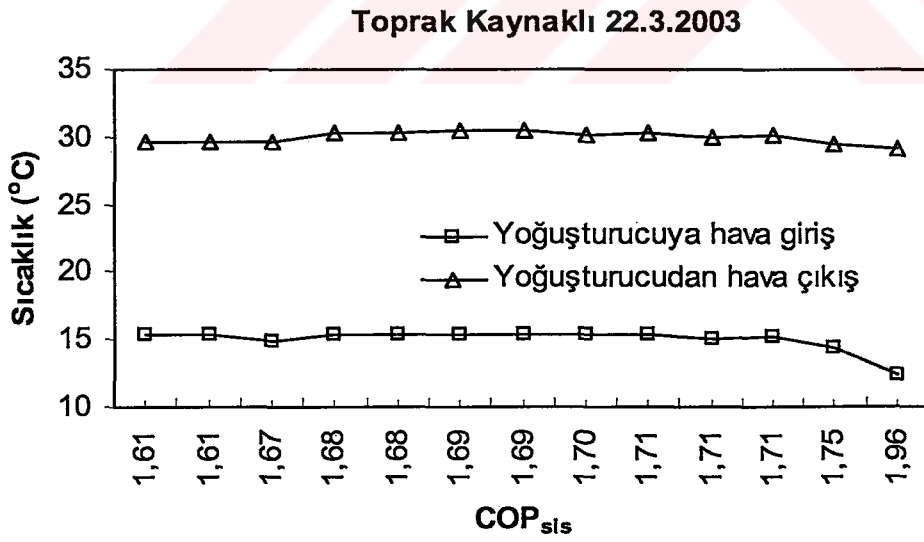


Şekil 9.136. Günü Saatlerine Göre Farklı Noktalardaki Sıcaklık Değişimi.

EK 2.4.

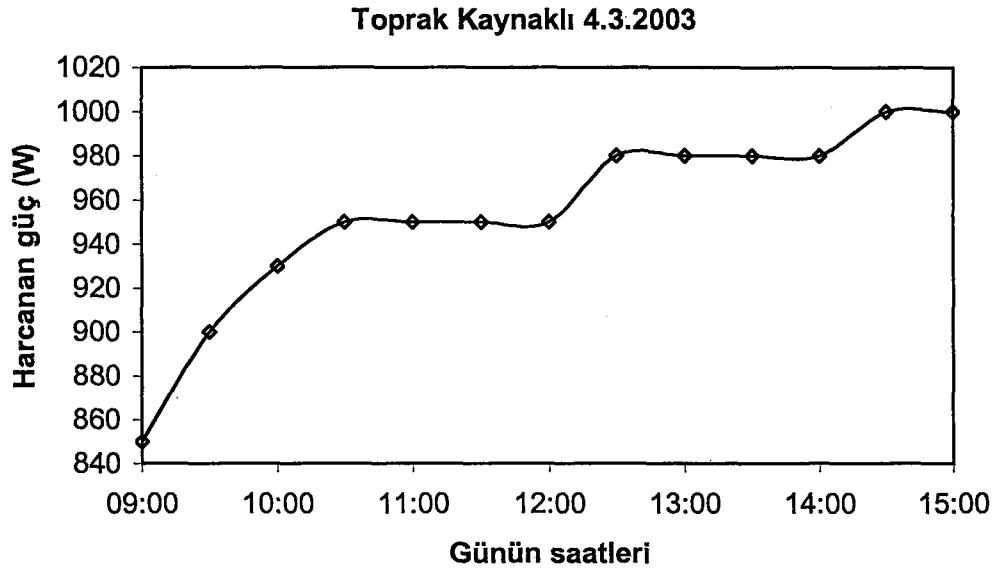


Şekil 9.137. Günü Saatiğine Göre COP_{sis}'in Değişimi.

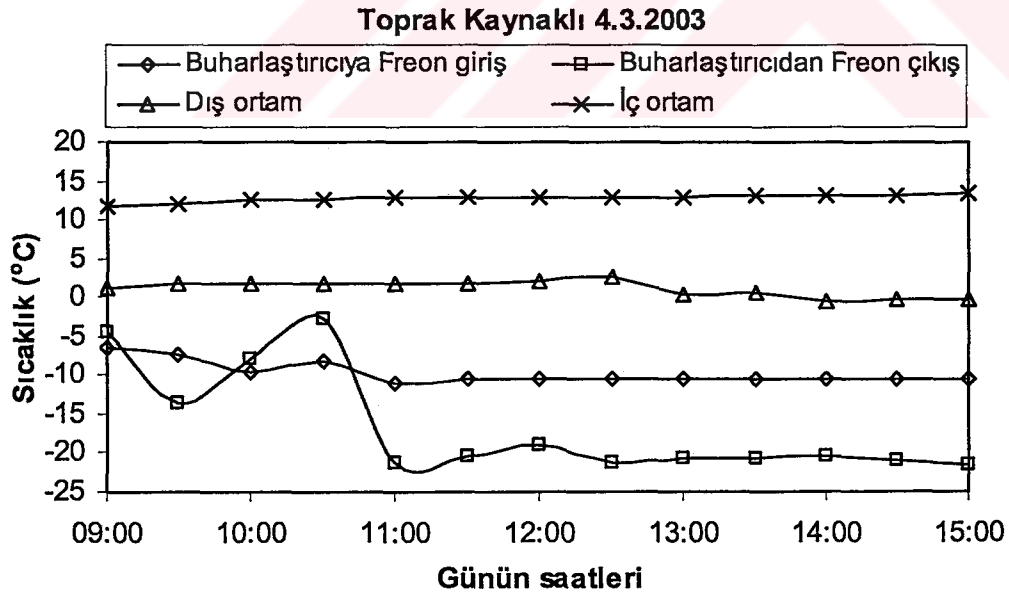


Şekil 9.138. COP_{sis}'in Yoğuşturucuya Hava Giriş ve Çıkış Sıcaklıklarına Göre Değişimi.

EK 2.4.

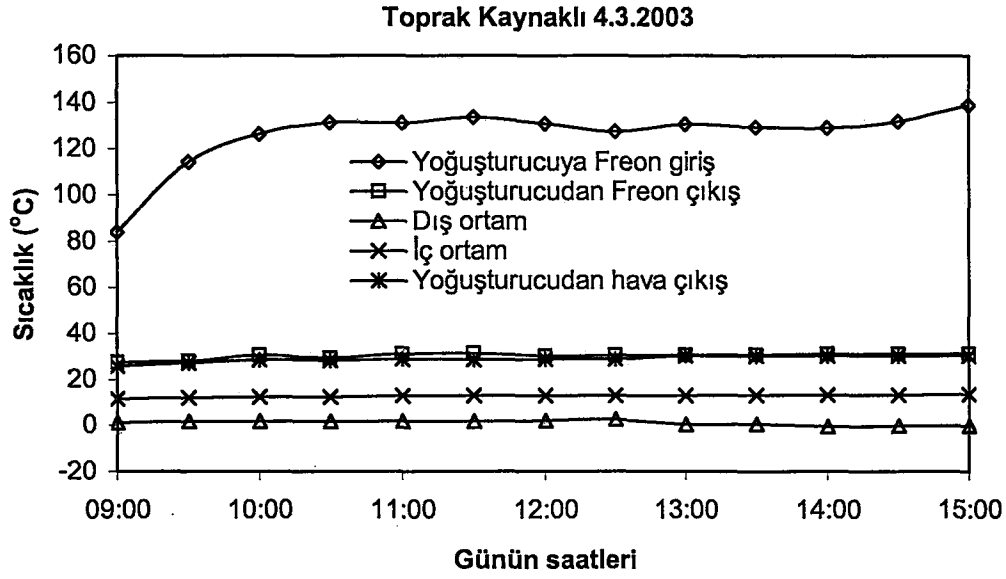


Şekil 9.139. Günüñ Saatlerine Göre Harcanan Gücün Değişimi.

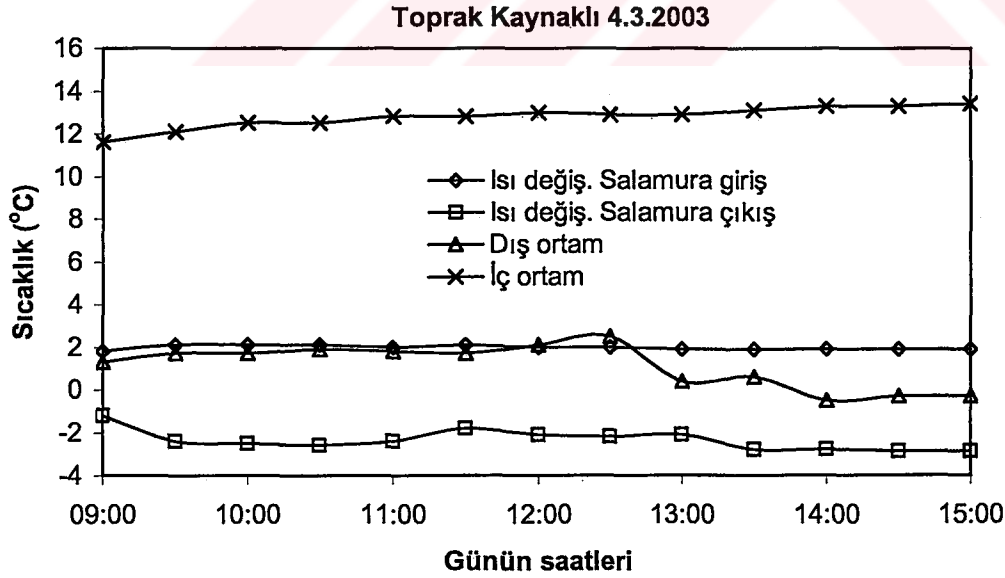


Şekil 9.140. Günüñ Saatlerine Göre Farklı Noktalardaki Sıcaklık Değişimi.

EK 2.4.

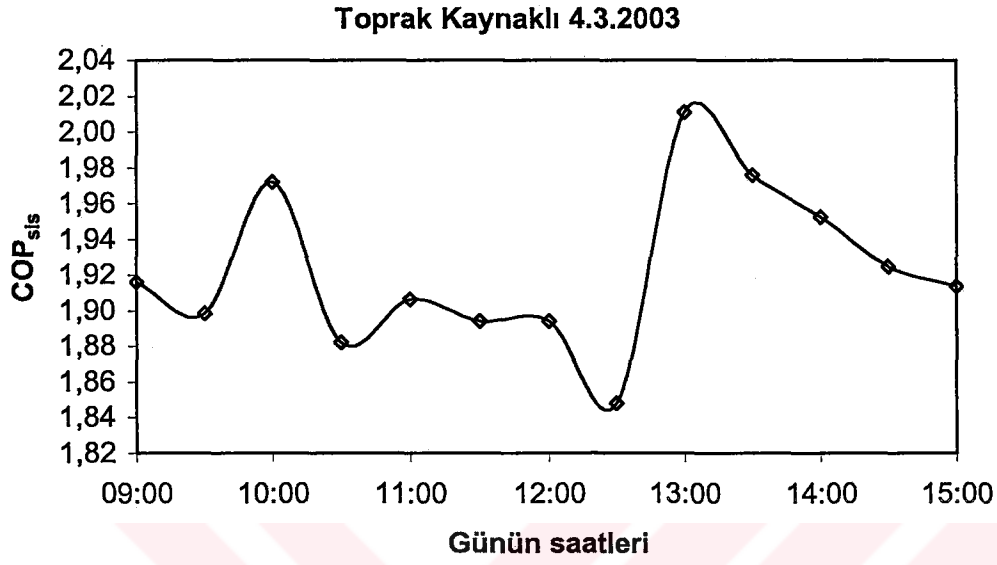


Şekil 9.141. Günün Saatlerine Göre Farklı Noktalardaki Sıcaklık Değişimi.

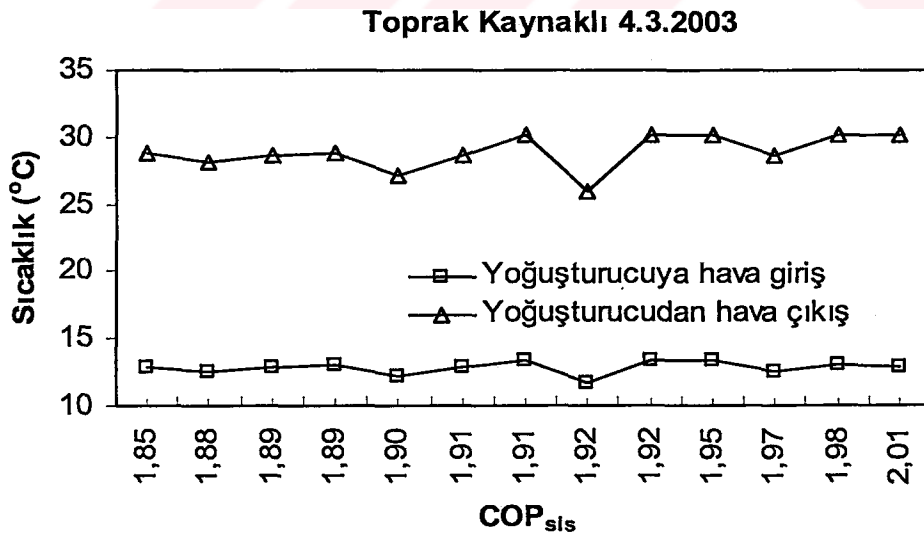


Şekil 9.142. Günün Saatlerine Göre Farklı Noktalardaki Sıcaklık Değişimi.

EK 2.4.



Şekil 9.143. Günüñ Saatlerine Göre COP_{sis}'in Değişimi.



Şekil 9.144. COP_{sis}'in Yoğuşturucuya Hava Giriş ve Çıkış Sıcaklıklarına Göre Değişimi.

EK 3.

Tablo 9.28. Toprak Kaynaklı Isı Pompası Ekserji Analizi

Saatler	Kompresör		Yoğuşturucu		Buharlaştırıcı		Kılcal		Toprak Isı Değiştirgeci	
	İş (W)	Ekserji Kaybı	Enerji(Q)	Ekserji Kaybı	Enerji(Q)	Ekserji Kaybı	Enerji	Ekserji Kaybı	Enerji	Ekserji Kaybı
10:00	6,84	0,113	-4,13	0,067	2,71	1,14	---	0,008	0,27	0,23
10:30	12,21	0,035	-8,57	0,12	3,64	1,15	---	0,003	0,64	0,54
11:00	13,94	0,090	-9,57	0,10	4,37	1,23	---	0,005	0,68	0,42
11:30	14,64	0,115	-10,25	0,08	4,39	1,15	---	0,003	0,69	0,44
12:00	14,98	0,126	-10,48	0,08	4,49	1,15	---	0,003	0,70	0,53
12:30	15,10	0,132	-10,57	0,08	4,53	1,07	---	0,003	0,70	0,46
13:00	15,08	0,134	-10,53	0,08	4,55	1,06	---	0,000	0,70	0,50
13:30	14,99	0,132	-10,53	0,08	4,46	1,06	---	0,001	0,70	0,45
14:00	14,61	0,120	-10,23	0,08	4,37	0,96	---	0,003	0,71	0,37
14:30	14,56	0,115	-10,20	0,09	4,35	0,81	---	0,003	0,71	0,30
15:00	14,35	0,108	-10,02	0,09	4,32	0,78	---	0,001	0,71	0,47
15:30	14,31	0,102	-10,08	0,09	4,23	0,78	---	0,001	0,71	0,56
16:00	14,17	0,098	-9,97	0,09	4,20	0,64	---	0,001	0,71	0,71

Tablo 9.29. Hava Kaynaklı Isı Pompası Ekserji Analizi

Saatler	Kompresör		Yoğuşturucu		Buharlaştırıcı		Kılcal	
	İş (W)	Ekserji Kaybı	Enerji(Q)	Ekserji Kaybı	Enerji(Q)	Ekserji Kaybı	Enerji	Ekserji Kaybı
09:00	4,51	0,305	-2,25	0,939	2,78	0,996	---	0,048
09:30	11,58	0,047	-9,43	0,844	2,81	0,596	---	0,036
10:00	13,87	0,034	-11,65	0,809	2,85	0,129	---	0,035
10:30	14,61	0,056	-12,58	0,839	2,88	0,133	---	0,035
11:00	14,59	0,078	-12,53	0,835	2,88	1,143	---	0,029
11:30	14,61	0,072	-12,53	0,829	2,92	1,143	---	0,027
12:00	14,78	0,080	-12,82	0,839	2,88	0,147	---	0,027
12:30	14,59	0,087	-12,61	0,849	2,88	0,142	---	0,025
13:00	14,61	0,098	-12,63	0,823	2,85	0,143	---	0,022
13:30	14,94	0,107	-12,91	0,813	2,92	0,143	---	0,024
14:00	15,06	0,123	-12,96	0,810	2,92	0,141	---	0,026
14:30	15,26	0,132	-12,98	0,810	2,90	0,141	---	0,024
15:00	15,27	0,136	-12,89	0,810	2,87	0,141	---	0,025

Tablo 9.30. Güneş Kaynaklı Isı Pompası Ekserji Analizi

Saatler	Kompresör		Yoğuşturucu		Buharlaştırıcı		Kılcal		Güneş Kolektörleri(W)
	İş(W)	Ekserji Kaybı	Enerji(Q)	Ekserji Kaybı	Enerji(Q)	Ekserji Kaybı	Enerji	Ekserji Kaybı	Ekserji Kaybı
09:00	3,71	0,352	-2,92	0,29	0,08	0,166	---	0,074	6716
09:30	9,67	0,118	-9,81	0,056	0,14	0,166	---	0,090	8067
10:00	10,30	0,096	-10,93	0,018	0,63	0,146	---	0,040	9063
10:30	11,48	0,056	-12,70	0,042	1,22	0,152	---	0,037	9560
11:00	11,58	0,054	-13,59	0,079	2,01	0,193	---	0,035	9980
11:30	10,99	0,089	-13,68	0,076	2,69	0,208	---	0,037	10084
12:00	11,30	0,073	-13,49	0,072	2,18	0,208	---	0,037	10576
12:30	10,99	0,084	-12,93	0,051	1,94	0,183	---	0,037	10740
13:00	10,81	0,089	-12,68	0,044	1,87	0,171	---	0,037	4176
13:30	11,32	0,071	-13,30	0,065	1,97	0,180	---	0,041	5170
14:00	11,23	0,067	-13,05	0,064	1,82	0,166	---	0,037	6996
14:30	11,58	0,055	-13,24	0,070	1,66	0,182	---	0,037	6859
15:00	11,63	0,052	-13,19	0,068	1,55	0,174	---	0,037	5945
15:30	12,21	0,033	-13,49	0,073	1,27	0,163	---	0,059	5346
16:00	11,58	0,049	-12,40	0,073	0,82	0,169	---	0,059	3618

Tablo 9.31. Ekonomi Analizi

SİSTEMLER	Aylara Göre Ortalama Dış ortam Sıcaklıkları (°C)				Isıtma Sezonunda Toplam Güneşli Gün Sayısı	Şubat Ayı ısıtılabilir Ortalama COP ₄₀	Q Alınan Ortalama Enerji (W)	Tüketilen Enerji (kW/h)	Elektrik Birim Fiyatı TL/kWh	Enerji 10xTL/kWh	İlk Yatırım Maliyeti x1000 (TL)	Yıllık Bakım Maliyeti x1000 (TL)	GÖS (yıl)
	Aralık	Ocak	Şubat	Mart									
Güneş Kaynaklı Isı Pompası	1,5	-1,3	0	4,7	35	2,51	2,35	0,937	155.000	1.452.350	1.630.000	16.300	32
Hava Kaynaklı Isı Pompası	1,5	-1,3	0	4,7	---	1,62	1,63	1,007	155.000	1.560.850	815.000	8.150	2,82
Toprak Kaynaklı Isı Pompası	1,5	-1,3	0	4,7	---	2,17	2,26	1,042	155.000	1.615.100	1.000.000	10.000	3,33
Ortalama Toprak Sıcaklığı (°C)	9,6	6,7	5,7	7,5	---	---	---	---	---	---	---	---	---

KAYNAKLAR

1. Reay, D.A., Mac Michael, D.B.A., *Heat Pumps*, June, 1988.
2. Tüsiad Raporu, 1999, *21.Yüzyıla Girerken Türkiye'nin Enerji Stratejisinin Değerlendirilmesi*, Bölüm1.
3. Yamankaradeniz, R., 1982, Güneş Enerjisi Kaynaklı Isı Pompasının Teorik ve Deneysel İncelenmesi, Doktora Tezi, İTÜ, İstanbul.
4. Sanner, B., Karytsas, Mendrinos, D., Rybach, L., 2003, Current Status Ground Source Heat Pumps and Underground Thermal Energy Storage in Europe, *Geothermics*, Vol.32:579-588.
5. Demirbay, A., Turkey's Geothermal Energy Potential, 2002, *Energy Sources*, Vol.24, No.12, pp.1107-1115.
6. Kaygusuz, K., and Kaygusuz, A., 2002, Geothermal Energy: Power for a Sustainable Future, *Energy Sources*, Vol.24, No.10, pp.937-947.
7. Hepbaşlı, A., 2003, Current Status of Geothermal Energy Applications in Turkey, *Energy Sources*, Vol.25, No.7, pp.667-677.
8. Harry, J., and Ronald, H., 1983, *Heat Pumps Systems*, John Wiley & Sons, New York.
9. Calm, J.M., Heat Pump, 1984, *Ashrae Journal*, August, Vol.90, pp.40-44.
10. Sumner, J.A., 1976, *Domestic Heat Pumps*, Prism Press, Dorchester.
11. Ayhan, T., Çomaklı, Ö., Kaygusuz, K., 1982, Isıtma ve Kurutma Amaçlı Isı Pompasının Deneysel ve Teorik İncelenmesi, *Mühendis ve Makine*, Cilt 33, sayı 385.
12. Selçuk, M.K., 1999, Güneş Enerjisinin Dünü, Bugünü ve Yarını, Güneş Günü Sempozyumu, Kayseri, Sayfa: 1-6.
13. İyiiiş, S., 1996, Isı Borulu Güneş Kollektörü Kaynaklı Hava ve Sudan Havaya Çalışan ısı Pompasının Teorik ve Deneysel İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Ün. Fen Bil. Enstitüsü, Konya.
14. Hepbaşlı, A., Ertöz, A., 1999, Geleceğin Teknolojisi; Yer Kaynaklı Isı Pompaları, Makine Mühendisleri Odası Teskon Program Bildirileri, s. 445-492.
15. Hugnes, P.j., Loomis, L., O'Neil, R.A. and Rizzuta, J., 1985, Results of The Residential Earth Coupled Earth Pump Demonstration in Vp Steate New York, *Ashrae Transactions*, Part 2b, Vol. 91, pp: 1307-1325.
16. Zogou, O., and Stamatelos, A., 1998, Effect of Climatic Conditions on The Design Optimization of Heat Pump Systems for Space Heating and Cooling, *Energy Conv. & Management*, Vol.39, No.7, pp.609-622.
17. Franck P., and Berntsson T., 1985, Ground-Coupled Heat Pumps with Low- Temperature Heat Storage; Same Swedish Experiences, *Ashrae Transactions*, Part 2b, Vol. 91, pp: 1285-1296.
18. Sulatisky, M.T. and Van Der Kamp, G., 1991, Ground-Sources Heat Pumps in The Canadian Prairies, *Ashrae Transactions*, Part 1, Vol.97, pp.374-385.

19. Kavanaugh, S.P., 1992, Field Test of Vertical Ground-Coupled Heat Pump in Alabama, *Ashrae Transactions*, Vol.92(2), pp.607-616
20. Kavanaugh, S.P., Woodhouse, J.G., Carter, J.R., 1991, Test Results of Water-to-Air Heat Pumps with High Cooling Efficiency for Ground-Coupled Applications. *Ashrae Trans.* Vol.97:895-901.
21. Kavanaugh, S.P., Pezent, M.C., 1990, Lake Water Applications of Water-to-Air Heat Pumps, *Ashrae Trans.*, Part 1, Vol.96, pp.813-820.
22. Meloy, B.R., 1992, Free Cooling Works for Cowlitz County Hall of Justice, *Ashrae Transactions*, Part 1, Vol 98, pp 1023-1030.
23. Rafferty, K.D., 1992, Large Tonnage Groundwater Heat Pumps-Experiences with Two Systems, *Ashrae Transactions*, Part 1, Vol. 98, pp 587-592.
24. Phetteplace, G. ve Sullivan, W., 1998, Performance of a Hybrid Ground-Coupled Heat Pump System, *Ashrae Transactions*, Part 1b, Vol. 104, pp 763-770.
25. Pala, M., Devres, Y.O., 1987, Isı Pompaları: Kuramı, Çeşitleri ve Uygulama Alanları, *Mühendis ve Makine*, Cilt.28, Sayı.326, sayfa.7-15.
26. Berntsson, T., 2002, Heat Sources-Technology, Economy and Environment, *Int J. Refrig.*, 25:428-38.
27. Leong, W.H., Tarnawski, V.R. and Aittomaki, A., 1998, Effect of Soil Type and Moisture Content on Ground Heat Pump Performance, *Int. Journal of Refrigeration*, Vol.21, No.8, pp. 595-600.
28. Kaygusuz, K., 1995, Performance of Solar-Assisted Heat Pump Systems, *Applied Energy*, Vol.51, No.2, pp.93-109.
29. Kaygusuz, K., 1999, Investigation of a Combined Solar-Heat Pump System for Residential Heating. Part 1: Experimental Results, *Int. Journal of Energy research*, Vol.23:1213-1223.
30. Kaygusuz, K., 2000, Calculation of Required Collector Area of a Solar Assisted Series Heat Pump for Domestic Heating, *Energy Sources*, 22:247-256.
31. Kaygusuz, K., 2003, Phase Change Energy Storage for Solar Heating Systems, *Energy Sources*, Vol.25, No.8, pp.791-807.
32. Kaygusuz, K., 1999, Investigation of a Combined Solar-Heat Pump System for Residential Heating. Part 2: Simulation Results, *Int. Journal of Energy Research*, Vol.23:1225-1237.
33. Kaygusuz, K., Ayhan, T., 1999, Experimental and Theoretical Investigation of Combined Solar Heat Pump System for Residential Heating, *Energy Conv. & Management*, Vol.40, pp.1377-1396.
34. Esen, M., 2000, Thermal Performance of a Solar-Aided Latent Heat Store Used for Space Heating By Heat Pump, *Solar Energy*, Vol.69, No.1, pp.15-25.

35. Esen, M., 1994, Güneş Enerjisi Destekli Isı Pompasındaki Faz Değiştiren Madde İçeren Silindirik Enerji Deposunun Bilgisayarda Simülasyonu ve Deneysel Sonuçlarla Karşılaştırması, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye.
36. Esen, M., and Ayhan, T., 1996, Development of a Model Compatible with Solar Assisted Cylindrical Energy Storage Tank and Variation of Stored Energy with Time for Different Phase Change Materials, *Energy Conv. & Management*, Vol.37, No.12, pp.1775-1785.
37. Yang, Z., Ma, Y., and Lu, C., 1995, A Heat-Pump System for Heat Recovery at a Substation, *Energy*, Vol 20, No 3, pp 243-245.
38. Sami, S.M., Zhou, Y. ve Tulej, P.S., 1996, A Diagnostic Expert System for Heat Pumps, *Energy*, Vol 21, No 3, pp 179-187.
39. İnallı, M., Ünsal, M., Tanyıldızı, V., 1997, A Computational Model of a Domestic Solar Heat System with Underground Spherical Thermal Storage, *Energy*, Vol.22, No.12, pp.1163-1172.
40. Yumrutaş, R., and Kaşka, Ö., 2004, Experimental Investigation of Thermal Performance of a Solar Assisted Heat Pump System with an Energy Storage, *Int. Journal of Energy Research*, Vol.28:163-175.
41. Yumrutaş, R., Kunduz, M., and Ayhan, T., 2003, Investigation of Thermal Performance of a Ground Coupled Heat Pump System with a Cylindrical Energy Storage Tank, *Int. Journal of Energy Research*, Vol.23:1051-1066.
42. Yumrutaş, R., Ünsal, M., 2000, Analysis of Solar Aided Heat Pump Systems with Seasonal Thermal Energy Storage in Surface Tanks, *Vol.25:1231-1243*.
43. Yumrutaş, R., Ünsal, M., 2000, A Computational Model of a Heat Pump System with a Hemispherical Surface Tank as the Ground Heat Source, *Vol.25:371-388*.
44. Badescu, V., 2002, Model of a Solar-Assisted Heat Pump System for Space Heating Integrating a Thermal Energy Storage Unit, *Energy and Buildings*, Vol.34:715-726.
45. Badescu, V., 2003, Model of Thermal Energy Storage device Integrated Into a Solar Assisted Heat Pump System for Space Heating, *Energy Conv. & Management*, Vol.44:1589-1604.
46. Petit, P.J., Meyer, J.P., 1998, Economic Potential of Vertical Ground-Source Heat Pumps Compared To Air-Source Air Conditioners in South Africa, *Energy*, Vol.23, No.2, pp.137-143.
47. Chaturvedi, S.K., Shen, J.Y., 1984, Thermal Performance of a Direct Expansion Solar-Assisted Heat Pump, *Solar Energy*, Vol.33, pp.155-162.
48. Çomaklı, Ö., 1991, Güneş Kolektörlü Enerji Depolu Isı Pompası Sisteminin Deneysel ve Teorik İncelenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
49. Çomaklı, Ö., 1990, Karadeniz Bölgesi İçin Bir Isı Pompası Sistemi Deney Düzenegi, *Mühendis Makine*, Cilt: 31, Sayı: 369, Sayfa.19-26.

50. Allan marita, L., Kavanaugh, S.P., 1999, Thermal Conductivity of Cementitious Grouts and Impact On Heat Exchanger Length Design for Ground Source Heat Pumps, HVAC and R. Research, Vol.5, No.2, pp.87-98.
51. Bi, Y.J., Chen, L.J., Wu, C., 2002, Ground Heat Exchanger Temperature Distribution Analysis and Experimental Verification, Applied Thermal Engineering, Vol.22, No.2, pp.183-189.
52. De Swardt, C.A., Meyer, J.P., 2001, A Performance Comparison between Air-Source and a Ground-Source Reversible Heat Pump, International Journal of Energy Research, Vol.25, No. 10, pp.899-910.
53. Bi, Y., Guo, T., Zhang, L., Chen, L., 2004, Solar and Ground Heat-Pump System, Applied Energy, Vol.78:231-245.
54. Büyükalaca, O., Ekinci, F., Yılmaz, T., 2003, Experimental Investigation of Seyhan River and Dam Lake as Heat Source-Sink for a Heat Pump, Energy, Vol.28:157-169.
55. Kara, Y.A., Yüksel, B., 2001, "Evaluation of Low Temperature Geothermal Energy Through The Use of Heat Pump", Energy Conversion & Management, Vol.42:773-781.
56. Huang, B.J., Cyng, J.P., 2001, Performance Characteristics of Integral Type Solar Assisted Heat Pump, Solar Energy, Vol.71, No. 6, pp.403-414.
57. Kuang, Y.H., Sumathy, K., and Wang, R.Z., 2003, Study on a Direct-Expansion Solar-Assisted Heat Pump Water Heating System, Int. J. Energy Research, Vol.27:531-548.
58. Kuang, Y.H., Wang, R.Z., Yu, L.Q., 2003, Experimental Study on Solar Heat Pump System for Heat Supply, Energy Conv. & Management, Vol.44:1089-1098.
59. Hulin, H., Xinshi, G., and Yuehong, S., 1999, Theoretical Thermal Performance Analysis of Two Solar-Assisted Heat Pump System, Int. J. Energy Research, Vol.23:1-6.
60. Ito, S., Miura, N., Wang, K., 1999, Performance of a Heat Pump Using Direct Expansion Solar Collectors, Solar Energy, Vol.65, No.3, pp.189-196.
61. Guoyuan, M., Chai, Q.Y., 2003, Experimental Investigations of Air-Source Heat Pump For Cold Regions, Int. Journ. Of Refr. Vol.26:12-18.
62. Ma, G., Chai, Q., 2004, Characteristics of an Improved Heat-Pump Cycle for Cold Regions, Applied Energy, Vol.77:235-247.
63. Ding, Y., Chai, Q., Guoyuan, M., Jiang, Y., 2004, Experimental Study of an Improved Air Source Heat Pump, Energy Conv. & Management, Vol.45:2393-2403.
64. Liu, Z., Tang, G., Zhao, F., 2003, Dynamic Simulation of Air-Source Heat Pump during Hot-Gas Defrost, Applied Thermal Engineering, Vol.23:675-685.
65. Mats, F., Wilhelm, R., Matthias, U., 2002, International Journal of Refrigeration, 25: 439-449.
66. Hawlader, M.N.A., Chou, S.K., Ullah, M.Z., 2001, The performance of a Solar Assisted Heat Pump Water Heating System, Applied Thermal Engineering, 21, 1049-1065.

67. Abou-Ziyan, H.Z., Ahmed, M.F., Metwally, M.N., and Abd El-Hameed, H.M., 1997, Solar Assisted R22 and R134a Heat Pump Systems for Low-Temperature Applications, Applied Thermal Engineering, Vol.17, No.5, pp.455-469.
68. Bose, J.E., 1982, Earth Coil Heat Pump Research at Oklahoma University, 6. Isı Pompası Teknoloji Konferansı, Oklahoma Eyalet Üniversitesi, Tulsa.
69. Çengel, Y.A., Michael, A.B., 1996, *Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik*, Çeviri, Papirüs Basım, İstanbul.
70. Hepbaşlı, A., Akdemir, O., Hancıoğlu, E., 2003, Experimental Study of a Closed Loop Vertical Ground Source Heat Pump, Energy Conv. and Management Vol.44, 527-548.
71. Wu, C., Chen, L., Sun, F., and Cao, S., 1998, Optimal Collector Temperature for Solar-Driven Heat Pump, Energy Conv. & Management, Vol.39, No.1/2, pp.143-147.
72. Taşdemiroğlu, E., 1988, Solar Energy Utilization: Technical and Economic Aspects, Chapter 4, METU Press, Ankara.
73. Kaygusuz, K., 2000, Experimental and Theoretical Investigation of a Solar Heating System with Heat Pump, Renewable Energy, Vol.21:79-102.
74. Yamankaradeniz, R., 1998, The Theoretical and Experimental Investigation of The Characteristics of Solar-Assisted Heat Pump for Clear Days, Int. Comm. Heat Mass Transfer, Vol.25, No.6, pp.885-898.
75. Van Wylen, G., Sonntag, R., Borgnakke, C., 1994, *Fundamental of Classical Thermodynamics*, Fourth Edition, John Wiley & Sons Inc.
76. Hancıoğlu, E., 2000, Güneş Enerjisi Destekli Toprak Kaynaklı Bir Isı Pompası İle Bir Hacmin Isıtılması, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
77. Lund, J.W., 1988, Geothermal Heat Pumps Utilization in the United States, Geo Heat Center Quarterly Bulletin Vol.11, No.1, pp.1-7.
78. <http://www.heatpumpcentre.org/tutorial/home.htm>
79. Ataman, H., 1991, Toprak Kaynaklı Isı Pompası Tesisinin Tasarımı ve Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, İstanbul.
80. Mc Mullan, J.T., and Morgan, R., 1981 *Heat Pumps*, Page Bros.
81. Ashrae Handbook Systems, 1984, Applied Heat Pump Systems.
82. Baker, G., 1983, Report on Installation of Earth Coupled Heat Pump Demonstration, Louisiana Cooperative Extension Service.
83. Uyarel, A.Y., Öz, E.S., 1987, *Güneş Enerjisi ve Uygulamaları*, Emel Matbaacılık Sanayii, İstanbul.
84. Deriş, N., 1979, *Güneş Enerjisi, Sıcak Su İle Isıtma Tekniği*, Sermet Matbaası, İstanbul.
85. Bose, J.E., and Parker, J.D., 1989, Ground Coupled Heat Pump Research, Ashrae Transactions, Vol.95.

86. Ersöz, İ., 2000, Toprak Kaynaklı Isı Pompası İle Bir Hacmin Soğutulması, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
87. Torres Reyes, E., Picon Nunez, M., Cervantes, De G. J., 1998, Exergy Analysis and Optimization of a Solar Assisted Heat Pump, *Energy*, Vol.23, No.4, pp.337-344.
88. Axaopoulos, P., Panagakis, P., Kyritsis, S., 1998, Experimental Comparison of a Solar-Assisted Heat Pump VS. A Conventional Thermosyphon Solar System, *Int. Journal of Energy research*, 22: 1107-1120.
89. Lam, J. C., Chan, W. W., 2003, Energy Performance of Air-to-Water And Water-to-Water Heat Pumps in Hotel Applications, *Energy Conv. and Management*, 44, 1625-1631.
90. Badescu, V., 2002, First and Second Law Analysis of a Solar Assisted heat Pump Based Heating System, *Energy Conv. & Management*, Vol.43:2539-2552.
91. Bilgen, E., Takahashi, H., 2002, Exergy Analysis and Experimental Study of heat Pump Systems, *Exergy*, Vol.2:259-265.
92. Hepbaşlı, A., Akdemir, O., 2004, Energy and Exergy Analysis of a Ground Source (Geothermal) Heat Pump System, *Energy Conv. & Management*, Vol.45:737-753.
93. Hepbaşlı, A., 2002, Performance Evaluation of a Vertical Ground-Source Heat Pump System in İzmir, *Int. J. Energy Research*, Vol.26:1121-1139.
94. Sakellari, D., Lundqvist, P., 2004, Energy Analysis of a Low-Temperature Heat Pump Heating System in a Single-Family House, *Int. J. Energy Research*, Vol.28:1-12.
95. Lam, J.C., Chan, W.W., 2001, Life Cycle Energy Cost Analysis of Heat Pump Application for Hotel Swimming Pools, *Energy Conv. & Management*, Vol.42:1299-1306.
96. Duffie, J. A., Beckman W. A., 1991, *Solar Engineering of Thermal Processes*, John Wiley & Sons, USA.
97. Cervantes, J.G., Torres-Reyes., 2002, Experiments on a Solar Assisted Heat Pump and an Exergy Analysis of The System, *Applied Thermal Engineering*, Vol.22, 1289-1297.
98. Cervantes, J.G., Torres, R., 2001, Optimal Performance an Irreversible Solar-Assisted Heat Pump, *Energy Int. J.* 1(2), 107-111.
99. Kreider, J.F., Kreith, F., 1982, *Solar Heating and Cooling: Active and Passive Design*, Second Edition, McGraw-Hill Book Company, New York.
100. Taşdemiroğlu, E., 1988, Solar Energy Utilization: Technical and Economic Analysis of Solar Heating Systems, *Energy Conversion and Management*, vol.28, pp.95-103.
101. Doğan, M., 2002, *İşletme Ekonomisi ve Yönetimi*, 6. Baskı, Anadolu Matbaası, İzmir.
102. Kaygusuz, K., 1992, Karadeniz Bölgesinde Konutların Güneş Destekli Isı Pompaları Yardımıyla Isıtılabilirliğinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

ÖZGEÇMİŞ

1970 yılında Silifke’de doğdu. İlk orta ve lise öğrenimini Balıkesir’de tamamladı. 1988 yılında girmiş olduğu Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Tesisat Anabilim Dalı’ndan 1992 yılında mezun oldu. Aynı yıl Ankara İli Polatlı İlçesi Çıraklık Eğitimi Merkezi’nde Tesisat Öğretmeni olarak göreve başladı. 1994 Yılında Elazığ İli 100. Yıl Endüstri Meslek Lisesi’ne tayin oldu. Yine 1994 yılında Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü’nde başladığı Yüksek Lisansı 1996 yılında tamamladı. 1997 yılında Fırat Üniversitesi’nin açmış olduğu Araştırma Görevlisi sınavını kazanarak Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü’nde Asistan olarak çalışmaya başladı. Şubat 1998’de Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Bilim Dalında Doktora çalışmasına başladı ve halen devam etmektedir.

Aydın DİKİCİ